

中华人民共和国行业标准

公路桥涵施工技术规范

JTJ041-2000

目 录

正文.....	1
附录.....	178
本规范用词说明.....	209
条文说明.....	210
现行公路工程标准、规范、规程一览表.....	307

正文

1 总 则

1.0.1 为适应我国公路桥涵建设的需要，确保公路桥涵的施工质量，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于公路桥涵新建、改建工程的施工，公路桥涵大、中修工程可参照执行。

1.0.3 桥涵施工必须按照国家有关的基本建设程序进行。施工单位的工程质量负责人对工程应进行自检，在工程完成后应配合监理工程师检查验收。

1.0.4 桥涵施工必须做好施工前的准备工作和施工中的技术交底、施工组织、施工管理工作，应严格执行本规范及有关技术操作规程的规定。

1.0.5 桥涵施工应积极推广使用成熟的并经主管部门批准的新技术、新工艺、新材料、新设备，以加速实现公路桥涵施工现代化。

1.0.6 桥涵施工应节约用地，少占农田，并按照国家有关规定采取相关措施降低或减少环境污染，保护环境。

1.0.7 桥涵工程竣工后，应对临时工程、临时辅助设施、临时用地和弃土等及时进行处理，做到工完场清。

1.0.8 桥涵工程必须文明施工，安全生产，严格遵守安全操作规程，加强安全生产教育，建立和健全安全生产管理制度。

1.0.9 公路桥涵施工，除执行本规范外，尚应符合国家及行业现行的有关强制性标准的规定。

2 术 语

2.0.1 控制测量 control survey

为建立测量控制网而进行的测量工作。包括平面控制测量、高程控制测量和三维控制测量。

2.0.2 公路 GPS 控制测量 GPS control survey of highway

利用全球定位系统

2.0.3 跨河水准测量 river-crossing leveling

视线长度超过规定，跨越江河（或湖塘、宽沟、洼地、山谷等）的水准测量。

2.0.4 施工测量 construction survey

工程开工前及施工中，根据设计图在现场恢复道路中线、定出构造物位置等测量放样的作业。

2.0.5 竣工测量 final survey

工程竣工后，为编制竣工文件，对实际完成的各项工程进行一次全面测量的作业。

2.0.6 围堰 coffer dam

用于水下施工的临时性挡水设施。

2.0.7 锚锭 anchor

将系于水中船只或双壁钢围堰的缆索固定的临时构造物。

2.0.8 围幕法排水 ring curtain wall de-watering

用以隔断水源，减少渗流量，防止流沙、突涌、管涌、潜蚀等，在基坑边

线外设置的一圈隔水幕。

2.0.9 地基 subsoil

直接承受构造物荷载影响的地层。

2.0.10 加固地基 consolidated subsoil

用换土、夯实、有机或无机结合料稳定等方法加固处理的地基。

2.0.11 天然地基 natural subsoil

未经加固处理或扰动的地基。

2.0.12 沉入桩 penetrated pile

钢、木、钢筋混凝土等材料制作的柱状构件，经锤击、振动、射水、静压等方式沉入或埋入地基而成的桩。

2.0.13 贯入度 penetration

锤击沉入桩时，根据锤的种类取每锤或每分钟桩的贯入量，以 mm/击、mm/min 计。

2.0.14 灌注桩 cast-in-place concrete pile

在地基中以人工或机械成孔，在孔中灌注混凝土而成的桩。

2.0.15 大直径桩 large diameter pile

本规范把直径大于等于 2.5m 的钻孔灌注桩界定为大直径桩。

2.0.16 PHP 泥浆 PHP mud

丙烯酰胺泥浆即 PHP 泥浆，以膨润土、碳酸钠、聚丙烯酰胺的水解物和锯木梢、稻草、水泥或有机纤维复合物按一定比例配制的不分散、低固相、高粘度泥浆。

2.0.17 摩擦桩 friction pile

主要靠桩表面与地基之间的磨擦力支承荷载的桩。

2.0.18 支承桩 bearing pile

主要靠桩的下端反力支承荷载的桩。

2.0.19 沉井基础 open caisson foundation

上下敞口带刃脚的空心井筒状结构物，下沉水中到设计标高处，以井筒作为结构外壳而建筑成的基础。

2.0.20 地下连续墙 underground continuous wall

用专用的挖槽（孔）设备，沿着深基础或地下构筑物周边，采用泥浆护壁，开挖出具有一定宽度（或直径）与深度的沟槽（或孔），在槽（或孔）内设置钢筋笼，采用导管法浇混凝土，筑成一个单元墙（或桩柱）段，依次施工，以某种接着方式连接成一道连续的地下钢筋混凝土墙，作为基坑开挖时防渗、挡土、邻近建筑物基础的支护以及直接成为承受垂直荷载的基础结构物的一部分。这种地下墙体即是现浇钢筋混凝土地下连续墙。

2.0.21 导墙 guide wall

用于地下连续墙施工导向、蓄积泥浆并维持表面高度，支承挖墙机械设备，维护槽顶表土层的稳定和阻止地面水流水沟槽的板形、U形，倒 L 形构造物。

2.0.22 钢筋闪光对焊 flash butt welding of reinforcing steel bar

将两根钢筋安放成对接形式，利用电阻热使接触点金属熔化，产生强烈飞溅，形成闪光，迅速加顶锻力完成的一种压焊方法。

2.0.23 钢筋电渣压力焊 electroslag pressure welding of reinforcing steel bar

将钢筋安放成竖向对接形式，利用焊接电流通过两钢筋端面间隙，在焊剂层下形成电弧过程和电渣过程，产生电弧热和电阻热，熔化钢筋，加压完成的一种

压焊方式。

2.0.24 预埋件钢筋埋弧压力焊 submerged-arc pressure welding of reinforcing steel bar at embedded components

将钢筋与钢板安放成 T 形接着形式，利用焊接电流通过，在焊剂层下产生电弧，形成熔池，加压完成的一种压焊方法。

2.0.25 钢筋机械连接 rebar mechanical splicing

通过连接件的机械咬合作用或钢筋端面的承压作用，将一根钢筋中的力传递至另一根钢筋的连接方法。

2.0.26 挤压套筒接头 compressed sleeve coupler

通过挤压力使连接用钢套塑性变形与带肋钢筋紧密咬合形成的接头。

2.0.27 锥螺纹套筒接头 coupler of taper threaded sleeve

通过钢筋端头特制的锥形螺纹和锥纹套管咬合形成的接头。

2.0.28 直螺纹套筒接头 coupler of linear screw thread sleeve

通过钢筋端头特制的直螺纹和直螺纹套管咬合形成的接头。

2.0.29 焊接网 welded fabric

具有相同或不同直径的纵向和横向钢筋分别以一定距离垂直排列，全部交叉点均用电阻电焊在一起的钢筋网片。

2.0.30 水泥强度 cement strength

水泥强度用强度等级表示，水泥强度等级按规定龄期的抗压强度和抗折强度来划分，单位为 Mpa，水泥的强度等级依次为 32.5，32.5R，42.5，42.5R，52.5，52.5R，62.5，62.5R。

2.0.31 混凝土耐久性 durability of concrete

在正常设计、施工、使用和维护条件下，混凝土在设计使用期内具有抗冻、防止钢筋腐蚀和抗渗的能力。

2.0.32 大体积混凝土 major volume concrete

现场浇筑的最小边尺寸为 1~3m 且必须采取措施以避免水化热引起的温差超过 25℃ 的混凝土称为大体积混凝土。

2.0.33 先张法 pretensioning method

先在台座上张拉预应力钢材，然后浇筑水泥混凝土以形成预应力混凝土构件的施工方法。

2.0.34 后张法 post-tensioning method

先浇筑水泥混凝土，待达到规定的强度后再张拉预应力筋以形成预应力混凝土构件的施工方法。

2.0.35 片石 rubble

符合工程要求的岩石，经开采选择所得的形状不规则的、边长一般不小于 15cm 的石块。

2.0.36 块石 block stone

符合工程要求的岩石，经开采并加工而成的形状大致方正的石块。

2.0.37 料石 dressed stone

按规定要求经凿琢加工而成的形状规则的石块。

2.0.38 结构物的表面系数 surface of structure

是指结构物冷却面积 (m^2) 与结构体积 (m^3) 的比值。

2.0.39 移动支架逐跨施工法 span by span method (stepping formwork)

采用可在桥墩上纵向移动的支架及模板，在其上逐跨拼装水泥混凝土梁体预

制件或现浇梁体水泥混凝土，并逐跨施加预应力的施工方法。

2.0.40 悬臂浇筑法 cast-in-place cantilever method

在桥墩两侧设置工作平台，平衡地逐段向跨中悬臂浇筑水泥混凝土梁体，并逐段施加预应力的施工方法。

2.0.41 挂篮 movable suspended scaffolding

用悬臂浇筑法浇筑斜拉、T 构、连续梁等水泥混凝土梁时，用于承受施工荷载及梁体自重，能逐段向前移动经特殊设计的主要工艺设备。主要组成部分有承重系统、提升系统、锚固系统、行走系统、模板与支架系统。

2.0.42 伸缩缝 expansion joint

为减轻材料膨胀对建筑物的影响而在建筑物中预先设置的间隙。

2.0.43 沉降缝 settlement joint

为减轻地基不均匀变形对建筑物的影响而在建筑物中预先设置的间隙。

2.0.44 施工缝 construction joint

当混凝土施工时，由于技术上或施工组织上的原因，不能一次连续灌注时，而在结构的规定位置留置的搭接面或后浇间隔槽。

2.0.45 悬臂拼装法 erection by protrusion

在桥墩两侧设置吊架，平衡地逐段向跨中悬臂拼装水泥混凝土梁体预制块件，并逐段施加预应力的施工方法。

2.0.46 托架 corbel

墩顶梁段及附近梁段施工，浇筑悬浇部分时利用墩身预埋件与型钢或万能杆件拼制联结而成的支架。

2.0.47 膺架 falsework

悬臂浇筑施工墩顶梁段及附近梁段，根据墩身高度、承台型式和地形情况用分别支承在墩身、承台上的型钢或万能杆件拼制的支架。

2.0.48 箱梁基准块 datum segment of box girder

是悬臂拼装施工过程中作为控制桥轴线和高程标准的首块梁块，预制时在该梁块顶面埋置轴线和高程控制标志，预制尺寸精度要求高，悬拼时安放在墩侧。

2.0.49 胶接缝 glued joint with epoxy resin

预应力混凝土梁体分块预制，悬臂拼装成大跨度连续梁，梁体间采用现浇混凝土把梁块连成整体的接缝。

2.0.51 顶推法 incremental launching method

梁体在桥头逐段浇筑或拼装，在梁前端安装导梁，用千斤顶纵向顶推，使梁体通过各墩顶的临时滑动支座就位的施工方法。

2.0.52 滑板 sliding plate (PTEE)

在顶推施工的顶进过程中，在主梁与墩、台上的滑道或导向装置之间随顶进而填加进滑道内的临时块件，由钢板夹橡胶等粘贴聚四氟乙烯板组成。

2.0.53 预拱度 camber

为抵消梁、拱、桁架等结构在荷载作用下产生的位移（挠度），而在施工或制造时所预留的与位移方向相反的校正量。

2.0.54 施工荷载 construction load

施工阶段为验算桥梁结构或构件安全度所考虑的临时荷载，如结构重力、施工设备、人群、风力、拱桥单向推力等。

2.0.55 分环（层）分段浇筑法 concreting layer by layer and segment by segment

在拱架上浇筑大跨径拱圈（拱肋）时，为减轻拱架负荷，沿拱圈纵向分成若

干条幅或上下分层浇筑。分为条幅时中间条幅先行浇筑合龙，再横向对称、分次浇筑其他条幅，其浇筑顺序应通过计算确定。

2.0.56 分环多工作面均衡浇筑法 **balanced concreting layer by layer with multi-workpoint**

浇筑大跨径性骨架混凝土拱圈（拱肋）时，为使劲性骨架变形均匀并有效地控制拱圈内力和变形，将拱圈沿纵向分为多个工作面，每个工作面沿横向又分成多个工作段，各工作面对称、均衡浇筑。

2.0.57 斜拉扣挂分环连接浇筑 **concreting under control of stress adjustment with a cable-stayed system**

浇筑劲性骨架混凝土拱圈（拱肋）时，在拱圈（拱肋）适当位置选取扣点，用钢绞线作为扣索（斜拉索）联结于两岸设置的临时塔架，在混凝土浇筑过程中，根据各断面的应力情况对扣索进行张拉或放松，以实现从拱脚到拱顶连续浇筑混凝土。

2.0.58 风缆系统 **cable-stayed stability system**

为实现拱肋无支架吊装，确保拱肋横向稳定而进行专门设计的包括风缆及其附属设施的固定拱肋的临时装置。

2.0.59 缆索吊装法 **erection with cableway**

利用支承在索塔上缆索运输和安装桥梁构件的施工方法。

2.0.60 转体架桥法 **construction by swing**

利用河岸地形预制两个半孔桥跨结构，在岸墩或桥台上旋转就位跨中合龙的施工方法。

2.0.61 零件 **part**

组成部件或构件的最小单元，如节点板、翼缘板等。

2.0.62 部件 **component**

由若干零件组成的单元，如焊接 H 形钢、牛脚等。

2.0.63 构件 **element**

由零件或零件和部件组成的钢结构基本单元，如梁、柱、支撑等。

2.0.64 高强度螺栓连接副 **a set of high strength bolt**

高强度螺栓和与之配套的螺母、垫圈的总称。

2.0.65 抗滑移系数 **slip factor**

高强度螺栓连接中，使连接件摩擦面产生滑动时的外力与垂直于摩擦面的高强度螺母预拉力之和的比值。

2.0.66 超声波探伤 **supersonic sounding**

利用超声波对结构或钢材焊接进行质量检验的方法。

2.0.67 射线探伤 **γ or X-ray inspecting**

利用 X、γ 射线对结构或钢材焊接进行质量检验的方法。

2.0.68 预拼装 **test assembling**

为检验构件是否满足安装质量要求而进行的拼装。

2.0.69 环境温度 **ambient temperature**

制作或安装时现场的温度

2.0.70 锚碇 **anchor**

一般指主缆索的锚固系统。包括锚块、鞍部及其他附属构造的锚体和基础的总称。

2.0.71 索塔 **cable bent tower**

悬索桥或斜拉桥支承主索的塔形构造物。

2.0.72 施工猫道 catwalk for construction

因悬索桥索股架设、紧缆、索夹安装、吊索架设、加劲梁架设、缠丝等的施工需要而架设的施工便道。

2.0.73 索鞍 cable saddle

在悬索桥索塔顶部设置的鞍状支承装置。

2.0.74 索夹 cable clamp

将悬索桥吊索与主缆连结的夹箍式构件。

2.0.75 吊索 suspender

将悬索桥主缆与主梁相联系的受拉构件。将主梁承受的恒荷载及活载传递给主缆。

2.0.76 加劲钢箱梁 stiffened steel box girder

支承桥面，与桥面结合成一体并将恒荷载及活荷载通过吊、拉索传递给索塔或通过梁底支座传递给墩台的钢制箱形构件。

2.0.77 拉索 main cable

承受拉力并作为主梁主要支承的结构构件。

2.0.78 初拉力 initial tension

安装拉索时，给拉索施加的张拉力。

2.0.79 拉索调整力 adjustment of cable tension

为改善主梁及索塔的截面内力及变形而调整拉索的拉力。

2.0.80 模数式伸缩装置 module expansion equipment (joint)

伸缩体由异形钢梁与单元橡胶密封带组合而成的伸缩装置。它适用于伸缩量为 80~1200mm 的公路桥梁工程。

2.0.81 弹塑体材料填充式伸缩装置 expansion equipment (joint) filled with elastic materials

伸缩体由高粘弹塑性材料和碎石结合而成，填充于伸缩缝内，称为填充式弹塑体材料伸缩装置，它适用于伸缩量小于 50mm 的中、小跨径公路桥梁工程。

2.0.82 复合改性沥青填充式伸缩装置 expansion equipment (joint) filed with compound modified asphalt

伸缩体由复合改性沥青及碎石混合而成，填充于伸缩缝内，称为复合改性沥青填充式伸缩装置，它适用于伸缩量小于 50mm 的中、小跨径公路桥梁工程。

2.0.83 顶进法 jack-in method

利用顶进设备将预制的箱形或圆管形构造物逐渐顶入路基，以构成立体交叉通道或涵洞的施工方法。

2.0.84 桥涵顶进后背 temporary reaction support

在桥涵顶进施工中，承受千斤顶反力的临时结构物。

3 施工准备和施工测量

3.1 施工准备

3.1.1 应根据招、投标文件，施工合同，设计文件及有关规范编报施工组织设计。

3.1.2 应做好施工现场准备，修建施工临时设施，安装调试施工机具及标定试验机具，进行施工测量及复核测量资料，做好材料的储存和堆放，做好开工前的试验检测工作。

3.1.3 施工组织设计宜包括以下内容：编制说明，施工组织机构，施工平面布置图，施工方法，施工详图，资源计划，总进度计划和进度图，质量管理，安全生

产，环境保护。

3.1.4 施工单位必须建立健全质量保证体系。主要内容为：质量方针、质量目标、质量保证机构、质量保证程序、质量保证措施。

3.2 施工测量

3.2.1 施工测量的内容和要求

1 根据桥梁的形式、跨径及设计要求的施工精度，确定利用原设计网点加密或重新布设控制网点。

2 补充施工需要的水准点，桥涵轴线、墩台控制桩。

3 桥涵放样测量及要求

1) 当有良好的丈量条件时可采用直接丈量法进行墩台施工定位。直接丈量，应对尺长、温度、拉力、垂度和倾斜度进行改正计算（改正计算公式见附录 A）。

2) 大、中桥的水中墩、台和基础的位置，宜用校验过的电磁波测距仪测量。桥墩中心线在桥轴线方向上的位置中误差不应大于 $\pm 15\text{mm}$ 。

3) 曲线上的桥梁施工测量，应按照设计文件参照公路曲线测定方法处理。

4) 涵洞测量放样时，应注意核对涵洞纵横轴线的地形剖面图是否与设计图相符，应注意涵洞长度、涵底标高的正确性。对斜交涵洞、曲线上和陡坡上涵洞，应考虑交角、加宽、超高和纵坡对涵洞具体位置、尺寸的影响，并注意锥坡、翼墙、一字墙和涵洞墙身顶部和上下游调治构造物的位置、方向、长度、高度、坡度，使之符合技术要求。

4 桥梁施工过程中的测量和竣工测量

1) 施工过程中，应测定并经常检查桥涵结构浇砌和安装部分的位置和标高，并作出测量记录和结论，如超过允许偏差时，应分析原因，并予以补救和改正。各结构部分的允许偏差见有关各章节。

桥轴线超过 1000m 的特大桥梁和结构复杂的桥梁施工过程，应进行主要墩、台（或塔、锚）的沉降变形监测，桥梁控制网应每年复测一次，以确保施工安全和质量。

2) 桥梁竣工后应进行竣工测量，测量项目如下：

(1) 测定桥梁中线，丈量跨径；

(2) 丈量墩、台（或塔、锚）各部尺寸；

(3) 检查桥面高程。

5 为防止差错，施工测量必须由两个人相互检查校对并作出测量和检查核对记录。

3.2.2 平面、水准控制测量及质量要求

1 平面控制网可采用三角测量和 GPS 测量。三角测量和 GPS 测量等级的确定应符合表 3.2.2-1、表 3.2.2-7 的规定。

2 平面控制网三角测量。三角网的基线不应少于 2 条，依据当地条件，可设于河流的一岸或两岸。基线一端应与桥轴线连接，并昼近于垂直。当桥轴线较长时，应尽可能两岸均设基线，长度一般不小于桥轴线长度的 0.7 倍，困难地段不得小于 0.5 倍。设计单位布设的基线桩精度够用时应予以利用。三角网所有角度宜布设在 $30^\circ \sim 120^\circ$ 之间，困难情况下不应小于 25° 。

表 3.2.2-1 平面控制测量等级

等级	桥位控制测量
二等三角	>5000m 的特大桥
三等三角	2000~5000m 的特大桥
四等三角	1000~2000m 的特大桥
一级小三角	500~1000m 的特大桥
二级小三角	<500m 的大、中桥

1) 三角测量的技术要求应符合表 3.2.2-2 至表 3.2.2-5 的规定。

表 3.2.2-2 三角测量的技术要求

等级	平均边长(km)	测角中误差(″)	起始边边长相对中误差	最弱边边长相对中误差	测回数			三角形最大闭合差(″)
					DJ ₁	DJ ₂	DJ ₆	
二等	3.0	±1.0	≤ 1/250000	≤ 1/120000	12	—	—	±3.5
三等	2.0	±1.8	≤ 1/150000	≤ 1/70000	6	9	—	±7.0
四等	1.0	±2.5	≤ 1/100000	≤ 1/40000	4	6	—	±9.0
一级小三角	0.5	±5.0	≤ 1/40000	≤ 1/20000	—	3	4	±15.0
二级小三角	0.3	±10.0	≤ 1/20000	≤ 1/10000	—	1	3	±30.0

表 3.2.2-3 水平角方向观测法的技术要求

等级	仪器型号	光学测微器两次重合读数之差(″)	半测回归零差(″)	一测回中 2 倍照准差较差(″)	同一方向值各测回较差(″)
四等及以上	DJ ₁	1	6	9	6
	DJ ₂	3	8	13	9
一级及以下	DJ ₂	—	12	18	12
	DJ ₆	—	18	—	24

注：当观测方向的垂直角超过±3° 的范围时，该方向一测回中 2 倍照准差较差，可按同一观察时段内相邻测回同方向进行比较。

表 3.2.2-4 测距的主要技术要求

平面控制网等级	测距仪精度等级	观测次数		总测回数	一测回读数较差(mm)	单程各测回较差(mm)	往返较差
		往	返				

二、三等	I	1	1	6	≤ 5	≤ 7	$\leq \sqrt{2}(a+b \cdot D)$
	II			8	≤ 10	≤ 15	
四等	I	1	1	4~6	≤ 5	≤ 7	
	II			4~8	≤ 10	≤ 15	
一级	II	1	—	2	≤ 10	≤ 15	
	III			4	≤ 20	≤ 30	
二级	II	1	—	1~2	≤ 10	≤ 15	
	III			2	≤ 20	≤ 30	

注：

- ①测回是指照准目标 1 次，读数 2~4 次的过程；
 ②根据具体情况，测边可采取不同时间段观测代替往返观测；
 ③a——标称精度中的固定误差（mm）；
 b——标称精度中的比例误差系数（mm/km）；
 D——测距长度（km）。

表 3.2.2-4 测距的主要技术要求

测距仪精度等级	每公里测距中误差 m_D （mm）	
I 级	$m_D \leq 5$	$m_D = \pm (a+b \cdot D)$
II 级	$5 < m_D \leq 10$	
III 级	$10 < m_D \leq 20$	

注：表中符号意义同前。

2) 三角网平差一般按角度以条件观测平差为主。平差计算结束后，验算精度应符合表 3.2.2-2 的规定。

(1) 三角网测角中误差按式 (3.2.2-1) 计算：

$$m_\beta = \sqrt{\frac{(WW)}{3n}} \quad (3.2.2-1)$$

式中： m_β ——测角中误差（″）；

W——三角形闭合差（″）；

n——三角形的个数。

(2) 测边单位权中误差按式 (3.2.2-2) 计算：

$$\mu = \sqrt{\frac{(Pdd)}{2n}} \quad (3.2.2-2)$$

式中： μ ——测边单位权中误差；

d——各边往、返距离的较差（mm），应不超过按仪器标称精度的极限值（2 倍）；

n——测距的边数；

P——各边距离测量的先验权，其值为 $1/\delta_D^2$ ， δ_D 为测距的先验中误差，可按测距仪的标称精度计算。

(3) 任一边的实际测距中误差按式 (3.2.2-3) 计算：

$$m_{Di} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_i}} \quad (3.2.2-3)$$

式中： m_{Di} ——第 i 边的实际测距中误差（mm）；

P_i ——第 i 边距离测量的先验权；

μ ——意义同前。

当网中的边长相差不大时，可按式（3.2.2-4）计算平均测距中误差：

$$m_D = \sqrt{\frac{(dd)}{2n}} \quad (3.2.2-4)$$

式中： m_D ——平均测距中误差（mm）。

3 桥位测量的精度要求见表 3.2.2-6。

表 3.2.2-4 测距的主要技术要求

测量等级	桥轴线相对中误差
二等	1/130000
三等	1/70000
四等	1/40000
一级	1/20000
二级	1/1000

注：对特殊的桥梁结构，应根据结构特点确定桥轴线控制测量的等级与精度。

4GPS 测量控制网的设置精度和作业方法应符合《公路全球定位系统（GPS）测量规范》（JTJ066）的规定。

控制网相邻点间弦长标准差按式（3.2.2-5）确定：

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bd)^2} \quad (3.2.2-5)$$

式中： σ ——弦长标准差（mm）；

a、b、d 见表 3.2.2-7。

表 3.2.2-7GPS 控制网的主要技术指标

级别	每对相邻点 平均距离 d (km)	固定误差 a (mm)	比例误差 b (mm/km)	最弱相邻点点位 中误差 m (mm)
一级	4.0	5	1	10
二级	2.0	5	2	10
三级	1.0	5	2	10

注：各级 GPS 控制网每对相邻点间最小距离不应小于平均距离的 1/2，最大距离不宜大于平均距离的 2 倍。

5 高程控制测量

1) 水准测量等级的确定应符合下列要求：2000m 以上的特大桥一般为三等，1000~2000m 的特大桥为四等，1000m 以下的桥梁为五等。水准测的等级划分及主要技术要求见表 3.2.2-8。

表 3.2.2-8 水准测量的主要技术要求

等级	每公里高差中数中误差 (mm)		水准仪的型号	水准尺	观测次数		往返较差、附和或环线闭合差 (mm)
	偶然中误差 (M_{Δ})	全中误差 M_W			与已知点联测	附和或环线	
二等	± 1	± 2	DS ₁	因瓦	往返各一次	往返各一次	$\pm 4\sqrt{L}$
三等	± 3	± 6	DS ₁	因瓦	往返各一次	往一次	$\pm 12\sqrt{L}$
			DS ₃	双面		往返各一次	
四等	± 5	± 10	DS ₃	双面	往返各一次	往一次	$\pm 20\sqrt{L}$
五等	± 8	± 16	DS ₃	单面	往返各一次	往一次	$\pm 30\sqrt{L}$

注：L 为往返测段、附和或环线的水准路线长度 (km)。

2) 水准测量精度计算应符合表 3.2.2-8 的规定。

(1) 高差偶然中误差 M_{Δ} 按式 (3.2.2-6) 计算：

$$M_{\Delta} = \sqrt{\left(\frac{1}{4n}\right) \left(\frac{\Delta\Delta}{L}\right)} \quad (3.2.2-6)$$

式中： M_{Δ} ——高差偶然中误差 (mm)；

Δ ——水准路线测段往返高差不符值 (mm)；

L ——水准测段长度 (km)；

n ——往返测的水准路线测段数。

(2) 高差全中误差 M_W 按式 (3.2.2-7) 计算：

$$M_W = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \left(\frac{WW}{L}\right)} \quad (3.2.2-7)$$

式中： M_W ——高差全中误差 (mm)；

W ——闭合差 (mm)；

L ——计算各闭合差时相应的路线长度 (km)；

N ——附和路线或闭合路线环的个数。

当二、三等水准测量与国家水准点附和时，应进行正常水准面不平行修正。

3) 特大、大、中桥施工时设立的临时水准点，高程偏差 (Δh) 不得超过按式 (3.2.2-8) 计算的值：

$$\Delta h = \pm 20\sqrt{L} \quad (\text{mm}) \quad (3.2.2-8)$$

式中： L ——水准点间距离 (km)。

对单跨跨径 $\geq 40\text{m}$ 的 T 形刚构、连续梁、斜拉桥等的偏差 (Δh) 不得超过按式(3.2.2-9)计算的值：

$$\Delta h_1 = \pm 10\sqrt{L} \quad (\text{mm}) \quad (3.2.2-9)$$

式中： L ——水准点间距离(km)。

在山丘区，当平均每公里单程测站多于 25 站时，高程偏差(Δh)不得超过按式(3. 2. 2-10)计算的值：

$$\Delta h_2 = \pm 4\sqrt{n} \quad (\text{mm}) \quad (3.2.2-9)$$

式中： n ——水准点间单程测站数。

高程偏差在允许值以内时,取平均值为测段间高差,超过允许偏差时应重测。
4)当水准路线跨越江河(或湖塘、宽沟、洼地、山谷等)时,应采用跨河水准测量方法校测。跨河水准测量方法可按照《公路勘测规范》(JTJ061)执行。

4 明挖地基

4.1 基 坑

4.1.1 一般规定

1 基坑顶面应设置防止地面水流入基坑的设施,基坑顶有动荷载时,坑顶边与动荷载间应留有不小于 1m 宽的护道,如动荷载过大宜增宽护道。如工程地质和水文地质不良,应采取加固措施。

2 基坑坑壁坡度不易稳定并有地下水影响,或放坡开挖场地受到限制,或放坡开挖工程量大,应根据设计要求进行支护。设计无要求时,施工单位应结合实际情况选择适宜的支护方案。

4.1.2 不支护加固基坑坑壁的施工要求

1 基坑尺寸应满足施工要求。当基坑为渗水的土质基底,坑底尺寸应根据排水要求(包括排水沟、集水井、排水管网等)和基础模板设计所需基坑大小而定。一般基底应比基础的平面尺寸增宽 0.5~1.0m。当不设模板时,可按基础底的尺寸开挖基坑。

2 基坑坑壁坡度应按地质条件、基坑深度、施工方法等情况确定。当为无水基坑、且土层构造均匀时,基坑坑壁坡度可按表 4.1.2 确定。

表 4.1.2 基坑坑壁坡度

坑壁土类	坑壁坡度		
	坡顶无荷载	坡顶有静荷载	坡顶有动荷载
砂类土	1 : 1	1 : 1.25	1 : 1.5
卵石、砾类土	1 : 0.75	1 : 1	1 : 1.25
粉质土、粘质土	1 : 0.33	1 : 0.5	1 : 0.75
极软岩	1 : 0.25	1 : 0.33	1 : 0.67
软质岩	1 : 0	1 : 0.1	1 : 0.25
硬质岩	1 : 0	1 : 0	1 : 0

注: ①坑壁有不同土层时,基坑坑壁坡度可分层选用,并酌设平台;
②坑壁土类按照现行《公路土工试验规程》(JTJ051)划分;
③岩石单轴极限强度<5.5、5.5~30、>30 时,分别定为极软、软质、硬质岩;
④当基坑深度大于 5m 时,基坑坑壁坡度可适当放缓或加设平台。

3 如土的湿度有可能使坑壁不稳定而引起坍塌时,基坑坑壁坡度应缓于该湿度下的天然坡度。

4 当基坑有地下水时,地下水位以上部分可以放坡开挖;地下水位以下部分,若土质易坍塌或水位在基坑底以上较深时,应加固开挖。

4.1.3 喷射及锚杆加固基坑坑壁的施工要求

1 喷射或锚杆喷射加固基坑坑壁,应按设计要求,逐层开挖、逐层加固。

2 基坑开挖深度小于 10m 的较完整风化基岩,可直接喷射素混凝土。喷射前

应定距离埋设钢筋，以露出岩面的长度作为喷射厚度的标志。

3 当用锚杆挂网喷射混凝土支护、开挖基坑时，各层锚杆要求进入稳定层的长度和间距、钢筋的直径或钢绞线的束数，应符合设计要求。

4 坑壁上有明显出水点处，应设置导管排水。

5 喷射完成后，检查混凝土的平均厚度、强度，其值均不得小于设计要求，锚杆的平均抗拔力不小于设计值，最小拔力不小于设计值的 90%。混凝土喷射表面应平顺，钢筋和锚杆不外露。

4.2 围 堰

4.2.1 一般规定

1 围堰高度应高出施工期间可能出现的最高水位(包括浪高)0.5~0.7m。

2 围堰外形应考虑河流断面被压缩后，流速增大引起水流对围堰、河床的集中冲刷及影响通航、导流等因素，并应满足堰身强度和稳定的要求。

3 堰内平面尺寸应满足基础施工的需要。

4 围堰要求防水严密，减少渗漏。

4.2.2 土围堰

1 水深 1.5m 以内、水流流速 0.5m / s 以内，河床土质渗水较小时，可筑土围堰。

2 堰顶宽度可为 1~2m。当采用机械挖基时，应视机械的种类确定，但不宜小于 3m。堰外边坡迎水流冲刷的一侧，边坡坡度宜为 1:2~1:3，背水冲刷的一侧的边坡坡度可在 1:2 之内，堰内边坡宜为 1:1~1:1.5，内坡脚与基坑的距离根据河床土质及基坑开挖深度而定，但不得小于 1m。

3 筑堰材料宜用粘性土或砂夹粘土。填出水面之后应进行夯实。填土应自上游开始至下游合龙。

4 在筑堰之前，必须将堰底下河床底上的树根、石块及杂物清除干净。

5 因筑堰引起流速增大使堰外坡面有受冲刷的危险时，可在外坡面用草皮、柴排、片石、草袋或土工织物等加以防护。

4.2.3 土袋围堰

1 水深在 3m 以内，流速在 1.5m / s 以内，河床土质渗水性较小时，可筑土袋围堰。

2 围堰中心部分可填筑粘土及粘性土芯墙。堰外边坡为 1:0.5~1:1，堰内边坡为 1:0.2~1:0.5，坡脚与基坑顶边缘的距离和堰顶的宽度同 4.2.2 条。

3 堰底河床处理及堆码方向同 4.2.2 条。

4 堆码的土袋的上下层和内外层应相互错缝，尽量堆码密实平整。

4.2.4 钢板桩围堰

1 钢板桩围堰适用于各类土(包括强风化岩)的深水基坑。

2 钢板桩的机械性能和尺寸应符合规定要求。经过整修或焊接后的钢板桩，应用同类型的钢板桩进行锁口试验、检查。

3 钢板桩堆存、搬运、起吊时，应防止因自重而引起的变形及锁口损坏。

4 当起吊能力许可时，宜在打桩之前，将 2~3 块钢板桩拼为一组并夹牢。

5 施打钢板桩时，应注意如下事项：

1)在施打钢板桩前，应在围堰上下游一定距离及两岸陆地设置经纬仪观测点，用以控制围堰长、短边方向的钢板桩的施打定位。

- 2)施打前, 钢板桩的锁口应用止水材料捻缝, 以防漏水。
- 3)施打钢板桩必须备有导向设备, 以保证钢板桩的正确位置。
- 4)施打顺序按施工组织设计进行, 一般由上游分两头向下游合龙。施打时宜先将钢板桩逐根或逐组施打到稳定深度, 然后依次施打至设计深度。在垂直度有保证的条件下, 也可一次打到设计深度。
- 5)钢板桩可用锤击、振动、射水等方法下沉, 但在粘土中不宜使用射水下沉办法。
- 6)接长的钢板桩, 其相邻两钢板桩的接头位置应上下错开。
- 7)同一围堰内使用不同类型的钢板桩时, 宜将两种不同类型的钢板桩的各半块拼焊成一块异形钢板桩以便连结。
- 8)施打时, 应随时检查其位置是否正确, 桩身是否垂直, 不符合要求时应立即纠正或拔起重新施打。
- 6 拔桩前, 宜向堰内灌水使内外水位持平并从下游侧开始拔桩。拔桩时宜用射水、锤击等松动措施, 并应尽可能采用震动拔桩法。
- 7 拔出来的钢板桩应进行检修涂油, 堆码保存。

4.2.5 钢筋混凝土板桩围堰

- 1 钢筋混凝土板桩适用于粘性土、砂类土及碎石土类河床。
- 2 板桩断面应符合设计要求。板桩桩尖角度视土质坚硬程度而定。沉入砂砾层的板桩桩头, 应增设加劲钢筋或钢板。
- 3 钢筋混凝土板桩的制作, 应用刚度较大的模板, 榫口接缝应顺直、密合。如用中心射水下沉, 板桩预制时, 应留射水通道, 其余制作要点可参照第 5 章钢筋混凝土桩的制作。
- 4 钢筋混凝土板桩的插打、就位、位置的控制以及拔除, 可按照 4.2.4 条有关内容执行。

4.2.6 竹、铅丝笼围堰

- 1 竹、铅丝笼围堰适用于流速较大而水深在 1.5~4m 的情况。
- 2 竹、铅丝围堰制作应坚固, 可使用钢筋串联、螺栓连接以及铁丝捆扎等方法加固。
- 3 按照水深、流速、基坑大小及防渗要求, 可以用单层或双层竹、铅丝笼围堰, 单层时在围堰内填土袋, 在外侧堆土袋, 双层时在两层之间填土, 防止渗漏。竹、铅丝笼的宽度为水深的 1.0~1.5 倍。
- 4 竹、铅丝笼可用浮运、吊装或滑移就位, 就位后填石(装土)下沉, 在堰底外围堆土袋, 以防堰底渗漏。

4.2.7 套箱围堰

- 1 套箱围堰适用于埋置不深的水中基础。
- 2 无底套箱用木板、钢板或钢丝网水泥制作, 内部设木、钢料支撑。根据现场起吊、移运能力, 套箱可制成整体式或装配式。制作中应采取措施, 防止套箱接缝渗漏。
- 3 在下沉套箱前, 应按 4.2.2 条第 4 款清理河床。若套箱设置于岩层上时, 应整平岩面。如果基岩岩面倾斜, 将套箱底做成与岩面相同的倾斜度, 以增加套箱的稳定性并减少渗漏。

4.2.8 双壁钢围堰

- 1 双壁钢围堰应进行专门设计, 其强度、刚度及结构稳定性、锚锭系统、使用期等应满足施工要求。

2 双壁钢围堰适用于深水基础施工，围堰的尺寸及高度应根据基础尺寸及放样误差、墩位处河床标高、围堰下沉深度和施工期间可能出现的最高水位高程以及浪高等因素确定。

3 双壁间距应根据下沉需克服的水的浮力、土壤摩阻力、基底抗力而定。双壁钢围堰本身应分设多个对角的横向互不通水的隔水仓，以便在下沉过程中分仓对称灌水、砂砾石或混凝土。

4 双壁钢围堰的制作，应按设计要求在工厂施工，其分节分块的大小应按工地吊装、移运能力确定。

5 双壁钢围堰拼焊后应进行焊接质量检验及水密试验。

6 各节、块拼焊时，应按预先安排的顺序对称进行。

7 围堰浮运定位应符合本规范 7.3.3 条的规定。

8 围堰清基应符合设计要求，清基完成后，由潜水员逐片检查，合格后，方可浇注水下混凝土封底。封底要求按本规范第 7 章的规定进行。

9 围堰着床后的允许偏差应符合设计要求。设计无要求而又作为承台模板用时，其误差应符合模板的施工要求。

10 围堰拆除时，应采取措施防止撞击墩身。

4.3 挖基和排水

4.3.1 一般规定

1 挖基施工宜安排在枯水或少雨季节进行，开工前应做好计划和施工准备工作，开挖后应连续快速施工。

2 基础的轴线、边线位置及基底标高应精确测定，检查无误后方可施工。

3 在附近有其他结构物时，应有可靠的防护措施。

4 挖基废方应按指定的位置处治。

5 排水应不影响基坑安全，应不影响农田和周边环境。

6 基坑的回填应分层压实，施工要求应符合本规范 13.5.2 条的规定。

4.3.2 挖基

1 应避免超挖。如超挖，应将松动部分清除，其处理方案应报监理、设计单位批准。

2 挖至标高的土质基坑不得长期暴露、扰动或浸泡，并应及时检查基坑尺寸、高程、基底承载力，符合要求后，应立即进行基础施工。

3 排水困难或具有水下开挖基坑设备，可用水下挖基方法，但应保持基坑中的原有水位高程。

4.3.3 集水坑排水

基坑开挖中，在坑底基础范围之外设置集水坑并沿坑底周围开挖排水沟，使水流入集水坑内，排出坑外。集水坑宜设在上游，尺寸视渗水的情况而定。

排水设备的能力宜大于总渗水量的 1.5~2.0 倍。

4.3.4 井点降水

1 井点降水法适用于粉、细砂、地下水位较高、有承压水、挖基较深、坑壁不易稳定的土质基坑。井点类别的选择，宜按照土壤的渗透系数、要求降低水位深度以及工程特点而定，见表 4.3.4。在无砂的粘质土中不宜使用。

表 4.3.4 各种井点法的适用范围

井点类别	土壤渗透系数(m / d)	降低水位深度(m)	井点类别	土壤渗透系数(m / d)	降低水位深度(m)
一级轻型井点法	0.1~80	3~6	电渗井点法	<0.1	5~6
二级轻型井点法	0.1~80	6~9	管井井点法	20~200	3~5
喷射井点法	0.1~50	8~20	深井泵法	10~80	>15
射流泵井点法	0.1~50	<10			

注：①降低土层中地下水位时，应将滤水管埋设于透水性较大的土层中；

②井点管的下端滤水长度应考虑渗水土层的厚度，但不得小于 1m。

2 井管的成孔可根据土质分别用射水成孔、冲击钻机、旋转钻机及水压钻探机成孔。井点降水曲线至少应深于基底设计标高 0.5m。

3 井点的布置应随基坑形状与大小、土质、地下水位高低与流向、降水深度等要求而定。

4 应做好沉降及边坡位移观测，确保水位降低区域内建筑物的安全。必要时应采取防护措施。

4.3.5 帷幕法排水的要求

帷幕法是在基坑边线外设置一圈隔水幕，用以隔断水源，减少渗流量，防止流砂、突涌、管涌、潜蚀等地下水的作用。方法有深层搅拌桩隔水墙、压力注浆、高压喷射注浆、冻结帷幕法等，采用时均应进行具体设计并符合有关规定。

4.4 地基处理

4.4.1 一般规定

1 地基处理应根据地基土的种类、强度和密度，按照设计要求，结合现场情况，采取相应的处理方法。

2 地基处理的范围至少应宽出基础之外 0.5m。

3 符合设计要求的细粒土、特殊土基底，修整妥善后，应尽快修建基础，不得使基底浸水和长期暴露。

4.4.2 细粒土及特殊土地基的处理

属细粒土或特殊土类的饱和软弱粘土层、粉砂土层及湿陷性黄土、膨胀土和粘土及季节性冻土，强度低，稳定性差，处理时应视该类土的处治深度、含水量等情况，按基底的要求采取固结处理，以满足设计要求。

4.4.3 粗粒土和巨粒土地基的处理

对于强度和稳定性满足设计要求的粗粒土及巨粒土基底，应将其承重面平整夯实，其范围应满足基础的要求。

基底有水不能彻底排干时，应将水引至排水沟，然后在其上修筑基础。

4.4.4 岩层基底的处理

1 风化的岩层，应挖至满足地基承载力要求或其他方面的要求为止。

2 在未风化的岩层上修建基础前，应先将淤泥、苔藓、松动的石块清除干净，并洗净岩石。

3 坚硬的倾斜岩层，应将岩层面凿平。倾斜度较大，无法凿平时，则应凿成

多级台阶。台阶的宽度宜不小于 0.3m。

4.4.5 多年冻土地基的处理

1 基础不应置于季节冻融土层上，并不得直接与冻土接触。

2 基础的基底修筑于多年冻土层(即永冻土)上时，基底之上应设置隔温层或保温层材料，且铺筑宽度应在基础外缘加宽 1m。

3 按保持冻结的原则设计的明挖基础，其多年平均地温等于或高于-3℃时，应于冬季施工；多年平均地温低于-3℃时，可在其他季节施工，但应避开高温季节，并按下列规定处理：

1)严禁地表水流人基坑；

2)及时排除季节冻层内的地下水和冻土本身的融化水；

3)必须搭设遮阳棚和防雨棚；

4)施工前做好充分准备，组织快速施工。做好的基础应立即回填封闭，不宜间歇。必须间歇时，应以草袋、棉絮等加以覆盖，防止热量侵入。

4 施工时，明水应在距坑顶 10m 之外修排水沟。水沟之水，应引于远离坑顶宣泄并及时排除融化水。

4.4.6 溶洞地基的处理

1 影响基底稳定的溶洞，不得堵塞溶洞水路。

2 干溶洞可用砂砾石、碎石、干砌或浆砌片石及灰土等回填密实。

3 基底干溶洞较大，回填处理有困难时，可采用桩基处理，桩基应进行设计，并经有关单位批准。

4.4.7 泉眼地基的处理

1 可将有螺口的钢管紧紧打入泉眼，盖上螺帽并拧紧，阻止泉水流出；或向泉眼内压注速凝的水泥砂浆，再打入木塞堵眼。

2 堵眼有困难时，可采用管子塞入泉眼，将水引流至集水坑排出或在基底下设盲沟引流至集水坑排出，待基础圬工完成后，向盲沟压注水泥浆堵塞。采用引流排水时，应注意防止砂土流失，引起基底沉陷。

3 基底泉眼，不论采用何种方法处理，都不应使基底饱水。

4.4.8 当地基需要加固时，应根据设计要求及有关规范处理。

4.5 地基检验

4.5.1 检验内容

检查基底平面位置、尺寸大小、基底标高；

检查基底地质情况和承载力是否与设计资料相符；

检查基底处理和排水情况是否符合本规范要求；

检查施工记录及有关试验资料等。

4.5.2 检验方法

按桥涵大小、地基土质复杂(如溶洞、断层、软弱夹层、易溶岩等)情况及结构对地基有无特殊要求，可采用以下检查方法：

1 小桥涵的地基检验：可采用直观或触探方法，必要时可进行土质试验。

2 大、中桥和地基土质复杂、结构对地基有特殊要求的地基检验，一般采用触探和钻探(钻深至少 4m)取样做土工试验，或按设计的特殊要求进行荷载试验。

3 特大桥按设计要求处理。

4.5.3 基底平面位置和标高允许偏差规定如下：

- 1 平面周线位置不小于设计要求。
- 2 基底标高：土质 $\pm 50\text{mm}$ ；
石质 $+50\text{mm}$ ， -200mm 。

5 沉入桩基础

5.1 一般规定

- 5.1.1 沉桩前应具备工程地质钻探资料、水文资料、打桩资料。
- 5.1.2 桩基础轴线的定位点应设置在不受沉桩影响处，允许偏差应在设计容许范围内。
- 5.1.3 沉桩顺序一般由一端向另一端连续进行，当桩基平面尺寸较大或桩距较小时，宜由中间向两端或四周进行。如桩埋置有深浅，宜先沉深的，后沉浅的。在斜坡地带，应先沉坡顶的，后沉坡脚的。
- 5.1.4 贯入度应通过试桩或做沉桩试验后与监理、设计单位研究确定。
- 5.1.5 施工过程中如发现地质情况与勘测报告有出入时，应根据具体情况进行补充钻探。
- 5.1.6 有关承台的施工要求可按本规范第 6 章 6.7 节的规定执行。

5.2 试桩与基桩承载力

- 5.2.1 试桩试验的一般规定见附录 B.1。沉桩工程开工前，如需做试桩确定沉桩工艺和检验桩的承载力时，试验项目包括：
 - (1) 工艺试验和冲击试验，见附录 B.2。
 - (2) 单桩承载力试验。若采用静载试验，可分静压、静拔、静推试验。
- 5.2.2 除一般的中、小桥沉桩工程有可靠的依据和实践经验可不进行试桩外，其他沉桩工程在施工前，应先沉试桩，以确定沉桩工艺和检验桩的承载力。
- 5.2.3 特大桥和地质复杂的大、中桥，应采用静压试验方法确定单桩容许承载力。一般的大、中桥的试桩，可采用静载试验法，在条件适宜时，亦可采用可靠的动力检测法或静力触探法。锤击沉入的中、小桥试桩，在缺乏上述试验条件时，可结合具体情况，选用适当的动力公式计算单桩容许承载力。确定的单桩容许承载力如不能满足设计要求时，应报有关部门研究处理。
- 5.2.4 试桩的单桩容许承载力可按下列方法确定：
 - 1 单桩抗压容许承载力：
 - 1) 采用静压试验得到的极限荷载除以设计规定的安全系数后，作为单桩容许承载力。若结构上要求限制桩顶沉降值的基桩，可在静压试验曲线中，按设计要求的允许沉降值(应适当考虑长期荷载效应)取其对应的荷载作为单桩抗压容许承载力。静压试验方法见附录 B.3。
 - 2) 采用可靠的动测法，检测单桩的抗压容许承载力。
 - 3) 根据锤击沉桩的贯入度，选用适当的动力公式计算单桩抗压容许承载力。
 - 2 单桩抗拔容许承载力：静拔试验方法见附录 B.4。
 - 3 单桩抗推容许承载力：静推试验方法见附录 B.5。
- 5.2.5 施工中如对基桩桩身质量或承载力发生疑问时，可选用可靠的无破损检验方法或按附录 B.3 方法进行检验。

5.3 桩的制作要求

5.3.1 钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩的制作

1 钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩的模板制作和装卸应符合本规范第 9 章的有关要求。

2 制作钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩的钢筋或预应力筋的技术要求，除应符合本规范第 10 章、第 12 章有关规定外，尚应符合下列要求：

1)钢筋混凝土桩的主筋，宜采用整根钢筋，如须接长时，宜采用对接焊接或机械连接。

2)箍筋或螺旋筋必须箍紧纵筋，与纵筋交接处用点焊焊接或用铁丝扎结牢固。

3)预应力混凝土桩的预应力筋采用冷拉钢筋，如须焊接时，应在冷拉前采用对接焊接。

4)使用法兰盘连接的混凝土桩，法兰盘应对准位置连接在钢筋或预应力筋上。先张法预应力混凝土桩采用法兰盘连接时，应先将法兰盘连接在预应力筋上，然后进行张拉。

5)桩的钢筋骨架(包括预应力钢筋骨架)的允许偏差应符合表 5.3.1-1 的规定。

表 5.3.1-1 桩的钢筋骨架的允许偏差

项目	允许偏差(mm)
纵钢筋间距	±5
箍筋间距或螺旋筋螺距	0, -20
纵钢筋保护层	±5
桩顶钢筋网片位置	±5
纵钢筋底尖端的位置	±5

3 预制桩的混凝土材料、拌制、运输和浇筑，除应按本规范第 11 章、第 15 章有关规定执行外，还应符合下列要求：

1)预制混凝土桩的粗骨料宜采用碎石。

2)每根或每节桩的混凝土必须连续浇筑，不得中断，不得留施工缝。

3)桩的混凝土浇筑完毕后，应在桩上标明编号、灌制日期和吊点位置，并填写制桩记录。

4 预制钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩的制作偏差应符合表 5.3.1-2 的规定。

表 5.3.1-2 预制钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩的允许偏差

项目		允许偏差(一)
混凝土强度(MPa)		符合设计要求
长度		±50
横截面	横截面边长	±5
	空心桩空心(管心)直径	±5
	空心(管心或管桩)中心对桩中心	±5

桩尖对桩纵轴线	10
桩轴线的弯曲矢高	桩长的 0.1% 且 ≤ 20
桩顶面与桩纵轴线的倾斜偏差	1% 桩径或边长, 且不大于 3
接桩的接头平面与桩轴平面垂直度	0.5%

5 预制钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩的制作质量除按表 5.3.2-1 和表 5.3.2-2 要求外, 尚应符合下列规定:

1)钢筋混凝土桩的收缩裂缝宽度不得超过 0.2mm, 深度不得超过 20mm; 裂缝长度不得超过 1/2 桩宽。

2)预应力混凝土桩桩身不得有裂缝。

3)桩表面应无蜂窝、麻面。若因特殊情况出现表面蜂窝时, 蜂窝深度不得超过 5/mm, 每面蜂窝面积不得超过该面总面积的 0.5%。

4)有棱角的桩, 棱角碰损深度应在 5mm 以内且每 10m 长的边棱角上只有一处破损, 在一根桩上边棱破损总长度不得大于 500mm。

5)预制桩出场前应进行检验, 出场时应具备出场合格检验记录。

6)预制桩的吊运和堆存应符合第 15 章的有关规定。

5.3.2 钢管桩制作

1 制作钢管桩的材料应符合设计要求, 并有出厂合格证明和试验报告。

2 钢管桩的分段长度应满足桩架的有效高度、制作场地条件、运输与装卸能力。

3 钢管桩可采用成品钢管或自制钢管。焊接钢管的制作工艺应符合有关规定。

4 焊接管的管节制作偏差应符合下列要求:

1)管节外形尺寸的允许偏差, 应符合表 5.3.2-1 的规定。

表 5.3.2-1 管节外形尺寸的允许偏差

偏差部位	允许偏差(mm)
周长	$\pm 0.5\%$ 周长, 且 ≤ 10
管端椭圆度	$0.5\% D$, 且 ≤ 5
管端平整度	2
管端平面倾斜	小于 $0.5\% D$, 且 ≤ 4

注: D 为管外径。

2)管节对口拼装时, 相邻管节的焊缝必须错开 1/8 周长以上。相邻管节的管径偏差应符合表 5.3.2—2 的规定。

表 5.3.2-2 相邻管径允许偏差

管径(mm)	相邻管节的管径偏差(mm)
≤ 700	≤ 2
> 700	≤ 3

3)管节对口拼接时, 相邻管节对口的板边高差应符合表 5.3.2-3 的规定。

表 5.3.2-3 相邻管节对口板边的允许偏差

板厚 δ (mm)	相邻管节对口板边高差凸(一)
$\delta \leq 10$	<1.0
$10 < \delta \leq 20$	<2.0
$\delta > 20$	$< \delta / 10$, 且 ≤ 3

5 钢管桩焊接应符合设计要求, 设计无要求时, 除应符合本规范第 17 章有关规定外, 还应注意下列事项:

- 1) 焊接前, 应将焊缝上下 30mm 范围内的铁锈、油污、水气和杂物清除干净。
- 2) 将焊丝、焊条、焊剂焊前应烘干。
- 3) 焊接定位点和施焊应对称进行。露天焊接时, 应考虑由于阳光照射所造成的桩身弯曲。
- 4) 钢管桩应采用多层焊, 焊完每层焊缝后, 应及时清除焊渣, 并做外观检查, 每层焊缝的接头应错开。
- 5) 管节拼接所用辅助工具(如夹具等)不应妨碍管节焊接时的自由伸缩。
- 6) 当气温低于 -10°C 时不宜焊接。
- 7) 焊缝处外观允许偏差应符合表 5.3.2-4 的规定。

表 5.3.2-4 焊缝外观允许偏差

缺陷名称	允许偏差
咬边	深度不超过 0.5mm, 累计总长度不超过焊缝长度的 10%
超高	3mm
表面裂缝、未熔合、未焊透	不允许
弧坑、表面气孔、夹渣	不允许

6 钢管桩成品外形尺寸的允许偏差应符合表 5.3.2-5 的规定。

表 5.3.2-5 钢管桩外形尺寸的允许偏差

项目	允许偏差(一)
桩长偏差	+3000
桩纵轴线的弯曲矢高	桩长的 0.1% 且 ≤ 30

7 钢管桩防腐应按设计要求和有关规定进行。

8 钢管桩应按不同的规格分别堆存, 堆放形式和层数应安全可靠, 避免产生纵向变形和局部压曲变形。长期堆存时, 应采取防腐蚀等保护措施。

9 钢管桩在起吊、运输和堆存过程中, 应尽量避免由于碰撞、摩擦等原因造成涂层破损、管身变形和损伤。

10 钢管桩出厂应具备合格证明书。

5.4 沉 桩

5.4.1 桩的连接

1 在一个墩、台桩基中,同一水平面内的桩接头数不得超过基桩总数的 $1/4$,但采用法兰盘按等强度设计的接头,可不受此限制。

2 采用法兰接桩,应符合下列规定:

1) 法兰结合处,可加垫沥青纸等材料,如法兰有不密贴处,应用薄钢片塞紧。

2) 法兰螺栓应逐个拧紧,并加设弹簧垫圈或加焊,防止锤击时螺栓松动。

3 桩的连接应按设计要求或有关规定进行。

5.4.2 锤击沉桩

1 预制钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩在锤击沉桩前桩身混凝土强度应达到设计要求。

2 桩锤的选择应根据地质条件、桩形、土的密实程度、单桩轴向承载力及现有的施工条件等确定。

3 开始沉桩时,宜采用较低落距,桩锤、替打、送桩和桩宜保持在同一轴线上。在锤击过程中,应采用重锤低击。

4 锤击沉桩时,应采用与锤、桩相适应的、适当弹性和厚度的锤垫和桩垫,并在锤击过程中及时修理和更换,避免打坏桩。

5 锤击沉桩应考虑锤击振动对新浇筑混凝土的影响,当混凝土强度未达到 5MPa,距新浇筑的混凝土 30m 范围内,不得进行沉桩。

6 环境温度在 -10°C 以下时,应尽量避免进行钢管桩的锤击沉桩工作。

7 沉桩过程中,若遇到贯入度剧变,桩身突然发生倾斜、位移或有严重回弹,桩顶或桩身出现严重裂缝、破碎等情况时,应暂停沉桩,分析原因,采取有效措施。

8 斜坡上沉桩,应掌握桩的外移规律,并根据土质、坡度、水深、水流等情况,斜桩尚应考虑自重的影响,结合施工实践经验,桩身宜向岸移一定距离下桩,以使沉桩后桩位符合设计要求。

9 锤击沉桩应考虑锤击振动和挤土等对岸坡稳定或临近建筑物的影响,可根据具体情况采取措施并对岸坡和邻近建筑物位移和沉降等进行观察,及时记录,如有异常变化,应停止沉桩并研究处理。

10 沉桩时,以控制桩尖设计标高为主。当桩尖已达设计标高,而贯入度仍较大时,应继续锤击,使贯入度接近控制贯入度。

贯入度已达到控制贯入度,而桩端标高未达到设计标高时,应继续锤击 100mm 左右(或锤击 30~50 击),如无异常变化时,即可停锤。若桩尖标高比设计标高高得多时,应与设计单位和监理研究确定。

5.4.3 在砂土地基中锤击沉桩困难时,可采用水冲锤击沉桩并应符合下列要求:

1 水冲锤击沉桩,应根据土质情况随时调节冲水压力,控制沉桩速度。

2 为保证桩的承载力,当桩端沉至距设计标高为下列距离时,应停止冲水,将水压减至 $0\sim 0.1\text{MPa}$,并改用锤击。

(1) 桩径或边长 $\leq 600\text{mm}$ 时,为 1.5 倍桩径或边长;

(2) 桩径或边长 $> 600\text{mm}$ 时,为 1.0 倍桩径或边长。

3 用水冲锤击沉桩后,应及时与邻桩或固定结构夹紧,防止倾斜位移。

5.4.4 水上沉桩

1 在浅水中沉桩,一般可设置施工便桥、便道等方法进行施工;在深水或有潮汐影响的河流中沉桩,可用固定平台、浮式平台等方法进行施工,并应设置导向设施,防止桩发生偏移和倾斜。如桩的自由长度较大,应适当增设支点。

- 2 用固定平台沉桩的注意事项同本规范 5.4.2 条和 5.4.3 条的规定。
- 3 用打桩船沉桩可参照现行《港口工程桩基规范》(JTJ254)的规定执行。

5.5 沉桩质量标准

预制混凝土桩(钢桩)的沉桩允许偏差应符合表 5.5 的规定。

表 5.5 沉桩施工要求

项目		允许偏差(mm)
桩中轴线偏斜率	直桩	1 %
	斜桩	$\pm 0.15 \tan \theta$
单排桩桩位	垂直帽梁轴线	40
	沿帽梁轴线	50
群桩桩位	边桩	$d / 4$
	中桩	$d / 2$ 且 ≤ 250

注：①d 为桩的直径或短边；

②深水中采用打桩船沉桩的允许偏差，按设计要求办理

③倾斜角"为桩纵轴线与垂直线的夹角。

6 灌注桩基础

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于钻、挖孔灌注桩施工。

6.1.2 灌注桩施工应具备工程地质资料和水文地质资料，水、水泥、砂、石、钢筋等原材料及制品的质量检验报告。

6.1.3 灌注桩施工时，应按有关规定制定安全生产、保护环境等措施。

6.1.4 灌注桩施工应有完善的施工记录。

6.2 钻孔灌注桩

6.2.1 施工平台与护筒

1 施工平台

1)场地为浅水时，宜采用筑岛法施工。筑岛的技术要求应符合本规范第 7 章的有关规定。筑岛面积应按钻孔方法、机具大小等要求决定；高度应高于最高施工水位 0.5~1.0m。

2)场地为深水时，可采用钢管桩施工平台、双壁钢围堰平台等固定式平台，也可采用浮式施工平台。平台须牢靠稳定，能承受工作时所有静、动荷载。平台的设计与施工可按本规范的有关规定执行。

(1)钢管桩施工平台施工质量要求：

①钢管桩倾斜率在 1 % 以内；

②位置偏差在 300mm 以内；

③平台必须平整，各联接处要牢固，钢管桩周围需要抛砂包，并定期测量钢管桩周围河床面标高，冲刷是否超过允许程度；

④严禁船只碰撞，夜间开启平台首尾示警灯，设置救生圈以保证人身安全。

(2)双壁钢围堰平台，应符合本规范 4.2.8 条的规定。

2 护筒设置

1)护筒内径宜比桩径大 200~400mm。

2)护筒中心竖直线应与桩中心线重合，除设计另有规定外，平面允许误差为 50mm，竖直线倾斜不大于 1%，干处可实测定位，水域可依靠导向架定位。

3)旱地、筑岛处护筒可采用挖坑埋设法，护筒底部和四周所填粘质土必须分层夯实。

4)水域护筒设置，应严格注意平面位置、竖向倾斜和两节护筒的连接质量均需符合上述要求。沉入时可采用压重、振动、锤击并辅以筒内除土的方法。

5)护筒高度宜高出地面 0.3m 或水面 1.0~2.0m。当钻孔内有承压水时，应高于稳定后的承压水位 2.0m 以上。若承压水位不稳定或稳定后承压水位高出地下水位很多，应先做试桩，鉴定在此类地区采用钻孔灌注桩基的可行性。当处于潮水影响地区时，应高于最高施工水位 1.5~2.0m，并应采用稳定护筒内水头的措施。

6)护筒埋置深度应根据设计要求或桩位的水文地质情况确定，一般情况埋置深度宜为 2~4m，特殊情况应加深以保证钻孔和灌注混凝土的顺利进行。

有冲刷影响的河床，应沉入局部冲刷线以下不小于 1.0~1.5m。

7)护筒连接处要求筒内无突出物，应耐拉、压，不漏水。

6.2.2 泥浆的调制和使用技术要求

1 钻孔泥浆一般由水、粘土(或膨润土)和添加剂按适当配合比配制而成，其性能指标可参照表 6.2.2 选用。

表 6.2.2 泥浆性能指标选择

钻孔方法	地层情况	泥浆性能指标							
		相对密度	粘度 (Pa·s)	含砂率 (%)	胶体率 (%)	失水率 (ml / 30min)	泥皮厚 (mm/30min)	静切力 (Pa)	酸碱度 (pH)
正循环	一般地层	1.05~1.20	16~22	8~4	≥96	≤25	≤2	1.0~2.25	8~10
	易坍地层	1.20~1.45	19~28	8~4	≥96	≤15	≤2	3~5	8~10
	一般地层	1.02~1.06	16~20	≤4	≥95	≤20	≤3	1~2.5	8~10
	易坍地层	1.06~1.10	18~28	≤4	≥95	≤20	≤3	1~2.5	8~10
反循环	一般地层	1.10~1.15	20~35	≤4	≥95	≤20	≤3	1~2.5	8~10
	易坍地层	1.10~1.20	20~35	≤4	≥95	≤20	≤3	1~2.5	8~10
	卵石土	1.10~1.15	20~35	≤4	≥95	≤20	≤3	1~2.5	8~10
	卵石土	1.10~1.15	20~35	≤4	≥95	≤20	≤3	1~2.5	8~10
推钻冲抓	一般地层	1.10~1.20	18~24	≤4	≥95	≤	≤3	1~2.5	8~11
冲击	易坍地层	1.20~1.40	22~30	≤4	≥95	≤	≤3	3~5	8~11

注：①地下水位高或其流速大时，指标取高限，反之取低限；

②地质状态较好，孔径或孔深较小的取低限，反之取高限；

③在不易坍塌的粘质土层中，使用推钻、冲抓、反循环回转钻进时，可用清水提高水头($\geq 2\text{m}$)维护孔壁；

④若当地缺乏优良粘质土，远运膨润土亦很困难，调制不出合格泥浆时，可掺用添加剂改善泥浆性能，各种添加剂掺量可按附录 C—1 选取；

⑤泥浆的各种性能指标测定方法见附录 C—2。

2 直径大于 2.5m 的大直径钻孔灌注桩对泥浆的要求较高，泥浆的选择应根据钻孔的工程地质情况、孔位、钻机性能、泥浆材料条件等确定。在地质复杂，覆盖层较厚，护筒下沉不到岩层的情况下，宜使用丙烯酰胺即 PHP 泥浆，此泥浆的特点是不分散、低固相、高粘度。

6.3 钻孔施工

6.3.1 一般要求

1 钻机就位前，应对钻孔各项准备工作进行检查。

2 钻孔时，应按设计资料绘制的地质剖面图，选用适当的钻机和泥浆。

3 钻机安装后的底座和顶端应平稳，在钻进中不应产生位移或沉陷，否则应及时处理。

4 钻孔作业应分班连续进行，填写的钻孔施工记录，交接班时应交待钻进情况及下一班应注意事项。应经常对钻孔泥浆进行检测和试验，不合要求时，应随时改正。应经常注意地层变化，在地层变化处均应捞取渣样，判明后记入记录表中并与地质剖面图核对。

6.3.2 钻孔灌注桩钻进的注意事项

1 无论采用何种方法钻孔，开孔的孔位必须准确。开钻时均应慢速钻进，待导向部位或钻头全部进入地层后，方可加速钻进。

2 采用正、反循环钻孔(含潜水钻)均应采用减压钻进，即钻机的主吊钩始终要承受部分钻具的重力，而孔底承受的钻压不超过钻具重力之和(扣除浮力)的 80%。

3 用全护筒法钻进时，为使钻机安装平正，压进的首节护筒必须竖直。钻孔开始后应随时检测护筒水平位置和竖直线，如发现偏移，应将护筒拔出，调整后重新压入钻进。

4 在钻孔排渣、提钻头除土或因故停钻时，应保持孔内具有规定的水位和要求的泥浆相对密度和粘度。处理孔内事故或因故停钻，必须将钻头提出孔外。

5 变截面桩的施工

全断面一次成孔或再分级扩孔钻进，分级扩孔时变截面桩开始用大直径钻头，钻到变截面处换小直径钻头钻进，达到设计高程后，再换钻头扩孔到设计直径，依次作业 2~3 次直到完成符合设计要求的变截面桩。钻孔时为保持孔壁稳定，覆盖层进尺不能过快，宜采用减压吊钻钻进。

6.4 清 孔

6.4.1 清孔要求

1 钻孔深度达到设计标高后，应对孔深、孔径进行检查，符合表 6.8.3 的要

求后方可清孔。

2 清孔方法应根据设计要求、钻孔方法、机具设备条件和地层情况决定。

3 在吊入钢筋骨架后，灌注水下混凝土之前，应再次检查孔内泥浆性能指标和孔底沉淀厚度，如超过规定，应进行第二次清孔，符合要求后方可灌注水下混凝土。

6.4.2 清孔时应注意事项

1 清孔方法有换浆、抽浆、掏渣、空压机喷射、砂浆置换等，可根据具体情况选择使用。

2 不论采用何种清孔方法，在清孔排渣时，必须注意保持孔内水头，防止坍孔。

3 无论采用何种方法清孔，清孔后应从孔底提出泥浆试样，进行性能指标试验，试验结果应符合表 6.8.3 的规定。灌注水下混凝土前，孔底沉淀土厚度应符合表 6.8.3 的规定。

4 不得用加深钻孔深度的方式代替清孔。

6.5 灌注水下混凝土

6.5.1 钢筋骨架的制作、运输及吊装就位的技术要求

1 钢筋骨架的制作应符合设计要求和本规范第 10 章的有关规定。

2 长桩骨架宜分段制作，分段长度应根据吊装条件确定，应确保不变形，接头应错开。

3 应在骨架外侧设置控制保护层厚度的垫块，其间距竖向为 2m，横向圆周不得少于 4 处。骨架顶端应设置吊环。

4 骨架入孔一般用吊机，无吊机时，可采用钻机钻架、灌注塔架。起吊应按骨架长度的编号入孔。

5 钢筋骨架的制作和吊放的允许偏差为：主筋间距 $\pm 10\text{mm}$ ；箍筋间距 $\pm 20\text{mm}$ ；骨架外径 $\pm 10\text{mm}$ ；骨架倾斜度 $\pm 0.5\%$ ；骨架保护层厚度 $\pm 20\text{mm}$ ；骨架中心平面位置 20mm ；骨架顶端高程 $+20\text{mm}$ ，骨架底面高程 $\pm 50\text{mm}$ 。

6 变截面桩钢筋骨架吊放按设计要求施工。

6.5.2 灌注水下混凝土时应配备的主要设备及备用设备

1 灌注水下混凝土的搅拌机能力，应能满足桩孔在规定时间内灌注完毕。灌注时间不得长于首批混凝土初凝时间。若估计灌注时间长于首批混凝土初凝时间，则应掺入缓凝剂。

2 水下灌注混凝土的泵送机具宜采用混凝土泵，距离稍远的宜采用混凝土搅拌运输车。采用普通汽车运输时，运输容器应严密坚实，不漏浆、不吸水，便于装卸，混凝土不应离析。其途中运输与灌注混凝土温度有关时，可参照本规范第 11 章、第 14 章有关规定执行。

3 水下混凝土一般用钢导管灌注，导管内径为 200~350mm，视桩径大小而定。导管使用前应进行水密承压和接头抗拉试验，严禁用压气试压。进行水密试验的水压不应小于孔内水深 1.3 倍的压力，也不应小于导管壁和焊缝可能承受灌注混凝土时最大内压力 P 的 1.3 倍，P 可按式 (6.5.2) 计算：

$$P = \gamma_c h_c - \gamma_w H_w \quad (6.5.2)$$

式中：P——导管可能受到的最大内压力(kPa)；

γ_c ——混凝土拌和物的重度(取 24kN / m³)；

h_c ——导管内混凝土柱最大高度(m)，以导管全长或预计的最大高度计；

γ_w ——井孔内水或泥浆的重度(kN / m³)；

H_w ——井孔内水或泥浆的深度(m)。

6.5.3 水下混凝土配制

1 可采用火山灰水泥、粉煤灰水泥、普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，使用矿渣水泥时应采取防离析措施。水泥的初凝时间不宜早于 2.5h，水泥的强度等级不宜低于 42.5。

2 粗集料宜优先选用卵石，如采用碎石宜适当增加混凝土配合比的含砂率。集料的最大粒径不应大于导管内径的 1 / 6~1 / 8 和钢筋最小净距的 1 / 4，同时不应大于 40mm。

3 细集料宜采用级配良好的中砂。

4 混凝土配合比的含砂率宜采用 0.4~0.5，水灰比宜采用 0.5—0.6。有试验依据时含砂率和水灰比可酌情增大或减小

5 混凝土拌和物应有良好的和易性，在运输和灌注过程中应无显著离析、泌水现象。灌注时应保持足够的流动性，其坍落度宜为 180-220mm。混凝土拌和物中宜掺用外加剂、粉煤灰等材料，其技术条件及掺用量可参照本规范第 11 章有关规定办理。

6 每立方米水下混凝土的水泥用量不宜小于 350kg，当掺有适宜数量的减水缓凝剂或粉煤灰时，可不少于 300kg。

混凝土拌和物的配合比，可在保证水下混凝土顺利灌注的条件下，按照本规范第 11 章有关混凝土配合比设计方法计算确定。

7 对沿海地区(包括有盐碱腐蚀性地下水地区)应配制防腐混凝土。

6.5.4 灌注水下混凝土的技术要求

1 首批灌注混凝土的数量应能满足导管首次埋置深度 ($\geq 1.0\text{m}$)和填充导管底部的需要，见图 6.5.4，所需混凝土数量可参考公式(6.5.4)计算：

$$V \geq \frac{\pi D^2}{4} (H_1 + H_2) + \frac{\pi d^2}{4} h_1 \quad (6.5.4)$$

式中：V——灌注首批混凝土所需数量(m³)；

D——桩孔直径(m)；

H_1 ——桩孔底至导管底端间距，一般为 0.4m；

H_2 ——导管初次埋置深度(m)；

d——导管内径(m)；

h_1 ——桩孔内混凝土达到埋置深度 H_2 时，导管内混凝土柱平衡导管外(或泥浆)压力所需的高度(m)，即

$H_1 = H_w \gamma_w / \gamma_c$ ；

H_w 、 γ_w 、 γ_c ——意义同式(6.5.2)。

2 混凝土拌和物运至灌注地点时，应检查其均匀性和坍落度等，如不符合要求，应进行第二次拌和，二次拌和后仍不符合要求时，不得使用。

3 首批混凝土拌和物下落后，混凝土应连续灌注。

4 在灌注过程中，特别是潮汐地区和有承压力地下水地区，应注意保持孔内水头。

5 在灌注过程中，导管的埋置深度宜控制在 2~6m。

6 在灌注过程中，应经常测探井孔内混凝土面的位置，及时地调整导管埋深。

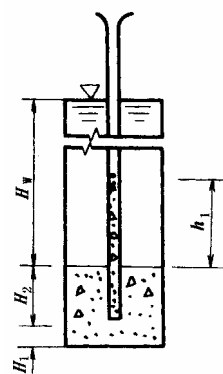


图 6.5.4 首批混凝土数量计算

7 为防止钢筋骨架上浮，当灌注的混凝土顶面距钢筋骨架底部 1m 左右时，应降低混凝土的灌注速度。当混凝土拌和物上升到骨架底口 4m 以上时，提升导管，使其底口高于骨架底部 2m 以上，即可恢复正常灌注速度。

8 灌注的桩顶标高应比设计高出一定高度，一般为 0.5~1.0m，以保证混凝土强度，多余部分接桩前必须凿除，残余桩头应无松散层。

在灌注将近结束时，应核对混凝土的灌入数量，以确定所测混凝土的灌注高度是否正确。

9 变截面桩灌注混凝土的技术要求

对变截面桩，应从最小截面的桩孔底部开始灌注，其技术要求与等截面桩相同。灌注至扩大截面处时，导管应提升至扩大截面下约 2m，应稍加大混凝土灌注速度和混凝土的坍落度；当混凝土面高于扩大截面处 3m 后，应将导管提升至扩大截面处上 1m，继续灌注至桩顶。

10 使用全护筒灌注水下混凝土时，当混凝土面进入护筒后，护筒底部始终应在混凝土面以下，随导管的提升，逐步上拔护筒，护筒内的混凝土灌注高度，不仅要考虑导管及护筒将提升的高度，还要考虑因上拔护筒引起的混凝土面的降低，以保证导管的埋置深度和护筒底面低于混凝土面。要边灌注、边排水，保持护筒内水位稳定，不至过高，造成反穿孔。

11 在灌注过程中，应将孔内溢出的水或泥浆引流至适当地点处理，不得随意排放，污染环境及河流。

6.5.5 灌注中发生故障时，应查明原因，合理确定处理方案，进行处理。

6.6 挖孔灌注桩

6.6.1 一般要求

1 适用范围挖孔灌注桩适用于无地下水或少量地下水，且较密实的土层或风化岩层。若孔内产生的空气污染物超过现行《环境空气质量标准》(GB3095)规定的三级标准浓度限值时，必须采取通风措施，方可采用人工挖孔施工。

2 挖孔直径应按照设计规定。挖孔过程中，应经常检查桩孔尺寸、平面位置和竖轴线倾斜情况，如有偏差应随时纠正。

6.6.2 挖孔时的技术要求

1 挖孔施工应根据地质和水文地质情况，因地制宜选择孔壁支护方案报批，并应经过计算，确保施工安全并满足设计要求。

2 孔内遇到岩层须爆破时，应专门设计，宜采用浅眼松动爆破法，严格控制炸药用量并在炮眼附近加强支护。孔深大于 5m 时，必须采用电雷管引爆。

孔内爆破后应先通风排烟 15min 并经检查无有害气体后，施工人员方可下井继续作业。

3 挖孔达到设计深度后，应进行孔底处理。必须做到孔底表面无松渣、泥、沉淀土。如地质复杂，应钎探了解孔底以下地质情况是否能满足设计要求，否则应与监理、设计单位研究处理。

6.6.3 孔内无积水方可不采用水下灌注混凝土施工，不采用水下灌注混凝土时，可按本规范第 11 章、第 15 章的规定施工。

6.7 承 台

6.7.1 无水或浅水施工承台的挖基工作可按本规范第 4.2 节的规定办理，承台模

板、钢筋、混凝土的施工可按本规范第 9 章、第 10 章、第 11 章的规定办理。

6.7.2 用套箱法围堰施工水中桩基承台时，宜先填塞桩和预留孔之间的缝隙，然后在套箱内灌注水下混凝土封底，待混凝土达到设计规定强度后抽干水，施工承台。抽水时应限制抽水速度，以确保安全。

6.7.3 边桩外侧与承台边缘的净距不得小于设计规定的最小值。

6.7.4 承台的质量检验标准见表 6.7.4。

表 6.7.4 承台的质量检验标准

项 目	允许偏差(mm)	项 目	允许偏差(mm)
混凝土强度(MPa)	符合设计要求	平面尺寸	±30
轴线偏位	15	顶面高程	±20

6.8 质量检验及质量标准

6.8.1 钻、挖孔在终孔和清孔后，应进行孔位、孔深检验。

6.8.2 孔径、孔形和倾斜度宜采用专用仪器测定，当缺乏专用仪器时，可采用外径为钻孔桩钢筋笼直径加 100mm(不得大于钻头直径)，长度为 4~6 倍外径的钢筋检孔器吊入钻孔内检测。

6.8.3 钻、挖孔成孔的质量标准见表 6.8.3。

表 6.8.3 钻、挖孔成孔质量标准

项 目	允 许 偏 差
孔的中心位置(mm)	群桩：100；单排桩：50
孔径(mm)	不小于设计桩径
倾斜度	钻孔：小于 1%；挖孔：小于 0.5%
孔深	摩擦桩：不小于设计规定 支承桩：比设计深度超深不小于 50mm
沉淀厚度(mm)	摩擦桩：符合设计要求，当设计无要求时，对于直径 ≤1.5m 的桩，≤300mm；对桩径>1.5m 或桩长>40m 或土质较差的桩，≤500mm 支承桩：不大于设计规定
清孔后泥浆指标	相对密度：1.03~1.10；粘度：17~20 Pa·s；含砂率：<2%；胶体率：>98%

注：清孔后的泥浆指标，是从桩孔的顶、中、底部分别取样检验的平均值。本项指标的测定，限指大直径桩或有特定要求的钻孔桩。

6.8.4 钻、挖孔灌注桩的混凝土质量检测

1 桩身混凝土抗压强度应符合设计规定；每桩试件组数为 2~4 组，检验要求按本规范第 11 章的规定。

2 检测方法和数量应符合设计要求。

一般选有代表性的桩用无破损法进行检测,重要工程或重要部位的桩宜逐根进行检测,设计有规定时或对桩的质量有疑问时,应采用钻取芯样法对桩进行检测,对柱桩并应钻到桩底 0.5m 以下。

3 当检测后,桩身质量不符合要求时,应研究处理方案,报监理单位处理。

6.8.5 钻、挖孔灌注桩的承载力试验

钻、挖孔灌注桩的承载力试验,参照本规范附录 B 进行。

7 沉井基础

7.1 一般规定

7.1.1 沉井施工前,应根据设计单位提供的地质资料决定是否增加补充施工钻探,为编制施工技术方案提供准确依据。

7.1.2 沉井下沉前,应对附近的堤防、建筑物和施工设备采取有效的防护措施,并在下沉过程中,经常进行沉降观测及观察基线、基点的设置情况。

7.1.3 沉井施工前,应对洪汛、凌汛、河床冲刷、通航及漂流物等做好调查研究,需要在施工中渡汛、渡凌的沉井,应制订必要的措施,确保安全。

7.2 沉井的制作

7.2.1 沉井位于浅水或可能被水淹没的岸滩上时,宜就地筑岛制作;沉井在制作至下沉过程中位于无被水淹没可能的岸滩上时,如地基承载力满足设计要求,可就地整平夯实制作,如地基承载力不够,应采取加固措施。在地下水位较低的岸滩,若土质较好时,可开挖基坑制作沉井。

7.2.2 筑岛沉井的制作与下水

1 制作沉井的岛面、平台面和开挖基坑施工的坑底标高,应比施工最高水位高出 0.5~0.7m,有流冰时,应再适当加高。

2 水中筑岛除应按第 4 章有关规定办理外,还应符合以下要求:

1)筑岛尺寸应满足沉井制作及抽垫等施工要求,无围堰筑岛,宜在沉井周围设置不小于 2m 宽的护道;有围堰筑岛其护道宽度可按式(7.2.2)计算:

$$b \geq H \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (7.2.2)$$

式中: b ——护道宽度;

H ——筑岛高度;

ϕ ——筑岛土饱和水时的内摩擦角。

护道宽度在任何情况下不应小于 1.5m,如实际采用的护道宽度 b 小于按式(7.2.2)计算的值时,则应考虑沉井重力等对围堰所产生的侧压力的影响。

2)筑岛材料应用透水性好、易于压实的砂土或碎石土等,且不应含有影响岛体受力及抽垫下沉的块体。岛面及地基承载力应满足设计要求。无围堰筑岛的临水面坡度一般可采用 1:1.75~1:3。

3)在施工期内,水流受压缩后,应保证岛体稳定,坡面、坡脚不被冲刷,必要时应采取防护措施。

4)在斜坡上筑岛时应进行设计计算,应有防滑措施;在淤泥等软土上筑岛时,应将软土挖除,换填或采用其他加固措施。

3 筑岛沉井一般采用钢筋混凝土厚壁沉井,制作前应检查沉井纵、横向中轴线位置是否符合设计要求。

4 在支垫上立模制作沉井时，应符合下列要求：

1) 支垫布置应满足设计要求及抽垫方便。

2) 支垫顶面应与钢刃脚底面紧贴，使沉井重力均匀分布于各支垫上。

3) 模板及支撑应具有足够的强度和较好的刚性。内隔墙与井壁连接处支垫应联成整体，底模应支承于支垫上，以防不均匀沉陷；外模与混凝土面贴接一侧应平直并光滑。

5 刃脚部分采用土模制作时，应符合下列要求：

1) 刃脚部分的外模，应能承受井壁混凝土的重力在刃脚斜面上产生的水平分力。土模顶面的承载力应满足设计要求，土模顶面一般宜填筑至沉井隔墙底面。

2) 土模表面及刃脚底面的地面上，均应铺筑一层 20~30mm 的水泥砂浆，砂浆层表面应涂隔离剂。

3) 应有良好的防水、排水设施。

6 沉井分节制作高度，应能保证其稳定，又有适当重力便于顺利下沉。底节沉井的最小高度，应能抵抗拆除支垫或挖除土模时的竖向挠曲强度，除土条件许可时，宜高些。

7 筑岛沉井底节支垫的抽除应符合以下要求：

1) 沉井混凝土强度满足沉井抽垫受力的要求时方可抽垫。

2) 支垫应分区、依次、对称、同步地向沉井外抽出，随抽随用砂土回填捣实。抽垫时应防止沉井偏斜。

3) 定位支点处的支垫，应按设计要求的顺序尽快地抽出。

8 拆除土模应符合下列要求：

1) 底节混凝土达到设计要求强度后方可拆除土模。

2) 自中心向四周分区、分层、同步、对称挖土，防止沉井发生倾斜。

3) 拆除土模时，不得先挖沉井外围的土，刃脚斜面及隔墙底面粘附于土模的残留物应清除干净，防止影响封底混凝土质量。

7.2.3 制作沉井对模板、钢筋、混凝土的技术要求按本规范第 9 章、第 10 章、第 11 章的规定执行。

7.2.4 制造浮式沉井的方法及浮运前的准备工作

1 位于深水中的沉井，可采用浮式沉井。根据河岸地形、设备条件，进行技术经济比较，确定沉井结构、制作场地及下水方案。在浮船上或支架平台上制作沉井时，浮船、支架平台的承载力应满足设计要求。

2 浮式沉井可采用空腔式钢丝网水泥薄壁沉井、钢筋混凝土薄壁沉井、钢壳沉井、装配式钢筋混凝土薄壁沉井以及带临时井底的沉井和带气筒的沉井等，其制造工艺可参照本规范有关规定和有关资料。

7.3 沉井浮运到位

7.3.1 浮运前应进行下列工作：

1 各类浮式沉井均须灌水下沉，各节沉井均应进行水密性检查，底节还应根据其工作压力，进行水压试验，合格后方可下水。

2 应对所经水域和沉井位置处河床进行探查，所经水域应无妨碍浮运的水下障碍物，沉井位置处河床应基本平整。

3 检查拖运、定位、导向、锚锭、潜水、起吊及排、灌水设施。

4 掌握水文、气象和航运情况，并与有关部门取得联系、配合，必要时宜在

浮运沉井过程中中断航运。

5 浮运沉井的实际重力与设计重力不符时，应重新验算沉入水中的深度是否安全可靠。

7.3.2 浮式沉井的底节可采用滑道、起重机具、涨水自浮、浮船等方法下水。

浮式沉井底节入水后，悬浮接高时的初步定位位置，应根据下水方法，底节沉井的高度、大小、形状与水深、流速、河床土质及沉井接高和下沉过程中墩位处河床受冲淤的影响，综合分析确定。

浮式沉井在悬浮状态下接高时，应符合下列要求：

1 沉井底节下水后接高前，应向沉井内灌水或从气筒内排气，使沉井入水深度增加到沉井接高所要求的深度，在灌注接高混凝土过程中，同时向井外排水或向气筒内补气，以维持沉井入水深度不变。

2 在灌水或排气过程中，应检查并调整固定沉井位置的锚锭系统。

3 在灌水、排气或排水、补气及灌注接高混凝土过程中，应均匀、对称地进行。

4 带临时性井底的浮式沉井和空腔井壁沉井，应严格控制各灌水隔舱间的水头差不得超过设计规定。

5 带气筒的浮式沉井，气筒应加防护。

7.3.3 沉井浮运就位

1 浮式沉井必须对浮运、就位和灌水着床时的稳定性进行验算。

2 浮运和灌水着床应在沉井混凝土达到设计要求的强度后，并尽可能安排在能保证浮运工作顺利进行的低水位或水流平稳时进行。

3 沉井浮运宜在白昼无风或小风时，以拖轮拖运或绞车牵引进行。对水深和流速大的河流，为增加沉井稳定，可在沉井两侧设置导向船，沉井下沉前初步锚锭于墩位的上游处，在沉井浮运、下沉的任何时间内，露出水面的高度均不应小于 1m。

4 就位前应对所有缆绳、锚链、锚锭和导向设备进行检查调整，使沉井落床工作进行顺利，并注意水位涨落时对锚锭的影响。

布置锚锭体系时，应使锚绳受力均匀，锚绳规格和长度应相差不大，边锚预拉力要适当，避免导向船和沉井产生过大摆动或折断锚绳。

5 准确定位后，应向井孔内或在井壁腔格内迅速、对称、均衡地灌水，使沉井落至河床。在水中拆除底板时，应注意防止沉井偏斜。薄壁空腔沉井着床后，可对称、均衡地灌水、灌注混凝土和加压下沉。

6 沉井着床后，应随时观测由于沉井下沉的阻力和压缩流水断面引起流速增大而造成的河床局部冲刷，必要时可在沉井位置处用卵、碎石垫填整平，改变河床上的粒径，减小冲刷深度，增加沉井着床后的稳定。

7 沉井着床后，应采取措施使其尽快下沉，并加强对沉井上游侧冲刷情况的观测和沉井平面位置及偏斜的检查，发现问题时立即采取措施并予调整。

7.4 沉井除土下沉

7.4.1 沉井下沉

1 沉井宜采用不排水除土下沉，在稳定的土层中，也可采用排水除土下沉。采用排水除土下沉时，应有安全措施，防止发生人身安全事故。

2 下沉沉井时，不宜使用爆破方法，在特殊情况下，经批准必须采用爆破时，

应严格控制药量。

3 下沉过程中，应随时掌握土层情况，做好下沉观测记录，分析和检验土的阻力与沉井重力的关系，选用最有利的下沉方法。

4 下沉通过粘土胶结层或沉井自身重力偏轻下沉困难时，可采用井外高压射水、降低井内水位等方法下沉。在结构受力容许的条件下，亦可采用压重或接高沉井下沉。

5 正常下沉时，应自中间向刃脚处均匀对称除土。对于排水除土下沉的底节沉井，设计支承位置处的土，应在分层除土中最后同时挖除。由数个井室组成的沉井，为使下沉不发生倾斜，应控制各井室之间除土面的高差，并避免内隔墙底部在下沉时受到下面土层的顶托。

6 下沉时应随时注意正位，保持竖直下沉，至少每下沉 1m 检查一次。沉井入土深度尚未超过其平面最小尺寸的 1.5~2 倍时，最易出现倾斜，应及时注意校正。但偏斜时的竖直校正，一般均会引起平面位置的移动。

7 合理安排沉井外弃土地点，避免对沉井引起偏压。在水中下沉时，应注意河床因冲淤引起的土面高差，必要时可用沉井外弃土来调整。

8 采用吸泥吹砂等方法在不稳定的土或砂土中下沉时，必须备有向井内补水的设施，保持井内外的水位相平或井内略高于井外水位，防止翻砂。吸泥器应均匀吸泥，防止局部吸泥过深，造成沉井下沉偏斜。

9 下沉至设计标高以上 2m 左右时，应适当放慢下沉速度并控制井内除土量和除土位置，以使沉井平稳下沉，正确就位。

10 可采用下列辅助措施下沉：

1) 高压射水：当局部地点难以由潜水员定点定向射水掌握操作时，在一个沉井内只可同时开动一套射水设备，并不得进行除土或其他起吊作业。射水水压应根据地层情况、沉井入土深度等因素确定，可取 1~2.5MPa。

2) 抽水助沉：不排水下沉的沉井，对于易引起翻砂、涌水地层，不宜采用抽水助沉方法。

3) 压重助沉：沉井圬工尚未接筑完毕时，可利用接筑圬工压重助沉，也可在井壁顶部用钢铁块件或其他重物压重助沉。除为纠正沉井偏斜外，压重应均匀对称旋转。采用压重助沉时，应结合具体情况及实际效果选用。

4) 炮振助沉：一般不宜采用炮振助沉方法。在特殊情况下必须采用时，应严格控制用药量。在井孔中央底面放置炸药起爆助沉时，可采用 0.1~0.2kg，具体使用应视沉井大小、井壁厚度及炸药性能而定。同一沉井每次只能起爆一次，并根据具体情况，适当控制炮振次数。

5) 利用空气幕下沉：

(1) 空气幕的制作，应符合下列要求：

气斗的选型应以布设简单、不易堵塞、便于喷气扩散为原则，可采用 150mm50mm 棱锥形，喷气孔直径为 1mm，气斗喷气孔数量应以每个气斗所作用的有效面积决定。气斗可按下部为 1.3m^2 / 个、上部为 2.6m^2 / 个考虑，喷气孔平均可按 $1.0\text{—}1.6\text{m}^2$ / 个考虑。气斗喷气孔布置按等距离分布，上下交错排列，距刃脚底面以上 3m 左右可不设，防止压气时引起翻砂。

井壁内预埋管可为环形管与竖管，喷气孔设在环形管上，也可以只设竖管。喷气孔设在竖管上，可根据施工设备条件和实际情况决定，但管尾端均应有防止砂粒堵塞喷气孔的储砂筒设施。

(2) 风压设备的规定

压风机具有设计要求的风压和风量,风压应大于最深喷气孔处的水压力加送气管路损耗,一般可按最深喷气孔处理论水压的 1.4~1.6 倍考虑;风量可按喷气孔总数及每个喷气孔单位时间内所耗风量计算;地面风管应尽量减少弯头、接头,以降低气压损耗。为稳定风压,在压风机与井外送气管间,应设置必要数量的储气风包。

每节沉井下沉前,管道、气斗应经压风检验,如有堵塞,应采取补救措施。

(3)沉井下沉时应注意下列事项:

在整个下沉过程中,应先在井内除土,消除刃脚下土的抗力后再压气,但也不得过分除土而不压气,一般除土面低于刃脚 0.5~1.0m 时,即应压气下沉。压气时间不宜过长,一般不超过 5min / 次。放气顺序应先上部气斗,后下部气斗,以形成沿沉井外壁上喷的气流。气压不应小于喷气孔最深处理论水压的 1.4~1.6 倍,应尽可能使用风压机的最大值。

停气时应先停下部气斗,依次向上,最后停上部气斗,并应缓慢减压,不得将高压空气突然停止,防止造成瞬间负压,使喷气孔内吸入泥沙而被堵塞。

空气幕下沉沉井适应于砂类土、粉质土及粘质土地层,对于卵石土、砾类土、硬粘土及风化岩等地层不宜使用。

7.4.2 沉井接高和防水、防土措施

1 沉井接高应符合以下规定:

1)沉井接高前应尽量纠正倾斜,接高各节的竖向中轴线应与前一节的中轴线相重合。

2)水上沉井接高时,井顶露出水面不应小于 1.5m;地面上沉井接高时,井顶露出地面不应小于 0.5m。

3)接高前不得将刃脚掏空,避免沉井倾斜,接高加重应均匀、对称地进行。

4)混凝土接缝应按本规范第 11 章的规定处理。

2 沉井下沉时,如需在沉井顶部设置防水或防土围堰,围堰底部与井顶应连接牢固,防止沉井下沉时围堰与井顶脱离。

7.4.3 沉井下沉遇到倾斜岩层时,应将表面松软岩层或风化岩层凿去,并尽量整平,使沉井刃脚的 2 / 3 以上嵌搁在岩层上,嵌入深度最小处不宜小于 0.25m,其余未到岩层的刃脚部分,可用袋装混凝土等填塞缺口。刃脚以内井底岩层的倾斜面,应凿成台阶或榫槽后,清渣封底。

7.4.4 纠正沉井倾斜和位移时,可按下列规定处理:

1 纠偏前,应分析原因,然后采取相应措施,如有障碍物应首先排除。

2 纠正倾斜时,一般可采取除土、压重、顶部施加水平力或刃脚下支垫等方法进行。对空气幕沉井可采取侧压气纠偏。

3 纠正位移时,可先除土,使沉井底面中心向墩位设计中心倾斜,然后在对侧除土,使沉井恢复竖直,如此反复进行,使沉井逐步移近设计中心。

4 纠正扭转,可在一对角线两角除土,在另外两角填土,借助于刃脚下不相等的土压力所形成的扭矩,使沉井在下沉过程中逐步纠正其扭转角度。

7.5 基底检验

7.5.1 沉井沉至设计标高后,应检验基底的地质情况是否与设计相符,排水下沉时,可直接检验、处理;不排水下沉时,应进行水下检查、处理,必要时取样鉴定。

7.5.2 基底应符合下列要求:

1 不排水下沉的沉井基底面应整平, 且无浮泥。基底为岩层时, 岩面残留物应清除干净, 清理后有效面积不得小于设计要求; 岩基底倾斜时, 应符合 7.4.3 条的规定。井壁隔墙及刃脚与封底混凝土接触面处的泥污应予清除。

2 排水下沉的沉井, 应满足基底面平整的要求, 还应符合本规范第 3 章有关规定。

7.5.3 沉井下沉至设计标高时, 应进行沉降观测, 满足设计要求后, 方可封底。

7.6 沉井封底

7.6.1 基底检验合格后, 应及时封底。对于排水下沉的沉井, 在清基时, 如渗水量上升速度小于或等于 $6\text{mm} / \text{min}$, 可按第 11 章普通混凝土浇筑方法进行封底; 若渗水量大于上述规定时, 宜采用水下混凝土进行封底。

7.6.2 用刚性导管法进行水下混凝土封底时, 应满足如下要求:

1 混凝土材料可参照钻孔灌注桩水下混凝土有关规定, 混凝土的坍落度宜为 $150\sim 200\text{mm}$ 。

2 灌注封底水下混凝土时, 需要的导管间隔及根数, 应根据导管作用半径及封底面积确定。

3 用多根导管灌注时的顺序, 应进行设计, 防止发生混凝土夹层。若同时浇注, 当基底不平时, 应逐步使混凝土保持大致相同的标高。

4 每根导管开始灌注时所用的混凝土坍落度宜采用下限, 首批混凝土需要数量应通过计算确定。

5 在灌注过程中, 导管应随混凝土面升高而徐徐提升, 导管埋深应与导管内混凝土下落深度相适应, 一般不宜小于表 7.6.2-1 的规定。用多根导管灌注时, 导管埋深不宜小于表 7.6.2-2 的规定。

6 在灌注过程中, 应注意混凝土的堆高和扩展情况, 正确地调整坍落度和导管埋深, 使每盘混凝土灌注后形成适宜的堆高和不陡于 $1:5$ 的流动坡度, 抽拔导管应严格使导管不进水。混凝土面的最终灌注高度, 应比设计值高出不小于 150mm , 待灌注混凝土强度达到设计要求后, 再抽水凿除表面软弱层。

表 7.6.2-1 不同灌注深度导管的最小埋深

灌注深度(m)	≤ 10	$10\sim 15$	$15\sim 20$	>20
导管最小埋深(m)	$0.6\sim 0.8$	1.1	1.3	1.5

表 7.6.2-2 导管不同间距的最小埋深

导管间距(m)	≤ 5	6	7	8
导管最小埋深(m)	$0.6\sim 0.9$	$0.9\sim 1.2$	$1.2\sim 1.4$	$1.3\sim 1.6$

7.6.3 沉井封底, 若为水下压浆混凝土时, 应按设计要求施工。

7.7 井孔填充和顶板浇筑

7.7.1 井孔填充应按设计规定处理。

7.7.2 不排水封底的沉井, 应在封底混凝土强度满足设计要求时方可抽水。

7.7.3 当沉井顶部需要浇筑钢筋混凝土顶板时，应保持无水施工。

7.8 质量检验与质量标准

7.8.1 沉井基础施工应分阶段进行质量检验并填写检查记录。

7.8.2 沉井基底应按本规范第 4.5 节进行检查验收。沉井的制作以及封底、填充、封顶等检验内容及质量标准，除符合本章规定外，还应符合本规范有关章节的规定。

7.8.3 沉井制作的允许偏差应符合表 7.8.3 的规定。

表 7.8.3 沉井制作允许偏差

项 目		允 许 偏 差
沉井平面尺寸	长度、宽度	$\pm 0.5\%$ ，当长、宽大于 24m 时， $\pm 120\text{mm}$
	曲线部分的半径	$\pm 0.5\%$ ，当半径大于 12m 时， $\pm 60\text{mm}$
	两对角线的差异	对角线长度的 $\pm 1\%$ ，最大 $\pm 180\text{mm}$
沉井井壁厚度	混凝土、片石混凝土	+40mm，-30mm
	钢筋混凝土	$\pm 15\text{mm}$

注：①对于钢沉井及结构构造、拼装等方面有特殊要求的沉井，其平面尺寸允许偏差值应按照设计要求确定；

②井壁的表面要平滑而不外凸，且不得向外倾斜。

7.8.4 沉井基础的质量应符合下列规定：

1 混凝土的强度应符合设计要求。

2 沉井刃脚底面标高应符合设计要求。

3 底面、顶面中心与设计中心的偏差应符合设计要求，当设计无要求时，其允许偏差纵横方向为沉井高度的 1/50（包括因倾斜而产生的位移）。对于浮式沉井，允许偏差值增加 250mm。

4 沉井的最大倾斜度为 1/50。

5 矩形、圆端形沉井的平面扭转角偏差，就地制作的沉井不得大于 1° ，浮式沉井不得大于 2° 。

8 地下连续墙

8.1 一般规定

8.1.1 适用范围

地下连续墙适于作为地下挡土墙、挡水围堰，承受竖向和侧向荷载的桥梁基础和平面尺寸大、形状复杂的地下构造物及适用于除岩溶和地下承压水很高处的其他各类土层中施工。

地下连续墙可采用直线单元节段式施工，亦可采用桩排式施工方式。

8.1.2 地下连续墙工程施工前，必须具备工程地质资料、区域内障碍物资料、必要的试验资料等。

8.1.3 在原有构造物附近施工前，必须了解原有构造物结构及基础情况，如影响构造物的安全时，应研究采取有效处理措施。

8.2 导 墙

8.2.1 用泥浆护壁挖槽构成的地下连续墙应先构筑导墙。导墙应能满足地下连续墙的施工导向、蓄积泥浆并维持其表面高度，支承挖槽机械设备和其他荷载，维护槽顶表土层的稳定和阻止地面水流入沟槽。

8.2.2 导墙的材料、平面位置、型式、埋置深度、墙体厚度、顶面高度应符合设计文件要求。当设计文件未规定时，应符合以下要求：

1 导墙宜采用钢筋混凝土材料构筑。混凝土等级不宜低于 C20。

2 导墙的平面轴线应与地下连续墙轴线平行，两导墙的内侧间距宜比地下连续墙体厚度大 40~60mm。

3 导墙型式根据土质情况可采用板墙形、U形或倒 L 形。墙体厚度应满足施工要求。

4 导墙底端埋入土内深度宜大于 1m。基底土层应夯实，遇有特殊情况须作妥善处理。导墙顶端应高出地面，遇地下水位较高时，导墙顶端应高于地下水位，墙后应填土与墙顶齐平，全部导墙顶面应保持水平，内墙面应保持竖直。

5 导墙支撑应每隔 1~1.5m 距离设置。

8.2.3 导墙施工除按照本规范有关规定执行外，还应符合下列要求：

1 导墙要求分段施工时，段落划分应与地下连续墙划分的节段错开。

2 安装预制导墙块时，必须按照设计施工，保证连接处质量，防止渗漏。

3 混凝土导墙在浇筑及养护时，重型机械、车辆不得在附近作业行驶。

8.2.4 导墙的质量标准

导墙平面轴线应与地下连续墙的平面轴线平行，允许偏差为 10mm。导墙内墙面应竖直，顶面应水平。两导墙内墙面间的距离允许偏差为 5mm，导墙顶面高程允许偏差为 ±10mm。

8.3 地下连续墙施工

8.3.1 地下连续墙的沟槽施工，应根据地质情况和施工条件选用能满足成槽要求的机具与设备。

8.3.2 桩排式地下连续墙的主要施工工艺和技术要求可按本规范第 6 章有关规定执行。桩排间的土层可压注化学溶液或水泥浆予以加固和防渗透，可按本规范第 4 章有关规定执行。

8.3.3 槽壁式地下连续墙的沟槽开挖应符合下列要求：

1 开挖前应按已划分的单元节段，决定各段开挖先后次序。挖槽施工开始时应连续进行，直到节段完成。

2 成槽机械开挖一定深度后，应立即输入调制好的泥浆，并宜保持槽内泥浆面不低于导墙顶面 300mm。配制优质泥浆，起到良好的护壁作用是成槽的关键，重复使用的泥浆若性质变化，应进行再生处理或舍弃。

3 挖掘的槽壁及接头处应保持竖直，竖直度允许偏差应符合第 7.4 节的规定。接头处相邻两槽段的挖槽中心线在任一深度的偏差值不得大于墙厚的 1/3。槽底高度不得高于墙底设计高度。

4 挖槽时应加强观测，如槽壁发生坍塌时，应查明原因，采取相应措施，妥善处理。对于严重大面积坍塌，应提出挖槽机械后，填入较好的粘质土，必要时可掺拌 10%~20% 的水泥，回填至坍塌处以上 1~2m，待沉积密实后再进行挖掘。对局部坍塌，可加大泥浆相对密度和粘度，已坍入的土块宜清理后再继续挖

掘。

5 挖掘时如遇到槽沟偏斜等故障，应查明原因，采取措施，予以排除。

6 槽段开挖达到槽底设计标高后，应对成槽质量进行检查，符合本章第 7.4 节的规定后，方可进行下一工序清底、换浆。

7 挖槽施工应做好施工记录，妥善处理废弃泥浆及钻渣，防止环境污染。

8.3.4 槽段清底工作应在吊放接头装置之前进行。清底工序包括清除槽底沉淀的泥渣和置换槽中的泥浆，清底应按下列技术要求办理：

1 清底之前应检测节段平面位置、横截面和竖面。如槽壁竖向倾斜、弯曲和宽度不足等超过允许偏差时，应进行修槽工作，使其符合要求。节段接头处应用刷子或高压射水清扫。

2 清底工作宜根据设备条件采用抓斗排渣法、反循环泥浆泵排泥法、潜水电泵排泥法、空气升液排泥法等。施工时可参照本规范第 6 章有关规定办理。

3 清理槽底和置换泥浆工作结束 1h 后，应进行检验，槽底以上 200mm 处的泥浆相对密度不应大于 1.15，槽底沉淀物厚度应符合设计要求。

8.3.5 施工接头应符合设计要求，当设计无规定时，可按下列规定办理：

1 对受力和防渗要求较小的施工接头，宜采用接头管式接头。当初期的单元节段开挖完成并清底后，应用吊机将钢制接头管竖直吊放入槽内，紧靠单元节段两端，接头管底端应插入槽底以下 100~150mm，管长应略大于地下连续墙设计值。接头管可分节于管内用销子连接固定。管外平顺无突出物，管外径宜比墙厚小 50mm。此后可进行吊放钢筋骨架、灌注水下混凝土工序。灌注水下混凝土时，应经常转动及小量提升接头管。待混凝土初凝后将接头管拔出，拔管时不得损坏接头处的混凝土。

2 对受力和防渗和整体性要求较大的接头装置宜采用接头箱式或隔板式接头。接头箱式其吊放的钢筋骨架一端带有堵头板，堵头钢板向外伸出的水平钢筋可插入接头箱管中，灌注混凝土时，由堵头板挡住，使混凝土不流入接头箱管内。混凝土初凝后，逐步吊出接头箱管，先灌节段骨架的外伸钢筋可灌入邻段混凝土内。

3 当地下连续墙设计与梁、承台或墩柱连接时，应于连接处设置结构接头。结构接头的型式应按照设计规定。施工时应在连接处按照设计文件埋设连接钢筋，待墙体混凝土灌注并凝固后，开挖墙体内侧土体，并凿去混凝土保护层，露出预埋钢筋。将其弯成所需形状，与后浇的梁、承台或墩柱的主钢筋连接。

8.3.6 地下连续墙钢筋骨架的制作和吊放除应按本规范 6.5.1 条的规定办理外，还应符合下列规定：

1 钢筋骨架应根据设计图和单元节段的划分长度制作，并宜在工地的工作台上试装配成型，骨架中间应留出上下贯通的导管位置。

2 吊放钢筋骨架时，必须使骨架中心对准单元节段中心，竖直不变形并准确地下放插入槽内，不得使骨架发生摆动。

3 全部钢筋骨架入槽后，应固定在导墙上，并使骨架顶端高度符合设计要求。

4 当钢筋骨架不能顺利插入槽内时，应重新吊起，查明原因，解决后，重新放入，不得强行压入槽内。

8.3.7 灌注水下混凝土时，应符合下列要求：

1 混凝土拌和物应采用导管法灌注。单元节段长度小于 4m 时，可采用 1 根导管灌注；单元节段长度超过 4m 时，宜采用 2 或 3 根导管同时灌注。采用多根

导管灌注时，导管间净距不宜大于 3m，导管距节段端部不宜大于 1.5m。各导管灌注的混凝土拌和物表面高差不宜大于 0.3m。导管内径不宜小于 200mm。

2 灌注水下混凝土的其他技术要求，应符合本规范第 6 章的有关规定。

8.4 质量标准

地下连续墙裸露墙面应平整，外轮廓线应平顺，无突变转折现象，允许偏差应符合表 8.4 的规定。

表 8.4 地下连续墙的允许偏差

项 目	规定值或允许偏差
混凝土强度	在合格标准内
轴线位置(mm)	30
外形尺寸(mm)	0, +30
倾斜度	0.5%
顶面高程(mm)	±10
沉淀厚度	符合设计要求

9 模板、支架和拱架。

9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于公路桥涵就地浇筑和工地、工厂预制构件的混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土和砌石圬工所用的模板、支架及拱架的设计和施工。

9.1.2 模板、支架和拱架的设计原则

1 宜优先使用胶合板和钢模板。

2 在计算荷载作用下，对模板、支架及拱架结构按受力程序分别验算其强度、刚度及稳定性。

3 模板板面之间应平整，接缝严密，不漏浆，保证结构物外露美观，线条流畅，可设倒角。

4 结构简单，制作、装拆方便。

9.1.3 模板、支架和拱架可采用钢材、胶合板、塑料和其他符合设计要求的材料制作。钢材可采用现行国家标准《碳素结构钢》(GB700)中的标准。

9.1.4 浇筑混凝土之前，模板应涂刷脱模剂，外露混凝土模板的脱模剂应采用同一品种，不得使用废机油等油料，且不得污染钢筋及混凝土的施工缝处。

9.1.5 重复使用的模板、支架和拱架应经常检查、维修。

9.2 模板、支架和拱架的设计

9.2.1 设计的一般要求

1 模板、支架和拱架的设计，应根据结构型式、设计跨径、施工组织设计、荷载大小、地基土类别及有关的设计、施工规范进行。

2 绘制模板、支架和拱架总装图、细部构造图。

3 制定模板、支架和拱架结构的安装、使用、拆卸保养等有关技术安全措施

和注意事项。

4 编制模板、支架及拱架材料数量表。

5 编制模板、支架及拱架设计说明书。

9.2.2 设计荷载

1 计算模板、支架和拱架时，应考虑下列荷载并按表 9.2.2 进行荷载组合。

(1)模板、支架和拱架自重；

(2)新浇筑混凝土、钢筋混凝土或其他圬工结构物的重力；

(3)施工人员和施工材料、机具等行走运输或堆放的荷载；

(4)振捣混凝土时产生的荷载；

(5)新浇筑混凝土对侧面模板的压力；

(6)倾倒混凝土时产生的水平荷载；

(7)其他可能产生的荷载，如雪荷载、冬季保温设施荷载等。

普通模板荷载计算见附录 D。

表 9.2.2 模板，支架和拱架设计计算的荷载组合

模板结构名称	荷载组合	
	计算强度用	验算刚度用
梁、板和拱的底模板以及支承板、支架及拱等	(1)+(2)+(3)+(4)+(7)	(1)+(2)+(7)
缘石、人行道、栏杆、柱、梁、板、拱等的侧模板	(4)+(5)	(5)
基础、墩台等厚大建筑物的侧模板	(5)+(6)	(5)

2 钢、木模板，支架及拱架的设计，可按《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ025)的有关规定执行。

3 计算模板、支架和拱架的强度和稳定性时，应考虑作用在模板、支架和拱架上的风力。设于水中的支架，尚应考虑水流压力、流冰压力和船只漂流物等冲击力荷载。

4 组合箱形拱，如系就地浇筑，其支架和拱架的设计荷载可只考虑承受拱肋重力及施工操作时的附加荷载。

9.2.3 稳定性要求

1 支架的立柱应保持稳定，并用撑拉杆固定。当验算模板及其支架在自重和风荷载等作用下的抗倾倒稳定时，验算倾覆的稳定系数不得小于 1.3。

2 支架受压构件纵向弯曲系数可按《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ025)进行计算。

9.2.4 强度及刚度要求

1 验算模板、支架及拱架的刚度时，其变形值不得超过下列数值：

(1)结构表面外露的模板，挠度为模板构件跨度的 $1/400$ ；

(2)结构表面隐蔽的模板，挠度为模板构件跨度的 $1/250$ ；

(3)支架、拱架受载后挠曲的杆件(盖梁、纵梁)，其弹性挠度为相应结构跨度的 $1/400$ ；

(4)钢模板的面板变形为 1.5mm ；

(5)钢模板的钢棱和柱箍变形为 $L/500$ 和 $B/500$ (其中 L 为计算跨径， B 为柱宽)。

2 拱架各截面的应力验算, 根据拱架结构型式及所承受的荷载, 验算拱顶、拱脚及 $1/4$ 跨各截面的应力, 铁件及节点的应力, 同时应验算分阶段浇筑或砌筑时的强度及稳定性。验算时不论板拱架或桁拱架均作为整体截面考虑, 验算倾覆稳定系数不得小于 1.3。

9.3 模板的制作及安装

9.3.1 钢模板制作

1 钢模板宜采用标准化的组合模板。组合钢模板的拼装应符合现行国家标准《组合钢模板技术规范》(GB214)。各种螺栓连接件应符合国家现行有关标准。

2 钢模板及其配件应按批准的加工图加工, 成品经检验合格后方可使用。

9.3.2 木模板制作

1 木模可在工厂或施工现场制作, 木模与混凝土接触的表面应平整、光滑, 多次重复使用的木模应在内侧加钉薄铁皮。木模的接缝可做成平缝、搭接缝或企口缝。当采用平缝时, 应采取措施防止漏浆。木模的转角处应加嵌条或做成斜角。

2 重复使用的模板应始终保持其表面平整、形状准确, 不漏浆, 有足够的强度和刚度。

9.3.3 其他材料模板制作

1 钢框覆面胶合板模板的板面组配宜采取错缝布置, 支撑系统的强度和刚度应满足要求。吊环应采用 I 级钢筋制作, 严禁使用冷加工钢筋, 吊环计算拉应力不应大于 50MPa。

2 高分子合成材料面板、硬塑料或玻璃钢模板, 制作接缝必须严密, 边肋及加强肋安装牢固, 与模板成一体。施工时安放在支架的横梁上, 以保证承载能力及稳定。

3 圬工外模

1) 土胎模制作的场地必须坚实、平整, 底模必须拍实找平, 土胎模表面应光滑, 尺寸准确, 表面应涂隔离剂。

2) 砖胎模与木模配合时, 砖做底模, 木做侧模, 砖与混凝土接触面应抹面, 表面抹隔离剂。

3) 混凝土胎模制作时保证尺寸准确, 表面抹隔离剂。

4 土牛拱胎

在条件适宜处, 可使用土牛拱胎。制作时应有排水设施, 土石应分层夯实, 密实度不得小于 90%, 拱顶部分选用含水量适宜的粘土。土牛拱胎的尺寸、高程应符合设计要求。

9.3.4 模板安装的技术要求

1 模板与钢筋安装工作应配合进行, 妨碍绑扎钢筋的模板应待钢筋安装完毕后安设。模板不应与脚手架联接(模板与脚手架整体设计时除外), 避免引起模板变形。

2 安装侧模板时, 应防止模板移位和凸出。基础侧模可在模板外设立支撑固定, 墩、台、梁的侧模可设拉杆固定。浇筑在混凝土中的拉杆, 应按拉杆拔出或不拔出的要求, 采取相应的措施。对小型结构物, 可使用金属线代替拉杆。

3 模板安装完毕后, 应对其平面位置、顶部标高、节点联系及纵横向稳定性进行检查, 签认后方可浇筑混凝土。浇筑时, 发现模板有超过允许偏差变形值的可能时, 应及时纠正。

4 模板在安装过程中, 必须设置防倾覆设施。

5 当结构自重和汽车荷载(不计冲击力)产生的向下挠度超过跨径的 $1/1600$ 时,钢筋混凝土梁、板的底模板应设预拱度,预拱度值应等于结构自重和 $1/2$ 汽车荷载(不计冲击力)所产生的挠度。纵向预拱度可做成抛物线或圆曲线。

6 后张法预应力梁、板,应注意预应力、自重和汽车荷载等综合作用下所产生的上拱或下挠,应设置适当的预挠或预拱。

9.3.5 中小跨径的空心板制作时所使用的芯模应符合下列要求:

1 充气胶囊在使用前应经过检查,不得漏气,安装时应有专人检查钢丝头,钢丝头应弯向内侧,胶囊涂刷隔离剂。每次使用后,应妥善存放,防止污染、破损及老化。

2 从开始浇筑混凝土到胶囊放气时止,其充气压力应保持稳定。

3 浇筑混凝土时,为防止胶囊上浮和偏位,应采取有效措施加以固定,并应对称平衡地进行浇筑。

4 胶囊的放气时间应经试验确定,以混凝土强度达到能保持构件不变形为宜。

5 木芯模使用时应防止漏浆和采取措施便于脱模。要控制好拆芯模时间,过早易造成混凝土坍落,过晚拆模困难。应根据施工条件通过试验确定拆除时间。

6 钢管芯模应由表面匀直、光滑的无缝钢管制作,混凝土终凝后,即可将芯模轻轻转动,然后边转动边拔出。

7 充气胶囊芯模在工厂制作时,应规定充气变形值,保证制作误差不大于设计规定的误差要求。在设计无规定时,应满足本规范第 15 章对板梁构造尺寸的要求。

9.3.6 滑升、提升、爬升及翻转模板的技术要求

1 滑升模板适用于较高的墩台和吊桥、斜拉桥的索塔施工。采用滑升模板时,除应遵守现行《液压滑动模板施工技术规范》(GBJ113)外,还应遵守下列规定:

1)滑升模板的结构应有足够的强度、刚度和稳定性,模板高度宜根据结构物的实际情况确定,滑升模板的支承杆及提升设备应能保证模板竖直均衡上升。滑升时应检测并控制模板位置,滑升速度宜为 $100\sim 300\text{mm/h}$ 。

2)滑升模板组装时,应使各部尺寸的精度符合设计要求。组装完毕须经全面检查试验后,才能进行浇筑。

3)滑升模板施工应连续进行,如因故中断,在中断前应将混凝土浇筑齐平。中断期间模板仍应继续缓慢地提升,直到混凝土与模板不至粘住时为止。

2 提升模板提升模架其结构应满足使用要求。大块模板应用整体钢模板,加肋在满足刚度需要的基础上应进行加强,以满足使用要求。

3 爬升及翻转模板模板、模架爬升或翻转时结构的混凝土强度必须满足拆模时的强度要求。

9.4 支架、拱架的制作及安装

9.4.1 重支架、拱架制作的强度和稳定

1 支架

支架整体、杆配件、节点、地基、基础和其他支撑物应进行强度和稳定验算。就地浇筑梁式桥的支架,参照本规范第 15.2 节的规定执行。

2 木拱架

拱架所用的材料规格及质量应符合要求。桁架拱架在制作时,各杆件应当采用材质较强、无损伤及湿度不大的木材。夹木拱架制作时,木板长短应搭配好,

纵向接头要求错开，其间距及每个断面接头应满足使用要求。面板夹木按间隔用螺栓固定，其余用铁钉与拱肋固定。

木拱架的强度和刚度应满足变形要求。杆件在竖直与水平面内，要用交叉杆件联结牢固，以保证稳定。木拱架制作安装时，应基础牢固，立柱正直，节点连接应采取可靠措施以保证支架的稳定，高拱架横向稳定应有保证措施。

3 钢拱架

1)常备式钢拱架纵、横向距离应根据实际情况进行合理组合，以保证结构的整体性。

2)钢管拱架排架的纵、横距离应按承受拱圈自重计算，各排架顶部的标高要符合拱圈底的轴线。为保证排架的稳定应设置足够的斜撑、剪力撑、扣件和缆风绳。

9.4.2 施工预拱度和沉落

1 支架和拱架应预留施工拱度，在确定施工拱度值时，应考虑下列因素：

- (1)支架和拱架承受施工荷载引起的弹性变形；
- (2)超静定结构由于混凝土收缩、徐变及温度变化而引起的挠度；
- (3)承受推力的墩台，由于墩台水平位移所引起的拱圈挠度；
- (4)由结构重力引起梁或拱圈的弹性挠度，以及 $1/2$ 汽车荷载(不计冲击力)引起的梁或拱圈的弹性挠度；
- (5)受载后由于杆件接头的挤压和卸落设备压缩而产生的非弹性变形；
- (6)支架基础在受载后的沉陷。

2 为便于支架和拱架的拆卸，应根据结构型式、承受的荷载大小及需要的卸落量，在支架和拱架适当部位设置相应的木楔、木马、砂筒或千斤顶等落模设备。

9.4.3 支架、拱架制作安装

1 支架和拱架宜采用标准化、系列化、通用化的构件拼装。

无论使用何种材料的支架和拱架，均应进行施工图设计，并验算其强度和稳定性。

2 制作木支架、木拱架时，长杆件接头应尽量减少，两相邻立柱的连接接头应尽量分设在不同的水平面上。主要压力杆的纵向连接，应使用对接法，并用木夹板或铁夹板夹紧。次要构件的连结可用搭接法。

3 安装拱架前，对拱架立柱和拱架支承面应详细检查，准确调整拱架支承面和顶部标高，并复测跨度，确认无误后方可进行安装。各片拱架在同一节点处的标高应尽量一致，以便于拼装平联杆件。在风力较大的地区，应设置风缆。

4 支架和拱架应稳定、坚固，应能抵抗在施工过程中有可能发生的偶然冲撞和振动。安装时应注意以下几点：

1)支架立柱必须安装在有足够承载力的地基上，立柱底端应设垫木来分布和传递压力，并保证浇筑混凝土后不发生超过允许的沉降量。

2)船只或汽车通行孔的两边支架应加设护桩，夜间应用灯光标明行驶方向。施工中易受漂流物冲撞的河中支架应设坚固的防护设备。

5 支架或拱架安装完毕后，应对其平面位置、顶部标高、节点联接及纵、横向稳定性进行全面检查，符合要求后，方可进行下一工序。

9.5 模板、支架和拱架的拆除

9.5.1 拆除期限的原则规定

1 模板、支架和拱架的拆除期限应根据结构物特点、模板部位和混凝土所达

到的强度来决定。

1)非承重侧模板应在混凝土强度能保证其表面及棱角不致因拆模而受损坏时方可拆除，一般应在混凝土抗压强度达到 2.5MPa 时方可拆除侧模板。

2)芯模和预留孔道内模，应在混凝土强度能保证其表面不发生塌陷和裂缝现象时，方可拔除，拔除时间可按第 12.4.4 条的有关规定确定。采用胶囊作芯模时，其拔除时间可按第 9.5 条的规定办理。

3)钢筋混凝土结构的承重模板、支架和拱架，应在混凝土强度能承受其自重及其他可能的叠加荷载时，方可拆除，当构件跨度不大于 4m 时，在混凝土强度符合设计强度标准值的 50%的要求后，方可拆除；当构件跨度大于 4m 时，在混凝土强度符合设计强度标准值的 75%的要求后，方可拆除。

如设计上对拆除承重模板、支架、拱架另有规定，应按照设计规定执行。

2 石拱桥的拱架卸落时间应符合下列要求：

1)浆砌石拱桥，须待砂浆强度达到设计要求，或如设计无要求，则须达到砂浆强度的 70%。

2)跨径小于 10m 的小拱桥，宜在拱上建筑全部完成后卸架；中等跨径的实腹式拱，宜在护拱砌完后卸架；大跨径空腹式拱，宜在拱上小拱横墙砌好(未砌小拱圈)时卸架。

3)当需要进行裸拱卸架时，应对裸拱进行截面强度及稳定性验算，并采取必要的稳定措施。

9.5.2 拆除时的技术要求

1 模板拆除应按设计的顺序进行，设计无规定时，应遵循先支后拆，后支先拆的顺序，拆时严禁抛扔。

2 卸落支架和拱架应按拟定的卸落程序进行，分几个循环卸完，卸落量开始宜小，以后逐渐增大。在纵向应对称均衡卸落，在横向应同时一起卸落。在拟定卸落程序时应注意以下几点：

1)在卸落前应在卸架设备上画好每次卸落量的标记。

2)满布式拱架卸落时，可从拱顶向拱脚依次循环卸落；拱式拱架可在两支座处同时均匀卸落。

3)简支梁、连续梁宜从跨中向支座依次循环卸落；悬臂梁应先卸挂梁及悬臂的支架，再卸无铰跨内的支架。

4)多孔拱桥卸架时，若桥墩允许承受单孔施工荷载，可单孔卸落，否则应多孔同时卸落，或各连续孔分阶段卸落。

5)卸落拱架时，应设专人用仪器观测拱圈挠度和墩台变化情况，并详细记录。另设专人观察是否有裂缝现象。

3 墩、台模板宜在其上部结构施工前拆除。拆除模板，卸落支架和拱架时，不允许用猛烈地敲打和强扭等方法进行。

4 模板、支架和拱架拆除后，应维修整理，分类妥善存放。

9.6 质量检验

9.6.1 模板、支架和拱架制作应根据设计要求确定模板的型式及精度要求，在设计无规定时，可按表 9.6.1 执行。

表 9.6.1 模板、支架及拱架制作时的允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)
-----	-----------

木模板制作	模板的长度和宽度		±5
	不刨光模板相邻两板表面高低差		3
	刨光模板相邻两板表面高低差		1
	平板模板表面最大的局部不平	刨光模板	3
		不刨光模板	5
	拼合板中木板间的缝隙宽度		2
	支架、拱架尺寸		±5
钢模板制作	榫槽嵌接紧密度		2
	外形尺寸	长和高	0, -1
		肋高	±5
	面板端偏斜		≤0.5
	连接配件(螺栓、卡子等)的孔眼位置	孔中心与板面的间距	±0.3
		板端中心与板端的间距	0, -0.5
		沿板长、宽方向的孔	±0.6
	板面局部不平		1.0
	板面和板侧挠度		±1.0

注：①木模板中第5项已考虑木板干燥后在拼合板中发生缝隙的可能。2mm以下的缝隙，可在浇筑前浇湿模板，使其密合。

②板面局部不平用2m靠尺、塞尺检测。

9.6.2 模板、支架和拱架安装的允许偏差，在设计无要求时，应符合表9.6.2的规定。

表 9.6.2 模板、支架及拱架安装的允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)
模板标高	基础	±15
	柱、墙和梁	±10
	墩台	±10
模板内部尺寸	上部构造的所有构件	+5, 0
	基础	±30
	墩台	±20
轴线偏位	基础	15
	柱或墙	8
	梁	10
	墩台	10
装配式构件支承面的标高		+2, -5
模板相邻两板表面高低差		2
模板表面平整		5
预埋件中心线位置		3
预留孔洞中心线位置		10
预留孔洞截面内部尺寸		+10, 0
支架和拱	纵轴的平面位置	跨度的 1/1000 或 30

架	曲线形拱架的标高(包括建筑拱度在内)	+20, -10
---	--------------------	----------

10 钢 筋

10.1 一般规定

10.1.1 钢筋混凝土中的钢筋和预应力混凝土中非预应力钢筋必须符合现行《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》(GB13013)、《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB1499)、《冷轧带肋钢筋》(GB13788)、《低碳钢热轧圆盘条》(GB701)的规定。其力学、工艺性能可参见附录 E-1。环氧树脂涂层钢筋的标准可按照现行《环氧树脂涂层钢筋》(JC3042)执行。

10.1.2 钢筋必须按不同钢种、等级、牌号、规格及生产厂家分批验收,分别堆存,不得混杂,且应设立识别标志。钢筋在运输过程中,应避免锈蚀和污染。钢筋宜堆置在仓库(棚)内,露天堆置时,应垫高并加遮盖。

10.1.3 钢筋应具有出厂质量证明书和试验报告单。对桥涵所用的钢筋应抽取试样做力学性能试验。

10.1.4 以另一种强度、牌号或直径的钢筋代替设计中所规定的钢筋时,应了解设计意图和代用材料性能,并须符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023)的有关规定。重要结构中的主钢筋在代用时,应由原设计单位做变更设计。

10.1.5 预制构件的吊环,应采用未经冷拉的 I 级热轧钢筋制作。

10.2 钢筋的加工

10.2.1 钢筋调直和清除污锈应符合下列要求:

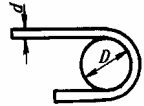
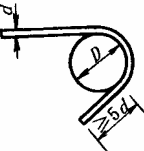
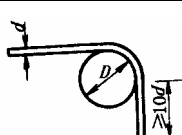
1 钢筋的表面应洁净,使用前应将表面油渍、漆皮、鳞锈等清除干净。

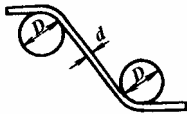
2 钢筋应平直,无局部弯折,成盘的钢筋和弯曲的钢筋均应调直。

3 采用冷拉方法调直钢筋时, I 级钢筋的冷拉率不宜大于 2%; HRB335、HRB400 牌号钢筋的冷拉率不宜大于 1%。

10.2.2 钢筋的弯制和末端的弯钩应符合设计要求,如设计无规定时,应符合表 10.2.2 的规定。

表 10.2.2 受力主钢筋制作和末端弯钩形状

弯曲部位	弯曲角度	形状图	钢筋种类	弯曲直径 D	平直部分长度	备注
末端弯钩	180°		I	$\geq 2.5d$	$\geq 3d$	d 为钢筋直径
	135°		HRB335	$\phi 8 \sim \phi 25 \geq 4d$	$\geq 5d$	
			HRB400	$\phi 28 \sim \phi 40 \geq 5d$		
	90°		HRB335	$\phi 8 \sim \phi 25 \geq 4d$	$\geq 10d$	
			HRB400	$\phi 28 \sim \phi 40 \geq 5d$		

中间弯钩	90° 以下		各类	$\geq 20d$		
------	--------	---	----	------------	--	--

注：环氧树脂涂层钢筋当进行弯曲加工时，对直径 d 不大于 20mm 的钢筋，其弯曲直径不应小于 $4d$ ，对直径 d 大于 20mm 的钢筋，其弯曲直径不小于 $6d$ 。

10.2.3 用 I 级钢筋制作的箍筋，其末端应做弯钩，弯钩的弯曲直径应大于受力主钢筋的直径，且不小于箍筋直径的 2.5 倍。弯钩平直部分的长度，一般结构不宜小于箍筋直径的 5 倍，有抗震要求的结构，不应小于箍筋直径的 10 倍。弯钩的形式，如设计无要求时，可按图 10.2.3a)、b)加工；有抗震要求的结构，应按图 10.2.3c)加工。

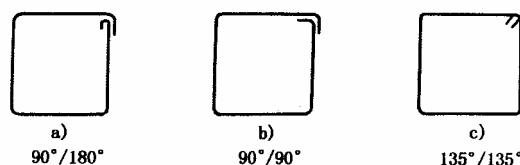


图 10.2.3 箍筋弯钩形式图

10.3 钢筋的连接

10.3.1 钢筋的焊接与绑扎接头

1 轴心受拉和小偏心受拉杆件中的钢筋接头，不宜绑接。普通混凝土中直径大于 25mm 的钢筋，宜采用焊接。

2 钢筋的纵向焊接应采用闪光对焊(HRB500 钢筋必须采用闪光对焊)。当缺乏闪光对焊条件时，可采用电弧焊、电渣压力焊、气压焊。钢筋的交叉连接，无电阻点焊机时，可采用手工电弧焊。各种预埋件 T 形接头钢筋与钢板的焊接，也可采用预埋件钢筋埋弧压力焊。电渣压力焊只适用于竖向钢筋的连接，不能用作水平钢筋和斜筋的连接。钢筋焊接的接头型式、焊接方法、适用范围应符合现行《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18)的规定。质量验收标准见附录 E-2。

3 钢筋焊接前，必须根据施工条件进行试焊，合格后方可正式施焊。焊工必须持考试合格证上岗。

4 钢筋接头采用搭接或帮条电弧焊时，宜采用双面焊缝，双面焊缝困难时，可采用单面焊缝。

5 钢筋接头采用搭接电弧焊时，两钢筋搭接端部应预先折向一侧，使两接合钢筋轴线一致。接头双面焊缝的长度不应小于 $5d$ ，单面焊缝的长度不应小于 $10d$ (d 为钢筋直径)。

钢筋接头采用帮条电弧焊时，帮条应采用与主筋同级别的钢筋，其总截面面积不应小于被焊钢筋的截面积。帮条长度，如用双面焊缝不应小于 $5d$ ，如用单面焊缝不应小于 $10d$ (d 为钢筋直径)。

6 凡施焊的各种钢筋、钢板均应有材质证明书或试验报告单。焊条、焊剂应有合格证，各种焊接材料的性能应符合现行《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18)的规定。各种焊接材料应分类存放和妥善管理，并应采取防止腐蚀、受潮变质的措施。

7 电渣压力焊、气压焊、预埋件钢筋埋弧压力焊的技术规定及电弧焊中的坡口焊、窄间隙焊、熔槽帮条焊和钢筋与钢板焊接的技术规定可参照现行《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18)的规定执行。

8 受力钢筋焊接或绑扎接头应设置在内力较小处，并错开布置，对于绑扎接头，两接头间距离不小于 1.3 倍搭接长度。对于焊接接头，在接头长度区段内，同一根钢筋不得有两个接头，配置在接头长度区段内的受力钢筋，其接头的截面面积占总截面面积的百分率应符合表 10.3.1-1 的规定。对于绑扎接头，其接头的截面面积占总截面面积的百分率，亦应符合表 10.3.1-1 的规定。

表 10.3.3-1 接头长度区段内受力钢筋接着面积的最大百分率

接头型式	接头面积最大百分率(%)	
	受拉区	受压区
主钢筋绑扎接头	25	50
主钢筋焊接接头	50	不限制

注：①焊接接头长度区段内是指 35d(d 为钢筋直径)长度范围内，但不得小于 500mm，绑扎接头长度区段是指 1.3 倍搭接长度；

②在同一根钢筋上应尽量少设接头；

③装配式构件连接处的受力钢筋焊接接头可不受此限制；

④绑扎接头中钢筋的横向净距不应小于钢筋直径且不应小于 25mm；

⑤环氧树脂涂层钢筋绑扎搭接长度，对受拉钢筋应至少为涂层钢筋锚固长度的 1.5 倍且不小于 375mm；对受压钢筋为无涂层钢筋锚固长度的 1.0 倍且不小于 250mm。

9 电弧焊接和绑扎接头与钢筋弯曲处的距离不应小于 10 倍钢筋直径，也不宜位于构件的最大弯矩处。

10 焊接时，对施焊场地应有适当的防风、雨、雪、严寒设施。冬期施焊时应按本规范第 14 章冬期施工的要求进行，低于-20℃时，不得施焊。

11 受拉钢筋绑扎接头的搭接长度，应符合表 10.3.1-2 的规定；受压钢筋绑扎接头的搭接长度，应取受拉钢筋绑扎接头搭接长度的 0.7 倍。

表 10.3.1-2 受拉钢筋绑扎接头的搭接长度

钢筋类型		混凝土强度等级		
		C20	C25	高于 C25
I 级钢筋		35d	30d	25d
月牙纹	HRB335 牌号钢筋	45d	40d	35d
	HRB400 牌号钢筋	55d	50d	45d

注：①当带肋钢筋直径 d 不大于 25mm 时，其受拉钢筋的搭接长度应按表中值减少 5d 采用；当带肋钢筋直径 d 大于 25mm 时，其受拉钢筋的搭接长度应按表中值增加 5d 采用。

②当混凝土在凝固过程中受力钢筋易受扰动时，其搭接长度宜适当增加。

③在任何情况下，纵向受拉钢筋的搭接长度不应小于 300mm；受压钢筋的搭接长度不应小于 200mm。

④当混凝土强度等级低于 C20 时，I 级、HRB335 牌号钢筋的搭接长度应按表中 C20 的数值相应增加 10d；HRB500 钢筋不宜采用。

⑤对有抗震要求的受力钢筋的搭接长度，当抗震烈度为七度(及以上)时应增加 5d。

⑥两根不同直径的钢筋的搭接长度，以较细的钢筋直径计算。

12 受拉区内 I 级钢筋绑扎接头的末端应做弯钩，HRB335、HRB400 牌号钢筋的绑扎接头末端可不作弯钩。

直径等于和小于 12mm 的受压 I 级钢筋的末端，可不作弯钩，但搭接长度不应小于钢筋直径的 30 倍。钢筋搭接处，应在中心和两端用铁丝扎牢。

10.3.2 钢筋的机械连接

1 钢筋的机械连接，其接头性能指标应符合附录 E-3 的规定。

2 钢筋连接件处的混凝土保护层宜满足设计要求，且不得小于 15mm，连接件之间的横向净距不宜小于 25mm。

3 对受力钢筋机械连接接头的位置要求，可依照焊接接头要求办理。

4 带肋钢筋套筒挤压接头(以下简称挤压接头)适用直径为 16~40mm 的 HRB335、HRB400 牌号带肋钢筋的径向挤压连接。用于挤压连接的钢筋应符合现行国家标准的要求。

1)不同直径的带肋钢筋可采用挤压接头连接，当套筒两端外径和壁厚相同时，被连接钢筋的直径相差不应大于 5mm。

2)当混凝土结构中挤压接头部位的温度低于-20℃时，宜进行专门的试验。

3)对 HRB335、HRB400 牌号带肋钢筋挤压接头所用套筒材料，应选用适于压延加工的钢材，其实测力学性能、承载力及尺寸偏差应符合有关规定。

4)套筒应有出厂合格证，套筒在运输和储存中，应按不同规格分别堆放，不得露天堆放，应防止锈蚀和沾污。

5)挤压接头施工时有关挤压设备、人员、挤压操作、质量检验、施工安全应符合现行《带肋钢筋套筒挤压连接技术规程》(JGJ108)的规定。

5 钢筋锥螺纹接头，适用于直径为 16~40mm 的 HRB335、HRB400 牌号钢筋的连接，用于连接的钢筋应符合现行国家标准的要求。锥螺纹连接套的材料宜用 45 号优质碳素结构钢材或其他经试验确认符合要求的钢材。钢筋锥螺纹接头的技术要求，应符合现行《钢筋锥螺纹接头技术规程》(JGJ109)的规定。

1)钢筋锥螺纹接头的应用，应符合下列规定：

(1)接头端头距钢筋弯曲点不得小于钢筋直径的 10 倍；

(2)不同直径的钢筋连接时，一次连接钢筋直径规格不宜超过 2 级；

2) 锥螺纹接头施工时，有关材料、加工、操作、质量检验应符合现行《钢筋锥螺纹接头技术规程》(JGJ109)的规定。

10.4 钢筋骨架和钢筋网的组成及安装

10.4.1 对于预制钢筋骨架或钢筋网必须具有足够的刚度和稳定性。

10.4.2 骨架的焊接拼装应在坚固的工作台上进行，操作时应符合下列要求：

1 拼装时应按设计图纸放大样，放样时应考虑焊接变形和预留拱度。

2 钢筋拼装前，对有焊接接头的钢筋应检查每根接头是否符合焊接要求。

3 拼装时，在需要焊接的位置用楔形卡卡住，防止电焊时局部变形。待所有焊接点卡好后，先在焊缝两端点焊定位，然后进行焊缝施焊。

4 骨架焊接时，不同直径的钢筋的中心线应在同一平面上。为此，较小直径的钢筋在焊接时，下面宜垫以厚度适当的钢板。

5 施焊顺序宜由中到边对称地向两端进行，先焊骨架下部，后焊骨架上部。相邻的焊缝采用分区对称跳焊，不得顺方向一次焊成。

10.4.3 钢筋网焊点应符合设计规定，当设计无规定时，应按下列要求焊接：

1 当焊接网的受力钢筋为Ⅰ级或冷拉Ⅰ级钢筋时，如焊接网只有一个方向为受力钢筋，网两端边缘的两根锚固横向钢筋与受力钢筋的全部相交点必须焊接；如焊接网的两个方向均为受力钢筋，则沿网四周边缘的两根钢筋的全部相交点均应焊接，其余的交叉点，可根据运输和安装条件决定，一般可焊接或绑扎一半交叉点。

2 当焊接网的受力钢筋为冷拔低碳钢丝，而另一方向的钢筋间距小于 100mm 时，除网两端边缘的两根钢筋的全部相交点必须焊接外，中间部分的焊点距离可增大至 250mm。

10.4.4 在现场绑扎钢筋网时，应遵守下列规定：

- 1 钢筋接头的布置，应符合本章第 10.3 节的有关规定。
- 2 钢筋的交叉点应用铁丝绑扎结实，必要时，亦可用点焊焊牢。
- 3 除设计有特殊规定者外，柱和梁中的箍筋应与主筋垂直。
- 4 墩、台身，柱中的竖向钢筋搭接时，转角处的钢筋弯钩应与模板成 45°，中间钢筋的弯钩应与模板成 90°。如采用插入式振捣器浇筑小型截面柱时，弯钩与模板的角度最小不得小于 15°，在浇筑过程中不得松动。
- 5 箍筋弯钩的叠合处，在梁中应沿梁长方向置于上面并交错布置，在柱中应沿柱高方向交错布置，若是方柱则必须位于箍筋与柱角竖向钢筋交接点上。但有交叉式箍筋的大截面柱，其接头可位于箍筋与任何一根中间纵向钢筋的交接点上。圆柱或圆管涵螺旋形箍筋的起点和终点应分别绑扎在纵向钢筋上。

10.4.5 应在钢筋与模板间设置垫块，垫块应与钢筋扎紧，并互相错开。非焊接钢筋骨架的多层钢筋之间，应用短钢筋支垫，保证位置准确。钢筋混凝土保护层厚度应符合设计要求。

10.4.6 在浇筑混凝土前，应对已安装好的钢筋及预埋件(钢板、锚固钢筋等)进行检查。

10.5 质量检查和质量标准

10.5.1 加工钢筋的偏差不得超过表 10.5.1 的规定。

表 10.5.1 加工钢筋的允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)
受力钢筋顺长度方向加工后的全长	± 10
弯起钢筋各部尺寸	± 20
箍筋、螺旋筋各部分尺寸	± 5

10.5.2 焊接钢筋的验收和允许偏差

- 1 焊接钢筋的质量验收内容和标准应按附录 E-2 的规定执行。
- 2 焊接钢筋网和焊接骨架的偏差不得超过表 10.5.2 的规定。

表 10.5.2 焊接网及焊接骨架的允许偏差

项目	允许偏差(mm)	项目	允许偏差(mm)
网的长、宽	± 10	骨架的宽及高	± 5
网眼的尺寸	± 10	骨架的长	± 10

网眼的对角线差	10	箍筋间距	0,-20
---------	----	------	-------

10.5.3 机械接头的施工现场检验与验收

1 应用钢筋机械连接时，应提交有效的型式检验报告，型式检验应符合现行《钢筋机械连接通用技术规程》(JGJ107)的规定。

2 钢筋连接开始前及施工过程中，应对每批进场钢筋进行接头工艺检验，工艺检验应符合下列要求：

(1)每种规格钢筋的接头试件不应少于 3 根；

(2)对接头试件的钢筋母材应进行抗拉强度试验；

(3)3 根接头试件的抗拉强度均应满足本规范附录 E-3 中附表 E-3-1 的强度要求。试件抗拉强度尚应大于等于 0.95 倍钢筋母材的实际抗拉强度。计算实际抗拉强度时，应采用钢筋的实际横截面面积。

3 现场检验应符合现行《钢筋机械连接通用技术规程》(JGJ107)、《钢筋锥螺纹接头技术规程》(JCJ109)、《带肋钢筋套筒挤压连接技术规程》(JCJ108)的规定。

10.5.4 安装钢筋的允许偏差

钢筋的级别、直径、根数和间距均应符合设计要求。绑扎或焊接的钢筋网和钢筋骨架不得有变形、松脱和开焊，钢筋位置的偏差不得超过表 10.5.4 的规定。

表 10.5.4 钢筋位置允许偏差

检 查 项 目			允许偏差(mm)
受力钢筋 间距	两排以上排距		±5
	同排	梁、板、拱肋	±10
		基础、锚碇、墩台、柱	±20
	灌注桩		±20
箍筋、横向水平钢筋、螺旋筋间距			0, -20
钢筋骨架尺寸		长	±10
		宽、高或直径	±5
弯起钢筋位置			±20
保护层厚度		柱、梁、拱肋	±5
		基础、锚碇、墩台	±10
		板	±3

11 混凝土及钢筋混凝土工程

11.1 一般规定

11.1.1 本章适应于公路桥涵混凝土施工及预应力混凝土中混凝土的施工，水下混凝土及预应力混凝土等的施工还应符合本规范第 5 章、第 12 章的规定。

11.1.2 在进行混凝土强度试配和质量评定时，混凝土的抗压强度应以边长为 150mm 的立方体尺寸标准试件测定。试件以同龄期者三块为一组，并以同等条件制作和养护，每组试件的抗压强度应以三个试件测值的算术平均值为测定值，如有一个测值与中间值的差值超过中间值的 15% 时，则取中间值为测定值；如有两个测值与中间值的差值均超过 15% 时，则该组试件无效。

11.1.3 当采用非标准尺寸试件做抗压强度试验时，其抗压强度应按表 11.1.3 所列系数进行换算。

表 11.1.3 混凝土试件抗压强度换算系数

骨料最大粒径(一)	试件尺寸(一)	换算系数
60	200×200×200	1.05
30	100×100×100	0.95

注：采用 150mm×150mm×150mm 的标准试件，其骨料最大粒为 40mm。

11.1.4 混凝土抗压强度应为标准尺寸试件在温度为 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 及相对湿度不低于 90% 的环境中养护 28d 做抗压试验时所测得的抗压强度值(单位 MPa)，在进行混凝土强度试配和质量评定时，取其保证率为 95%。

11.1.5 拌制混凝土所使用的各项材料及拌和物的质量应经过检验，试验方法应符合现行《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053)的有关规定。未列入该规程的试验项目，可参照其他有关试验规程。

11.2 配制混凝土用的材料

11.2.1 水泥

1 选用水泥时，应注意其特性对混凝土结构强度、耐久性和使用条件是否有不利影响。

2 选用水泥时，应以能使所配制的混凝土强度达到要求、收缩小、和易性好和节约水泥为原则。常用水泥的强度等级及软练胶砂抗压强度见附录 F-1。

3 水泥应符合现行国家标准，并附有制造厂的水泥品质试验报告等合格证明文件。水泥进场后，应按其品种、强度、证明文件以及出厂时间等情况分批进行检查验收。对所用水泥应进行复查试验。为快速鉴定水泥的现有强度，也可用促凝压蒸法进行复验。

4 袋装水泥在运输和储存时应防止受潮，堆垛高度不宜超过 10 袋。不同强度等级、品种和出厂日期的水泥应分别堆放。

5 散装水泥的储存，应尽可能采用水泥罐或散装水泥仓库。

6 水泥如受潮或存放时间超过 3 个月，应重新取样检验，并按其复验结果使用。

11.2.2 细骨料

1 桥涵混凝土的细骨料，应采用级配良好、质地坚硬、颗粒洁净、粒径小于 5mm 的河砂，河砂不易得到时，也可用山砂或用硬质岩石加工的机制砂。细骨料不宜采用海砂，不得不采用海砂时，其氯离子的含量对于钢筋混凝土应符合本章 11.3.6 条的规定。细骨料的试验可按现行《公路工程集料试验规程》(JTJ058)执行。

2 砂的筛分应符合下列规定：

1)砂的分类见表 11.2.2-1。

表 11.2.2-1 砂的分类

砂 组	粗 砂	中 砂	细 砂
细度模数	3.7~3.1	3.0~2.3	2.2~1.6

注：细度模数主要反映全部颗粒的粗细程度，不完全反映颗粒的级配情况，混凝土配制时应同时考虑砂的细度模数和级配情况。

2)砂的级配应符合表 11.2.2-2 中任何一个级配区所规定的级配范围。

表 11.2.2-2 砂的分区及级配范围

标准筛 筛孔尺寸(mm)	级 配 区			标准筛 筛孔尺寸(mm)	级 配 区		
	I 区	II 区	III区		I 区	II 区	III区
	累计筛余(%)				累计筛余(%)		
10.00	0	0	0	0.63	85~74	70~41	40~16
5.00	10~0	10~0	10~0	0.315	95~80	92~70	85~55
2.50	35~5	25~0	15~0	0.16	100~90	100~90	100~90
1.25	65~35	50~10	25~0				

注：①表中除 5mm、0.63mm、0.16mm 筛孔外，其余各筛孔累计筛余允许超出分界线，但其总量不得大于 5%。

②I 区砂宜提高砂率以配低流动性混凝土；II 区砂宜优先选用以配不同等级的混凝土；III区砂宜适当降低砂率以保证混凝土的强度。

③对于高强泵送混凝土用砂宜选用中砂，细度模数为 2.9~2.6。2.5mm 筛孔的累计筛余量不得大于 15%，0.315mm 筛孔的累计筛余量宜在 85%~92% 范围内。

3 当对河砂、海砂或机制砂的坚固性有怀疑时，应用硫酸钠进行坚固性试验，试验时循环 5 次，砂的总质量损失应符合表 11.2.2-3 的规定。

4 砂中杂质的含量应通过试验测定，其最大含量不宜超过表 11.2.2-4 的规定。

11.2.3 粗骨料

1 桥涵混凝土的粗骨料，应采用坚硬的卵石或碎石，应按产地、类别、加工方法和规格等不同情况，分批进行检验，机械集中生产时，每批不宜超过 400m³；人工分散生产时，每批不宜超过 200m³。粗骨料的试验可按现行《公路工程集料试验规程》(JTJ058)执行。

表 11.2.2-3 砂的坚固性指标

混凝土所处的环境条件	循环后的质量损失
在寒冷地区室外使用，并经常处于潮湿或干燥交替状态下的混凝土	≤8
在其他条件下使用的混凝土	≤12

注：①寒冷地区系指最寒冷月份的月平均温度为 0~-10℃且日平均温度≤5℃的天数不超过 145d 的地区；

②对同一产源的砂，在类似的气候条件下使用已有可靠经验时，可不作坚固性检验；

③对于有抗疲劳、耐磨、抗冲击要求的混凝土用砂，或有腐蚀介质作用或经常处于水位变化区的地下结构混凝土用砂，其循环后的质量损失率应小于 8%。

表 11.2.2-4 砂中杂质的最大含量

项 目	≥C30 的混凝土	<C30 的混凝土
含泥量(%)	≤3	≤5

其中泥块含量(%)	≤1.0	≤2.0
云母含量(%)	<2	
轻物质含量(%)	<1	
硫化物及硫酸盐折算为 Sq(%)	<1	
有机质含量(用比色法试验)	颜色不应深于标准色,如深于标准色,应以水泥砂浆进行抗压强度对比试验,加以复核	

注:①对有抗冻、抗渗或其他特殊要求的混凝土用砂,总含泥量应不大于3%,其中泥块含量应不大于1.0%,云母含量不应超过1%;

②对有机质含量进行复核时,用原状砂配制的水泥砂浆抗压强度不低于用洗除有机质的砂所配制的砂浆的95%时为合格;

③砂中如含有颗粒状的硫酸盐或硫化物,则要进行混凝土耐久性试验,满足要求时方能使用;

④杂质含量均按质量计。

2 粗骨料的颗粒级配,可采用连续级配或连续级配与单粒级配合使用。在特殊情况下,通过试验证明混凝土无离析现象时,也可采用单粒级。粗骨料的级配范围应符合表 11.2.3-1 的要求。

表 11.2.3-1 碎石或卵石的颗粒级配规格

级配情况	公称粒级 (mm)	累计筛余 (按质量百分率计)											
		圆孔筛筛孔尺寸 (mm)											
		2.5	5	10	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
连续级配	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	5~16	95~100	90~100	30~60	0~10	0	—	—	—	—	—	—	—
	5~20	95~100	90~100	40~70	—	0~10	0	—	—	—	—	—	—
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0	—	—	—	—	—
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~40	—	0~5	0	—	—	—	—
	5~40	—	95~100	75~90	—	30~60	—	—	0~5	0	—	—	—
单粒级	10~20	—	95~100	85~100	—	0~15	0	—	—	—	—	—	—
	16~31.5	—	95~100	—	85~100	—	—	0~10	0	—	—	—	—
	20~40	—	—	95~100	—	80~100	—	—	0~10	0	—	—	—
	31.5~63	—	—	—	95~100	—	—	75~100	45~75	—	0~10	0	—

	40~ 80	—	—	—	—	95~ 100	—	—	70~ 100	—	30~ 60	0~ 10	0
--	-----------	---	---	---	---	------------	---	---	------------	---	-----------	----------	---

3 粗骨料最大粒径应按混凝土结构情况及施工方法选取，但最大粒径不得超过结构最小边尺寸的 $1/4$ 和钢筋最小净距的 $3/4$ ；在两层或多层密布钢筋结构中，不得超过钢筋最小净距的 $1/2$ ，同时最大粒径不得超过 100mm。用混凝土泵运送混凝土时的粗骨料最大粒径，除应符合上述规定外，对碎石不宜超过输送管径的 $1/3$ ；对于卵石不宜超过输送管径的 $1/2.5$ ，同时应符合混凝土泵制造厂的规定。

4 粗骨料的技术要求及有害物质含量的规定见表 11.2.3-2 及表 11.2.3-3。

表 11.2.3-2 粗集料的技术要求

项目	混凝土强度等级			
	C55~C40	≤C35	≥C30	<C30
石料压碎指标值(%)	≤12	≤16	—	—
针片状颗粒含量(%)	—	—	≤15	≤25
含泥量(按质量计)(%)	—	—	≤1.0	≤2.0
泥块含量(按质量计)(%)	—	—	≤0.5	≤0.7
小于 2.5mm 的颗粒含量(按质量计)(%)	≤5	≤5	≤5	≤5

注：①混凝土强度等级为 C60 及以上时应进行岩石抗压强度检验，其他情况下，如有必要时也可进行岩石的抗压强度检验。岩石的抗压强度与混凝土强度等级之比对于大于或等于 C30 的混凝土，不应小于 2，其他不应小于 1.5，且火成岩强度不宜低于 80MPa，变质岩不宜低于 60MPa，水成岩不宜低于 30MPa。岩石的抗压强度试验可按现行《公路工程石料试验规程》(JTJ054) 执行。

②混凝土强度在 C10 及以下时，针片状颗粒最大含量可为 40%。

表 11.2.3-3 碎石或卵石中的有害物质含量

项 目	品 质 指 标
硫化物及硫酸盐折算为 SO ₃ (按质量{+}不大于(%))	1
卵石中有机质含量(用比色法试验)	颜色不应深于标准色，如深于标准色，则应配制混凝土进行强度试验，抗压强度应不低于 95%

注：如含有颗粒硫酸盐或硫化物，则要进行混凝土耐久性试验，确认能满足要求时方能用。

5 混凝土结构物处于表 11.2.3-4 所列条件下时，应对碎石或卵石进行坚固性试验，试验结果应符合表内的规定。

表 11.2.3-4 碎石或卵石的坚固性试验

混凝土所处环境条件	在溶液中循环次数	试验后质量损失不宜大于(%)
-----------	----------	----------------

寒冷地区，经常处于干湿交替状态	5	5
严寒地区，经常处于干湿交替状态	5	3
混凝土处于干燥条件，但粗集料风化或软弱颗粒过多时	5	12
混凝土处于干燥条件，但有抗疲劳、耐磨、抗冲击要求高或强度大于 C40	5	5

注：有抗冻、抗渗要求的混凝土用硫酸钠法进行坚固性试验不合格时，可再进行直接冻融试验。

6 施工前应对所用的碎石或卵石进行碱活性检验，在条件许可时尽量避免采用有碱活性反应的骨料，或采取必要的措施。具体试验方法可参照现行《公路工程集料试验规程》(JTJ058)进行。

7 骨料在生产、采集、运输与储存过程中，严禁混入影响混凝土性能的有害物质。骨料应按品种规格分别堆放，不得混杂。在装卸及存储时，应采取措施，使骨料颗粒级配均匀，并保持洁净。

11.2.24 拌和用水

拌制混凝土用的水，应符合下列要求：

1 水中不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质或油脂、糖类及游离酸类等。

2 污水、pH 值小于 5 的酸性水及含硫酸盐量按 SO_4^{2-} 计超过水的质量 $0.27\text{mg} / \text{cm}^3$ 水不得使用。

3 不得用海水拌制混凝土。

4 供饮用的水，一般能满足上述条件，使用时可不经试验。

11.2.5 外加剂

1 应根据外加剂的特点，结合使用目的，通过技术、经济比较来确定外加剂的使用品种。如果使用一种以上的外加剂，必须经过配比设计，并按要求加入到混凝土拌和物中。在外加剂的品种确定后，掺量应根据使用要求、施工条件、混凝土原材料的变化进行调整。

2 所采用的外加剂，必须是经过有关部门检验并附有检验合格证明的产品，其质量应符合现行《混凝土外加剂》(GB8076)的规定，使用前应复验其效果，使用时应符合产品说明及本规范关于混凝土配合比、拌制、浇筑等各项规定以及外加剂标准中的有关规定。有关混凝土外加剂现场复试检测项目及标准见附录 F-2。不同品种的外加剂应分别存储，做好标记，在运输与存储时不得混入杂物和遭受污染。

11.2.6 混合材料

1 混合材料包括粉煤灰、火山灰质材料、粒化高炉矿渣等，应由生产单位专门加工，进行产品检验并出具产品合格证书，其技术条件应分别符合现行《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB1596)、《用于水泥中的火山灰质混合料》(GB / T2847)、《用于水泥中的粒化高炉矿渣》(GB / T203)等标准的规定。使用单位对产品质量有怀疑时，应对其质量进行复查，混合材料技术条件见附录 F-3。

2 混合材料在运输与存储中，应有明显标志，严禁与水泥等其他粉状材料混

淆。

11.3 混凝土的配合比

11.3.1 混凝土的配合比，应以质量比计，并应通过设计和试配选定。试配时应使用施工实际采用的材料，配制的混凝土拌和物应满足和易性、凝结速度等施工技术条件，制成的混凝土应符合强度、耐久性(抗冻、抗渗、抗侵蚀)等质量要求。

11.3.2 普通混凝土的配合比，可参照现行《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ / T55)，通过试配确定。混凝土的试配强度，应根据设计强度等级，考虑施工条件的差异和变化以及材料质量可能的波动，可参照附录 F-4 计算确定。对于有特殊要求的混凝土的配合比设计(包括抗渗混凝土、抗冻混凝土、高强混凝土、泵送混凝土、大体积混凝土)，亦可参照上述规程，经过试配确定。在施工过程中，应及时积累资料，为合理调整混凝土配合比提供依据。

11.3.3 配制混凝土时，应根据结构情况和施工条件确定混凝土拌和物的坍落度，浇筑时的坍落度可按表 11.3.3 选用。

表 11.3.3 混凝土浇筑入模时的坍落度

结 构 类 别	坍落度(一)(振动器振动)
小型预制块及便于浇筑振动的结构	0~20
桥涵基础、墩台等无筋或少筋的结构	10~30
普通配筋率的钢筋混凝土结构	30~50
配筋较密、断面较小的钢筋混凝土结构	50~70
配筋极密、断面高而窄的钢筋混凝土结构	70~90

注：①水下混凝土、泵送混凝土的坍落度，另见本规范有关章节的规定；
②用人工捣实时，坍落度宜增加 20~30mm。

当工程需要获得较大的坍落度时，可在不改变混凝土的水灰比，不影响混凝土的质量的情况下，适当掺加外加剂。

11.3.4 混凝土的最大水灰比和最小水泥用量应符合表 11.3.4 的规定。

表 11.3.4 混凝土的最大水灰比和最小水泥用量

混凝土结构所处环境	无筋混凝土		钢筋混凝土	
	最大水灰比	最小水泥用量(kg / m³)	最大水灰比	最小水泥用量(kg / m³)
温暖地区或寒冷地区，无侵蚀物质影响，与土直接接触	0.60	250	0.55	275
严寒地区或使用除冰盐的桥涵	0.55	275	0.50	300
受侵蚀性物质影响	0.45	300	0.40	325

注：①本表中的水灰比，系指水与水泥(包括外掺混合材料)用量的比值。
②本表中的最小水泥用量，包括外掺混合材料。当采用人工捣实混凝土

时,水泥用量应增加 25kg/m³。当掺用外加剂且能有效地改善混凝土的和易性时,水泥用量可减少 25kg/m³。

③严寒地区系指最冷月份平均气温≤-10℃且日平均温度在≤5℃的天数≥145d 的地区。

11.3.5 混凝土的最大水泥用量(包括代替部分水泥的混合材料)不宜超过 500kg / m³, 大体积混凝土不宜超过 350kg / m³。

11.3.6 在混凝土中掺入外加剂时,除应符合 11.2.5 条的规定外,还应符合下列规定:

- 1 在钢筋混凝土中不得掺用氯化钙、氯化钠等氯盐。
- 2 位于温暖或严寒地区、无侵蚀性物质影响及与土直接接触的钢筋混凝土构件,混凝土中的氯离子含量不宜超过水泥用量的 0.30%;位于严寒和海水区域、受侵蚀环境和使用除冰盐的桥涵,氯离子含量不宜超过水泥用量的 0.5%。从各种组成材料引入的氯离子含量(折合氯盐含量)如大于上述数值时,应采取有效的防锈措施(如掺入阻锈剂、增加保护层厚度、提高混凝土密实性等)。当采用洁净水和无氯骨料时,氯离子含量可主要以外加剂或混合材料的氯离子含量控制。
- 3 无筋混凝土的氯化钙或氯化钠掺量,以干质量计,不得超过水泥用量的 3%。
- 4 掺入加气剂的混凝土的含气量宜为 3.5%~5.5%。
- 5 对由外加剂带人混凝土的碱含量应进行控制。每立方米混凝土的总含碱量,对一般桥涵不宜大于 3.0kg / m³,对特殊大桥、大桥和重要桥梁不宜大于 1.8kg / m³;当处于受严重侵蚀的环境,不得使用有碱活性反应的骨料。

11.3.7 粉煤灰、火山灰及粒化高炉矿渣等混合材料作为水泥代替材料或混凝土拌和物的填充材料掺于硅酸盐水泥、普通水泥或其他水泥配制的混凝土拌和物中时,其掺量应通过试验确定,用于代替部分水泥时的掺量不应大于现行国家标准《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥》(GB1344)的规定。

11.3.8 泵送混凝土的配合比宜符合下列规定:

- 1 骨料最大粒径与输送管内径之比应符合本章 11.2.3 条第 3 款的规定。通过 0.315mm 筛孔的砂不应少于 15%,砂率宜控制在 40%~50%。
- 2 最小水泥用量 280~300kg / m³(输送管径 100~150mm)。
- 3 混凝土拌和物的坍落度宜为 80~180mm。
- 4 宜掺用适量的外加剂或混合材料。

11.3.9 通过设计和试配确定配合比后,应填写试配报告单,提交施工监理或有关方面批准。混凝土配合比使用过程中,应根据混凝土质量的动态信息,及时进行调整、报批。

11.4 混凝土的拌制

11.4.1 拌制混凝土配料时,各种衡器应保持准确。对骨料的含水率应经常进行检测,雨天施工应增加测定次数,据以调整骨料和水的用量。配料数量的允许偏差(以质量计)见表 11.4.1。

表 11.4.1 配料数量允许偏差

材料类别	允许偏差(%)	
	现场拌制	预制场或集中搅拌站拌制

水泥、混合材料	±2	±1
粗、细骨料	±3	±2
水、外加剂	±2	±1

放入拌和机内的第一盘混凝土材料应含有适量的水泥、砂和水，以覆盖拌和筒的内壁而不降低拌和物所需的含浆量。每一工作班正式称量前，应对计量设备进行重点校核。计量器具应定期检定，经大修、中修或迁移至新的地点后，也应进行检定。

11.4.2 混凝土应使用机械搅拌，零星工程的塑性混凝土也可用人工拌和。用机械搅拌时，自全部材料装入搅拌筒至开始出料的最短搅拌时间应按设备出厂说明书的规定，并经试验确定，且不得低于表 11.4.2 的规定。

表 11.4.2 混凝土最短搅拌时间

搅拌机类别	搅拌机容量 (1)	混凝土坍落度(一)		
		<30	30~70	>70
		混凝土最短搅拌时间(min)		
自落式	≤400	2.0	1.5	1.0
	≤800	2.5	2.0	1.5
	≤1200	—	2.5	1.5
强制式	≤400	1.5	1.0	1.0
	≤1500	2.5	1.5	1.5

注：①搅拌细砂混凝土或掺有外加剂的混凝土时，搅拌时间应适当延长 1~2min；

②外加剂应先调成适当浓度的溶液再掺入；

③搅拌机装料数量(装入粗骨料、细骨料、水泥等松体积的总数)不应大于搅拌机标定容量的 110%；

④搅拌时间不宜过长，每一工作班至少应抽查两次；

⑤表列时间为从搅拌加水算起；

⑥当采用其他形式的搅拌设备时，搅拌的最短时间应按设备说明书的规定或经试验确定。

11.4.3 对于在施工现场集中搅拌的混凝土，应检查混凝土拌和物的均匀性。

1 混凝土拌和物应拌和均匀，颜色一致，不得有离析和泌水现象。

2 混凝土拌和物均匀性的检测方法应按现行国家标准《混凝土搅拌机技术条件》(GB9142)的规定进行。

3 检查混凝土拌和物均匀性时，应在搅拌机的卸料过程中，从卸料流的 1/4 至 3/4 之间部位，采取试样，进行试验，其检测结果应符合下列规定：

(1)混凝土中砂浆密度两次测值的相对误差不应大于 0.8%；

(2)单位体积混凝土中粗骨料含量两次测值的相对误差不应大于 5%。

11.4.4 混凝土搅拌完毕后，应按下列要求检测混凝土拌和物的各项性能：

1 混凝土拌和物的坍落度，应在搅拌地点和浇筑地点分别取样检测，每一工作班或每一单元结构物不应少于两次。评定时应以浇筑地点的测值为准。如混凝土拌和物从搅拌机出料起至浇筑入模的时间不超过 15min 时，其坍落度可仅在搅拌地点取样检测。在检测坍落度时，还应观察混凝土拌和物的粘聚性和保水性。

2 根据需要还应检测混凝土拌和物的其他质量指标并应符合本章的其他规

定。

11.4.5 掺用高效减水剂或速凝剂且混凝土运距较远时，可运至浇筑地点再掺入重拌。

11.5 混凝土的运输

11.5.1 混凝土的运输能力应适应混凝土凝结速度和浇筑速度的需要，使浇筑工作不间断并使混凝土运到浇筑地点时仍保持均匀性和规定的坍落度。当混凝土拌和物运距较近时，可采用无搅拌器的运输工具运输；当运距较远时，宜采用搅拌运输车运输。运输时间不宜超过表 11.5.1 的规定。

表 11.5.1 混凝土拌和物运输时间限制

气 温(℃)	无搅拌设施运输(min)	有搅拌设施运输(min)
20~30	30	60
10~19	45	75
5~9	60	90

注：①当运距较远时，可用搅拌运输车运干拌料到浇筑地点后再加水搅拌；
②掺用外加剂或采用快硬水泥拌制混凝土时，应通过试验查明所配制混凝土的凝结时间后，确定运输时间限制；
③表列时间系指从加水搅拌至入模时间。

11.5.2 用无搅拌运输工具运送混凝土时，应采用不漏浆、不吸水、有顶盖且能直接将混凝土倾入浇筑位置的盛器。

11.5.3 采用泵送混凝土应符合下列规定：

- 1 混凝土的供应必须保证输送混凝土的泵能连续工作。
- 2 输送管线宜直，转弯宜缓，接头应严密，如管道向下倾斜，应防止混入空气，产生阻塞。
- 3 泵送前应先用适量的、与混凝土内成分相同的水泥浆润滑输送管内壁。混凝土出现离析现象时，应立即用压力水或其他方法冲洗管内残留的混凝土，泵送间歇时间不宜超过 15min。
- 4 在泵送过程中，受料斗内应具有足够的混凝土，以防止吸入空气产生阻塞。

11.5.4 用带式运输机运送混凝土时，应符合下列规定：

- 1 传送带的倾斜度不应超过表 11.5.4 的规定。
- 2 混凝土卸于传送带上和由传送带卸下时，应通过漏斗等设施，保持垂直下料。
- 3 传送带上应设置刮刀等清理设备。
- 4 传送带运转速度不应超过 1.2m/s。
- 5 做配合比设计时，应考虑有 2%~3%的砂浆损失。

表 11.5.4 传送带最大倾斜角度

混凝土坍落度(mm)	最大倾斜角度(°)	
	向 上 运 送	向 下 运 送
<40	18	12
40~80	15	10

11.5.5 用搅拌运输车运输已拌成的混凝土时，途中应以 2~4r/min 的慢速进行搅

动，混凝土的装载量约为搅拌筒几何容量的 2 / 3。

11.5.6 混凝土运至浇筑地点后发生离析、严重泌水或坍落度不符合要求时，应进行第二次搅拌。二次搅拌时不得任意加水，确有必要时，可同时加水和水泥以保持其原水灰比不变。如二次搅拌仍不符合要求，则不得使用。

11.6 混凝土的浇筑

11.6.1 一般要求

1 浇筑混凝土前，应对支架、模板、钢筋和预埋件进行检查，并做好记录，符合设计要求后方可浇筑。模板内的杂物、积水和钢筋上的污垢应清理干净。模板如有缝隙，应填塞严密，模板内面应涂刷脱模剂。浇筑混凝土前，应检查混凝土的均匀性和坍落度。

2 自高处向模板内倾卸混凝土时，为防止混凝土离析，应符合下列规定：
1)从高处直接倾卸时，其自由倾落高度不宜超过 2m，以不发生离析为度。
2)当倾落高度超过 2m 时，应通过串筒、溜管或振动溜管等设施下落；倾落高度超过 10m 时，应设置减速装置。

3)在串筒出料口下面，混凝土堆积高度不宜超过 1m。
3 混凝土应按一定厚度、顺序和方向分层浇筑，应在下层混凝土初凝或能重塑前浇筑完成上层混凝土。上下层同时浇筑时，上层与下层前后浇筑距离应保持 1.5m 以上。在倾斜面上浇筑混凝土时，应从低处开始逐层扩展升高，保持水平分层。混凝土分层浇筑厚度不宜超过表 11.6.1-1 的规定。

表 11.6.1-1 混凝土分层浇筑厚度

捣实方法		浇筑层厚度(mm)
用插入式振动器		300
用附着式振动器		300
用表面振动器	无筋或配筋稀疏时	250
	配筋较密时	150
人工捣实	无筋或配筋稀疏时	200
	配筋较密时	150

注：表列规定可根据结构物和振动器型号等情况适当调整。

4 浇筑混凝土时，除少量塑性混凝土可用人工捣实外，宜采用振动器振实。用振动器振捣时，应符合下列规定：

1)使用插入式振动器时，移动间距不应超过振动器作用半径的 1.5 倍；与侧模应保持 50~100mm 的距离；插入下层混凝土 50~100mm；每一处振动完毕后应边振动边徐徐提出振动棒；应避免振动棒碰撞模板、钢筋及其他预埋件。

2)表面振动器的移位间距，应以使振动器平板能覆盖已振实部分 100mm 左右为宜。

3)附着式振动器的布置距离，应根据构造物形状及振动器性能等情况并通过试验确定。

4)对每一振动部位，必须振动到该部位混凝土密实为止。密实的标志是混凝土停止下沉，不再冒出气泡，表面呈现平坦、泛浆。

5 混凝土的浇筑应连续进行，如因故必须间断时，其间断时间应小于前层混凝土的初凝时间或能重塑的时间。混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间不得超

过表 11.6.1-2 的规定。当需要超过时应预留施工缝。

表 11.6.1-2 混凝土的运输、浇筑及间歇的全部允许时间(min)

混凝土强度等级	气温不高于 25℃	气温高于 25℃
≤C30	210	180
>C30	180	150

注：当混凝土中掺有促凝或缓凝剂时，其允许时间应根据试验结果确定。

6 施工缝的位置应在混凝土浇筑之前确定，宜留置在结构受剪力和弯矩较小且便于施工的部位，并按下列要求进行处理：

1)应凿除处理层混凝土表面的水泥砂浆和松弱层，但凿除时，处理层混凝土须达到下列强度：

(1)用水冲洗凿毛时，须达到 0.5MPa；

(2)用人工凿除时，须达到 2.5MPa；

(3)用风动机凿毛时，须达到 10MPa。

2)经凿毛处理的混凝土面，应用水冲洗干净，在浇筑次层混凝土前，对垂直施工缝宜刷一层水泥净浆，对水平缝宜铺一层厚为 10~20mm 的 1:2 的水泥砂浆。

3)重要部位及有防震要求的混凝土结构或钢筋稀疏的钢筋混凝土结构，应在施工缝处补插锚固钢筋或石榫；有抗渗要求的施工缝宜做成凹形、凸形或设置止水带。

4)施工缝为斜面时应浇筑成或凿成台阶状。

5)施工缝处理后，须待处理层混凝土达到一定强度后才能继续浇筑混凝土。需要达到的强度，一般最低为 1.2MPa，当结构物为钢筋混凝土时，不得低于 2.5MPa。混凝土达到上述抗压强度的时间宜通过试验确定，如无试验资料，可参见附录 F-5。

7 在浇筑过程中或浇筑完成时，如混凝土表面泌水较多，须在不扰动已浇筑混凝土的条件下，采取措施将水排除。继续浇筑混凝土时，应查明原因，采取措施，减少泌水。

8 结构混凝土浇筑完成后，对混凝土裸露面应及时进行修整、抹平，待定浆后再抹第二遍并压光或拉毛。当裸露面积较大或气候不良时，应加盖防护，但在开始养生前，覆盖物不得接触混凝土面。

9 浇筑混凝土期间，应设专人检查支架、模板、钢筋和预埋件等稳固情况，当发现有松动、变形、移位时，应及时处理。

10 浇筑混凝土时，应填写混凝土施工记录。

11.6.2 墩台混凝土的浇筑

1 对墩台基底的处理，除应符合第 4 章天然地基的有关规定外，尚应符合下列规定：

1)基底为非粘性土或干土时，应将其润湿。

2)基面为岩石时，应加以润湿，铺一层厚 20~30mm 的水泥砂浆，然后于水泥砂浆凝结前浇筑第一层混凝土。

2 一般墩台及基础混凝土，应在整个平截面范围内水平分层进行浇筑。

3 较大体积的混凝土墩台及其基础，在混凝土中埋放石块时应符合下列规定：

1)可埋放厚度不小于 150mm 的石块，埋放石块的数量不宜超过混凝土结构

体积的 25%。

2)应选用无裂纹、无夹层且未被烧过的、具有抗冻性能的石块。

3)石块的抗压强度不应低于 30MPa 及混凝土的强度。

4)石块应清洗干净，应在捣实的混凝土中埋入一半左右。

5)石块应分布均匀，净距不小于 100mm，距结构侧面和顶面的净距不小于 150mm，石块不得接触钢筋和预埋件。

6)受拉区混凝土或当气温低于 0℃时，不得埋放石块。

4 采用滑升模板浇筑墩台混凝土时，应符合下列规定：

1)宜采用低流动度或半干硬性混凝土。

2)浇筑应分层分段进行，各段应浇筑到距模板上口不小于 10~150mm 的位置为止。若为排柱式墩台，各立柱应保持进度一致。

3)应采用插入式振捣器振捣。

4)为加速模板提升，可掺入一定数量的早强剂。

5)在滑升中须防止千斤顶或油管接头在混凝土或钢筋处漏油。

6)每一整体结构的浇筑应连续进行，若因故中途停工，应按施工缝处理。

7)混凝土脱模时的强度宜为 0.2~0.5MPa，脱模后如表面有缺陷时，应及时予以修理。

5 大体积墩台基础混凝土，当平截面过大，不能在前层混凝土初凝或能重塑前浇筑完成次层混凝土时，可分块进行浇筑。分块浇筑时应符合下列规定：

1)分块宜合理布置，各分块平均面积不宜小于 50m²。

2)每块高度不宜超过 2m。

3)块与块间的竖向接缝面应与基础平截面短边平行，与平截面长边垂直。

4)上下邻层混凝土间的竖向接缝，应错开位置做成企口，并按施工缝处理。

6 大体积混凝土的浇筑应在一天中气温较低时进行。应参照下述方法控制混凝土的水化热温度：

1)用改善骨料级配、降低水灰比、掺加混和料、掺加外加剂等方法减少水泥用量。

2)采用水化热低的大坝水泥、矿渣水泥、粉煤灰水泥或低强度水泥。

3)减小浇筑层厚度，加快混凝土散热速度。

4)混凝土用料要遮盖，避免日光曝晒，并用冷却水搅拌混凝土，以降低入仓温度。

5)在混凝土内埋设冷却管通水冷却。

6)在遇气温骤降的天气或寒冷季节浇筑混凝土后，应注意覆盖保温，加强养生。

注：混凝土的浇筑温度系指混凝土振捣后，在混凝土 50~100mm 深处的温度。

11.7 混凝土的抗冻、抗渗及防腐蚀

11.7.1 本节内容适用于有抗冻性、抗渗性及防止钢筋腐蚀性能要求的混凝土的施工。

11.7.2 海水环境中(包括处于有盐碱腐蚀性水的环境中)的混凝土的施工应符合如下规定：

1 海水环境混凝土在建筑物上部位的划分应符合表 11.7.2-1 的规定。

表 11.7.2-1 海水环境混凝土部位划分

大 气 区	浪 溅 区	水位变动区	水 下 区
设计高水位加 1.5m 以上	设计高水位加 1.5m 至设计高水 位减 1.0m 之间	设计高水位加 1.0m 至设计低水 位减 1.0m 之间	设计低水位减 1.0m 以下

注：①对开敞式建筑物，其浪溅区上限可根据受浪的具体情况适当调高；

②对掩护条件良好的建筑物，其浪溅区上限可适当调低，

2 海水环境钢筋混凝土结构的施工缝不宜设在浪溅区或拉应力较大部位。

3 按耐久性要求，海水环境混凝土水灰比最大允许值应满足表 11.7.2-2 的规定。

表 11.7.2.2 海水环境混凝土的水灰比最大允许值

环境条件		钢筋混凝土和预 应力混凝土		无筋混凝土	
		北方	南方	北方	南方
大 气 区		0.55	0.50	0.65	0.65
浪 溅 区		0.50	0.40	0.65	0.65
水 位 变 动 区	严重受冻	0.45	—	0.45	—
	受 冻	0.50	—	0.50	—
	微 冰	0.55	—	0.55	—
	偶冰、不冻	—	0.50	—	0.65
水 下 区	不受水头作用		0.60	0.60	0.65
	受水头 作用	最大作用水头与混凝土 壁厚之比<5	0.60		
		最大作用水头与混凝土 壁厚之比为 5~10	0.55		
		最大作用水头与混凝土 壁厚之比>10	0.50		

注：①除全日潮型区域外，其他海水环境有抗冻性要求的细薄构件(最小边尺寸小于 300mm 者，包括沉箱工程)，混凝土的水灰比最大允许值宜减小；

②对有抗冻要求的混凝土，如抗冻性要求高时，浪溅区范围内下部 1m 应随水位变动区按抗冻性要求确定其水灰比；

③位于南方海水环境浪溅区的钢筋混凝土宜掺用高效减水剂。

4 按耐久性要求，海水环境混凝土的最低水泥用量应符合表 11.7.2-3 的规定，但不宜超过 500kg / m³。

5 海水环境钢筋混凝土结构的混凝土保护层垫块质量应符合下列规定：

1)垫块的强度、密实性应高于构件本体混凝土，垫块宜采用水灰比不大于 0.40 的砂浆或细石混凝土制作。

2)垫块厚度尺寸不允许负偏差，正偏差不得大于 5mm。

6 对于海水环境的混凝土的含碱总量及氯离子含量的限制要求同 11.3.6。

表 11.7.2-3 海水环境混凝土的最低水泥用量(kg / m³)

环境条件		钢筋混凝土和预应力混凝土		无筋混凝土	
		北方	南方	北方	南方
大气区		300	360	280	280
浪溅区		360	400	280	280
水位变动区	F350	395	360	395	280
	F300	360		360	
	F250	330		330	
	F200	300		300	
水下区		300	300	280	280

注：①有耐久性要求的大体积混凝土，水泥用量应按混凝土的耐久性和降低水泥水化热综合考虑；

②掺加混合材料时，水泥用量可适当减少，但应符合本规范 11.3.7 条的规定；

③掺外加剂时，南方地区水泥用量可适当减少，但不得降低混凝土的密实性；

④对于有抗冻性要求的混凝土，浪溅区范围内下部 1m 应随同水位变动区按抗冻性要求确定其水泥用量。

11.7.3 有抗冻性要求的混凝土，应符合如下规定：

1 位于水位变动区有抗冻要求的混凝土，其抗冻等级不应低于表 11.7.3-1 的规定。

表 11.7.3-1 水位变动区混凝土抗冻等级选定标准

建筑物所在地区	海水环境		淡水环境	
	钢筋混凝土及预应力混凝土	无筋混凝土	钢筋混凝土及预应力混凝土	无筋混凝土
严重受冻地区(最冷月的月平均气温低于-8℃)	F350	F300	F250	F200
受冻地区(最冷月的月平均气温在-4~-8℃之间)	F300	F250	F200	F150
微冻地区(最冷月的月平均气温在 0~-4℃之间)	F250	F200	F150	F100

注：①试验过程中试件所接触的介质应与建筑物实际接触的介质相近；

②墩、台身和防护堤等建筑物的混凝土应选用比同一地区高一级的抗冻等级；

③面层应选用比水位变动区抗冻等级低 2-3 级的混凝土。

2 有抗冻性要求的混凝土必须掺入适量引气剂，其拌和物的含气量应在表 11.7.3-2 范围内选择。

表 11.7.3-2 有抗冻要求的混凝土拌和物含气量控制范围

骨料最大粒径 (mm)	含气量范围(%)	骨料最大粒径 (mm)	含气量范围(%)
10.0	5.0~8.0	40.0	3.0~6.0
20.0	4.0~7.0	63.0	3.0~5.0
31.5	3.5~6.5		

3 当要求的含气量为某一定值时,其检查结果与要求值的允许偏差范围应为 $\pm 1.0\%$ 。当含气量要求值为某一范围时,检测结果应满足规定范围的要求。

4 混凝土抗冻性试验方法应符合现行《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053)的规定。

11.7.4 有抗渗要求的混凝土应符合如下规定:

1 有抗渗要求的混凝土,其抗渗等级应符合设计要求。

2 混凝土抗渗性试验方法应符合现行《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053)的规定。

11.8 混凝土的养护及修饰

11.8.1 混凝土的养护

1 对于在施工现场集中养护的混凝土,应根据施工对象、环境、水泥品种、外加剂以及对混凝土性能的要求,提出具体的养护方案,并应严格执行规定的养护制度。

2 一般混凝土浇筑完成后,应在收浆后尽快予以覆盖和洒水养护。对于硬性混凝土、炎热天气浇筑的混凝土以及桥面等大面积裸露的混凝土,有条件的可在浇筑完成后立即加设棚罩,待收浆后再予以覆盖和洒水养生。覆盖时不得损伤或污染混凝土的表面。混凝土面有模板覆盖时,应在养护期间经常使模板保持湿润。

3 当气温低于 5°C 时,应覆盖保温,不得向混凝土面上洒水。

4 混凝土养护用水的条件与拌和用水相同。

5 混凝土的洒水养护时间一般为7d,可根据空气的湿度、温度和水泥品种及掺用的外加剂等情况,酌情延长或缩短。每天洒水次数以能保持混凝土表面经常处于湿润状态为度。用加压成型、真空吸水等法施工的混凝土,其养护时间可酌情缩短。采用塑料薄膜或喷化学浆液等养护层时,可不洒水养护。

6 当结构物混凝土与流动性的地表水或地下水接触时,应采取防水措施,保证混凝土在浇筑后7d以内不受水的冲刷侵袭。当环境水具有侵蚀作用时,应保证混凝土在10d以内,且强度达到设计强度的70%以前,不受水的侵袭。

7 对大体积混凝土的养护,应根据气候条件采取控温措施,并按需要测定浇筑后的混凝土表面和内部温度,将温差控制在设计要求的范围内,当设计无要求时,温差不宜超过 25°C 。

8 混凝土强度达到 2.5MPa 前,不得使其承受行人、运输工具、模板、支架及脚手架等荷载。

9 用蒸汽养护混凝土时,按本规范第14章的规定执行。

11.8.2 混凝土的修饰

1 混凝土表面的光洁程度依不同部位而异,外露面无装饰设计时,应按11.6.1条第8款的规定对浇筑时无模板的外露面进行压光或拉毛;对有模板的外露面应

安装同一类别的模板和涂刷同一类别的脱模剂，模板应光洁，无变形、无漏浆。发现表面质量有缺陷时，应报有关部门批准后再进行修饰。

2 对表面有一般抹灰(水泥砂浆抹面)和装饰抹灰(水刷石、水磨石、剁斧石)等装饰设计的结构，应在浇筑混凝土时采用表面平整的模板，拆模后按设计要求的装饰类别进行装饰。

11.9 高强度混凝土

11.9.1 一般规定

1 本节适用于按常规工艺生产的 C50 到 C80 级高强度混凝土的施工。

2 对高强度混凝土除本节的特殊要求外，其强度测定、保证率、强度测定条件、检验及试验方法等规定均同 11.1.1～11.1.5 条，但测定混凝土抗压强度的试件应用边长为 150mm 的标准尺寸立方体。

11.9.2 配制用的材料

1 配制高强度混凝土宜选择高强度水泥，可采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，所使用的水泥应符合 11.2.1 条的规定。立窑生产的水泥须经仔细检验其化学成分后方可确定使用与否。

2 配制用的细骨料，除应符合 11.2.2 条的规定外，尚应满足如下要求：宜使用级配良好的中砂，细度模数不小于 2.6，含泥量应小于 2%。

3 配制用的粗骨料，除应满足 11.2.3 条的规定外，尚应满足如下要求：应使用质地坚硬、级配良好的碎石，骨料的抗压强度应比所配制的混凝土强度高 50% 以上，含泥量应小于 1%，针片状颗粒含量应小于 5%，骨料的粒径宜小于 25mm。

4 拌制高强度混凝土用的水应符合 11.2.4 条的规定。

5 配制高强度混凝土必须使用高效减水剂，并根据不同的要求辅以助剂配制，其掺量应根据试验确定，外加剂的性能必须符合 11.2.5 条的规定。

6 配制时宜外掺的混合材料为磨细粉煤灰、沸石粉、硅粉。混合材料的技术条件应符合 11.2.6 条的规定，其掺量应根据试验确定。

7 高强度混凝土中的氯离子含量，对位于温暖或寒冷地区、无侵蚀物质影响及与土直接接触的桥梁不应超过水泥重量的 0.2%，对位于严寒和海水区域，受侵蚀环境，使用除冰盐的桥涵，不应超过水泥重量的 0.1%。混凝土的含碱总量的限制要求同 11.3.6 条。

11.9.3 配合比

1 高强度混凝土的配合比应符合第 11.3 节及第 11.7 节的各项规定。当无可靠的强度统计数据及标准差数值时，混凝土的施工配制强度(平均值)对于 C50～C60 应不低于强度等级的 1.15 倍，对于 C70～C80 应不低于强度等级值的 1.12 倍。

2 配制高强度混凝土宜符合如下要求：

1) 所用水胶比(水与胶结料的重量比，后者包括水泥及混合材料的重量)宜控制在 0.24～0.38 的范围内。

2) 所用水泥重量不宜超过 $500\text{kg}/\text{m}^3$ ，水泥与混合材料的总量不超过 $550\sim 600\text{kg}/\text{m}^3$ 。粉煤灰掺量不宜超过胶结料重量的 30%，沸石粉不宜超过 10%，硅粉不宜超过 8%～10%。掺用混合材料的种类和数量，必须经试验报监理工程师批准后确定。

3) 混凝土的砂率宜控制在 28%～34% 的范围内。

4)高效减水剂的掺量宜为胶结料的 0.5%~1.8%。

11.9.4 施工技术要求

1 高强度混凝土的施工技术要求除应符合第 11.4 节~第 11.8 节的规定外,尚应符合以下规定:

1)配料数量的允许偏差应符合表 11.4.1 中预制场或集中搅拌站拌制的规定。

2)配制高强度混凝土必须准确控制用水量,砂石中的含水量应仔细测定后从用水量中扣除。除事先规定的部分用水可留在现场补加外,严禁在材料出机后再加水。

3)高效减水剂宜采用后掺法,如制成溶液加入,应在用水量中扣除这部分溶液用水。加入减水剂后,混凝土拌和料在搅拌机中继续搅拌的时间,当用粉剂时不得少于 60s,当用溶液时不得少于 30s。

2 拌制高强度混凝土必须使用强制式搅拌机,宜采用二次投料法拌制。

3 混凝土的浇筑应连续进行,如因故必须间断时,其间断时间应小于前层混凝土的初凝时间或能重塑时间。允许间断时间应经试验确定。若超过允许间断时间,须采取保证质量的措施或按工作缝处理。

11.10 热期、雨期混凝土的施工

11.10.1 热期混凝土施工,应制定在高温条件下保证工程质量的技术措施并应符合如下要求:

1 混凝土配制和搅拌

1)材料要求:

(1)拌和水使用冷却装置,对水管及水箱加遮荫和隔热设施。在拌和水中加碎冰作为拌和水的一部分。

(2)水泥、砂、石料应遮荫防晒,以降低骨料温度,可在砂石料堆上喷水降温。

2)配合比设计应考虑坍落度损失。

3)可掺加减水剂以减少水泥用量和提高混凝土的早期强度。

4)掺用活性材料粉煤灰取代部分水泥,减少水泥用量。

5)拌和站料斗、储水器、皮带运输机、拌和楼都要尽可能遮荫。尽量缩短拌和时间。经常测混凝土的坍落度,以调整混凝土的配合比,满足施工所必须的坍落度。

2 混凝土的运输及浇筑

1)运输时尽量缩短时间,宜采用混凝土运输搅拌车,运输中应慢速搅拌。

2)不得在运输过程加水搅拌。

3)热期施工混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土应有全面的组织计划,准备工作充分,施工设备有足够的备件,保证连续进行;从拌和机到入仓的传递时间及浇筑时间要尽量缩短,并尽快开始养护。

4)混凝土的浇筑温度应控制在 32℃ 以下,宜选在一天温度较低的时间内进行。

5)浇筑场地应遮荫,以降低模板、钢筋的温度和改善工作条件;也可在模板、钢筋和地基上喷水以降温,但在浇筑时不能有附着水。

6)应加快混凝土的修整速度,修整时可用喷雾器洒少量水,防止表面裂纹,但不准直接往混凝土表面洒水。

3 混凝土的养护

1)不宜单独使用专用养护膜覆盖法养护高强度混凝土,除非当地无足够的清洁水用于养护混凝土。

2)洒水养护宜用自动喷水系统和喷雾器,湿养护应不间断,不得形成干湿循环。

3)混凝土浇筑完,表面应立即覆盖清洁的塑料膜,初凝后撤去塑料膜,用浸湿的粗麻布覆盖,经常洒水,保持潮湿状态最少 7d。如有可能湿养期间采取遮光和挡风措施,以控制温度和干热风的影响。构造物的竖直面拆模后,宜立即用湿粗麻布把构件缠起来,麻布处整个用塑料膜包紧,粗麻布应至少 7d 保持潮湿状态,随后可用树脂类养生化合物喷涂。

4)养生的其他要求可参照本章的有关规定执行。

4 热期施工应检查下列项目:

1)砂、石料的含水量,每台班不少于 1 次。

2)混凝土浇筑与养护时,环境温度每日检查 4 次,并做好检查记录;当温度超过热期规定的要求时,混凝土拌和时应采取有效降温、防晒措施,以保证混凝土的浇筑质量,否则应停止施工。

3)混凝土热期施工,除应留标准条件下养护的试件外,还应制取相同数量的试件与结构在相同的环境条件下养护,检查 28d 的试件强度以指导施工。

4)在混凝土浇筑前应通过试验确定在最高气温条件下,混凝土分层浇筑的覆盖时间,施工时应严格控制,不得超过。

5)在混凝土的浇筑过程中,应严格控制缓凝剂的掺量,并检查混凝土的凝固时间,以防因缓凝剂掺量不准造成危害。

11.10.2 混凝土雨期施工是指在降雨量集中季节且对混凝土的质量造成影响时进行的施工。雨期要按时收集天气预报资料,混凝土施工要尽可能避开大风大雨天气。雨期施工应制定防洪水、防台风措施,施工场地、生活区做好排水措施。施工材料如钢材、水泥的码放应防雨漏及潮湿。建立安全用电措施,防漏电、触电。

1 雨期施工准备

1)准备雨期施工的防洪材料、机具和必要的遮雨设施。

2)工程材料特别是水泥、钢筋应防水、防潮;施工机械防洪水淹没。

2 施工方法及技术措施

1)雨期施工的工作面不宜过大,应逐段、逐片分期施工;对受洪水危害的工程应停止施工,若必须施工时,应有防洪抢险措施。

2)雨期施工应加强地基不良地段沉陷的观测,基础施工应防止雨水浸泡基坑,若被浸泡,应挖除被浸泡部分,用与基础同样的材料回填。

基坑要设挡水埂,防止地面水流入。基坑内设集水井,配足抽水机,坡道内设接水措施。

基坑挖好后应及时浇筑混凝土或垫层,防止被水浸泡。

3)施工前对排水系统应进行检查、疏通或加固,必要时增加排水措施。

4)雨后模板及钢筋上的淤泥、杂物,在浇筑混凝土前应清除干净。

5)雷区应设置防雷措施,高耸结构应有防雷设计。沿海地区应考虑防台风措施,露天使用的电器设备要有可靠的防漏电措施。

11.11 工程质量检验和质量标准

11.11.1 实施混凝土质量控制应符合下列规定:

1 通过对原材料的质量检验与控制、混凝土配合比的确定与控制、混凝土生产和施工过程中各工序的质量检验与控制,以及合格性检验控制,使混凝土的质量符合规定要求。

2 在施工过程中应进行质量检测,应用各种质量管理图表,掌握动态信息,控制整个生产和施工期间的混凝土质量,制订保证质量的措施,完善质量控制过程。

3 必须配备相应的技术人员和必要的检验及试验设备,建立和健全必要的技术管理与质量控制制度。

11.11.2 质量检验

1 各种材料、各工程项目和各个工序,应经常进行检验,保证符合设计和施工技术规范的要求。检验项目和次数应符合下列规定:

1)浇筑混凝土前的检验:

(1)施工设备和场地;

(2)混凝土组成材料及配合比(包括外加剂);

(3)混凝土凝结速度等性能;

(4)基础、钢筋、预埋件等隐蔽工程及支架、模板;

(5)养护方法及设施,安全设施。

2)拌制和浇筑混凝土时的检验:

(1)混凝土组成材料的外观及配料、拌制,每一工作班至少 2 次,必要时随时抽样试验;

(2)混凝土的和易性(坍落度等)每工作班至少 2 次;

(3)砂石材料的含水率,每日开工前 1 次,气候有较大变化时随时检测;当含水率变化较大、将使配料偏差超过规定时,应及时调整;

(4)钢筋、模板、支架等的稳固性和安装位置;

(5)混凝土的运输、浇筑方法和质量;

(6)外加剂使用效果;

(7)制取混凝土试件。

3)浇筑混凝土后的检验:

(1)养护情况;

(2)混凝土强度,拆模时间;

(3)混凝土外露面或装饰质量。

4)结构外形尺寸、位置、变形和沉降。

2 隐蔽工程检查、分部工程检查、工程变更设计、施工技术修改、施工方案变更、质量事故的发生和处理等事项,应按有关规定及时通知有关人员。

3 对混凝土的强度,应制取试件检验其在标准养护条件下 28d 龄期的抗压极限强度。试件制取组数应符合下列规定:

1)不同强度及不同配合比的混凝土应分别制取试件,试件应在浇筑地点或拌和地点随机制取。

2)浇筑一般体积的结构物(如基础、墩台等)时,每一单元结构物应制取 2 组。

3)连续浇筑大体积结构物混凝土时,每 80~200m³ 或每一工作班应制取 2 组。

4)每片梁长 16m 以下应制取 1 组,16~30m 制取 2 组,31~50m 制取 3 组,50m 以上者不少于 5 组。

5)就地浇筑混凝土小桥涵,每一座或每一工作班制取不少于 2 组;当原材料和配合比相同,并由同一拌和站拌制时,可几座合并制取 2 组。

4 应根据施工需要,制取与结构物同条件养护的试件作为考核结构混凝土在拆模、出池、吊装、预施应力、承受载荷等阶段强度的依据。

11.11.3 质量标准

1 混凝土抗压强度应以标准条件下养护 28d 龄期试件的抗压强度进行评定,其合格条件如下:

1)应以强度等级相同、龄期相同以及生产工艺条件和配合比相同的混凝土组成同一验收批,同一验收批的混凝土强度应以同批内所有各组标准尺寸试件的强度测定值(当为非标准尺寸试件时应进行强度换算)为代表值。

2)大桥等重要工程及中小桥、涵洞工程的试件大于或等于 10 组时,应以数理统计方法按下述条件评定:

$$R_n - K_1 S_n \geq 0.9R \quad (11.11.3-1)$$

$$R_{\min} \geq K_2 R \quad (11.11.3-2)$$

式中: R_n ——同批 n 组试件强度的平均值(MPa);

n ——同批混凝土试件组数;

S_n ——同批 n 组试件强度的标准差(MPa),当 $S_n < 0.06R$ 时,取 $S_n = 0.06R$;

R ——设计的混凝土强度等级(MPa);

R_{\min} —— n 组试件中强度最低一组的值(MPa);

$K_1 K_2$ ——合格判定系数,见表 11.11.3-1。

表 11.11.3-1 $K_1 K_2$ 的值

n	10~14	15~24	≥ 25
K_1	1.70	1.65	1.60
K_2	0.9	0.85	

3)中小桥及涵洞等工程,同批混凝土试件少于 10 组时,可用非统计方法按下述条件进行评定:

$$R_n \geq 1.15R \quad (11.11.3-3)$$

$$R_{\min} \geq 0.95R \quad (11.11.3-4)$$

2 当混凝土强度按试件强度进行评定达不到合格条件时,可采用钻取试样或以无损检测法查明结构实际混凝土的抗压强度和浇筑质量,如仍有不合格,应由有关单位共同研究处理。

3 结构混凝土应符合下列规定:

- 1)表面应密实、平整。
- 2)如有蜂窝、麻面,其面积不超过结构同侧面积的 0.5%。
- 3)如有裂缝,其宽度不得大于设计规范的有关规定。
- 4)预制桩桩顶、桩尖等重要部位无掉边或蜂窝、麻面。
- 5)小型构件无翘曲现象。
- 6)对蜂窝、麻面、掉角等缺陷,应凿除松弱层,用钢丝刷清理干净,用压力水冲洗、湿润,再用较高强度的水泥砂浆或混凝土填塞捣实,覆盖养护;用环氧树脂等胶凝材料修补时,应先经试验验证。

7)如有严重缺陷,影响结构性能时,应分析情况,研究处理。

4 混凝土和钢筋混凝土结构物的位置及外形尺寸允许偏差应符合本规范各章节的有关规定。

5 抹灰工程应符合下列规定:

- 1)一般抹灰成分、颜色必须一致,粘结牢固,不得有脱层、空鼓、掉角等现

象。

- 2)水刷石必须石粒清晰、分布均匀、平整密实，不得有掉粒和接茬痕迹。
- 3)水磨石必须表面平整、光滑，石子显露均匀，格条位置正确，不得有砂眼、磨纹和漏磨。
- 4)剁斧石必须剁纹均匀，深浅一致，棱角完整。
- 5)干粘石必须石粒分布均匀，粘结牢固，不漏浆，不漏粘，阳角处不得有明显的黑边。
- 6)拉毛灰必须花纹、斑点分布均匀，同一平面上不显接茬。
- 7)抹灰允许偏差见表 11.11.3-2 和表 11.11.3-3。

表 11.11.3-2 一般抹灰允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)
平整度	5
阴阳角方正	5
墙面平整度	5

表 11.11.3-3 装饰抹灰允许偏差

项 目	允 许 偏 差 (mm)			
	水磨石	水刷石	剁碎石	干粘石
平整度	2	4	4	5
阴阳角方正	2	4	4	4
墙面平整度	3	5	5	5
分格条子直	2	5	5	5

12 预应力混凝土工程

12.1 一般规定

12.1.1 本章适用于预应力混凝土结构的施工，内容包括采用预应力筋制作的预制构件和现浇混凝土结构。对于预应力混凝土工程中的模板和非预应力钢筋，其施工按本规范有关章节的规定执行。

12.1.2 预应力混凝土工程施工时，应采取必要的安全技术措施，防止发生事故。

12.2 预应力筋

12.2.1 钢丝、钢绞线和热处理钢筋

预应力混凝土结构所采用的钢丝、钢绞线和热处理钢筋等的质量，应符合现行国家标准的规定。预应力混凝土用钢丝应符合《预应力混凝土用钢丝》(GB / T5223)的要求；预应力混凝土用钢绞线应符合《预应力混凝土用钢绞线》(GB / T5224)的要求；预应力混凝土用热处理钢筋应符合《预应力混凝土用热处理钢筋》(GB4463)的要求。其力学性能及表面质量的允许偏差分别见附录 G-1、附录 G-2 和附录 G-3。

新产品及进口材料的质量应符合相应现行国家标准的规定。

12.2.2 冷拉钢筋和冷拔低碳钢丝

1 冷拉Ⅳ级钢筋可用作预应力混凝土结构的预应力筋，其力学性能应符合附录 G-4 的规定。

2 冷拔低碳钢丝的力学性能应符合附录 G-5 的规定。

12.2.3 精轧螺纹钢筋

用于预应力混凝土结构中的高强精轧螺纹钢筋,其力学性能和表面质量应符合附录 G-6 的规定。

12.2.4 预应力筋进场时应分批验收,验收时,除应对其质量证明书、包装、标志和规格等进行检查外,尚须按下列规定进行检验。

1 钢丝

应分批检验,每批重量不大于 60t。先从每批中抽查 5%,但不少于 5 盘,进行形状、尺寸和表面检查,如检查不合格,则将该批钢丝逐盘检查。在上述检查合格的钢丝中抽取 5%,但不少于 3 盘,在每盘钢丝的两端取样进行抗拉强度、弯曲和伸长率的试验,其力学性能应符合附录 G-1 的要求。试验结果如有一项不合格时,则不合格盘报废,并从同批未试验过的钢丝盘中取双倍数量的试样进行该不合格项的复验,如仍有一项不合格,则该批钢丝为不合格。

2 钢绞线

从每批钢绞线中任取 3 盘,并从每盘所选的钢绞线端部正常部位截取一根试样进行表面质量、直径偏差和力学性能试验。如每批少于 3 盘,则应逐盘取样进行上述试验。试验结果如有一项不合格时,则不合格盘报废,并再从该批未试验过的钢绞线中取双倍数量的试样进行该不合格项的复验,如仍有一项不合格,则该批钢绞线为不合格。

每批钢绞线的重量应不大于 60t。

3 热处理钢筋

1)从每批钢筋中抽取 10%的盘数(不小于 25 盘)进行表面质量和尺寸偏差的检查。如检查不合格,则应对该批钢筋进行逐盘检查。

2)从每批钢筋中抽取 10%的盘数(不小于 25 盘)进行力学性能试验。试验结果如有一项不合格时,该不合格盘应报废,并再从未试验过的钢筋中取双倍数量的试样进行复验,如仍有一项不合格,则该批钢筋为不合格。

3)每批钢筋的重量应不大于 60t。

注:对大桥等重要工程使用的钢丝、钢绞线和热处理钢筋,进场时应进行上述检验;对其他桥梁,其预应力钢材的力学性能,可仅进行抗拉强度试验,或由生产厂家提供力学性能试验报告。

4 冷拉钢筋

应分批进行检验,每批重量不得大于 20t。每批钢筋的级别和直径均应相同。每批钢筋外观经逐根检查合格后,再从任选的两根钢筋上各取一套试件,按照现行国家标准的规定进行拉力试验(屈服强度、抗拉强度、伸长率)和冷弯试验。如有一项试验结果不符合附录 C、G-4 所规定的要求时,则另取双倍数量的试件重做全部各项试验,如仍有一根试件不合格,则该批钢筋为不合格。

计算冷拉钢筋的屈服强度和抗拉强度时,采用冷拉前的公称截面面积。

钢筋冷拉后,其表面不得有裂纹和局部缩颈。

冷弯试验后,冷拉钢筋的外观不得有裂纹、鳞落或断裂现象。

5 冷拔低碳钢丝

应逐盘进行抗拉强度、伸长率和弯曲试验。从每盘钢丝上任一端截去不少于 500mm 后再取两个试样,分别做拉力和 180° 反复弯曲试验,试验结果应符合附录 G-5 的要求。弯曲试验后,不得有裂纹、鳞落或断裂现象。

6 精轧螺纹钢筋

应分批进行检验，每批重量不大于 100t，对表面质量应逐根目视检查，外观检查合格后在每批中任选 2 根钢筋截取试件进行拉伸试验。试验结果如有一项不符合附录 G-6 所规定的要求时，则另取双倍数量的试件重做全部各项试验，如仍有一根试件不合格，则该批钢筋为不合格。

拉伸试验的试件，不允许进行任何形式的加工。

12.2.5 预应力筋的实际强度不得低于现行国家标准的规定。预应力筋的试验方法应按现行国家标准的规定执行。

12.3 锚具、夹具和连接器

12.3.1 预应力筋锚具、夹具和连接器应具有可靠的锚固性能、足够的承载能力和良好的适用性，能保证充分发挥预应力筋的强度，安全地实现预应力张拉作业，并应符合现行国家标准《预应力筋锚具、夹具和连接器》(GB / T14370)的要求。

12.3.2 预应力筋锚具应按设计要求采用。锚具应满足分级张拉、补张拉以及放松预应力的要求。用于后张结构时，锚具或其附件上宜设置压浆孔或排气孔，压浆孔应有足够的截面面积，以保证浆液的畅通。

12.3.3 夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和重复使用性能。需敲击才能松开的夹具，必须保证其对预应力筋的锚固没有影响，且对操作人员的安全不造成危险。

12.3.4 用于后张法的连接器，必须符合锚具的性能要求；用于先张法的连接器，必须符合夹具的性能要求。

12.3.5 进场验收规定

1 锚具、夹具和连接器进场时，除应按出厂合格证和质量证明书核查其锚固性能类别、型号、规格及数量外，还应按下列规定进行验收：

1)外观检查：应从每批中抽取 10%的锚具且不少于 10 套，检查其外观和尺寸。如有一套表面有裂纹或超过产品标准及设计图纸规定尺寸的允许偏差，则应另取双倍数量的锚具重做检查，如仍有一套不符合要求，则应逐套检查，合格者方可使用。

2)硬度检验：应从每批中抽取 5%的锚具且不少于 5 套，对其中有硬度要求的零件做硬度试验，对多孔夹片式锚具的夹片，每套至少抽取 5 片。每个零件测试 3 点，其硬度应在设计要求范围内，如有一个零件不合格，则应另取双倍数量的零件重做试验，如仍有一个零件不合格，则应逐个检查，合格者方可使用。

3)静载锚固性能试验：对大桥等重要工程，当质量证明书不齐全、不正确或质量有疑点时，经上述两项试验合格后，应从同批中抽取 6 套锚具(夹具或连接器)组成 3 个预应力筋锚具组装件，进行静载锚固性能试验，如有一个试件不符合要求，则应另取双倍数量的锚具(夹具或连接器)重做试验，如仍有一个试件不符合要求，则该批锚具(夹具或连接器)为不合格品。

对用于其他桥梁的锚具(夹具或连接器)进场验收，其静载锚固性能可由锚具生产厂提供试验报告。

2 预应力筋锚具、夹具和连接器验收批的划分：在同种材料和同一生产工艺条件下，锚具、夹具应以不超过 1000 套组为一个验收批；连接器以不超过 500 套组为一个验收批。

12.4 管 道

12.4.1 一般规定

1 在后张有粘结预应力混凝土结构中，力筋的孔道宜由浇筑在混凝土中的刚性或半刚性管道构成，对一般工程，也可采取钢管抽芯、胶管抽芯及金属伸缩套管抽芯等方法进行预留。

2 浇筑在混凝土中的管道应不允许有漏浆现象。管道应具有足够的强度，以使其在混凝土的重量作用下能保持原有的形状，且能按要求传递粘结应力。

12.4.2 管道材料

1 除本规范规定之外，刚性或半刚性管道应是金属的。刚性管道应具有光滑的内壁并可被弯曲成适当的形状而不出现卷曲或被压扁；半刚性管道应是波纹状的金属螺旋管。金属管道宜尽量采用镀锌材料制作。

2 制作半刚性波纹状金属螺旋管的钢带应符合现行《铠装电缆冷轧钢带》(GB4175.1)和现行《铠装电缆镀锌钢带》(GB4175.2)的有关规定，并附有合格证书。钢带厚度应根据管道直径、设置时间(在浇筑混凝土前或后设置钢束)及是否有特殊用途而定，一般情况厚度不宜小于 0.3mm。

12.4.3 金属螺旋管的检验

1 金属螺旋管进场时，除应按出厂合格证和质量保证书核对其类别、型号、规格及数量外，还应对其外观、尺寸、集中荷载下的径向刚度、荷载作用后的抗渗漏及抗弯曲渗漏等进行检验。工地自行加工制作的管道亦应进行上述检验。上述检验方法可参照现行《预应力混凝土用金属螺旋管》(JG / T3013)的规定执行，其取样数量、检验内容和顺序及质量要求见附录 G-7。

2 金属螺旋管应按批进行检验。每批应由同一钢带生产厂生产的同一批钢带所制造的金属螺旋管组成，累计半年或 50000m 生产量为一批，不足半年产量或 50000m 也作为一批的，则取产量最多的规格。

3 当按本条第 1 款规定的项目检验结果有不合格项目时，应以双倍数量的试件对该不合格项目进行复验，复验仍不合格时，则该批产品为不合格。

12.4.4 管道的其他要求

1 在桥梁的某些特殊部位，当设计规定时，可采用符合要求的平滑钢管和高密度聚乙烯管。

2 用做管道的平滑钢管和聚乙烯管，其壁厚不得小于 2mm。

3 一般情况下，管道的内横截面积至少应是预应力筋净截面积的 2.0~2.5 倍。如果由于某种原因，管道与预应力筋的面积比低于给定的极限，则应通过试验验证其可以进行正常压浆作业。对于超长钢束的管道，亦应通过试验来确定其面积比。

4 制孔采用胶管抽芯法时，胶管内应插入芯棒或充以压力水，以增加刚度；采用钢管抽芯法时，钢管表面应光滑，焊接接头应平顺。抽芯时间应通过试验确定，以混凝土抗压强度达到 0.4~0.8MPa 时为宜，抽拔时不应损伤结构混凝土。抽芯后，应用通孔器或压气、压水等方法对孔道进行检查，如发现孔道堵塞或有残留物或与邻孔有串通，应及时处理。

12.5 预应力材料的保护

12.5.1 重预应力材料必须保持清洁，在存放和搬运过程中应避免机械损伤和有害的锈蚀。如进场后需长时间存放时，必须安排定期的外观检查。

12.5.2 预应力筋和金属管道在仓库内保管时，仓库应干燥、防潮、通风良好、无

腐蚀气体和介质；在室外存放时，时间不宜超过 6 个月，不得直接堆放在地面上，必须采取垫以枕木并用苫布覆盖等有效措施，防止雨露和各种腐蚀性气体、介质的影响。

12.5.3 锚具、夹具和连接器均应设专人保管。存放、搬运时均应妥善保管，避免锈蚀、沾污、遭受机械损伤或散失。临时性的防护措施应不影响安装操作的效果和永久性防锈措施的实施。

12.6 预应力筋制作

12.6.1 预应力筋下料

1 预应力筋的下料长度应通过计算确定，计算时应考虑结构的孔道长度或台座长度、锚夹具厚度、千斤顶长度、焊接接头或镦头预留量、冷拉伸长值、弹性回缩值、张拉伸长值和外露长度等因素。

钢丝束两端采用镦头锚具时，同一束中各根钢丝下料长度的相对差值，当钢丝束长度小于或等于 20m 时，不宜大于 $1/3000$ ；当钢丝束长度大于 20m 时，不宜大于 $1/5000$ ，且不大于 5mm。长度不大于 6m 的先张构件，当钢丝成组张拉时，同组钢丝下料长度的相对差值不得大于 2mm。

2 钢丝、钢绞线、热处理钢筋、冷拉Ⅳ级钢筋、冷拔低碳钢丝及精轧螺纹钢筋的切断，宜采用切断机或砂轮锯，不得采用电弧切割。

12.6.2 冷拉钢筋接头

1 冷拉钢筋的接头，应在钢筋冷拉前采用一次闪光顶锻法进行对焊，对焊后尚应进行热处理，以提高焊接质量。钢筋焊接后其轴线偏差不得大于钢筋直径的 $1/10$ ，且不得大于 2mm，轴线曲折的角度不得超过 4° 。采用后张法张拉的钢筋，焊接后尚应敲除毛刺，但不得减损钢筋截面面积。

对焊接头的质量检验方法，应符合本规范第 10 章的有关规定。

2 预应力筋有对焊接头时，除非设计另有规定，宜将接头设置在受力较小处，在结构受拉区及在相当于预应力筋直径 30 倍长度的区段(不小于 500mm)范围内，对焊接头的预应力筋截面面积不得超过该区段预应力筋总截面面积的 25%。

3 冷拉钢筋采用螺丝端杆锚具时，应在冷拉前焊接螺丝端杆，并应在冷拉时将螺母置于端杆端部。

12.6.3 预应力筋镦粗头

预应力筋镦头锚固时，对于高强钢丝，宜采用液压冷镦；对于冷拔低碳钢丝，可采用冷冲镦粗；对于钢筋，宜采用电热镦粗，但Ⅳ级钢筋镦粗后应进行电热处理。冷拉钢筋端头的镦粗及热处理工作，应在钢筋冷拉之前进行，否则应对镦头逐个进行张拉检查，检查时的控制应力应不小于钢筋冷拉的控制应力。

12.6.4 预应力筋的冷拉

预应力筋的冷拉，可采用控制应力或控制冷拉率的方法。但对不能分清炉批号的热轧钢筋，不应采取控制冷拉率的方法。

1 当采用控制应力方法冷拉钢筋时，其冷拉控制应力下的最大冷拉率，应符合表 12.6.4-1 的规定。冷拉时应检查钢筋的冷拉率，当超过表中的规定时，应进行力学性能检验。

表 12.6.4-1 冷拉控制应力及最大冷拉率

钢筋级别	钢筋直径(mm)	冷拉控制应力(wa)	最大冷拉率(%)
------	----------	------------	----------

IV级	10~28	700	4.0
-----	-------	-----	-----

2 当采用控制冷拉率方法冷拉钢筋时,冷拉率必须由试验确定。测定同炉批钢筋冷拉率时,其试样不少于4个,并取其平均值作为该批钢筋实际采用的冷拉率。测定冷拉率时钢筋的冷拉应力应符合表 12.6.4-2 的规定。

表 12.6.4-2 测定冷拉率时钢筋的冷拉应力

钢筋级别	钢筋直径(mm)	冷拉控制应力(wa)
IV级	10~28	700

注:当钢筋平均冷拉率低于1%时,仍应按1%进行冷拉。

冷拉多根连接的钢筋,冷拉率可按总长计,但冷拉后每根钢筋的冷拉率应符合表 12.6.4-1 的规定。

3 钢筋的冷拉速度不宜过快,宜控制在 5MPa / s 左右。冷拉至规定的控制应力(或冷拉率)后,应停置 1—2min 再放松。冷拉后,有条件时宜进行时效处理。应按冷拉率大小分组堆放,以备编束时选料。冷拉钢筋时应做记录。

当采用控制应力方法冷拉钢筋时,对使用的测力计应经常进行校验。

12.6.5 预应力筋的冷拔

预应力筋采用冷拔低碳钢丝时,应采用 6~8mm 的 I 级热轧钢筋盘条拔制。拔丝模孔为盘条原直径的 0.85~0.9,拔制次数一般不超过 3 次,超过 3 次时应将拔丝退火处理。拉拔总压缩率应控制在 60%~80%,平均拔丝速度应为 50~70m / min。冷拔达到要求直径后,应按本章 12.2.4 条进行检验,以决定其组别和力学性能(包括伸长率)。

12.6.6 预应力筋编束

预应力筋由多根钢丝或钢绞线组成时,同束内应采用强度相等的预应力钢材。编束时,应逐根理顺,绑扎牢固,防止互相缠绕。

12.7 混凝土的浇筑

12.7.1 混凝土用料(水泥、细骨料、粗骨料、水)及配合比应符合本规范第 11 章的有关规定。可掺人适量的外加剂,但不得掺人氯化钙、氯化钠等氯盐。从各种组成材料引进混凝土中的氯离子总含量(折合氯化物含量),不宜超过水泥用量的 0.06%,当超过 0.06%时,宜采取掺加阻锈剂、增加保护层厚度、提高混凝土密实度等防锈措施;对于干燥环境中的小型构件,氯离子含量可提高 1 倍。

12.7.2 混凝土的水泥用量不宜超过 500kg / m³,特殊情况下不应超过 550kg / m³。

12.7.3 浇筑混凝土时,宜根据结构的不同型式选用插入式、附着式或平板式等振动器进行振捣。对箱梁腹板与底板及顶板连接处的承托、预应力筋锚固区以及其他钢筋密集部位,宜特别注意振捣。

浇筑混凝土时,对先张构件应避免振动器碰撞预应力筋;对后张结构应避免振动器碰撞预应力筋的管道、预埋件等。并应经常检查模板、管道、锚固端垫板及支座预埋件等,以保证其位置及尺寸符合设计要求。

12.7.4 纵向拼接的后张梁,梁段接缝应符合设计规定,施工注意事项可参照本规范各有关章节执行。

12.7.5 浇筑箱形梁段混凝土时,应尽可能一次浇筑完成;梁身较高时也可分两次或三次浇筑;梁身较低时可分为两次浇筑。分次浇筑时,宜先底板及腹板根部,

其次腹板，最后浇顶板及翼板，同时应符合本规范第 15 章的有关规定。

12.7.6 混凝土浇筑完成并初凝后，应立即开始养护，并应符合本规范第 11 和第 14 章的规定。

12.8 施加预应力

12.8.1 机具及设备

施加预应力所用的机具设备及仪表应由专人使用和管理，并应定期维护和校验。千斤顶与压力表应配套校验，以确定张拉力与压力表之间的关系曲线，校验应在经主管部门授权的法定计量技术机构定期进行。

张拉机具设备应与锚具配套使用，并应在进场时进行检查和校验。对长期不使用的张拉机具设备，应在使用前进行全面校验。使用期间的校验期限应视机具设备的情况确定，当千斤顶使用超过 6 个月或删次或在使用过程中出现不正常现象或检修以后应重新校验。弹簧测力计的校验期限不宜超过 2 个月。

12.8.2 施加预应力的准备工作

1 对力筋施加预应力之前，必须完成或检验以下工作：

- 1)施工现场应具备经批准的张拉程序和现场施工说明书；
- 2)现场已有具备预应力施工知识和正确操作的施工人员；
- 3)锚具安装正确，对后张构件，混凝土已达到要求的强度；
- 4)施工现场已具备确保全体操作人员和设备安全的必要的预防措施。

2 实施张拉时，应使千斤顶的张拉力作用线与预应力筋的轴线重合一致。

12.8.3 张拉应力控制

1 预应力筋的张拉控制应力应符合设计要求。当施工中预应力筋需要超张拉或计入锚圈口预应力损失时，可比设计要求提高 5%，但在任何情况下不得超过设计规定的最大张拉控制应力。

2 预应力筋采用应力控制方法张拉时，应以伸长值进行校核，实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计要求，设计无规定时，实际伸长值与理论伸长值的差值应控制在 6% 以内，否则应暂停张拉，待查明原因并采取措施予以调整后，方可继续张拉。

3 预应力筋的理论伸长值 ΔL (mm)可按式(12.8.3-1)计算：

$$\Delta L = \frac{P_p L}{A_p E_p} \quad (12.8.3-1)$$

式中： P_p ——预应力筋的平均张拉力(N)，直线筋取张拉端的拉力，两端张拉的曲线筋，计算方法见附录 G-8；

L ——预应力筋的长度(mm)；

A_p ——预应力筋的截面面积(mm²)；

E_p ——预应力筋的弹性模量(N / mm²)。

4 预应力筋张拉时，应先调整到初应力口，该初应力宜为张拉控制应力 σ_{con} 的 10%~15%，伸长值应从初应力时开始量测。力筋的实际伸长值除量测的伸长值外，必须加上初应力以下的推算伸长值。对后张法构件，在张拉过程中产生的弹性压缩值一般可省略。

预应力筋张拉的实际伸长值 ΔL (mm)，可按式(12.8.3-2)计算：

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (12.8.3-2)$$

式中： ΔL_1 ——从初应力至最大张拉应力间的实测伸长值(mm)；

ΔL_2 ——初应力以下的推算伸长值(mm)，可采用相邻级的伸长值。

5 必要时，应对锚圈口及孔道摩阻损失进行测定，张拉时予以调整。锥形锚具摩阻损失值的测定方法可参见附录 G-9。

6 预应力筋的锚固，应在张拉控制应力处于稳定状态下进行。锚固阶段张拉端预应力筋的内缩量，应不大于设计规定或不大于表 12.8.3 所列容许值。

表 12.8.3 锚具变形、预应力筋回缩和接缝压缩容许值(mm)

锚具、接缝类型		变形型式	容许值 ΔL
钢制锥形锚具		力筋回缩、锚具变形	6
夹片式锚具(用于预应力钢绞线)		力筋回缩、锚具变形	6
镦头锚具		缝隙压密	1
JM15 锚具	用于预应力钢丝时	力筋回缩、锚具变形	3
	用于预应力钢绞线时		6
粗钢筋锚具(用于精轧螺纹钢筋)		力筋回缩、锚具变形	1
每块后加垫板的缝隙		缝隙压密	1
水泥砂浆接缝		缝隙压密	1
环氧树脂砂浆接缝		缝隙压密	1

7 预应力筋张拉及放松时，均应填写施工记录。

12.9 先张法

12.9.1 台座

先张法墩式台座结构应符合下列规定：

1 承力台座须具有足够的强度和刚度，其抗倾覆安全系数应不小于 1.5，抗滑移系数应不小于 1.3。

2 横梁须有足够的刚度，受力后挠度应不大于 2mm。

3 在台座上铺放预应力筋时，应采取措施防止沾污预应力筋。

4 张拉前，应对台座、横梁及各项张拉设备进行详细检查，符合要求后可进行操作。

12.9.2 张拉

1 同时张拉多根预应力筋时，应预先调整其初应力，使相互之间的应力一致；张拉过程中，应使活动横梁与固定横梁始终保持平行，并应抽查力筋的预应力度，其偏差的绝对值不得超过按一个构件全部力筋预应力总值的 5%。

2 预应力筋张拉完毕后，与设计位置的偏差不得大于 5mm，同时不得大于构件最短边长的 4%。

3 预应力筋的张拉应符合设计要求，设计无规定时，其张拉程序可按表 12.9.2-1 的规定进行。

表 12.9.2-1 先张法预应力筋张拉程序

预应力筋种类	张拉程序
钢 筋	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05 \sigma_{\text{con}} (\text{持荷 } 2\text{min}) \rightarrow 0.9 \sigma_{\text{con}} \rightarrow 6 \sigma_{\text{con}} (\text{锚固})$

钢丝、钢绞线	0→初应力→1.05 σ_{con} (持荷 2min)→0→ σ_{con} (锚固)
	对于夹片式等具有自锚性能的锚具： 普通松驰力筋 0→初应力→1.03 σ_{con} (锚固) 低松驰力筋 0→初应力→ σ_{con} (持荷 2min 锚固)

注：①表中 σ_{con} 为张拉时的控制应力值，包括预应力损失值；

②超张拉数值超过 12.8.3 条规定的最大超张拉应力限值时，应按该条规定的限制张拉应力进行张拉；

③张拉钢筋时，为保证施工安全，应在超张拉放张至 0.9 σ_{con} 。时安装模板、普通钢筋及预埋件等。

4 张拉时，预应力筋的断丝数量不得超过表 12.9.2-2 的规定。

表 12.9.2-2 先张法预应力筋断丝限制

类 别	检 查 项 目	控 制 数
钢丝、钢绞线	同一构件内断丝数不得超过钢丝总数的	1%
钢 筋	断 筋	不容许

12.9.3 放张

1 预应力筋放张时的混凝土强度须符合设计规定，设计未规定时，不得低于设计的混凝土强度等级值的 75%。

2 预应力筋的放张顺序应符合设计要求，设计未规定时，应分阶段、对称、相互交错地放张。在力筋放张之前，应将限制位移的侧模、翼缘模板或内模拆除。

3 多根整批预应力筋的放张，可采用砂箱法或千斤顶法。用砂箱放张时，放砂速度应均匀一致；用千斤顶放张时，放张宜分数次完成。单根钢筋采用拧松螺母的方法放张时，宜先两侧后中间，并不得一次将一根力筋松完。

4 钢筋放张后，可用乙炔-氧气切割，但应采取措施防止烧坏钢筋端部。钢丝放张后，可用切割、锯断或剪断的方法切断；钢绞线放张后，可用砂轮锯切断。

长线台座上预应力筋的切断顺序，应由放张端开始，逐次切向另一端。

12.10 后 张 法

12.10.1 预留孔道

1 预应力筋预留孔道的尺寸与位置应正确，孔道应平顺，端部的预埋钢垫板应垂直于孔道中心线。

2 管道应采用定位钢筋固定安装，使其能牢固地置于模板内的设计位置，并在混凝土浇筑期间不产生位移。固定各种成孔管道用的定位钢筋的间距，对于钢管不宜大于 1m；对于波纹管不宜大于 0.8m；对于胶管不宜大于 0.5m；对于曲线管道宜适当加密。

3 金属管道接头处的连接管宜采用大一个直径级别的同类管道，其长度宜为被连接管道内径的 5~7 倍。连接时应不使接头处产生角度变化及在混凝土浇筑期间发生管道的转动或移位，并应缠裹紧密防止水泥浆的渗入。

4 所有管道均应设压浆孔，还应在最高点设排气孔及需要在最低点设排水孔。压浆管、排气管和排水管应是最小内径为 20mm 的标准管或适宜的塑性管，

与管道之间的连接应采用金属或塑料结构扣件，长度应足以从管道引出结构物以外。

5 管道在模板内安装完毕后，应将其端部盖好，防止水或其他杂物进入。

12.10.2 预应力筋安装

1 预应力筋可在浇筑混凝土之前或之后穿入管道，对钢绞线，可将一根钢束中的全部钢绞线编束后整体装入管道中，也可逐根将钢绞线穿入管道。穿束前应检查锚垫板和孔道，锚垫板应位置准确，孔道内应畅通，无水和其他杂物。

2 预应力筋安装后的保护

1)对在混凝土浇筑及养生之前安装在管道中但在下列规定时限内没有压浆的预应力筋，应采取防止锈蚀或其他防腐蚀的措施，直至压浆。

不同暴露条件下，未采取防腐蚀措施的力筋在安装后至压浆时的容许间隔时间如下：

空气湿度大于 70%或盐分过大时	7d
空气湿度 40%~70%时	15d
空气湿度小于 40%时	20d

2)在力筋安装在管道中后，管道端部开口应密封以防止湿气进入。采用蒸汽养生时，在养生完成之前不应安装力筋。

3)在任何情况下，当在安装有预应力筋的构件附近进行电焊时，对全部预应力筋和金属件均应进行保护，防止溅上焊渣或造成其他损坏。

3 对在混凝土浇筑之前穿束的管道，力筋安装完成后，应进行全面检查，以查出可能被损坏的管道。在混凝土浇筑之前，必须将管道上一切非有意留的孔、开口或损坏之处修复，并应检查力筋能否在管道内自由滑动。

12.10.3 张拉

1 对力筋施加预应力之前，应对构件进行检验，外观和尺寸应符合质量标准要求。张拉时，构件的混凝土强度应符合设计要求，设计未规定时，不应低于设计强度等级值的 75%。

2 预应力筋的张拉顺序应符合设计要求，当设计未规定时，可采取分批、分阶段对称张拉。

3 应使用能张拉多根钢绞线或钢丝的千斤顶同时对每一钢束中的全部力筋施加应力，但对扁平管道中不多于 4 根的钢绞线除外。

4 预应力筋张拉端的设置应符合设计要求，当设计无具体要求时，应符合下列规定：

1)对曲线预应力筋或长度大于等于 25m 的直线预应力筋，宜在两端张拉；对长度小于 25m 的直线预应力筋，可在一端张拉。

2)曲线配筋的精轧螺纹钢应在两端张拉，直线配筋的可在一端张拉。

3)当同一截面中有多束一端张拉的预应力筋时，张拉端宜分别设置在构件的两端。预应力筋采用两端张拉时，可先在一端张拉锚固后，再在另一端补足预应力值进行锚固。

5 后张预应力筋的张拉应符合设计要求，设计无规定时，其张拉程序可参照表 12.10.3-1 进行。

6 后张预应力筋断丝及滑移不得超过表 12.10.3-2 的控制数。

7 预应力筋在张拉控制应力达到稳定后方可锚固。预应力筋锚固后的外露长度不宜小于 30mm，锚具应用封端混凝土保护，当需长期外露时，应采取防止锈蚀的措施。一般情况下，锚固完毕并经检验合格后即可切割端头多余的预应力筋，

严禁用电弧焊切割，强调用砂轮机切割。

表 12.10.3-1 后张法预应力筋张拉程序

预 应 力 筋		张 拉 程 序
钢筋、钢筋束		0→初应力→1.05 σ_{con} (持荷 2min) →6 σ_{con} (锚固)
钢绞线束	对于夹片式等具有自锚性能的锚具	普通松驰力筋 0→初应力→1.03 σ_{con} (锚固) 低松驰力筋 0→初应力→ σ_{con} (持荷 2min 锚固)
	其他锚具	0→初应力→1.05 σ_{con} (持荷 2min) → σ_{con} (锚固)
钢 丝 束	对于夹片式等具有自锚性能的锚具	普通松驰力筋 0→初应力→1.03 σ_{con} (锚固) 低松驰力筋 0→初应力→ σ_{con} (持荷 2min 锚固)
	其他锚具	0→初应力→1.05 σ_{con} (持荷 2min) →0→ σ_{con} (锚固)
精轧螺纹钢	直线配筋时	0→初应力→ σ_{con} (持荷 2min 锚固)
	曲线配筋时	0→ σ_{con} (持荷 2min) →0 (上述程序可反复几次) →初应力→ σ_{con} (持荷 2min 锚固)

注：①表中 σ_{con} 为张拉时的控制应力，包括预应力损失值；
 ②两端同时张拉时，两端千斤顶升降压、画线、测伸长、插垫等工作应基本一致；
 ③梁的竖向预应力筋可一次张拉到控制应力，然后于持荷 5min 后测伸长和锚固；
 ④超张拉数值超过 12.8.3 条规定的最大超张拉应力限值时，应按该条规定的限值进行张拉。

表 12.10.3-2 后张预应力筋断丝、滑移限制

类 别	检 查 项 目 及	控制数
钢丝束和钢绞线束	每束钢丝断丝或滑丝	1 根
	每束钢绞线断丝或滑丝	1 丝
	每个断面断丝之和不超过该断面钢丝总数的	1%
单根钢筋	断筋或滑移	不容许

注：①钢绞线断丝系指单根钢绞线内钢丝的断丝；
 ②超过表列控制数时，原则上应更换，当不能更换时，在许可的条件下，可采取补救措施，如提高其他束预应力值，但须满足设计上各阶段极限状态的要求。

12.11 后张孔道压浆

12.11.1 预应力筋张拉后，孔道应尽早压浆。

12.11.2 孔道压浆宜采用水泥浆，所用材料应符合下列要求：

1 水泥

宜采用硅酸盐水泥或普通水泥。采用矿渣水泥时，应加强检验，防止材性不稳定。水泥的强度等级不宜低于 42.5。水泥不得含有任何团块。

2 水

应不含有对预应力筋或水泥有害的成分，每升水不得含 500mg 以上的氯化物离子或任何一种其他有机物。可采用清洁的饮用水。

3 外加剂

宜采用具有低含水量、流动性好、最小渗出及膨胀性等特性的外加剂，它们应不得含有对预应力筋或水泥有害的化学物质。外加剂的用量应通过试验确定。

12.11.3 水泥浆的强度应符合设计规定，设计无具体规定时，应不低于 30MPa。对截面较大的孔道，水泥浆中可掺入适量的细砂。水泥浆的技术条件应符合下列规定：

1 水灰比宜为 0.40~0.45，掺入适量减水剂时，水灰比可减小到 0.35。

2 水泥浆的泌水率最大不得超过 3%，拌和后 3h 泌水率宜控制在 2%，泌水应在 24h 内重新全部被浆吸回。

3 通过试验后，水泥浆中可掺入适量膨胀剂，但其自由膨胀率应小于 10%。泌水率和膨胀率的试验方法见附录 G-10。

4 水泥浆稠度宜控制在 14~18s 之间，稠度的试验方法见附录 G-11。

12.11.4 孔道的准备

压浆前，应对孔道进行清洁处理。对抽芯成型的混凝土空心孔道应冲洗干净并使孔壁完全湿润；金属管道必要时亦应冲洗以清除有害材料；对孔道内可能发生的油污等，可采用已知对预应力筋和管道无腐蚀作用的中性洗涤剂或皂液，用水稀释后进行冲洗。冲洗后，应使用不含油的压缩空气将孔道内的所有积水吹出。

12.11.5 水泥浆自拌制至压入孔道的延续时间，视气温情况而定，一般在 30~45min 范围内。水泥浆在使用前和压注过程中应连续搅拌。对于因延迟使用所致的流动度降低的水泥浆，不得通过加水来增加其流动度。

12.11.6 压浆时，对曲线孔道和竖向孔道应从最低点的压浆孔压入，由最高点的排气孔排气和泌水。压浆顺序宜先压注下层孔道。

12.11.7 压浆应缓慢、均匀地进行，不得中断，并应将所有最高点的排气孔依次一一放开和关闭，使孔道内排气通畅。较集中和邻近的孔道，宜尽量先连续压浆完成，不能连续压浆时，后压浆的孔道应在压浆前用压力水冲洗通畅。

12.11.8 对掺加外加剂泌水率较小的水泥浆，通过试验证明能达到孔道内饱满时，可采用一次压浆的方法；不掺外加剂的水泥浆，可采用二次压浆法，两次压浆的间隔时间宜为 30~45min。

12.11.9 压浆应使用活塞式压浆泵，不得使用压缩空气。压浆的最大压力宜为 0.5~0.7MPa；当孔道较长或采用一次压浆时，最大压力宜为 1.0MPa。梁体竖向预应力筋孔道的压浆最大压力可控制在 0.3~0.4MPa。压浆应达到孔道另一端饱满和出浆，并应达到排气孔排出与规定稠度相同的水泥浆为止。为保证管道中充满灰浆，关闭出浆口后，应保持不小于 0.5MPa 的一个稳压期，该稳压期不宜少于 2min。

12.11.10 压浆过程中及压浆后 48h 内，结构混凝土的温度不得低于 50℃，否则应采取保温措施。当气温高于 35℃时，压浆宜在夜间进行。

12.11.11 压浆后应从检查孔抽查压浆的密实情况，如有不实，应及时处理和纠正。压浆时，每一工作班应留取不少于 3 组的 70.7mm×70.7mm×70.7mm 立方体试件，标准养护 28d，检查其抗压强度，作为评定水泥浆质量的依据。

12.11.12 对需封锚的锚具，压浆后应先将其周围冲洗干净并对梁端混凝土凿毛，然后设置钢筋网浇筑封锚混凝土。封锚混凝土的强度应符合设计规定，一般不宜低于构件混凝土强度等级值的 80%。必须严格控制封锚后的梁体长度。长期外

露的锚具，应采取防锈措施。

12.11.13 对后张预制构件，在管道压浆前不得安装就位，在压浆强度达到设计要求后方可移运和吊装。

12.11.14 孔道压浆应填写施工记录。

12.12 质量检验及质量标准

12.12.1 对工程质量的检验，除一般混凝土、钢筋混凝土工程的应有检验项目外，尚应进行钢筋冷拉、预应力钢材编束、孔道预留、施加预应力、孔道压浆等项目的施工检验以及预应力筋、张拉机具、锚夹具的质量检验。

12.12.2 预应力筋制作安装的允许偏差列于表 12.12.2-1 及表 12.12.2-2。

表 12.12.2-1 先张预应力筋制作安装允许偏差

项 目		允许偏差(mm)
镦头钢丝同束长度相对差	束长>20m	L/5000 及 5
	束长 6~20m	L/3000
	束长<6m	2
冷拉钢筋接头在同一平面的轴线偏位		2 及 1/10 直径
力筋张拉后的位置与设计位置之间偏位		4% 构件最短边长及 5

表 12.12.2-2 后张预应力筋制作安装允许偏差

项 目		允许偏差(mm)
管道坐标	梁长方向	30
	梁高方向	10
管道间距	同排	10
	上下层	10

12.12.3 梁体质量应符合下列规定：

1 混凝土质量检验应符合本规范第 11 章的有关规定。

2 混凝土表面应平整、密实，预应力部位不得有蜂窝、露筋现象。

13 砌 体

13.1 一般规定

13.1.1 本章适用于用砌石及混凝土预制块砌筑的公路桥涵拱圈、墩台、挡土墙及其附属工程等的施工。

13.1.2 天然地基上的基础砌体，施工前应按本规范第 4 章的有关规定，对基坑进行检查和处理。

13.1.3 砌体沉降缝、伸缩缝、泄水孔及防水层的设置，应符合设计和有关规定。

13.2 材 料

13.2.1 石料的要求

1 石料应符合设计规定的类别和强度，石质应均匀、不易风化、无裂纹。石料强度、试件规格及换算应符合设计要求，石料强度的测定应按现行《公路工程

石料试验规程》(JTJ054)执行。

2 一月份平均气温低于-10℃的地区,除干旱地区的不受冰冻部位或根据以往实践经验证明材料确有足够抗冻性者外,所用石料及混凝土材料须通过冻融试验证明符合表 13.2.1 的抗冻性指标时,方可使用。

表 13.2.1 石料及混凝土材料抗冻性指标

结构物类别	大、中桥	小桥及涵洞
镶面或表层	50	25

注:抗冻性指标系指材料在含水饱和状态下经-15℃的冻结与融化的循环次数。试验后的材料应无明显损伤(裂缝、脱层),其强度不低于试验前的 0.75 倍:

3 片石:一般指用爆破或楔劈法开采的石块,厚度不应小于 150mm(卵形和薄片者不得采用)。用做镶面的片石,应选择表面较平整、尺寸较大者,并应稍加修整。

4 块石:形状应大致方正,上下面大致平整,厚度 200~300mm,宽度约为厚度的 1.0~1.5 倍,长度约为厚度的 1.5~3.0 倍(如有锋棱锐角,应敲除)。块石用做镶面时,应由外露面四周向内稍加修凿,后部可不修凿,但应略小于修凿部。其加工形状如图 13.2.1 所示。

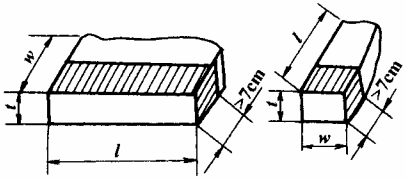


图 13.2.1 镶面块石
 w -宽度; t -厚度; l -长度

5 粗料石:是由岩层或大块石料开劈并经粗略修凿而成,外形应方正,成六面体,厚度 200~300mm,宽度为厚度的 1~1.5 倍,长度为厚度的 2.5~4 倍,表面凹陷深度不大于 20mm。加工镶面粗料石时,丁石长度应比相邻顺石宽度至少大 150mm,修凿面每 100mm 长须有鏊路约 4-5 条,侧面修凿面应与外露面垂直,正面凹陷深度不应超过 15.0mm,加工精度应如图 13.2.2 所示。

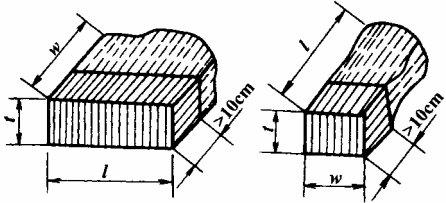


图 13.2.2 镶面粗料石
 w -宽度; t -厚度; l -长度

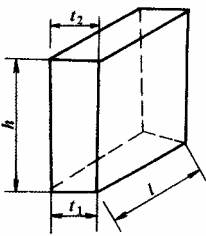


图 13.2.3 拱石

镶面粗料石的外露面如带细凿边缘时,细凿边缘的宽度应为 30~50mm。

6 拱石:可根据设计采用粗料石、块石或片石;拱石应立纹破料,岩层面应与拱轴垂直,各排拱石沿拱圈内弧的厚度应一致。用粗料石砌筑曲线半径较小的拱圈,辐射缝上下宽度相差超过 30%时,宜将粗料石加工成如图 13.2.3 所示的楔形,其具体尺寸可根据设计及施工条件确定,但应符合下列规定:

- (1)厚度 t_1 不应小于 200mm, t_2 按设计或施工放样确定;
- (2)高度 h 应为最小厚度 t_1 的 1.2~2.0 倍;
- (3)长度 l 应为最小厚度 t_1 的 2.5~4.0 倍。

7 桥涵附属工程采用卵石代替片石时,其石质及规格须符合片石的规定。

13.2.2 混凝土预制块的要求

混凝土预制块砌体形状、尺寸应统一，其规格应与粗料石相同，砌体表面应整齐美观。预制块做拱石时，混凝土块可提前预制，使其收缩尽量消失在拱圈封顶以前，避免拱圈开裂；蒸汽养护混凝土预制块可加速收缩，可按试验确定提前时间。

13.2.3 砂浆的技术要求

1 砌筑用砂浆的类别和强度等级应符合设计规定。砂浆强度等级以 $M \times \times$ 表示，为 $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$ 试件标准养护 28d 的抗压强度(单位为 MPa)。标准养护条件如下：

- (1)水泥石灰等混合砂浆养护温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ，相对湿度 60%~80%；
- (2)水泥砂浆和微沫水泥砂浆养护温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 90%以上；
- (3)常用的砂浆强度等级分别为 M20，M15，M10，M7.5，M5，M2.5 六个等级。

2 砂浆中所用水泥、砂、水等材料的质量标准宜符合混凝土工程相应材料的质量标准。砂浆中所用砂，宜采用中砂或粗砂，当缺乏中砂及粗砂时，在适当增加水泥用量的基础上，也可采用细砂。砂的最大粒径，当用于砌筑片石时，不宜超过 5mm；当用于砌筑块石、粗料石时，不宜超过 2.5mm。如砂的含泥量达不到混凝土用砂的标准，当砂浆强度等级大于或等于 M5 时，可不超过 5%，小于 M5 时可不超过 7%。

3 石灰水泥砂浆所用生石灰，应成分纯正，锻烧均匀、透彻。一般宜熟化成消石灰粉或石灰膏使用，也可磨细成生石灰粉使用。

消石灰粉和石灰膏应通过网筛过滤，并且石灰膏应在沉淀池内储存 14d 以上。磨细生石灰粉应经 4900 孔/ cm^2 筛子过筛。生石灰及消石灰粉的技术指标见附录 H。

4 砂浆的配合比可通过试验确定，可采用质量比或体积比，并应满足该规范中技术条件的要求。当变更砂浆的组成材料时，其配合比应重新试验确定。

5 砂浆必须具有良好的和易性，其稠度以标准圆锥体沉入度表示，用于石砌体时宜为 50~70mm，气温较高时可适当增大。零星工程用砂浆的稠度，也可用直观法进行检查，以用手能将砂浆捏成小团，松手后既不松散、又不由灰铲上流下为度。

6 为改善水泥砂浆的和易性，可掺入无机塑化剂或以皂化松香为主要成分的微沫剂等有机塑化剂，其掺量可参照生产厂家的规定并通过试验确定，一般为水泥用量的 0.5/10000~1.0/10000(微沫剂按 100%纯度计)。采用时应符合下列规定：

1)微沫剂宜用不低于 70°C 的水稀释至 5%~10% 的浓度，稀释后存放不宜超过 7d。

2)宜用机械拌和，拌和时间宜为 3~5min。

7 砂浆配制应采用质量比，砂浆应随拌随用，保持适宜的稠度，一般宜在 3~4h 内使用完毕；气温超过 30°C 时，宜在 2~3h 内使用完毕。在运输过程或在贮存器中发生离析、泌水的砂浆，砌筑前应重新拌和；已凝结的砂浆，不得使用。

13.2.4 小石子混凝土的技术要求

1 小石子混凝土的配合比设计、材料规格和质量检验标准，应符合本规范第 11 章的有关规定。

2 小石子混凝土的粗骨料可采用细卵石或碎石，最大粒径不宜大于 20mm。

3 小石子混凝土拌和物应具有良好的和易性，坍落度宜为 50~70mm(片石砌体)或 70~100mm(块石砌体)。为改善小石子混凝土拌和物的和易性，节约水泥，

可通过试验，在拌和物中掺入一定数量的减水剂等外加剂或粉煤灰等混合材料。

13.3 浆砌石块及混凝土预制块墩台、挡土墙

13.3.1 一般要求

1 砌块在使用前必须浇水湿润，表面如有泥土、水锈，应清洗干净。

2 砌筑基础的第一层砌块时，如基底为岩层或混凝土基础，应先将基底表面清洗、湿润，再坐浆砌筑；如基底为土质，可直接坐浆砌筑。

3 砌体应分层砌筑，砌体较长时可分段分层砌筑，但两相邻工作段的砌筑差一般不宜超过 1.2m；分段位置宜尽量设在沉降缝或伸缩缝处，各段水平砌缝应一致。

4 各砌层应先砌外圈定位行列，然后砌筑里层，外圈砌块应与里层砌块交错连成一体。砌体外露面镶面种类应符合设计规定，位于流冰或有严重漂流物河中的墩台，宜选用较坚硬的石料或高强度混凝土预制块进行镶砌。砌体里层应砌筑整齐，分层应与外圈一致，应先铺一层适当厚度的砂浆再安放砌块和填塞砌缝。

砌体外露面应进行勾缝，并应在砌筑时靠外露面预留深约 20mm 的空缝备作勾缝之用。砌体隐蔽面砌缝可随砌随刮平，不另勾缝。

5 各砌层的砌块应安放稳固，砌块间应砂浆饱满，粘结牢固，不得直接贴靠或脱空。砌筑时，底浆应铺满，竖缝砂浆应先在已砌石块侧面铺放一部分，然后于石块放好后填满捣实。用小石子混凝土塞竖缝时，应以扁铁捣实。

6 砌筑上层块时，应避免振动下层砌块。砌筑工作中断后恢复砌筑时，已砌筑的砌层表面应加以清扫和湿润。

13.3.2 浆砌片石的技术要求

1 片石应分层砌筑，宜以 2~3 层砌块组成一工作层，每一工作层的水平缝应大致找平。各工作层竖缝应相互错开，不得贯通。

2 外圈定位行列和转角石，应选择形状较为方正及尺寸较大的片石，并长短相间地与里层砌块咬接。砌缝宽度一般不应大于 40mm，用小石子混凝土砌筑时，可为 30~70mm。

3 较大的砌块应使用于下层，安砌时应选取形状及尺寸较为合适的砌块，尖锐突出部分应敲除。竖缝较宽时，应在砂浆中塞以小石块，不得在石块下面用高于砂浆砌缝的小石片支垫。

13.3.3 浆砌块石的技术要求

1 石块应平砌，每层石料高度应大致一致。外圈定位行和镶面石块，应一顺一丁相间或两顺一丁排列，砌缝宽度不大于 30mm，上下层竖缝错开距离不小于 80mm。

2 砌体里层平缝宽度不应大于 30mm，竖缝宽度不应大于 40mm，用小石子混凝土砌筑时不应大于 50mm。

13.3.4 浆砌粗料石及混凝土预制块的技术要求

1 砌筑前，应先计算层数，选好料，砌筑时应严格控制平面位置和高度。镶面石应一顺一丁排列，砌缝应横平竖直。砌缝宽度，当为粗料石时不应大于 20mm，当为混凝土砌块时不应大于 10mm；上下层竖缝错开距离不应小于 100mm，同时在丁石的上层或下层不宜有竖缝。砌体里层为浆砌块石时，其要求同 13.3.3 条第 2 款。

2 桥墩破冰体镶面的砌筑应符合下列要求：

1)破冰棱与垂线的夹角大于 20° 时，破冰体镶面横缝应垂直于破冰棱；夹角

小于等于 20° 时, 镶面横缝可成水平。

2) 破冰体镶面的砌筑层次应与墩身一致。

3) 砌缝宽度为 $10\sim 12\text{mm}$ 。

4) 不得在破冰棱中线上及破冰棱与墩身相交线上设置砌缝。

13.4 浆砌石块及混凝土预制块拱圈

13.4.1 一般要求

1 拱圈和拱上结构所用砌块的规格应符合设计规定, 施工时应按设计留置施工预拱度。

2 砌筑拱圈工作开始前, 应先详细检查拱架和模板, 在质量和安全等各方面均符合要求后方可开始砌筑。

3 拱圈的辐射缝应垂直于拱轴线, 辐射缝两侧相邻两行拱石的砌缝应互相错开(同一行内上下层砌缝可不错开), 错开距离不应小于 100mm , 错缝规则见图 13.4.1。

4 浆砌粗料石和混凝土预制块拱圈的砌缝宽度应为 $10\sim 20\text{mm}$, 块石拱圈的砌缝宽度不应大于 30mm , 片石拱圈的砌缝宽度不应大于 40mm 。用小石子混凝土砌块石时, 不应大于 50mm 。

5 砌筑各类浆砌拱圈时, 对于不甚陡的辐射缝, 应先在侧面已砌拱石上铺浆, 再放拱石挤砌; 辐射缝较陡时, 可在拱石间先嵌入木条, 再分层填塞, 捣实砂浆。

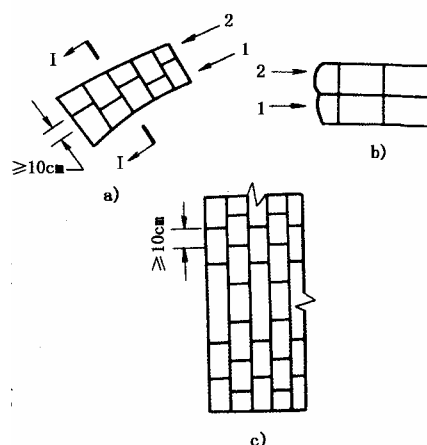


图 13.4.1 拱圈错缝
a) 拱立面; b) I-I 截面; c) 拱底面
1-下层; 2-上层

13.4.2 砌筑程序

1 砌筑拱圈前, 应根据拱圈跨径、矢高、厚度及拱架的情况, 设计拱圈砌筑程序, 砌筑时, 须设置变形观测缝, 随时注意观测拱架的变形情况, 必要时对砌筑程序进行调整, 控制拱圈的变形。

2 跨径 $\leq 10\text{m}$ 的拱圈, 当用满布式拱架砌筑时, 可从两端拱脚起顺序向拱顶方向对称、均衡地砌筑, 最后砌拱顶石。当用拱式拱架砌筑时, 宜分段、对称地先砌拱脚段和拱顶段, 后砌 $1/4$ 跨径段。

3 跨径 $13\sim 20\text{m}$ 的拱圈, 不论用何种拱架, 每半跨均应分成三段砌筑(如图 13.4.2), 先砌拱脚段(I)和拱顶段(II)、后砌 $1/4$ 跨径段(III), 两半跨应同时对称地进行。

隔开砌的拱段, 其倾斜角大于砌块与模板间的摩擦角时, 应在拱段下侧临时设置支撑。

4 跨径 $\geq 25\text{m}$ 的拱圈, 砌筑程序应符合设计规定。一般采用分段砌筑或分环分段相结合的方法砌筑, 必要时应对拱架预加一定的压力。分环砌筑时, 应待下环砌筑合龙、砌缝砂浆强度达到设计强度的 75% 以上后, 再砌筑上环。

5 多孔连续拱桥拱圈的砌筑, 应考虑连拱的影响, 制定相应的砌筑程序。

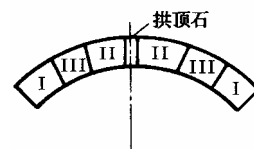


图 13.4.2 拱圈分六段砌示意图

13.4.3 空缝的设置和填塞的技术要求

1 砌筑拱圈时, 应在拱脚、拱顶石两侧、分段点等部位临时设置空缝; 小跨

径拱圈不分段砌筑时，应在拱脚附近临时设置空缝。

2 设置和填塞空缝时，应注意下列事项：

1)空缝的宽度，在拱圈外露面应与相应类别砌块的一般砌缝相同。当拱圈为粗料石时，为便于砂浆的填塞，可将空缝内腔宽度加大至 30~40mm。为保证空缝的宽度，当拱圈跨径 $\geq 16\text{m}$ 时，拱脚部位附近的空缝宜用铸铁垫隔，其他部位的空缝可用 M2.5 水泥砂浆块垫隔。

2)用于空缝两侧的拱石，靠空缝一面应加工凿平。

3)空缝的填塞，应在砌缝砂浆强度达到设计强度的 70%后进行，填塞时应分层捣实。

4)填塞空缝可使用 M2.5 以上或体积比为 1:1 的半干硬水泥砂浆，砂子宜用细砂或筛除较大颗粒的中砂。

5)空缝的填塞顺序视具体情况确定，可由拱脚逐次向拱顶对称填塞，或先填塞拱脚处，次填塞拱顶处，然后自拱顶向两端对称逐条填塞，所有空缝也可同时填塞。

13.4.4 拱圈合龙及拱上结构砌筑的技术要求

1 拱圈封拱合龙时的温度、砂浆强度和封拱方法应符合设计规定，设计无规定时，应符合下列规定：

1)封拱合龙宜在接近当地年平均温度或 5~15℃时进行。

2)分段砌筑的拱圈应待填塞空缝的砂浆强度达到设计强度的 50%后进行，采用剃尖封顶的拱圈应待砂浆强度达到设计强度 70%后进行。

3)封拱合龙前用千斤顶施加压力的方法调整拱圈应力时，砂浆强度应达到设计强度。

2 拱上结构的砌筑应符合下列规定：

1)拱上结构在拱架卸架前砌筑时，应待拱圈合龙砂浆强度达到设计强度的 30%以上后进行。

2)当先松架后砌拱上结构时，应待拱圈合龙砂浆强度达到设计强度的 70%以上后进行。

3)采用分环砌筑的拱圈，应待上环合龙砂浆强度达到设计强度的 70%以上后进行。

4)采用施加压力调整拱圈应力时，应待封拱砂浆强度达到设计的规定后砌筑拱上结构。

5)拱上结构一般应由拱脚至拱顶对称、均衡地砌筑。

13.4.5 小石子混凝土砌筑拱圈的技术要求

1 用小石子混凝土砌筑片石拱圈时，应注意下列事项：

1)靠拱模一面，应选用底面较大且较平整的石块，必要时稍加修整，拱背面则应大致平顺。

2)砌缝中的小石子混凝土，应先铺放一部分再填塞，以达到饱满、密实。较宽的竖缝，可在填塞小石子混凝土的同时，填塞一部分小石块，将砌缝挤满。

3)砌筑中设置空缝时，在空缝两侧应选用较大和较平整的石块。

2 用小石子混凝土砌块石拱圈时，块石靠拱模一面应稍加修整，砌缝宽度不应大于 50mm，砌筑注意事项可参照用小石子混凝土砌片石拱圈的有关规定。

13.5 桥涵附属工程

13.5.1 砌体工程的技术要求

1 石砌锥坡、护坡和河床铺砌层等工程，必须在坡面或基面夯实、整平后，方可开始铺砌。

2 片石护坡的外露面和坡顶、边口，应选用较大、较平整并略加修凿的石块。

3 浆砌片石护坡和河床铺砌，石块应相互咬接，砌缝砂浆饱满，砌缝宽度 40～70mm。浆砌卵石护坡和河床铺砌层，应采用栽砌法，砌块应互相咬接。

4 干砌片石护坡及河床铺砌时，铺砌应紧密、稳定、表面平顺，但不得用小石块塞垫或找平。干砌卵石河床铺砌时，应采用栽砌法。用于防护急流冲刷的护坡、河床铺砌层，其石块尺寸不得小于有关规定。

5 铺砌层的砂砾垫层材料，粒径一般不宜大于 50mm，含泥量不宜超过 5%，含砂量不宜超过 40%。垫层应与铺砌层配合铺筑，随铺随砌。

6 防护工程采用石笼时，除应符合设计规定外，并应注意下列事项：

1) 石笼的构造、形状及尺寸应适应水流及河床的实际情况。

2) 笼内石料一般用片石和大卵石，石块尺寸须大于笼网孔眼。

3) 笼内石块应塞紧、装满，笼网应锁口牢固。

4) 石笼应铺放整齐，笼与笼间的空隙应用石块填满。

13.5.2 填土工程的技术要求

1 桥涵台背、锥坡、护坡及拱上各种填料，宜采用透水性材料，不得采用含有泥草、腐植物或冻土块的土。

2 台背填土顺路线方向长度，应自台身起，顶面不小于桥台高度加 2m，底面不小于 2m，拱桥台背填土长度不应小于台高的 3～4 倍。锥坡填土应与台背填土同时进行，并应按设计宽度一次填足。

3 台背填土的质量直接关系到竣工后行车的舒适与安全，应严格控制分层厚度和密实度，应设专人负责监督检查，检查频率每 50m² 检验 1 点，不足 50m² 时至少检验 1 点，每点都应合格，宜采用小型机械压实。透水性材料不足时，可采用石灰土或水泥稳定土回填；回填土的分层厚度宜为 0.1～0.2m。高速公路和一级公路的桥台、涵身背后和涵洞顶部的填土压实度标准，从填方基底或涵洞顶部至路床顶面均为 95%，其他公路为 93%。软土地基的台背填土应符合设计要求。

4 台背填土的顺序应符合设计要求。拱桥台背填土宜在主拱圈安装或砌筑以前完成；梁式桥的轻型桥台台背填土，宜在梁体安装完成以后，在两侧平衡地进行；柱式桥台台背填土，宜在柱侧对称、平衡地进行。

13.6 砌体勾缝及养护

13.6.1 砌体勾缝，除设计有规定者外，一般可采用凸缝或平缝。浆砌较规则的块材时，可采用凹缝。

13.6.2 勾缝砂浆强度不应低于砌体砂浆强度，一般主体工程不低于 M10，附属工程不低于 M7.5。流冰和严重冲刷部位应采用高强度水泥砂浆。

13.6.3 石砌体勾缝应嵌入砌缝内约 20mm 深。缝槽深度不足时，应凿够深度后再勾缝。干砌片石勾缝时，应嵌入砌缝 20mm 以上。

13.6.4 干砌片石护坡、锥坡的勾缝，宜待坡体土方稳定后进行，除设计有规定外，一般可做平缝。

13.6.5 浆砌砌体，应在砂浆初凝后，洒水覆盖养生 7～14d。养护期间应避免碰撞、振动或承重。

13.7 质量检验及质量标准

13.7.1 对砂浆及小石子混凝土的抗压强度应按不同强度等级、不同配合比分别制取试件，重要及主体砌筑物，每工作班应制取试件 2 组；一般及次要砌筑物，每工作班可制取试件 1 组。拱圈砂浆应同时制取与砌体同条件养护试件，以检查各施：正阶段的强度。

小石子混凝土抗压强度评定方法同一般混凝土，砂浆抗压强度合格条件如下：

- 1 同等级试件的平均强度不低于设计强度等级。
- 2 任意一组试件最低值不低于设计强度等级的 75%。

13.7.2 砌体质量应符合下列规定：

- 1 砌体所用各项材料类别、规格及质量符合要求。
- 2 砌缝砂浆或小石子混凝土铺填饱满，强度符合要求。
- 3 砌缝宽度、错缝距离符合规定，勾缝坚固、整齐，深度和型式符合要求。
- 4 砌筑方法正确。
- 5 砌体位置、尺寸不超过允许偏差。

13.7.3 墩、台砌体位置及外形尺寸允许偏差如表 13.7.3。

13.7.4 拱圈砌体允许偏差如下：

- 1 拱圈和拱上砌体侧面位置与设计位置的偏差，有镶面时为+20mm，-10mm；无镶面时为+30mm，-10mm。
- 2 拱圈厚度不小于设计值，超厚不大于设计值的 3%。
- 3 拱圈侧面粗料石镶面两邻接砌块表面彼此错位不大于 3mm。
- 4 拱圈侧面块石镶面两邻接砌块表面彼此错位不大于 5mm。
- 5 内弧线偏离设计弧线，当跨径小于等于 30m 时，为±20mm；当跨径大于 30m 时，为±1/1500 跨径(对于拱式桥涵、箱涵、圆管涵为净跨径)。

表 13.7.3 墩、台砌体位置及外形尺寸允许偏差

项目		允许偏差(mm)
名称	类别	
轴线偏位		10
墩台宽度与长度	片石	+40, -10
	块石	+30, -10
	粗料石	+20, -10
大面积平整度 (2m 直尺检查)	片石	30
	块石	20
	粗料石	10
竖直度或坡度	片石	0.5%H
	块石、粗料石	0.3%H
墩台顶面高程		±10

注：①H 为墩台高度；

②混凝土预制砌体允许偏差可按粗料石标准执行。

13.7.5 浆砌片石基础位置及外形尺寸允许偏差见表 13.7.5。

表 13.7.5 浆砌片石基础允许偏差

项 目	允许偏差(mm)	项 目	允许偏差(mm)
轴线偏位	25	基底高程	土质 ±50
平面尺寸	±50		石质 +50,-200
顶面高程	±30		

13.7.6 浆砌片石、块石挡土墙位置及外形尺寸允许偏差见表 13.7.6。

表 13.7.6 浆砌片石、块石挡土墙允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	项目	允许偏差 (mm)
平面位置	50	顶面高程	±20
表面平整度	片石 30, 块石 20	断面尺寸	不小于设计值
竖直度或坡度	0.5%H	底面高程	±50

注：H 为砌体高度。

13.7.7 侧墙砌体位置及外形尺寸允许偏差见表 13.7.7。

表 13.7.7 侧墙砌体允许偏差

项 目		规定值或允许偏差
外侧平面偏位(mm)	无镶面	+30, -10
	有镶面	+20, -10
宽度 (mm)		+40, -10
顶面高程(mm)		±10
竖直度或坡度	片石砌体	0.5%
	块石、粗料石、混凝土块镶面	0.3%

14 冬期施工

14.1 一般规定

14.1.1 冬期施工是指根据当地多年气温资料，室外日平均气温连续5d稳定低于5℃时混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土及砌体工程的施工。冬期施工除应按本规范第10章、第11章、第12章、第13章的有关规定执行外，还应遵照本章的规定。

1 冬期施工的工程，应预先做好冬期施工组织计划及准备工作，对各项设施和材料应提前采取防雪、防冻等措施，对钢筋的冷拉和张拉，还应专门制定施工工艺要求及安全措施。

2 冬期施工期间，用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制的混凝土，在抗压强度达到设计强度的40%及5MPa前，用矿渣硅酸盐水泥配制的混凝土，在抗压强度达到设计强度的50%前，不得受冻。未采取抗冻措施的浆砌砌体，在砂浆抗压强度达到70%前不得受冻。

3 基础的地基（永冻地区除外），在工程施工时和完工后，均不得受冻。

4冬期铺设防水层时，应先将结构物表面加热至一定温度，并按防水层冬期施工的有关规定执行。

5冬期施工时，应制定防火、防冻、防煤气中毒等安全措施，并与当地气象部门取得联系，做好气温观测工作。

14.2 混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土冬期施工

14.2.1 钢筋的焊接、冷拉及张拉的技术要求

1焊接钢筋宜在室内进行，当必须在室外进行时，最低温度不宜低于-20℃，并应采取防风挡风措施，减小焊件温度差，焊接后的接头严禁立刻接触冰雪。

2冷拉钢筋时的温度不宜低于-15℃，当采取可靠的安全措施时可不低于-20℃；当采用控制应力或冷拉率方法冷拉时，冷拉控制应力宜较常温时酌予提高，提高值应经试验确定，但不得超过30MPa。

3张拉预应力钢材时的温度不宜低于-15℃。

4钢筋的冷拉设备、预应力钢材张拉设备以及仪表工作油液，应根据实际使用时的环境温度选用，并应在使用时的环境温度条件下进行配套校验。

14.2.2 混凝土配制和搅拌的技术要求

1配制混凝土时，宜优先选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，水泥的强度等级不宜低于42.5，水灰比不宜大于0.5。采用蒸汽养护时，宜优先选用矿渣硅酸盐水泥。用加热法养护掺外加剂的混凝土，严禁使用高铝水泥。使用其他品种的水泥时，应注意其掺合材料对混凝土强度、抗冻、抗渗等性能的影响。

2浇筑混凝土宜掺用引气剂、引气型减水剂等外加剂，以提高混凝土的抗冻性。在钢筋混凝土中掺用氯盐类防冻剂时，氯离子含量不得超过本规范第11章、第12章的规定，且不宜采用蒸汽养生。当采用素混凝土时，氯盐掺量不得大于水泥质量的3%。预应力混凝土不得掺用引气剂、引气型减水剂及氯盐防冻剂。掺用的引气剂、引气型减水剂及防冻剂，应符合现行国家标准《混凝土外加剂》（GB8076）的规定。

3拌制混凝土的各项材料的温度，应满足混凝土拌和物搅拌合成后所需要的温度。当材料原有温度不能满足需要时，应首先考虑对拌和用水加热，仍不能满足需要时，再考虑对集料加热。水泥只保温，不得加热。各项材料需要加热的温度应根据附录J冬期施工热工计算公式计算确定，但不得超过表14.2.2的规定。

4冬期搅拌混凝土时，骨料不得带有冰雪和冻结团块。严格控制混凝土的配合比和坍落度；投料前，应先用热水或蒸汽冲洗搅拌机，投料顺序为骨料、水，搅拌，再加水泥搅拌，时间应较常温时延长50%。混凝土拌和物的出机温度不宜低于10℃，入模温度不得低于5℃。

表14.2.2 拌和水及骨料最高温度（℃）

项 目	拌和水	骨料
强度等级小于52.5的普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥	80	60
强度等级等于及大于52.5的普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥	60	40

注：当骨料不加热时，水可加热到100℃，但水泥不应与80℃以上的水直接接触。投料顺序为先投骨料和已加热的水，然后再投入水泥。

14.2.3 混凝土运输和浇筑的技术要求

1混凝土的运输时间应尽可能缩短，运输混凝土的容器应有保温措施。

2混凝土在浇筑前应清除模板、钢筋上的冰雪和污垢，成型开始养护时的温度，用蓄热法养护时不得低于10℃；用蒸汽法养护时不得低于5℃，细薄结构不得低于8℃。

3冬期施工接缝混凝土时，在新混凝土浇筑前应加热使接合面有5℃以上的温度，浇筑完成后，应采取措施使混凝土接合面继续保持正温，直至新浇筑混凝土获得规定的抗冻强度。

4浇筑预应力混凝土构件的湿接缝时，宜采用热混凝土或热水泥砂浆，并应适当降低水灰比。浇筑完成后应加热或连续保温养护，直至接缝混凝土或水泥砂浆抗压强度达到设计强度的75%。

5预应力混凝土的孔道压浆应在正温下进行，具体要求按第12章的规定执行。

14.2.4混凝土养护的技术要求

1混凝土的养护方法，应根据技术经济比较和附录J的热工计算确定。当气温较低、结构表面系数较大，蓄热法不能适应强度增长速度的要求时，可根据具体情况，选用蒸汽加热、暖棚加热或电加热等方法。

2用蓄热法养护混凝土时，应符合下列规定：

1) 蓄热方法应根据环境条件，经过计算在能确保结构物不受冻害的条件下采用。

2) 应采取加速混凝土硬化和降低混凝土冻结温度的措施。

3) 混凝土应采用较小的水灰比。

4) 对容易冷却的部位，应特别加强保温。

5) 不应往混凝土和覆盖物上洒水。

3用蒸汽加热法养护混凝土时，除应按第11章有关规定执行外，混凝土的升、降温速度不得超过表14.2.4-1的规定。

表14.2.4-1 加热养护混凝土的升、降温速度（℃ / h）

表面系数（m ⁻¹ ）	升温速度	降温速度
≥6	15	10
<6	10	5

注：①大体积混凝土应根据实际情况确定；

②表面系数系指结构冷却面积（m²）与结构体积（m³）的比值，当采用普通硅酸盐水泥时，养护温度不宜超过80℃；当采用矿渣硅酸盐水泥时，养护温度可提高到85~95℃。

4用电热法养护混凝土时，一般采用电极法和电热器加热法。

1) 电极法养生 电极的布置，应保证混凝土温度均匀，加热时间为混凝土强度达到设计强度的50%，并应符合下列规定：

(1) 加热时，混凝土的外露面应加以覆盖。

(2) 须用交流电，对于钢筋混凝土结构，一般应将电压降至50~110V的范围内。

注：①对于无筋结构和钢筋用量不大于50kg / m³的配筋结构，可采用电压为120~220V的电流加热；

②当电压为380V时，必须将一个电极接通零线，使混凝土内的工作电压不超过220V，当电压超过380V时，不得直接用于电热法。

- (3) 升降温速度同蒸汽加热法。
- (4) 混凝土的最高温度不得超过表14.2.4-2的规定。

表14.2.4-2 电热法养护混凝土的温度（℃）

水泥强度等级	结构表面系数（m ⁻¹ ）		
	<10	10~15	>15
42.5	40		35

(5) 在加热过程中，应观察混凝土表面的湿度，出现干燥现象时应停电，并用温水润湿表面。

(6) 掺用减水剂时，应预先用试件检查电热对混凝土强度的影响，证明无损失时，方可掺用。

2) 混凝土电热器加热法养生，是利用工厂生产的电热器片通电加热养生。混凝土的覆盖要求同蒸汽养生，电热片的用量及布置应根据环境温度、覆盖情况及养生时间长短通过试验确定。混凝土使用电热器加热养护应注意如下事项：

(1) 在养生混凝土上设置洒水装置。

(2) 升、降温速度及养护要求同蒸汽养护。

(3) 应设置控制温度的自动装置，及用电安全保险装置，若控温装置为手工操作，应设专人值班测温，随时调节养护温度。

5用暖棚法加热养护混凝土时，应符合下列规定：

1) 暖棚应坚固、不透风，靠内墙宜采用非易燃性材料。

2) 在暖棚中用明火加热时，须特别加强防火、防煤气中毒措施；

3) 暖棚内气温不得低于5℃。

4) 暖棚内宜保持一定的湿度，湿度不足时，应向混凝土面及模板上洒水。

6模板的拆除应符合下列规定：

1) 根据与结构同条件养护试件的试验，证明混凝土已达到要求的抗冻强度及拆模强度后，模板方可拆除。

2) 加热养护结构的模板和保温层，在混凝土冷却至5℃以后方可拆除。当混凝土与外界气温相差大于20℃时，拆除模板后的混凝土表面应加以覆盖，使其缓慢冷却。

7掺用防冻剂的混凝土养护应符合下列规定：

1) 在负温条件下严禁浇水，外露表面必须覆盖养护。

2) 养护温度不得低于防冻剂规定的温度，当达不到规定温度，且混凝土强度小于3.5MPa时应采取加热保温措施。

3) 当拆模后混凝土的表面温度与环境温度差大于15℃时，混凝土表面应覆盖保温养护。

14.2.5 灌注桩冬期施工

灌注桩混凝土的冬期施工，主要是保证混凝土在灌注时不冻结，能顺利灌注，一般情况不需要养护，只有在桩头露出水面及地面或虽未露出水面、地面，但在冰冻范围之内时，才进行桩头混凝土的覆盖保温养护，覆盖的厚度应当考虑到钢筋导热的影响。灌注桩混凝土冬期施工的要求如下：

1灌注桩混凝土的配制和搅拌同14.2.2条第3款，灌注时对拌和物的温度要求不低于5℃。

2混凝土的运输要求同14.2.3条第1款。

3混凝土不准掺防冻剂、抗冻剂。

4混凝土灌注的其他要求参见本规范第6章的规定。

14.3 砌体冬期施工

14.3.1 材料

1砌块应干净，无冰霜附着；砂中不得含有冰块或冻结团块。遇水浸泡后受冻的砌块不能使用。

2冬期施工的砌筑砂浆必须保持正温，砂浆与石材表面的温度差不宜超过20℃。石灰膏不宜受冻，如有冻结，应经融化并重新拌和后方可使用，但因受冻而脱水者不得使用。

3冬期砌筑砌体，只准使用水泥砂浆或水泥石灰砂浆，不准使用无水泥配制的砂浆，砂浆宜采用普通硅酸盐水泥拌制。砂浆应随拌随用，搅拌时间应比常温时增加0.5~1倍，砌石砂浆的稠度要求40~60mm。

4小石子混凝土的配制和使用，应符合本章第14.2节的有关规定。

14.3.2 保温法砌筑

1砌体在暖棚中砌筑时，应符合下列规定：

1) 砌块的温度应在5℃以上。

2) 砂子和水加温后拌制的砂浆，其温度不得低于15℃，加温计算方法同混凝土。

3) 室内地面处的温度不得低于5℃。

4) 砂浆的保温时间应以达到其抗冻强度的时间为准。

5) 养护时应洒水，保持砌体湿润。

2冬期施工前后气温突然降低时，正在施工的砌体工程应采取下列措施：

1) 拌和砂浆的材料加热，水温不得超过80℃，砂子不得超过40℃，使砂浆温度不低于20℃。

2) 拌制砂浆的速度与砌筑进度密切配合，随拌随用。

3) 砌完部分用保温材料覆盖，气温低于5℃时，不能洒水养护。

3为加速砂浆硬化，缩短保温时间，可在水泥砂浆中掺加氯化钙等早强剂，其掺量通过试验确定。气温低于5℃时，不能洒水养护。

14.3.3 抗冻砂浆砌筑

氯化钠或氯化钙掺量超过早强剂量的水泥砂浆或水泥混合砂浆，称为抗冻砂浆。

1抗冻砂浆在严寒地区宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其他地区可采用矿渣水泥、火山灰水泥或粉煤灰水泥。抗冻砂浆应尽量用细度模数较大的砂。

2抗冻砂浆使用时的温度不得低于5℃。当一天中最低气温低于-15℃时，承重砌体的砂浆强度宜按常温时提高一级。

3用抗冻砂浆砌筑的砌体，应在砌筑后加以覆盖，但不得浇水。

4抗冻砂浆的抗冻剂掺量可通过试验确定。

5桥梁支座垫石不宜采用抗冻砂浆。

14.4 质量检查

14.4.1冬期施工时，混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土工程的质量除按本规范第11章、第12章有关规定进行检查外，尚应检查混凝土在浇筑及养护期间的

环境温度。冬期施工还应进行下列检查：

1混凝土用水和骨料的加热温度。

2混凝土的加热养护方法和时间等。检查结果应分别记入混凝土工程施工记录 and 温度检查记录。

3骨料和拌和水装入搅拌机时的温度、混凝土自搅拌机倾出时的温度及浇筑时的温度，每一工作班应至少检查3次。

4混凝土在养护期间温度的检查，不应少于下列次数：

1) 用蓄热法养护时，每昼夜定时4次。

2) 用蒸汽加热法及电加热法养护时，升温及降温期间每小时1次，恒温期间每两小时1次。

3) 室内外环境温度，每昼夜定时定点4次。

5检查混凝土温度时，应符合下列规定：

1) 测温孔应绘制布置图并编号。

2) 温度计应与外界气温隔绝，并应在测温孔内留置不少于3min。

3) 测温孔的位置，当采用蓄热法养护时，应设置在易冷却部位；当采用加热法养护时，应在离热源不同位置分别设置。厚大结构应在表层及内部分别设置。

6混凝土冬期施工时，除留标准养护试件外，并应制取相同数量与结构同条件养护的试件。对于用蒸汽加热法养护的混凝土结构，除制取标准养护试件外，应同时制取与混凝土结构同条件蒸养后再在标准条件下养护到28d的试件，以检查经过蒸养后混凝土28d的强度。冬期施工混凝土质量的评定方法与常温施工混凝土相同。

14.4.2 砌体

1砌体冬期施工时，应注意进行下列检查并记入施工记录：

1) 室外气温、暖棚气温及砂浆温度，每昼夜定时检查不少于3次。

2) 抗冻剂的掺量，每一工作班检查不少于1次。

2 砌体冬期施工时，砂浆强度应以在标准条件下养护 28d 的试件试验结果为准。试件制取组数不应少于常温下施工的试件组数。每一单元砌体（如墩台、拱圈、涵洞）应同时制取与砌体同条件养护的试件，以检查砂浆强度实际增长情况。砂浆强度的评定方法与常温施工的砂浆相同。

15 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥

15.1 一般规定

15.1.1 本章适用于连续梁桥、刚构—连续梁桥、简支梁桥及墩台基础的预制、浇筑及安装。

15.1.2 模板的设计与安拆参照本规范第9章的有关规定执行。

15.1.3 用以施工的所有临时性承重结构均应进行设计计算，确保施工过程有足够的强度、刚度和稳定性，且变形值应在允许范围内。

15.1.4 材料要求

1木材应符合本规范第9章的规定。

2钢材（预应力筋、普通钢筋、钢板）的力学要求及加工应符合第10章、第12章的规定。

3混凝土材料（水泥、砂子、碎（卵）石、混合材料、外加剂）应符合第11

章、第12章的规定。

15.1.5混凝土配合比设计、拌和、运输、浇筑、养生除满足本章的规定外还应符合第11章、第12章的规定。

15.1.6大桥、特大桥或重要结构在施工阶段，对结构物的应力、变形值应有针对性的施工监测控制，以保证结构物的强度和稳定。

15.1.7临时承重结构的地基及基础的设计及施工计划应及时书面报监理工程师审查，签认批准后方可施工。

15.2 在支架上浇筑梁式桥

15.2.1在移动模架上浇筑预应力混凝土连续梁

1支架长度必须满足施工要求。

2支架应利用专用设备组拼，在施工时能确保质量和安全。

3浇筑分段工作缝，必须设在弯矩零点附近。

4箱梁外、内模板在滑动就位时，模板平面尺寸、高程、预拱度的误差必须在容许范围内。

5混凝土内预应力筋管道、钢筋、预埋件设置应符合本规范第10章、第11章、第12章的规定。

15.2.2在支架上浇筑梁式桥

在支架上现浇混凝土梁的技术要求和注意事项：

1支架应稳定，强度、刚度的要求应符合本规范第9.2.3条及9.2.4条的规定。

2支架的弹性、非弹性变形及基础的允许下沉量应满足施工后梁体设计标高的要求。

3整体浇筑时应采取措施，防止梁体不均匀下沉产生裂缝，若地基下沉可能造成梁体混凝土产生裂缝时，应分段浇筑。

15.3 悬臂浇筑

15.3.1挂篮、模板、钢筋及预应力筋

1挂篮的设计要求：挂篮质量与梁段混凝土的质量比值宜控制在0.3~0.5之间，特殊情况下也不应超过0.7。

主要设计参数：

挂篮总重控制在设计限重之内；

允许最大变形（包括吊带变形的总和）：20mm；

施工时、行走时的抗倾覆安全系数：2；

自锚固系统的安全系数：2；

斜拉水平限位系统安全系数：2；

上水平限位安全系数：2。

2挂篮加工试拼及加载试验：挂篮所使用的材料必须是可靠的，有疑问时应进行材料力学性质试验。挂篮试拼后，必须进行荷载试验。

3挂篮支承平台除要有足够的强度外，还应有足够的平面尺寸，以满足梁段的现场作业需要。

4现浇梁模板的制作与安装必须正确、牢靠，安装误差应符合本规范第9.6.2条的规定。后吊杆和下限位拉杆孔道应严格按计划尺寸准确预留。

5钢筋制作及安装，除应符合本规范第10章的规定外，还应注意以下几点：

1) 在进行腹板和底板钢筋安装时，应将底板钢筋与腹板钢筋连接牢固，最好采用焊接。

2) 底板上、下两层钢筋网应形成一个整体。

3) 顶板底层横向钢筋最好采用通长筋。

4) 钢筋与管道相碰时，只能移动不得切断钢筋。

5) 若挂篮下限位器、下锚带、斜拉杆等部位影响下一步操作必须切断钢筋时，应待该工序完工后，将割断的钢筋联好再补孔。

6梁段的预应力筋、管道、钢筋、预埋件的加工及安装应符合本规范第10章、第12章的规定。

15.3.2混凝土悬臂浇筑

1桥墩顶梁段及桥墩顶附近梁段的施工，按15.3.6条第2款的规定执行。

2在梁段混凝土浇筑前，应对挂篮（托架或膺架）、模板、预应力筋管道、钢筋、预埋件、混凝土材料、配合比、机械设备、混凝土接缝处理情况进行全面检查，经签认后方准浇筑。

3连续梁悬臂浇筑施工时，要有保证梁体施工稳定的措施。

4桥墩两侧梁段悬臂施工进度应对称、平衡，实际不平衡偏差不得超过设计要求值。

5悬臂浇筑段前端底板和桥面的标高，应根据挂篮前端的垂直变形及预拱度设置，施工过程中要对实际高程进行监测，如与设计值有较大出入时，应会同有关部门查明原因进行调整。

6箱形截面混凝土浇筑顺序应按设计要求办理，当采用两次浇筑时，各梁段的施工应错开。箱体分层浇筑时，底板可一次浇筑完成，腹板可分层浇筑，分层间隔时间宜控制在混凝土初凝前且使层与层覆盖住。

7梁段混凝土达到要求的强度后，方可按第12章的有关规定进行预应力筋的张拉、压浆。

8梁段混凝土的拆模时间，应根据混凝土强度及施工安排确定。混凝土应尽量采用早强措施，使混凝土的强度及早达到预施应力的强度要求，缩短施工周期，加快施工进度。

9混凝土养护应覆盖洒水，如冬期施工应按第14章冬期施工的规定执行。

15.3.3穿束、张拉和压浆

1穿束 束的前端必须认真处理。

2预应力张拉

1) 挂篮移动前，顶、腹板纵向束的张拉应按设计要求的张拉顺序张拉，如设计无要求时，应注意上下、左右对称张拉。张拉时注意梁体和锚具的变化。

2) 张拉按本规范第12章的规定及设计要求执行。

3) 横向预应力在采用扁锚张拉时宜测定锚口、管道摩阻损失值。

3压浆按本规范第12章的规定执行。

15.3.4连续梁的合龙、体系转换和支座反力调整

1测量箱梁顶面标高及轴线，连续测试温度影响偏移值，观测合龙段在温度影响下梁体长度的变化。

2合龙顺序：按设计要求办理，设计无要求时，一般先边跨，后次中跨，再中跨。多跨一次合龙时，必须同时均衡对称地合龙。合龙时，一切临时荷载均要与设计单位商量决定。

3连续梁合龙段长度及体系转换应按设计规定，将两悬臂端的合龙口予以临时联结，联结注意事项如下：

1) 复查、调整两悬臂端合龙施工荷载，使其对称相等，如不相等时，应用压重调整。

2) 检查梁内预应力钢束是否张拉完成。

3) 复测、调整中跨、边跨悬臂的挠度及两端的高差。

4) 观测了解合龙前的温度变化与梁端高程及合龙段长度变化的关系。

5) 合龙前应在两端悬臂预加压重，并于浇筑混凝土过程中逐步撤除，使悬臂挠度保持稳定。合龙宜在一天中最低气温时完成。合龙段的混凝土强度等级可提高一级，以尽早张拉。合龙段混凝土浇筑完成后，应加强养护，悬臂端应覆盖，防止日晒。

4体系转换及支座反力调整，按设计程序要求施工。

15.3.5 支座安装

其注意事项参照本规范第20章20.2节的规定执行。

15.3.6 T形刚构及悬臂梁挂孔梁架设安装的其他技术要求

1T形刚构或悬臂梁挂孔的预制挂梁通过悬臂梁段架设时，应验算悬臂梁段的强度及稳定性，并应对悬臂端预埋件及支座位置进行校核。

2墩顶梁段及附近箱梁段施工：墩顶梁段及附近梁段可采用托架或膺架为支架就地浇筑混凝土。托架或膺架要经过设计，计算弹性及非弹性变形。模板、预应力管道、钢筋、预埋件安装、混凝土浇筑应符合设计要求及本规范第9章、第10章、第11章、第12章的规定。

3边跨现浇段：现浇段的浇筑顺序是靠近边墩（台）的先浇，逐段向合龙段靠拢，逐渐调整现浇梁段的标高，使合龙高差在允许误差内。浇筑混凝土前确保支架与梁底之间能相对滑动，使边跨合龙时现浇段能随原浇筑T构自由伸缩，避免混凝土拉应力过大。

4合龙及体系转换：合龙顺序按本节第15.3.4条要求施工。合龙后拆除临时支座，并将支座限位，按本章第15.4.3条体系转换要求进行体系转换。

5T形刚构的转体施工，参见本规范第16章的有关规定。

15.4 悬臂拼装

15.4.1 梁段预制、吊运的规定

1梁段预制应在台座上连续啮合预制。钢筋、混凝土和预应力管道安装应符合本规范第10章、第11章、第12章的规定。

2梁段的存放场地应平整，承载力应满足要求。支垫位置与吊点一致。

3预制梁块的测量

1) 箱梁基准块出坑前必须对所有梁块进行测量，详细记录，并根据其在桥上的设计位置进行校正。

2) 箱梁标高控制点和挠度观测点，在箱梁顶面埋置4~6个。

3) 在预制梁段上标出梁号、中轴线、横轴线。

4节段吊运工作参照本章第15.6.3条的规定。

15.4.2 梁段拼装、接缝处理的技术要求

1 梁段拼装

1) 浇筑墩顶梁块及附近梁块，具体要求参照15.3.6条执行。

2) 采用悬臂拼装法修建预应力连续梁或预应力悬臂梁桥时, 应先将梁、墩临时锚固或在墩顶两侧设立临时支承, 待全部块件安装完毕后, 再撤除临时锚固或支承。

3) 采用悬臂吊机、缆索、浮吊悬拼安装时, 应按施工荷载进行强度、刚度、稳定验算, 使安全系数符合15.3.1条的规定。施工注意事项如下:

(1) 块件起吊安装前, 应对起吊设备进行全面的安全技术检查, 并按设计荷载的60%、100%和130%分别进行起吊试验。

(2) 吊机重应符合设计要求, 应注意吊机的定位和锚固, 经检查符合要求后再进行起吊拼装。

(3) 桥墩两侧块件宜对称起吊, 以保证桥墩两侧平衡受力。

(4) 墩侧相邻的1号块件提升到设计标高初步定位后, 应立即测量、调整1号块件的纵轴线, 使之与梁顶块件纵轴线的延伸线重合, 使其横轴线与梁顶块件的横轴线平行且间距符合设计要求。应检查梁顶块件与1号块件间孔道的接头情况, 调整并制作接缝间孔道接头后, 方可将1号块件牢靠固定, 其他各个块件连接时, 均应按本条规定测量调整其位置。

(5) 应在施工前绘制主梁安装挠度变化曲线, 悬臂拼装过程中应随时观测桥轴线安装挠度曲线的变化情况, 并与设计值进行对比, 遇有较大偏差时应及时处理, 以便控制块件的安装高程。

2 接缝处理

1) 各块件间的接缝施工应按设计规定办理。

2) 采用胶接缝拼装的块件, 涂胶前应就位试拼。粘胶剂一般采用环氧树脂, 使用前应经过试验, 符合设计要求方可使用。

接缝施工注意事项:

(1) 混凝土表面应尽量平整, 疏松表面层及附着的水泥应清除干净, 涂胶前表面应干燥或烘干。

(2) 胶粘剂使用过程中应继续搅拌以保证均匀, 胶缝加压被挤出的胶粘料应及时刮干净。

(3) 涂胶人员应有防护设施。

(4) 安装调整位置、标高应在3h内完成。

(5) 胶接缝采用预施应力(挤压)0.2MPa, 挤压应在3h以内完成。当施工时间超过明露时间的70%时, 在固化之前应清除被挤出的胶结料。

15.4.3 张拉封锚和体系转换

1 块件拼装完毕(检查合格)后张拉预应力束时, 除应按照第12章有关规定办理外尚应注意下列事项:

1) 胶接块件拼装完毕, 经检查合格后, 即可张拉预应力束进行块件挤压, 挤压力应符合本章15.4.2条的规定。

2) 湿接缝块件应待混凝土强度达到设计强度等级的70%以上时, 才能张拉预应力束。

3) 同一截面中各预应力束的张拉顺序及张拉力应按照设计规定分批张拉并做好记录。

4) 块件拼装和预应力钢材张拉时, 应注意温度和气象变化, 当气温在0℃以下、风力在5级以上时, 不宜进行张拉。桥面明槽内已张拉的预应力束应加以保护, 禁止在上面堆放物件和抛掷撞击。

2 每对块件拼装完毕并张拉后, 应立即压浆封锚。当块件的预应力束按设计

要求张拉完毕后，方准许放松吊钩。

3有吊梁的T形刚构桥明槽混凝土，应在吊梁安装完毕后立即浇筑，浇筑程序应由悬臂端开始同时向根部推进。

4体系转换按设计顺序进行。

在转换体系前，应按照设计要求张拉一部分块件底部的预应力束，并在悬臂梁端设置向下的预拱度，防止梁上部已张拉的明槽预应力钢材上漂，以保证转换体系前后拼装、张拉各阶段的安全。

15.5 顶推安装

15.5.1 预制场地

1选择梁段预制场地时，除应按照本章第6节有关规定执行外，还应注意下列事项：

1) 预制场地应设在桥台后面桥轴线的引道或引桥上，当为多联顶推时，为加速施工进度，可在桥两端均设场地，从两端相对顶推。

2) 预制场地长度应考虑梁段悬出时反压段的长度、梁段底板与腹（顶）板预制长度、导梁拼装长度和机具设备材料进入预制作业线的长度；预制场地的宽度应考虑梁段两侧施工作业的需要。

3) 预制场地上空宜搭设固定或活动的作业棚，其长度宜大于2倍预制梁段长度，使梁段作业不受天气影响，并便于混凝土养护。

4) 在桥端路基上或引桥上设置预制台座时，其地基或引桥的强度、刚度和稳定性应符合设计要求，并应做好台座地基的防水、排水设施，以防沉陷。在荷载作用下，台座顶面变形不应大于2mm。

2台座的轴线应与桥梁轴线的延长线重合，台座的纵坡应与桥梁的纵坡一致。台座施工的允许偏差如下：

轴线偏差：5mm；

相邻两支承点上台座中滑移装置的纵向顶面标高差：2mm；

同一个支承点上滑移装置的横向顶面标高差：1mm；

台座（包括滑移装置）和梁段底模板顶面标高差：2mm。

15.5.2 梁段预制及养护

1模板宜采用钢模板，底模与底架联成一体并可升降，侧模宜采用旋转式的整体模板，内模板采用在可移动的台车上加上安装的升降旋转整体模板。模板应保证刚度，制作精度应符合本规范第9章的规定。

2钢筋工作除应符合本规范第10章的规定外，还应做好接缝处纵向钢筋的搭接。预应力管道安装应符合第12章的要求。

3 梁段混凝土浇筑

梁段模板、钢筋、预应力管道、滑道、预埋件等应经检查签认后方可浇筑混凝土。混凝土的材料要求、配合比设计、搅拌、运输、浇筑等的具体要求，可参照本规范第11章的规定执行。在必要时可使用早强水泥或掺入早强减水剂，以提高早期强度，缩短顶推周期。梁段工作缝的接触面应凿毛，并洗刷干净，或采用其他可加强混凝土接触的措施。若工作缝为多联连续梁的解联断面，干接缝依靠张拉临时预应力束来实现，断面尺寸应准确，表面平整，解联时分开方便。

混凝土可采用全断面整段浇筑或采用两次浇筑，分两次浇筑时，第一次浇筑箱梁底板及腹板根部，第二次浇筑其他部分。支座位置处的隔板，在整个梁顶推

到位并完成解联后，进行浇筑，振捣时应避免振动器碰撞预应力筋管道、预埋件等。

第一梁段前端设置导梁端的混凝土浇筑，应注意振捣密实，导梁的中心线与水平位置应准确平整。

15.5.3 梁段施加预应力

1梁段预应力束的布置、张拉次序、临时束的拆除次序等，应严格按照设计规定执行。其施工的技术要求应按照本规范第12章有关规定办理。

2在桥梁顶推就位后需要拆除的临时预应力束，张拉后不应灌浆，锚具外露多余预应力钢材不必切除。

3梁段间需连接的永久预应力束，应在两梁段间留出适当空间，用预应力束连接器连接，张拉后用混凝土填塞。

15.5.4 导梁和临时墩

1梁段前端设置导梁时，导梁全部节间拼装应平整，预埋在梁段前端的预埋件联结强度、刚度必须满足梁顶推时的安全要求。

2采用钢桁架导梁时，应注意导梁与梁段刚度的协调，不得采用刚度过小的导梁，并应减小每个节点的非弹性变形，使梁端挠度不大于设计要求。

导梁拼装允许误差：

导梁中线：5mm；

导梁纵、横向底面高程：±5mm。

3桥跨中间设置有临时墩时，其施工技术要求应按照设计规定和本规范有关章节的规定执行。各联主梁顶推作业完成并落位到正式支座上以后，应将临时墩拆除。

15.5.5 梁段顶推

1顶推施工前，应根据主梁长度、设计顶推跨度、桥墩能承受的水平推力、顶推设备和滑动装置等条件，选择适宜的顶推方式。

2梁段中各种预应力钢材按顶推设计张拉完成后，在顶推前应对顶推设备如千斤顶、高压油泵、控制装置及梁段中线、各滑道顶的标高等检验合格，并做好顶推的各项准备工作后，方可开始顶推。

3采用单点或多点水平——竖直千斤顶方式顶推时，应符合下列规定：

1) 水平千斤顶的实际总顶推力不应小于计算顶推力的2倍。

2) 墩、台顶上水平千斤顶的台背必须坚固，应（经过计算）能抵抗顶推时的总反力；在顶推过程中各桥墩的纵向位移值不超过设计规定。

3) 主梁在各墩（包括临时墩）支承处，均应按本章第15.5.6条的要求设立滑动装置。

4) 单点或多点的水平千斤顶顶推时，左右两条顶推线应横向同步运行；多点顶推时，各墩台的水平千斤顶均应沿纵向同步运行，保证主梁纵向轴线在设计容许偏差范围内。

5) 主梁被顶推前进时，如梁的中线偏离较大，应按本章15.5.6条要求的导向装置纠偏。

6) 水平千斤顶顶推了一个行程，用竖向千斤顶将梁顶高，以便拉回滑块时，其最大顶升高度不得超过设计规定。如设计无规定时，不得超过5~10mm。

7) 采用单点水平——竖直千斤顶顶推方式顶推，在开始时，如因导梁轻，设置顶推装置处的反力不大，滑块与梁底打滑，不能使梁被顶推前进时，应采取措施（如用卷扬机拉拽）使梁前进一定距离，顶推装置的墩、台反力具有一定数值

后,再用水平一竖直千斤顶的顶推装置,或将顶推装置移到主梁与导梁连接段中间反力最大的临时墩上,并加强该墩抗水平推力的能力。

4采用单点或多点拉杆方式顶推时,除应按照本条第3款办理外,还应遵照下列规定:

1) 设拉杆千斤顶的墩顶应设置反力台,反力台应牢固,满足顶推时反力的要求。

2) 主梁底部或侧面应按一定距离设置拉锚器,拉锚器的锚固、放松应方便、快速。

3) 拉杆的截面积和根数应满足顶推力的要求。

5顶推过程中还应注意下列事项:

1) 顶推时,如导梁杆件有变形、螺丝松动、导梁与主梁联结处有变形或混凝土开裂等情况时,应停止顶推,进行处理。

2) 梁段中未压浆的各预应力钢材的锚具如有松动,应停止顶推,并将松动的锚具重新张拉、锚固。

3) 采用拉杆方式顶推时,如拉杆有变形、锚碇联结螺丝有松动等情况,应及时处理。

4) 顶推时至少应在两个墩上设置保险千斤顶,如遇到滑移故障用千斤顶处理时,起顶的反力值不得大于计算反力的1.1倍,起顶高度不得大于5~10mm。

15.5.6 顶推装置

1滑动装置

1) 水平一竖向千斤顶顶推方式的滑动装置,一般由摩擦垫、滑块(支承块)、滑板和滑道组成。

摩擦垫用氯丁橡胶与钢板夹层制成后,粘附在滑块顶面,其尺寸大小应根据墩顶反力和橡胶板容许承载力计算决定。

滑块可用铸钢或高强度混凝土块制成,其高度不宜小于正式支座的高度,其尺寸不宜小于摩擦垫和滑板的尺寸;滑板有多种构造,一般宜用硬木板、钢板夹橡胶板等粘聚四氟乙烯板(四氟板)组成。四氟板面积由最大反力计算决定,对无侧限的容许应力可按5MPa计算,对有侧限的可按15MPa计算。

滑道一般可用不锈钢或镀铬钢带包卷在铸钢底层上,铸钢底层应用螺栓固定在支座垫石上。滑道顺桥向长度应大于水平千斤顶行程加滑块顺桥向长度;其宽度应为滑板宽度的1.2~1.5倍。相邻墩(包括主墩与临时墩)滑道顶面标高的允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$;同墩两滑道标高的允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

2) 拉杆顶推方式的滑动装置由滑板与滑道组成。其构造、技术要求及滑道的宽度应按照本章的规定办理,但滑道长度应大于3块滑板的长度。

3) 滑动装置的摩擦系数宜由滑板和滑道的材料进行试验确定。一般在选用水平千斤顶顶力时,对四氟滑板与不锈钢或镀铬钢滑道面,启动摩擦系数(静摩擦系数)可按0.07~0.08,动摩擦系数可按0.04~0.05考虑。

4) 当主梁底部与滑板接触时,随着梁段的顶推前进,滑道上的滑板从前面滑出后,应立即自后面插入补充,补充的滑块应涂以润滑剂,并端正插入。在任何情况下,每条顶推线各墩顶滑道上的滑板不得少于2块。滑板的磨损较大,应按顶推梁的长短和滑板损耗率准备足够的滑板,滑板磨损过多时应及时更换。

2 导向装置

梁段顶推时,为纠正梁体偏移,应按具体情况采取下列导向装置:

1) 楔形导向滑板:其构造与滑板基本相同,但导向板系楔形,横向设在梁

段两侧的反力架间，梁段通过时，利用楔形板的横向分力来纠偏。

2) 千斤顶：适用于梁体偏移较大时，横向装置于桥墩两侧的钢支架上，当需要纠偏时开动一侧的千斤顶使梁横移。

3) 导向装置应具有足够的承载力，防止纠偏时损坏。

3 多联连接顶推

多孔多联预应力连续梁桥顶推时，可根据顶推方式采取分联顶推或将各联间伸缩缝临时连接，顶推完毕后将临时连接设施拆除。临时连接方法应按设计规定办理。

15.5.7 平面曲线与竖曲线顶推

1) 用顶推法安装的平曲线桥只适用于同半径的圆曲线桥，而且其曲线半径不能太小，即每孔曲线桥的平面重心应落在相邻两座桥墩上箱梁底板的内外两侧弦连接线以内。当桥梁大部分为直线，而桥梁前端为曲线时，可采取特殊措施用千斤顶安装。

顶推安装平曲线桥应注意如下事项：

1) 宜采用多点拉杆方式顶推，亦可采用水平—竖直千斤顶方式顶推。

2) 预制台座的平面及梁身均应按设计制成圆弧形。

3) 导梁宜制成直线，但与主梁连接处应偏转一角度，使两片导梁前端的中心落在曲线梁圆弧的中线上。

4) 平曲线的顶推应采取纵向与横向顶推结合的工艺，即在纵向水平千斤顶向前顶推的同时，还启动各墩曲线外侧的横向千斤顶，使梁体沿圆弧曲线前进。

2) 用顶推法安装的竖曲线桥只适用于同曲率的竖曲线桥。桥上设的竖曲线多为凸曲线，顶推时宜对向顶推，在竖曲线顶点处合龙。当桥梁不长、跨数不多时，亦可自一端顶推全桥。

顶推工艺基本上与顶推平桥相同。顶推竖曲线桥应注意如下事项：

1) 各桥墩墩顶标高应与设计竖曲线符合。

2) 预制台座的底模板标高应符合设计竖曲线的曲率。

3) 所需水平顶推力的大小，应考虑纵坡正负的影响。

15.5.8 落梁

1) 全梁顶推到设计位置、将梁落到正式支座上时，应按照下列规定办理：

1) 按照设计文件规定的张拉顺序，对补充的预应力钢材进行张拉、锚固、压浆。将供顶推用的临时预应力钢材按设计规定顺序拆除。

2) 落梁前应拆除墩、台上的滑动装置。拆除时，各支点宜均匀顶起，其顶力应按设计支点反力大小进行控制。相邻墩各顶点的高差不得大于5mm；同墩两侧梁底顶起高差不得大于1mm。落梁反力允许偏差为±10%设计反力。

3) 落梁时，应根据设计规定的顺序和每次下落量进行，同一墩、台的千斤顶应同步运行。

2) 支座的安装应符合本规范15.3.5条规定的要求。

15.6 装配式桥施工

15.6.1 一般规定

1) 本节适用于装配式混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土梁板桥（以下简称装配式桥）构件的预制、移运、堆放和安装施工。

2) 装配式桥构件在脱底模、移运、堆放、吊装时，混凝土的强度不应低于设

计所要求的吊装强度，一般不得低于设计强度的75%。对孔道已压浆的预应力混凝土构件，其孔道水泥浆的强度不应低于设计要求，如设计无规定时，一般不低于30MPa。

3安装构件时，支承结构（墩台、盖梁）的强度应符合设计要求。支承结构和预埋件（包括预留锚栓孔、锚栓、支座钢板等）的尺寸、标高及平面位置应符合设计要求。

4构件安装前必须检查其外形和构件的预埋件尺寸和位置，其允许偏差不得超过设计规定，如设计无规定时，不得超过本章的有关规定。

5构件安装就位完毕并经过检查校正符合要求后，才允许焊接或浇筑混凝土，以固定构件。

6分层、分段安装的构件继续安装时，必须在先安装的构件固定和受力较大的接头混凝土达到设计要求的强度后，方可进行。如设计无规定时，应达到设计强度的75%后方可进行。

7分段拼装梁的接头混凝土或砂浆，其强度不应低于构件的设计强度。不承受内力的构件的接缝砂浆，其强度不应低于M10。

8需与其他混凝土或砌体结合的预制构件的砌筑面应按施工缝处理。

9构件吊运安装时，必须遵守有关安全操作技术规程。

10吊运工具、设备的使用技术要求，应参照起重吊装的有关规定执行。25m以上的预应力简支梁应验算裸梁的稳定性。

15.6.2 装配式构件预制规定

1 一般要求

1) 预制场地应平整、坚实，应根据地基及气候条件，采取必要的排水措施，防止场地沉陷。

2) 后张法预应力混凝土简支梁的预制台座应坚固、无沉陷，台座各墩间距应适宜，以保证底模挠度不大于2mm。台座表面应光滑平整，在2m长度上平整度的允许偏差为2mm，气温变化大时应设伸缩缝。

3) 预制模板除应符合本规范第9章的有关规定外，底模板应根据桥梁跨度设置预拱度。装配式桥中的预应力混凝土梁、板预制构件在预制施工前，应根据设计单位提供的理论拱度值，结合施工的实际情况，正确预计梁体拱度的变化情况，采取相应措施。当后张法全预应力混凝土梁预计的拱度值较大时，可考虑在预制台座上设置反拱。当梁体的实际拱度已较大，将对桥面混凝土的施工造成影响时，应书面报告监理工程师，会同设计单位协商解决。

4) 钢筋、混凝土及预应力筋的施工应符合本规范第10章、第11章、第12章的有关规定。

5) 采用平卧重叠法支立模板、浇筑构件混凝土时，下层构件顶面应设临时隔离层；上层构件须待下层构件混凝土强度达到5.0MPa后方可浇筑。

2各种构件混凝土的浇筑除应符合本规范第11章的规定外，还应遵守如下规定：

1) 梁、板应按一定厚度、顺序和方向分层浇筑。

2) 腹板底部为扩大断面的T形梁，应先浇筑扩大部分并振实后，再浇筑其上部腹板。

3) U形梁可上下一次浇筑或分两次浇筑。一次浇筑时，应先浇筑底板（同时腹板部位浇筑至底板承托顶面），待底板混凝土稍沉实后再浇筑腹板；分两次浇筑时，先浇筑底板至底板承托顶面，按施工缝处理后，再浇筑腹板混凝土。

4) 小型构件宜在振动台上振动浇筑。混凝土砌块、小型盖板、路缘石等小型构件, 可在移动式底模或平整的地面上浇筑。

15.6.3 构件移运及堆放的规定

1 构件的移运

1) 构件移运时混凝土强度应符合15.6.1条第2款的规定。

2) 构件移运时的吊点位置应按设计规定。如设计无规定时, 梁、板构件的吊点应根据计算决定。

构件的吊环应顺直。吊绳与起吊构件的交角小于 60° 时, 应设置吊架或扁担, 尽可能使吊环垂直受力。

3) 梁、板、构件移运和堆放的支承位置应与吊点位置一致, 并应支承牢固, 避免损伤构件。在顶起各种构件时应随时置好保险垛。

4) 吊移板式构件时, 不得吊错上、下面, 以免折断。构件运输时, 应有特制的固定架以稳定构件。小构件宜顺宽度方向侧立放置, 并注意防止倾倒, 如平放, 两端吊点处必须设置支搁方木。

5) 梁的运输应顺高度方向竖立放置, 并有防止倾倒的固定措施。装卸梁时, 必须等支撑稳妥后, 才许卸除吊钩。

6) 使用平板拖车或超长拖车运输大型构件时, 车长应能满足支承间的距离要求, 支点处应设活动转盘以免搓伤构件混凝土。运输道路应平整, 如有坑洼而高低不平时, 应事先修理平整。

2 构件的堆放

成垛堆放装配式构件时, 应注意下列事项:

1) 堆放构件的场地应整平夯实。

2) 构件应按吊运及安装次序顺序堆放, 宜尽量缩短预应力混凝土梁或板的堆放时间。

3) 构件堆垛时, 应放置在垫木上, 吊环向上, 标志向外。混凝土养护期未满的, 应继续洒水养护。

4) 水平分层堆放构件时, 其堆垛高度应按构件强度、地面承载力、垫木强度以及堆垛的稳定性而定。承重大构件一般以2层为宜, 不应超过3层; 小型构件一般不宜多于6-10层, 层与层之间应以垫木隔开, 各层垫木的位置应在吊点处, 上下层垫木必须在一条竖直线上。

5) 雨季和春季融冻期间, 必须注意防止因地面软化下沉而造成构件断裂及损坏。

15.6.4 装配式墩台及基础安装

1 砌块式墩台安装技术要求

1) 砌块在使用前必须浇水湿润, 表面如有泥土、水锈, 应清洗干净。

2) 基底应加清理, 非砾类土地基应加铺薄层砂砾夯平, 预制块安装前必须坐浆, 基础预制块安装时, 应水平放落, 如放落不平, 位置不对, 应吊起重放, 不得用撬棍拨移, 以免造成基底凹陷。

3) 各砌层的砌块应安放稳固, 砌块间应砂浆饱满, 粘结牢固, 不得直接贴靠或脱空。

4) 安装高度每升高1m左右时应抹平, 并测量纵横向轴线, 以控制砂浆缝厚度、标高及平面位置。

5) 砌筑上层砌块时, 应避免振动下层砌块; 砌筑工作中断后恢复砌筑时, 已砌筑的砌层表面应加以清扫和湿润。

6) 桥墩破冰体镶面的砌筑按本规范第13.3.4条的规定执行。

7) 砂浆的技术要求请参照本规范第13.2.3条的规定执行。

2柱式墩台安装技术要求

1) 墩、台柱式构件与基础顶面的预留槽洞应编号, 并检查各个墩、台高度和基底标高是否符合要求, 否则应进行调整。基座槽洞四周与柱边的空隙不得小于20mm。

2) 墩、台柱吊入基座洞就位时, 柱身竖直度或倾斜度以及平面位置符合设计要求后, 再将楔子塞入槽洞打紧。对重大、细长的墩柱, 尚需用风缆或撑木固定, 方可摘除吊钩。

3) 在墩、台柱顶安装盖梁前, 应先检查梁口预留槽眼位置是否符合要求, 否则应先修凿。

4) 柱身与盖梁安装完毕并检查符合要求后, 可在基底座槽洞空隙与盖梁槽眼处灌注稀砂浆, 待其硬化后, 拆除楔子、支撑及风缆, 再在楔子孔中灌填砂浆。

3环管式墩台安装技术要求

1) 在基础或承台上安装预制混凝土管节、环圈做墩、台时, 由混凝土基础或承台中伸出钢筋应插入管节、环圈中间的现浇混凝土内, 插入钢筋的数量和锚固长度应按设计规定或通过计算决定。

2) 管节或环圈安装时, 应严格控制轴线的设计位置, 不得出现倾斜或上下错位现象。

3) 应用砂浆将管节或环圈处的接缝填塞抹平。

4) 管节或环圈内的钢筋绑扎和混凝土浇筑, 应按本规范第10章、第11章的规定执行。

4整体式基础安装技术要求

1) 安装前应检查支承结构的尺寸、标高、平面位置和承载能力, 均应符合设计要求。

2) 构件的混凝土强度达到设计要求, 设计无要求时应符合本章15.6.1条的规定。

3) 基础安装的岩面或混凝土的表面应平整, 安装时冲刷干净, 坐浆时要把水泥浆抹平, 厚薄均匀。

4) 安装就位后应采取保证构件稳定的措施, 平面位置、高程、垂直度经检查校正符合设计要求后方准焊接或浇筑接头混凝土。

5) 吊装大薄壁构件, 应采取避免构件变形或损坏的临时加固措施。

6) 构件固定后方可摘去吊钩。

7) 分层安装时接头或接缝的混凝土强度未达到设计要求时, 不得吊装上一层构件。

8) 接头或接缝混凝土或砂浆宜采取快凝措施, 强度等级宜比构件混凝土强度等级提高一级。

9) 已安装完毕的整体基础接头或接缝混凝土强度达到设计要求后, 方可承受施工荷载。

15.6.5简支梁、板的安装

1一般要求

1) 除应验算构件在起吊过程中所产生的应力是否符合要求外, 应按15.6.1条及15.6.4条的有关规定执行。

2) 支座的安装应参照本规范第20章20.2节的规定执行。

2安装施工

1) 简支梁和板可根据现场情况、梁和板的重力及所用设备制定安装方案,各受力部分的设备、杆件应经过验算。

2) 斜桥、弯桥安装时,应按照设计要求办理,如设计无规定时,可按本章规定办理。

3梁、板就位

每根大梁就位后,应及时设置保险垛或支撑,将梁固定并用钢板与先安装好的大梁预埋横向连结钢板焊接,防止倾倒,待全孔大梁安装完毕后,再按设计规定使全孔大梁整体化。梁、板就位后按设计要求及时浇筑接缝混凝土。

15.7 施工观测及控制

15.7.1在支架上浇筑梁式桥的观测内容

施工时应应对支架的变形、位移、节点和卸架设备的压缩和支架基础的沉陷等进行观测,如发现超过允许值的变形、变位,应及时采取措施予以调整。

15.7.2悬臂浇筑混凝土过程中对桥梁的中轴线、高程进行测量观测,误差应在允许范围内。

高程: $\pm 10\text{mm}$;

中轴线偏差: 5mm 。

15.7.3悬拼测量及挠度观测。控制每节箱梁施工中的中轴线及标高,监测施工过程中各块箱梁的挠度变化情况,并不断进行调整。

基准梁块四角高差的允许误差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

悬拼允许误差:

湿接缝第一块箱梁中线允许误差: 2mm ;

湿接缝第一块箱梁顶面标高允许误差: $\pm 2\text{mm}$;

悬臂合龙时箱梁中线允许误差: 30mm ;

悬臂合龙时箱梁相对标高允许误差: $\pm 30\text{mm}$ 。

15.7.4应力跟踪测量:对梁体主要断面应力观测值与理论值比较,研究体系转换过程中的应力变化,分析其他因素对箱梁的影响。

15.7.5顶推过程中的施工观测项目如下:

(1) 墩台和临时墩承受竖直荷载和水平推力所产生的竖直、水平位移,需要时,观测其应力变化;

(2) 桥梁顶推过程中,主梁和导梁控制截面的挠度,需要时,观测其应力变化;

(3) 滑动装置的静摩擦系数和动摩擦系数。

观测的结果应随时记录、整理,如超过设计规定限值,应分析原因,采取措施纠正。

15.7.6装配式桥安装施工过程中,应经常对构件混凝土进行裂缝观测,若发现裂缝超过规定或有继续发展的趋势时,应及时分析研究,找出原因,采取有效措施。

15.8 质量检查和质量标准

15.8.1质量检查

各种材料、各工程项目和各个工序应经常进行检验,保证符合设计和施工技

术规范的要求。检验项目和次数按本规范11.11.2条第1款的规定执行。

15.8.2 质量标准

1在支架上浇筑梁式桥的质量标准按第15.8.2条第2款的规定执行。

2悬臂浇筑预应力混凝土梁式桥的质量标准见表15.8.2—1。

表15.8.2-1 悬臂浇筑预应力混凝土梁质量标准

项 目		规定值或允许偏差 (mm)
混凝土强度 (MPa)		符合设计要求
轴线偏位	$L \leq 100\text{m}$	10
	$L > 100\text{m}$	$L / 10000$
顶面高程	$L \leq 100\text{m}$	± 20
	$L > 100\text{m}$	$L / 5000$
	相邻节段高差	10
断面尺寸	高度	+5, -10
	顶宽	± 30
	顶底腹板厚	+10, -0
同跨对称点高程差	$L \leq 100\text{m}$	20
	$L > 100\text{m}$	$L / 5000$

3预应力悬臂拼装梁桥安装完成时的质量标准见表15.8.2-2。

表15.8.2-2 预应力悬臂拼装梁桥安装完成时的质量标准

项 目		规定值或允许偏差 (mm)
混凝土强度 (MPa)		符合设计要求
轴线偏位	$L \leq 100\text{m}$	10
	$L > 100\text{m}$	$L / 10000$
顶面高程	$L \leq 100\text{m}$	± 20
	$L > 100\text{m}$	$\pm L / 5000$
	相邻节段高差	10
同跨对称点高程差	$L \leq 100\text{m}$	20
	$L > 100\text{m}$	$L / 5000$

4预应力混凝土桥顶推安装完成后的允许偏差可按照本条第2款的规定执行。

5预制梁、板的允许偏差见表15.8.2-3。

表15.8.2-3 预制梁、板的允许偏差

检 查 项 目		规定值或允许偏差 (mm)
梁 (板) 长度		+5, -10
宽度	干接缝 (梁翼缘、板)	± 10
	湿接缝 (梁翼缘、板)	± 20
	箱梁顶宽	± 30
	腹板或梁肋	$\pm 10, 0$
高度	梁、板	± 5
	箱梁	+0, -5

跨径（支座中心至支座中心）	±20
支座平面平整度	2
平整度	5
横系梁及预埋件位置	5

6墩、台安装允许偏差见表15.8.2-4。

表15.8.2-4 墩、台安装允许偏差

检查项目	允许偏差(mm)	检查项目	允许偏差 (mm)
轴线平面位置	10	倾斜度	0.3%墩、台高，且不大于20
顶面高程	±10	相邻墩、台柱间距	±5

7简支梁、板就位后与支座须密合，否则应重新安装，安装的允许偏差见表15.8.2-5。

表15.8.2-5 简支梁、板安装允许偏差

检查项目		允许偏差	检查项目	允许偏差
支座中心偏位 (mm)	梁	5	竖直度	1.2%
	板	10	梁、板顶面纵向高程 (mm)	+8, -5

8基础施工允许偏差见表15.8.2-6。

表15.8.2-6 基础施工允许偏差

检查项目	允许偏差(mm)	检查项目		允许偏差 (mm)
轴线偏位	25	基底高程	土质	+50
断面尺寸	±50		石质	+50, -200
顶面高程	±30			

16 拱 桥

16.1 一般规定

16.1.1本章适用于就地浇筑钢筋混凝土拱圈、装配式拱桥安装施工、转体施工拱桥及钢管混凝土拱桥施工。其他类型桥梁采用无支架缆索吊装、转体施工可参照本章的有关规定执行。圬工拱桥应按照本规范第13章的规定执行。钢管混凝土拱桥、劲性骨架拱桥及钢拱桥的钢构件制造应按照本规范第17章的有关规定执行。

16.1.2拱桥施工前应编报施工组织设计，并按批准的施工组织设计和施工方案施工，对施工全过程进行监测和控制。

16.1.3混凝土就地浇筑施工的一般技术要求应按照本规范第11章的规定办理，拱桥构件的预制、移运应按照本规范第15章的规定执行。

16.1.4装配式拱桥构件在脱模、移运、堆放、吊装时，混凝土的强度不应低于设计所要求的强度，一般不得低于设计强度的75%。

16.1.5大跨度拱桥施工过程中，特别是无支架缆索吊装合龙前后，应掌握桥址处历史气象资料和近期的天气预报资料，避开可能突发的灾害性天气，并采取必要的预防措施确保结构安全。

16.2 就地浇筑混凝土拱圈

16.2.1在拱架上浇筑混凝土拱圈

1跨径小于16m的拱圈或拱肋混凝土，应按拱圈全宽度从两端拱脚向拱顶对称地连续浇筑，并在拱脚混凝土初凝前全部完成。如预计不能在限定时间内完成，则应在拱脚预留一个隔缝并最后浇筑隔缝混凝土。

2跨径大于或等于16m的拱圈或拱肋，应沿拱跨方向分段浇筑。分段位置应以能使拱架受力对称、均匀和变形小为原则，拱式拱架宜设置在拱架受力反弯点、拱架节点、拱顶及拱脚处；满布式拱架宜设置在拱顶、 $L/4$ 部位、拱脚及拱架节点等处。各段的接缝面应与拱轴线垂直，各分段点应预留间隔槽，其宽度一般为0.5~1.0m，但安排有钢筋接头时，其宽度尚应满足钢筋接头的需要。如预计拱架变形较小，可减少或不设间隔槽，而采取分段间隔浇筑。

3分段浇筑程序应符合设计要求，应对称于拱顶进行，使拱架变形保持均匀和尽可能的最小，并应预先做出设计。分段浇筑时，各分段内的混凝土应一次连续浇筑完毕，因故中断时，应浇筑成垂直于拱轴线的施工缝；如已浇筑成斜面，应凿成垂直于拱轴线的平面或台阶式接合面。

4间隔槽混凝土，应待拱圈分段浇筑完成后且其强度达到75%设计强度和接合面按施工缝处理后，由拱脚向拱顶对称进行浇筑。拱顶及两拱脚间隔槽混凝土应在最后封拱时浇筑。封拱合龙温度应符合设计要求，如设计无规定时，宜在接近当地年平均温度或5~15℃时进行，封拱合龙前用千斤顶施加压力的方法调整拱圈应力时，拱圈（包括已浇间隔槽）的混凝土强度应达到设计强度。

5浇筑大跨径钢筋混凝土拱圈（拱肋）时，纵向钢筋接头应安排在设计规定的最后浇筑的几个间隔槽内，并应在这些间隔槽浇筑时再连接。

6浇筑大跨径拱圈（拱肋）混凝土时，宜采用分环（层）分段法浇筑，也可沿纵向分成若干条幅，中间条幅先行浇筑合龙，达到设计要求后，再按横向对称、分次浇筑合龙其他条幅。其浇筑顺序和养护时间应根据拱架荷载和各环负荷条件通过计算确定，并应符合设计要求。

7大跨径钢筋混凝土箱形拱圈（拱肋）可采取在拱架上组装并现浇的施工方法。先将预制好的腹板、横隔板和底板钢盘在拱架上组装，在焊接腹板、横隔板的接头钢筋形成拱片后，立即浇筑接头和拱箱底板混凝土，组装和现浇混凝土时应从两拱脚向拱顶对称进行，浇底板混凝土时应按拱架变形情况设置少量间隔缝并于底板合龙时填筑，待接头和底板混凝土强度达到设计强度的75%以上后，安装预制盖板，然后铺设钢筋，现浇顶板混凝土。

16.2.2劲性骨架浇筑拱圈

1大跨径劲性骨架混凝土拱圈（拱肋）的浇筑，可采用分环多工作面均衡浇筑法、水箱压载分环浇筑法和斜拉扣挂分环连接浇筑法。浇筑前应进行加载程序设计，准确计算和分析钢骨架以及钢骨架与先期混凝土层联合结构的变形、应力和稳定安全度，并在施工过程中进行监控。

2分环多工作面均衡浇筑劲性骨架混凝土拱圈（拱肋）时，各工作面可根据模板长度分成若干工作段，各工作面要求对称均衡浇筑，两对应工作面浇筑进度差不得超过一个工作段。

3用水箱压载分环浇筑劲性骨架混凝土（拱肋）时，当混凝土浇筑至 $L/4$ 截面区段，应严格控制好拱圈的竖向及横向变形，防止钢骨架杆件应力超过极限强度而导致失稳。为使混凝土适应钢骨架变形，避免开裂，浇筑第一环（层）混凝土时，可在 $L/4$ 截面处设变形缝，变形缝宽200mm，待浇完第一环混凝土后用高一级混凝土填实。

4用斜拉扣挂分环连接浇筑劲性骨架混凝土拱圈（拱肋）时，应选择可靠和操作方便的扣挂及张拉系统，选好扣点和索力，设计好扣索的张拉与放松程序，以便有效地控制拱圈截面应力和变形，确保混凝土从拱脚向拱顶连续浇筑。

5浇筑劲性骨架混凝土拱圈（拱肋）时，应严格控制钢骨架及先期混凝土层的竖、横向变形，其变形值应符合设计要求，相对高差和横向位移应符合检测标准，否则应采取纠正措施。

16.3 装配式混凝土、钢筋混凝土拱圈

16.3.1 一般规定

1本节适用于箱形拱、肋拱及箱肋组合拱（以下均称为箱形拱）的少支架或无支架施工。

2大、中跨径装配式箱形拱施工前，必须掌握、核对各种构件的预制、吊运堆放、安装、拱肋合龙及施工加载等各个阶段强度和稳定性的设计验算。

3墩、台帽建成后，应及时复测每根拱肋的拱座起拱线处的实际高程、跨间距离、拱座的横向间隔、拱座斜面的斜度及各几何尺寸，检查每根拱肋的实际跨长、几何尺寸及拱肋接头、吊环情况。拱肋上缘弧长宜小于设计弧长5—10mm，使拱肋合龙时保留上缘开口，便于嵌塞铁片，调整拱轴线。如不符合以上要求，吊装前应采取相应措施。

16.3.2 少支架安装拱圈

1为了便于拱肋吊装和减少扣索，在条件许可的情况下，可采用少支架施工。支架的构造，应根据支架高度及荷载大小而定，并满足稳定性要求。地基必须有足够的承载力，对漂浮物要有可靠的防护措施。

2吊装构件时，应结合实际情况和设备条件采用独脚扒杆、人字扒杆、自行车吊机或缆索吊机进行吊装，河中有水时可在船上设立人字扒杆进行吊装。

3拱肋分段吊装搁在支架上以后，拱肋接头的连接处理应符合设计规定。

4支架架设和拆卸的技术要求，除应符合本规范第9章的规定外，还应符合下列要求：

1）当拱肋接头混凝土及拱肋横向联结构件混凝土的强度达到设计强度的75%或满足设计规定后，方可开始卸架，为避免一次卸架突然发生较大变形，可在主拱安装完成时，分两次或多次卸架，使拱圈及墩、台逐渐成拱受力。

2）卸架前应对主拱圈的混凝土质量、拱轴线的坐标尺寸、卸架设备情况、气温引起拱圈变化情况、台后填土情况进行全面检查，符合设计要求后可卸架。卸架时应观测拱圈挠度和墩、台变位情况。

3）拱上建筑宜在卸架后施工，其施工的技术要求应按第16.7节的有关规定办理。

4) 支架基础不得设置在有冻胀影响的土上。在严寒地区,主拱圈不宜在支架上过冬,支架宜在冰冻前拆除。

16.3.3 无支架安装拱圈

1 构件拼装应结合桥梁规模、河流、地形及设备条件采用适宜的吊装机具,各项机具设备和辅助结构的规格、型号、数量等均应按有关规定经过设计计算确定。缆索吊机在吊装前必须按规定进行试拉和试吊。

2 拱肋吊装时,除拱顶段以外,各段应设一组扣索悬挂。

3 扣架的布置应符合下列规定:

- 1) 扣架一般设在墩、台顶上,扣架底部应固定,架顶应设置风缆。
- 2) 各扣索位置必须与所吊挂的拱肋在同一竖直面内。
- 3) 扣架上索鞍顶面的高程应高于拱肋扣环高程。
- 4) 扣架应进行强度和稳定性验算。

4 各段拱肋由扣索悬挂在扣架上时,必须设置风缆,其布置与安装应符合下列规定:

1) 拱肋分3段或5段拼装时,至少应保持2根基肋设置固定风缆,拱肋接头处应横向联结。

2) 固定风缆应待全孔合龙、横向联结构件混凝土强度满足设计要求后才可撤除。

3) 在河流中设置风缆时,必须采取可靠的防护措施,防止风缆受到碰撞。

4) 情况复杂时应按照有关规定对风缆进行专门设计。

5 多孔装配式拱桥吊装应按设计加载程序进行。

6 整根拱肋吊装或每根拱肋分两段预制、吊装,对中小跨径的箱形拱桥,当其拱肋高度大于 $0.009\sim 0.012$ 跨径,拱肋底面宽度为肋高的 $0.6\sim 1.0$ 且横向稳定安全系数不小于4时,可采取单肋合龙,嵌紧拱脚后,松索成拱,如图16.3.3a)。

7 大、中跨径的箱形拱,其单肋合龙横向稳定安全系数小于4时,可先悬扣多段拱脚段或次拱脚段拱肋,然后用横夹木临时将相邻两肋联结后,安装拱顶段单根肋合龙,松索成拱,如图16.3.3 b)、c)。

拱肋的合龙温度应符合设计规定,如设计无规定,宜在气温接近年平均温度(一般在 $5\sim 15\%$)时进行;天气炎热时可在夜间洒水降温进行合龙。

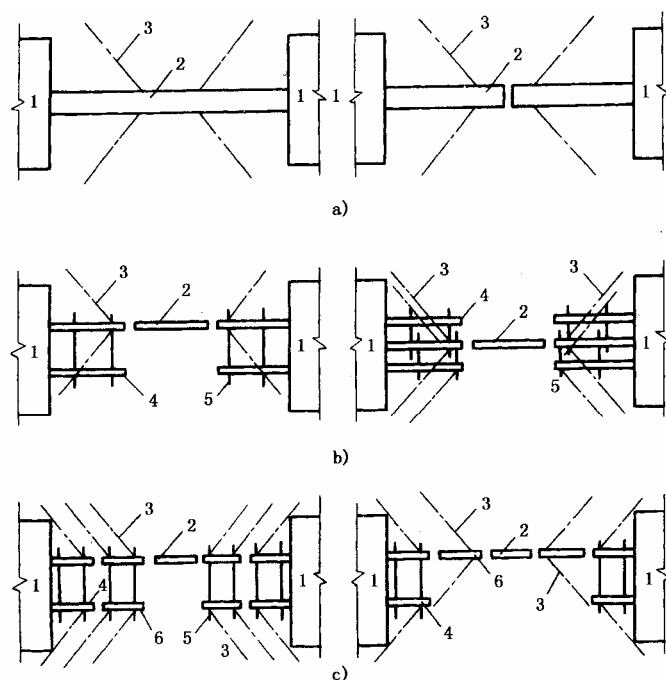


图 16.3.3 拱肋合龙方式示意图

a)单基肋合龙;b)3段吊装单肋合龙;c)5段吊装单肋合龙
1-墩台;2-基肋;3-风缆;4-拱脚段;5-横尖木;6-次拱脚段

8当拱肋跨径不小于80m或横向稳定安全系数小于4时,应采用双基肋合龙松索成拱的方式,即当第一根拱肋合龙并校正拱轴线,楔紧拱肋接头缝后,稍松扣索和起重索,压紧接头缝,但不卸掉扣索和起重索,待第二根拱肋合龙,两根拱肋横向联结固定好并拉好风缆后,再同时松卸两根拱肋的扣索和起重索。

9当拱肋分3段吊装,采用阶梯形搭接接头时,宜先准确扣挂两拱脚段,调整扣索使其上端头较设计值抬高30~50mm,再安装拱顶段使之与拱脚段合龙。采用对接接头,宜先悬扣拱脚段初步定位,使其上端头高程比设计值抬高50~100mm,然后准确悬扣拱顶段,使其两端头比设计值高出10~20mm,最后放松两拱脚段扣索使其两端均匀下降与拱顶段合龙。

10当拱肋分5段吊装时,宜先从拱脚段开始,依次向拱顶分段吊装就位,每段的上端头断面不得扭斜。首先使拱脚段的上端头较设计高程抬高150~200mm,次边段定位后,使拱脚段的上端头抬高值下降为50mm左右,应保持次边段的上端头抬高值约为拱脚段的上端头抬高值的2倍的关系,否则应及时调整,以防拱肋接头处开裂。

11 7段拱肋吊装,受施工条件或地形限制无法采用双肋合龙时,在对风缆系统进行专门设计,确保拱肋横向稳定安全系数不小于4,拱肋接头强度满足该施工阶段设计要求,并经监理工程师审批后,可采用单肋合龙。

12在各段拱肋松索过程中,应符合下列规定:

- 1) 松索前应校正拱轴线位置及各接头高程,使之符合要求。
- 2) 每次松索均应采用仪器观测,控制各接头、拱顶及1/4高程,防止拱肋接头发生非对称变形而导致拱肋失稳或开裂。
- 3) 松索应按照拱脚段扣索、次拱脚段扣索、起重索三者的先后顺序,并按比例定长、对称、均匀松卸。
- 4) 每次松索量宜小,各接头高程变化不宜超过10mm,每次松索压紧接头缝

后应普遍旋紧接头螺栓一次。当接头高程接近设计值时,宜用钢板嵌塞接头缝隙,再将扣索、起重索放松到基本不受力,压紧接头缝,拧紧接头螺栓,同时用风缆调整拱肋轴线的横向偏位,并应观测拱肋各接头、1 / 8跨及拱顶的高程,使其在允许偏差之内。

5) 大跨径箱形拱桥分3段或5段吊装合龙成拱后,根据拱肋接头密合情况及拱肋的稳定度,可保留起重索和扣索部分受力,等拱肋接头的连结工序基本完成后全部松索。

13拱肋接头电焊作业应在调整完轴线偏差、嵌塞并压紧接头缝钢板之后和全部松索成拱之前进行。拱肋接头部件电焊时,应采取分层、间断、交错方法施焊,每层不可一次焊得过厚,以免周围混凝土烧坏。最后应将各接头螺栓拧紧并焊死。

16.4 转体施工

16.4.1转体施工安装方法

平转施工主要适用于刚构梁式桥、斜拉桥、钢筋混凝土拱桥及钢管拱桥。竖转施工主要适用于转体重量不大的拱桥或某些桥梁预制部件(塔、斜腿、劲性骨架)。

16.4.2预制及拼装

桥体的预制及拼装,应按照设计规定的位置、高程,并视两岸地形情况,设计适当的支架和模板(或土胎)进行。预制时除按照本规范第9章至第11章的有关规定执行外,还应符合下列规定:

1) 应充分利用地形,合理布置桥体预制场地,使支架稳固,工料节省,易于施工和安装。

2) 应严格掌握结构的预制尺寸和重量,其允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$,重量偏差不得超过 $\pm 2\%$,桥体轴线平面允许偏差为预制长度的 $\pm 1 / 5000$,轴线立面允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。环道转盘应平整,球面转盘应圆顺,其允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$;环道基座应水平,3m长度内平整度不大于 $\pm 1\text{mm}$,环道径向对称点高差不大于环道直径的 $1 / 5000$;

16.4.3有平衡重平转施工

1有平衡重平转施3255艺,可以采用不同的锚扣体系。箱形拱、肋拱宜采用外锚扣体系;桁架拱、刚架拱宜采用内锚扣(上弦预应力钢筋)体系;刚构梁式桥、斜拉桥为不需另设锚扣的自平衡体系。

2桥体混凝土达到设计规定强度或者设计强度的80%后,方可分批、分级张拉扣索,扣索索力应进行检测,其允许偏差为 $\pm 3\%$ 。张拉达到设计总吨位左右时,桥体脱离支架成为以转盘为支点的悬臂平衡状态,再根据合龙高程(考虑合龙温度)的要求精调张拉扣索。

3采用外锚扣体系时,除应按本规范第16.3节的有关规定办理外,还应符合下列规定:

1) 扣索宜采用精轧螺纹钢筋、带轧丝锚的IV级圆钢筋、带镦头锚的高强钢丝、预应力钢绞线等高强度材料,安全系数不应低于2。

2) 扣点应设在梁悬臂端点或拱顶点附近,控制好扣索合力作用点的位置,使桥体截面应力处于允许的受力状态。

3) 扣索锚点高程不应低于扣点,宜与通过锚点的水平线形成 $0\sim 5^\circ$ 的角度,以利于扣索调整和桥体脱架。

4) 宜用千斤顶张拉扣索, 张拉力先按设计张拉吨位控制, 再按桥体脱开支架的要求适当调整。

4采用内锚扣体系时, 应符合下列规定:

1) 扣索采用结构本身钢筋或在其杆件内另穿入高强钢筋。利用结构钢筋时应验算其强度。

2) 完成桥体转体合龙, 浇筑接头混凝土并达到设计强度时, 应解除扣索张力。

5转体平衡重视情况利用桥台或另设临时配重。扣索和锚索之间宜通过置于扣、锚支承(桥台或立柱)的顶部交换梁相连接。

6转体合龙时应符合下列规定:

1) 应严格控制桥体高程和轴线, 误差符合要求, 合龙接口允许相对偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

2) 应控制合龙温度。当合龙温度与设计要求偏差 3°C 或影响高程差 $\pm 10\text{mm}$ 时, 应计算温度影响, 修正合龙高程。合龙时应选择当日最低温度进行。

3) 合龙时, 宜先采用钢楔刹尖等瞬时合龙措施。再施焊接头钢筋, 浇筑接头混凝土, 封固转盘。在混凝土达到设计强度的80%后, 再分批、分级松扣, 拆除扣、锚索。

7平转转盘有双支承式转盘和单支承式转盘两种, 除大桥和重心较高的桥体外, 宜采用构造简单实用的中心单支承式转盘, 如图16.4.3。制作安装时应符合下列规定:

1) 球面铰柱由不低于C50的混凝土浇筑于盘中央, 球面用母线器成型, 直径不小于100mm的定位销(钢质或钢管混凝土)固于球面铰柱中心, 在球面打磨光滑, 偏差符合要求后, 其上覆盖塑料薄膜3~5层, 浇筑球面铰柱混凝土盖, 达到设计强度后, 拆去薄膜, 将盖、铰进行反复磨合, 至单人以3m杠杆推动为止。

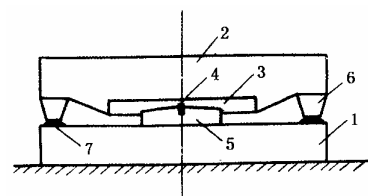


图 16.4.3 中心单支承式转盘示意
1-下转盘;2-上转盘;3-球铰盘;4-钢质定位销;5-球面铰柱;6-支腿;7-环道

2) 盖、铰磨合符合要求后, 其接触面应涂以二硫化钼或黄油四氟粉等润滑剂, 再将铰盖浇固于上盘混凝土中。

3) 浇固于上盘周边的四个或六个辅助支腿, 应对称均匀布置, 与下环道保持不大于20mm间距, 以备浇筑上盘混凝土或转体时做保持平衡临时支撑(支垫钢板)。

8转体牵引力按式(16.4.3)计算:

$$T = \frac{2fGR}{3D} \quad (16.4.3)$$

式中: T ——牵引力(kN);

C ——转体总重力(kN);

R ——铰柱半径(m);

D ——牵引力偶臂(m);

f ——摩擦系数, 无试验数据时, 可取静摩擦系数为0.1~0.12, 动摩擦系数为0.06~0.09。

9转体牵引索可用两根(钢绞线、高强钢丝束), 其一端引出, 一端绕固于上转盘上, 形成一转动力偶。牵引动力可用卷扬机、牵引式千斤顶等, 也可用普通千斤顶斜置在上、下转盘之间(注意应预留顶位)。转动时应控制速度, 通常

角速度不宜大于 $0.01\sim 0.02\text{rad} / \text{min}$ 或桥体悬臂线速度不大于 $1.5\sim 2.0\text{m} / \text{min}$ 。

16.4.4无平衡重平转施工

1采用锚固体系代替平衡重平转法施工，是利用锚固体系、转动体系和位控体系构成平衡的转体系统。

2转动体系由拱体、上转轴、下转轴、下转盘、下环道和扣索组成。转动体系施工可按下列程序进行：安装下转轴、浇筑下环道、安装转盘、浇筑转盘混凝土、安装拱脚铰、浇筑铰脚混凝土、拼装拱体、穿扣索、安装上转轴等等。施工时应符合下列要求：

1) 下转轴一般设置在桩基上，桩柱混凝土浇筑至环道设计高程下时，应安装用钢板卷制加工的轴圈。

2) 轴圈安装前应先进行试装，防止钢轴的支撑角钢与桩柱主钢筋发生干扰，轴圈与转轴的平面位置与竖直度应符合设计要求；然后点焊固定在桩柱主盘上，浇筑填心混凝土。

3) 转盘可用钢带焊制而成，其内径、走板平面平整度、焊缝均应符合设计要求。转轴与转盘套合部分应涂润滑油脂。环道上的滑道宜采用固定式，其平整度应控制在 $\pm 1.0\text{mm}$ 内，环道上应按照设计尺寸铺设四氟板。当转盘填心混凝土达到75%设计强度后，可拨动转盘转至拱体预制位置。转轴与轴套应转动灵活，其配合误差应控制在 $0.6\sim 1.0\text{mm}$ 。

4) 拱铰铰头可用钢板加工，其配合误差应小于 2mm 。浇筑铰脚角锥体混凝土时可采用预制钢筋混凝土模板，承托拱体可利用第一段拱体的横隔板，并将其封闭，增设受弯钢筋来承担。

5) 拱体一般设计为现浇钢筋混凝土，其技术要求可按16.4.2条的规定执行。

6) 扣索宜采用精轧螺纹钢筋，靠近锚块处宜接以柔性工作索，使其通过转向滑轮接至卷扬机，将钢筋张拉安装在立柱上的环套锚块上。

7) 上转轴的轴心平面位置应按照设计要求与下转轴的轴心设置偏心距。

3锚固体系由锚碇、尾索、支撑、锚梁（或锚块）及立柱组成。锚碇可设于引道或其他适当位置的边坡岩层中。锚梁（或锚块）支承于立柱上。支撑和尾索一般设计成两个不同方向，形成三角形稳定体系，稳定锚梁和立柱顶部的上转轴使其为一固定点。当拱体设计为双肋，并采取对称同步平转施工时，非桥轴向（斜向）支撑可省去。锚固体系施工时，应符合下列规定：

1) 锚碇可按照设计要求参照第18.2节的有关规定施工。锚固尾索时应考虑其着力点和受力方向，防止混凝土开裂。

2) 锚梁锚固处应设置张拉尾索的设备。锚梁施工时，应注意防止钢筋尾索、扣索和预应力钢材穿孔的干扰。浇筑的锚梁混凝土达到设计强度的50%后，方可将轴套穿入上下轴套和环套中。

3) 桥轴向的支撑可根据实际情况，利用引桥的梁作为支撑，或采用预制、现浇的钢筋混凝土构件。非桥轴向（斜向）的支撑须采用预制或现浇的钢筋混凝土构件。各类支撑按设计要求和本规范第11章及本章的有关规定执行。

4) 立柱宜为钢筋混凝土结构，可参照第16.3节的规定施工。

4位控体系包括扣点缆风索和转盘牵引C系统，安装时的技术要求应按照本章有关规定执行。

5尾索张拉、扣索张拉、拱体平转、合龙卸扣等工序，必须进行有关的施工观测。

6尾索张拉时应符合下列规定：

1) 尾索张拉一般在立柱顶部的锚梁(锚块)内进行, 操作程序与一般预应力梁后张法类似, 可参照第12章有关规定执行。

2) 两组尾索应按照上下左右对称、均衡张拉的原则, 对桥轴向和斜向尾索分次、分组交叉张拉。

3) 张拉一级荷载时, 应按照上一级荷载张拉后的伸长值与拉索中的应力数值进行分析, 调整本级张拉荷载, 力求各尾索内力均衡。

4) 尾索张拉荷载达到设计要求后, 应对尾索观测和钢索内力测量1-3d, 如发现内力损失导致尾索间内力相差过大时, 应再进行一次尾索张拉, 以求均衡达到设计内力。

7扣索张拉的技术要求, 除应按照16.4.3条第3款的有关规定外, 还应符合下列规定:

1) 张拉前应设立桥轴向和斜轴向支撑以及拱体轴线上拱顶、 $3/8$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 跨径处的平面位置和高程观测点, 在张拉前和张拉过程中随时观测。

2) 全面检查支撑、锚梁、轴套、拱铰、拱体、锚碇, 并列表记录, 分析确认不影响安全时, 才可开始张拉。

3) 每索应分级张拉至设计张拉力, 每级荷载张拉时, 应对称于拱体, 按由下向上的次序进行, 各索内力相对偏差应控制在5kN以内, 应同时检查并调整各支承点木楔, 以免过大或过小。

4) 重复上述操作至张拉到设计荷载而使拱体脱架。

8无平衡重拱体进行平转时, 除应参照16.4.3条第5~9款的规定办理外, 还应符合下列规定:

1) 应对全桥各部位包括转盘、转轴、风缆、电力线路、拱体下的障碍等进行测量、检查, 符合要求后, 方可正式平转。

2) 若起动摩阻力较大, 不能自行起动时, 宜用千斤顶在拱顶处施加顶力, 使其起动, 然后应以风缆控制拱体转速; 风缆走速在起动和就位阶段一般控制在 $0.5\sim 0.6\text{m/min}$, 中间阶段控制在 $0.8\sim 1.0\text{mm/min}$ 。

3) 上转盘采用四氟板做滑板支垫时, 应随转随垫并密切注意四氟板接头和滑动支垫情况。

4) 拱体旋转到距设计位置约 5° 时, 应放慢转速, 距设计位置相差 1° 时, 可停止外力牵引转动, 借助惯性就位。

5) 当拱体采用双拱肋在一岸上下游预制进行平转达一定角度后, 上下游拱体宜同步对称向桥轴线旋转。

9当两岸拱体旋转至桥轴线位置就位后, 两岸拱顶高程超差时, 宜采用千斤顶张拉、松卸扣索的方法调整拱顶高差。操作时应考察应符合下列要求:

1) 测出两岸各扣索内力, 建立拱顶水平和轴线观测站。

2) 对低于设计高程的拱顶端, 其扣索可按对称均衡原则进行张拉, 应先张拉内力较低的一排扣索, 并分次张拉, 使其尽可能达到设计高程。

3) 对高于设计高程的拱顶端, 按与上相反的程序进行。

4) 若两岸拱顶端高差仍较大, 可利用千斤顶再一次调整拱顶高程。

5) 当两岸拱体合龙处轴线与高程偏差符合要求后, 尽量按设计要求规定的合龙温度进行合龙施工, 其内容包括用钢楔顶紧合龙口, 将两端伸出的预埋件用型钢连接焊牢, 连接两端主钢筋, 浇筑台座混凝土, 浇筑拱顶合龙口混凝土。

10当台座和拱顶合龙口混凝土达到设计强度的75%后, 可按下述要求卸除扣索:

- 1) 按对称均衡原则，分级卸除扣索，同时应复测扣索内力、拱轴线和高程。
- 2) 全部扣索卸除后，再测量轴线位置和高程。

16.4.5 竖转施工

1对混凝土肋拱、刚架拱、钢管混凝土拱，当地形、施工条件适合时，可选择竖转法施工。其转动系统由转动铰、提升体系（动、定滑车组，牵引绳等）、锚固体系（锚索、锚碇等）等组成，如图16.4.5所示。

2待转桥体在桥轴线的河床上设架或拼装，要求符合本规范第9章的规定。根据提升能力确定转动单元为单肋或双肋，宜采用横向连接为整体的双肋为一个转动单元。

3支承提升和锚固体系的台后临时塔架可由引桥墩或立柱替代，提升动力可选用30~80kN卷扬机。

4桥体下端转动铰可根据推力大小选用轴销铰、弧形柱面铰、球面铰等，前者为钢制，后两者为混凝土制并用钢板包裹铰面。

5转动时应符合下列规定：

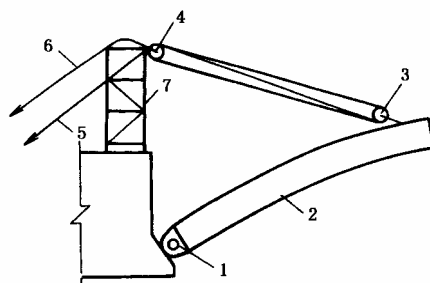


图16.4.5 竖转施工转动系统示意图

1-转动铰；2-桥体；3-动滑车；4-定滑车；5-牵引车（接卷扬机）；6-锚索（接锚碇）；7-塔架

1) 转动前应进行试转，以检验转动系统的可靠性。竖转速度可控制在 $0.005\sim 0.01\text{rad/min}$ ，提升重量大者宜采用较低的转速，力求平稳。

2) 两岸桥体竖转就位，调整高程和轴线应符合第16.9节的要求，楔紧合龙缺口，焊接钢筋，浇筑合龙混凝土，封填转动铰至混凝土达到设计强度后，拆除提升体系，完成竖转工作。

16.5 钢管混凝土拱

16.5.1 钢管拱肋（桁架）加工

1钢管混凝土拱桥所用钢管直径超过600mm的应采用卷制焊接管，卷制钢管宜在工厂进行。在有条件的情况下，优先选用符合国家标准系列的成品焊接管。

2成品管及制管用的钢材和焊接材料等应符合设计要求和国家现行标准的规定，具备完整的产品合格证明。

3钢管拱肋（桁架）加工的分段长度应根据材料、工艺、运输、吊装等因素确定。在加工制作前，应根据设计图的要求绘制施工详图，包括零件图、单元构件图、节段单元图及组焊、拼装工艺流程图等。加工前应按半跨拱肋进行1:1精确放样，注意考虑温度和焊接变形的影响，并精确确定合龙节段的尺寸，直接取样下料和加工。

4工地弯管宜采用加热顶压方式，加热温度不得超过800℃。钢管对接端头应校圆，除成品管按相应国家标准外，失圆度不宜大于钢管外径的0.003倍。钢管的对接环焊缝可采用有衬管的单面坡口焊和无衬管的双面熔透焊。两条对接环焊缝的间距应符合设计要求，设计无规定时，直缝焊接管不小于管的直径，螺旋焊接管不小于3m。对接径向偏差不得超过壁厚的0.2倍。为减少运输及安装过程中对口处的失圆变形，应适当在该处加设内支撑。

5拱肋（桁架）节段焊接宜要求与母材等强度焊接。所有焊缝均应按规定进行强度和外观检查，宜要求主拱的焊缝达到二级焊缝标准。对接焊缝应100%进行超声波探伤，其质量检查标准可按照本规范第17章的有关规定执行。

桁架式钢管拱主管与腹管采用相贯焊接时，宜采用自动或半自动的加工方式来保证相贯线和坡口的制作精度，对焊接材料和工艺的选择在满足焊接接头强度的原则下，应尽量提高接头的韧性指标。要力求避免和减少焊缝多次相交的不良结构细节。

6在钢管拱肋（桁架）加工过程中，应注意设置混凝土压注孔、防倒流截止阀、排气孔及扣点、吊点节点板。如拱肋（桁架）节段采用法兰盘连接，为保证螺栓连接的精度，宜采用3段啮合制孔工艺。对压注混凝土过程中易产生局部变形的结构部位（如腹箱）应设置内拉杆。

7钢管拱肋（桁架）节段形成后，钢管外露面应按设计要求做长效防护处理，宜采用热喷涂防护，其喷涂方式、工艺及厚度应符合设计要求。可参照本规范第17章有关规定执行。

16.5.2 钢管拱肋（桁架）安装

1钢管拱肋（桁架）的安装采用少支架或无支架缆索吊装、转体施工或斜拉扣索悬拼法施工的，可参照本章有关规定执行。

2钢管拱肋成拱过程中，应同时安装横向联接系，未安装联接系的不得多于一个节段，否则应采取临时横向稳定措施。

3节段间环焊缝的施焊应对称进行，施焊前需保证节段间有可靠的临时连接并用定位板控制焊缝间隙，不得采用堆焊。合龙口的焊接或栓接作业应选择在结构温度相对稳定的时间内尽快完成。

4采用斜拉扣索悬拼法施工时，扣索与钢管拱肋的连接件应进行设计计算。扣索根据扣力计算采用多根钢绞线或高强钢丝束，安全系数应大于2。

16.5.3 钢管混凝土浇筑

1管内混凝土应采用泵送顶升压注施工，由两拱脚至拱顶对称均衡地一次压注完成。除拱顶外不宜在其余部位设置横隔。

2钢管混凝土应具有低泡、大流动性、收缩补偿、延后初凝和早强的工程性能。

3钢管混凝土压注前应清洗管内污物，润湿管壁，泵入适量水泥浆后再压注混凝土，直至钢管顶端排气孔排出合格的混凝土时停止。完成后应关闭设于压注口的倒流截止阀。管内混凝土的压注应连续进行，不得中断。

4钢管混凝土的质量检测办法应以超声波检测为主，人工敲击为辅。

5为保证混凝土泵送工艺的顺利进行，对大跨径钢管混凝土拱桥，需按实际泵送距离和高度进行模拟混凝土压注试验。

6钢管混凝土的泵送顺序应按设计要求进行，宜采用先钢管后腹箱的程序。

16.5.4 桥面系安装

1带有可靠锚头的吊杆宜采用具有良好力学性能和防腐效果的挤包护层扭绞

成型拉索。纵、横梁安装完成后，按高程控制的吊杆应按设计要求进行内力调整（内力测定），再进行桥面施工。

2预应力系杆应有可靠的防腐措施。位于拱肋及横梁上的吊杆锚头应做防水、防老化的构造措施。

3预应力系杆的张拉应与加载相对应。施工过程中除了严格控制系杆的内力和伸长量外，尚应监测和控制关键结构的变位，不得超过设计允许范围。

16.6 装配式桁架拱和刚构拱

16.6.1 装配式桁架拱和刚构拱预制

1装配式桁架拱和刚构拱的拱片宜根据跨径和场地大小及吊装能力等因素，选取整片、分段或分杆件的预制方法。分段或分杆件预制时，其分段长度、接头联接类型和方法应按设计规定执行。有关预应力的施工工序应按照本规范第12章的规定办理。拱片预制时应设置预拱度，拱顶预拱度确定后，其余各点预拱度可按直线变化设置。

2卧式预制拱片脱模吊移时应符合下列规定：

1) 卧式预制的拱片不得就地掀起竖立，必须将全片水平吊起后，再悬空翻身竖立。在拱片悬空翻身整个过程中，各吊点受力应均匀，并始终保持在同一平面内，不得扭折。

2) 拱片起吊前，对拱片的薄弱部位应根据构件受力情况予以加固。

3) 预制拱片前应对预制场拱片翻身技术设备、技术状况进行详细研究计算，必要时在预制拱中按吊装应力进行加筋处理。

3拱片宜采用平卧运输，运输和装卸过程中应严格控制支点或吊点位置，使拱片受力均匀，防止损坏。

16.6.2 装配式桁架拱和刚构拱安装

1装配式桁架拱和刚构拱的安装程序为：在墩台上安装预制的桁架（刚架）拱片，同时安装横向联系构件，在组成的桁架拱（刚架拱）上铺装预制的桥面板。

2拱片采用少支架安装时可按第16.3节的有关规定办理。少支架安装后一般采用一次卸架成拱，卸架宜安排在气温较高的时间进行。

3多孔桁架拱（刚构拱）采用少支架安装时宜逐孔进行，卸架应安排在各孔拱片都合龙后进行，卸架程序应按照设计要求或根据桥墩所能承受的最大不平衡推力计算确定。

4拱片采用无支架安装时，可采用分段、分杆件或悬臂拼装等方法进行。在成拱过程中，应及时安装横向联结系和横向临时稳定风缆等。拱片分杆件安装时，宜先安装由下弦杆与跨中实腹段组成的“拱肋”单元，再由实腹段两端向拱脚对称地逐个安装由斜杆、竖杆和上弦杆组成的三角形单元。拱片采用悬臂拼装方案时，除应按照本规范第15.4节的有关规定执行外，还应注意张拉预应力筋必须在相邻两段拱片吊装好并横向联系牢固，形成较稳定的框架之后进行，防止单拱片张拉时发生横向失稳。

5桁架拱、刚构拱采用转体法施工时，应按照第16.4节的规定执行。

6装配式桁架拱、刚构拱无支架安装的接头类型应符合设计规定，其技术要求可按本章有关规定办理。大跨径桁式组合拱的拱顶接头施工还应符合下列规定：

1) 两岸合龙段构件吊装就位，在封顶以前，应对拱顶接头施加预压力调整

应力,然后浇筑拱顶湿接头混凝土,待接头混凝土达到规定强度后方可松索合龙。

2) 湿接头混凝土宜采用较构件混凝土强度高一级的早强混凝土。

16.7 拱上结构

16.7.1 拱上结构的立柱、横墙的基座,在施工前对其位置和高程复测检查,如超过允许偏差应予以调整。基座与主拱的联结应牢固。

16.7.2 大跨径拱桥的拱上结构,应严格按照设计加载程序进行,使施工过程中的拱轴线与设计拱轴线尽量吻合,如有拱架应先卸除。如无设计加载程序,一般应根据施工验算由拱脚至拱顶均衡、对称加载,并加强施工观测。

16.7.3 在支架上浇筑的上承式拱桥,其拱上结构混凝土浇筑应在拱圈及间隔槽混凝土浇筑完成且封拱间隔槽混凝土强度达到设计要求强度以后进行;如设计无规定,可按达到混凝土设计强度的30%以上控制。如封拱前需在拱顶施加预压力,应达到设计强度的75%以上。在支架上浇筑的下承式或中承式拱桥,其悬吊桥面系混凝土应在拱架松落后进行浇筑,其吊杆混凝土应在桥面系完成后对称地浇筑。

16.7.4 在支架上浇筑的拱桥,其拱上结构混凝土的浇筑除应符合本规范第11.6节的规定外,还应符合下列规定:

1 立柱底座应与拱圈(拱肋)同时浇筑,立柱上端施工缝应设在横梁承托底面上。

2 桥面系的梁与板应尽量同时浇筑。

3 两相邻伸缩缝间的桥面板应一次浇筑完成。

16.7.5 中、小跨径装配式拱桥的拱上结构施工,应待主拱圈混凝土和砂浆强度达到设计强度的75%以上,少支架施工的应先卸除支架,一般可由拱脚至拱顶对称进行。

16.7.6 拱上腹拱圈施工时,应注意腹拱圈所产生的推力对立柱或横墙的影响,相邻腹板的施工进度应同步。

16.7.7 采用无支架施工的大、中跨径的拱桥,其拱上结构宜充分利用缆索吊装施工。

16.8 施工观测和控制

16.8.1 装配式拱桥施工过程中,除应按照本规范第3章及其他有关规定进行观测外,还应配合施工进度对拱肋、拱圈的挠度和横向位移、混凝土裂缝、墩台变位、安装设施的变形和变位等项目进行观测。施工观测应尽量采用全站仪进行。

16.8.2 拱肋吊装定位合龙时,应进行接头高程和轴线位置的观测,以控制、调整其拱轴线,使之符合设计要求。其允许偏差见第16.9节。拱肋松索成拱以后,从拱顶上施工加载起,一直到拱上建筑完成,应随时对1/4跨、1/8跨及拱顶各点进行挠度和横向偏移的观测。

多孔拱桥,一孔吊装拱上建筑时,应观测相邻孔拱圈和墩台的影响。当发现挠度和横向偏移值超过允许值时,应及时分析,调整施工程序或采取其他有效措施。

16.8.3 采取少支架安装施工耐,应对支架的变形、位移,节点和卸架设备的压缩及支架基础的沉陷等进行观测,如发现超过允许值的变形、变位,应及时采取

措施予以调整。

采取无支架安装施工时，应随时观测吊装设备的塔架、主索、扣索、索鞍、锚碇等的变形和位移，如发现异常，应及时采取措施。

16.8.4在安装施工过程中，应经常对构件混凝土进行裂缝观测，若发现裂缝超过规定或有继续发展的趋势时，应及时分析研究，找出原因，采取有效措施。

16.8.5就地浇筑钢筋混凝土拱圈及卸落拱架的过程中，应设专人用仪器配合施工进度随时观测拱圈、拱架、劲性骨架的挠度和横向位移以及墩台的变化情况，并详细记录，如发现异常，应及时分析，采取措施，必要时可调整加载或卸架程序。

16.8.6大跨度拱桥施工过程中，应配合施工进度对拱圈（肋）混凝土、拱肋接头、劲性骨架、吊杆、系杆、钢管混凝土、扣索、转盘、锚碇（梁）等关键受力部位进行应力监测，并与控制计算值相比较，一旦偏差超出设计允许范围，应立即进行调整。

16.8.7大跨度拱桥的施工观测和控制宜在每天气温、日照变化不大的时候进行，尽量减少温度变化等不利因素的影响。

16.9 质量检查和质量标准

拱桥施工过程中，各部件的允许偏差已在上述各有关条文中规定。完成后各分部工程的混凝土强度应在合格标准内，其余按下列规定进行检查。

16.9.1钢筋混凝土拱圈外形轮廓清晰顺直，表面平整，施工缝修饰光洁，一般不应有蜂窝麻面，无表面受力裂缝或缝宽不应超过0.15mm。钢筋混凝土拱圈的质量检测标准见表16.9.1-1、表16.9.1-2。

16.9.2装配式拱桥接头垫塞楔形钢板均匀合理，应无因焊接或局部受力造成的混凝土开裂、缺损或露筋。拱桥安装质量检测标准见表16.9.2-1、表16.9.2-2。

表16.9.1-1 现浇拱圈的质量检测标准

项 目		规定值或允许偏差（mm）
混凝土强度（MPa）		在合格标准内
轴线偏位	板拱	10
	肋拱	5
内弧线偏离设计弧线	跨径 $L \leq 30\text{m}$	± 20
	跨径 $L > 30\text{m}$	$\pm L / 1500$
断面尺寸	高度	± 5
	顶底腹板厚	+10, 0
拱肋间距		5

表16.9.1-2 预制拱圈的质量检测标准

项 目		规定值或允许偏差（mm）
混凝土强度（MPa）		在合格标准内
每段拱箱内弧长		0, -10
内弧偏离设计弧长		± 5
断面尺寸	顶底腹板厚	+10, 0
	宽度及高度	+5, -10
轴线偏位	肋拱	5

	箱拱	10
拱箱接头尺寸及倾角		±5
预埋件位置	肋拱	5
	箱拱	10

表16.9.2-1 主拱圈安装质量检测标准

项 目	规定值或允许偏差 (mm)	
轴线横向偏位	$L \leq 60m$	10
	$L > 60m$	$L / 6000$
拱圈底面高程	$L \leq 60m$	±20
	$L > 60m$	± $L/3000$
两对称接头相对高差	$L \leq 60m$	20
	$L > 60m$	± $L/3000$
同跨各拱肋相对高差	$L \leq 60m$	20
	$L > 60m$	± $L/3000$
同跨各拱肋间距		±10

表16.9.2-2 腹拱圈安装质量检测标准

检查项目	规定值或允许偏差 (mm)
轴线横向偏位	10
跨径	±20
起拱线高程	±20
相邻块件底面高差	5

16.9.3转体施工合龙段两侧高差必须在设计允许范围内，合龙段混凝土应平整密实，色泽一致，其强度应符合设计要求。其质量检测标准见表16.9.3。

表16.9.3 转体施工拱桥质量检测标准

检查项目	规定值或允许偏差 (mm)
轴线偏位	$L/6000$
跨中梁或拱顶面高程	±20
同一横截面两侧或相邻上部构件高差	10

16.9.4钢管混凝土拱桥管壁与混凝土结合紧密，钢管表面防护涂料和层数符合设计要求，线形圆顺，无弯折。在同温度条件下，其质量检测标准见表16.9.4-1、表16.9.4-2。

表16.9.4-1 钢管拱肋制作与安装质量检测标准

检查项目	规定值或允许偏差 (mm)
焊缝质量	符合设计要求
内弧偏离设计弧线	8
每段拱肋内弧长	0, -10
钢管直径	$d / 500$ 及5
轴线横向偏位	$L/6000$

拱肋接缝错台	0.2壁厚
拱圈高程	符合设计要求

注：d为钢管内径。

表16.9.4-2 钢管拱肋混凝土浇筑质量检测标准

项 目		规定值或允许偏差（mm）
混凝土强度（MPa）		符合设计要求
轴线横向偏位	L≤60m	10
	L=200m	50
	L>200m	L/4000
拱圈高程		L/3000
对称点高差		L/3000

注：①L为跨径；

②L在60~200m之间时，轴线偏位允许偏差内插。

16.9.5 装配式桁架拱合龙段两侧高差在设计允许范围内，节点应平整，接头两侧杆件无错台，上下弦杆线形顺畅，表面平整。其质量检查标准见表 16.9.5。

表16.9.5 装配式桁架拱质量检测标准

项 目		规定值或允许偏差（mm）
轴线偏位	L≤60m	10
	L>60m	L/6000
节点混凝土强度（MPa）		在合格标准内
弦杆高程	L≤60m	±20
	L>60m	±L/3000
相邻拱片高差		20
对称点相对高差	L≤60m	20
	L>60m	L/3000
拱片竖直度		1/300高度且≤20

注：L为跨径。

16.9.6 劲性骨架拱桥骨架线形符合设计要求，混凝土分环分段浇筑应无空洞和露筋现象，蜂窝麻面符合规定。其质量检测标准见表16.9.6。

表16.9.6 劲性骨架拱桥混凝土浇筑质量检测标准

项 目		规定值或允许偏差（mm）
混凝土强度（MPa）		符合设计要求
轴线横向偏位	L≤60m	10
	L=200m	50
	L>200m	L/4000
拱圈高程		L/3000
对称点高差		L/3000
断面尺寸		±10

注：L为跨径，当L在60~200m之间时，轴线偏位允许偏差内插。

16.9.7中、下承式拱桥吊杆安装应随，无扭转，防护层完整，无破损。其质量检查标准见表16.9.7。

表16.9.7 中、下承式拱桥吊杆安装质量检测标准

检查项目		规定值或允许偏差
吊杆的拉力 (kN)		符合设计要求 (mm)
吊点位置 (mm)		10
吊点高程 (mm)	高程	±10
	两侧高差	20
吊杆锚固处防护		符合设计要求

17 钢 桥

17.1 一般规定

17.1.1适用范围

本章适用于以工厂化制造，在工地以高强螺栓连接或焊缝连接的钢桥施工。

17.1.2钢桥材料

1钢桥制造使用的材料必须符合设计要求和现行有关标准的规定，必须有材料质量证明及进行复验；钢材应按同一炉批、材质、板厚每10个炉（批）号抽验一组试件，焊接与涂装材料应按有关规定抽样复验，复验合格后方可使用。

2采用进口钢材时，应按合同规定进行商检，应按现行标准检验其化学成分和力学性能；并应按现行有关标准进行抽查复验和与匹配的焊接材料做焊接试验，不符合要求的钢材不得使用。

3当钢材表面有锈蚀、麻点或划痕等缺陷时，其深度不得大于该钢材厚度允许负偏差值的1/2。

17.1.3钢桥的制作和安装应符合设计图和施工图的要求，并应符合本规范的规定。当需要修改设计时，应取得原设计单位的同意，并应签署设计变更文件。

1提交钢桥制造厂的设计文件应包括：

- (1) 钢桥主要受力杆件的应力计算表及杆件断面的选定图表；
- (2) 钢桥全部杆件的设计详图、材料明细表、工地螺栓表，制作时应考虑荷载引起的挠度对钉孔的影响；
- (3) 特定的设计、施工及安装说明；
- (4) 安装构件、附属构件的设计图。

2钢桥施工图由制造厂绘制，包括下列各项：

- (1) 按杆件编号绘制的施工图；
- (2) 厂内试装简图；
- (3) 发送杆件表；
- (4) 工地拼装简图。

3在工地应有预拼图。

17.1.4钢桥制造和检验所用的量具、仪器、仪表等应经主管部门授权的法定计量技术机构进行校验。大桥工地用尺与工厂用尺应互相校对。

17.2 钢桥制造

17.2.1放样、号料和切割

1放样和号料应根据施工图和工艺要求进行，应预留制作和安装时的焊接收缩余量及切割、刨边和铣平等加工余量。

2对于形状复杂的零、部件，在图中不易确定的尺寸，应通过放样校对后确定。

3样板、样杆、样条制作的允许偏差应符合表17.2.1-1的规定。

表17.2.1-1 样板、样杆、样条制作允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)
两相邻孔中心线距离	±0.5
对角线、两极边孔中心距离	±1.0
孔中心与孔群中心线的横向距离	0.5
宽度、长度	+0.5, -1.0
曲线样板上任意点偏离	1.0

4号料前应检查钢料的牌号、规格、质量，如发现钢料不平直，有锈蚀、油漆等污物，应矫正清理后再号料；号料外形尺寸允许偏差为±1mm。

5切割时应注意下列事项：

1) 切割前应料面的浮锈、污物清除干净。钢料应放平、垫稳，割缝下面应留有空隙。

2) 切割应优先采用精密切割如数控、自动、半自动切割。手工切割仅适用于次要零件或切割后仍需加工的零件。

3) 剪切钢板厚度不宜大于12mm，剪切边缘应平整，无毛刺、反口、缺肉等缺陷。

4) 剪切长度允许偏差为±2mm，边缘缺棱1mm，型钢端部垂直度≤2.0mm。

5) 碳素结构钢在环境温度低于-20℃、低合金结构钢在环境温度低于-15℃时，不得进行剪切、冲孔。

6) 切割零件尺寸手工切割时允许偏差为±2mm；精密（数控、自动、半自动）切割时应符合表17.2.3-1、表17.2.3-2的规定。

7) 精密切割面质量应符合表17.2.1-2的规定，切割面硬度不超过HV350。

表17.2.1-2 切割表面质量要求

项 目	等 级		
	1	2	备注
表面粗糙度 Ra	25 μm	50 μm	按GB1031-83用样板检测
崩坑	不容许	1m长度内容许有1处 1mm	超限应修补，按焊接有关规定
塌角	圆角半径≤0.5mm		
切割面垂直度	≤0.05t，且不大于2.0mm		

注：t为钢板厚度。

17.2.2 矫正和弯曲

1 钢材矫正前，剪切的反口应修平，切割的挂渣应铲净。

2 碳素结构钢在环境温度低于-16℃、低合金结构钢在环境温度低于-12℃时，不得进行冷矫正和冷弯曲。

3 主要受力零件冷作弯曲时，环境温度不宜低于-5℃，内侧弯曲半径不得小于板厚的15倍，小于者必须热煨，热煨温度宜控制在900~1000℃之间。冷作弯曲后零件边缘不得产生裂纹。

4 热矫温度应控制在600-800℃，矫正后钢材温度应缓慢冷却，降至室温以前，不得锤击钢料或用水急冷。

5 矫正后的钢材表面不应有明显的凹痕或损伤。零件矫正后的允许偏差应符合表17.2.2的规定。

表17.2.2 零件矫正允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)
钢板平面度	每米	1.0
钢板直线度	$L \leq 8m$	3.0
	$L > 8m$	4.0
型钢直线度	每米	0.5
角钢肢垂直度	全长范围	0.5①
角肢平面度	连接部位	0.5
	其余	1.0
工字钢、槽钢腹板平面度	连接部位	0.5
	其余	1.0
连接部位	连接部位	0.5
	其余	1.0

注：①角度不得大于90°。

17.2.3 边缘加工

1 零件刨（铣）加工深度不应小于3mm，加工面的表面粗糙度Ra不得低于25 μm ；顶紧加工面与板面垂直度偏差应小于0.01t（板厚），且不得大于0.3mm。

2 坡口可采用机加工或精密切割，坡口尺寸及允许偏差应由焊接工艺确定。

3 边缘加工的允许偏差应符合表17.2.3-1和表17.2.2-2的规定。

表17.2.3-1 零件加工尺寸允许偏差

项 目			允许偏差 (mm)	
名 称		范围	宽度	孔边距
桁梁的弦、斜、竖杆， 纵横梁，板梁主梁、 平撑杆件①	盖板（工形）	两边	± 2.0	—
	竖板（箱形）	两边	± 1.0	—
	腹板	两边	②	—
主桁节点板		三边	—	+2.0
座 板		四边	± 1.0	—
拼接板、鱼形板，桥门架用钢板		两边	± 2.0	—

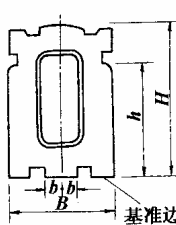
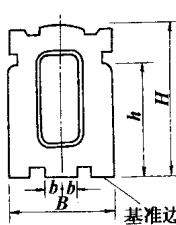
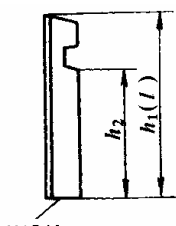
支承节点板、拼接板、支承角	支承边端	—	+0.5 +0.3
平联、横联节点板	焊接边	—	±0.3
箱形杆件内隔板	四边	+0.5③	—

注：①长度不大于10m的直线度允许偏差为2.0mm，10m以上为3.0mm，但不得有锐弯；

②腹板宽度必须按盖板厚度及焊接收缩量配制；

③箱形杆件内隔板板边垂直度偏差不得大于0.5mm。

表17.2.3-2 箱形梁零部件加工尺寸允许偏差

简 图	项 目			允许偏差（mm）		
	名称	范 围				
	盖板	周边	长度	+2.0,-1.0		
			宽度	+2.0,0		
	腹板	周边	长度	+2.0,-1.0		
			宽度	①		
	隔板	周边	宽B	+0.5 0		
			高H	+0.5 -0.5		
			对角线差	<1.0		
			垂直度	$\leq \frac{H}{2000}$		
			缺口定位尺寸	b	+2.0	
				h	0	
	纵肋与横肋		按工艺文件		高h ₁ （长l）	±0.5 （0,-2.0）
					缺口定位尺寸h ₂	0 0.2

注：①腹板宽度必须按盖板厚度及焊接收缩量配制。

4零件应根据预留加工量及平直度要求，两边均匀加工。已有孔的零件应按其中心线找正边缘。

17.2.4 制孔

1螺栓孔应成正圆柱形，孔壁表面粗糙度 $Ra \leq 25 \mu m$ ，孔缘无损伤不平，无刺屑。

2组装件可预钻小孔，然后扩钻。预钻孔径至少应较设计孔径小3mm。扩钻孔时，严禁飞刺和铁屑进入板层。

3使用卡板（卡样）时，必须按施工图检查零件规格尺寸，核对所用钻孔样板无误后，方可钻孔。对卡固定式样板钻孔的杆件，应检查杆件外形尺寸和制造偏差，并将误差均分。卡固限度应符合下列要求：

- 1) 工形杆件腹板中心与样板中心允许偏差1mm。
- 2) 纵向偏差应以两端部边距相等为原则。
- 3) 箱形杆件两竖板水平中线与样板中线允许偏差1.5mm，但有水平拼接时，其允许偏差为1mm。
- 4) 螺栓孔的允许偏差应符合表17.2.4-1的规定。

表17.2.4-1 螺栓孔允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)	项目		允许偏差 (mm)
螺栓直径	螺栓孔径		螺栓直径	螺栓孔径	
M12	14	+0.5,0	M24	26	+0.7,0
M16	18	+0.5,0	M27	29	+0.7,0
M20	22	+0.7,0	M30	33	+0.7,0
M22	24	+0.7,0			

5) 螺栓孔距允许偏差应符合表17.2.4-2的规定。

表17.2.4-2 螺栓孔距允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)		
		主要杆件		次要杆件
		桁梁杆件	板梁杆件	
两相邻孔距		±0.4	±0.4	±0.4 (±1.0) ②
多组孔群两相邻孔群中心距		±0.8	±1.5	±1.0 (±1.5) ②
两端孔群中心距	$l \leq 11\text{m}$	±0.8	±4.0①	±1.5
	$l > 11\text{m}$	±1.0	±8.0①	±2.0
孔群中心线与杆件中心线的横向偏移	腹板不拼接	2.0	2.0	2.0
	腹板拼接	1.0	1.0	—

注：①连接支座的孔群中心距允许偏差；

②括号内数值为人检结构的允许偏差。

17.2.5 组装

1) 组装前，零件、部件应经检查合格；连接接触面和焊缝边缘每边30~50mm范围内的铁锈、毛刺、污垢、冰雪等应清除干净，露出钢材金属光泽。

2) 杆件的组装应在工作台上或工艺装备内进行。组装时应将焊缝错开，错开最小距离应符合图17.2.5的规定。

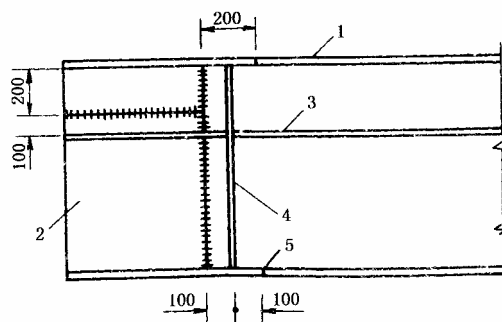


图 17.2.5 焊缝错开的最小距离

1-盖板;2-腹板;3-板梁水平肋或箱形梁纵肋;4-板梁竖肋或箱形梁横肋;5-盖板对接焊缝

3组装时，应用冲钉使绝大多数孔正确就位，每组孔应打入10%的冲钉，但不得少于2个，冲钉直径不应小于设计孔径0.1mm。采用预钻小孔组装的杆件，使用的冲钉直径不应小于预钻孔径0.5mm。

4组装时，应用螺栓紧固，保证零件、杆件相互密贴，一般在任何方向每隔320mm至少有一个螺栓。组装螺栓的数量不得少于孔眼总数的30%；组装螺栓的螺母下最少应放置一个垫圈，如放置多个垫圈时，其总厚不应超过30mm。

5焊接杆件和焊接箱形梁的组装允许偏差应分别符合表17.2.5-1和表17.2.5-2之规定。

6卡样钻孔应经常检查钻孔套模的质量情况，如套模松动或磨损超限时，应及时更换。

表17.2.5-1 杆件组装允许偏差

简 图	项 目		允许偏差 (mm)
	对接高低差	$t \geq 25$	1.0
		$t < 25$	0.5
	对接间隙b		+1.0
	桁梁的箱梁杆件宽度b		± 1.0 (有拼接时)
	桁梁的箱形杆件对角线差		2.0
	桁梁的H形杆件和箱形杆件高度h		+1.5 0
	盖板中心与腹板中心线的偏移 Δ		1.0
	组装间隙 Δ		0.5
	纵横梁高度h		+0.5 0
	板梁高度h	$h \leq 2m$	+2.0 0

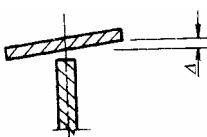
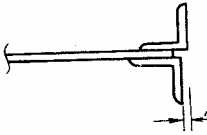
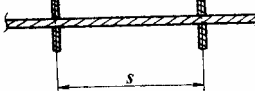
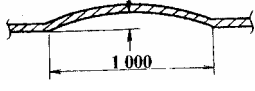
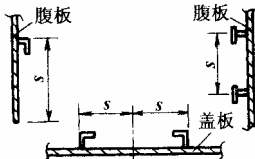
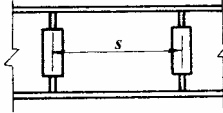
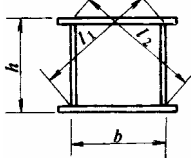
		$h > 2m$	$+4.0 \quad 0$
	盖板倾斜 Δ		0.5
	组合角钢肢高低差 Δ	结合处	0.5
		其余处	1.0
	板梁，纵、横梁加劲肋间距 s	有横向联结	± 1.0
		无横向联结	± 3.0
	板梁腹板，纵、横梁腹板的局部平面度 Δ		1.0
磨光顶紧	局部缝隙		≤ 0.2

表17.2.5-2 箱形梁组装允许偏差 (mm)

简图	项 目		允许偏差
	箱形梁盖板、腹板的纵肋、横肋间距 s		± 1.0
	箱形梁隔板间距 s		± 2.0
	箱形梁宽度 b		± 2.0
	箱形梁高度 h	$h \leq 2m$	$\pm 2.0 \quad 0$
		$h > 2m$	$\pm 4.0 \quad 0$
	箱形梁横断面对角线差		3.0
	箱形梁旁弯 f		5.0

17.2.6焊接

1在工厂或工地首次焊接工作之前或材料、工艺在施工过程中遇有须重新评定的变化，必须分别进行焊接工艺评定试验。焊接工艺评定按现行《铁路钢桥制造规范》(TB10212)进行。

2焊工应经过考试，熟悉焊接工艺要求，取得资格证书后方可从事焊接工作。焊工停焊时间超过6个月，应重新考核。

3工厂焊接宜在室内进行，湿度不宜高于80%。焊接环境温度，低合金高强度结构钢不应低于5℃，普通碳素结构钢不得低于0℃。主要杆件应在组装后24h内焊接。

4低合金高强度结构钢厚度为25mm以上时进行定位焊、手弧焊及埋弧焊时应进行预热，预热温度80~120℃，预热范围为焊缝两侧，宽度50~80mm。厚度大于50mm的碳素结构钢焊接前也应进行预热。

5焊接材料应通过焊接工艺评定确定，没有生产厂家质量证明书的材料不得使用。对储存期较长的焊接材料，使用前应重新按标准检验。

- 6焊接时应符合下列规定：
- 1) 施焊前必须按17.2.5条第1款的规定，清除焊接区的有害物。
 - 2) 施焊时母材的非焊接部位严禁焊接引弧。
 - 3) 多层焊接宜连续施焊，应注意控制层间温度，每一层焊缝焊完后应及时清理检查，清除药皮、熔渣、溢流和其他缺陷后，再焊下一层。

- 7定位焊时应符合下列规定：
- 1) 焊前必须按施工图及工艺文件检查坡口尺寸、根部间隙等，如不合要求应处理改正。
 - 2) 所采用的焊接材料型号应与焊件材质相匹配。
 - 3) 定位焊缝应距设计焊缝端部30mm以上，焊缝长应为50~100mm，间距应为400~600mm，定位焊缝的焊脚尺寸不得大于设计焊脚尺寸的1 / 2。
 - 4) 定位焊不得有裂纹、气孔、夹渣、焊瘤等缺陷，否则应处理改正。如有焊缝开裂应查明原因，清除后重焊。

8埋弧焊时应符合下列规定：

埋弧自动焊必须在距杆件端部80mm以外的引板上起、熄弧。焊接中不应断弧，如有断弧必须将停弧处刨成1：5斜坡后，并搭接50mm再引弧施焊。

- 9焊缝磨修和返修焊时应符合下列规定：
- 1) 杆件焊接后两端引板或产品试板必须用气割切掉，并磨平切口。
 - 2) 焊脚尺寸超出表17.2.7-1中允许的正偏差的焊缝，及小于1mm超差的咬边必须磨修匀顺。
 - 3) 焊缝咬边超过1mm或外观检查超出负偏差的缺陷应用手弧进行返修焊。

16Mn钢板厚度大于25mm返修焊时，应预热至100~150℃。

4) 返修焊采用埋弧自动焊、半自动焊时，必须将清除部位的焊缝两端刨成不陡于1：5的斜坡，再进行焊接。

5) 返修后的焊接应随即铲磨匀顺，并按原质量要求进行复检。返修焊次数不宜超过两次。

17.2.7 焊缝检验

1焊接完毕，所有焊缝必须进行外观检查，不得有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑和超出表17.2.7-1规定的缺陷。

2外观检查合格后，零、部（杆）件的焊缝应在24h后进行无损检验。

3进行超声波探伤，内部质量分级应符合表12.2.7-2的规定。其他技术要求可按现行《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》（GB11345）执行。

表17.2.7-1 焊缝外观检查质量标准（mm）

项 目	质 量 要 求	
气孔	横向对接焊缝	不容许

	纵向对接焊缝、主要角焊缝	直径小于1.0	每米不多于3个，间距不小于20
	其他焊缝	直径小于1.5	
咬边	受拉杆件横向对接焊缝及竖加劲肋角焊缝(腹板侧受拉区)		不容许
	受压杆件横向对接焊缝及竖加劲肋角焊缝(腹板侧受压区)		≤ 0.3
	纵向对接及主要角焊缝		≤ 0.5
	其他焊缝		1.0
焊脚尺寸	主要角焊缝		$K_0^{+2.0}$
	其他焊缝		$K_{-1.0}^{+2.0}$ ①
焊波	角焊缝		任意25mm范围内高低差 ≤ 2.0
余高	对接焊缝		焊缝宽 $b < 12$ 时， ≤ 3.0
			$12 < b \leq 25$ 时， ≤ 4.0
			$b > 25$ 时， $\leq 4b/25$
余高铲磨后表	横向对接焊缝		不高于母材0.5
			不低于母材0.3
			粗糙度Ra50

注：①手工角焊缝全长10%区段内允许 $K_{-1.0}^{+3.0}$ 。

表17.2.7-2 焊缝超声波探伤内部质量等级

项 目	质量等级	适用范围
对接焊缝	I	主要杆件受拉横向对接焊缝
	II	主要杆件受压横向对接焊缝、纵向对接焊缝
角焊缝	III	主要角焊接

4箱形杆件棱角焊缝探伤的最小有效厚度为 $\sqrt{2t}$ （ t 为水平板厚度，以mm计）。

5焊缝超声波探伤范围和检验等级应符合表17.2.7-3的规定，距离一波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定应符合本规范附录K-1的规定。

表17.2.7-3 焊缝超声波探伤范围和检验等级（mm）

焊缝质量级别	探伤比例	探伤部位	板厚	检验等级
I、II级横向对接焊缝	100%	全长	10~45	B
			>46~56	B（双面双侧）
II级纵向对接焊缝	100%	焊缝两端各1000	10~46	B
			>46~56	B（双面双侧）
II级角焊缝	100%	两端螺栓孔部	10~46	B

		位并延长500， 板梁主梁及纵、 横梁跨中加探 1000	>46~56	B（双面单侧）
--	--	---------------------------------------	--------	---------

6对接焊缝除应用超声波探伤外，尚须用射线抽探其数量的10%（并不得少于一个接头）。探伤范围为焊缝两端各250~300mm，焊缝长度大于1200mm时，中部加探250~300mm。当发现裂纹或较多其他缺陷时，应扩大该条焊缝探伤范围，必要时可延长至全长。进行射线探伤的焊缝，当发现超标缺陷时应加倍检验。

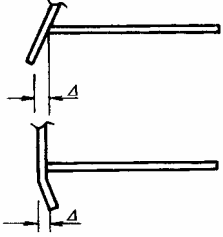

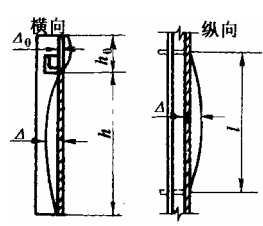
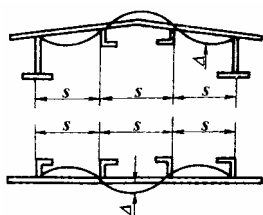

用射线和超声波两种方法检验的焊缝，必须达到各自的质量要求，该焊缝方可认为合格。焊缝的射线探伤应符合现行国家标准《钢熔化焊对接接头照相和质量分级》（GB3323）的规定，射线照相质量等级为B级，焊缝内部质量为Ⅱ级。

17.2.8 杆件矫正

1杆件矫正时除应符合第17.2.2条的规定外，还应注意冷矫时应缓慢加力，室温不宜低于5℃，冷矫总变形率不得大于2%。时效冲击值不满足要求的拉力杆件，不得冷矫。

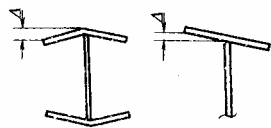
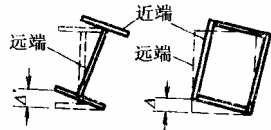
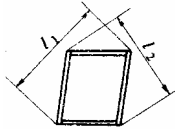
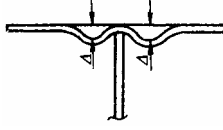
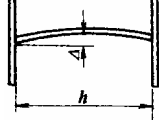
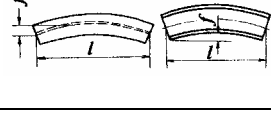

2杆件矫正的允许偏差应符合表17.2.8-1和表17.2.8-2的规定。

表17.2.8-1 箱形梁矫正允许偏差

简 图	项 目		允许偏差（mm）
	盖板对腹板的垂直度 Δ	有孔部位	1.0
		其余部位	3.0
	隔板弯曲f	横向纵向	2.0
	腹板平面度Δ	横向	$\frac{h}{250}$
		有孔部位	2.0
		纵向	$\frac{L}{500}$
	盖板平面度Δ	有孔部位	2.0
		横向	$\frac{s}{250}$
		纵向4m范围	4.0
	腹板平面度	横向Δ1	$\frac{h}{250}$ 且 ≤ 3

		纵向△2	$\frac{l_0}{500}$ 且 ≤ 5.0
	盖板平面度	横向△3	$\frac{s}{250}$ 且 ≤ 3.0
		纵向△4	$\frac{l_1}{500}$ 且 ≤ 5.0
	扭 曲		每米 ≤ 1 ，且每段 ≤ 10

表17.2.8-2 板梁、桁梁杆件矫正允许偏差

简 图	项 目		允许偏差 (mm)
	盖板对腹板的垂直度△	有孔部位	0.5
		其余部位	2.0
	工形、箱形杆件的扭曲△		3.0
	箱形杆件中对角线差		2.0
	盖板平面度△	有孔部位	0.3
		其余部位	1.0
	板梁，纵、横梁腹板的平面度△		$\Delta \leq \frac{h}{500}$ 且 ≤ 5.0
	工形、箱形杆件的弯曲或纵横梁的旁弯f		2.0 (1≤4000) 3.0 (4000≤1≤16000) 5.0 (1>16000)
	板梁，纵、横梁的拱度f	不设拱度	+3.0,0
		设拱度	+10.0,-3.0

17.2.9节点钢枢及枢孔

1枢孔直径允许偏差为±0.2mm，拉力杆件两枢孔外缘至外缘，或压力杆件两端枢孔内缘至内缘之距离，除设计文件另有规定外，允许偏差为±0.5mm。枢孔应于杆件焊接矫正后镗（钻）制。

枢接结构中，钢枢设计直径一般较枢孔设计直径小0.4mm，钢枢直径制造允许偏差为±0.1mm。

2公路装配式钢桥的枢孔、钢枢直径和杆件两端枢孔距离允许偏差以及其他质量要求应符合设计文件的规定。

3公路装配式钢桥的钢枢除设计另有规定外，应采用30铬锰钛（30CrMnTi）合金结构钢制造。

17.2.10 高强度螺栓

公路钢桥所用的高强度螺栓可选用大六角形（GB / T1228~1231）和扭剪型（GB / T3632~ 3633）两类。制造高强度螺栓、螺母、垫圈的材料应符合17.1.2条的规定，并应在专门螺栓厂制造。制成后的高强度螺栓、螺母和垫圈应符合下列规定：

1外形尺寸、允许偏差应符合GB / T1228、GB / T1229、GB / T1230和GB / T3632—3633的规定。高强度螺栓、螺母、垫圈的表面宜进行表面防锈处理。

2垫圈两面应平直，不得翘曲，其维氏硬度HV30应为329~436（HRC35—45）。

3每批高强度螺栓应有出厂合格证，强度试验方法应按GB / T1231、GB / T3633的规定，螺栓运到工地后，除检查出厂合格证外，应从各批螺栓中抽样检验，每批抽检8副，但不得少于3副。

17.2.11 摩擦面处理

在工地以高强度螺栓栓接的构件板面（摩擦面）必须进行处理，处理后的抗滑移系数值应符合设计要求。摩擦面的处理还应注意：

经处理的摩擦面，出厂时应按批按照附录K-2做抗滑移系数试验，应按批附3套与杆件相同材质、相同处理方法的试件，由工地安装单位复验抗滑移系数。在运输过程中试件摩擦面不得损伤。

17.2.12 除锈

表面和摩擦面的除锈应在制作质量合格后进行，并应符合下列要求：

1表面的除锈方法和除锈等级设计无规定时，其质量要求应符合表17.2.12的规定。

2适应范围还应与设计采用的涂装及所处环境相适应。

3除锈后的摩擦面宜进行喷铝防锈处理。

表17.2.12 表面除锈质量要求

除锈方法	喷射或抛射除锈			手工和动工工具除锈	
除锈等级	Sa2	Sa2.5	Sa3	St2	St3
适用范围	除右边两类条件以外的其他地区	年平均相对湿度在50%以上及有一般大气污染的工业地区	1.大气含盐雾的沿海地区； 2.大气中SO2含量大于250mg/m3的工业地区； 3.杆件浸水部分； 4.防腐要求高的钢梁及构件	与Sa2条件同	与Sa3条件同

质量标准	一般喷射、抛射除锈,钢材表面的油脂和污垢,氧化皮、锈和油漆涂层等附着物已基本清除,其残留物应是牢固附着的	较彻底的喷射、抛射除锈,钢材表面应无可见的油脂和污垢,氧化皮、锈和油漆涂层等附着物,任何残留的痕迹应仅是点状或条状的轻微色斑	彻底的喷射、抛射除锈,钢材表面应无可见的油脂和污垢,氧化皮、锈和油漆涂层等附着物,表面应呈现均匀的金属光泽	一般的手工和动力工具除钢筋。钢材表面应无可见的油脂和污垢,没有附着不牢的氧化皮、锈和油漆涂层等附着物	彻底的手工和动力工具除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢,没有附着不牢的氧化皮、锈和油漆涂层等附着物,除锈比St2彻底,底材显露部分的表面应具有金属光泽
------	--	--	---	--	---

4采用喷射或抛射除锈时回收的钢丸应去除锈屑、锈粉等杂物。

17.2.13钢梁试拼装

1钢梁试拼装前的杆件应将孔边飞刺、板层间刺屑、电焊熔渣飞溅等清理干净;杆件边缘和端部的允许缺陷应铲磨匀顺。

2有磨光顶紧要求的杆件,应有75%以上的面积密贴,用0.2mm的塞尺检查,其塞入面积不应超过25%。

3钢梁杆件成品经检验符合要求后,应进行钢梁试拼装。试拼装应符合下列要求:

1) 试拼装宜采用具有代表性的局部试拼装法,未经试拼装合格,不得成批生产。

2) 试拼装应根据试件施工图进行。每拼完一个单元(或节间)应检查并调整好几何尺寸,再继续进行。

3) 试拼装时螺栓应紧固,使板层紧密。冲钉不得少于孔眼总数的10%,螺栓不得少于螺栓孔总数的20%。

4钢梁试拼装的质量标准如下:

1) 钢梁试拼时,必须用试孔器检查所有螺栓孔。主桁的螺栓孔应能100%自由通过较设计孔径小0.75mm的试孔器;桥面系和连接系的螺栓孔应100%能自由通过较设计孔径小1.0mm的试孔器;板梁的螺栓孔应100%自由通过较设计孔径小1.5mm的试孔器方可认为合格。

2) 钢梁试拼装的主要尺寸允许偏差应符合表17.2.13-1和表17.2.13-2的规定。

表17.2.13-1 板梁试拼装主要尺寸允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)
梁高h	$h \leq 2m$	± 2
	$h > 2m$	± 4
跨度L	支座中心至中心	± 8
全长	全桥长度	± 15

主梁中心距		±3
旁弯	桥梁中心线与其试拼装全长L的两端中心所连直线的偏差	L/5000
平关节间对角线差		3
横联对角线差		4
主梁倾斜		4
支点高低差	支座处三点水平时，另一点翘起高度	3

表17.2.13-2 桁梁试拼装主要尺寸允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)
桁高	上下弦杆中心距离	±2
节间长度		±2
旁弯	桥面系中线与其试拼装全长L的两端中心所连续直线的偏差	$\frac{L}{5000}$
试装全长	L ≤ 50000	±5
L > 50000		$\pm \frac{L}{10000}$
拱度 (计算拱度)	f ≤ 60	±3
	f > 60	$\pm \frac{5}{100} f$
对角线	每个节间	±3
主桁中心距		±3

5试拼装应有详细检查记录，合格后方可批量生产。

17.2.14 厂内涂装

1涂装应先按17.2.12进行防锈处理并符合表17.2.12规定要求后，于4h内开始，8h内完成。

2需在工地采用焊缝连接处的两侧应留出30~50mm宽暂不涂装。

3涂装层数、涂层厚度应符合设计要求，当设计无规定时，可按下述规定执行：

1) 栓焊梁杆件涂底漆两道，工地安装孔部位应涂刷能保证防滑移系数的防锈材料。

2) 纵梁、上承板梁和箱形梁上盖板顶面涂耐磨底漆两道（高强度螺栓孔部位除外）。

3) 箱形梁内部涂装环氧沥青厚底漆一道，环氧沥青厚浆面漆一道。

4) 备用梁涂底漆两道和面漆一道。

5) 以上各层涂漆厚度应符合设计要求。

4杆件码放必须在涂层干燥后进行，对漆膜损伤者应及时补涂。

17.3 验 收

17.3.1板梁尺寸允许偏差应符合表17.3.1的规定。

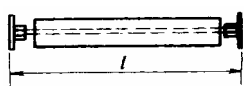

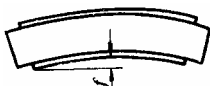
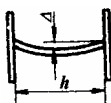
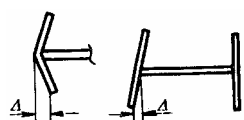
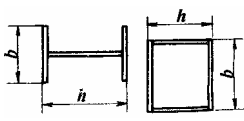
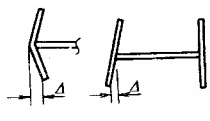
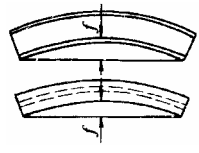
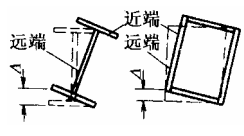
表17.3.1 板梁基本尺寸允许偏差

项 目			允许偏差（mm）
名称		检查方法	
梁高h	h≤2m	测量两端腹板处高度	±2
	h>2m		±4
跨度		测量两支座中心距离	±8
全长		测量全桥长度	±15
纵梁长度		测量两端角钢背与背之间的 距离	±0.5， -1.5
横梁长度			±1.5
纵梁高度		测量两端腹板处高度	±1.0
横梁高度			±1.5
纵、横梁旁弯		梁立置时在腹板一侧距主焊缝100mm处拉线测量	3
主梁拱度f		梁卧置时在下盖板外侧拉线测量	+3（不设拱度）0
			+10（设拱度）-3
两片主梁拱度差		分别测量两片主梁拱度，求差值	4
主梁腹板平面度		用平尺测量（h为梁高或纵向加劲肋至下盖板间的距离）	$< \frac{h}{350}$ 且≤8
纵、横梁腹板平面度			$\frac{h}{500}$ 且≤5
主梁、纵横梁盖板对腹板的垂直度	有孔部位	用直角尺测量	0.5
	其余部位		1.5

17.3.2桁梁杆件尺寸应符合表17.3.2的规定。

表17.3.2 桁梁杆件基本尺寸允许偏差

简 图	项 目			允许偏差 (mm)
	名 称		检查方法	
	联结系杆件	高度h	测量两端腹板处高度	± 1.5
		盖板宽度b	每2m测一次	± 2.0
		长度l	测量全长	± 5
	纵横梁	纵梁高度h	测量两端腹板处高度	± 1.0
		横梁高度h		± 1.5
		盖板宽度b	每2m测一次	± 2.0

		纵梁长度l		测量两端角钢背至背之间的距离	+0.5 -1.5
		横梁长度l			±1.5
	纵 横 梁	旁弯f		梁立置时，在腹板一侧距主焊缝100mm处拉线测量	3
		上拱度f		梁卧置时，在下盖板外侧拉线测量	+3， 0
		腹板平面度Δ		用平尺测量	h/500且≤5
		盖板对腹板的垂直度Δ	有孔部位	用直角尺测量	0.5
			其余部位		1.5
	主 桁 杆 件	高度h		测量两端腹板处高度	±1.0
		盖板宽度b		每2m测一次	±2.0①
		长度l		测量全长	±5
		工形件的盖板对腹板的垂直度Δ	有孔部位	用直角尺测量	0.5
			其余部位		1.5
		弯曲f		拉线测量	2 (1≤4000) 3 (4000<l≤16000) 5 (l≤16000)
		扭曲Δ		杆件置于平台上，四角中有三角接触平台，悬空一角与平台之间隙	3

注：①箱形杆件有拼接要求时为 ± 1.0

17.3.3箱形梁尺寸允许偏差应符合表17.3.3的规定。

表17.3.3 箱形梁基本尺寸允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)
名称	检查方法	
梁高h	h≤2m	±2
	h>2m	±4
跨度L	测两支座中心距离, L以m计	± (5+0.15L)
全长	—	± 15
腹板中心距	测两腹板中心距	± 3
盖板宽度b	—	± 4
横断面对角线差	测两端断面对角线差	4
旁弯	L以m计	3+0.1L
拱度	—	+10,-5
支点高度差	—	5
腹板平面度	H为盖板与加劲肋或加劲肋与加劲肋之间的距离	$< \frac{h}{250}$ 且 ≤ 8
扭曲	每段以两端隔板处以为准	每米 ≤ 1, 且每段 ≤ 10

注: ①分段分块制造的箱形梁拼接处, 梁高及腹板中心距允许偏差按施工文件要求办理;

②箱形梁其余各项检查方法可参照板梁检查方法。

17.3.4钢桥构件出厂时, 应提交下列资料:

- (1) 产品合格证;
- (2) 钢材和其他材料质量证明书或试验报告;
- (3) 施工图、拼装简图和设计变更文件, 设计变更内容应在施工图中相应部位注明;
- (4) 产品试板的试验报告;
- (5) 焊缝重大修补记录;
- (6) 高强度螺栓摩擦面抗滑移系数试验报告, 焊缝无损检验报告及涂层检测资料;
- (7) 工厂试拼装记录;
- (8) 构件发运和包装清单。

17.3.5钢梁构件包装必须在涂层干燥后进行。包装和存放应保证构件不变形、不损坏, 不散失, 包装和发运应符合运输的有关规定。

17.4 钢桥工地安装

17.4.1一般要求

1钢桥安装应按施工图进行。安装前应对临时支架、支承、吊机等临时结构和钢桥结构本身在不同受力状态下的强度、刚度及稳定性进行验算。

2安装前, 应按照构件明细表核对进场的构件、零件, 查验产品出厂合格证及材料的质量证明书。

3钢桥杆件在工地安装过程中矫正、制孔、组装、焊接和涂装等工序的施工

质量要求应符合本规范第17.2节中有关规定。

4钢桥构件在运输、存放和安装过程中损坏的涂层，应按照第17.2节中的有关规定补涂。钢桥面层涂装应在钢桥结构完成后进行。

5钢梁安装前，应对桥台、墩顶面高程、中线及各孔跨径进行复测，误差在允许偏差内方可安装。

6钢梁工地安装，可根据跨径大小、河流情况、起吊能力选择安装方法。

17.4.2 安装

1杆件宜采用预先组拼、栓合或焊接，扩大拼装单元进行安装，对容易变形的构件应进行强度和稳定性验算，必要时应采取加固措施。

2杆件组拼前应清除杆件上的附着物，摩擦面应保持干燥、整洁。应根据外界环境和焊接等变形因素的影响，采取措施，保证钢梁的建筑拱度及中心线位置。

3在支架上拼装钢梁时，冲钉和粗制螺栓总数不得少于孔眼总数的1 / 3，其中冲钉不得多于2 / 3。孔眼较少的部位，冲钉和粗制螺栓总数不少于6个或将全部孔眼插入冲钉或粗制螺栓。

用悬臂或半悬臂法拼装钢梁时，联结处所需冲钉数量应按所承受荷载计算决定，但不得少于孔眼总数的一半，其余孔眼布置精制螺栓。冲钉和精制螺栓应均匀地安放。

高强度螺栓栓合梁拼装时，冲钉数量应符合上述规定，其余孔眼布置高强度螺栓。吊装杆件的吊钩，必须等杆件完全固定后方可卸去。

4拼装用的冲钉直径（中段圆柱部分）应较孔眼设计直径小0.2~0.3mm，其长度应大于板束厚度。

拼装用精制螺栓直径应较孔眼设计直径小0.4mm，拼装板束用的粗制螺栓直径应较孔眼直径小1.0mm。冲钉和螺栓可用35号碳素结构钢制造。

5钢桥安装过程中，每完成一节间应测量其位置、标高和预拱度，如不符合要求时应进行校正。

17.4.3 高强度螺栓连接的规定

1由制造厂处理的钢桥杆件的摩擦面，安装前应复验所附试件的抗滑移系数，合格后方可安装，并应符合设计要求。

2高强度螺栓的设计预拉力、施加预拉力应符合表17.4.3的规定。

表17.4.3 高强度螺栓的预拉力（kN）

螺纹规格d	M22	M24	M27	M30
设计预拉力p	190	225	270	355
施加预拉力Pc	210	250	300	390

3高强度螺栓连接副在运输过程中应轻装轻卸，储存时应分类分批存放，不得混淆，并防止受潮生锈，在使用前应进行外观检查并应在同批内配套使用。

4施工前，高强度螺栓连接副应按出厂批号复验扭矩系数，每批号抽验不少于8套，其平均值和标准偏差应符合设计要求。设计无要求时平均值应在0.11~0.15范围内，其标准偏差应小于或等于0.01。复验数据应作为施拧的主要参数。

5安装钢梁的高强度螺栓的长度必须与安装图一致。安装时，高强度螺栓应顺畅穿入孔内，不得强行敲入，穿入方向应全桥一致。高强度螺栓不得作为临时安装螺栓。被栓合板束的表面应垂直于螺栓轴线，否则应在螺栓垫圈下面加垫斜坡垫板。

6施拧高强度螺栓应按一定顺序，从板束刚度大、缝隙大之处开始，对大面积节点板应由中央向外拧紧，并应在当天终拧完毕。施拧时，不得采用冲击拧紧和间断拧紧。

7用扭矩法拧紧高强度螺栓连接副时，初拧、复拧和终拧应在同一工作日内完成。初拧扭矩应由试验确定，一般为终拧扭矩的50%。终拧扭矩应按公式（17.4.3）计算：

$$T_c = K \cdot P_c \cdot d \quad (17.4.3)$$

式中： T_c ——终拧扭矩（N·m）；

K ——高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值，按本条第4款要求测得；

P_c ——高强度螺栓的施工预拉力（kN），见表17.4.3；

d ——高强度螺栓公称直径（mm）。

8用扭角法施拧高强度螺栓可按照现行《铁路钢桥高强螺栓连接施工规定》（TBJ214）的规定执行。

9高强度螺栓施拧采用的扭矩扳手，在作业前后均应进行校正，其扭矩误差不得大于使用扭矩值的±5%。

10高强度螺栓终拧完毕应按下列规定进行质量检查：

1) 检查应由专职质量检查员进行，检查扭矩扳手必须标定，其扭矩误差不得大于使用扭矩的±3%，且应进行扭矩抽查。

2) 松扣、回扣法检查，先在螺栓与螺母上做标记，然后将螺母退回30°，再用检查扭矩扳手把螺母重新拧至原来位置测定扭矩，该值不小于规定值的10%时为合格。

3) 对主桁节点及板梁主体及纵、横梁连接处，每栓群以高强螺栓连接副总数的5%抽检，但不得少于2套，其余每个节点不少于1套进行终拧扭矩检查。

4) 每个栓群或节点检查的螺栓，其不合格者不得超过抽验总数的20%，如超过此值，则应继续抽验，直至累计总数80%的合格率为止。然后对欠拧者补拧，超过者更换后重新补拧。

17.4.4 工地焊缝连接和固定

钢桥工地焊缝连接分全焊连接和焊缝与高强度螺栓合用连接两类。合用连接中高强度螺栓连接的技术要求应符合17.4.3条的规定。工地焊缝连接的技术要求应符合下列规定：

1钢桥杆件工地焊缝连接应按设计规定的顺序进行。设计无规定时，纵向宜从跨中向两端，横向宜从中线向两侧对称进行。

2工地焊接应设立防风设施，遮盖全部焊接处。雨天不得焊接（箱形梁内除外）。箱形梁内采用CO₂气体保护焊时，必须使用通风防护安全设施。

3焊接施工时的技术要求应符合第17.2.6条的规定。

4工地焊接接缝应按第17.2.7条的规定检验。

17.4.5 钢桥构件连接固定后落梁就位时，应符合下列规定：

1钢梁就位前应清理支座垫石，其标高及平面位置应符合设计要求。

2固定支座与活动支座的精确位置应按设计图并考虑施工安装温度、施工误差等确定。

3钢梁落梁前后应检查其建筑拱度和平面尺寸，并做记录，校正支座位置。

4钢梁安装后的允许偏差见表17.4.5。

表17.4.5 钢梁安装后的允许偏差

项 目			规定值或允许偏差（mm）
轴线偏位	钢梁中线		10
	两孔相邻横梁中线相对偏差		5
梁底标高	墩台处梁底		±10
	两孔相邻横梁相对高差		5
支座偏位	支座纵、横线扭转		1
	固定支座 顺桥向偏差	连续梁或60m以上简支梁	20
		60m以下简支梁	10
	活动支座按设计气温定位前偏差		3
支座底板四角相对高差			2
连接	对接焊缝的对接尺寸、气孔率		符合本规范17.2.7条要求
	高强度螺栓扭矩		±10%

17.4.6钢桥工地涂装应符合设计要求。防腐蚀涂料应具有良好的附着性、耐蚀性，并具有出厂合格证和检验资料，工地涂装施工组织设计应满足使用要求。喷涂金属的表面处理的最低等级为Sa2.5。喷涂金属系统的封闭涂层，其底漆应具有良好的封孔性能。

17.4.7 工地涂装质量检验

1 涂层系统

- 1) 涂装前应进行表面处理的质量检查，合格后方可进行涂装。
- 2) 涂装时，涂层遍数和漆膜厚度应符合设计要求，应及时测定湿膜厚度，保证干膜厚度。

涂装时发现漏涂、流挂发白、皱纹、针孔、裂纹等缺陷，应及时进行处理。每层涂装前，应对上一层涂层进行检查。涂装后，应进行涂层外观检查。表面应均匀、无气泡、无裂纹等缺陷。

- 3) 涂层干膜厚度大于或等于设计厚度值的点数占总测点数的90%以上，其他测点的干膜厚度不应低于90%的设计厚度值。当不符合上述要求时，应进行修补。

- 4) 厚膜涂层应进行针孔检测，针孔数不应超过测点总数的20%，当不符合要求时，应进行修补。

2 喷涂金属系统

- 1) 可目视或用5~10倍放大镜观察，喷涂金属层应颗粒细密、厚薄均匀，并不得有固体杂质、气泡及裂缝等缺陷。

- 2) 喷涂厚度达不到要求时，应进行补喷或重喷。

- 3) 孔隙率检测，检测面积宜占总面积的5%，当不合格时，应进行补喷或重喷。

- 4) 对喷涂金属层与钢结构的结合性能，可采用敲击或刀刮进行检测，当不合格时，应进行补喷或重喷。

3 封闭涂层质量可按涂层质量检查的有关规定进行。

17.4.8 钢桥验收

钢桥工程的验收应在钢桥全部安装并涂装完成后进行。钢桥安装、涂装的质量和允许偏差应符合本章各节的有关要求，并应符

合现行《公路工程质量检验评定标准》（JTJ071）的规定。

18 悬索桥

18.1 一般规定

18.1.1本章适用于主缆采用平行高强钢丝制作的大跨悬索桥的制造、安装、架设施工。

18.1.2施工准备除满足第3章的要求外，还应根据悬索桥的构造和施工特点，预先编制经济可行的实施性施工组织设计，有计划地做好构件的加工、特殊机械设备的设计制作和必要的试验工作。索股、索鞍、索夹应严格执行国家或部颁的行业标准和规定制作，并应进行检测和验收。

18.1.3施工过程中，必须进行施工监控，确保施工质量。

18.1.4本章根据悬索桥施工的基本特点对主要事项作出规定，其余有关事项应按本规范相应章节的规定执行。

18.2 锚碇

18.2.1重力式锚碇基础施工除必须按本规范第4章有关规定执行外，还必须注意以下问题：

1基坑开挖时应采取沿等高线自上而下分层开挖，在坑外和坑底要分别设置排水沟和截水沟，防止地面水流入积留在坑内而引起塌方或基底土层破坏。原则上应采用机械开挖，开挖时应在基底标高以上预留150~30mm土层用人工清理，不要破坏基底结构。如采用爆破方法施工，应使用如预裂爆破等小型爆破法，尽量避免对边坡造成破坏。

2对于深大基坑边坡处理，应采取边开挖边支护措施保证边坡稳定。支护方法应根据地质情况采用。

18.2.2重力式锚碇锚固体体系施工

1型钢锚固体体系可按下列规定进行：

1) 所有钢构件安装均应按照本规范第17章的要求进行。

2) 锚杆、锚梁制造时必须严格按照设计要求进行抛丸除锈、表面涂装和无破损探伤等工作。出厂前应对构件连接进行试拼，其中应包括锚杆拼装、锚杆与锚梁连接、锚支架及其连接系平面试装。

3) 锚杆、锚梁制作及安装精度应符合表18.2.2-1的要求。

2对预应力锚固体体系可按下列规定进行：

1) 预应力张拉与压浆工艺，除需严格按照设计与第12章的要求进行外，锚头要安装防护套，并注入保护性油脂。

2) 加工件必须进行超声波和磁粉探伤检查。

3) 预应力锚固系统施工精度应符合表18.2.2—2的要求。

表18.2.2-1 锚杆、锚梁制作安装要求

项目		规定值或允许偏差
锚杆制造（mm）	长度	±3
	高度	

	宽度	
支架安装 (mm)	中心线偏差	±10
	横向安装锚杆之平联高差	-2, +5
锚杆安装 (mm)	X轴	±10
	Y轴	±5
	Z轴	±5
后锚梁安装	中心偏位	5mm
	偏角	符合设计要求
漆膜厚度		不小于设计要求

表18.2.2-2 预应力锚固系统施工要求

项目	规定值或允许误差
拉杆张力	符合设计要求
前锚孔道中心坐标 (mm)	±10
前锚面孔道角度 (°)	±0.2
拉杆轴线偏位 (mm)	5
连接器轴线 (mm)	5

18.2.3重力式锚碇锚体混凝土施工

1大体积混凝土施工需采取下列措施进行温度控制，防止混凝土开裂。

1) 采用低水化热品种的水泥。对于普通硅酸盐水泥应经过水化热试验比较后方可使用。

2) 采用下列方法降低水泥用量、减少水化热：掺入质量符合要求的粉煤灰和缓凝型外掺剂，粉煤灰用量一般为水泥用量的30%~40%；混凝土可按60d的设计强度进行配合比设计。

3) 降低混凝土入仓温度。可对砂石料加遮盖，防止日照；采用冷却水作为混凝土的拌和水等。

4) 在混凝土结构中布置冷却水管，混凝土终凝后开始通水冷却降温。设计好水管流量、管道分布密度和进水温度，使进出水温差控制在10℃左右，水温与混凝土内部温差不大于20℃。

2大体积混凝土施工时应注意以下问题：

1) 大体积混凝土应采用分层施工，每层厚度可为1~1.5m，应视混凝土浇筑能力和降温措施而定。后一层混凝土浇筑前需对已浇好的混凝土面进行凿毛、清除浮浆，确保混凝土结合面粘结良好。层间间歇宜为4~7d。

2) 根据锚碇的结构型式、大小等采取分块施工，块与块之间预留湿接缝，槽缝宽度宜为1.5~2m，槽缝内宜浇筑微膨胀混凝土。

3) 混凝土浇筑完后应按照规定覆盖并洒水进行养护。当气温急剧下降时须注意保温，并应将混凝土内外温差控制在25℃以内。

18.2.4隧道式锚碇在隧道开挖时应采用小型爆破，并不得损坏周围岩体。开挖后应正确支护并进行锚体灌注。

18.2.5隧道式锚碇混凝土施工应符合以下要求：

1锚体混凝土必须与岩体结合良好，宜采用微膨胀混凝土，防止混凝土收缩与拱顶基岩分离。

2混凝土浇筑完毕后，必须采取混凝土养生措施，确保混凝土的质量。

3洞内应具备排水和通风条件。
18.2.6锚碇混凝土施工精度应符合表18.2.6的要求。

表18.2.6 锚碇混凝土施工精度要求

项目		允许偏差 (mm)
锚碇结构轴线偏位	基础	20
	锚面槽口	10
断面尺寸		±30
基础底面高程	土质	±50
	石质	+50, -200
顶面高程		±50
大面积平整度		5
预埋件位置		符合设计要求

18.3 索 塔

18.3.1塔基、混凝土塔身施工应按第19章中的有关规定进行。
18.3.2塔顶钢框架的安装必须在索塔上系梁施工完毕后方能进
18.3.3塔完工后,须测定裸塔倾斜度、跨距和塔顶标高,作为主缆线形计算调整的依据。
18.3.4塔施工精度应符合表18.3.4的要求。

表18.3.4 索塔施工精度要求

项目	规定值或允许偏差 (mm)
混凝土强度	在合格标准内
塔柱底水平偏位	10
倾斜度	塔高的1/3000,且不大于30或设计要求
断面尺寸	±20
系梁高程	±10
索鞍底板面高程	+10, -0
预埋件位置	符合设计要求

18.4 施工猫道

18.4.1猫道形状及各部尺寸应满足主缆工程施工的需要。猫道面层标高到被架设的主缆底面距离沿全长宜保持一致,宜为1.3~1.5m;猫道净宽宜为3~4m,扶手高宜为1.50m。上、下游猫道间宜设置若干条人行通道,以增强抗风稳定性。
18.4.2猫道承重索可用钢丝绳或钢绞线。设计时充分考虑猫道自重及可能作用其上的其他荷载,承重索的安全系数不小于3.0。猫道宜设抗风缆,确保其稳定性。
18.4.3采用钢丝绳做承重索时,须进行预张拉消除非弹性变形。预张拉荷载不得小于各索破断荷载的1/2,保持60min,进行两次。测长和标记在温度稳定的夜间进行。承重索按被指定的长度切断以后,其端部灌铸锚头,锚头顶面须与承重

索垂直，并对锚头进行静载检验，以策安全。

18.4.4架设时总的原则是：做到对称施工，边跨与中跨作业平衡，减少对塔的变位的影响，控制裸塔塔顶变位及扭转在设计容许范围内。猫道承重索架设后要进行线形调整，应预留500mm以上的可调长度，各根索的跨中标高相对误差宜控制在±30mm之内。承重索在边跨与中跨应连续架设。

18.4.5猫道面层宜由阻风面积小的两层大、小方格钢丝网组成。

18.4.6猫道面层从塔顶向跨中、锚碇方向铺设，并且上、下游两幅猫道要对称、平衡地进行。铺设过程中设牵引及反拉系统，防止面层下滑失控而出现事故及卡环与猫道承重索卡死的现象。

18.4.7中跨、边跨猫道面的架设进度，要以塔的两侧水平力差异不超过设计要求为准。在架设过程中须监测塔的偏移量和承重索的垂度。

18.4.8抗风缆采用钢丝绳时，使用前应进行预张拉。抗风缆架设时宜按先内侧后外侧的架设顺序进行。架设前须先与有关部门联系，设置通航标志，保证航道安全。

18.4.9加劲梁架设前，须将猫道改吊于主缆上，然后解除猫道承重索与塔和锚碇的联结，以利施工控制。

18.4.10主缆防护工程完成以后，可进行猫道拆除工作。拆除时严禁伤及吊索、主缆和桥面。

18.5 主缆工程

18.5.1索股牵引应符合下列规定：

1牵引过程中应对索股施加反拉力。

2牵引最初几根时，宜压低牵引速度，注意检查牵引系统运转情况，对关键部位进行调整后方能转入正常架设工作。

3牵引过程中发现绑扎带连续两处被切断时，应停机进行修补。监视索股中的着色丝，一旦发生扭转，须采取措施加以纠正。

4牵引到对岸，在卸下锚头前须把索股临时固定，防止滑移。索股后端宜施加反拉力。

5索股两端的锚头引入锚固系统前，须将索股理顺，对鼓丝段进行梳理，不许将其留在锚跨内。

6索股横移时，须将索股从猫道滚筒上提起，确认全跨径的索股已离开猫道滚筒后，才能横向移到索鞍的正上方。横移时拽拉量不宜过大，任何人不允许站在索股下方。

18.5.2在索鞍区段内的索股从六边形断面整理呈矩形，其钢丝在矩形断面内的排列应按既能顺利入鞍槽又使空隙率最小的原则。整形过程应在索股处于无应力状态下使用专用的整形器进行。整形完毕的索股方能放入鞍槽，并用木块楔紧。整形时应保持钢丝平顺，不能交叉、扭转，不允许损伤钢丝。

18.5.3索股锚头入锚后进行临时锚固。为便于夜间调整线形，应给索股一定的抬高量（一般为200~300mm），并做好编号标志。

18.5.4索股线形调整应按下列要求执行：

1垂度调整须在夜间温度稳定时进行。温度稳定的条件为：

长度方向索股的温差 $\Delta t \leq 2^{\circ}\text{C}$ ；

横截面索股的温差 $\Delta T \leq 1^{\circ}\text{C}$ 。

1) 绝对垂度调整(即对基准索股标高的调整): 应测定基准索股下缘的标高及跨长, 塔顶标高及变位, 主索鞍预偏量, 散索鞍预偏量, 主缆垂度和标高、气温、索股温度等值后经计算决定其调整量。基准索股标高必须连续三天在夜间温度稳定时进行测量, 三次测出结果误差在容许范围内时取三次的平均值作为该基准索股的标高。

2) 相对垂度调整: 指一般索股相对于基准索股的垂度调整, 按与基准索股若即若离的原则进行调整。

2垂度调整精度标准如下:

索股标高允许误差: 基准索股中跨跨中 $\pm L / 20000$ (L为跨径);

边跨跨中为中跨跨中的2倍;

上下游基准索股高差10mm;

一般索股(相对于基准索股) -5mm, 10mm。

3调整好的索股不得在鞍槽内滑移。

18.5.5索力的调整以设计提供的数据为依据, 其调整量应根据调整装置中测力计的读数和锚头移动量双控确定。其精度要求为: 实际拉力与设计值之间的允许误差为设计锚固力的3%。

18.5.6紧缆工作须分两步进行, 即预紧缆和正式紧缆。

1预紧缆应在温度稳定的夜间进行。预紧缆时宜把主缆全长分为若干区段分别进行, 以免钢丝的松弛集中在一处。索股上的绑扎带采用边紧缆边拆除的方法, 不宜一次全部拆除。预紧缆完成处必须用不锈钢带捆紧, 保持主缆的形状, 不锈钢带的距离可为5~6m, 预紧缆目标空隙率宜为26%~28%。

2正式紧缆宜用专用的紧缆机把主缆整成圆形。其作业可以在白天进行。正式紧缆的方向宜向塔柱方向进行。当紧缆点空隙率达到设计要求时, 在靠近紧缆机的地方打上两道钢带, 其间距可取100mm, 带扣放在主缆的侧下方。紧缆点间的距离约1m。

3正式紧缆质量控制:

1) 空隙率须满足设计要求, 空隙率偏差为 $\pm 2\%$ 。

2) 不圆度(即紧缆后主缆横径与竖径之差)不宜超过主缆设计直径的5%。

18.5.7 主缆防护

1主缆防护应在桥面铺装完成后进行。

2防护前必须清除主缆表面灰尘、油污和水分等污物, 临时覆盖, 待对该处进行涂装及缠丝时再揭开。

3主缆涂装应按涂装设计进行。

4缠丝工作宜在二期恒载作用于主缆之后进行, 缠丝材料以选用软质镀锌钢丝为宜。缠丝工作应由电动缠丝机完成。

1) 缠丝总体方向宜由高处向低处进行, 而两个索夹之间则应从低到高, 以保证缠丝的密实程度。

2) 缠丝始端应设法嵌入索夹内不少于2圈(或按设计要求), 并施加固结焊。

3) 节间内钢丝需要焊接时, 宜用闪光对接焊。钢丝缠绕中须保持设计张力, 缠绕应紧密均匀, 电源应稳定。

4) 缠丝终端应设法嵌入索夹端部槽内并予固结焊, 以免松弛。

5) 一个节间内缠好的钢丝宜用固结焊固结。对接钢丝除施加对接焊外需采用固结焊固结。

5质量控制

钢丝缠绕应密贴，缠丝张力应符合设计要求。

18.6 索 鞍

18.6.1 索鞍安装

1 安装索鞍时必须满足高空吊装重物的安全要求。选择在白天晴朗时连续完成工作。

2 索鞍安装时应根据设计提供的预偏量就位，加劲梁架设、桥面铺装过程中按设计提供的数据逐渐顶推到永久位置。顶推前应确认滑动面的摩阻系数，严格掌握顶推量，确保施工安全。

3 索鞍安装精度见表18.6.1-1和表18.6.1-2。

表18.6.1-1 达式 主索鞍安装精度实测项目

项目	规定值或允许偏差 (mm)
纵向最终偏差	符合设计要求
横向偏位	10
高程	+20, -0
四角高差	2

表18.6.1-2 散索鞍安装实测项目

项目	规定值或允许偏差 (mm)
纵、横向偏位	5
高程	±5
角度	符合设计要求

18.7 索夹与吊索

18.7.1 索夹安装

1 索夹安装前，须测定主缆的空缆线形，提交给设计及监控单位，对原设计的索夹位置进行确认。然后在温度稳定时在空缆上放样定出各索夹的具体位置并编号，清除索夹位置处主缆表面的油污及灰尘，涂上防锈漆。

2 索夹在运输和安装过程中应注意保护，防止碰伤及损坏表面。

3 索夹安装方法应根据索夹结构型式、施工设备和施工人员经验确定。当索夹在主缆上精确定位后，即固紧索夹螺栓。

4 紧固同一索夹螺栓时，须保证各螺栓受力均匀，并按三个荷载阶段（即索夹安装时、钢箱梁吊装后、桥面铺装后）对索夹螺栓进行紧固，补足轴力。索夹位置要求安装准确，纵向误差不应大于10mm。记录每次紧固的数据存档，并交大桥管理部门备查。

18.7.2 吊索制作须按有关产品标准执行。

18.7.3 吊索安装

1 运输、安装过程中保证吊索不受损伤。

2 安装时须采取措施，防止吊索扭转。

18.8 加 劲 梁

18.8.1加劲钢箱梁制作

1本节条款适用于全焊加劲钢箱梁的制造，加劲钢桁架梁的制造可按第17章中的规定执行。

2零部件加工

1) 除施工图及工艺文件另有规定外，零部件加工范围及允许偏差应按表18.8.1-1执行。

表18.8.1-1 零件的加工范围及允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)
零件	范围	
桥面板、桥底板、横隔板、锚底板	四边埋弧自动焊拼板	± 1.5
		± 1.0
加劲股	焊接边(端)	± 2.0

注：①板厚 $t < 10\text{mm}$ 时，板边垂直度偏差不得大于 1mm ；板厚 $t > 10\text{mm}$ 时，板边垂直度偏差为 $0.1t$ ，但不得大于 3mm 。

②马刀形弯曲，长度 10m 及以下允许 2mm ， 10m 以上允许 3mm ，但不得有锐弯。

2) 零部件边缘的加工，应优先选用精密切割。

3) 边缘加工后，必须将边缘刺屑清除干净，磨去飞刺、挂渣及波纹，还应将崩坑等缺陷部位磨修匀顺。

4) 零件应根据零件预留加工量及平直度要求，加工端边。已有孔(或锁口)的零件按孔(或锁口)中心线定位加工边缘。

5) 按设计要求需要刨(铣)加工的零件，刨(铣)边时应避免油污污染钢料，加工面的表面粗糙度 Ra 不大于 $25\mu\text{m}$ ，顶紧加工面与板面垂直度偏差应小于 $0.0t$ (t 为板厚)且不得大于 0.3mm 。

6) 经刨边后的边缘，其表面质量及公差应符合表18.8.1-2的要求。

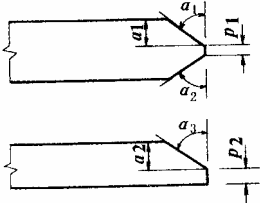
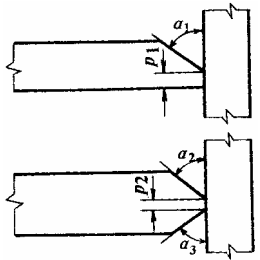
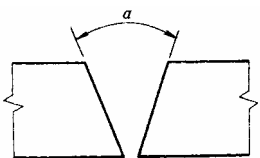
表18.8.1-2 刨边要求及公差

项 目		要求及公差 (mm)
范围	名称	
一般结构	刨削边垂直度	$\leq 0.05t$ 且不大于2
	粗糙度	$Ra \leq 25\mu\text{m}$
顶紧传力面	刨削边垂直度	$\leq 0.01t$ 且不大于0.3
	粗糙度	$Ra \leq 12.5\mu\text{m}$

注： t 为板厚。

7) 焊接坡口的加工偏差应符合表18.8.1-3的规定。

表18.8.1-3 焊接坡口加工允许偏差

简 图	接头类别	允许偏差
	对接接头	a1、a2、a3: $\pm 1^\circ$ a1、a2: $\pm 1\text{mm}$ p1、p2: $\pm 1.5\text{mm}$
	角接头	a1、a2、a3: $\pm 3^\circ$ p1、p2: $\pm 1.5\text{mm}$
	CO ₂ 单面衬垫焊接头	a: $\pm 3^\circ$

3板件、部件及节段组装

1) 组装

(1) 组装前应熟悉施工图和工艺文件，核对编号及图纸无误后方可组装。

(2) 板件、部件及节段组装应在专用平台或胎架上进行，使用专用夹具或马板进行固定，并按工艺要求施放余量或补偿量，在确保产品组装精度、控制焊接变形的条件下应尽量使用夹具，减少使用马板的数量。


(3) 松开马板约束时，必须采用火焰切割的方式进行，并将约束部位修磨匀顺。


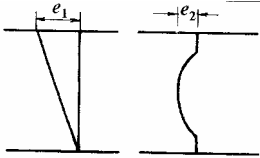
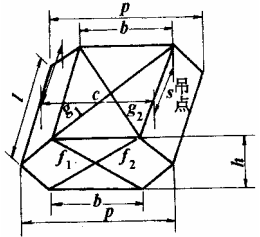
(4) 桥面板、桥底板纵、横对接焊缝应带产品试板，对产品试板进行拉伸试验及焊缝热影响区低温冲击试验。产品试板数量为桥面板、桥底板纵向对接焊缝每10条带1块产品试板，横向对接焊缝每5条焊缝带1块产品试板。

(5) 组装合格后的板块或部件，应在规定部位打上编号钢印。

(6) 组装精度应满足设计要求，设计无规定时，可按表18.8.1-4的要求执行。

表18.8.1-4 组装精度要求

简 图	项 目	允许偏差 (mm)
	搭接接头的间隙	0, 2

	接合的错位	小于 $t/5$ ，且不大于4（ t 为板厚）
	横向构件与理论线位置偏差	± 2
	纵隔板和横隔板垂直度和平面度	$e_1 \leq 3$ $e_2 \leq 4$
	纵向构件与理论线位置偏差	± 1
	一般箱形梁节段的外形尺寸	$b: \pm 3$ $p: \pm 3$ $l: \pm 2$ $c: \pm 2$ $s: \pm 2$ $h = \pm 2$ （端口处） $h = \pm 4$ （其他） $ f_1 - f_2 \leq 4$ 吊点四角平面度小于等于5 $ g_1 - g_2 \leq 5$

2) 焊接

(1) 焊接要求除本章要求外执行第17.2.6条的规定。

(2) 焊缝超声波无损探伤范围、内部质量分级及检验等级应符合表18.8.1-5的规定。

表18.8.1-5 焊缝超声波无损探伤范围、内部质量分级及检验等级

项目	探伤方法	适用范围	探伤范围	质量等级	检验等级
对接焊缝	超声波	桥面板、桥底板、风嘴（参与强度计算时）的纵、横向对接焊缝	全长	I级	B级
	超声波	U肋、球扁钢、扁钢等的对接焊缝；加劲肋的对接焊缝；隔板对接焊缝	全长	II级	B级
角焊缝	超声波	U肋、球扁钢、扁钢与桥面板、桥底板、风嘴的角焊缝；加劲肋的对接焊缝；隔板与桥板的角焊缝	全部杆件两端各1m，中间加探1m	II级	B级
	超声波	锚箱本体的角焊缝及与锚箱连接处的角焊缝	全长	II级	B级

	磁粉或 渗透	锚箱本体的角焊缝及与锚 箱连接处的角焊缝	全长		
--	-----------	-------------------------	----	--	--

(3) 焊缝的超声波探伤应符合现行《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》(GB11345)的规定。

(4) 焊缝的磁粉探伤应符合现行《焊缝磁粉检验方法和缺陷磁痕的分级》(JB / T6061)的规定。

(5) 焊缝的渗透探伤应符合现行《焊缝渗透检验方法和缺陷迹痕的分级》(JB / T6062)的规定。

(6) 桥面板、桥底板、风嘴(参与强度计算时)的纵、横向对接焊缝须进行射线探伤。纵缝按接头数量的10%进行射线探伤,探伤范围为焊缝两端各250~300mm,接焊长度大于2m时中间加探250~300mm。横缝应按横缝长度的5%随机进行射线探伤。

(7) 焊缝的射线探伤应符合现行《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》(GB3323)的规定。射线照相质量等级为AB级;焊缝内部质量为Ⅱ级。

(8) 焊缝修磨和返修:

①外观检查超标者应按第17章表17.2.7-1进行返修;

②超出规定的内部缺陷应在查明原因后用碳弧气刨清除缺陷,用手工焊进行返修;

③返修焊后的焊缝应修磨匀顺,并按原质量标准进行复检。

3) 部件矫正

(1) 部件矫正时,应优先采用机械矫正方法,矫正时应缓慢加力,环境温度不应低于5℃,冷矫角变形总量不应大于2%。

(2) 仅做定位焊或焊缝尚未完成的构件,不宜进行矫正。

(3) 板件和节段应在装焊完毕松弛约束后进行矫正。

(4) 热矫时加热温度应控制在600~800℃范围,同一部位加热不宜超过2次。

4试拼装

1) 钢梁应按拼装图进行厂内试拼装,试拼不少于3个节段,按架梁顺序进行试拼装。

2) 试拼装前,应认真做好各项准备工作,仔细检查试拼装胎位、工具、仪器及吊具是否完好和安全可靠。

3) 依据设计图及工艺文件核对每个零件、部件、梁段,不允许使用未经检验或不合格的零部件及梁段参加厂内试拼装。

4) 每次试拼按第17章表17.2.8-1和表17.2.8-2进行检测,

其结果应有详细的记录,首次由工厂技术负责主管组织鉴定,其余各次由工厂检验部门检验确认合格后方可进行下道工序。

5成品

1) 成品梁段基本尺寸允许偏差应符合表18.8.1-6的要求。

2) 钢梁成品应由工厂检验部门进行全面检查、验收,并与业主委派的质量监理工程师共同确认,合格后方可填发产品合格证。

3) 成品移交用户时,工厂应提供下列文件

(1) 产品合格证;

(2) 完工图;

(3) 工厂内试拼装记录;

(4) 焊缝重大修补检验记录。

表18.8.1-6 梁段验收允许误差

项 目		允许误差 (mm)
名 称	范 围	
跨度 (L)	L为三段试装时最外两吊点的中心距 (m)	$\pm (5+0.15L)$
	分段时两吊点中心距	± 2
全长	分段累加总长	± 20
	分段长	± 2
盖板宽	盖板单元纵向有对接时的盖板宽	± 1
	箱梁段的盖板宽	± 3
旁弯	桥面中心线在平面内的偏差, L为三段试装长度 (m)	$3+0.1L$ 最大12
	单段箱梁	≤ 5
拱度	L为跨度或试装匹配时三段的长度(m)	超过的+ $\{3+0.15L$ 最大12 不足的- $\{3+0.15L$ 最大6
工地对接板面高低差	安装匹配件后板面高差	≤ 1.5

注：梁高 (H)，腹板中心距，横截面对角线差，左右支点高度差 (吊点)，盖板、腹板平面度，扭曲等项目验收条件见表17.3.3和表18.8.1-4。

18.8.2 钢箱梁安装

1待索夹、吊索安装完毕并做好以下前期准备工作后方可进行吊装：

- 1) 对桥下地形及河床进行探测，根据实际情况进行清理。
- 2) 潮汐河段须掌握桥位区海域水文情况，了解该处潮汐变化规律。
- 3) 完成施工组织设计，并经审定。
- 4) 确定吊装期间封航和航道运输管理方案。
- 5) 应充分掌握有关气象资料，特别是突发性风情预报，并做好防范措施。
- 6) 吊机安装就位，并完成各项设备安装及检查工作。

2安装钢箱梁的吊机可选用卷扬机提升跨缆吊机或液压提升跨缆吊机，启用前必须进行试吊。

3吊装方法可根据以下情况选定：

- 1) 如能将梁段运至吊点位置处，可采用垂直起吊法架设。
- 2) 因河床的限制，梁段不能运至吊点正下方时，可将吊机偏位将梁段垂直起吊，然后纵向牵引箱梁就位。

4吊装过程应符合下面规定：

- 1) 吊装过程必须严格遵守高空作业及水上作业的安全规定。
- 2) 吊装过程应观察索塔变位情况，应根据设计要求和实测塔顶位移量分阶段调整索鞍偏移量，以保证工程质量和施工安全。
- 3) 安装前应确定安装顺序，一般可以从中跨跨中对称地向两边进行，安装完一段跨中梁段后，再从两边跨对称地向索塔方向进行。
- 4) 钢箱梁水上运输必须由有经验的人员担任。架设前，宜进行现场驳船定位试验，以保证定位精度。

5) 各工作面上, 吊装第二节段起须与相邻节段间预偏一定间隙(0.5~0.8m), 至标高后, 牵拉连接, 避免吊装过程与相邻节段发生碰伤, 影响吊装工作进行。

6) 安装合龙段前, 必须根据实际的合龙长度, 对合龙段长度进行修正。

5 调试和定位

1) 在节段吊装过程中应对箱梁节段接头进行测试, 并随时拧紧定位临时螺栓。

2) 当节段吊装超过一定数量时, 跨中段的挠度曲线趋于平缓, 接近设计要求, 此时可对该接头进行定位焊, 随节段吊装的增加, 其他节段的挠度曲线将逐渐趋于平缓, 其他节段接头也将就位, 可实施定位焊。

6 工地焊接

1) 工地焊接应做工艺评定, 并严格按工地焊接工艺进行工地焊接。

2) 工地焊缝焊接前应用钢丝砂轮进行焊缝除锈, 并在除锈后24h内进行工地焊接。

3) 焊接前应检查接头坡口、间隙和板面高低差是否符合要求, 同时检查环境是否满足工地焊接的环境要求, 如不满足应采取措施。

工地焊接环境要求: 风力<5级; 温度>5℃; 湿度<85%。

雨天不能进行工地焊接(箱内除外)。

4) 工地接头焊接时, 应注意温度变化对接头焊接的影响。安装时须有足够数量的固定点并保证足够的强度。当工地焊缝形成并具有足够的刚度和强度时, 方能解除安装固定点, 防止焊缝裂纹及接口处错边量超差。

5) 箱内焊接须有通气排尘措施, 钢桥上应有安全用电措施, 确保施工安全。

6) 桥面板和桥底板应使用单面焊双面成形技术, 其他结构应尽可能采用高效焊接以减少焊接变形。当箱内采用CO₂气体保护焊时, 应采取通风防护安全措施。

7) 为控制变形, 应对施焊顺序进行控制, 横向施焊顺序宜从桥面中轴线向两侧焊接, 并尽量做到对称施焊。

8) 工地焊接接头应进行100%的超声波探伤, 其中抽其30%进行X光探伤拍片检查, 当有一片不合格时则对该焊缝进行100%的X光拍片。

9) 纵向加劲肋的对接接缝只做超声波探伤。

10) 焊缝缺陷的修补应按第17章的有关规定执行。

7 工地涂装

1) 工地焊接后应按防腐设计要求进行表面处理。

2) 工地焊接的表面补涂油漆应在表面除锈24h内进行, 分层补涂底漆和面漆, 并达到设计的漆膜总厚度。

3) 根据技术文件的要求, 工地焊接完成后, 应按涂装工艺文件的要求涂箱外装饰面漆。

18.8.3 钢桁架梁安装可按第17章钢桥及第18.8.2条的有关规定执行。悬臂吊装时, 可先利用塔顶的吊装设备安装好靠塔柱的节段, 再在桁梁上安装移动式悬臂吊机, 利用移动式悬臂吊机从塔柱往主跨跨中及锚碇方向对称均衡地将桁梁安装到位。对于桁梁节段重量较轻者, 也可采用缆索吊装。

18.8.4 钢加劲梁的安装应符合表18.8.4的要求。

表18.8.4 钢加劲梁安装后的允许偏差

项 目	规定值或允许偏差 (mm)
吊点偏位	20
箱或桁梁顶面高程在两吊索处高差	20
相邻节段匹配高差	2
吊索防护	符合设计要求
箱或桁梁段工地连接	符合本规范和设计要求
钢箱或桁梁工地防护	符合设计要求

18.9 钢桥面铺装

18.9.1钢桥面板出厂时应按设计要求涂防锈漆，在桥面铺装前应喷丸除锈。

18.9.2钢桥面铺装施工应符合设计要求，施工前应对各种材料进行调查试验，并对各种施工机械和设备做全面检查。铺装各层施工前应进行施工试验。

18.9.3钢桥面铺装施工时在一道工序完工之后，下道工序应紧跟或尽快进行，施工前下层应保持干燥、整洁，不得有尘土、杂物、油污或损坏，当不符合要求时应予处理。除沥青铺装层外，完工后的铺装层表面严禁通行非施工车辆。

18.9.4沥青铺装施工之前，必须铺筑试验段，以验证沥青混合料配合比设计结果，并确定沥青混合料施工工艺。

18.9.5沥青铺装施工气温不得低于15℃，且应在钢桥面左右两幅平行对称分段铺筑。

18.9.6钢桥面人行道及中央分隔带铺装，除沥青铺装外其余应与行车道相同。沥青铺装层宜人工铺筑，当使用大型压路机有困难时，应采用小型振动压路机或振动夯板压实，对不能采用压实机具的部位，可采用人工夯实。

18.9.7质量检查与验收

钢桥面沥青铺装的质量检查与验收标准应符合现行《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071)的规定。对钢桥面沥青铺装进行检测时，不得采用钻孔法，而应改用其他适合的办法。

18.10 其 他

18.10.1伸缩装置

1悬索桥桥面铺装施工前应安装好伸缩装置。

2当伸缩装置一端为钢梁另一端为混凝土梁时，则在靠混凝土梁一端底座及端头约800mm范围内，必须用高强度混凝土或特种混凝土，提高其抗压强度及耐冲击能力。

3伸缩装置安装时应严格遵守重物吊装及运输安全有关规定，结构焊接可按伸缩装置制作厂家提供的技术标准执行。

18.10.2 支座

1支座安装前必须认真地检查支座的制作质量及加工精度，满足设计要求后方可使用。

2安装方法可先与梁段连接好后随梁段吊装就位，此时对梁段吊点位置必须考虑支座重量，如现场安装施工条件较好时，也可等梁段就位后安装。

3安装精度应符合表18.10.2的要求。

表18.10.2 支座安装精度

支座类型	允许偏差 (mm)		
竖向支座	纵轴	横轴	标高
	±5	±5	±10
抗风支座	牛腿垂直度	与牛腿侧面的间隙	
	±10	2	

注：竖向支座垫石钢板平整度允许偏差为2mm。

18.10.3 防撞栏安装

可按第 20 章的有关内容执行。

19 斜拉桥

19.1 一般规定

19.1.1 本章适应于预应力混凝土斜拉桥、钢斜拉桥、钢—混凝土叠合梁斜拉桥、混合梁斜拉桥以及吊拉组合斜拉桥的制作、安装施工。

19.1.2 本章根据斜拉桥施工的基本特点对主要事项作出规定，其余有关事项应按本规范相应章节的规定执行。

19.1.3 斜拉桥施工与设计有互补和互反馈关系，施工前应全面了解设计的要求和意图，编制施工组织设计，使成桥线形和内力符合设计要求。

19.1.4 斜拉桥施工组织设计的主要内容应包括：

- (1) 基础、墩塔和主梁的施工工艺；
- (2) 塔、梁施工控制及施工测量方法；
- (3) 拉索制作、安装、张拉及锚固工艺。

19.1.5 梁的施工方法可视设计要求、桥位条件、施工经验、设备状况及技术经济比较选定。

19.2 索塔

19.2.1 索塔的施工可视其结构、体形、材料、施工设备和设计要求综合考虑选用适合的方法。裸塔施工宜用爬模法，横梁较多的高塔宜采用劲性骨架挂模提升法。

19.2.2 索塔施工，除设置相应的塔吊外，还应设置工作电梯及安全通道。

19.2.3 斜拉桥施工时应避免塔梁交叉施工干扰。必须交叉施工时应根据设计和施工方法采取保证塔梁质量和施工安全的措施。

19.2.4 索塔横梁施工时应根据其结构、重量及支撑高度设置可靠的模板和支撑系统，考虑弹性和非弹性变形、支承下沉、温差及日照的影响。必要时应设支承千斤顶调控。体积过大的横梁可两次浇筑。

19.2.5 斜塔柱施工时，必须对各施工阶段塔柱的强度和变形进行计算，应分高度设置横撑，使其线形、应力、倾斜度满足设计要求并保证施工安全。

19.2.6 索塔混凝土现浇应选用输送泵施工，超过一台泵的工作高度时，允许接力泵送，但必须做好接力储斗的设置，并尽量降低接力站台高度。

19.2.7 宜在索塔施工中设置劲性钢骨架，以保证索管空间定位精度和钢筋架立的

精度。

19.2.8索塔施工组织设计中必须制定整体和局部的安全措施。

1设置运输安全设施，如塔吊起重量限制器、断索防护器、钢索防扭器、风压脱离开关等。

2防范雷击、强风、暴雨、寒暑、飞行器对施工的影响。

3防范吊落和作业事故并有应急的措施。

4应对塔吊、支架安装、使用和拆除阶段的强度稳定等进行计算和检查。

19.2.9必须避免上部塔体施工时对下部塔体表面的污染。

19.3 主 梁

19.3.1主梁施工时必须进行施工控制，即对梁体每一施工阶段的结果进行详细的检测分析和验算，以确定下一施工阶段拉索张拉量值和主梁线形、高程及索塔位移控制量值，周而复始直至合龙成桥。

19.3.2施工监控测试的主要内容

(1) 变形：主梁线形、高程、轴线偏差、索塔的水平位移；

(2) 应力：拉索索力、支座力以及梁塔应力在施工过程中的变化；

(3) 温度：温度场及指定测量时间塔、梁、索的变化。

19.3.3非与索塔结构固结的主梁，施工时必须使梁塔临时固结，并按要求程序解除临时固结，完成设计的支承体系。必须加强施工期内对临时固结的观察。

19.3.4混凝土主梁

1主梁零号段及其两旁的梁段，在支架和塔下托架上浇筑时，应消除温度、弹性和非弹性变形及支承等因素对变形和施工质量的不良影响。

2采用挂篮悬浇主梁时，除应符合梁桥挂篮施工的有关规定外，还应按下列规定执行：

1) 挂篮的悬臂梁及挂篮全部构件制作后均应进行检验和试拼，合格后再于现场整体组装检验，并按设计荷载及技术要求进行预压，同时测定悬臂梁和挂篮的弹性挠度、调整高程性能及其他技术性能。

2) 挂篮设计和主梁浇筑时应考虑抗风振的刚度要求。

3) 拉索张拉时应对称同步进行，以减少其对塔与梁的位移和内力影响。

3为防止合龙梁段施工出现的裂缝，应采用以下方法改善受力和施工状况：

1) 在梁上下底板或两肋端部预埋临时连接钢构件，或设置临时纵向连接预应力索，或用千斤顶调节合龙口的应力和合龙口长度。

2) 合龙两端高程在设计允许范围内时，可视情况进行适当压重。

3) 观测合龙前连日的昼夜温度场变化与合龙高程及合龙口长度变化的关系，选定适当的合龙浇筑时间。

4) 合龙梁段浇后至纵向预应力索张拉前应禁止施工荷载的超平衡变化。

4主梁采用悬拼时，除应遵守连续梁及斜拉桥主梁悬浇的有关规定外，还应按下列规定施工：

1) 预制梁段，如设计无规定，宜选用长线台座（可分段设置），亦可采用多段的联线台座，每联宜多于5段，先预制顺序中的1、3、5段，脱模后再在其间浇2、4段，使各端面啮合密贴，端面不应随意修补。

2) 应在底模上调整主梁分段形体所受竖曲线的影响。拼装中多段积累的超误差，可用湿接缝调整。

- 3) 梁段拼合前应试拼, 以便及时调整。
 - 4) 湿接缝拼合面应进行表面凿毛和清扫, 干接缝应保持结合面清洁, 粘料应涂刷均匀。
 - 5) 采用垫片调整梁段拼装线形时, 每次垫片调整的高程不应大于20mm。
 - 5 长拉索在抗振阻尼支点尚未安装前, 应采用钢索或杆件(平面索时)将一侧拉索联结以抑制和减小拉索的振动。
 - 6 大跨径主梁施工时应缩短双向长悬臂持续时间, 尽快使一侧固定, 以减少风振的不利影响, 必要时应采取临时抗风措施。
- 19.3.5 钢主梁(包括叠合梁和混合梁)**
- 1 钢主梁应由资质合格的专业单位加工制作、试拼, 经检验合格后安全运至工地备用。堆放应无损伤、无变形和无腐蚀。
 - 2 钢梁制作的材料应符合设计要求。焊接材料的选用、焊接要求、加工成品、涂装等项的标准和检验内容均应按本规范第17章、第18章的有关规定执行。
 - 3 应进行钢梁的连日温度变形观测对照, 确定适宜的合龙温度及实施程序, 并应满足钢梁安装就位时高强螺栓定位所需的时间。

19.4 拉 索

19.4.1 拉索和锚具的制作

- 1 拉索及其锚具应委托专业单位制作, 严格执行国家或部颁的行业标准和规定生产, 并应进行检测和验收。
- 2 拉索成品、锚具交货时应提供下列资料:
 - (1) 产品质量保证书、产品批号、设计索号及型号、生产日期、数量、长度、重量等;
 - (2) 产品出厂检验报告及有关数据。
- 3 拉索的运输和堆放应无破损、无变形、无腐蚀。

19.4.2 拉索的安装与张拉

- 1 拉索安装可根据塔高、布索方式、索长、索径、索的刚柔程度、起重设备和施工现场状况等综合选择架设方法。
- 2 安装前应根据索长、索重、斜度和风力等因素计算其安装过程中锚头距索管口2.0m、1.0m, 距锚板0.70m以及锚头带锚环时的牵引力, 以综合选择架设方案和设备。
- 3 施工中不得损伤索体保护层和索端锚头及螺纹, 不得堆压弯折索体。
 - 1) 不得用起重钩或易于对索体产生集中应力的吊具直接挂扣拉索, 宜用带胶垫的管形夹具尼龙吊带或设置多吊点起吊。
 - 2) 放索时索体应贴在特制的滚轮上拖拉, 并应控制索盘的转速, 防止转速突变或倾覆。
 - 3) 为防止锚头和索体穿入塔、梁索管时的偏位和损伤, 应在放管处设置控制的力点或限位器调控。
 - 4) 安装过程中锚头螺纹应包裹, 及时清除拉索的包护物。拉索防护层和锚头损伤应及时修补并记入有关表格存档以便跟踪维护。
- 4 施工中, 拉索抗振的约束环和减振器未安装前, 必须确保索管(特别是梁上索管)和锚端的防水、防腐和防污染。
- 5 斜拉桥拉索的张拉应按下列各项执行:

1) 张拉施工的设备和方法应根据设计的索型、锚具、布索方式，塔和梁的构造确定。

2) 拉索张拉的顺序、级次数和量值应按设计规定执行。应以振动频率计测定的索力或油压表量值为准，以延伸值作校核，并应视拉索防振圈以及弯曲刚度的状况对测值予以修正。

3) 拉索张拉可于塔端或梁端单端进行，也可顶升索鞍支座进行。平行钢丝拉索宜采用整体张拉，平行钢绞线拉索可用整体或分索张拉，分索张拉应按“分级”、“等力”的原则进行，每根同级的索力允许误差为 $\pm 1\%$ 。

4) 索塔顺桥向两侧的拉索（组）和桥横向对称的拉索（组）必须对称同步张拉；同步张拉的不同步索力的相差值不得超出设计规定；两侧不对称的或设计拉力不同的拉索，应按设计规定的索力分级同步张拉，各千斤顶同步之差不得大于油表读数的最小分格，索力终值误差小于 $\pm 2\%$ 。

5) 拉索锚固时不宜在锚环与承压板间加垫，需要加垫时，其垫圈材料和强度应符合承压要求，并应设成两个密贴带扣的半圆。

6) 拉索张拉完成后，悬臂施工跨中合龙前后，当梁体内预应力钢筋全部张拉完且桥面及附属设备安装完时，应采用传感器或振动频率测力计检测各拉索索力值，同时应视防振圈及索的弯曲刚度等状况对测值予以修正。每组及每索的拉力误差超过设计规定时应进行调整，调整时可从超过设计索力最大或最小的拉索开始（放或拉），直调至设计索力。调索时应对塔和相应梁段进行位移检测，并做出存档记录，记录内容包括日期、时间、环境温度、索力、索伸缩量、桥面荷载状况、塔梁的变位量及主要相关控制断面应力等。

19.5 质量标准

19.5.1 斜拉桥基础、混凝土、钢筋、预应力筋及钢结构等方面的施工质量标准，应参照本规范中的有关规定执行。

19.5.2 斜拉桥索塔和梁的施工质量标准

1 钢筋混凝土索塔的施工质量标准见表19.5.2-1。

表19.5.2-1 钢筋混凝土索塔

项目	规定值或允许偏差（mm）
混凝土强度	在合格标准内
地面处水平偏位	10
倾斜度	塔高的1 / 3000，且不大于30或设计要求
断面尺寸	± 20
锚固点高程	± 10
系梁高程	± 10
孔道位置	10，且两端同向

2 悬臂浇筑混凝土梁的施工质量标准见表19.5.2-2。

表19.5.2-2 悬臂浇筑混凝土梁

项 目	规定值或允许偏差
-----	----------

混凝土强度 (MPa)		在合格标准内
轴线偏位 (mm)	$L \leq 100m$	10
	$L > 100m$	$L/10000$
斜拉索拉力 (kN)		符合设计要求
断面尺寸 (mm)	高	+5, -10
	顶高	±30
	板厚	+10, 0
梁锚固点高程 (mm)	$L \leq 100m$	±20
	$L > 100m$	± $L/5000$
锚具轴线与孔位轴线偏位 (mm)		5

注：L为跨径。

3悬臂拼装钢筋混凝土梁应符合表19.5.2-3的要求，

表19.5.2-3 悬臂拼装混凝土梁的施工要求

项 目		规定值或允许偏差
轴线偏位 (mm)	$L \leq 100m$	10
	$L > 100m$	$L/10000$
斜拉索拉力 (kN)		符合设计要求
锚具轴线与孔道轴线偏位 (mm)		5
梁锚固点高程 (mm)	$L \leq 100m$	$L > 100m$
	±20	± $L/5000$
合龙段混凝土强度 (MPa)		在合格标准内

注：L为跨径。

4悬臂施工钢及钢筋混凝土结合梁，应符合表19.5.2-4的要求。

表19.5.2-4 悬臂施工结合梁施工要求

项 目		规定值或允许偏差
轴线偏位 (mm)	$L \leq 200m$	10
	$L > 200m$	$L/20000$
混凝土强度 (MPa)		在合格标准内
混凝土板断面尺寸 (mm)	厚	+10, -0
	宽	±30
斜拉索拉力 (kN)		符合设计要求
梁锚固点顶面高程 (mm)	$L \leq 200m$	±20
	$L > 200m$	± $L/10000$
钢梁防护		涂装符合设计要求

注：L为跨径。

20 桥面及附属工程

20.1 一般规定

20.1.1 本章适用于桥面及附属工程的施工。

20.1.2 板式橡胶支座应符合现行《公路桥梁板式橡胶支座》(JT / T4)标准的规定。安装是相当重要的环节,对水平面应仔细校核,支座不得发生偏歪,不能脱空。盆式橡胶支座应符合现行《公路桥梁盆式橡胶支座》(JT391)标准的规定。支座安装位置应准确,并注意安装平整,且盆式橡胶支座应注意使其滑动方向符合设计要求。

20.1.3 橡胶伸缩装置应符合现行《公路桥梁橡胶伸缩装置》(JT / T327)标准的规定。伸缩装置的位置、构造应按设计规定办理。安装各种伸缩装置时,定位值均应通过计算决定。

梁体温度应测量准确,伸缩体横向高度应符合桥面线形。装设伸缩装置的缝槽应清洁干净,如有顶头现象或缝宽不符合设计要求时,应凿剔平整。现浇混凝土时宜在接缝伸缩开放状态下浇筑,应防止已定位的构件变位。伸缩缝两边的组件及桥面应平顺,无扭曲。

梳形钢板伸缩装置、板式橡胶伸缩装置,施工前必须认真做好伸缩装置部位的清理工作。施工中应加强锚固系统的锚固,防止锚固螺栓松动,螺帽脱落,注意养护。

20.1.4 沥青混凝土桥面铺装的施工应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032)的有关规定。

20.1.5 桥面防护的防撞护栏的施工应符合现行《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》(JTJ074)的有关规定。

20.2 支 座

20.2.1 板式橡胶支座

板式橡胶支座安装时,应注意下列事项:

1 橡胶支座在安装前,应检查产品合格证书中有关技术性能指标,如不符合设计要求时,不得使用。

2 支座下设置的支承垫石,混凝土强度应符合设计要求,顶面要求标高准确,表面平整,在平坡情况下同一片梁两端支承垫石水平面应尽量处于同一平面内,其相对误差不得超过 3mm,避免支座发生偏歪、不均匀受力和脱空现象。

3 安装前应将墩、台支座垫石处清理干净,用干硬性水泥砂浆抹平,并使其顶面标高符合设计要求。

4 将设计图上标明的支座中心位置标在支承垫石及橡胶支座上,橡胶支座准确安放在支承垫石上,要求支座中心线同支承垫石中心线相重合。

5 当墩、台两端标高不同,顺桥向有纵坡时,支座安装方法应按设计规定办理。

6 吊装梁、板前,抹平的水泥砂浆必须干燥并保持清洁和粗糙。梁、板安放时,必须仔细,使梁、板就位准确且与支座密贴,就位不准时,或支座与梁板不密贴时,必须吊起,采取措施垫钢板和使支座位置限制在允许偏差内,不得用撬棍移动梁、板。

20.2.2 盆式橡胶支座

支座规格和质量应符合设计要求,支座组装时其底面与顶面(埋置于墩顶和梁底面)的钢垫板,必须埋置密实。垫板与支座间平整密贴,支座四周不得有 0.3mm 以上的缝隙,严格保持清洁。活动支座的聚四氟乙烯板和不锈钢板不得有刮伤、撞伤。氯丁橡胶板块密封在钢盆内,要排除空气,保持紧密。

1 活动支座安装前用丙酮或酒精仔细擦洗各相对滑移面,擦净后在四氟滑板

的储油槽内注满硅脂类润滑剂，并注意硅脂保洁；坡道桥注硅脂应注意防滑。

2 盆式橡胶支座的顶板和底板可用焊接或锚固螺栓栓接在梁体底面和墩台顶面的预埋钢板上；采用焊接时，应防止烧坏混凝土；安装锚固螺栓时，其外露螺杆的高度不得大于螺母的厚度；现浇梁底部预埋的钢板或滑板，应根据浇筑时的温度、预应力张拉、混凝土收缩与徐变对梁长的影响，设置相对于设计支承中心的预偏值。

20.2.3 球形支座

球形支座各向转动性能一致，适用于弯桥、坡桥、斜桥、宽桥及大跨径桥，球形支座无承重橡胶块，特别适用于低温地区。

1 支座出厂时，应由生产厂家将支座调平，并拧紧连接螺栓，以防止支座在安装过程中发生转动和倾覆。支座可根据设计需要预设转角及位移，但施工单位应在订货前提出预设转角及位移量的要求，由生产厂家在装配时预先调整好。

2 支座安装前方可开箱，并检查装箱清单，包括配件清单、检验报告复印件、支座产品合格证书及支座安装养护细则。施工单位开箱后，不得任意转动连接螺栓，并不得任意拆卸支座。

3 支座安装高度应符合设计要求，要保证支座平面的水平及平整。支座支承面四角高差不得大于 2mm。

4 支座安装注意事项：

1) 支座开箱并检查清单及合格证。

2) 安装支座板及地脚螺栓：在下支座板四周用钢楔块调整支座水平，并使下支座板底面高符合设计要求，找出支座纵、横向中线位置，使之符合设计要求。用环氧砂浆灌注地脚螺栓孔及支座底面垫层。

3) 环氧砂浆硬化后，拆除支座四角临时钢楔块，并用环氧砂浆填满抽出楔块的位置。

4) 在梁体安装完毕后，或现浇混凝土梁体形成整体并达到设计强度后，在张拉梁体预应力之前，拆除上、下支座连接板，以防止约束梁体正常转动。

5) 拆除上、下支座连接板后，检查支座外观，并及时安装支座外防尘罩。

6) 当支座与梁体及墩台采用焊接连接时，应先将交座准确定位后，用对称间断焊接，将下支座板与墩台上预埋钢板焊接，焊接时应防止烧伤支座及混凝土。

5 支座在试运营期一年后应进行检查，清除支座附近的杂物及灰尘，并用棉丝仔细擦除不锈钢表面的灰尘。

20.2.4 其他特殊型式支座：聚四氟乙烯滑板式支座、圆形板式橡胶支座等。

1 聚四氟乙烯滑板式橡胶支座，四氟板表面应设置贮油槽，支座四周设置防尘设施，在安装时应注意以下几点：

1) 墩台上设置的支承垫石，其标高应考虑预埋的支座下钢板厚度，或在支承垫石上预留一定深度的凹槽，将支座下钢板用环氧树脂砂浆粘结于凹槽内。

2) 在支座下钢板上及四氟滑板式支座上标出支座位置中心线，两者中心线相重合放置，为防止施工时移位，应设置临时固定措施。安装时宜在与年平均气温相差不大时进行。

3) 梁底预埋有支座上钢板，与四氟滑板式支座密贴接触的不锈钢板嵌入梁底上钢板内，或用不锈钢沉头螺钉固定在上钢板上，并标出不锈钢板中心线位置。安装支座时，不锈钢板、四氟板表面均应清洁、干净，在四氟滑板表面涂上硅脂油，落梁时要求平稳、准确，无振动，梁与支座密贴，不得脱空。

4) 支座正确就位后，拆除临时固定装置，采取安装防尘围裙措施。

2 圆形板式橡胶支座安装注意事项同本条第 1 款。
20.2.5 支座安装的质量标准见表 20.2.5。

表 20.2.5 支座安装规定值或允许偏差

检 查 项 目		规定值或允许偏差
支座中心与主梁中线 (mm)		应重合, 最大偏差<2
高 程		符合设计要求
支座四角高差 (mm)	承压力≤5000kN	<1
	承压力>5000kN	<2
支座上下各部件纵轴线		必须对下
活动支座	顺桥向最大位移(mm)	±250
	双向活动支座横桥向最大位移(mm)	±25
	横轴线错位距离(mm)	根据安装时的温度与年平均最高、最低温 差计算确定
	支座上下挡块最大偏差的交叉角	必须平行<5'

20.3 伸缩装置

20.3.1 梳形钢板伸缩装置

1 采用梳形钢板伸缩装置安装时的间隙, 应按安装时的梁体温度决定, 一般可按式(20.3.1)计算:

$$\Delta_1 = l - l_1 + l_2 \quad (20.3.1)$$

式中: Δ_1 ——安装时的梳形板间隙;

l ——梁的总伸缩量;

l_1 ——施工时梁的伸长量, 应考虑混凝土干燥收缩引起的收缩量, 预应力混凝土梁还应考虑混凝土徐变引起的收缩量;

l_2 ——富裕量。

2 梳形钢板伸缩装置所用钢材的力学性能应符合有关规定。安装时注意事项见第 20.1.3 条。

3 应设置橡胶封缝条防水。

20.3.2 橡胶伸缩装置

1 采用橡胶伸缩装置时, 材料的规格、性能应符合设计要求。根据桥梁跨径大小或连续梁(包括桥面连续的简支梁)的每联长度, 可分别选用纯橡胶式、板式、组合式橡胶伸缩装置。对于板式橡胶伸缩装置, 应有成品解剖检验证明。安装时, 应根据气温高低, 对橡胶伸缩体进行必要的预压缩。气温在 5℃以下时, 不得进行橡胶伸缩装置施工。

2 采用后嵌式橡胶伸缩体时, 应在桥面混凝土干燥收缩完成且徐变也大部完成后再进行安装。

3 伸缩装置安装时应注意下列事项:

1)检查桥面板端部预留空间尺寸、钢筋, 注意不受损伤, 若为沥青混凝土桥面铺装, 宜采用后开槽工艺安装伸缩缝, 以提高与桥面的顺适度。

2)根据安装时的环境温度计算橡胶板伸缩装置的模板宽度与螺栓间距。将准备好的加强钢筋与螺栓焊接就位，嗣后浇筑混凝土与养生。

3)将混凝土表面清洁后，涂防水胶粘材料。利用调正压缩的工具，将伸缩装置安装就位，安装时注意事项见第 20.1.3 条。向伸缩装置螺栓孔内灌注防蚀剂后，注意及时盖好盖帽。

20.3.3 模数式伸缩装置

1 伸缩装置由异形钢梁与单元橡胶密封带组合而成的称为模数式伸缩装置。它适用于伸缩量为 80~1200mm 的桥梁工程。

2 伸缩装置中所用异形钢梁沿长度方向的直线度应满足 $1.5\text{mm} / \text{m}$ ，全长应满足 $10\text{mm} / 10\text{m}$ 的要求。伸缩装置钢构件外观应光洁、平整，不允许变形扭曲。

3 伸缩装置必须在工厂进行组装。组装钢构件应进行有效的防护处理。吊装位置应用明显颜色标明。出厂时应附有效的产品质量合格证明文件。

4 伸缩装置在运输中应避免阳光直接曝晒，雨淋雪浸，并应保持清洁，防止变形，且不能与其他物质相接触，注意防火。

5 伸缩装置施工安装时注意事项：

1)要按照设计核对预留槽尺寸，预埋锚固筋若不符合设计要求，必须首先处理，满足设计要求后方可安装伸缩装置。

2)伸缩装置安装之前，应按照安装时的气温调整安装时的定位值，用专用卡具将其固定。

3)安装时，伸缩装置的中心线与桥梁中心线重合，并使其顶面标高与设计标高相吻合，按桥面横坡定位、焊接。

4)浇筑混凝土前将间隙填塞，防止浇筑混凝土把间隙堵死，影响伸缩，并防止混凝土渗入模数式伸缩装置位移控制箱内，也不允许将混凝土溅填在密封橡胶带缝中及表面上，如果发生此现象，应立即清除，然后进行正常养护。

5)待伸缩装置两侧混凝土强度满足设计要求后，方可开放交通。

20.3.4 弹塑体材料填充式伸缩装置

1 伸缩体由高粘弹塑性材料和碎石结合而成的称为填充式伸缩装置。它适用于伸缩量小于 50mm 的中、小跨径桥梁工程。适应温度为 $-25\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。应按设计要求设置。

2 弹塑体材料物理性能应符合有关规定，产品应附有效的合格证书。弹塑体材料加热熔化温度应按要求严格控制。主层石料压碎值不大于 30%，扁平及细长石料含量少于 15%-20%，石料使用前应清洗干净。其加热温度控制在 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

3 风力大于 3 级，气温低于 10°C 及有雨时不宜施工。

4 施工可采用分段分层浇灌铺筑法，亦可采用分段分层拌和铺筑法。

20.3.5 复合改性沥青填充式伸缩装置

1 伸缩体由复合改性沥青及碎石混合而成。适用于伸缩量小于 50mm 的中、小跨径桥梁工程，适用温度 $-30\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。应按设计要求设置。

2 复合改性沥青应符合产品有关规定，其加热熔化温度要控制在 170°C 以内。粗石料(14~19mm)和细石料(6~10mm)应满足下列要求：

强度 $>100\text{MPa}$ ；

相对密度 2.6~3.2；

磨耗值(L.A.) <30 ；

磨光值(P.S.V.) >42 ；

压碎值(A.C.V)<20;

扁平细长颗粒含量<15%。

3 嵌入桥梁伸缩缝空隙中的 T 形钢板厚度 3~5mm，长度约为 1m 左右。

20.3.6 伸缩缝质量标准见表 20.3.6。

表 20.3.6 伸缩缝安装允许偏差

项 目		允许偏差
缝 宽		符合设计要求
与桥面高差(mm)		2
纵坡	大 型	±0.2%
	一 般	±0.3%
横向平整度		用 3m 直尺，不大于 3mm

20.4 沉 降 缝

20.4.1 沉降缝的位置应按设计要求设置缝宽均匀一致，从上到下竖直贯穿桥涵结构物。缝端面必须平整，按设计要求设置嵌缝材料。

20.5 桥面防水

20.5.1 桥面防水层应按设计要求设置。

20.5.2 铺设桥面防水层时应注意下列事项：

1 防水层材料应经过检查，在符合规定标准后方可使用。

2 防水层通过伸缩缝或沉降缝时，应按设计规定铺设。

3 防水层应横桥向闭合铺设，底层表面应平顺、干燥、干净。沥青防水层不宜在雨天或低温下铺设。

4 水泥混凝土桥面铺装层当采用油毛毡或织物与沥青粘合的防水层时，应设置隔断缝。

20.6 泄 水 管

20.6.1 泄水管的施工应按设计要求执行。泄水管应伸出结构物底面 100~150mm。

20.6.2 立交桥及高速公路上的桥梁，泄水管不宜直接挂在板下，可将泄水管通过纵向及竖向排水管道直接引向地面，或按设计要求办，并且管道要有良好的固定装置，如锚锭轨及抱箍等预埋件。

20.7 桥面铺装

20.7.1 沥青混凝土桥面铺装应按设计要求施工。

1 沥青混凝土铺装前应对桥面进行检查，桥面应平整、粗糙、干燥、整洁。桥面横坡应符合要求，不符合时应予处理。铺筑前应洒布粘层沥青，石油沥青洒布量为 0.3~0.5L/m²。

2 沥青混凝土的配合比设计、铺筑、碾压等施工程序，应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032)的有关规定。

20.7.2 水泥混凝土桥面铺装时，除应按本规范第 11 章有关规定执行外，还应注

意下列事项:

1 水泥混凝土桥面铺装的厚度应符合设计规定, 其使用材料、铺装层结构、混凝土强度、防水层设置等均应符合设计要求。

2 必须在横向联结钢板焊接工作完成后, 才可进行桥面铺装工作, 以免后焊的钢板引起桥面水泥混凝土在接缝处发生裂纹。

3 浇筑桥面水泥混凝土前使预制桥面板表面粗糙, 清洗干净, 按设计要求铺设纵向接缝钢筋网或桥面钢筋网, 然后浇筑。

4 水泥混凝土桥面铺装如设计为防水混凝土, 施工时应按照有关规定办理。

5 水泥混凝土桥面铺装, 其做面应采取防滑措施, 做面宜分两次进行, 第二次抹平后, 沿横坡方向拉毛或采用机具压槽, 拉毛和压槽深度应为 1~2mm。

6 钢纤维水泥混凝土桥面铺装, 除应按本规范第 11 章有关规定执行外, 宜符合现行中国工程建设标准化协会标准《钢纤维混凝土结构设计与施工规程》(CECS38)的规定。

20.7.3 复合式桥面铺装: 上层为沥青桥面铺装, 下层为水泥混凝土桥面铺装。其铺筑方法同 20.7.1 条和 20.7.2 条。

20.7.4 特大桥桥面铺装应按专门设计施工。

20.7.5 桥面铺装施工允许偏差见表 20.7.5。

表 20.7.5 桥面铺装施工允许偏差

项 目			允 许 偏 差
厚度（mm）			+10, -5
平整度 (mm)	高速公路、 一级公路	水泥混凝土 沥青混凝土	1.8(3.0) 1.5(2.5)
	其他公路	平整度仪 3m 直尺	2.5(4.2) 5
横 坡	水泥混凝土面层		±0.15%
	沥青混凝土面层		±0.3%
抗滑构造要求			符合设计要求

注: 括号内的数值为全桥每车道连续检测, 每 100m 计算 IRI(m/km), 桥长不满 100m 者, 按 100m 处理;

20.8 桥面防护设施

20.8.1 一般要求

1 桥面安全带和路缘石、人行道梁、人行道板、栏杆、扶手、灯柱等, 在修建安装完工后, 其竖向线形或坡度、断缝或伸缩缝必须符合设计规定。

2 钢筋混凝土墙式护栏的高度必须在纵坡变化点处调整, 以便线形顺适、美观。

3 钢筋混凝土柱式护栏、金属制护栏放样前应选择桥梁伸缩缝附近的端部立柱等作为控制点, 当间距出现零数, 可用分配办法使之符合规定的尺寸, 立柱宜等距设置。

4 轮廓标的安装高度宜尽量统一, 其连结应牢固。

20.8.2 安装桥面安全带和缘石, 应满足下列要求:

1 悬臂式安全带构件必须与主梁横向连结或拱上建筑完成后才可安装。

2 安全带梁必须安放在未凝固的 M20 稠水泥砂浆上, 以便形成顶面设计的横向排水坡。

3 为减少从缘石与桥面铺装缝中渗水, 练石宜采用现浇混凝土, 使其与桥面铺装的底层混凝土结为整体。

20.8.3 安装人行道应满足下列要求:

1 悬臂式人行道构件必须与主梁横向连结或拱上建筑完成后才可安装。

2 人行道梁必须安放在未凝固的 M20 稠水泥砂浆上, 并以此来形成人行道顶面设计的横向排水坡。

3 人行道板必须在人行道梁锚固后才可铺设, 对设计无锚固的人行道梁、人行道板的铺设应按照由里向外的次序。

4 在安装有锚固的人行道梁时, 应对焊缝认真检查, 必须注意施工安全。

5 人行道铺设应符合表 20.8.3 的要求。

表 20.8.3 人行道铺设要求

项 目	规定值或允许偏差
人行道边缘平面偏位(mm)	5
纵向高程(mm)	+10, 0
接缝两侧高差(mm)	2
横坡	±0.3%
平整度(mm)	5

20.8.4 栏杆块件必须在人行道板铺设完毕后才可安装, 安装栏杆柱时, 必须全桥对直、校平(弯桥、坡桥要求平顺), 竖直后用水泥砂浆填缝固定。桥上灯柱应按设计位置安装, 必须牢固、线条顺直、整齐美观。灯柱线路必须安全可靠。栏杆、护栏安装质量应符合表 20.8.4 的要求。

表 20.8.4 栏杆、护栏安装要求

项 目	规定值或允许偏差
护栏、栏杆平面偏位	4
栏杆、扶手平面偏位	3
栏杆柱顶面高差	4
护栏、栏杆柱纵、横向竖直度	4
相邻栏杆扶手高差及护栏接缝两侧高差	5

20.9 桥头搭板

20.9.1 钢筋混凝土桥头搭板, 台后填土的填料应以透水性材料为主, 分层压实应按本规范第 13 章执行。台背回填前应按设计要求做防水处理。

20.9.2 台后地基如为软土, 应按设计依照本规范第 4 章进行处理, 预压时应进行沉降观测, 预压沉降控制值应在施工搭板前完成。

20.9.3 桥头搭板下路堤可设置排水构造物。

20.9.4 钢筋混凝土搭板及枕梁宜采用就地浇筑。

21 涵 洞

21.1 一般规定

21.1.1 涵洞开工前应根据设计资料进行现场核对,核对时还需注意农田排灌的要求,如确需变更设计时,可按有关变更设计的规定办理。

21.1.2 地形复杂处的陡峻沟谷涵洞、斜交涵洞、平曲线和纵坡上的涵洞,应先绘出施工详图,然后再依图放样施工。

21.1.3 涵洞中线和墩台位置的测定应按第3章的有关规定办理。

21.1.4 涵洞(基础和墙身)沉降缝处两端面应竖直、平整、上下不得交错。填缝料应具有弹性和不透水性,并应填塞紧密。沉降缝宽度应符合设计规定,设计无规定时,可采用20~30mm。预制涵管的沉降缝应设在管节接缝处。

21.1.5 防水层的设置应按设计规定进行。防水层的材料可用沥青、油毛毡、防水布、水泥砂浆、三合土等,应按设计要求和工地具体情况选用。

21.1.6 涵洞完成后,当涵洞砌体砂浆或混凝土强度达到设计强度的75%时,方可进行回填土,回填土应按第13.5.2条和第21.3.7条的规定办理。涵洞处路堤缺口填土应从涵洞洞身两侧不小于2倍孔径范围内,同时按水平分层、对称地按照设计要求的压实度填筑、夯(压)实,填土的具体方法应按照现行《公路路基施工技术规范》(JTJ33)的有关规定办理。

用机械填土时,除应按照上述规定办理外,涵洞顶上填土厚度必须大于0.5~1m时,才允许机械通过。

21.1.7 涵洞进出水口的沟床应整理顺直,与上下游导流排水系统(天沟、侧沟、排水沟、取土坑等)的连接应圆顺、稳固,保证流水顺畅,避免水流损害路堤、村舍、农田、道路等。

21.1.8 涵洞冬期施工应按本规范第14章的有关规定办理。

21.2 管 涵

21.2.1 钢筋混凝土圆管成品应符合下列要求:

1 管节端面应平整并与其轴线垂直。斜交管涵进出水口管节的外端面,应按斜交角度进行处理。

2 管壁内外侧表面应平直圆滑,如有蜂窝,每处面积不得大于30mm×30mm,其深度不得超过10mm;总面积不得超过全面积的1%并不得露筋,蜂窝处应修补完善后方可使用。

3 管节各部尺寸不得超过表21.2.1规定的允许偏差。

表 21.2.1 钢筋混凝土圆管成品允许偏差

项 目	允许偏差(mm)	项 目	允许偏差(mm)
管节长度	0~10	管壁厚度	-3, 正值不限
内(外)直径	不小于设计值	顺直度	矢度不大于0.2%

4 管节混凝土强度应符合设计要求。

5 管节外壁必须注明适用的管顶填土高度,相同的管节应堆置在一处,以便于取用,防止弄错。

21.2.2 管节在运输、装卸过程中,应采取防碰措施,避免管节损坏。

21.2.3 当管涵设计为混凝土或砌体基础时,基础上面应设置混凝土管座,其顶部弧形面应与管身紧密贴合,使管节受力均匀。基底处理和混凝土浇筑应分别按本

规范第 4 章和第 11 章的有关规定办理。当管身直接搁置在天然地基上时，应按照设计要求将管底土层夯压密实，并做成与管身弧度密贴的弧形管座，安装管节时应注意保持完整。若管底土层承载力不符合设计要求，应按照第 4 章有关规定进行处理或加固。

21.2.4 安装管节时应注意下列事项：

1 应注意按涵顶填土高度取用相应的管节。对管节应按第 21.2.1 条检查合格后方可使用。

2 各管节应顺流水坡度安装平顺，当管壁厚度不一致时应调整高度使内壁齐平，管节必须垫稳坐实，管道内不得遗留泥土等杂物。

3 对插口管，接口应平直，环形间隙应均匀，并应安装特制的胶圈或用沥青、麻絮等防水材料填塞，不得有裂缝、空鼓、漏水等现象；对平接管，接缝宽度应不大于 10~20mm，禁止用加大接缝宽度来满足涵洞长度要求；接口表面应平整，并用有弹性的不透水材料嵌塞密实，不得有间断、裂缝、空鼓和漏水等现象。

21.3 拱涵、盖板涵

21.3.1 拱涵、盖板涵施工时，除应符合本规范第 10 章和第 11 章的有关规定外，尚应符合下列要求：

1 拱圈和出入口拱上端墙的施工，应由两侧向中间同时对称进行。

2 钢筋混凝土、混凝土拱圈和盖板混凝土的现场浇筑施工宜连续进行，避免施工接缝，当涵身较长时，可沿长度方向分段进行，接缝应设在涵身沉降缝处。

21.3.2 就地浇筑的拱涵和盖板涵，宜采用组合钢模板，在缺乏钢木材料的情况下，可采用全部土胎。

21.3.3 采用土胎建造拱圈或盖板时，应注意下列事项：

1 当用松散沙石料堆筑土胎时，表面应包 300mm 厚粘土保护层。

2 土胎填土应在涵台砌筑砂浆或现浇混凝土强度达到设计

强度的 75% 以后进行，应分层夯填，每层厚度宜为 0.2~0.3m，土的压实度应在 90% 以上。

有条件时，涵台外侧的填土可与土胎填土同时进行。涵台高度较高，采取土胎单侧填土时，应验算涵台的稳定性。

3 填土宽度应伸出端墙外 0.5~1.0m，并保持 1:1.5 的边坡。土胎顶部应用样板拉线进行检查校正。

4 土胎表面应设保护层，保护层应具有一定的强度和适当的光滑度，并易于脱模。

5 施工时应防止土胎被水侵蚀。

21.3.4 当河沟中有少量流水而采用土胎施工时，除采用木排架土胎外，亦可根据水流大小，在全填土胎下设渗水沟，埋设钢筋混凝土管、瓦管或用木料做成三角形泄水孔。

21.3.5 预制钢筋混凝土拱圈和盖板的施工，应按本规范第 15 章有关规定办理。预制涵洞盖板时，应注意检查上下面的方向，斜交涵洞应注意斜交角的方向，避免发生反向错误。

21.3.6 预制拱圈和盖板的安装应注意下列事项：

1 成品混凝土强度达到设计强度的 70% 时，方可搬运安装。

2 成品安装前，应检查成品及拱座、墩、台的尺寸。

3 安装后，成品拱圈和盖板上的吊装孔，应以砂浆填塞，如系吊环应锯掉。

4 拱座与拱圈、拱圈与拱圈的拼装接触面，应先拉毛或凿毛(沉降缝处除外)，安装前应浇水湿润，再以 M10 水泥砂浆砌筑。

21.3.7 拱架拆除和拱顶填土的时间应符合下列条件：

1 拱圈砌筑砂浆或混凝土强度达到设计强度的 75% 时，方可拆除拱架，达到设计强度后，方可回填土。

2 在拱架未拆除的情况下，拱圈砌筑砂浆或混凝土强度达到设计强度的 75% 时，可进行拱顶填土，但在拱圈强度达到设计强度 100% 后，方可拆除拱架。

21.4 倒虹吸管

21.4.1 倒虹吸管宜采用钢筋混凝土或混凝土圆管，进出水口必须设置竖井，包括防淤沉淀井。施工时管节接头及进出水口砌缝应特别严格，不漏水。填土覆盖前应做灌水试验，符合要求后，方可填土。

21.4.2 倒虹吸管如须在冰冻期施工时，除应按照本规范第 14 章的规定办理外，还应在冰冻前将管内积水排出，以防冻裂。

21.4.3 倒虹吸管的进出水口应在竣工后及时盖上。

21.5 质量标准

21.5.1 管涵施工质量标准如下：

1 各部尺寸允许偏差参见表 21.5.1。

表 21.5.1 管涵允许偏差

项 目	允许偏差(mm)
轴线偏位	50
流水面高程	±20
涵管长度	+100, -50
管座宽度(包括基础)	≥设计值
相邻管节面错口 (应下游低于上游)	3(管径≤1.0m)
	5(管径>1.0m)

2 管身顺直，进出水口平整，无阻水现象。

3 帽石及一字墙或八字墙平直，无翘曲现象。

21.5.2 拱涵、盖板涵施工质量标准如下：

1 各部尺寸允许偏差参见表 21.5.2-1 及表 21.5.2-2。

2 涵身顺直，涵底铺砌紧密平整，拱圈圆滑。

3 进出水口与上下游沟槽连接圆顺，流水畅通。

表 21.5.2-1 拱涵允许偏差

项 目	允许偏差(mm)
轴线偏位	30
流水面高程	±20
跨径	±20
拱圈厚度	混凝土 ±15

	石 料	±20
涵台尺寸		±20
长 度		+100, -50
砌体平整度		20

表 21.5.2-2 盖板涵允许偏差

项 目		允许偏差(mm)
轴线偏位	明 涵	20
	暗 涵	50
结构尺寸		±20
流水面高程		±20
长 度		+100, -50
孔 径		±20
顶面高程	明 涵	±20
	暗 涵	±50

21.5.3 倒虹吸管施工质量标准如下：

- 1 各部尺寸允许偏差参见表 21.5.3-1。
- 2 灌水试验允许渗水量见表 21.5.3-2。

表 21.5.3-1 倒虹吸管允许偏差

项 目		允许偏差(mm)
轴线偏位		30
流水面高程		±20
相邻管节内 底面错口	管径≤1.0m	3
	管径>1.0m	5
竖井尺寸	长、宽	±20
	直 径	±20
竖井顶部高程		±20
井底高程		±15

表 21.5.3—2 倒虹吸管灌水试验允许渗水量

管径 (m)	允许渗水量(混凝土和钢筋 混凝土)		管径 (m)	允许渗水量(混凝土和钢筋 混凝土)	
	(m ³ /d · km ⁻¹)	(1/h · m ⁻¹)		(m ³ /d · km ⁻¹)	(1/h · m ⁻¹)
0.50	22	0.9	1.50	42	1.7
0.70	26	1.1	2.00	52	2.1
1.00	32	1.3	2.20	56	2.3
1.20	36	1.5	2.40	60	2.5

22 通道桥涵

22.1 桥涵的顶进施工

22.1.1 当公路须从现有铁路、公路路基下面立交通过时，对原有路线采取必要的

加固措施后，可采取顶人法施工通道桥涵。

1 施工前应根据设计文件中提出的施工方案，结合现场情况、工期要求、工程量大小、机具设备情况选择合理的顶进方法，并应对顶进地点的工程地质、水文地质、埋置管路、电缆及其他障碍物等进行调查。

2 顶进作业应在地下水位降至基底以下 0.5~1.0m 进行，并宜避开雨季施工，必须在雨季施工时应做好防洪及防雨排水工作。

22.1.2 顶进工作坑及后背

1 顶进的工作坑位置应根据现场地形、土质、结构物尺寸及施工需要决定，在保证排水和安全的前提下，工作坑边缘距公路、铁路应有足够的安全距离。

2 工作坑基底的承载力应能满足顶人桥涵的要求，否则应加固。

3 工作坑滑板应满足下列要求：

1) 滑板中心线与桥涵中心线一致。

2) 具有足够的强度、刚度和稳定性，必要时可在滑板上层配置钢筋网，以防顶进时滑板开裂。

3) 表面平整，减小顶进时的阻力。

4) 底面设粗糙面或锚梁，增加抗滑能力。

5) 宜将滑板做成前高后低的仰坡，坡度为 3%。左右。

6) 沿顶进方向，在滑板的两侧，距桥涵外缘 50~100m 处设置导向墩，以控制桥涵顶人方向。

4 顶进桥涵的后背，应根据现场条件、地质、材料设备情况及强度、稳定性的要求，进行设计计算，确保顶进工作顺利和安全。

22.1.3 通道桥涵预制

1 预制桥涵支模时应将两侧侧墙前端保持 10mm 的正偏差，后端保持 10mm 的负偏差，以减小顶人阻力。顶进桥涵预制的其他要求应符合本规范各有关章节的规定。

2 预制桥涵前端应按设计设置钢刃角。

22.1.4 顶进作业

1 桥涵顶进前应检查验收桥涵主体结构的混凝土强度、后背，应符合设计要求。应检查顶进设备并做预顶试验。

2 千斤顶应按桥涵的中轴线对称布置。顶进法的传力设备安装时应与顶力线一致，并与横梁垂直。顶程较长时，顶柱与横梁应用螺栓固定。

3 桥涵顶进挖土时保持刃角有足够的吃土量，挖掘进尺及坡度应视土质情况确定。挖土必须与观测紧密配合，根据偏差随时改变挖土方法。

列车通过时不得挖土，施工人员应离开土坡 1m 以外，发现有危险的坍方影响行车安全时，应迅速组织抢修加固。

4 顶管施工应在工作坑内安装导轨，导轨高程允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ，中心线允许偏差为 3mm。首节管节安放在导轨上，应测量其中线和前后两端高程，合格后方可顶进。

5 顶管施工时，可在管前端先挖土，后顶进，一般轴向超挖量在铁路道渣下不得大于 100mm，其余情况不得大于 300mm，管节上部超挖量不得大于 15mm，管节下部 135° 范围内不应超挖。

6 桥涵顶进中，应经常对桥涵中线和高程进行观测，发现偏差及时纠正。发生左右偏差时，可采用挖土校正法和千斤顶校正法调整；发生上下偏差时，可采用调整刃角挖土量或铺筑石料等方法调整。

7 顶进作业应连续进行，不得长期停顿，以防地下水渗出，造成路基坍塌。出现事故时应立即停止顶进。

桥涵顶进时，对节间接缝及结构物应按设计要求进行防水处理。

22.2 通道桥涵的防水与排水

22.2.1 一般规定

1 通道的防水设施应符合设计要求，并应在结构物验收合格后施工。

2 通道桥涵地面以下结构和防、排水设施施工时，应防止周围地面水流人基坑，当基坑底低于地下水位时，应采取井点法或其他排水方法将地下水位降低至桥涵底部防水层以下不小于 0.3m 处。严禁在带泥水情况下进行防水混凝土和其他防、排水设施的施工。

22.2.2 排水工程应按设计要求设置，设计无规定时，集水井、排水管、水泵、总排水管(明渠)的排水能力应大于地面水设计流量的 1.5 倍。

1 通道桥涵内的集水井应符合下列要求：

1)井口应设平篦盖，并应设深度不小于 0.3m 的沉淀池。

2)集水井的深度应考虑通道桥涵排水构造和冻胀的影响，宜为 1.5m 左右。

3)集水井的数量、尺寸应根据地面水流量和每个集水井的泄水能力确定。

2 排水管和排水总管施工时，除应按照有关规定办理外，还应符合下列要求：

1)排水管道应垫稳并连接平顺，管间承插口或套环接口应平直，环间间隙均匀。管道与集水井间应连接牢固，接缝处和结合处均应用弹性不透水材料充填密实。采用抹带接口，表面应平整，不得有裂缝、间断及空鼓等现象。

2)排水管道或排水总管每隔 50m 左右及转弯处均应设检查井，井底设沉淀池。管道的纵坡不应小于 0.5%。

3)排水管道和排水总管应做闭水试验，该试验允许渗水量参见表 21.5.3-2。

3 通道桥涵排水泵站可用沉井法或现浇混凝土等法施工。施工时除应按照有关规定外，还应符合以下要求：

1)采用沉井泵站的沉井就位后，其内壁和底板均不得有渗漏现象；采用现浇混凝土泵站时，混凝土的抗渗标号、强度等级均应满足设计要求。

2)水泵房集水井的设计最高水位应低于通道桥涵地面最低点 0.2m 以上；设计最低水位应按水泵运行时需要的最低水深确定。水泵的运行应按设计最高水位和设计最低水位设置自动开关。

4 自流式盲沟排水或渗排水层排水

1)盲沟滤管基座应用混凝土浇筑，并与滤管密贴。纵坡应均匀，无反向坡。管节应逐节检查，不合格者不得使用。

2)渗排水层可由粗细卵石和粗细砂分层构成，使之起过滤的作用。施工时，基坑如有积水，应将水位降到砂滤水层以下，不得在泥水层中做滤水层。

施工好的渗排水系统应保持畅通。

22.3 质量检查及质量标准

22.3.1 桥涵顶进后其允许偏差应不超过表 22.3.1 的规定。

表 22.3.1 桥涵顶进允许偏差

检查项目		允许偏差(mm)	
		箱涵(桥)	管涵
轴线偏位	涵(桥)长<15m	100	50
	涵(桥)长 15~30m	150	100
	涵(桥)长>30m	300	200
高 程	涵(桥)长<15m	+30, -100	+20
	涵(桥)长 15~30m	+40, -150	±40
	涵(桥)长>30m	+50, -200	+50, -100
相邻两节高差		30	20

22.3.2 通道桥涵排水设施质量应符合下列要求:

- 1 排水管与排水管、排水管与集水井间应连接牢固, 结合严密。排水管应连接平顺, 纵坡均匀。
- 2 盲沟和渗排水层应粒料铺填密实, 排水通畅。
- 3 水泵站的各水泵、管道、电气线路、仪表应安装准确、牢固, 工作有效。
- 4 通道桥涵排水管道、集水井允许偏差见表 22.3.2-1、表 22.3.2-2。

表 22.3.2-1 集水井及检查井允许偏差

检 查 项 目	允许偏差(mm)
轴线偏位	50
圆井直径或方井长度	±20
井盖高程	±10
通道内检查井井盖与邻接路面高差	0~+4
集水井与邻接路面高差	0~-4

表 22.3.2-2 管道工程允许偏差

检 查 项 目	允许偏差(mm)
轴线偏位	50
管底高程	±20
基座宽度	不小于设计值
相邻管内底错口	5(下游低于上游)

附录

附录 A 距离测量改正及长度计算公式

1 尺长改正(Δl)

改正数

$$\Delta l = -\frac{L' \cdot l}{L} \quad (\text{A-1})$$

式中: L ——钢尺总长(刻度数)

$$L' = L - L_0;$$

L_0 ——钢尺检定时标准长度；

l ——实测尺段长度。

2 温度改正(Δl)

改正数

$$\Delta l = l k (t - t_0) \quad (\text{A-2})$$

式中： l ——实测尺段长度；

t_0 ——钢尺标准长度时的温度；

t ——测量时的实际平均温度；

k ——经检定的钢尺的线膨胀系数，如不确知时，可用 $0.0000117 / 1^\circ\text{C}$ 。

3 拉力改正(ΔP)

所施拉力不同于标准拉力时

改正数

$$\Delta P = \frac{l(P - P_0)}{AE} \quad (\text{A-3})$$

式中： l ——实测尺段长度；

P ——测量时的实际拉力；

P_0 ——检定时的标准拉力；

A ——钢尺的断面积；

E ——钢尺材料的弹性模量。

4 垂度改正(Δf)

改正数

$$\Delta f = -\frac{d}{24} \left(\frac{md}{P} \right)^2 \quad (\text{A-4})$$

式中： d ——量距时钢尺两端支点间距离；

m ——钢尺每单位长度的质量；

P ——测量时的实际拉力。

5 倾斜度改正(Δh)

改正数

$$\Delta h = -\left(\frac{h^2}{2L} + \frac{h^4}{8L^3} \right) \quad (\text{A-5})$$

式中： L ——倾斜尺段长度；

h ——两端高差。

6 每一尺段之实际长(dn)

$$dn = l + \Delta l + \Delta t + \Delta P + \Delta f + \Delta h \quad (\text{A-6})$$

7 距离全长(d)

$$d = \sum dn = \sum (l + \Delta l + \Delta t + \Delta P + \Delta f + \Delta h) \quad (\text{A-7})$$

附录 B 试桩试验办法

B.1 一般规定

B.1.1 本办法适用于施工阶段检验性的试桩，其内容包括工艺试验、动力试验及静压、静拔和静推试验。但在多年冻土、湿陷性黄土等地层的试桩试验，不适用本办法。

B.1.2 试桩的位置应符合设计要求，设计无要求时，宜选择在有代表性地质的地方，并尽量靠近地质钻孔或静力触探孔，其间距一般不宜大于 5m 或小于 1m。

试桩的桩径、测试内容应符合设计要求。

B.1.3 勘测设计阶段的试桩数量由设计部门确定，施工阶段的试桩数量规定如下：

1 静压试验应按施工合同规定的数量进行试桩，可按下列规定进行：

1)在相同地质情况下，按桩总数的 1%计，并不得少于 2 根。

2)位于深水处的试桩，根据具体情况，由主管单位研究确定。

2 静拔、静推试验根据合同要求进行办理。

3 工艺试验由施工单位拟定，报主管单位批准。

B.1.4 试桩前应进行下列准备工作：

1 试桩的桩顶如有破损或强度不足时，应将破损和强度不足段凿除后，修补平整。

2 做静推试验的桩，如系空心桩，则应于直接受力部位填充混凝土。

3 做静压、静拔的试桩，为便于在原地面处施加荷载，在承台底面以上部分或局部冲刷线以上部分设计不能考虑的摩擦力应予扣除。

4 做静压、静拔的试桩，桩身需通过尚未固结新近沉积的土层或湿陷性黄土、软土等土层对桩侧产生向上的负摩擦力部分，应在桩表面涂设涂层，或设置套管等方法予以消除。

5 在冰冻季节试桩时，应将桩周围的冻土全部融化，其融化范围：静压、静拔试验时，离试桩周围不小于 1m；静推试验时，不小于 2m。融化状态应保持到试验结束。

在结冰的水域做试验时，桩与冰层间应保持不小于 100mm 的间隙。

B.2 验工艺试验和冲击试验

B.2.1 施工阶段的工艺试验和冲击试验的主要目的：

(1)选择合理的施工方法和机具设备；

(2)检验桩沉入土中的深度能否达到设计要求；

(3)选定锤击沉桩时的锤垫、桩垫及其参数；

(4)利用静压试验等方法，验证选用的动力公式在该地质条件下的准确程度；

(5)选定射水设备及射水参数(水量、水压等)；

(6)查定沉桩时有无“假极限”或“吸入”现象，并确定是否需要复打以及决定复打前的“休止”天数；

(7)确定施工工艺和停止沉桩的控制标准。

B.2.2 冲击试验的程序按下列规定执行：

1 使用蒸汽锤时，预先将汽锤加热。

2 用单动汽锤、坠锤沉桩时，记录桩身每下沉 1.0m 的锤击数和全桩的总锤击数，并测量锤击每米沉桩平均落锤高度；用双动汽锤、柴油锤、振动锤沉桩时，记录桩身每下沉 1.0m 的锤击(或振动)时间和全桩的总锤击(或总振动)时间。

3 当桩沉至接近设计标高附近(约 1.0m 左右)时，用单动汽锤、坠锤沉桩，记录每 100mm 的锤击数，至设计标高时，最后加打 5 锤，记录桩的下沉量，算出每锤平均值(以 mm / 击计)，作为停锤贯入度；用双动汽锤、柴油锤、振动锤沉桩，记录每 100mm 的锤击(或振动)时间，算出最后 100mm 每分钟平均值(以 mm / min 计)，作为停锤贯入度。

- 4 冲击(复打)试验和注意事项:
- 1)冲击试验应经过“休止”后进行,“休止”时间按照本条第 6 款的规定。
 - 2)用沉桩时达到最后贯入度相同的功能(用坠锤、单动汽锤或柴油锤时,使落锤高度相同;用双动汽锤时,使汽压相同,并迅速送汽锤击;用振动锤时使其各项技术条件相同)和相同的设备(包括桩锤规格、桩帽、锤垫、桩垫等)进行锤击或振动。
 - 3)用坠锤、单动汽锤沉桩,着实的锤击 5 锤取其平均贯入度;用双动汽锤、柴油锤、振动锤沉桩,取其最后 100mm 的锤击、振动时间的每分钟平均贯入度作为最终贯入度;贯入度的单位分别为 mm / 击, mm / min。
- 5 填写沉桩试验记录。
- 6 “休止”时间应按土质不同而异,可由试验确定,一般不少于下列天数:
- 1)桩穿过砂类土,桩尖位于大块碎石土、紧密的砂类土或坚硬的粘质土上,不少于 1d。
 - 2)在粗、中砂和细砂里,不少于 3d。
 - 3)在粘质土和饱和的粉质土里,不少于 6d。

B.3 静压试验

B.3.1 试验目的:通常用来确定单桩承载力和荷载与位移的关系,以及校核动力公式的准确程度。

B.3.2 试验方法:采用慢速维持荷载法,若设计无特殊要求时,用单循环加载试验。

B.3.3 试验时间:静压试验应在冲击试验后立即进行。对于钻(挖)孔灌注桩,须待混凝土达到能承受设计要求荷载后,才可进行试验。

B.3.4 试验加载装置:一般采用油压千斤顶加载。千斤顶的反力装置可根据现场的实际条件选用下列三种形式之一:

1 锚桩承载梁反力装置:锚桩承载梁反力装置能提供的反力,应不小于预估最大试验荷载的 1.3~1.5 倍。

锚桩一般采用 4 根,如入土较浅或土质松软时可增至 6 根。锚桩与试桩的中心间距,当试桩直径(或边长)小于或等于 800mm 时,可为试桩直径(或边长)的 5 倍;当试桩直径大于 800mm 时,上述距离不得小于 4m。

2 压重平台反力装置:利用平台上压重作为对桩静压试验的反力装置。压重不得小于预估最大试验荷载的 1.2 倍,压重应在试验开始前一次加上。

试桩中心至压重平台支承边缘的距离与上述试桩中心至锚桩中心距离相同。

3 锚桩压重联合反力装置:当试桩最大加载量超过锚桩的抗拔能力时,可在承载梁上放置或悬挂一定重物,由锚桩和重物共同承受千斤顶反力。

B.3.5 测量位移装置:测量仪表必须精确,一般使用 1/20mm 光学仪器或力学仪表,如水平仪、挠度仪、偏移计等。支承仪表的基准架应有足够的刚度和稳定性。基准梁的一端在其支承上可以自由移动,不受温度影响引起上拱或下挠。基准桩应埋入地基表面以下一定深度,不受气候条件等影响。基准桩中心与试桩、锚桩中心(或压重平台支承边缘)之间的距离宜符合附表 B.3.5 的规定。

附表 B.3.5 基准桩中心至试桩、锚桩中心(或压重平台支承边)的距离

反力系统	基准桩与试桩	基准桩与锚桩(或压重平台支承
------	--------	----------------

		边)
锚桩承载梁反力装置	$\geq 4d$	$\geq 4d$
压重平台反力装置	$\geq 2.0m$	$\geq 2.0m$

注：表中为试桩的直径或边长 $d \leq 800mm$ 的情况；若试桩直径 $d > 800mm$ 时，基准桩中心至试桩中心(或压重平台支承边)的距离不宜小于 4.0m。

B.3.6 加载方法

1 加载重心应与试桩轴线相——致。加载时应分级进行，使荷载传递均匀，无冲击。加载过程中，不使荷载超过每级的规定值。

2 加载分级：每级加载量为预估最大荷载的 1/10—1/15。当桩的下端埋入巨粒土、粗粒土以及坚硬的粘质土中时，第一级可按 2 倍的分级荷载加载。

3 预估最大荷载：对施工检验性试验，一般可采用设计荷载的 2.0 倍。

B.3.7 沉降观测

1 下沉未达稳定不得进行下一级加载。

2 每级加载的观测时间规定为：每级加载完毕后，每隔 15min 观测一次；累计 1h 后，每隔 30min 观测一次。

B.3.8 稳定标准：每级加载下沉量，在下列时间内如不大于 0.1mm 时即可认为稳定：

1 桩端下为巨粒土、砂类土、坚硬粘质土，最后 30min。

2 桩端下为半坚硬和细粒土，最后 1h。

B.3.9 加载终止及极限荷载取值

1 总位移量大于或等于 40mm，本级荷载的下沉量大于或等于前一级荷载的下沉量的 5 倍时，加载即可终止。取此终止时荷载小一级的荷载为极限荷载。

2 总位移量大于或等于 40mm，本级荷载加上后 24h 未达稳定，加载即可终止。取此终止时荷载小一级的荷载为极限荷载。

3 巨粒土、密实砂类土以及坚硬的粘质土中，总下沉量小于 40mm，但荷载已大于或等于设计荷载 X 设计规定的安全系数，加载即可终止。取此时的荷载为极限荷载。

4 施工过程中的检验性试验，一般加载应继续到桩的 2 倍的设计荷载为止。如果桩的总沉降量不超过 40mm，及最后一级加载引起的沉降不超过前一级加载引起的沉降的 5 倍，则该桩可以予以检验。

5 极限荷载的确定有时比较困难，应绘制荷载—沉降曲线(P-s 曲线)、沉降—时间曲线(s-t 曲线)确定，必要时还应绘制 s-lgt 曲线、s-lgP 曲线(单对数法)、s-[1-P/Pmax]曲线(百分率法)等综合比较，确定比较合理的极限荷载取值。

B.3.10 桩的卸载和回弹量观测

1 卸载应分级进行，每级卸载量为两个加载级的荷载值。每级荷载卸载后，应观测桩顶的回弹量，观测办法与沉降相同。直到回弹稳定后，再卸下一级荷载。回弹稳定标准与下沉稳定标准相同。

2 卸载到零后，至少在 2h 内每 30min 观测一次，如果桩尖下为砂类土，则开始 30min 内，每 15min 观测一次；如果桩尖下为粘质土，第一小时内，每 15min 观测一次。

B.3.11 试验记录：所有试验数据应按附表 B.3.11 及时填写记录，绘制静压试验曲线，如附图 B.3.11 所示，并编写试验报告。

附表 B.3.11 静压试验记录表

_____线_____桥_____号试桩

地质情况_____

沉桩方法及设备型号_____

桩的类型、截面尺寸及长度_____

桩的入土深度_____（m）

设计荷载_____（kN）

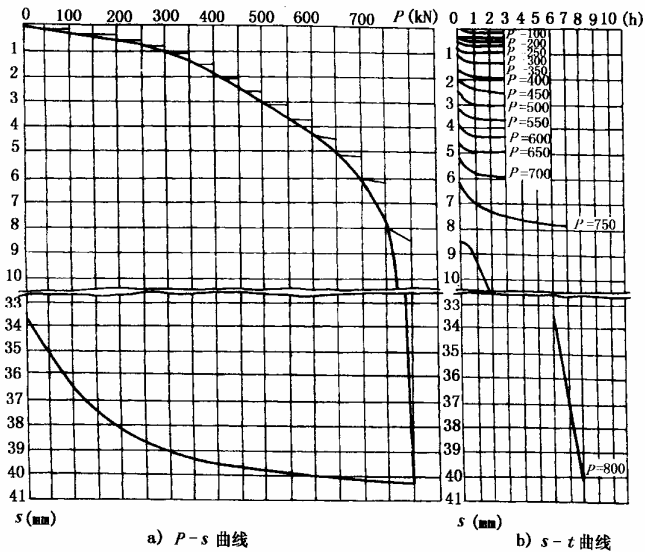
最终贯入度_____（mm/击）

加载方法_____

加载顺序_____

荷载编号	起止时间			间歇时间（min）	每级荷载（kN）	各表读数			平均读数（mm）	位移（mm）			气温（℃）	备注
	日	时	分			1号	2号			下沉	上拔	水平		

其他记录:



附图 B.3.11 静压试验曲线

B.4 静拔试验

- B.4.1 试验目的：在个别桩基中设计承受拉力时，用以确定单桩抗拔容许承载力。
- B.4.2 试验时间：一般可按复打规定的“休止”时间以后进行。对于钻(挖)孔灌注桩，须待灌注的混凝土强度达到设计要求的强度后才可进行。静拔试验也可在静压试验后进行。
- B.4.3 加载装置：可采用油压千斤顶加载。千斤顶的反力装置一般采用两根锚桩和承载梁组成，试桩和承载梁用拉杆连接，将千斤顶置于两根锚桩之上，顶推承

载梁，引起试桩上拔。试桩与锚桩间中心距离可按 B.3.4 条第 1 款确定。

B.4.4 加载方法：一般采用慢速维持荷载法进行。施加的静拔力必须作用于桩的中轴线。加载应均匀、无冲击。每级加载量不大于预计最大荷载的 $1/10 \sim 1/15$ 。

B.4.5 位移观测：按 B.3.7 条沉降观测规定办理。

B.4.6 稳定标准：位移量小于或等于 0.1mm/h ，即可认为稳定。

B.4.7 加载终止：勘测设计阶段，总位移大于或等于 25mm ，加载即可终止；施工阶段，加载不应大于设计容许抗拔荷载。

B.4.8 试验记录：所有试验观测数据应按附表 B.3.11 及时填写记录，并绘制如附图 B.3.11 所示曲线(代表拔出位移的纵坐标改为向上)。

B.5 静推试验

B.5.1 试验目的及试验方法：试验目的主要是确定桩的水平承载力、桩侧地基土水平抗力系数的比例系数。试验方法，对于承受反复水平荷载的基桩，采用多循环加卸载方法；对于承受长期水平荷载的基桩，采用单循环加载方法。

B.5.2 加载装置

1 一般采用两根单桩通过千斤顶相互顶推加载；或在两根锚桩间平放一根横梁，用千斤顶向试桩加载；有条件时可利用墩台或专设反力座以千斤顶向试桩加载。在千斤顶与试桩接触处宜安设一球形铰座，保证千斤顶作用力能水平通过桩身轴线。

2 加载反力结构的承载能力应为预估最大试验荷载的 $1.3 \sim 1.5$ 倍，其作用方向的刚度不应小于试桩。反力结构与试桩之间净距按设计要求确定。

3 固定百分表的基准桩宜设在桩侧面靠位移的反方向，与试桩净距不小于试桩直径的 1 倍。

B.5.3 多循环加卸载试验法按下列规定进行：

1 加载分级：可按预计最大试验荷载的 $1/10 \sim 1/15$ ，一般可采用 $5 \sim 10\text{kN}$ ，过软的土可采用 2kN 级差。

2 加载程序与位移观测：各级荷载施加后，恒载 4min 测读水平位移，然后卸载至零， 2min 后测读残余水平位移，至此完成一个加载循序，如此循环 5 次，便完成一级荷载的试验观测。加载时间应尽量缩短，测量位移间隔时间应严格准确，试验不得中途停歇。

3 加载终止条件：当出现下列情况之一时即可终止加载

- (1)桩顶水平位移超过 $20 \sim 30\text{mm}$ (软土取 40mm)；
- (2)桩身已经断裂；
- (3)桩侧地表明显裂纹或隆起。

B.5.4 多循环加卸载法的资料整理

单桩水平静推试验记录参照附表 B.5.4。

附表 B.5.4 单桩水平静推试验记录

试桩号：					上下表距：			
荷	观测时	循环	加载	卸载	水平位移 (mm)	加载上	转	备

载 (kN)	间 d/h/mi n	数	上 表	下 表	上 表	下 表	加 载	卸 载	下 表 读 数 差	角	注

试验_____ 记录_____ 校核_____ 施工负责人_____

由试验记录绘制水平荷载—时间—桩顶位移关系曲线(H-t-x 曲线), 见附图 B.5.4-1, 水平荷载—位移梯度关系曲线(H- $\Delta x/\Delta H$ 曲线), 见附图 B.5.4-2。

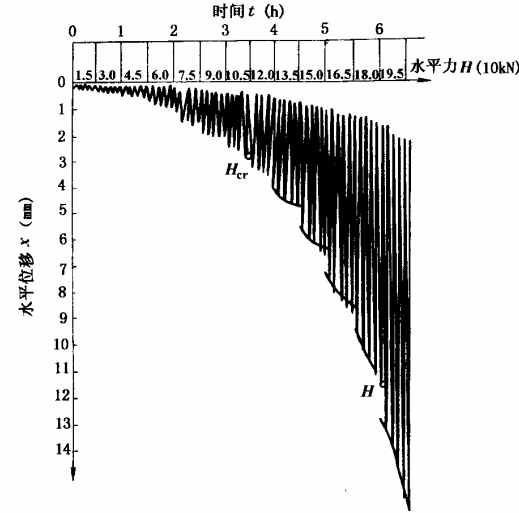
当桩身具有应力量测资料时, 尚应绘制应力沿桩身分布和水平力—最大弯矩截面钢筋应力关系曲线(H-a。曲线)见图 B.5.4-3。

B.5.5 多循环加卸载临界荷载(H_{cr})、极限荷载(H_u)及水平抗推容许承载力

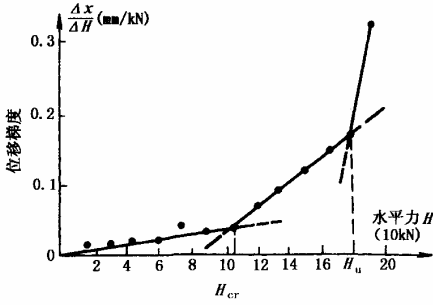
1 临界荷载 H_{cr} : 相当于桩身开裂, 受拉混凝土不参加工作时的桩顶水平力, 其数值可按下列方法综合确定:

- (1)取 H-t-x 曲线出现突变点的前一级荷载;
- (2)取 H- $\Delta x/\Delta H$ 曲线的第一直线段的终点所对应的荷载;
- (3)取 H- σ_g 曲线第一突变点对应的荷载。

2 极限荷载 H_u : 其数值可按下列方法综合确定:

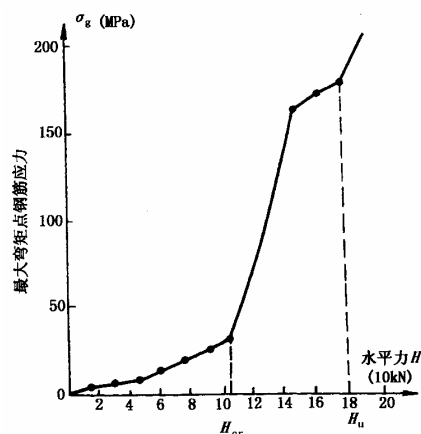


附图 B.5.4-1 H-t-x 曲线



附图 B.5.4-2 H- $\Delta x/\Delta H$ 曲线

- (1)取 H-t-x 曲线明显陡降的前一级荷载;
- (2)取 H-t-x 曲线各级荷载下水平位移包络线向下凹曲的前一级荷载;
- (3)取 h- $\Delta x/\Delta h$ 曲线第二直线终点所对应的荷载;



附图 B.5.4-3 $H-\sigma_g$ 曲线

(4) 桩身断裂或钢筋应力达到流限的前一级荷载。

3 水平抗推容许荷载：为水平极限荷载除以设计规定的安全系数。

B.5.6 单循环加载试验法可按下列规定执行：

1 加载分级与多循环加卸载试验方法相同。

2 加载后测读位移量与静压试验测读的方法相同。

3 静推稳定标准：如位移量小于或等于 $0.05\text{mm} / \text{h}$ 即可认为稳定。

4 终止加载条件：勘测设计阶段的试验，水平力作用点处位移量大于或等于 50mm ，加载即可终止；施工检验性试验，加载不应超过设计的容许荷载。

5 试验记录：所有试验观测数据应填写记录，并绘制如附图 B.3.11 所示曲线图。将水平位移量改为横坐标，荷载改为纵坐标。**附录 C-1 泥浆原料和外加剂的性能要求及需要量计算方法**

1 泥浆原料粘质土的性能要求

一般可选用塑性指数大于 25，粒径小于 0.074mm 的粘粒含量大于 50% 的粘质土制浆。当缺少上述性能的粘质土时，可用性能略差的粘质土，并掺入 30% 的塑性指数大于 25 的粘质土。

当采用性能较差的粘质土调制的泥浆其性能指标不符合要求时，可在泥浆中掺入 Na_2CO_3 (俗称碱粉或纯碱)、氢氧化钠 (NaOH) 或膨润土粉末，以提高泥浆性能指标。掺入量与原泥浆性能有关，宜经过试验决定。一般碳酸钠的掺入量约为孔中泥浆土量的 0.1%~0.4%。

2 泥浆原料膨润土的性能和用量

膨润土分为钠质膨润土和钙质膨润土两种。前者质量较好，大量用于炼钢、铸造中，钻孔泥浆中用量也很大。膨润土泥浆具有相对密度低、粘度低、含砂量少、失水量少、泥皮薄、稳定性强、固壁能力高、钻具回转阻力小、钻进率高、造浆能力大等优点。一般用量为水的 8%，即 8kg 的膨润土可掺 100L 的水。对于粘质土地层，用量可降低到 3%~5%。较差的膨润土用量为水的 12% 左右。

3 泥浆外加剂及其掺量

1) CMC (Carboxy Methyl Cellulose) 全名羧甲基纤维素，可增加泥浆粘性，使土层表面形成薄膜而防护孔壁剥落并有降低失水量的作用。掺入量为膨润土的 0.05%~0.01%。

2) FCI，又称铬铁木质素磺酸钠盐，为分散剂，可改善因混杂有土，砂粒，碎、卵石及盐分等而变质的泥浆性能，可使上述钻渣等颗粒聚集而加速沉淀，改

善护壁泥浆的性能指标,使其继续循环使用。掺量为膨润土的 0.1%~0.3%。

3)硝基腐殖碳酸钠(简称煤碱剂),其作用与 FCI 相似。它具有很强的吸附能力,在粘质土表面形成结构性溶剂水化膜,防止自由水渗透,能使失水量降低,使粘度增加,若掺入量少,可使粘度不上升,具有部分稀释作用,掺用量与 FCI 同。

2)、3)两种分散剂可任选一种。

4)碳酸钠(Na_2CO_3)又称碱粉或纯碱。它的作用可使 pH 值增大到 10。泥浆中 pH 值过小时,粘土颗粒难于分解,粘度降低,失水量增加,流动性降低;小于 7 时,还会使钻具受到腐蚀;若 pH 过大,则泥浆将渗透到孔壁的粘土中,使孔壁表面软化,粘土颗粒之间凝聚力减弱,造成裂解而使孔壁坍塌。pH 值以 8~10 为宜,这时可增加水化膜厚度,提高泥浆的胶体率和稳定性,降低失水量。掺入量为膨润土的 0.3%~0.5%。

5)PHP,即聚丙烯酰胺絮凝剂。它的作用为,在泥浆循环中能清除劣质钻屑,保存造浆的膨润土粒;它具有低固相、低相对密度、低失水、低矿化、泥浆触变性能强等特点。掺入量为孔内泥浆的 0.003%。

6)重晶石细粉(BaSO_4),可将泥浆的相对密度增加到 2.0~2.22,提高泥浆护壁作用。为提高掺入重晶粉后泥浆的稳定性,降低其失水性,可同时掺入 0.1%~0.3%的氢氧化钠(NaOH)和 0.2%~0.3%的橡胶粉。掺入上述两种外加剂后,最适用于膨胀的粘质塑性土层和泥质页岩土层。重晶石粉掺量根据原泥浆相对密度和土质情况检验决定。

7)纸浆、干锯末、石棉等纤维质物质,其掺量为水量的 1%~2%,其作用是防止渗水并提高泥浆循环效果。

以上各种外加剂掺入量,宜先做试配,试验其掺入外加剂后的泥浆性能指标是否有所改善,并符合要求。

各种外加剂宜先制成小剂量溶剂,按循环周期均匀加入,并及时测定泥浆性能指标,防止掺入外加剂过量。每循环周期相对密度差不宜超过 0.01。

4 调制泥浆的原料用量计算

在粘质土层中钻孔,钻孔前只需调制不多的泥浆。以后可在钻进过程中,利用地层粘质土造浆、补浆。

在砂类土、砾石土和卵石土中钻孔时,钻孔前应备足造浆原料,其数量可按以下公式和原则计算:

$$m = V\rho = \frac{\rho_2 - \rho_3}{\rho_1 - \rho_2} - \rho_1$$

式中: m ——每立方米泥浆所需原料的质量(t);

V ——每立方米泥浆所需原料的体积(m^3);

ρ_1 ——原料的密度(t / m^3);

ρ_2 ——要求的泥浆密度(t / m^3),。

$$\rho_2 = V\rho_1(1-V)\rho_3$$

ρ_3 ——水的密度,取 $\rho_3 = 1\text{t}/\text{m}^3$ 。

若造成的泥浆的粘度为 20-22s 时,则各种原料造浆能力为:黄土胶泥 $1\sim 3\text{m}^3 / \text{t}$,白土、陶土、高岭土 $3.5\sim 8\text{m}^3 / \text{t}$,次膨润土为 $9\text{m}^3 / \text{t}$,膨润土为 $15\text{m}^3 / \text{t}$ 。从以上资料得知,膨润土的造浆能力为黄土胶泥的 5~7 倍。

附录 C-2 泥浆各种性能指标的测定方法

1 相对密度 ρ_x : 可用泥浆相对密度计测定。将要量测的泥浆装满泥浆杯,加

盖并洗净从小孔溢出的泥浆，然后置于支架上，移动游码，使杠杆呈水平状态(即气泡处于中央)，读出游码左侧所示刻度，即为泥浆的相对密度。

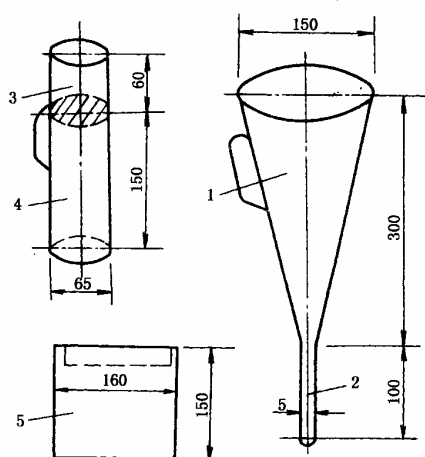
若工地无以上仪器时，可用一口杯，先称其质量设为 m_1 ，再装清水称其质量为 m_2 ，再倒去清水，装满泥浆并擦去杯周溢出的泥浆，称其质量为 m_3 ，则

$$\rho_x = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}。$$

2 粘度 $\eta(s)$ ：工地用标准漏斗粘度计测定，粘度计如附图 C-2-1 所示。用两端开口量杯分别量取 200ml 和 500ml 泥浆，通过滤网滤去大砂粒后，将泥浆 700ml 均注入漏斗，然后使泥浆从漏斗流出，流满 500ml 量杯所需时间(s)，即为所测泥浆的粘度。

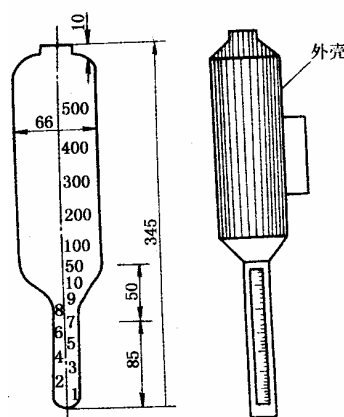
校正方法：漏斗中注入 700ml 清水，流出 500ml，所需时间应是 15s，如偏差超过 $\pm 1s$ ，则量测泥浆粘度时应校正。

3 含砂率(%)：工地用含砂率计(如附图 C-2-2 所示)测定。量测时，把调制好的泥浆 50ml 倒进含砂率计，然后再倒 450ml 清水，将仪器口塞紧，摇动 1min，使泥浆与水混合均匀，再将仪器竖直静放 3min，仪器下端沉淀物的体积(由仪器上刻度读出)乘 2 就是含砂率(%)。(有一种大型的含砂率计，容积 1000ml，从刻度读出的数不乘 2 即为含砂率)。



附图 C-2-1 粘度计(单位:mm)

1-漏斗;2-管子;3-量杯 200ml 部分;4-量杯 500ml 部分;5-筛网及杯



附图 C-2-2 含砂率计(单位:mm)

4 胶体率(%)：亦称稳定率，它是泥浆中土粒保持悬浮状态的性能。测定方法：可将 100ml 的泥浆放入干净量杯中，用玻璃板盖上，静置 24h 后，量杯上部的泥浆可能澄清为透明的水，量杯底部可能有沉淀物。以 $100 - (\text{水} + \text{沉淀物})$ 体积即等于胶体率。

5 失水量(ml / 30min)和泥皮厚(mm)：用一张 120mm×120mm 的滤纸，置于水平玻璃板上，中央画一直径 30mm 的圆圈，将 2ml 的泥浆滴于圆圈中心，30min 后，量算湿润圆圈的平均半径减去泥浆坍平成为泥饼的平均半径(mm)即失水量，算出的结果(mm)值代表失水量，单位：ml / min。在滤纸上量出泥饼厚度(mm)即为泥皮厚。泥皮愈平坦、愈薄，则泥浆质量愈高，一般不宜厚于 2~3mm。

普通模板荷载计算

1 模板、支架和拱架的容重应按设计图纸计算确定。

2 新浇筑混凝土和钢筋混凝土的混凝土容重 24kN/m^3 ，钢筋混凝土的容重可

采用 $25\sim 26\text{kN/m}^3$ (以体积计算的含筋量 $\leq 2\%$ 时采用 25kN/m^3 , $>2\%$ 时采用 26kN/m^3)。

3 施工人员和施工材料、机具行走运输或堆放荷载标准值:

(1)计算模板及直接支承模板的小棱时, 均布荷载可取 2.5kPa , 另外以集中荷载 2.5kN 进行验算;

(2)计算直接支承小棱的梁或拱架时, 均布荷载可取 1.5kPa ;

(3)计算支架立柱及支承拱架的其他结构构件时, 均布荷载可取 1.0kPa ;

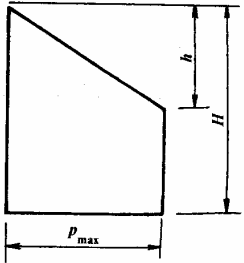
(4)有实际资料时按实际取值。

4 振捣混凝土时产生的荷载(作用范围在有效压头高度之内):

对水平面模板为 2.0kPa ; 对垂直面模板为 4.0kPa 。

5 新浇混凝土对模板侧面的压力:

采用内部振捣器, 当混凝土的浇筑速度在 6m/h 以下时, 新浇筑的普通混凝土作用于模板的最大侧压力可按式 (D-1) 和式 (D-2) 计算, 侧压力分布图如附图 D:



h—混凝土浇筑层(在水泥初凝时间以内)的厚度(m)

$$P_{\max} = 0.22\gamma_0 K_1 K_2 v^{1/2} \quad (\text{D-1})$$

$$P_{\max} = \gamma h \quad (\text{D-2})$$

式中: P_{\max} ——新浇筑混凝土对模板的最大侧压力(kPa);

h——为有效压头高度(m);

v——混凝土的浇筑速度(m/h);

t_0 ——新浇混凝土的初凝时间(h), 可按实测确定;

γ ——混凝土的容重(kN/m^3);

K_1 ——外加剂影响修正系数, 不掺外加剂时取 1.0, 掺缓凝作用的外加剂时取 1.2;

K_2 ——混凝土坍落度影响修正系数, 当坍落度小于 30mm 时, 取 0.85; 50~90mm 时, 取 1.0; 110~150mm 时, 取 1.15。

6 倾倒混凝土时冲击产生的水平荷载:

倾倒混凝土时对垂直面模板产生的水平荷载按附表 D 采用。

7 其他可能产生的荷载: 如雪荷载、冬季保温设施荷载等, 按实际情况考虑。

附表 D 倾倒混凝土时产生的水平荷载

向模板中供料方法	水平荷载(kPa)
用溜槽、串筒或导管输出	2.0
用容量 0.2 及小于 0.2m^3 的运输器具倾倒	2.0
用容量大于 0.2 至 0.8m^3 的运输器具倾倒	4.0
用容量大于 0.8m^3 的运输器具倾倒	6.0

附录 E-1 钢筋的力学、工艺性能

钢筋的力学、工艺性能见附表 E-1。

附表 E-1 钢筋的力学、工艺性能

品 种		强度等级 代号	公称直径 (mm)	屈服点 σ_s (Mpa)	抗拉强度 σ_b (Mpa)	伸长率 (%)		冷弯	反向弯曲 45° 反弯 23°	应力松弛 $\sigma_{con} = 0.7\sigma_b$		备 注
外形	钢筋级别			不小于				d=弯心直径 a=钢筋公称直径		1000h 不大于 (%)	10h 不 大于 (%)	
光圆钢筋	I	R235	8~20	235	370	δ_5 25		180° d=a				摘自《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》 (GB13013-91)
热轧带肋钢筋	牌号 HRB335		6~25 28~50	335	490	δ_5 16		180° d=3a d=4a	d=4a d=5a			摘自《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》 (GB1499-98)
	牌号 HRB400		6~28 28~50	400	570	δ_5 14		180° d=4a d=5a	d=5a d=6a			
	牌号 HRB500		6~25 28~50	500	630	δ_5 12		180° d=6a d=7a	d=7a d=8a			
冷轧带肋钢筋	LL550		5~10	$\sigma_{0.2}$ 550	550	δ_{10} 8		180° d=3a				摘自《冷轧带肋钢筋》 (GB13788-92)
	LL650			$\sigma_{0.2}$ 520	650		σ_{100} 4	180° d=4a		8	5	
	LL800			$\sigma_{0.2}$ 640	800		σ_{100} 4	180° d=5a		8	5	
低碳钢热轧圆盘条		Q215 Q235	5.5~30	215 235	375 410	σ_{10} 27 23		180° d=0 d=0.5a				摘自《低碳钢热轧圆盘条》 (GB701-1997)

附录 E-2 焊接钢筋的质量验收内容和标准

一、钢筋闪光对焊接头

1 批量规定：在同一台班内，由同一焊工按同一焊接参数完成的 300 个同类型(指钢筋级别和直径均相同的接头)接头作为 1 批。一周内连续焊接时可以连续计算，一周内累计不足 300 个接头时，亦按 1 批计算。

2 外观检查：每批抽查 10% 的接头，并不得少于 10 个。

3 焊接等长的预应力钢筋(包括螺丝端杆与钢筋)时，可按生产时同等条件制作模拟试件。

4 螺丝端杆接头可只做拉伸试验。

(1)接头处不得有横向裂纹。

(2)与电极接触处的钢筋表面，对 I 级钢筋、HRB335、HRB400 钢筋，不得有明显烧伤；对 HRB500 钢筋不得有烧伤；低温对焊时，对 HRB335、HRB400、HRB500 钢筋，不得有烧伤。

(3)接头处的弯折不得大于 4° 。

(4)接头处的钢筋轴线偏移不得大于 0.1 倍的钢筋直径，同时不得大于 2mm。

当有一个接头不符合要求时，应对全部接头进行检查，剔出不合格品。不合格接头切除重焊后，可再次提交验收。

5 力学性能试验：包括拉伸试验和弯曲试验。应从每批成品中切取 6 个试件，3 个进行拉伸试验，3 个进行弯曲试验。试验结果应符合下列要求：

(1)3 个热轧钢筋接头试件的抗拉强度均不得小于该级别钢筋规定的抗拉强度；余热处理 III 级钢筋接头试件的抗拉强度均不得小于 HRB400 钢筋的抗拉强度。

(2)应至少有 2 个试件断于焊缝之外，并呈延性断裂。

当试验结果有 1 个试件的抗拉强度小于上述规定值，或有 2 个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时，应再取 6 个试件进行复验，复验结果，当仍有 1 个试件的抗拉强度小于规定值时，或有 3 个试件断于焊缝或热影响区，呈脆性断裂，应确认该批接头为不合格品。

(3)预应力钢筋与螺丝端杆闪光对焊接头拉伸试验结果，3 个试件应全部断于焊缝之外，呈延性断裂。

当试验结果有 1 个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时，应从成品中再切取 3 个试件进行复验，复验结果，当仍有 1 个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时，应确认该批接头为不合格品。

(4)模拟试件的试验结果不符合要求时，应从成品中再切取试件进行复验，其数量和要求应与初始试验时相同。

(5)闪光对焊接头弯曲试验时，应将受压面的金属毛刺和镦粗变形部分消除，且与母材的外表齐平。

弯曲试验可在万能试验机、手动或电动液压弯曲试验器上进行，焊缝应处于弯曲中心点，弯心直径和弯曲角应符合附表 E-2-1 的规定，当弯至 90° ，至少有 2 个试件不得发生破断。

附表 E-2-1 闪光对焊接头弯曲试验指标

钢筋级别	弯心直径	弯曲角($^{\circ}$)	钢筋级别	弯心直径	弯曲角($^{\circ}$)
I 级	2d	90	HRB400	5d	90
HRB335	4d	90	HRB500	7d	90

注：①d 为钢筋直径(mm)；

②直径大于 28mm 的钢筋对焊接头，弯曲试验时弯心直径应增加 1 倍钢筋直径。

当试验结果有 2 个试件发生破断时，应再取 6 个试件进行复验，复验结果，当仍有 3 个试件发生破断，应确认该批接头为不合格品。

二、钢筋电弧焊接头

1 批量规定：以 300 个同类型接头为 1 批，不足 300 个时仍作为 1 批。

2 外观检查：应在接头清渣后逐个进行目测或量测，检查结果应符合下列要求：

(1)焊缝表面平整，不得有较大的凹陷、焊瘤。

(2)接头处不得有裂纹。

(3)咬边深度，气孔、夹渣的数量和大小以及接头偏差，不得超过附表 E-2-2 所规定的数值。

附表 L2.2 钢筋电弧焊接头尺寸偏差及缺陷允许值

名 称	单 位	接 头 型 式		
		帮条焊	搭接焊	坡口焊及熔槽帮条焊
帮条沿接头中心线的纵向偏移	mm	0.5d		
接头处弯折	°	4	4	4
接头处钢筋轴线的偏移	mm	0.1d	0.1d	0.1d
		3	3	3
焊缝厚度	mm	+0.05d 0	+0.05d 0	
焊缝宽度	mm	+0.1d 0	+0.1d 0	
焊缝长度	mm	-0.5d	-0.5d	
横向咬边深度	mm	0.5	0.5	0.5
在长 2d 的焊缝表面上	数量	个	2	2
	面积	mm ²	6	6
在全部焊缝上	数量	个		2
	面积	mm ²		6

注：①d 为钢筋直径(mm)；

②低温焊接接头的咬边深度不得大于 0.2mm。

(4)坡口焊及熔槽帮条焊接头，其焊缝加强高度不大于 3mm。

外观检查不合格的接头，经修整或补强后，可再次提交二次验收。

3 强度检验试验：从成品中每批切取 3 个接头做拉伸试验，试验结果应符合下列要求：

(1)3 个热轧钢筋接头试件的抗拉强度均不得低于该级别钢筋的规定抗拉强度值，余热处理Ⅲ级钢筋接头试件抗拉强度均不得小于 HRB400 钢筋规定的抗拉强度。

(2)至少有 2 个试件呈塑性断裂，3 个试件均断于焊缝之外。

当检验结果有 1 个试件的抗拉强度低于规定指标或有 2 个试件发生脆性断裂时，应取双倍数量的试件进行复验，复验结果若仍有 1 个试件的抗拉强度低于规定指标，或有 1 个试件断于焊缝或有 3 个试件呈脆性断裂时，则该批接头即为不合格品。

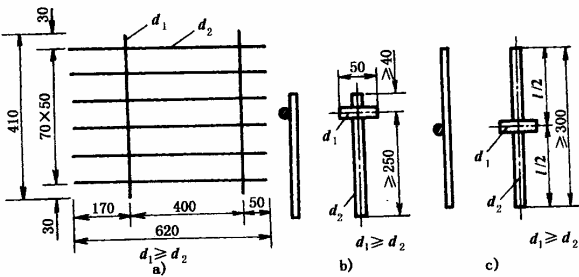
模拟试件数量和要求应与从成品中切取时相同，当模拟试件试验结果不符合要求时，复验应再从成品中切取，其数量和要求应与开始试验时相同。

三、焊接骨架和焊接网片

1 焊接骨架和焊接网片应按下列规定进行质量检验：

(1)外观检查应按同一类型制品分批抽验，一般制品每批抽查 5%；梁柱、骨架等重要制品每批抽查 10%；均不得少于 3 件。

(2)强度检验时，试件应从每批成品中切取。切取过试件的制品，应补焊同级别、同直径的钢筋，其每边的搭接长度应符合规定。当所切取试件的尺寸不能满足试验要求或受力钢筋直径大于 8mm 时，可在生产过程中焊接试验用网片，从中切取试件，试件尺寸见附图 E-2-1。



附图 E-2-1 钢筋焊接试验试件(尺寸单位:mm)

a)焊接网片试验简图;b)钢筋焊点抗剪试件;c)钢筋焊点拉伸试件

(3)热轧钢筋焊点应做抗剪试验，试件为 3 件；冷拔低碳钢丝焊点，除做抗剪试验外，还应对较小钢丝做抗拉伸试验，试件各为 3 件。

(4)焊接制品由几种钢筋组合时，每种组合均做强度试验。

(5)凡钢筋级别、直径及尺寸均相同的焊接制品，即为同一类型制品，每 200 件为 1 批。

2 焊接骨架和焊接网片的外观质量检查，应符合下列要求：

(1)焊点处熔化金属均匀。

(2)热轧钢筋点焊时，压入深度为较小钢筋直径的 30%~45%；冷拔低碳钢丝点焊时，压入深度为较小钢丝直径的 30%~35%。

(3)焊点无脱落、漏焊、裂纹、多孔性缺陷及明显的烧伤现象。

焊接骨架的长度、宽度的允许偏差见现行《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071)的要求。当外观检查结果不符合上述要求时，则逐件检查，并剔出不合格品。对不合格品经整修后，可再次提交验收。

3 焊点的抗剪试验结果应符合附表 E-2-3 规定的数值。拉伸试验结果不得小于冷拔低碳钢丝乙级规定的抗压强度。

附表 E-2-3 钢筋焊点抗剪指标(N)

钢筋级别	较小一根钢筋直径(mm)								
	3	4	5	6	6.5	8	10	12	14
I 级				6640	7800	11810	11460	26580	36170
HRB335						16840	26310	37890	51560
冷拔低碳钢丝	2530	4490	7020						

试验结果，如 1 个试件达不到上述要求，则取双倍数量的试件进行复验，复验结果，若仍有 1 个试件不能达到上述要求，则该批制品即为不合格品。对于不合格品，经采取加固处理后，可再次提交验收。

当模拟试件试验结果达不到规定要求，复验试件应从成品中切取，试件数量和要求应与初始试验时相同。

焊接网片的质量验收内容和标准应符合现行《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18)的规定。

四、预埋件钢筋 T 形接头

1 预埋件钢筋 T 形接头的外观检查，应从同一台班内完成的同一类型预埋件中抽查 10%，且不得少于 10 件。

2 当进行力学性能试验时，应以 300 件同类型预埋件作为 1 批。

一周内连续焊接时，可累计计算。当不足 300 件时，亦应按 1 批计算。应从每批预埋件中随机切取 3 个试件进行拉伸试验，试件的钢筋长度应大于或等于 200mm，钢板的长度和宽度均应大于或等于 60mm(附图 E-2-2)。

3 预埋件钢筋手工电弧焊接头外观检查结果应符合下列要求：

(1)当采用 I 级钢筋时，角焊缝焊脚高不得小于钢筋直径的 0.5 倍；采用 HRB335 钢筋时，焊脚高不得小于钢筋直径的 0.6 倍。

(2)穿孔塞焊焊缝表面平顺，局部下凹不得大于 1mm。

(3)焊缝不得有裂纹。

(4)焊缝表面不得有 3 个直径大于 1.5mm 的气孔。

(5)钢筋咬边深度不得超过 0.5mm。

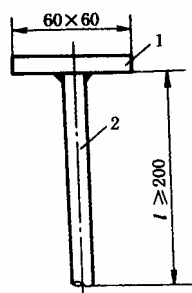
(6)钢筋相对钢板的直角偏差不得大于 4° 。

(7)钢筋间距偏差不应大于 10mm。

4 预埋件钢筋埋弧压力焊接头外观检查结果应符合下列要求：

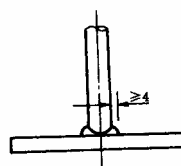
(1)四周焊包凸出钢筋表面的高度应符合如下要求：

敲去渣壳，四周焊包应较均匀，凸出钢筋表面的高度应大于或等于 4mm(附图 E-2-3)。



附图 E-2-2 预埋件 T 形接头拉伸试件

1-钢板;2-钢筋



附图 E-2-3 预埋件钢筋埋弧压力焊接头

(2)钢筋咬边深度不得超过 0.5mm。

(3)与钳口接触处钢筋表面应无明显烧伤。

(4)钢板应无焊穿，根部应无凹陷现象。

(5)钢筋相对钢板的直角偏差不得大于 4° 。

(6)钢筋间距偏差不应大于 10mm。

5 预埋件外观检查结果，当有 1 个接头不符合上述要求时，应逐个进行检查，并剔出不合格品。不合格接头经焊补后可提交二次验收。

6 预埋件钢筋 T 形接头 3 个试件拉伸试验结果，其抗拉强度应符合下列要求：

(1)I 级钢筋接头均不得小于 350MPa；

(2)HRB335 钢筋接头均不得小于 490MPa。

当试验结果有 1 个试件的抗拉强度小于规定值时，应再取 6 个试件进行复验，复验结果，当仍有 1 个试件的抗拉强度小于规定值时，应确认该批接头为不合格品。对于不合格品采取补强焊接后，可提交二次验收。

五、电渣压力焊

1 接头质量检查

电渣压力焊接头应逐个进行外观检查。定做力学性能试验时，从每批接头中随机切取 3 个试件做拉伸试验。

(1)在一般构筑物中，以 300 个同级别钢筋接头作为 1 批；

(2)在现浇钢筋混凝土结构中，每一施工区段中以 300 个同级别钢筋接头作

为 1 批，不足 300 个接头仍作为 1 批。

2 外观检查质量要求

电渣压力焊接头外观检查结果应符合下列要求：

(1)接头焊毕，应停歇适当时间，才可回收焊剂和卸下焊接夹具。敲去渣壳，四周焊包应较均匀，凸出钢筋表面的高度至少 4mm，确保焊接质量，见附图 E-2-4。

(2)电极与钢筋接触处，无明显的烧伤缺陷。

(3)接头处的弯折角不大于 4° 。

(4)接头处的轴线偏移不超过 0.1 倍钢筋直径，同时不大于 2mm。

外观检查不合格的接头应切除重焊，或采取补强措施。

3 拉伸试验质量要求

电渣压力焊接头拉伸试验结果，3 个试件的抗拉强度均不得低于该级别钢筋规定的抗拉强度值。

当试验结果有 1 个试件的抗拉强度低于规定指标，应取 6 个试件进行复验，复验结果，若仍有 1 个试件的抗拉强度低于规定指标，该批接头为不合格品。

六、气压焊

1 接头质量检查

气压焊接头应逐个进行外观检查。当进行力学性能试验时，应从每批接头中随机切取 3 个接头做拉伸试验。在梁、板的水平钢筋连接中，应另切取 3 个接头做弯曲试验，且应按下列规定抽取试件：

以 300 个接头作为 1 批，不足 300 个接头仍作为 1 批。

2 外观检查质量要求

气压焊接头外观检查结果应符合下列要求：

(1)偏心量 e 不得大于钢筋直径的 0.15 倍，同时不得大于 4mm，见附图 E-2-5a)。当不同直径钢筋相焊接时，按较小钢筋直径计算。当超过限量时，应切除重焊。

(2)两钢筋轴线弯折角不得大于 4° ，当超过限量时，应重新加热矫正。

(3)镦粗直径 d 。不得小于钢筋直径的 1.4 倍，见附图 E-2-5b)。当小于此限量时，应重新加热镦粗。

(4)镦粗长度 J ，不得小于钢筋直径的 1.2 倍，且凸起部分平缓圆滑，见附图 E-2-5c)。当小于此限量时，应重新加热镦长。

(5)压焊面偏移 d_b 不得大于钢筋直径的 0.2 倍，见附图 E-2-5d)。

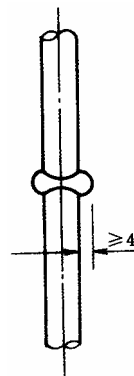
3 拉伸试验质量要求

气压焊接头拉伸试验结果，3 个试件的抗拉强度均不得低于该级别钢筋规定的抗拉强度值，并断于压焊面之外，呈延性断裂。若有 1 个试件不符合要求时，应切取 6 个试件进行复验，复验结果，若仍有 1 个试件不符合要求，该批接头为不合格品。

4 弯曲试验质量要求

气压焊接头弯曲试验时，应将试件受压面的凸起部分除去，与钢筋外表面齐平。

弯心直径应符合附表 E-2-4 的规定。



附图 E-2-4
钢筋电渣压力
焊接头

附表 E-2-4 气压焊接头弯曲试验弯心直径

钢筋等级	弯 心 直 径	
	$d \leq 25\text{mm}$	$d > 25\text{mm}$
I	2d	3d
HRB335	4d	5d
HRB400	5d	6d

注：d 为钢筋直径(m)。

弯曲试验可在万能试验机、手动或电动液压弯曲试验器上进行，压焊面应处在弯曲中心点，弯至 90° ，3 个试件均不得在压焊面发生破断。

当试验结果有 1 个试件不符合要求，应切取 6 个试件进行复验，复验结果，若仍有 1 个试件不符合要求，该批接头为不合格品。**附录 E-3 钢筋机械连接接头的设计原则与性能等级**

1 钢筋机械连接接头的设计应满足接头强度(屈服强度及抗拉强度)及变形性能的要求。

2 钢筋机械连接件的屈服承载力和抗拉承载力的标准值不应小于被连接钢筋的屈服承载力和抗拉承载力标准值的 1.10 倍。

3 钢筋接头应根据接头的性能等级和应用场合，对静力单向拉伸性能、高应力反复拉压、大变形反复拉压、抗疲劳、耐低温等各项性能确定相应的检验项目。

4 接头抗拉强度达到或超过母材抗拉强度标准值，并具有高延性及反复拉压性能。

5 接头性能应符合附表 E-3-1 的规定。

附表 E-3-1 接头性能检验指标

单向拉伸	强 度	$f_{mst}^0 \geq f_{st}^0 \geq 1.15 f_{tk}$	高应力反复拉压	强 度	$f_{mst}^0 \geq f_{st}^0 \geq 1.15 f_{tk}$
	极限变形	$\varepsilon_u \geq 0.04$	大变形反复拉压	残余变形	$u_{20} \leq 0.3\text{mm}$
	残余变形	$u \leq 0.01\text{mm}$		强 度	$f_{mst}^0 \geq f_{st}^0 \geq 1.15 f_{tk}$
				残余变形	$u_4 \leq 0.3\text{mm}$ 且 $u_8 \leq 0.6\text{mm}$

接头性能检验指标主要符号见附表 E-3-2。

附表 E-3-2 接头性能检验指标主要符号

符 号	单 位	含 义
ε_u		受拉接头试件、极限应变试件在规定标距内测得的最大拉应力下的应变值
u	mm	接头半日向拉伸的残余变形
u_4, u_8, u_{20}	mm	接头反复拉压 4,8,20 次后的残余变形
f_{mst}^0, f_{st}^0	MPa	机械连接接头的抗拉、抗压强度实测值
f_{st}^0	MPa	钢筋抗拉强度实测值

f_{tk}, f_{tk}^y	MPa	钢筋抗拉、抗压强度标准值
--------------------	-----	--------------

6 对直接承受动力荷载的结构，其接头应满足设计要求的抗疲劳性能。

当无专门要求时，对连接 HRB335 钢筋的接头，其疲劳性能应能经受应力幅为 100MPa，上限应力为 180MPa 的 200 万次循环加载。对连接 HRB400 钢筋的接头，其疲劳性能应能经受应力幅为 100MPa，上限应力为 190MPa 的 200 万次循环加载。

7 当混凝土结构中钢筋接头部位的温度低于-10℃时，应进行专门的试验。

附录 F-1 常用水泥强度等级及抗压强度

常用水泥强度等级及抗压强度见附表 F-1-1 和附表 F-1-2。

附表 F.1.1 常用水泥强度等级及抗压强度(新标准)

品种	强度等级	抗压强度 (MPa)	
		3d	28d
硅酸盐水泥 (GB175-1999)	42.5	17.0	42.5
	42.5R	22.0	42.5
	52.5	23.0	52.5
	52.5R	27.0	52.5
	62.5	28.0	62.5
	62.5R	32.0	62.5
普通水泥 (GB175-1999)	32.5	11.0	32.5
	32.5R	16.0	32.5
	42.5	16.0	42.5
	42.5R	16.0	42.5
	52.5	22.0	52.5
	52.5R	26.0	52.5
矿渣硅酸盐水泥、火山 灰质硅酸盐水泥、粉煤 灰硅酸盐水泥 (GB1344-1999)	32.5	10.0	32.5
	32.5R	15.0	32.5
	42.5	15.0	42.5
	42.5R	19.0	42.5
	52.5R	23.0	52.5

注：①本表标准自 1999 年 12 月 1 日起实施，GB175-92 及 GB1344-92 标准 2000 年 12 月 1 日起废止，过渡期间以 GB175-92 及 GB1344-92 标准为准；

②水泥强度检验方法同期由 GB/T17671-1999 水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)代替 GB177-85 水泥胶砂强度检验方法。

附表 F-1-2 常用水泥标号及抗压强度(旧标准)

类别及龄期		水 泥 标 号								
		275	325	425	425R	525	525R	625	625R	725R
		软练胶砂抗压强度(MPa)								
硅酸盐水泥 (GB175-92)	3d				22.0	23.0	27.0	28.0	32.0	37.0
	28d				42.5	52.5	52.5	62.5	62.5	72.5

普通水泥 (GB175-92)	3d		12.0	16.0	21.0	22.0	26.0	27.0	31.0	
	28d		32.5	42.5	42.5	52.5	52.5	62.5	62.5	
矿渣水泥、火山灰 质水泥、粉煤灰水 泥(GB1344-1999)	3d				19.0	21.0	23.0		28.0	
	7d	13.0	15.0	21.0						
	28d	27.5	32.5	42.5	42.5	52.5	52.5		62.5	

注：①标号带有 R 的水泥系早强型；
②本表标准自 2000 年 12 月 1 日起废止。

附录 F-2 结构混凝土外加剂现场复试检测项目

结构混凝土外加剂现场复试检测项目见附表 F-2。

附表 F-2 结构混凝土外加剂现场复试检测项目

品 种	检 验 项 目	检验标准
普通减水剂	钢筋锈蚀，28d 抗压强度比，减水率	GB8076
高效减水剂	钢筋锈蚀，28d 抗压强度比，减水率	GB8076
早强减水剂	钢筋锈蚀，1d、28d 抗压强度比，减水率	GB8076
缓凝减水剂	钢筋锈蚀，凝结时间，28d 抗压强度比，减水率	GB8076
引气减水剂	钢筋锈蚀，1d、28d 抗压强度比，减水率，含气量	GB8076
缓凝高效减水剂	钢筋锈蚀，凝结时间，28d 抗压强度比，减水率	GB8076
早强剂	钢筋锈蚀，1d、28d 抗压强度比	GB8076
引气剂	钢筋锈蚀，28d 抗压强度比，含气量	GB8076
泵送剂	钢筋锈蚀，28d 抗压强度比，坍落度保留值，压力泌水率比	JC473
防水剂	钢筋锈蚀，28d 抗压强度比，渗透高度比	JC474
防冻剂	钢筋锈蚀，-7、-7+28d 抗压强度比	JC475
膨胀剂	钢筋锈蚀，28d 抗压、抗折强度，限制膨胀率	JC476
喷射用速凝剂	钢筋锈蚀，凝结时间，28d 抗压强度比	JC477

附录 F-3 混合材料技术条件

一、掺用于混凝土的粉煤灰的质量指标(GBJ1596-91)

用于混凝土中的粉煤灰的质量指标划分为三个等级，其质量指标应符合附表 F-3 的规定。

附表 F-3 粉煤灰质量指标的分级(%)

粉煤灰等	质 量 指 标
------	---------

级	细度 (45 μ m 方孔筛筛余)	烧失量	含水量	三氧化硫含量
I	≤12	≤5	≤1	≤3
II	≤20	≤8	≤1	≤3
III	≤45	≤15	不规定	≤3

二、火山灰质材料做混合材料的技术条件(GB/T2847-96)

1 人工的火山灰质混合材料烧失量不得超过 10%。

2 三氧化硫含量不得超过 3%。

3 火山灰性试验必须合格。

4 水泥胶砂 28d 抗压强度比不得低于 62%(m / m)。

5 放射性物质：人工的火山灰质混合材料应符合 GB6763 的规定，具体数值由水泥厂根据人工的火山灰质混合材料掺加量确定。

三、粒化高炉矿渣做混合材料的技术条件(GB / T203-94)

1 粒化高炉矿渣质量系数($\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2+\text{MnO}+\text{TiO}_2$)不得小于 1.2(式中化学成分均为质量百分数)。

2 钛化合物含量(以 TiO 计)不得超过 10%，氟化物含量(以 F 计)不得超过 2%。冶炼锰铁所得粒化高炉渣，其锰化物的含量(以 MnO 计)不得超过 15%，硫化物的含量(以 S 计)不得超过 3%。

3 高炉矿渣的淬冷处理必须充分，粒化高炉矿渣的密度不得大于 1.2kg / L。未经淬冷的块状矿渣，其最大粒度不得大于 100mm，大于 10mm 的颗粒含量(以重量计)不得大于 8%。

4 不得混有任何外来夹杂物。金属铁的含量应严格控制。

附录 F-4 混凝土配制强度计算

混凝土的施工配制强度 R_p ，可根据强度标准差的历史平均水平按下列公式计算确定：

$$R_p=R+1.645 \sigma$$

式中：R——混凝土设计强度等级；

$$\sigma \text{ ——强度标准差, } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 - nR_n^2}{n-1}}$$

R_i ——统计周期内同一品种混凝土第 i 组试件的强度值(MPa)；

R_n ——统计周期内同一品种混凝土 n 组强度的平均值(MPa)；

n——统计周期内同一品种混凝土试件的总组数， $n \geq 25$ 。

注：①“同一品种混凝土”系指混凝土强度相同且生产工艺和配合比基本相同的混凝土。

②对预拌混凝土厂和预制混凝土构件厂，统计周期可取为 1 个月；对现场拌制混凝土的施工单位，统计周期可根据实际情况确定，但不宜超过 3 个月。

③当混凝土强度为 20 或 25 时，如计算得到的 $\sigma < 2.5\text{MPa}$ ，取 $\sigma = 2.5\text{MPa}$ ；当混凝土强度高于 25 时，如计算得到的 $\sigma < 3.0\text{MPa}$ ，取 $\sigma = 3.0\text{MPa}$ 。

当施工单位不具有近期的同一品种混凝土强度资料时，其混凝土强度标准差。可按附表 F-4 取用。

附表 F-4 σ 值(MPa)

混凝土强度等级	低于 20	20~35	高于 35
σ	4.0	5.0	6.0

注：在采用本表时，施工单位可根据实际情况，对 σ 值作适当调整。

附录 F-5 混凝土达到 0.5MPa 及 1.2MPa 强度所需时间

混凝土达到 0.5MPa 及 1.2MPa 强度所需时间见附表 F-5-1 和附表 F-5-2。

附表 F-5-1 混凝土达到 0.5MPa 强度所需时间(h)

混凝土强度等级	日平均气温(°C)		
	5~15	16~20	21~30
30	10	7	4
15~20	11	8	5

附表 F-5-2 混凝土达到 1.2MPa 强度所需时间(d)

水泥品种及强度等级	外界平均气温(°C)			
	≤ 5	≤ 10	≤ 15	> 15
硅酸盐水泥及强度等级大于等于 32.5 的普通水泥	2.5	2.0	1.5	1.0
矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥及强度等级小于 32.5 的普通水泥	4.0	3.0	2.0	1.5

附录 G-1 预应力混凝土用钢丝力学性能及表面质量要求

1 力学性能见附表 G-1-1、附表 G-1-2。

附表 G-1-1 消除应力钢丝力学性能(GB / T5223—1995)

公称直径 (m m)	抗拉强度 σ _b (MPa) 不小于	规定非比例伸长应力 σ _p (MPa) 不小于	伸长率 (L ₀ =100mm) (%)不小于	弯曲次数		松 弛								
				次数 /180° 不小于	弯曲半径 (m m)	初始应力 相当于公称抗拉强度的百分数(%)	1000h 应力损失(%), 不大于							
							I 级 松弛	II 级 松弛						
4.0	1470 1570	1250 1330	4	3	10	60	4.5	1.0						
5.0	1670 1770	1410 1500		4					15	70	8	2.5		
6.0	1570 1670	1330 1420				20	80	12					4.5	
7.0	1470 1570	1250 1330												25
8.0														
9.0														

注：①I 级松弛即普通松弛、II 级松弛即低松弛，它们分别适用所有钢丝；

- ②屈服强度中 $\sigma_{p0.2}$ 值不小于公称抗拉强度的 85%；
 ③除非生产厂家另有规定，弹性模量取为 $205 \pm 10 \text{ GPa}$ ，但不作为交货条件。

附表 G-1-2 刻痕钢丝的力学性能(GB/T5223-1995)

公称直径 (mm)	抗拉强度 σ_b (MPa) 不小于	规定非比例伸长应力 σ_p (MPa) 不小于	伸长率 ($L_0=100$ mm) (%)不小于	弯曲次数		松 弛		
				次数 /180° 不小于	弯曲半径 (mm)	初始应力相当于公称抗拉强度的百分数(%)	1000h 应力损失(%), 不大于	
							I 级 松弛	II 级 松弛
≤ 5.0	1470 1570	1250 1340	4	3	15	70	8	2.5
> 5.0	1470 1570	1250 1340	4	3	20			

注：规定非比例伸长应力值不小于公称抗拉强度的 85%。
 2 表面质量
 钢丝表面不得有裂纹、小刺、机械损伤、氧化铁皮及油污；回火成品表面允许有回火颜色。除非另有协议，表面允许有浮锈，但不得锈蚀成目视可见的麻坑。

附录 G-2 预应力混凝土用钢绞线力学性能及表面质量要求

1 力学性能见附表 G-2。

附表 G-2 预应力钢绞线力学性能(GB/T5224-1995)

钢绞线结构	钢绞线公称直径 (mm)		强度级别 (MPa)	整根钢绞线的最大负荷(kN)	屈服负荷(kN)	伸长率(%)	1000h 松弛率(%), 不大于			
							I 级松弛		II 级松弛	
							初 始 负 荷			
不 小 于						70% 公称最大负荷	80% 公称最大负荷	70% 公称最大负荷	80% 公称最大负荷	
1×2	10.00		1720	67.9	57.7	3.5	8.0	12	2.5	4.5
1×3	12.00			97.9	83.2					
	10.80			102	86.7					
	12.90			147	125					
1×7	标准型	9.50	1860	102	86.6					
		11.10	1860	138	117					
		12.70	1860	184	156					
		15.20	1720	239	203					

			1860	259	220					
	模	12.70	1860	209	178					
	拔	15.20	1820	300	255					
	型									

注：①I级松弛即普通松弛级，II级松弛即低松弛级，它们分别适用州所用例软域；

②屈服负荷不少于整根钢绞线公称最大负荷的85%；

③除非生产厂家另有规定，弹性模量取为195110CPd，但不作为交货条件。

2 表面质量

钢绞线表面不得带有降低钢绞线与混凝土粘结力的润滑剂、油渍等物质，允许有轻微的浮锈，但不得锈蚀成肉眼可见的麻坑。

附录 G-3 预应力混凝土用热处理钢筋力学性能及表面质量要求

1 力学性能见附表 G-3。

附表 G-3 热处理钢筋的力学性能(GB4463-84)

公称直径 (mm)	牌 号	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_{10} (%)
		不小于		
6	40Si2Mn	1325	1470	6
8.2	48Si2Mn			
10	45Si2Cr			

2 表面质量

钢筋表面不得有肉眼可见的裂纹、结疤、折叠；允许有凸块，但不得有超过横肋高度的凸块；表面允许有不影响使用的缺陷，但不得沾有油污。

附录 G-4 预应力混凝土用冷拉钢筋力学性能

力学性能见附表 G-4。

附表 G-4 冷拉钢筋力学性能

钢筋级别	直径	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	伸长率 δ_{10} (%)	冷 弯	
		不 小 于			弯曲直 径	弯曲角 度
冷拉IV级 钢筋	10~28	700	835	6	5d	90°

注：表中 d 为钢筋直径(mm)，直径大于 25mm 的钢筋，冷弯弯曲直径应增加一个 d。

附录 G-5 预应力混凝土用冷拔低碳钢丝

力学性能及表面质量要求

1 力学性能见附表 G-5。

附表 G-5 冷拔低碳钢丝力学性能

直径(mm)	抗拉强度(MPa)		伸长率 $\delta_{100}(\%)$	180° 反复弯曲次数
	不 小 于		不 小 于	
	I 组	II 组		
4	700	650	2.5	4
5	650	600	3.0	

注：冷拔低碳钢丝经机械调直后，抗拉强度标准值应降低 50MPa。

2 表面质量

钢丝表面不得有裂纹和机械损伤。

附录 G-6 预应力混凝土用精轧螺纹钢筋

力学性能及表面质量要求

1 力学性能见附表 G-6。

附表 G-6 精轧螺纹钢筋力学性能

级别	屈服点 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_5 (%)	冷弯	10h 松弛率(%), 不大于
	不 小 于				
JL540	540	836	10	d=6a 90°	1.5
JL785	785	980	7	d=7a 90°	
JL930	930	1080	6		

注：①a 为钢筋直径(mm)，其规格一般为 18mm，25mm，32mm，40mm；d 为弯心直径；

②除非生产厂家另有规定，弹性模量取为 2×10^6 MPa；

③冷弯指标不作为交货条件。

2 表面质量

钢筋表面不得有横向裂纹、结疤和机械损伤，钢筋表面允许有不影响力学性能和连接的缺陷。

附录 G-7 预应力混凝土用金属螺旋管取样数量、检验内容及质量要求

1 检验内容及取样数量见附表 G-7。

附表 G-7 金属螺旋管检验内容及取样数量

检验顺序	检 验 内 容	取 样 数 量
1	外 观	全 部
2	尺 寸	6
3	集中荷载下径向刚度	3
4	荷载作用后抗渗漏	不另取样
5	抗弯曲渗漏	3

2 质量要求

外观要求：外观应清洁，内外表面无油污，无引起锈蚀的附着物，无孔洞和不规则的折皱，咬口无开裂、无脱扣。

抗渗漏性能：经规定的集中荷载和均布荷载作用后，或在弯曲情况下，不得渗出水泥浆，但允许渗水。附录 G-8 预应力筋平均张拉力的计算

预应力筋平均张拉力按下式计算：

$$P_p = \frac{P(1 - e^{-(kx + \mu\theta)})}{kx + \mu\theta}$$

式中：P_p——预应力筋平均张拉力(N)；

P——预应力筋张拉端的张拉力(N)；

x——从张拉端至计算截面的孔道长度(m)；

θ——从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和(rad)；

k——孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数，参见附表 G-8；

μ——预应力筋与孔道壁的摩擦系数，参见附表 G-8。

注：当预应力筋为直线时 P_p=P。

附表 G-8 系数 k 及 μ 值表

孔道成型方式	k	μ 值		
		钢丝束、钢绞线、光面钢筋	带肋钢筋	精轧螺纹钢
预埋铁皮管道	0.0030	0.35	0.40	—
抽芯成型孔道	0.0015	0.55	0.60	—
预埋金属螺旋管道	0.0015	0.20~0.25	—	0.50

附录 G-9 预应力损失的测定

1 锚圈口摩阻损失的测定

用油压千斤顶测定时，可在张拉台上或用一根直孔道钢筋混凝土柱进行。两端均用锥形锚时，其测定步骤如下：

(1)两端同时充油，油表数值均保持 4MPa，然后将甲端封闭作为被动端，乙端作为主动端，张拉至控制吨位。设乙端控制吨位为 N_a 时，甲端相应吨位为 N_b，则锚圈口摩阻力：

$$N_0 = N_a - N_b$$

克服锚圈口摩阻力的超张拉系数：

$$n_0 = \sqrt{\frac{N_a}{N_b}}$$

测试反复进行 3 次，取平均值。

(2)乙端封闭，甲端张拉，同样按上述方法进行 3 次，取平均值。

(3)两次的 N₀ 和 n₀ 平均值，再予以平均，即为测定值。

2 孔道摩阻损失的测定

用千斤顶测定曲线孔道摩阻时，测试步骤如下：

(1)梁的两端装千斤顶后同时充油，保持一定数值(约 4MPa)。

(2)甲端封闭，乙端张拉。张拉时分级升压，直至张拉控制应力。如此反复

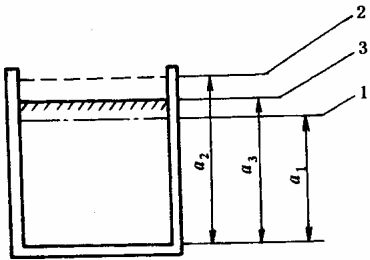
进行 3 次，取两端压力差的平均值。

- (3)仍按上述方法，但乙端封闭，甲端张拉，取两端 3 次压力差的平均值。
- (4)将上述两次压力差平均值再次平均，即为孔道摩阻力的测定值。如两端为锥形锚，上述测定值应扣除锚圈口摩阻力。

附录 G-10 水泥浆泌水率和膨胀率试验

1 容器

试验容器如附图 G-10，用有机玻璃制成，带有密封盖，高 120mm，置放于水平面上。



附图 G-10 水泥浆泌水率和膨胀率试验
1-最初填灌的水泥浆面;2-水面;3-膨胀后的水泥浆面

2 试验方法

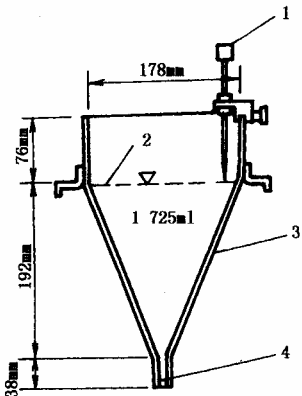
往容器内填灌水泥浆约 100mm 深，测填灌面高度并记录下来，然后盖严。置放 3h 和 24h 后量测其离析水水面和水泥浆膨胀面，然后按下列公式计算泌水率及膨胀率：

$$\text{泌水率} = \frac{100(a_2 - a_3)}{a_1} (\%)$$

$$\text{膨胀率} = \frac{100(a_3 - a_1)}{a_1} (\%)$$

附录 G-11 水泥浆稠度试验

1 容器如附图 G-11。



附图 G-11 水泥浆稠度试验漏斗
1-点测规;2-水泥浆表面;3-不锈钢制 3mm 厚;4-流出口(内径 13mm)

2 稠度试验方法

测定时，先将漏斗调整放平，关上底口活门，将搅拌均匀的水泥浆倾入漏斗内，

直至表面触及点测规下端。打开活门，让水泥浆自由流出，水泥浆全部流完时间(s)，称为水泥浆的稠度。

附录 H 生石灰及消石灰技术指标

生石灰及消石灰的技术指标见附表 H-1、附表 H-2、附表 H-3。

附表 H-1 生石灰的技术指标

项 目	钙质生石灰			镁质生石灰		
	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
CaO+MgO 含量 (%) 不小于	90	85	80	85	80	75
未消化残渣含量(5mm 圆孔筛筛余)(%)不大于	5	10	15	5	10	15
CO ₂ (%)不大于	5	7	9	6	8	10
产浆量(L/kg)不小于	2.8	2.3	2.0	2.8	2.3	2.0

附表 H-2 生石灰粉的技术指标

项 目		钙质生石灰			镁质生石灰		
		优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
CaO+MgO 含量 (%) 不小于		85	80	75	80	75	70
CO ₂ 含量(%)不大于		7	9	11	8	10	12
细 度	0.90mm 筛的筛余(%)不大于	0.2	0.5	1.5	0.2	0.5	1.5
	0.125mm 筛的筛余(%)不大于	7.0	12.0	18.0	7.0	12.0	18.0

附表 H-3 消石灰粉的技术指标

项 目		钙质生石灰			镁质生石灰			白去石消石灰粉		
		优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
CaO+MgO 含 量 (%) 不小于		70	65	60	65	60	55	65	60	55
游离水(%)		0.4~2	0.4~2	0.4~2	0.4~2	0.4~2	0.4~2	0.4~2	0.4~2	0.4~2
体积安定性		合格	合格		合格	合格		合格	合格	
细 度	0.90mm 筛的筛余(%)不大于	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5

0.125mm 筛 的筛余(%)不 大于	3	10	15	3	10	15	3	10	15
----------------------------	---	----	----	---	----	----	---	----	----

注：生石灰及消石灰技术指标摘自《建筑石灰及试验方法》(JC/T479-481/92)。

附录 J 冬期施工热工计算

1 混凝土拌和物的温度按式 (J-1) 计算：

$$T_0 = [0.9(W_c T_c + W_s T_s + W_g T_g) + 4.2 T_w (W_g - P_s \cdot W_s - P_g \cdot W_g) + c_1 (P_s \cdot W_s \cdot T_s + P_g W_g T_g) - c_2 (P_s \cdot W_s + P_g W_g)] \div [4.2 W_w + 0.9(W_c + W_s + W_g)] \quad (J-1)$$

式中： T_0 ——混凝土拌和物的温度(°C)；

W_w 、 W_c 、 W_s 、 T_g ——水、水泥、砂、石的用量(kg)；

T_w 、 T_c 、 T_s 、 T_g ——水、水泥、砂、石的温度(°C)；

P_s 、 P_g ——砂、石的含水率(%)；

c_1 、 c_2 ——水的比热容(kJ / kg · K)及溶解热(kJ / kg)。

当骨料温度>0°C时，： $c_1=4.2$ ， $c_2=0$ ；

当骨料温度≤0°C时， $c_1=2.1$ ， $c_2=335$ 。

2 混凝土拌和物的出机温度按式(J-2)计算

$$T_2 = T_0 - 0.16 (T_0 - T_b) \quad (J-2)$$

式中： T_1 ——混凝土拌和物的出机温度(°C)；

T_b ——搅拌机棚内温度(°C)。

3 混凝土拌和物经运输至成型完成时的温度按式(J-3)计算

$$T_2 = T_1 - (\alpha t + 0.032n) (T_1 - T_a) \quad (J-3)$$

式中： T_2 ——混凝土拌合物经运输至成型完成时的温度(°C)；

t ——混凝土自运输至浇筑成型完成的时间(h)；

n ——混凝土转运次数；

T_a ——运输时的环境气温(°C)；

α ——温度损失系数(h_m^{-1})，当用混凝土搅拌运输车时， $\alpha=0.25$ ；当用开敞式大型自卸汽车时， $\alpha=0.20$ ；当用开敞式小型自卸汽车时， $\alpha=0.30$ ；当用封闭式自卸汽车时， $\alpha=0.10$ ；当用手推车时， $\alpha=0.50$ 。

4 考虑模板和钢筋吸热影响，混凝土成型完成时的温度按式(J-4)计算：

$$T_3 = (c_c W_c T_2 + c_t W_t T_t + c_g W_g T_g) / (c_c W_c + c_t W_t + c_g W_g) \quad (J-4)$$

式中： T_3 ——考虑模板和钢筋吸热影响，混凝土成型完成时的温度(°C)；

c_c 、 c_t 、 c_g ——混凝土、模板材料、钢筋的比热容(kJ / kg · K)；

W_c ——每立方米混凝土的质量(ks)；

W_t 、 W_g ——与每立方米混凝土相接触的模板、钢筋的质量(kg)；

T_t 、 T_g ——模板、钢筋的温度，未预热者可采用当时环境气温(°C)。

5 混凝土蓄热养护过程中的温度计算公式：

(1)混凝土蓄热养护开始至任一时刻 t 的温度按式(J-5)计算：

$$T = \eta e^{-\theta t} - \varphi e^{-\nu t} + T_m \quad (J-5)$$

(2)混凝土蓄热养护开始至任一时刻 t 的平均温度按式(J-6)计算：

$$T = \frac{1}{\nu t} \left[\varphi e^{-\nu t} - \left(\frac{\eta}{\theta} \right) e^{-\theta t} + \left(\frac{\eta}{\theta} \right) - \varphi \right] + T_m \quad (J-6)$$

其中综合参数 θ 、 φ 、 η 如下：

$$\theta = \frac{(\omega K \varphi)}{(\nu c_c \rho_c)}, \varphi = \frac{(\nu c_c W_c)}{(\nu c_c \rho_c - \omega K \varphi)}$$

$$\eta = T_s - T_m + \varphi$$

式中：T——混凝土蓄热养护开始至任一时刻 t 的温度(°C)；

T_m ——混凝土蓄热养护开始至任一时刻 t 的平均温度(°C)；

t——混凝土蓄热养护开始至任一时刻的时间(h)；

ρ_c ——混凝土质量密度(kg / m³)；

W_c ——每立方米混凝土水泥用量(kg / m³)；

c_c ——水泥累积最终放热量(kJ / kg)；

ν ——水泥水化速度系数(h⁻¹)；

ω ——透风系数；

φ ——结构表面系数(m⁻¹)；

K——围护层的总传热系数(kJ / m² · h · K)

e——自然对数之底，可取 e=2.72。

注：①结构表面系数甲值可按下式计算：

$$\varphi = \frac{A_c (\text{混凝土结构表面积})}{V_c (\text{混凝土结构总表面})}$$

②平均气温 T_m 的取法，可采用蓄热养护开始至‘时气象预报的平均气温，若遇大风雪及寒潮降临，可按每时或每日平均气温计算。

③围护层的总传热系数 x 值可按下式计算：

$$K = \frac{3.6}{0.04 + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}}$$

式中：d_i——第 i 围护层的厚度(m)；

k_i——第 i 围护层的导热系数(W / m · K)。

④水泥累积最终放热量 c_c 、水泥水化速度系数 ν 及透风系数 ω 按附表 J-1 和附表 J-2 取值。

附表 J-1 水泥累积最终放热量 c_c 和水泥水化速度系数 ν

水泥品种及强度等级	c_c (kJ/kg)	ν (h ⁻¹)
52.5 硅酸盐水泥	400	0.013
52.5 普通硅酸盐水泥	360	
42.5 普通硅酸盐水泥	330	
42.5 矿渣、火山灰、粉煤灰水泥	240	

附表 J-2 透风系数回 ω

保温层的种类	透风系数 ω		
	小风	中风	大风
保温层由容易透风材料组成	2.0	2.5	3.0
在容易透风材料外面包以不易透风材料	1.5	1.8	2.0

保温层由不易透风材料组成	1.3	1.45	1.6
--------------	-----	------	-----

注： $v_w < 3\text{m/s}$ ，小风； $3 \leq v_w \leq 5\text{m/s}$ ，中风； $v_w > 5\text{m/s}$ ，大风。

(3)当施工需要计算混凝土蓄热养护冷却至 0°C 的时间时，可根据公式(J-5)采用逐次逼近的方法进行计算，如果实际采取的蓄热养护条件满足 $\varphi/T_m \geq 1.5$ ，且 $K_\varphi \geq 50$ 时，也可按式(J-7)直接计算：

$$t_0 = \frac{1}{V} \ln(\varphi/T_m) \quad (\text{J-7})$$

式中： t_0 ——混凝土蓄热养护冷却至 0°C 的时间(h)。
混凝土蓄热养护开始冷却至 0°C 时间 t_0 内的平均温度，可根据公式(J-6)取 $t=t_0$ 进行计算。**附录 K-1 超声波探伤**

1 超声波探伤的距离一波幅曲线灵敏度应符合附表 K-1-1 的规定。

附表 K-1-1 超声波探伤距离一波幅曲线灵敏度

焊缝质量等级	板厚(mm)	判废线	定量线	评定线
对接焊缝 I、II 级	10×46	$\phi 3 \times 40\text{-}6\text{dB}$	$\phi 3 \times 40\text{-}14\text{dB}$	$\phi 3 \times 40\text{-}20\text{dB}$
	>46×56	$\phi 3 \times 40\text{-}2\text{dB}$	$\phi 3 \times 40\text{-}10\text{dB}$	$\phi 3 \times 40\text{-}16\text{dB}$
角焊缝 II 级	10×25	$\phi 1 \times 2$	$\phi 1 \times 2\text{-}6\text{dB}$	$\phi 1 \times 2\text{-}12\text{dB}$
	>25×56	$\phi 1 \times 2\text{+}4\text{B}$	$\phi 1 \times 2\text{-}4\text{dB}$	$\phi 1 \times 2\text{-}10\text{dB}$

注：角焊缝超声波探伤采用铁路钢桥制造专用柱孔标准试块或与其校准过的其他孔形试块。

2 超声波探伤缺陷等级评定应符合附表 K-1-2 的规定，判断为裂纹、未熔合、未焊透(对接焊缝)等危机性缺陷者，应判断为不合格。

附表 K-1-2 超声波探伤缺陷等级评定

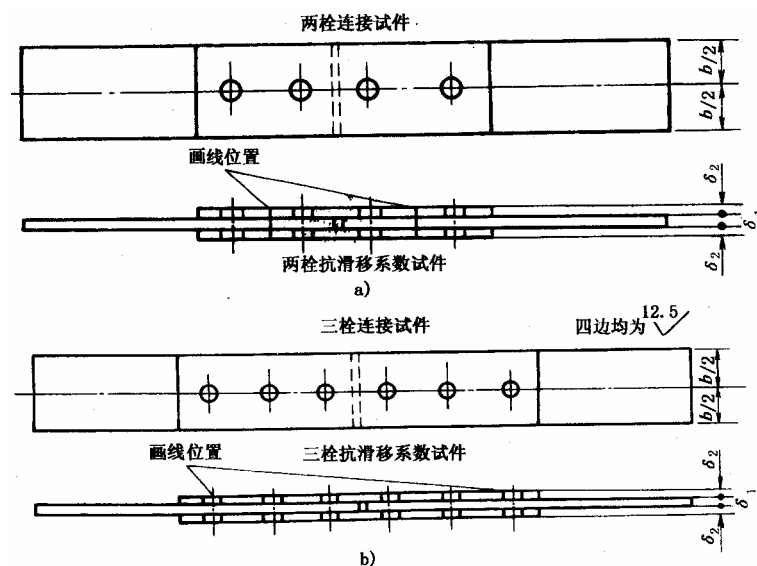
评定等级	板厚(mm)	单个缺陷指示长度	多个缺陷的累计指示长度
对接焊缝 I 级	10~56	$t/4$ ，最小可为 8	在任意 $9t$ 焊缝长度范围不超过 t
对接焊缝 II 级	10~56	$t/4$ ，最小可为 10	在任意 $4.5t$ 焊缝长度范围不超过 t
角焊缝 II 级	10~56	$t/4$ ，最小可为 10	—

注：①母材板厚不同时，按较薄板评定；
②缺陷指示长度小于 8mm 时，按 5mm 计。**附录 K-2 高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法**

1 基本要求

(1)制造厂家和安装单位应分别以钢结构制造批为单位进行抗滑移系数试验。制造批可按单位工程划分规定的工程量每 2000t 为一批，不足 2000t 的可视为一批。选用两种及两种以上表面处理工艺时，每种处理工艺应单独检验。每批三组试件。

(2)抗滑移系数试验应采用双摩擦面的两栓或三栓拼接的拉力试件(附图 K-2)。



附图 K-2 抗滑移系数试件的型和尺寸
a)两栓拼接试件;b)三栓拼接试件

2 试验方法

- (1)试验用的试验机误差应在 1% 以内。
- (2)试验用的贴有电阻片的高强度螺栓、压力传感器和电阻应变仪应在试验前用试验机进行标定，其误差应在 2% 以内。
- (3)测定抗滑移系数的试件为拉力试件。
- (4)测定抗滑移系数的试件应由钢桥制造厂加工，试件与所代表的钢桥应为同一材质、同批制作、同一摩擦面处理工艺，使用同一性能等级和同一直径的高强度螺栓连接副，并在相同条件下运输、存放。
- (5)测定抗滑移系数的试件为双面拼装试件，其试件尺寸如附图 k-2。
- (6)试件的钢板厚度 δ_1 、 δ_2 应为所代表的钢桥中有代表性部件的钢板厚度，试件的宽度 b 应按附表 K-2 确定。

附表 K-2 试件板的宽度

螺栓直径 d(mm)	16	20	22	24
板宽 d(mm)	60	75	80	85

- (7)试件加工应符合图中规定。
- (8)试件板面应平整，无油污、孔边，板面无飞边、毛刺。
- (9)按图所示进行试件组装，先打入冲钉定位，然后逐个换成贴有电阻应变片的高强度螺栓(或用压力传感器)，拧紧高强度螺栓的预应力达到 $0.95 \sim 1.05P$ (P 为高强度螺栓设计预拉力)。
- (10)将试件装在试验机上，使试件的轴线与试验机夹具中心线严格对中，在试件侧面画直线，画线位置如图所示，测出高强度螺栓预拉力实测值，然后进行拉力试验，平稳加载，加载速度为 $3 \sim 5 \text{ kN/s}$ ，拉至滑动测得滑动荷载 N 。
- (11)在试验中发生以下情况之一时，认为达到滑动荷载：
 - ①试验机发生回针现象；
 - ②X-Y 记录仪中变形发生突变；
 - ③试件侧面画线发生错动。

3 抗滑移系数计算方法

抗滑移系数 f 按下式计算，取两位有效数字：

$$f = \frac{N}{m \Sigma P}$$

式中：N——由试验机测得的滑动荷载(kN，取三位有效数字)

m——摩擦面数取 $m=2$ ；

ΣP ——与试件滑动荷载对应一侧的高强度螺栓预拉力实测值之和(kN，取三位有效数字)。

本规范用词说明

本规范用词说明

执行条文严格程度的用词。

1 表示很严格，非这样不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

4 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的用词：采用“可”。

条文说明

附件

中华人民共和国行业标准

公路桥涵施工技术规范

JTJ041-2000

条文说明

编制说明

《公路桥涵施工技术规范》(JTJ-89)(以下简称原规范),自1989年发布以来,使用已逾10年。规范中有些技术、工艺要求已经过时,质量要求宽严有不适之处,有的条款规定不确切,有的条款规定与部颁配套的有关规范、标准有矛盾,也不全部符合国标规定。另外,近年来涌现的新材料、新工艺、新技术,经过多年的实践,有的已有成熟的经验,但未纳入本规范中。综上所述,原规范已不适应当前公路桥涵建设的新形势。交通部公路司根据当前情况,下达了修订本规范的任务。

本次修订本着以下原则进行:①与部颁相关规范协调配套;②强调施工关键工序的控制;③基本内容与编排以原规范为基础;④面向省级施工队伍的水平,在可靠的基础上,尽可能反映先进技术;⑤与国标接轨,向国际标准靠拢。

经过3年多的努力,本规范条文及相应的条文说明现已完成修订工作。

本次修订取消的章节为:原规范第6章管柱基础,取消的原因是,该结构施工工艺是50年代的,而自50年代起至今仅有两座桥的设计采用过该结构;现阶段大口径沉入桩比它先进而优越;在征求意见的专家会上,已形成取消该章节的一致意见,故而取消。原规范第17章木桥,因现代桥梁已无此种结构,也应在取消之列。

新增加了第8章地下连续墙、第16章拱桥、第20章桥面及附属工程。地下连续墙,自90年代以来已应用于桥梁结构,故此次新增。第16章拱桥,此次修订把原规范中有关拱桥的内容单列出来,并增加了劲性骨架浇筑拱圈、钢管混凝土拱桥等内容,同时,对原规范内容进行修改和补充,使之适应当代拱桥建筑的需要。第20章桥面及附属工程的各节内容均是90年代已成熟的施工技术,特别是支座、伸缩装置、桥面防护等以前不被重视的施工技术要求,此次均已列入。

其余各章均增加了较多的内容。第3章施工准备和施工测量,增加了GPS测量定位技术要求,增加了测距仪的测量精度要求。第6章就地灌注桩基础,界定了大直径桩的范围,增加了大直径及变截面就地灌注桩基础的施工技术规定和要求。第10章钢筋,增加了近年来已使用的新的焊接和机械连接技术的规定。第11章混凝土和钢筋混凝土,增加了混凝土的耐久性的要求,增加了高强度混凝土的施工要求;对大体积混凝土给予定义,对其施工作出了规定。第12章预应力混凝土工程,收入了新的高强预应力材料的各种性能指标及要求,补充了适应现阶段预应力混凝土工程施工的技术要求,更具操作性。第15章钢筋混凝土及预应力混凝土梁式桥,内容增加较多,包括了现阶段一般大、中、小梁式桥的各种施工技术要求。第17章钢桥,对比新的相关行业标准进行了修订,特别对近年来修建的大跨径桥梁主梁采用钢箱的实际情况,增加了新的规定。第18章悬索桥,全部更新了原有的吊桥章节的内容,尽可能反映了我国悬索桥修建技术发展的现状。第19章斜拉桥,亦是根据90年代斜拉桥建筑技术的发展而进行了修订。

总之,本次修订后,规范内容基本涵盖了我国公路桥涵施工的各种技术、工艺及主要施工环节的施工要求,对提高我国的桥梁施工技术、规范施工方法、保证施工质量,将起到行业技术指导的作用。

本规范编写分工如下:

第19章斜拉桥由湖南省公路桥梁建设总公司编写,第18章悬索桥由广东省

长大公路工程有限公司编写，第16章拱桥由四川路桥建设集团有限公司编写，其余各章均由路桥集团第一公路工程局编写。

统稿和审稿均由路桥集团第一公路工程局承担。

相关条款的条文说明亦由以上相关编写单位编写。

本规范的修订严格遵照建设部建标[1996]626号文件“关于印发《工程建设标准编写规定》和《工程建设出版印刷规定》的通知”，并坚持按编写计划进行。

1996年底完成了本规范的编写大纲，1997年5月通过了交通部公路司对大纲的审查，1998年5月完成了征求意见稿(第一稿)，送全国多家单位征求意见，此次征求意见共回收意见400多条，据此，编写组又进行了修改，于1998年10月完成了征求意见稿(第二稿)。

1998年11月底，召开了征求意见稿(第二稿)的征求意见会。到会的有全国省级以上本行业及外行业施工、科研、建设、设计等单位的专家和代表。参会专家和代表对征求意见稿(第二稿)进行了讨论并提出了许多宝贵意见。编写单位根据专家意见及建议多次进行了认真的讨论与修改，形成了送审稿。

1999年4月中旬，由交通部公路司分别就下部构造，悬索桥、斜拉桥，上部构造三大内容主持召开了送审稿审查会。与会专家认真逐章逐节对送审稿提出修改意见，并形成会议纪要。编写组根据会议纪要再次进行讨论、修改，1999年7月下旬形成报批稿后，又请有关专家逐章逐节审阅，部主管领导也仔细审阅修改。编写组又根据专家及部主管领导意见再次进行了修改。

本次修订，时间比上次修订时间缩短，规范内容又增加很多，限于时间和水平，难免有问题存在，欢迎广大同行在使用中提出宝贵意见，以便再次修改，使之更趋完善。

1 总 则

1.0.2 条文中改建的含义包括了扩建。桥涵工程的扩建与厂矿的扩建不一样，后者在扩建时，原有的设施基本上可以照常生产，而前者在扩建(例如桥面加宽、载重加大)时原桥结构常不能维持通车，故扩建可包含在改建内。大、中修是指各省市利用养路费改造原有桥涵的项目。

1.0.3 关于桥涵施工的工程质量监督和监理，应按照交通部的有关规定及规范办理。关于桥涵施工中建设单位、设计单位、施工单位、监理单位的关系问题和施工中需要修改设计的问题，应按照交通部颁布的有关规定办理。

1.0.4 桥涵施工准备工作和技术交底、施工组织、施工管理工作是完成施工任务和工程质量的保证条件，故本条予以强调。有关技术操作规程，包括交通部标准，如水泥混凝土、石料、金属等材料的试验规程，以及各省(区)、市等自行编制的施工工艺规程等。

1.0.5 为了加速实现公路桥涵施工现代化，推广使用新技术、新工艺、新材料、新设备是非常必要的。但在推广使用上述“四新”时，必须采取既积极又稳妥的方针，一般应先做试验，以防止发生质量、安全事故，特别是大型桥梁更应慎重。

1.0.6 桥涵施工节约用地、少占农田，主要是指在施工时生产和施工人员生活的临时用地。这类临时用地，在第1.0.7条规定桥涵竣工后，应和弃土等及时进行清理，交还原主。桥涵竣工后，虽经过处理，有些土地要恢复原来农产量，已较为困难；或需增加大量农业投入，根据国家土地政策，要求桥涵施工节约用地、少占农田是非常必要的。

环境保护是关系我们民族和子孙后代生存的极为重要的问题，国家对此极为

重视,除宪法中对此有专门的条文规定外,还颁发有《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《征收排污费暂行办法》、《水土保持工作条例》、《工业“三废”排放试行标准》(GBJ4-3)等法规。根据上述法规,桥涵施工需要注意的环境保护问题是:

1.开采土、石、砂料,可能导致水土流失的,必须采取水土保持措施;废弃的土、石、砂料和矿渣必须妥善处理,不准倒入江河、水库;工程竣工时,取料场、开挖面等范围内的裸露土地,由施工单位负责采取种植措施和必要的工程措施,保持水土资源。

2.禁止向一切水域倾倒垃圾、废渣,排放污水必须符合国家标准。工业废水中 pH 值的最高容许排放浓度为 6~9。在钻孔灌注桩施工中所采用的泥浆,为了提高其性能指标,常掺入碳酸钠、硝基腐殖酸钠盐、铬铁木质素黄酸钠盐等化学物质。这些物质超过一定限度,就可能使泥浆的 pH 值大于 6~9 的容许排放范围,因此,施工中应予以注意。

3.在明挖地基、就地灌注桩基础或沉井基础施工中,常需挖出大量泥渣排入河道;在河中筑岛、筑围堰时,则需填入大量泥土,桥梁竣工后这些泥土如不及时清除,将造成河流堵塞或污染水域。根据上述法规,本规范第 1.0.7 条作了应进行处理的规定。若从钻孔或沉井中取出有可溶性剧毒的渣土,应运至安全场所,并采取防水、防渗措施。严禁就地排入水域中。

1.0.8 文明施工是相对于野蛮施工、混乱施工而言。文明施工的特征是按设计要求及施工技术规范,严密组织施工,并做到施工场地清洁,井然有序,没有随地乱扔的废旧材料、工具,如短钢筋头、元钉、码钉、铁丝、木料、水泥纸袋、扳手、铁锤、钢管、橡皮管等。使用过的机械和多余的材料,在短期内不再使用的应及时归库,不随地乱搁。工人的调度、安排,随着工程需要而定,没有因窝工而到处闲逛或聚坐长时间闲谈的情况。施工中的废水、废渣不随地乱排、乱放。能否做到文明施工是施工单位施工管理水平的体现。

安全生产是我国对职工身体关怀的一贯方针。应当制止那种只顾完成施工任务而不顾职工安全的倾向。安全操作要求,本规范有关章节中,对极易发生安全事故的操作,作了必要的规定。较为详细的可参见交通部颁发的安全操作规程或参考其他部门的安全生产有关规定。

2 术 语

2.0.1 控制测量

建立控制测量网一般可分为平面和高程单独布设,在目前由于建网的手段和技术的发展也可以布设成三维控制网,因此所进行的测量工作各不相同。

2.0.13 贯入度

贯入度的单位按沉桩机具不同而不同,坠锤、单动汽锤在桩尖接近设计标高时着实的打 5 锤取其平均贯入量作为最终贯入度,单位为 mm / 击;双动汽锤、柴油锤、振动锤在桩尖接近设计标高时记录最后 100mm 的锤击、振动时间的每分钟平均贯入量作为停打贯入度,单位为 mm / min。

2.0.15 大直径桩

根据目前设计桩径、施工机具、施工方法的实际情况,采用一般施工技术的 2.5m 以下钻孔灌注桩施工已很普通,本规范把直径大于等于 2.5m 的钻孔灌注桩界定为大直径桩。

2.0.32 大体积混凝土

目前我国对大体积混凝土的定义有多种提法, 国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)条文说明第四章混凝土工程第 4.5.3 条中有关内容为:

大体积混凝土在硬化过程中, 产生的水化热不易散发, 施工中如不采取措施, 会由于混凝土内外温差过大而出现裂缝, 因此必须使温差控制在设计要求以内。当设计无要求时, 温差以不超过 25℃为宜, 是适用于建筑物的基础大体积混凝土(即最小边尺寸在 1~3m 范围内)。这一温差值与我国《钢筋混凝土高层建筑设计规范》(JGJ3~91)的要求相一致。即指大体积混凝土为最小边尺寸在 1~3m 范围内的混凝土。

《普通混凝土配合比设计规程》(JGS55-96)第 6.5.1 条的描述: “混凝土结构中实体最小尺寸在 1m 的部位即为大体积混凝土”。

国标《混凝土质量控制标准》(GB50.64-92)条文说明第 4.6.5 条有关内容为:

关于大体积混凝土的定义, 针对本标准的适用范围是工业与民用建筑用普通混凝土, 大体积混凝土一般指的是最小边尺寸在 1m 以上的结构。

综合以上几种定义, 结合我国的具体情况, 认为这个定义既要能明确大体积混凝土与一般混凝土的区别, 但在实践中又要能容易界定、容易操作。桥涵结构与房建工程有一定的区别, 基础尺寸变化大, 外部环境等因素的影响都比较大, 故其定义应较为宽松。

从施工实践看, 基础结构最小尺寸为 80~100cm 以上, 混凝土浇筑时, 内外温度差一般大都达到或超过 25℃, 而在此前提下规定一个尺寸范围又比较容易操作。所以可以采用国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)的提法, 即最小边尺寸在 1~3m 范围内的基础混凝土为大体积混凝土。

2.0.48 箱梁基准块

T 构、连续梁在悬拼预制梁块安装施工时, 墩顶 0 号梁块现浇混凝土强度达到设计要求后, 墩侧 0 号梁块附近首批悬拼的梁块是基准梁块, 基准梁块在预制、安装时精度要求高, 以后接拼的梁块以此梁块为准进行桥轴线及高程控制, 所以基准梁块悬拼就位正确与否对以后的悬臂拼装质量影响很大, 因此箱梁基准梁块的预制及悬拼安装应该重视。

2.0.55 分环(层)分段浇筑法

分环(层)分段浇筑法, 分段位置应以使拱架受力对称、均匀和变形小为原则, 一般设在拱架受力反弯点、拱架节点、拱顶及拱脚处。各段的接缝面应与拱轴线垂直。

2.0.56 分环多工作面均衡浇筑法

大跨径劲性骨架混凝土拱圈或拱肋浇筑混凝土时, 为使拱圈或拱肋受力均衡合理, 不用锚索或水箱调载, 而将拱圈或拱肋的断面分成多环(层)多工作面均衡对称浇筑, 以保证先期浇筑混凝土不产生裂缝并与劲性骨架共同承载, 完成拱圈或拱肋的形成过程。

2.0.57 斜拉扣挂分环连接浇筑

大跨径拱桥无支架施工时, 利用劲性拱圈或拱肋浇筑混凝土, 为了浇筑工作连续进行, 根据扣点和扣索的选择和拱圈或拱肋的断面分环(层)分段的浇筑划分, 计算出各断面的叠加应力, 根据应力值的变化, 利用斜拉索的张拉和放松来控制、调整断面应力在允许范围内, 以保证劲性拱圈或拱肋的稳定性和施工安全。

2.0.61、2.0.62、2.0.63 在施工过程中, 对“零件”、“部件”和“构件”有不同的要求, 许多情况下不能混淆, 文中根据钢结构工程的特点, 给出了这 3 个术语的定义, 以使正确理解和操作。

2.0.69 环境温度

由于钢结构的特点,经常对施工环境的温度提出要求,而对环境温度的理解不同,又经常引起争议。因此将“环境温度”加以解释,以便正确操作。

2.0.70 锚碇

锚碇是悬索桥的主要承重构件,主缆两端均锚固于锚碇内,以抵抗来自主缆的巨大拉力并将拉力传递给地基基础。常用的主要有重力式和隧道式。

2.0.72 施工猫道

一般按上、下游分别设置,形状及各部尺寸应能满足悬索桥主缆施工的需要,猫道面层标高到被架设的主缆底面距离沿全长保持一致,一般为 1.3~1.5m,猫道净宽一般取 3~4m,上、下游猫道间设若干条人行道,以增强抗风稳定性。猫道承重索可用钢丝绳或钢绞线。

猫道面层由抗风面积小的两层大、小方格钢丝网组成。

猫道面层从塔向跨中、锚碇方向铺设,并且上、下游两幅猫道要对称、平衡地进行。铺设过程中设牵引及反拉系统。

中跨、边跨猫道的架设进度,要以塔的两侧水平力差异不超过设计为准。

2.0.73 索鞍

索鞍是专供悬索绕过塔顶的支撑结构,索鞍的上座由肋形的铸钢块件组成,上设有索槽安放悬索。在刚性桥塔中的索鞍,一般还在上座下设一排辊轴,辊轴下设下座板,以把辊轴传来的集中荷载很好地分布在塔柱上。在摆柱式或柔性桥塔中的索鞍,仅设铸钢的上座,并通过螺栓与塔柱固定。

2.0.74 索夹

主缆和吊索的连接一般采用刚性索夹把主缆箍紧,使主缆在受拉时产生收缩变形也不致滑动。索夹的型式,根据主缆的排列常分为六边形和圆形两种型式的钢铸件。

2.0.76 加劲钢箱梁

悬索桥、斜拉桥的主梁可做成钢板梁、钢桁梁和钢箱梁,钢箱梁抗扭刚度大,抗风性能较好,风的阻力系数小,构造简单,易于制造、养护,是目前采用较广的悬索桥、斜拉桥的主梁。

2.0.80 模数式伸缩装置

模数式伸缩装置有如下型式: TS, J-75, SSF, SC, XF 斜向型, GQF-MZL 型。公路上采用较多的 GQF-MZL 系列伸缩装置是由专用异形钢材作为主要受力构件,由边梁、中梁、横梁、位移控制系统、密封橡胶带等构件组合而成的系列伸缩装置。其特点是伸缩装置的承重结构和位移控制系统分开,结构上充分考虑了除能满足水平变位需要外,还能满足桥梁横向、垂直方向和梁端转角产生变形的需要,在公路桥梁的使用上有更大的适用性。

3 施工准备和施工测量

3.1.1 施工单位在编制施工组织设计前,应组织有关人员设计文件、图纸、资料进行研究和现场核对,必要时进行补充调查。研究设计文件、图纸、资料时,应首先查明是否齐全、清楚,图纸本身及相互之间有无矛盾和错误,如发现图纸和资料欠缺、错误、矛盾等情况,应向建设单位提出,予以补全、更正。较复杂的中桥、大桥和特大桥,可要求建设单位进行设计交底,施工单位可提出修改意见供建设单位考虑。

3.1.3 参考文献《施工组织设计与进度管理》(中国建筑出版社,1995)拟定。

3.1.4 是根据文献《质量振兴纲要》及《质量保证》拟定。

3.2.2 1 三角测量的等级划分是根据文献《工程测量规范》(GB50026-93)制定的。

3.2.2 2 1)三角测量等级(表 3.2.2-1)是根据文献《公路勘测规范》(JTJ061-99)制定的。

三角测量的主要技术要求(表 3.2.2-2)是根据文献《公路勘测规范》(JTJ061-99)及《工程测量规范》(GB-50026-93)第 3.1.3 条表 3.1.3 制定的。

水平角方向观测法的技术要求(表 3.2.2-3)是根据文献《公路勘测规范》(JTJ061-99)制定的。

测距的主要技术要求(表 3.2.2-4)、测量精度等级(表 3.2.2-5)是根据文献《公路勘测规范》(JTJ061-99)制定的;表 3.2.2-7 是根据《公路全球定位系统(GPS)测量规范》(JTJ / T066-98)制定的。

3.2.2 2 2) (1)公式(3.2.2-1)是根据文献《公路勘测规范》(JTJ061-99)制定的。

3.2.2 2 2) (2)公式(3.2.2-2)是根据文献《公路勘测规范》(JTJ061-99)制定的。

3.2.2 2 2) (3)公式(3.2.2-3)、公式(3.2.2-4)是根据文献《工程测量规范》(GB50026-93)制定的。

3.2.2 3 桥位测量的精度要求(表 3.2.2-6)是根据文献《公路勘测规范》(JTJ061-99)制定的。

3.2.2 4 公式(3.2.2-5)是根据《公路全球定位系统(GPS)测量规范》(JTJ / T066-98)第 3.1.2 条拟定的。

3.2.2 5 1) 水准测量的主要技术要求(表 3.2.2-8)是根据文献《公路勘测规范》(JTJ061-99)及《工程测量规范》(GB50026-93)第 3.2.1 条表 3.2.1 制定的。

3.2.2 5 2) (1)公式(3.2.2-6)是根据文献《工程测量规范》(GB50026-93)第 3.2.8 条公式(3.2.8-1)制定的。

3.2.2 5 2) (2)公式(3.2.2-7)是根据文献《工程测量规范》(GB50026-93)第 3.2.8 条公式(3.2.8-2)制定的。

3.2.2 5 3) 公式(3.2.2-8)、公式(3.2.2-9)、公式(3.2.2-10)参照原规范第 2.2.15 条公式(2.2.15-1)、公式(2.2.15-2)、公式(2.2.15-3)制定的。

4 明挖地基

4.1 基 坑

4.1.1 基坑顶面设置防止地面水流入基坑的措施,可防止地面水集中冲刷基坑边坡而影响基坑边坡的稳定,还可减少基坑内需要排出的水量。

基坑顶的动荷载是指从基坑中挖出的弃土和排水设备。这些动荷载离基坑顶边缘越近,影响基坑边坡的稳定性越大。但排水设备如搁置离基坑顶边缘过远,则其进水管道路延长过多,影响抽水效率,故规定如条文。

4.1.2 1 本款对基坑尺寸增大的规定,系指有渗水的基坑而言。对无渗水的基坑尺寸,可以减少设置排水系统所需面积;对无渗水、土质密实(不致坍方)、开挖边缘整齐(如风化岩)而不需设置基础模板的基坑,可按基底平面尺寸开挖。

4.1.2 2 根据土力学原理,斜坡的稳定与斜坡度大小、地质条件、斜坡高度、坡顶有否附加荷载及荷载类别等因素有关。若其余因素相同时,则各因素影响斜坡的稳定规律为:斜坡度越平缓越稳定,越陡峻越易坍塌;土的粘聚力大的(如岩石、粘性土)比粘聚力小的(如砂土)较稳定;土的含水量较少的较稳定;坡顶有荷载特别是动荷载的较不稳定。

规范表 4.1.2 是根据土力学斜坡稳定理论、施工经验和适当的安全系数规定

的,适用于基坑深度在 5m 以内的情况。因为常用的离心式抽水机的吸水高度理论上虽可达 10m,但由于机器效率和各种水头摩阻损失,实际吸水高度只约 6m。当坡顶至基坑底高 5m 时,抽水机置于坡顶,则其吸水高度等于抽水机进水管口至坡顶地面高,再加工作水位降至基坑底面以下约 0.5m,即约 6m,与抽水机吸水高大致相同。

当渗水基坑深度 $\geq 8\text{m}$ 以上,采用明挖地基以抽水机排水是否合算,应与其他方法如井点法排水进行技术经济比较决定。

4.1.2 3 在天然含水量范围内时,砂类土的天然坡度大致等于其计算的内摩擦角。粘性土在天然含水量范围内的天然坡度,除考虑其计算的内摩擦角外,还要考虑粘聚力、孔隙比、塑限含水量、容重等因素。

4.1.3 是根据《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GBJ86-85)拟定的。

4.2 围 堰

4.2.1 1 这里的施工期间是指从围堰开始修筑至完成,即从排除堰内积水,边排水边挖除堰内基坑土(石)方,砌筑墩台基础及墩台身(高出施工水位或堰顶高程),到可以撤除围堰时为止。在这期间可能出现的最高水位即作为决定堰顶高程的依据。确定这一水位的方法,一般设计单位在施工组织设计中已经提供。若设计单位未提供时,则应向该河流桥位附近的水文站索取历年水位高程记录、降雨量记录、未来气象中期预报资料,会同水文站分析并考虑一定的安全预留量确定。对某类围堰,其堰顶可随水位上涨而增高的,其预留量可小一点,否则应大一点。

墩台基础施工应尽量安排在枯水期进行,这样,围堰高度可降低,断面可减少,挖基时排水工作量也可减少。

4.2.1 2 围堰外形有圆形、圆端形(上下游为半圆形,中部为矩形)、矩形、带三角尖的矩形等。围堰外形的选择,不仅应考虑条文所述的因素,而且要按围堰种类来选择适当的外形。例如钢筋混凝土板桩围堰不宜用于曲线形围堰;而钢板桩围堰可用于圆形或圆端形等。此外,围堰外形还影响其堰内抵抗水压力的支撑受力情况。这些都是在选择围堰外形时均应考虑的因素。

4.2.1 3 围堰内的净面积(指围堰断面放坡后,原河床表面坡脚净面积)可按规范第 4.1 节规定办理。若采用土围堰、土袋围堰、竹(铅丝)笼围堰,堰内基坑挖下去后,可不设支撑维护基坑壁,而依靠放宽坡脚自身稳定,此时围堰内净面积还应满足坑壁放坡所需宽度的要求。围堰内坡脚至基坑顶边缘,无论基坑采用支撑护壁或放坡开挖,都应留有台阶,其宽度根据河床土质及基坑深度而定,但不得小于 1.9m。

4.2.1 4 本条主要是对土围堰、土袋围堰和竹(铅丝)笼围堰依靠自身重力抵抗水压力而稳定的围堰而规定的。其验算法可根据土力学、水力学和结构力学的理论进行。当这类围堰高度分别不超过规范第 4.2.2 条、第 4.2.3 条、第 4.2.6 条所述情况时,其围堰断面可分别按各该条下面各款的规定办理。

板桩型围堰其断面尺寸应能满足抗剪应力和抗弯矩应力的要求。

4.2.2 1 土围堰是完全依靠堰本身的重力获得稳定和强度的。填筑土围堰时,内外都须放坡,因此,堰身断面较大,压缩河床断面过多,需用筑堰土料较多,且填筑费时,特别是堰身较高时更甚。实践中有在水深 2m 以上使用土围堰获得成功的先例。由于上述原因,本条推荐土围堰使用范围为水深 1.5m 以内。当河中墩台不多,筑堰土料易得,并采用机械化施工时,堰身高度使用范围,可较条文规定放宽。

河床土质如为渗水量大的砂土，如中砂、细砂、粉砂时，不得使用土围堰。因为这类砂土不仅渗水量大，增加挖基时排水工作量，而且排水时，堰下砂土极易发生管涌、翻砂，使堰下基底沉陷，毁坏围堰。

河床如为不透水的粘土，当然很好，实际上极难遇到，也没有必要如此要求，徒然限制了土围堰的使用范围，故规定如条文。当河床为砾砂、角砾、圆砾、卵石、漂石时，虽然翻砂的可能性较小，但渗水量很大，决定采用土围堰时要慎重，并应考虑相应的排水设施。

当堰外边坡设有防护措施时，流速范围可略超过 0.5m/s 的规定。

4.2.2 2 土围堰因为浸泡在水中，故其边坡比应当较规范表 4.1.2 的规定为缓，以满足土围堰的稳定和强度要求。围堰外坡还要遭受水流冲刷，故条文规定堰外边坡较堰内边坡要求更缓一些。内外边坡比都规定了上下限的范围，可根据使用的筑堰土料类别比照规范表 4.1.2 的规定考虑确定。

土堰坡脚与基坑边缘间设置平台的理由，参见第 4.1.2 条的说明。平台的宽度不仅如条文所述，与土质、基坑深度有关，而且与基坑坑壁是否支撑加固有关。一般土质差、基坑较深、无支撑加固时，平台宽度应加大。

4.2.2 3 采用筑堰土料的原则是不渗水、易压实，遇水不致泡软成泥浆，因此，纯粘土并不是好的筑堰土料。砂土渗水量大，粘聚力小，易发生管涌、翻砂，不能用于填筑土围堰。

土围堰夯实机具可采用蛙式打夯机、小型手扶压路机或手工夯具等。

4.2.2 4 因混有树根、石块、杂物的填筑土不易夯压并易形成渗水孔道，故施工前应将其清除。

填筑围堰程序是上游开始至下游合龙，这样可减小围堰填筑过程中的水流冲刷，易于填筑牢固。首先填筑的上游部分，可加大围堰宽度，以抵抗水流冲刷力。

4.2.3 1 用草袋、麻袋、玻璃纤维袋和无纺塑料袋等装土码叠而成的围堰统称土袋围堰。

原规范规定水深 3.5m 以内，流速 2.0m/s 以内时，可筑草袋围堰，但施工较困难，亦不经济，现参考文献《桥涵施工手册》修改如条文。

4.2.3 2 土袋围堰的袋与袋之间的空隙易造成漏水通道，防治方法，一为堆码内外两层土袋，在中间填筑防水粘土，厚 0.5~1.0m；二是不分内外层，在每层堆码间的空隙填以松散粘土层。前法防水性较好，但堰身较厚，后者反之。可根据水深、水流速度和河床允许压缩等因素决定。

土袋中以装不渗水的粘性土为宜，装土量宜为土袋容量的 1/2-2/3。袋口应缝合。装土过少，用袋太多，不经济；装土过多，堆码不平稳，空隙多，易渗漏。

若采用粘土心的土袋围堰时，也可用砂土装袋。

4.2.3 4 当流速较大时，外围土袋可装小卵石或粗砂，以免袋内土粒被淘空，而使土袋冲走。

4.2.4 1 大漂石及坚硬岩层的河床，不宜使用钢板桩围堰。

4.2.4 2 经过整修或焊接后，钢板桩必须用同类型钢板桩作为锁口通过试验，防止打桩时插打不下去。一般可用 2~3m 长同类型钢板桩以 5kN 左右的拉力做通过试验。通过的试验拉力不能过大，否则会损坏锁口，在插打时发生困难。

4.2.4 5 2)锁口内填防水填充材料，系为增强围堰的防水性能。填充料的质量比为黄油：沥青：干锯末：干粘土粉=1：1：1：0.5；组拼桩间亦应填防水材料。

4.2.4 5 6)接长桩上下错开的距离以 2m 为宜。

4.2.5 1 钢筋混凝土板桩围堰，目前我国使用尚不多。但在缺少钢板桩和木材

地区,使用钢筋混凝土板桩仍有其无可比拟的优点,因为不仅可用于基坑挡土防水,还可不拔除而作为建筑结构物的一部分,且可作为水中墩台基础的防护结构物。

4.2.5 2、3 钢筋混凝土板桩,目前用空心板桩的较多,可节约制桩材料,桩较轻,故打桩锤亦可较轻,还可利用空心孔道射水加快下沉。空心多为圆形,用钢管做芯模,待混凝土初凝后,将钢管转动以减小粘结力,达到一定强度后可将钢管由桩头用卷扬机拔出。钢筋混凝土桩的榫口以半圆形的较好,因无棱角,在预制吊装时榫口不易损坏,桩尖一般斜度为 $1:2.5 \sim 1:1.5$ 。

4.2.6 2 随着水深增加,水流冲击增大,竹笼的高度与宽度相应增加,竹笼内填筑土石后受侧压力也变大,故竹笼必须制作坚固,采用钢筋、螺栓、铁丝等钢材予以加固是非常必要的,采用铅丝笼时,也需用钢筋等加固。

4.2.6 3 水深在 3m 以下时,可采用单层竹笼围堰,笼内填筑土夹石防水,并在堰外堆以土袋或填土防渗漏。水深超过 3m 时,应采用双层围堰,在两层之间填土防水,此时围堰较宽,抵抗水流的冲击力亦加强。

4.2.7 3 下沉套箱前,可用射水方法清除河床覆盖土,然后由潜水工整平套箱位置的河床基岩。当基岩倾斜过甚时,可照条文所述制成底部倾斜套箱。如倾斜度不大时,可在套箱下面岩基低凹处用装石麻袋垫平。

4.2.8 8 清基的标准,基底上的泥砂清除干净,露出基岩。并按条文规定方法进行,经潜水员检查合格后,方可浇灌水下封底混凝土。清底分区,是要求清理干净(包括清除风化岩层及松动岩层),使封底的水下混凝土连接良好。浇封底混凝土时,应用多根导管,按顺序浇筑。混凝土应满足设计强度,坍落度宜控制在 $180 \sim 220\text{mm}$,混凝土流动半径宜不大于 2.5m。

4.3 挖基牙口搁[水]

4.3.1 1 无论哪种基础,开工后都应连续不断地快速施工。但各种基础比较,天然地基挖基排水对连续不断地快速施工就显得更为必要,因为基坑排水时,如水泵休息停顿,水就渗满基坑,不仅重新排水费时,而且基坑壁经水浸泡后最易坍塌,要做到连续不断地快速施工,就必须在开工前安排轮班劳力,及各种建筑材料(水泥、砂、石子)和各种机具(水泵、吊机、搅拌机)等的准备工作。

在枯水位或少雨季节开挖基坑的排水,可较大地减少施工困难。

4.3.1 3 在已完成的浅基桥墩周围挖基做防护工程,或在已完成的桥台前面、侧面挖基做护坡、锥坡工程时,既有墩台基础侧面被淘空,由于侧面土压力的影响,会使墩台发生不均匀沉陷甚至坍塌,因此,应有适当的防护措施。

防护措施包括:了解既有墩台基础厚度、基底土的种类、性能;新挖基坑底不宜低于原墩台基底;距原墩台基础尽可能远一点;新基坑施工不可延续过长;挖好后立即浇筑基础;必要时在原墩台周围打桩防护等。

4.3.2 1、2 人工开挖基坑只宜在无机械设备且基坑较小时采用。基坑较大时,宜采用挖掘机,抓斗挖土机挖基。但机械挖基容易超挖,可在机械挖到标高以上 2mm 时改用人工挖基。

无论何种土质,一经暴露于空气中或浸泡水中很容易降低承载力,故挖到基础标高经检验符合要求后,应突击施工砌筑基础。

4.3.2 3 排水困难或发生严重流砂、涌泥现象,或具有水中挖基机具时,应放弃排水挖基方法。

水中挖基达到设计标高后,不能采取排干水砌筑基础,必须按照规范第 7 章沉井封底方法灌注水下混凝土封底。封底之后,能否排干水砌筑墩台,还要看

封底标高以上基坑壁的土质是否易于翻砂而定。若是易于翻砂的细砂、粉砂土，则宜采用套箱围堰，以完成墩台砌筑施工。

4.3.3 需要的抽水设备能力应按基坑中渗水量多少而定。这与基坑之大小、围堰种类、工程地质与水文地质条件、距河水远近等情况有关，预先准确测定或计算是困难的，一般可在类似基坑条件下的试坑中做抽水试验得出，或根据基坑各类土质的渗透系数按照经验公式计算得出。

4.4 地基处理

4.4.1 一般岩层倾斜度大于 15° 时，基底应凿成台阶，以免滑动。

风化岩层暴露在空气或水中后将加速其风化，故基坑底基础外围的风化岩层均应以混凝土封闭，防止基础底岩层风化。

4.4.4 3 倾斜大于 15° 的岩层，基底可凿成台阶。小于 15° 的倾斜岩层宜凿平，使承重面与重力线垂直，以免滑动，故规定如条文。

4.4.5 2 隔温材料可用煤渣，中、粗砂或其他材料，其厚度宜为 300mm 或稍厚一些。

4.5 地基检验

4.5.2 本条所提示的触探，包括动力触探和静力触探两种。动力触探又分轻型、中型和重型 3 种。重型动力触探按触探头不同分为 I 型(管式贯入器)和 II 型(圆锥头)，前者为标准贯入用具，适用于细粒砂类土、粘性土；后者适用于砂类土和圆砾、卵石层。静力触探是利用电测原理确定大的力学性质的一种原位测试方法，试验时利用静压力装置将探头压入土层，适用于粘性土及砂类土。

土工试验只在特殊地基处理(如软土地基等)时才有必要。荷载试验是研究和取得地基承载力[R]、形变模量 E_0 的基本方法之一，但做此试验很费时间，一般只在大、中桥的特殊地基处理时，应设计部门的要求才做。

5 沉入桩基础

5.1 一般规定

5.1.3 在一个基坑内沉入较多的桩时，桩会把土挤紧或使土上拱，因此，布置沉桩顺序是很重要的。如采用先沉基坑四周的桩，后沉中间的桩，则愈往中间沉，土就挤得愈紧，可能使中间的桩很难沉入，并会造成桩已沉到控制贯入度，而桩尖的标高达不到规定的标高，甚至会沉不下去，导致今后基础不均匀下沉。因此规定，一般情况可由一端向另一端连续进行，以减少桩架迁移工作量，加快沉桩速度。当桩基平面较大，桩数较多或桩距较小时，宜由中间向两端或四周沉入，减小后沉桩沉入的困难，并减小土被挤紧或上拱现象。先沉深的后沉浅的桩，可以防止降低后沉桩的极限承载力，否则应对先沉的浅桩进行复打。在斜坡地带，先沉坡顶后沉坡脚的桩，可使坡顶先沉入的桩在土中起加固作用，以减小土的侧向总压力。

沉入土中的桩，将使桩周附近约 3~5 倍桩径范围内的土受到相当大的重塑作用，因此在粘性上层中沉桩，若桩距较小时，沉桩顺序更要注意。斜桩在地表面的平面位置随地表面的标高而异，测量放样时应注意。沉入斜桩时，桩头常发生干扰，影响沉桩，事先应考虑避免。

5.1.4 本条规定锤击沉桩和振动沉桩控制贯入的确定原则，是以试桩求得的控制贯入度为难。因试桩的目的之一是判断桩的承载力。试桩经过试验，其承载力符合设计要求，则沉入试桩时最后贯入度，即可作为控制贯入度。若试桩承载力比设计要求承载力相差较大时，则应按修正桩长后的相应贯入度作为控制贯入度。

5.2 试桩与基桩承载力

5.2.2 沉桩时先进行试桩，主要是解决下列问题：

1.提供桩—土体系荷载承载力的正确资料，以检验所需的桩长与设计桩长是否适宜，使在经济上与技术上达到合理；

2.了解采用的沉桩工艺及配用的沉桩机具是否合适；

3.有无假极限或吸人情况，确定是否复打等。

对于一般的中、小桥梁，由于沉桩数量少，地质情况不复杂，若均需要进行试桩，有时在经济上和施工进度上不一定合理。故规定有可靠依据和实践经验，能保证质量的前提下，可以不做试桩。对于特大桥、大桥和地质复杂的中桥，为了做到经济上合理、技术上可靠，要求在施工前先沉试桩。

5.2.3 静压试验是确定单桩承载力方法中最基本、最可靠的方法，各种测定方法(如静力触探、动测法等)的成果，都必须与静压试验相比较，才能判明其准确性。国内外规范一致规定，对重要工程都应通过静载试验。故本条规定对特大桥和地质复杂的大中桥试桩，应采用静载试验确定单桩承载力。静载试验的方法主要与试验要求有关，国内外采用的试验方法主要有慢速维持荷载法、快速维持荷载法、等贯入速率法、循环加卸载法。

5.3 桩的制作要求

5.3.1 2 3)冷拉的预应力钢筋需要焊接时，应在冷拉前焊接。这是因为冷拉后钢筋的强度增高，伸长率降低，脆性增大，焊接性能变差。并且在冷拉后再进行焊接，将使经冷拉后提高了的强度又降低。在冷拉前焊接可避免上述缺点。钢筋焊接后的技术要求，可按本规范第 10 章有关规定办理。

5.3.1 2 4)混凝土方桩或矩形桩连接用的法兰盘，一般可采用角钢增焊加劲肋钢板制成。将角钢的一肢焊接在纵向主钢筋上，另一肢位于桩的连接平面端上。桩连接时利用法兰盘两连接端的连接肢用螺栓连接。已张拉的预应力钢筋不允许进行任何焊接。

5.3.1 4 表 5.3.1-2 是根据《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071-98)拟定的。

5.4 沉 桩

5.4.2 1、5、8、9 是参照《港口工程桩基规范》(JTJ254-98)第 8.4 节拟定的。

5.4.2 7 在饱和的细、中、粗砂中连续沉桩时，易使流动的砂紧密挤实于桩的周围，妨碍砂中水分沿桩上升，在桩尖下形成水压很大的“水垫”，使桩产生暂时的极大贯入阻力。休息一定时间之后贯入阻力就降低。这种现象称为桩的“假极限”。

在粘性土中连续沉桩时，由于土的渗透系数小，桩周围水不部渗透扩散而沿着桩身向上挤出，形成桩周围的滑润套，使桩周摩阻力大为减小，但休息一定时间后，桩周围水消失，桩周摩阻力恢复增大。这种现象称为“吸人”。

锤击沉桩发现上述两种情况时,均应进行复打,以确定桩的实际承载力。复打前桩的休息时间,按规范附录 B.2.1 的规定。

桩的上浮有两种情况,被锤击的桩上浮和附近的桩上浮。对于前者,如使用桩锤时,可将桩锤停留在桩头时间长一些;当用些油锤时,如系空心管桩,桩尖不要封闭,将桩内土排除,可减少桩上浮。无论何种情况,桩都应进行复打。

5.4.2 10 当贯入度已达到控制贯入度,应再锤入 10cm 左右或锤击 30~50 击,如无异常变化时,一般可以说不是遇到障碍物等情况,此时桩尖标高与设计标高相差不大时,即可停锤。若桩尖标高与设计规定标高相差过多时,则需要考虑桩的侧向稳定是否足够,应与有关部门研究确定。

设计桩尖处为一般粘土或其他较松软土层时,则桩尖承载力占桩总承载力的比例不大,桩侧摩阻力是主要因素,因此停锤时应以桩尖标高控制为主,以求沉入一定的桩长。贯入度较大时,应继续锤击至接近控制贯入度。

5.4.3 承法 1、2、3 是参照《港口工程桩基规范》(JTJ254-98)拟定的。

5.4.4 在深水中沉桩,若桩身露出河床面较长时,则桩受波浪、水流、恒载(指斜桩)和突然的冲击,都可能引起桩身过大的力矩,应采用临时支承等方法予以防护,直至桩最后连接到构造物上为止。

6 灌注桩基础

6.1 一般规定

6.1.1 本次修订时,取消了沉管灌注桩和钻、挖孔灌注斜桩,如施工中需要,可参照原规范执行。

6.2 钻孔灌注桩

6.2.1 2 护筒内径要求的大小与钻机的钻锥钻孔时在孔内摆动程度有关,有钻杆导向的钻机钻锥摆动较小,否则摆动较大,条文是按此原则和各地施工经验拟定的。

护筒顶端高出地下水位或施工水位的高度要求与钻孔方法、地层情况有关。无论采用何种钻孔方法,当地质不良(如松散的砂类土)容易坍孔时,应比同类钻孔方法而地质较好,不易坍孔的孔内水头提高 0.5m 以上。

孔内有承压水时,护筒顶端高度应按稳定后的承压水位考虑,否则易造成塌孔。若孔内承压水位时高时低,高低差很大或承压水位高出地面 2m 以上,应按条文规定做试桩,鉴定在该地区采用钻孔灌注桩基的可行性。试桩若不成功,则宜采用沉入桩基。这个问题最好在设计阶段解决。若设计文件已确定为钻孔灌注桩,施工前才发现有大承压水,则较为麻烦。

6.2.2 1、2 规范表 6.2.2 较原规范的表补充了泥皮厚指标。泥皮厚薄与失水量大小有很大关系。泥浆失水量小者,泥皮薄而致密,有利于巩固孔壁;失水量大者易形成厚泥皮,在泥页岩地层易造成地层软化膨胀,产生缩径或坍孔。其泥皮厚指标是参考钻探书刊拟定的。

PHP 泥浆的主要成分:膨润土、碳酸钠、聚丙烯酰胺的水解物、锯木屑、稻草、水泥或有机纤维复合物。

PHP 泥浆的配比应通过试验确定,参考配比如下:

(1)膨润土为水质量的 6%~8%;

(2)碳酸钠为膨润土质量的 0.3%~0.5%;

(3)羧甲基纤维素(CMC)为膨润土质量的 0.5%~0.1%;

(4)聚丙烯酰胺(PHP)为泥浆量的 0.003%。

孔内有渗漏时,加锯木屑为水质量的 1%~2%,稻草末或水泥填加量为每立方米泥浆 17kg;孔内有承压水或地下水位高,渗漏严重时,加重晶粉、珍珠岩粉及方铝矿粉,填加量为每立方米泥浆 17kg。

应设置泥浆制造、循环、净化系统。

6.3 钻孔施工

6.3.1 2 按不同地层选用适当的钻锥,钻进速度和泥浆性能可以防止钻进时的故障,加速钻孔完成。

6.3.1 4 泥浆的性能在钻进中是不断变化的。为了使泥浆的性能指标随时都符合规范表 6.2.2 的要求,以加快钻孔速度,避免或减少孔壁坍塌事故,故条文规定应经常对泥浆进行试验。

捞取钻孔中土样的目的是为了与勘察设计时的地质剖面图核对,使对泥浆、钻锥、钻进压力和钻进速度的选择更为合适。

6.3.2 1 各种钻孔方法的开孔都具有导向作用,若在开孔时孔位偏移,竖直度、孔径超过允许偏差,则继续钻进时,偏差会越来越大。

6.3.2 2 减压钻进可使钻杆在整个钻进过程中维持竖直状态,使钻进回转平稳,避免或减少斜孔、弯孔和扩孔现象。

6.3.2 3 全护筒下压至挖掘面下多深,或挖掘面深入到护筒底端多少,完全按土质硬度和是否易于坍塌而定。

全护筒压入土内总深度要考虑各地层总摩阻力和拔筒功率,避免压入过深拔不出来。

6.3.2 4 条文规定的目的是为了防止坍孔。

6.4 清 孔

6.4.1 2 掏渣法清孔只能淘取粗粒钻渣,不能降低泥浆相对密度,故只能作为初步清孔。使用高压水管插入孔底射清水时,射入水所需压力应稍大于清孔前泥浆的密度与钻孔深度的乘积。

喷射清孔法采用射水或射风的时间约 3~5min,所需射水(射风)的压力应比孔底水(泥浆)压力大 0.05MPa,射水压力过大易引起坍孔,过小则水或风射不出来,或虽能射出来,但不能起到翻腾沉淀物的效果。

砂浆置换清孔法也可适用于换浆法清孔后,孔底沉淀物太厚不能满足设计要求的情况。

6.5 灌注水下混凝土

6.5.1 5 钢筋骨架制作和吊放的允许偏差是参照《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071-98)及《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)的有关规定拟定的。

6.5.3 4 混凝土拌和物中含砂率较大时,其和易性较好,灌注水下混凝土要求较好的和易性,故宜用较大的含砂率。

6.5.3 5 混凝土拌和物中掺用外加剂、粉煤灰等材料可以提高其和易性和缓凝性能。

6.5.4 4 在潮汐地区或水位涨落甚急的河流和有承压力地下水地区,其水位高涨时,将使护筒内水头不足,而导致孔壁坍塌,故规定如条文。

6.5.4 5 钻孔灌注桩灌注过程中,导管的最小埋置深度,从理论上说应与灌注深度(漏斗底口至混凝土表面深度)成正比。灌注深度较大时,超压力和冲击力也较大,导管最小埋深宜较大一些,以缓和超压力和冲击力,使冲出导管底口的混凝土拌和物缓缓上升。否则,新灌注的拌和物可能冲破首批混凝土,冒到其上面,将泥浆沉淀物裹入桩中,形成夹层断桩。条文规定的最小埋深 2m 是根据文献“水下灌注预防断桩夹层及钢筋顶托上升技术研究报告”的试验结果并考虑适当的安全系数确定的,与过去常用的经验数据相符。灌注后期,灌注深度小,超压力减小,最小埋深也不宜小于 2m。因为灌注后期,首批混凝土表面的泥浆沉淀增厚,有时还夹有少量坍土。若导管埋深太小,特别是在探测混凝土表面高度不精确时,容易造成导管提漏、进水,造成夹层断桩。

为了防止埋管事故,导管埋深不宜过大。条文规定为 6m。

6.5.4 7 条文规定的目的是为了防止钢筋骨架被混凝土拌和物从漏斗向下灌注混凝土的冲击力转为向上的顶托力而上升。

6.5.4 9 变截面桩的水下混凝土灌注技术要求基本上与单截面的相同,只是在截面变换处须按条文规定办理。

6.5.4 10 护筒底口以上积存的混凝土高度不能太小。因为筒外与井壁之间有一定的空隙,护筒壁本身也有一定的体积,护筒提升后,护筒内的混凝土要填充此项空隙,可能使混凝土表面突然下降,甚至降至护筒底口以下,使护筒进水或涌入泥砂,故规定如条文。

6.6 挖孔灌注桩

6.6.1 1 当地下水位太高、流量太大,挖孔时排水较困难常在水中作业不安全,进度也慢,故规定如条文。

孔内若产生有毒气体或浮尘超过 GB3095-96 的规定,对井下施工人有员有害,不得采用人工挖孔施工。

挖孔桩平面尺寸,文献 JTJ024-85 规定不得小于 120cm,人工挖孔时要考虑孔壁支护和便于井下挖掘,应比 120cm 尺寸为大。孔深大于 15m 时,通风较为困难,工人施工有危险,工效也大为降低,一般不宜采用人工挖孔,如设计桩长大于 15m,必须采用人工施工时,应加强机械通风和安全措施,或采用机械挖掘。

6.6.2 1 孔壁支护,为了确保施工人员安全,不论地质松紧和地下渗水情况,均须如条文规定设置孔壁支护。

木、竹等非永久性支护,如不能在浇筑混凝土时拆除,则桩身与孔壁被隔离,因摩阻力产生的桩承载力不复存在,故规定如条文。

有些混凝土护壁是预制框圈,按上、下分节安装,上、下层间不能承受拉力;有些现浇混凝土护壁因条件限制,质量较差,强度较低,也不能承受拉力,故规定如条文。

挖孔时如有水渗入,开始时水很小,越往下挖,渗水量越大,可能造成孔壁坍塌,故必须加强孔壁支护。用井点法降低地下水位只适宜于砂类土地层和渗水量较大的情况,其设备安装费用大,应进行技术经济比较决定。

在挖孔深度达 10m 时,孔底空气自然流通条件变坏,空气中 CO₂ 的含量逐渐积累,当达到 3% 时,就会引起人的呼吸紊乱、头疼、呕吐等症[文献前苏联,潜水员手册]为了确保安全和提高工效,条文规定 CO₂ 含量达到 0.3% 或挖孔深度

达 10m, 就应当采取机械通风, 一般工地很少配备气体化学分析仪器, 可按挖掘深度达 10m, 就采用机械通风。

当孔底岩层倾斜时, 凿成水平或台阶是为了防桩底承载力产生水平分力。由于有些炸药的质量问题, 爆破后不能达到零氧平衡(氧元素含量恰好使碳、氧元素的含量完全氧化), 而为正氧平衡, 产生 NO 或 NO₂; 或负氧平衡, 产生 CO 对人体有毒气体。故规定如条文。若采用化学分析方法检测有困难时, 可将小动物送入孔底数分钟后提出检查, 如无异常, 工人才可下井工作。

6.8 质量检验及质量标准

6.8.3 钻、挖孔成孔质量标准(表 6.8.3)中孔底沉淀土厚度和清孔后泥浆指标两项因原规范规定不符合现状, 经广泛征求意见予以调整。表 6.8.3 清孔后的泥浆指标检测主要是要保证灌注前符合表内各项要求, 注中有特定要求的钻孔桩一般指孔内有承压水、遇透水性很强的地层易坍孔、孔深超过 50m、柱桩等对泥浆有特定要求的钻孔桩。

6.8.4 1 每根桩试件组数 2~4, 具体取值按现行《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071)规定执行。

6.8.4 2 需要钻取芯样鉴定的数量、合格的规定可参照《桩基低应变动力检测规程》(JCJ/T93-95)拟定。钻取法可参见《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS03-88)。

附: 大直径空心桩施工简介

大直径空心桩近年来在一些地区得到应用, 现对这种施工技术作一介绍。

1. 大直径空心桩的类型及适用范围

大直径空心桩按施工方法不同, 分成钻埋和沉挖两种。钻埋空心桩适应于一般土质地基, 沉挖空心桩适应于砂类土、巨粒土及风化岩。

2. 钻埋大直径空心桩成孔

1) 施工平台与护筒的技术要求

(1) 施工平台: 参见本规范第 6.2.1 条的规定;

(2) 护筒: 参照本规范第 6.2.1 条的规定。

2) 泥浆与清孔的技术要求

(1) 泥浆的技术要求可参照本规范第 6.2.2 条的规定;

(2) 钻孔、清孔, 可按钻孔灌注桩有关规定施工。

3) 成孔验收

大直径钻埋空心桩在终孔前, 应特别强调成孔验收, 验收标准如下:

(1) 钻孔的倾斜度 $\leq 5\%$, 检查成孔直径误差 $< 10\text{mm}$;

(2) 孔内泥浆含砂率 $\leq 1\%$, 比重 ≤ 1.08 , 粘度 ≥ 20 , pH 值 ≥ 10 ;

(3) 为保证桩底无沉淀, 可在桩底注入 3m 厚新鲜泥浆。

3. 钻孔、挖孔埋置大直径空心桩

1) 空心桩的预制, 一般采用立式预制, 为保证接触面密贴, 应按节的顺序预制。预制节长按桩长及吊装能力分节, 先预制底节、若干中节及顶节, 节与节之间的连接由锥形螺纹筋和相应的锚具张拉连接而成。

(1) 模板, 在立好的外侧模板上涂刷一层混凝土的缓凝剂, 拆模后桩表层混凝土在缓凝剂的作用下不凝固, 用水冲洗桩身, 使桩表面露出骨料层为止。

(2) 预应力筋孔道的形成, 用设计要求直径的钢管按设计位置准确安装固定, 钢管在浇筑混凝土时应经常转动, 在混凝土初凝后及时拔出。

(3)空心桩壳的底节是钢板和钢筋混凝土的封闭结构,钢板厚度应经过设计计算,以保证桩尖进行压浆时的安全,压浆孔按设计要求设置。

(4)预制桩节,长度以设计为准,设计未明确的可按吊装能力分节,一般分节高度为2~4m,混凝土强度应符合设计要求。

(5)顶节一般在护筒内,是桩的实心段,与墩帽相似,为减轻自重力,所以此节高度不宜过高;预应力筋的锚具预留位置应准确。

(6)除以上施工规定外,预制工作的其他要求可参照本规范第9章、第11章、第12章的各有关规定执行。

(7)桩壳预制技术要求

必须严格控制竖向垂直度,要求误差应小于1%节高;内模上、下口中心位置应处于同一铅垂线上。壁厚误差 $\leq 5\text{mm}$;桩节长度误差 $\leq 5\text{mm}$;预应力孔道位置必须准确竖直,上下节孔道要对齐贯通;管道位置偏差 $< 1\text{mm}$;预制桩节上下表面要平整,以便于上下节的连接。

2)空心桩的沉放要求

(1)准备工作:

①桩孔及预制桩节经检查验收符合设计要求;

②吊装机具经过设计验算,有操作安全防护措施;

③安装导向架,导向架与钢护筒或施工平台连接固定,导向架的中心线必须与设计桩孔中心线重合;

④支承托架安放在施工平台上,用来临时支承预制桩节,托架的中心线必须与设计桩孔中心线重合;

⑤孔底填石厚度应按设计规定施工,若设计无规定时,可按0.25~0.30倍桩直径计算确定,一般取1~2m,孔底为砂土时可取低值;填石的要求是石质坚硬无风化,规格20~40mm经水洗过的碎石或砾石;填石后的底面要平整,在填石的过程中要检测,最终高差控制在100mm;在填石过程中,注浆管应同时插入及压入空气,使泥浆不断搅动,以防沉淀,注浆管一般用4根直径50mm的钢管伸至孔底。

(2)底节沉放前,应在底节预埋钢板上焊接桩底压浆管;空心桩底节内压浆管上安装阀门并关闭,对桩底各部分进行检查;然后将桩底节沉入钻孔中,检查桩内是否漏水,若有漏水,须提至水面进行堵漏处理,同时保持扩筒内水头。

(3)接缝处理:清除拼合面的污迹后烘干、吹净,再用丙酮清洗;涂抹环氧树脂;再按编号进行,以保证接头牢固、密合,不漏浆。

(4)桩壳拼接:吊放要稳,预应力筋的预留孔要上下对齐,再接长预应力筋张拉预应力;接缝外涂一层防水沥青,在沥青外缠裹防水纤维布,以防接缝外向内漏水;解除底节上的锚固,拆除夹箍,慢慢下放中节吊点,将桩节沉入孔内一定深度;桩节顶面高度应视工作平台高度而定,一般应高出工作平台500mm左右;将第二节夹箍锚固,并防止打滑现象,然后进行下一接缝的处理,依此作业直到桩长满足设计要求。

(5)顶节拼接:因顶节要锚固预应力筋,张拉时不允许一次张拉到位,应按一放一张,两放两张,三张超张,顶塞锚固的张拉程序进行,其他应注意的事项按本规范第12章的规定执行。

(6)桩的纵、横轴线及高程,在施工过程中要不间断地检查调整,最终满足设计要求后,应连续进行桩周填石工作。

3)桩周压浆填石混凝土的规定

(1)洗孔：利用桩底节预埋的压浆管，压入泥浆，将孔底及桩周填石层中的泥砂带出桩底。

(2)浇注隔离层混凝土，先填与孔内同规格的碎石、砾石，厚 0.5m，接着再填 0.5~1.0m 厚的细砂和小于 20mm 的碎石，然后浇注 0.5~1.0m 高的混凝土隔离层，以防桩周压浆时水泥浆渗入桩底。

(3)桩周设置压浆管：应按设计要求设置，设计无要求时，压浆管直径的选择按桩径及压浆机的排量和压力的大小及分布与设计单位协商选择。

压浆管按桩直径大小布置，按孔深分层分段埋设，每层高度不允许超过 10m，当桩长小于 20m 时，可采用单层；压浆管底端呈梅花形，或在封闭管端壁上钻若干直径为 5mm 的小孔。

(4)在扩筒四周或在桩壁顶面按设计要求设置排污管和扬压管及压重层。

(5)桩周填石，压浆管设置定位后，即在桩周内均匀地抛填粒径为 20~40mm、40~80mm 碎石、砾石各半，填至扩筒内桩顶设计标高；抛石应连续作业，质量要求同本简介中的 3.2)。

(6)桩周清孔：压浆管中开始先注入清水，检查压浆设备及管道，再从第二根管中注入泥浆，清除碎石、砾石中的泥砂；清洗应按从下而上的顺序，先单数管后双数管循环冲洗；待排污管、扬压管排放的泥砂污水变清后，停止冲洗。

(7)桩周压浆：应用 2 台压浆机，压注按设计配合比配制的水泥砂浆，可将压浆管交替压浆，压浆时可根据压浆管埋置深度抽拔压浆管；当排浆管孔口流出合格的水泥砂浆后，经检查桩周压浆已饱满，再持压 5~10min 后关闭扬压管、压浆管，顶层拔出压浆管后，需向孔内再灌满水泥浆。

4)桩底填石压浆混凝土，当桩周填石压浆混凝土强度达到设计强度的 50% 后，方可进行压浆。

(1)抽干空心桩内积水，连接桩底压浆管。桩底节钢板上压浆管比回流管的梅花管要长一些，伸出桩底 0.5~1.0m，在底节压浆管和回流管上接压力表、阀门与法兰；在接好压浆管时，要将各管上的闸阀关闭，以防桩孔底的高压水冒出。

(2)桩底清孔：可先用桩底压浆管做进浆管，再利用底节钢板上的回流管做回流管，清孔方法同第 3.3)。

(3)桩底压浆：压浆方法同桩周，关闭回流管继续压浆，当压力达到设计值时，应检查压力是否与设计值相符，当符合要求后稳压 15min 停机。做好压浆机出口管压力的记录。根据绘制的桩底反力与上抬量的关系曲线，与设计值比较，以便调正和检验空心桩的承载力。

5)压浆标准

(1)按碎石、砾石的空隙率计算压浆量，以核对实际压浆量；

(2)压浆压力一般为 0.1~0.3MPa，但要超过孔深压力。

6)压浆时注意事项：

(1)注意压力表的数据，如压力上不去，应分析原因，停机 10min，将水泥浆加浓后再压，如压力急剧增长，可能管道堵塞，要及时停机换管；

(2)水泥浆用量明显增多时，应加浓水泥浆；

(3)压浆操作过程应设专人监督，发现问题及时提示；

(4)压浆操作要有安全措施。

4.沉挖空心桩

1)沉挖空心桩的结构特点

沉挖空心桩是将沉井与挖桩相结合的基础型式。在河床上筑岛，就地浇筑钢

钢筋混凝土薄壳沉井，混凝土强度达到设计强度的 75%时人工开挖下沉，必要时抽水及护壁；沉完一节后再浇筑第二节，依次接至设计长度，安装内模板浇筑钢筋混凝土或填石压浆混凝土；最后封底、浇筑顶盖，形成大直径空心桩。

2)沉挖空心桩的方法

(1)预制管沉挖空心桩，当地层中有较大渗水或涌水或有流砂、淤泥土层时，井中现浇护壁不能保证施工安全的情况下，应现浇带刃脚桩壳边下沉边接长，通过该地层后，再按正常挖孔施工。

(2)钢护筒中挖孔桩：在水中施工平台上，打入钢护筒至风化层，护筒内水下挖孔至风化层，潜水封底；抽水开挖至设计高程，检查验收应符合设计要求。

若采用钢内模填石压浆混凝土，随钢内模直径的变化，可按设计完成变截面大直径空心桩的施工。

3)沉挖空心桩止水措施

(1)钢护筒沉入岩面，向沉井内抽水，潜土工将沉井刃脚处与钢套筒间的砂砾掏净，从井上放导管将不分散水泥砂浆灌入，以封闭止水。

(2)钢护筒与沉井刃脚处由潜土工插入直径 50mm 压浆管，间距按满足压浆要求布设；填碎石或砾石的高度按能保证压浆后止水而定；用装土纤维袋压顶封闭；从井上压注水泥浆。

4)沉井空心桩的开挖、护壁，人工开挖遇到渗水时，每挖 0.5~1m 后，支护模板浇护壁混凝土，护壁混凝土的厚度由所承受的力计算确定；有关挖井作业和注意事项按 4.2)执行。

5)沉挖空心桩，桩孔检查符合要求后，放钢筋笼及内模板，浇筑混凝土或填石压浆混凝土。

5.质量检验及质量标准

1)质量检验

(1)钢筋骨架、桩节预制的质量检验与质量标准，参照本规范第 10 章、第 15 章的有关规定；

(2)质量检验

①用无破损法检验水下填石压浆混凝土桩的完整性；

②必要时钻芯取样检验桩周和桩底混凝土的强度和清孔、洗孔质量，钻芯直径不小于 70mm，其检测要求见钻孔灌注桩。

2)成桩的质量标准见表 1。

表 1 钻孔、挖孔埋置大直径空心桩质量标准

检查内容			规定值或允许偏差
压浆强度(MPa)			不低于设计值
桩位（mm）	群桩	直径 2.5m	150
		每增 1m	50(其间内插)
	排架桩	直径 2.5m	75
		每增 1m	25(其间内插)
倾斜度			1%
孔径(m)			不小于设计值
孔深(m)			不小于设计值
沉淀厚度(mm)			符合设计要求

7 沉井基础

7.1 一般规定

7.1.1 沉井施工前对沉井范围内的地层及地基重点进行分析研究的目的是，为了查清下沉沉井时可能遇到诸如大孔隙漏水土层、承压水层、硬质胶结层、大孤石、树根、铁件等障碍物及岩面高差、断层、溶洞等情况，以防临时采取措施，耽误施工工期。此种事例在过去沉井施工中遇到不少，故条文强调此点。

7.1.2 沉井下沉时，位于邻近的土体可能随着下沉，土体范围内的堤防、建筑物和施工设备将受到危害，必须采取有效的防护措施和沉井下沉方案。一般不应采取抽水除土下沉方案。采用不排水取土下沉方案时，还应维持沉井内水位不低于沉井外水位，防止井外土、砂涌进井内而使地面下沉。

7.2 沉井的制作

7.2.2 2 1)无围堰筑岛是指带边坡的土岛；有围堰筑岛，是指在设有钢板桩、钢筋混凝土板桩等防护围堰内的筑岛。有围堰护道宽度比无围堰护道宽度规定为小，这是考虑有围堰边缘比无围堰边缘坚固的原因。

7.2.2 2 4)在斜坡上筑岛时，因新筑土体易沿斜坡下滑，使筑成的岛不稳定，浇筑的沉井易产生偏斜或开裂，因此规定应进行设计及采取防滑措施，如将斜坡表面开挖成台阶状等。

7.2.2 4 1)沉井下论支垫是为了将沉井荷载均匀扩散分布在砂垫层上，并便于均衡下沉沉井。支垫要便于抽除，铺设方向应与刃脚垂直。

7.2.2 4 3)要求支垫连续通过隔墙与井壁连接处，是为了防止浇筑混凝土时井壁与隔墙产生不同的垂直压力，引起岛面不均匀沉降，使井壁与隔墙连接处发生开裂。若支垫不够长时，其搭接缝应交错分设在连接处两侧一定距离处，使隔墙与井壁下支垫具有一定的整体性。

7.2.2 5 1)采用土内模支承制作底节沉井时，由于井壁混凝土的重力在刃脚斜面上产生的水平分力，要将刃脚土外模向外推移，若土外模的抗力不足，则使刃脚产生滑移，引起刃脚混凝土开裂。土模顶面高度要填至隔墙的底面，是为了不需另设隔墙底模，还可增加对沉井的承载力。

7.2.2 5 2)、3)土模表面及刃脚底下的地面，为了防止浇筑沉井混凝土时不与土面粘结，条文规定须铺筑一层 20~30mm 厚水泥砂浆层，或采用油毡等其他隔离层。从填筑土模到挖除土模过程中，应做好排水、防水措施，防止土体受水浸泡后松软变形，产生不均匀沉陷，甚至破坏土模及沉井。

7.2.2 6 沉井分节太高，则施工不便，且易失稳；太低则重力小，下沉慢，且又增加接高次数，影响施工进度。特别对于底节沉井高度更应注意，若太低，在抽除支垫或挖除土模或下沉沉井时，沉井部分被搁支，部分悬空，可能会使沉井开裂。故底节沉井的高度需要满足在最不利的刃脚支承条件下，能有足够的竖向抗挠强度。一般情况下，在取土和稳定条件许可时，沉井分节制作高度应尽可能高一些，一般以不小于 3.0m 为宜。对于松软地基的底节沉井，其重力不宜过大，一般以高度不超过 0.8 倍沉井宽度为宜。

7.2.2 7 2)抽垫顺序一般是先抽除隔墙下的支垫，然后分区、依次、对称、同步地向沉井壁外抽出刃脚下的支垫。在抽出一批支垫的同时，应立即在刃脚和隔墙下回填适当高度的砂土(或砂砾石)，使沉井压力从支垫上逐步转移到砂土上，

防止压力集中在后抽的支垫上，而使沉井倾斜。支垫下土体承受压力以不超过岛面土层的极限承压应力为准。回填土不得从沉井内或筑岛土中挖取，以防沉井倾斜。

7.2.2 7 3)底节沉井支点处的支垫位置是沉井强度计算的依据，故必须按设计要求的顺序，最后尽快地抽出。

7.3 沉井浮运到位

7.3.1 1 沉井底节在入水前应按其工作压力进行水压试验，以防止底节入水下沉时产生渗水现象。其他需灌水下沉各节，因不便做水压试验，故规定只做水密性试验。

7.3.2 2 底节沉井入水后，一般是初步定位于墩位附近，然后在悬浮状态下接高和下沉。但在这一施工过程中，由于水流受沉井阻力的影响，将使墩位处河床面的冲淤条件发生变化。为使墩位处经冲淤后的河床面高差较小，便于沉井能平稳地落在河床面上，故必须考虑底节沉井的高度、大小、形状和水深、流速、河床土质与高低等情况，综合分析后方能大致估定沉井的初步定位位置。由于影响墩位处河床的冲淤因素很复杂，估定沉井初步定位的位置亦仅是粗略的参考值，重要的是要经常量测墩位处河床冲淤情况，及时采取相应措施。根据一些资料介绍，初步定位位置是在墩位上游 10~30m 处，可供参考。主要的是经常量测墩位处河床冲刷情况，以便及时采取相应的措施。

7.3.2 3、5 带气筒的浮式沉井，气筒如遭受损坏，则沉井将产生下沉或倾斜，或使井壁超过允许受力的条件，甚至可能使沉井整个沉没，故条文规定对气筒应加以防护。

7.3.3 1 浮式沉井在浮运、就位、下沉时，受到风力或其他外力因素的影响，易倾斜而丧失稳定，故条文规定应对其稳定进行验算。沉井浮运时受力情况如图 7.3.3 所示。图 a) 中沉井重心 G 在浮心 B 之上，且 G 与 B 处于平衡位置(浮力作用总是通过浮心 B)，在此种情况下，风浪作用时所产生的力偶则易使沉井倾覆；图 b) 中沉井重心 G 在浮心 B 之下，风浪作用时沉井发生倾斜，沉井重力 W 通过 G 点作用，总浮力 F_w 通过瞬时新浮心 B' 作用，则产生一扶正力矩 $M=W_e$ ，使稳定沉井。

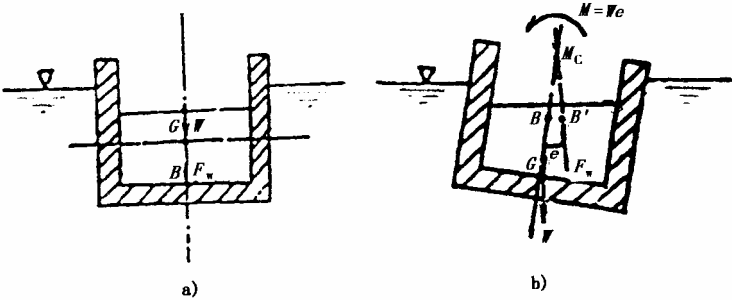


图 7.3.3 浮式沉井浮运时受力情况

沉井重心 G 可由沉井的全部构件对沉井顶或底力矩之和求得；沉井浮心 B 可由沉井外侧的水面到被浸没面积中心的垂直距离求得；沉井的定倾中心 M_c 是通过瞬时的新浮心位置 B' 作用的总浮力和沉井的原始中线相交点求得；定倾中心至重心的距离 $M_c C$ 可按式(7.3.3-1)和式(7.3.3-2)求得：

$$M_c B = \frac{I}{V_s} \quad (7.3.3-1)$$

式中： $M_c B$ ——沉井定倾中心至浮心的距离(m)；

I ——沉井平面面积对旋转轴的惯性矩；

V_s ——沉井沉没部分的体积。

$$M_c G = M_c B \pm GB \quad (7.3.3-2)$$

式中： GB ——沉井重心至浮心的距离(m)，如果 G 在 B 以上，则用“-”号，在 B 以下则用“+”号。当 M_c 在 G 以上，沉井是稳定的；当 M_c 在 G 以下，沉井是不稳定的。

7.3.32 浮运沉井采用高水位浮运时，则要增加悬浮状态接高沉井的工作量，或增加沉井底节的高度，因此条文规定浮运落床应尽可能安排在能保证浮运工作顺利完成的低水位时进行。

7.4 沉井除土下沉

7.4.1 1 沉井不排水进行挖基，是沉井下沉的基本方法，故条文推荐首先采用。但当缺乏开挖设备时，在稳定的土层中也可以采用排水人工开挖下沉沉井的方法。采用排水人工开挖时，若抽水机需放在井内抽水时，应采用电动水泵，不得采用内燃机水泵，以免废气排入井内，危害人身健康。沉井较深时，应设置通风设备。

7.4.1 2 下沉沉井时，一般不宜使用爆破方法助沉。只有在特殊情况下，如遇大漂石、硬层(包括风化石)等，用一般清除方法无法清除，或当刃脚下土已掏空，采取其他措施不能克服井壁土的摩阻力时，不得已才可采用炮震方法。但必须严格控制炸药用量和操作方法，保证不损伤井壁。

7.4.1 10 5)空气幕法是通过沉井井壁内预埋管路上的喷气孔向壁外喷射压缩空气，使井壁外的土液化以降低井壁与土层的摩阻力，使沉井加速下沉。特别对水深流急或下沉深度较深的沉井，更为适用。

(1)气斗，即设在沉井外壁的凹槽及槽中的喷气孔，是空气幕沉井的关键设施。凹槽的主要作用是保护喷气孔，使之避免与土直接磨损，便于气体扩散，使喷出的压气束有一扩散空间，然后较均匀地沿井壁上升形成空气幕。条文所述的气斗形状为 $150\text{mm} \times 50\text{mm}$ 棱锥形，喷气孔直径为 1mm ，是外形简单、制作方便的常用的一种。喷气孔形式，条文规定的 $150\text{mm} \times 50\text{mm}$ 气斗采用的较多，也有的采用 $250\text{mm} \times 80\text{mm}$ 气斗。喷气孔必须钻准、钻通，直径为 1mm ，日本有的使用 $1 \sim 6\text{mm}$ 。喷气孔的数量和布置，沉井下部宜密些，上部可稀些，下部每个气斗作用面积可按 $0.7 \sim 1.3\text{m}^2$ ，上部每个气斗可按 $1.5 \sim 2.0\text{m}^2$ 考虑。

(2)井壁预埋管路有两种制作形式，一种是同时设环形分气管和垂直管，环形分气管沿井壁半圈或 $1/4$ 圈设一根，视沉井大小及纠偏需要而定，喷气孔设在环形分气管上，垂直管与环形管连接伸出井顶，压气时，气体由垂直管进入环形分气管，然后由各气斗喷出；另一种是只设垂直管，喷气孔设在垂直管上，此法的优点是管路顺直，空气损耗少，缺点是用料较多，每灌注一节沉井，接长管路的工作量大，故只有在采用特殊气斗时才考虑使用。

(3)供气系统所需风量可按每个气斗平均耗气 $0.015 \sim 0.023\text{m}^3/\text{min}$ 考虑。风压与下沉深度有关，下沉深度 40m 左右的空气幕沉井，风压一般为 $0.4 \sim 0.7\text{MPa}$ ，亦可按条文规定的理论水压的 $1.4 \sim 1.6$ 倍计算。

(4)空气幕沉井施工的要点是均匀除土，勤压气下沉，禁止过分除土而不压

气。每次压气时间不宜太长，太长不仅对下沉无效果，而且使沉井外土体扰动太大，停气后气斗易堵塞。

7.4.3 沉井下沉遇到倾斜岩层时，为了防止沉井滑移，应尽量整平。但实际上要全部整平岩层是很难办到的，故条文规定，对于刃脚部分至少要使刃脚周长 $2/3$ 以上搁在岩层上，并嵌入岩层深度不小于 0.25m 。刃脚以内井底岩层应凿成台阶或榫槽。对于刃脚搁空部分，可以人工(潜水工)袋装混凝土等物填塞缺口，以防清底后在缺口处渗入砂土等。对于表面松软或风化的岩层，应凿除(若风化岩层较厚，设计不要求凿除的除外)。

7.5 基底检验

7.5.2 沉井基底的处理，对于非岩石地基应处理平整；对于岩石地基若全部整平有困难时，可以整理成台阶状。为了保证封底混凝土的浇注质量和基底承载力不小于设计的要求，故条文规定应尽量清除基底面的陡坎、浮泥或岩面残留物等，使清除后基底的有效面积(即沉井底面积扣除在刃脚下一定宽度不可能完全清除干净的面积)不小于设计要求。

7.6 沉井封底

7.6.1 本条规定，沉井封底时若每分钟渗水量上升速度小于或等于 6mm 时，可按一般无水浇筑混凝土的方法进行封底。这是因为渗水量不大，浇筑混凝土的上升速度可以堵住渗水上升的水头压力。否则须用灌注水下混凝土的方法进行封底。水下混凝土封底的厚度，应根据沉井是空心沉井还是实心沉井而定。空心沉井是在取土井内用砂等填充料填满，或根本不填填充料，其封底厚度按墩台所受的全部最不利荷载组合计算确定；实心沉井是在取土井内浇筑混凝土或砌石，其封底厚度按施工时封底抽水后受力条件计算确定。

7.6.2 4 每根导管开始灌注混凝土时，要求用较小的坍落度，是因为沉井底面积大，若坍落度大，则落下的混凝土流动范围大，不能使水下混凝土面形成一定的坡率，甚至埋不住管底口，难以保证混凝土的质量。

7.6.2 5 导管最小埋入深度应与灌注深度相适应。若灌注深度大，而导管埋入深度过浅，则后灌注的混凝土将冲破先灌注的混凝土而与水接触，发生夹层，影响质量，故规定如表 7.6.2-1。导管埋深还应与两根导管的间距相适应。若导管间距过远，而导管埋入过浅，则由于混凝土表面的流布坡度为 $1/6 \sim 1/4$ ，两根导管中点处会流布不到或混凝土厚度不够，故规定如表 7.6.2-2。施工时应按具体情况，对导管埋入深度采用两表的最大值。导管埋深也不宜过大。过大时，则混凝土流布速度降低，延长灌注时间，甚至使超压力过小混凝土从导管中流不出来(参见条文说明第 6 章)。

7.6.3 进行水下压浆混凝土封底时，如设计无规定，可按如下要求施工：

1. 压浆混凝土的材料与配合比

1) 粗骨料应尽量采用较大粒径，最小粒径应在 15mm 以上，可用碎石或卵石。

2) 细骨料以采用圆颗粒的细砂为宜，砂的最大粒径应满足式(7.6.3-1)及式(7.6.3-2)的要求：

$$d_{\max} \leq D_h / (15 \sim 20) \leq 2.5\text{mm} \quad (7.6.3-1)$$

$$d_{\max} \leq D_{\min} / (8 \sim 10) \quad (7.6.3-2)$$

式中： d_{\max} ——砂的最大粒径(mm)；
 D_h ——预填粗骨料的平均粒径(mm)；
 D_{\min} ——预填粗骨料的最小粒径(mm)。

3)压注的砂浆应符合下列要求：

- (1)进入压注管前的流动度宜为 15~20(流动度(稠度)试验方法见附录 G-11)；
- (2)砂浆的压注度不应小于 5；
- (3)砂浆的极限切应力应为 44~50Pa，粘度应为 0.46~0.68Pa·s；
- (4)砂浆静置 3h 后的泌水率不应大于 1.1%（泌水率的试验方法参见附录 G-10）；
- (5)在一个大气压（0.1Mpa）下水泥砂浆膨胀率宜为 5%~10%；
- (6)初凝时间不应早于每一压注区段的压注完成时间。

4)水下压注砂浆中宜掺用木质素磺酸类减水剂，以降低混凝土的用水量并增加其流动度；还应掺入铝粉等膨胀剂，以减少水泥砂浆凝结时的收缩，增大水泥砂浆与粗骨料的粘结力，铝粉掺量约为水泥用量的 0.01%~0.02%。

5)砂浆中宜掺入粉煤灰，以增加砂浆的流动度并节约水泥，粉煤灰的技术标准及掺量可按照第 11 章有关规定办理。

6)压浆混凝土的配制强度（Mpa）一般不应小于设计强度的 1.2 倍，配制的水泥砂浆强度应以压浆混凝土强度除以小于 1 的强度换算系数 α ， α 值应由试验确定，一般为 0.8~0.9。水泥砂浆的水灰比，根据使用的水泥品种、水泥强度等级和水泥砂浆的强度而定，当水泥砂浆强度为 20Mpa 时，水灰比约为 0.45~0.60。水泥砂浆的灰砂比与水灰比和水泥中混合料掺量的关系，可参考表 7.6.3 选定。

表 7.6.3 灰砂比与水灰比的关系

水灰比	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
混合料掺量（%）	灰 砂 比				
0	1.5	1.1	0.8	0.67	0.56
10	1.4	1.03	0.76	0.63	
20	1.3	0.98	0.72	0.59	
30	1.25	0.91	0.68		
40	1.2	0.85	0.64		

注：本表适用于砂浆流动度为 19 ± 2 ，砂的细度模数为 1.55；条件不同时，灰砂比应酌予调整。

2. 压浆混凝土的砂浆压注注意事项

1)压注管应按设计布置预埋在粗骨料内，当预填石料（碎、卵石或片石）厚度 $<2\text{m}$ 时，压浆过程中可不提管；当其厚度 $\geq 4\text{m}$ 时，为了减小上拔阻力和防止水下抛石时击坏压注管，宜在压注管下部套一有孔护管筒，护管筒应高出填石高度 1.5m 以上，管底口应切成 45° 的斜面。

2)压注管的内径与要求的压注流量（L/min）和所填粗骨料粒径有关，一般粗骨料的最小粒径为 30mm、60mm、80mm 时，对于加压灌注，压注管内径可分别采用 25~38mm、38~50mm、38~55mm；对于自流灌注，可分别采用 38~50mm、50~56mm、60~75mm。

3)压注管插入水泥浆面的深度宜为砂浆上升极限高度的 0.4~0.5 倍，一般可控制为 0.8~1.2m。

水泥砂浆用量按式（7.6.3-3）计算：

$$V_c = K_n e V \quad (7.6.3-3)$$

式中： V_c ——水泥砂浆用量 (m^3)；

K_n ——充填增实系数，1.03~1.10；

e ——所填石料的空隙率，由试验得出，一般为 38%~48%；

V ——水下压浆混凝土数量 (m^3)。

当采用水灰比较大的水泥砂浆压注时，还应考虑泌水影响，应适当增加水泥用量。

4) 水下压浆混凝土应连续施工，避免水下接缝。

8 地下连续墙

8.1 一般规定

8.1.1 岩溶地区，因有溶洞，挖掘其上面土层时，需要的护壁泥浆易从溶洞中流失，使上面的槽壁坍塌，处理困难；地下承压水很高处的土层多为砂类土，其槽壁极易坍塌。除上述两种地层外，其他各类土层，均适用于以护壁泥浆成槽施工。

8.2 导 墙

8.2.2 2 导墙内侧间距应比地下连续墙墙体稍宽，是考虑用各种型式的成槽机挖槽时，虽然挖槽机上部一般都没有导向装置，但仍难免有些摆动。为了避免机械摆动时导致槽壁坍塌，故规定导墙内侧间距比地下连续墙墙体厚度稍为增大些。增大的尺度，根据使用的成槽机械的类别而定。机械锥头上部装有导向板的，增大尺度可小一些，否则应大一些。

8.2.2 3 板墙导墙断面最简单，适用于表层土质良好（如紧密的粘质土等）和导墙较矮的情况；巨形导墙使用较多，适用于填土、软粘质土等土的承载力较弱的土层。倒 L 形导墙适用于其上竖直荷载很大时，可根据荷载大小计算确定墙下端伸出部分的长度。

8.2.2 4 导墙底部土层要求按条文规定处理是为了防止导墙沉陷和漏失护壁泥浆；条文提出的基底特殊情况，是基底为软弱土层或松散砂类土时，一般应进行换土处理，可参阅公路施工手册桥涵分册。导墙顶面要求高出原地面是为了防止地面污水流入槽坑，破坏泥浆性能；要求高出水位是为了增加泥浆水头，加大槽壁的抗坍塌能力；导墙顶面应水平是防止护壁泥浆从低处流失；导墙内墙应竖直，一是为挖槽正确导向，二是防止导墙在挖槽施工时倾倒。

8.2.2 5 导墙内部每隔 1.0~1.5m 设置支撑，可防止导墙被外侧土压力挤垮。

8.3 地下连续墙施工

8.3.5 1 地下连续墙的接头分为施工接头和结构接头两大类。后者是地下连续墙与承台、梁、墩柱连接时的构造性接头。连接处的钢筋、预埋件等构造和施工要求，应按照设计图纸办理。施工接头是地下连续墙划分若干单元节段，可分段挖槽、分段灌注水下混凝土。为使各节段在接头处具有整体性，能传递竖向荷载、横向各项压力和防止渗漏，应在接头处设立施工接头。此类接头有多种型式。如设计有规定时，应按照设计施工。如设计无规定时，应按照本条各项规定办理。

8.3.5 2 如对地下连续墙传力和防渗要求较高时，宜选用接头箱式或隔板式接头。施工工艺较复杂些。详细施工工艺可参阅中国计划出版社出版的《基础工程

施工手册》和同济大学出版社 1991 年出版,赵志缙主编的《高层建筑施工手册》。

8.3.7 1 因地下连续墙体截面都是窄而长的矩形,而导管灌注的水下混凝土从导管底部流出以后,向周围成圆形状分布。单元节段长度超过 4m 时,宜采用 2 根导管同时灌注,是按灌注半径为 2.5m 时考虑的。采用多根导管灌注时,导管间的混凝土宁可使其重叠,不可脱节成凹形,故规定导管净距不宜大于 3m。导管距节段端部不宜大于 1.5m,是考虑接头管(箱)拔出来后留下的空隙,须以混凝土填充。本款是根据中国计划出版社出版的《基础工程施工手册》第四篇第五章拟定的。

9 模板、支架和拱架

9.2.2 2 按部颁标准《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ025-86)进行验算时,设计荷载不折减,容许应力的提高系数按 1.2.10 条表 1.2.10 临时性结构施工荷载取值。

9.2.2 3 风力可参照《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021-89)第 2.3.8 条的有关规定进行计算。

9.2.3 2 纵向弯曲系数可参照《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ025-86)有关规定计算或取用。

9.2.4 1 (5) 根据《组合钢模板技术规范》(GBJ214-89)第 4.2.2 条表 4.2.2 拟定的。

9.2.4 2 按原规范第 8.2.3 条拟定。

9.3.2 1 木模接缝是平缝时,为防止漏浆,可采取在缝内镶嵌塑料管(线),拼缝处钉以铁皮,或在拼缝外面钉板条、缝内压塑料薄膜或水泥纸袋等措施,可根据具体情况选定防漏的方法。多次重复使用的木模板,在内侧钉以薄铁皮,可以降低木模表面损耗,增加其周转使用次数。木模的转角加嵌条或做成斜角(钝角),可使拆模时构造物的转角处不易损伤破裂,并较美观。

9.3.3 1 钢框覆面胶合板,吊环拉应力不应大于 50N/mm^2 ,参考《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)第 7.9.8 条预制作的吊环拟定的。

9.3.3 2 玻璃钢模板,采用不饱和树脂粘结材料,低碱玻璃布作增强材料,加入引发剂、促凝剂、耐磨材料,经过拌制,在模具上铺贴涂刷而成,可做成不同直径的圆柱模板和其他模板,特别是重量轻、强度高、韧性好、耐磨等,形成后的混凝土表面光滑平整。玻璃钢板厚,根据混凝土的侧压力大小,柱箍及支承的间距,经过计算确定,一般厚度 4~5mm。参考中国建筑工业出版社 1997 年出版,杨嗣信主编的《建筑工程模板施工手册》第 3.13 条其他模板拟定的。

9.3.4 2 就地灌筑的基础侧模板,因离地面较低,且其平面尺寸较大,在模板外侧设置斜支撑固定模板位置即可。墩、台、梁、板的侧面模板(包括钢、木模板)因离地面较高,除支撑外,并宜在两侧模板间设置拉杆。梁、板本身不很高时,拉杆可设在混凝土结构上面;当墩、台结构本身较高大,拉杆需要在混凝土中设置多层时,无论是钢、木模板,其拉杆位置均应设在模板的肋条处。对需抽拔出来的拉杆,应在其外周设混凝土套或塑料管套,待混凝土灌筑完毕,拉杆拔出时,用水泥浆填堵孔眼。不抽出的拉杆,其两端伸出部位应在浇筑完成后锯掉,或采用两端可拆卸的拉杆。

9.3.4 5 模板设置预拱度的界限和预拱度的线形及计算原则是参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023-85)第 4.2.4 条的规定拟定的。

9.3.5 芯模的种类有充气胶囊芯模、木芯模、钢管芯模和其他材料的芯模。充气

胶囊由工厂生产。

9.3.5 3 胶囊芯模在浇筑混凝土时易上浮，可采取如下措施：如在浇筑混凝土时，加工几个与模板联系的弧形卡具，把胶囊卡紧，随着混凝土的浇筑位置移动而移动，可有效的防止上浮，同时浇筑混凝土时应对称平衡地进行，防止胶囊因受到浇筑混凝土的偏心压力而位移。

9.3.5 4 空心桩、板的胶囊放气时间与气温高低关系很大，对于直径为 250~300mm 的胶囊，其放气时间可参考表 9.3.5 确定。

表 9.3.5 胶囊放气时间

气温 (°C)	0~5	5~15	15~20	20~30	>30
混凝土浇筑完后(h)	10~12	8~10	6~8	4~6	3~4

9.3.5 6 采用钢管芯模并应涂刷隔离剂。结构混凝土浇筑完成后，应定时转动芯管模，防止与混凝土粘结。抽拔芯管模的时间，以混凝土抗压强度达到 0.4~0.8Mpa 时为宜。抽拔时应细心，用力方向应平行于芯管轴线，防止损伤结构混凝土。

9.3.6 1 参考中国建筑工业出版社 1997 年出版，杨嗣信主编的《建筑工程模板施工手册》第 3 章 3.7。

9.3.6 2 参考中国建筑工业出版社 1997 年出版，杨嗣信主编的《建筑工程模板施工手册》第 3 章 3.8 及同济大学出版社 1991 年出版，赵志缙主编的《高层建筑施工手册》第 16 章拟定的。

9.3.6 3 参考 1995 年桥梁学术讨论会《论文集》“虎门大桥高塔施工电动爬架拆翻模板技术”及《桥梁建设》(1993.3)“JPM-I 型高墩爬模的设计与施工”拟定的。

9.4.1 1 参考中国建筑工业出版社 1997 年出版，杨嗣信主编的《建筑工程模板施工手册》5.4.5 模板支柱计算拟定的。

9.4.1 2 参考《西南公路》(1992.2)“肋式拼合木拱架截面的型式和尺寸”及《西南公路》(1993.1)“桁式梳形木拱架介绍”及人民交通出版社 1961 年出版的高等学校试用教材《桥梁及道路人工构造物》第三分册。

9.4.1 3 参考中国铁道出版社 1994 年出版的铁路工程施工技术手册《桥涵》下册第十三章拱桥；人民交通出版社 1992 年出版的公路施工手册《基本作业》第一章第一节及第五节；《贵州交通科技》(1988.3)“扣件式钢管拱架的使用及经济效益”。

9.4.2 1 设置施工拱度时需要考虑的因素，不仅要考虑结构物本身的重力，还要加上 1/2 的汽车荷载（不计冲击力），这是因为如全部不考虑动荷载，则梁或拱设置的施工上拱度太小，遇到动荷载时，梁或拱会下挠过大；如按全部荷载考虑，则当荷载未上去时，梁或拱会上凸过大。因此，规定按 1/2 的动荷载计算设置施工拱度，以防梁或拱下挠过大或上凸过大。

预留施工沉落值参考数据见表 9.4.2

表 9.4.2 预留施工沉落值参考数据

项 目		沉落值 (mm)
接头承压非弹性变形	木与木	每个接头顺纹约为 2, 横纹为 3
	木与钢	每个接头约为 2
卸落设备的压	砂 筒	2~4

缩变形	木楔或木马	每个接缝约 1~3
支架基础沉陷	底梁置于砂土上	5~10
	底梁置于粘土上	10~20
	底梁置于砌石或混凝土上	约 3
	打入砂土中的桩	约 5
	打入粘土中的桩	约 5~10 (桩承受极限荷载时用 10, 低于极限荷载时用 5)

9.4.3 2 木支架、拱架的接头是受力的弱点，而且要多耗用材料，故规定接头应尽量减少。相邻立柱的接头如设在同一水平面上，对承受水平方向的力很不利，故规定尽量分设在不同的水平面上。压力杆件在接头处最易受压失稳，因此，规定主要压力杆件的接头应采用对接并用夹板夹紧，以弥补其弱点。

9.4.3 3 拱圈轴线是否符合设计，对拱圈受力情况非常重要，现场灌注混凝土拱圈或砌体圬工拱圈的拱轴线都受拱架顶端高度制约。当各排拱架立柱的长度确定后，则拱架底部支承面的标高是否正确将影响拱架顶端的拱圈轴线，故规定对拱架支撑面标高应详细检查。

9.4.3 4 1) 支架立柱必须安装在有足够承载力的地基上，是为了防止支架沉陷过大，使浇筑或砌筑的混凝土结构或石砌体变形，影响其承受活荷载的能力。若地基承载力达不到上述要求，应采取加固地基或将立柱支承在砖石或混凝土的扩大基础上或基桩上。扩大基础和基桩的构造、尺寸应通过计算确定。

9.5.3 1 1) 为保证非承重侧模板拆模时混凝土表面及棱角不致因拆模而被损坏、断裂、混凝土本身不致不能支持自重而变形、坍塌，这就要求拆模时混凝土的抗拉强度和抗剪强度要大于模板与混凝土间的脱模（粘结）力，其抗压强度则须足以支持其自重。从交通部第一公路工程局设计科研所 1987 年的《混凝土与钢、木模板粘结力试验报告》及《新灌注混凝土的侧压力试验报告》中查得混凝土的抗拉强度一般为其抗压强度的 1/10~1/16，抗剪强度为抗压强度 1/4~1/6，因此，为控制拆模时混凝土的抗拉强度和抗剪强度，拆模前应测定其抗压强度。一般情况下，抗压强度达到 2.5Mpa 时，可满足拆除侧模时所需各项强度，拆模参考时间可见表 9.5.1-1。

表 9.5.1-1 拆除非承重模板的估计期限

混凝土强度 (Mpa)	水泥品种及强度等级	混凝土强度达 2.5Mpa 所需时间 (h) 及硬化时昼夜平均温度 (°C)						
		+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
20	32.5 矿渣水泥	23	16	13	10	9	8	7
40	42.5 矿渣水泥	22	10	9	7	6	5	5
	52.5 普通水泥	15	11	9	8	6	5	4
	52.5 硅酸盐水泥	14	9	7	6	4	4	4

注：①本表拆模期限按混凝土强度达到 2.5Mpa 的时间考虑；

②当采用火山灰水泥、粉煤灰水泥时，可参照矿渣水泥考虑；

③混凝土强度小于或等于 C15 时，拆模时间应酌情予以延长。

混凝土与模板间的粘结力可分为受拉和受剪。与模板垂直方向脱模时，其脱模力是受拉，例如结构物底模板整体向下脱模，箱梁内室板利用机械整体脱离混凝土面等；与模板平行方向（切向）脱模时，其脱模力是受剪，例如拉模、滑模等，只适用于混凝土尚未初凝，具有可塑性时的情况，拆除非承重侧模板或承重

底模板时都不会使用这种方法。

将模板整体同时法向脱离混凝土面的方法也是不常使用的，因为这需要很大的牵引脱模力，除了克服模板与混凝土的粘结力外，还要克服大气压力加在模板上的压强，后者可达 0.1Mpa，一块 1m² 的模板仅克服大气压力就需要 100kN 之牵引力。故一般拆除模板的方法是采用转角法，即用撬棍或其他机械、液压设备，先将模板的某一边脱离混凝土，然后逐步使全部模板脱离混凝土。这样就不需要考虑大气的压力，同时其脱离面积小，总的牵引力也小得多。模板与混凝土的坑拉粘结力与模板材料和是否涂脱模剂及脱模剂种类有关。一般不涂脱模剂的钢模板与混凝土的粘结力约为 14~16kPa，本条条文规定混凝土抗压强度达到 2500kPa，即其抗接强度最小已达到 156kPa 时方可拆除侧面模板，此值较脱模受力大 10 倍以上，可保证混凝土表面及棱角不致因拆模而被损坏。

9.5.1 1 3) 钢筋混凝土结构的承重模板和其支架、拱架的拆除，原则上应以混凝土实际抗弯、抗剪强度能承受其自身重力及其他可能的叠加荷载为准，拆模参考时间可见表 9.5.1-2。

表 9.5.1-2 拆除承重模板的估计期限

达到设计强度 (%)	水泥		拆模期限 (d) 及硬化时昼夜平均温度 (°C)						
	品种	强度等级	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
50	硅酸盐水泥、普通水泥	52.5	6.5	5	4.2	3	3	2.5	2
	矿渣水泥	42.5	17	13	9.5	6	4	3	2.5
	矿渣水泥	32.5	18	15	12	8	6.5	5	3.8
100	硅酸盐水泥、普通水泥	52.5	41	36	32	28	19	15	13
	矿渣水泥	42.5	56	47	39	28	26	19	17
	矿渣水泥	32.5	62	51	41	28	25	22	18

注：①本表按 C20 级以上一般混凝土考虑；
②火山灰水泥、粉煤灰水泥可参照表中矿渣水泥考虑；
③普通水泥强度等级小于或等于 42.5 的，拆模期限应酌情予以延长；
④采用干硬性、低流动性或掺有外加剂的混凝土时，拆模期限可通过试验确定。

表 9.5.1-3、表 9.5.1-4 的数值引自交通部第一公路工程局设计科研所 1987 年的《混凝土与钢、木模板粘结力试验报告》，给出模板与混凝土的粘结力，可作为活动模板设计和拆卸模板期限的参考。

表 9.5.1-3 混凝土与模板的法向粘结力 (kPa)

混凝土强度 (Mpa)	钢 模 板				木 模 板			
	机 油		隔离剂		机 油		隔离剂	
	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值
50	10.6	21.9	6.6	10.7	11.9	22.1	7.4	15.6
35	10.0	18.2	4.1	9.6	10.2	18.8	5.7	11.7
20	7.8	15.1	3.2	8.1	8.7	16.7	4.5	10.2

12.5	3.6	5.7	2.4	6.0	2.7	4.7	2.9	6.3
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

表 9.5.1-4 混凝土与模板的切向粘结力 (kPa)

混凝土强度 (Mpa)	钢 模 板				木 模 板			
	机 油		隔离剂		机 油		隔离剂	
	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值
50	15.1	27.5	5.9	18.0	17.6	29.7	8.2	24.2
35	9.5	23.9	3.4	4.9	10.0	22.6	3.8	7.3
20	7.5	15.6	2.9	4.6	8.2	19.6	3.3	6.4
12.5	1.2	2.6	2.7	4.1	2.2	5.4	1.9	3.4

9.5.1 2 1) 当石拱桥封顶合龙, 砂浆强度达到设计强度的 70% 后, 完全可以承受施工荷载所产生的应力, 故可以不必等到砂浆强度达到设计强度才卸架。另外, 无论混凝土或砂浆, 强度增长都比前期缓慢, 大跨径拱桥砌拱上结构时, 如未先拆卸拱架, 有可能使拱圈 (拱肋) 或拱上建筑开裂。故条文规定达到砂浆强度 70% 即可以卸架, 既可保证工程质量与安全, 又可缩短工期, 而且便于掌握。

9.5.1 2 2) 中小跨径的石拱桥, 因施工期短, 待拱上建筑或护拱全部砌筑完成并待砂浆强度达到设计强度后一并卸架, 这样可加速施工进度。至于大跨度空腹式拱, 宜在拱上小拱横墙砌好、未砌小拱圈时卸架的理由如第 1) 项所述, 避免开裂。

9.5.1 2 3) 当拱上建筑或护拱未砌筑, 进行裸拱卸架时, 拱圈的自由长度较大, 容易产生顺桥向压屈失稳或横桥向摆动失稳, 有时还因拱圈应力超过允许应力而发生危险, 故规定应进行验算。验算方法可参考人民交通出版社 1976 年出版的《拱桥设计计算手册》, 或其他技术资料。

9.5.2 2 卸落支架或拱架的总的原则要求是对称、少量、多次、逐渐完成, 使结构物逐步承受荷载。总的目的是避免结构物在卸架过程中发生开裂等质量事故。拆卸支架、拱架时, 用仪器观测拱圈或梁的变形情况, 以指导卸架的程序, 以免发生变形过大, 产生裂缝等质量事故, 是完全必要的。作出记录和积累资料可总结经验以指导今后施工, 并可作为本桥养护时的原始资料。

9.5.2 3 墩台模板上部构造施工前拆除, 可便于检查墩台位置、标高、结构质量, 如有问题可及时予以调整、改正。

9.6 质量检验

9.6.1 钢框胶合板模板制作允许偏差见表 9.6.1-1。

表 9.6.1-1 钢框胶合板模板制作允许偏差

项	目	允许偏差 (mm)
外形尺寸	长度	-1.0
	宽度	-1.0
	厚 (高) 度	±0.50
	对角线	1.50
连接孔眼	沿板长度的孔中心距	±0.60

	沿板宽度的孔中心距	±0.50
	孔中心与板面的间距	±0.30
	累计误差	±1.00
	孔眼直径	±0.3
板面平整度		1/1000
边板平直度		1/1000
板面与边框成直角		-0.30
板面与边框局部间隙		1.00
边框高于板面		0~0.5
埋头螺栓与板面距		±0.30

注：平整度、平直度用 2m 靠尺、塞尺检测。

液压滑动模板构件制作的允许偏差见表 9.6.1-2。

表 9.6.1-2 液压滑动模板构件制作的允许偏差

项 目			允许偏差 (mm)
钢模板	表面平整度		1
	长度		2
	宽度		-2
	侧面平整度		2
	连接孔位置		0.5
围 圈	长度		-5
	弯曲	≤3m	2
	长度	>3m	4
提升架	连接孔位置		0.5
	高度		3
	宽度		3
	围圈支托位置		2
	连接孔位置		0.5
支承杆	弯曲		$< \frac{2}{1000}L$
	直径		-0.5
	丝扣接头中心		0.25

注：①上为支承杆加工长度；

②表面平整度用 2m 靠尺、塞尺检测。

10 钢 筋

10.1 一般规定

10.1.1 本条附录系摘自国标《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB1499-98)、《钢筋混凝土用光圆钢筋》(GB13013-91)及《低碳钢热轧圆盘条》(GB701-97)；环氧树脂涂层钢筋的标准可参照《环氧树脂涂层钢筋》(JC3042-1997)执行。

10.1.3 不论大、中、小桥，使用的钢筋均应具有如条文所述的出厂质量证明书。对无出厂质量证明书的钢筋，原则上不宜使用，必须使用时，应按现行《公路工

程金属试验规程》(JTJ055)进行各项力学性能试验,视其符合 GB1499 的何种等级,再按试验结果选用,而且不得使用于承重结构的重要部位上。需要焊接的结构物受力钢筋,还应做可焊性试验。

钢筋的可焊性试验与第 10.3.1 条所规定的钢筋焊接前必须试焊,二者的目的与要求是不同的。可焊性试验是确定钢筋在一定的焊接工艺条件下,能否达到要求的质量标准,如不能满足要求,说明这批钢筋的可焊性差,应不予验收,或者在焊接工艺上采取措施解决,或考虑采用机械连接接头。钢筋可焊性的好坏,主要:决定于钢筋的化学成分,一般含碳低的,可焊性较好,含碳量高的则反之。有时需要采取预热、缓冷等工艺措施以防止产生裂缝等缺陷。此外,合金钢中含锰、硅、镍、铬等元素时,也可能影响可焊性。可焊性试验方法很多,可参考有关焊接技术资料,一般可参照《公路工程金属试验规程》(JTJ055)有关的规定进行。10.3.1 条规定是为了考核焊工技术水平,看其能否保证焊件的力学性能和质量。

10.1.4 由于钢筋的供应问题,以另一强度、牌号或直径的钢筋代替设计所规定的钢筋在施工中经常发生,除按照条文规定办理外,一般还应注意下列事项:

- 1.应将两者的计算强度进行换算,并对钢筋截面积作相应的改变。
- 2.其直径变化范围最好不超过 4~5mm,变更后的钢筋总截面面积差值不小于-2%,或大于+5%。
- 3.钢筋强度等级的变换不宜超过 1 级。用高级钢筋代替低一级钢筋时,宜采用改变直径的方法而不宜采用改变钢筋根数的方法来减少钢筋截面积,必要时尚需对构件的裂缝和变形进行校核。
- 4.以较粗钢筋代替较细钢筋时,应校核握裹力。
- 5.当代用钢筋的排数比原来的增多,截面有效高度减小或改变弯起钢筋的位置时,应复核其截面的抵抗力矩或斜截面的抗剪配筋。

10.1.5 已冷拉过的 I 级钢筋或未冷拉过的 HRB335、HRB400 牌号钢筋,因其冷弯性能较差,用做吊环易发生脆断(特别是在冬季),故本条规定吊环应采用未经冷拉的 I 级热轧钢筋。

10.2 钢筋的加工

10.2.1 用冷拉法调直 I 级钢筋,可同时去掉钢筋表面锈皮,提高除锈工作效率。冷拉率的大小以能将钢筋调直并去掉锈皮为宜,不必也不宜过多的提高冷拉率。因为目前国内生产的 I 级钢筋多属 12mm 以下的光面圆钢筋,且多用于箍筋、分布钢筋或构造钢筋,没有必要通过冷拉来提高它的强度,故其冷拉率以不超过钢筋的屈服点时的伸长率为宜。I 级钢筋的额定屈服点为 235MPa(规范附录 E-1),此时的伸长率为 1.1%(I 级钢筋的伸长率 $\delta_5=25\%$ 是抗拉强度 370MPa 时的伸长率)。本条参考《水工混凝土施工规范》(SDJ207-82)规定, I 级钢筋的调直最大冷拉率不宜大于 2%。HRB335、HRB400、HRB500 牌号钢筋调直冷拉率不宜大于 1%。

10.2.2 本条所指钢筋主要是受力主筋,其弯制的形状由设计规定。为了防止弯钩加工时弯钩部分发生裂纹,降低弯钩部分的抗拉强度,规定了各级钢筋弯钩的最小半径。有些受压截面里的变形钢筋,设计上认为它的粘结力已够,可不设弯钩。有些主钢筋在跨径中弯起,规定其弯曲最小半径是为了防止弯曲处的混凝土被钢筋的合成应力压碎。一般主钢筋末端除应做弯钩外,并应有适当的锚着平直长度,以便发挥其受力作用。锚着平直长度, I 级钢筋 $\geq 3d$; HRB335、HRB400 牌号钢

筋应分别 $\geq 5d$ 和 $10d$ 。

10.3 钢筋的连接

- 10.3.1 1 本条依据国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)修订。
- 10.3.1 2 本条及以下相关条款均依据《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18-96)进行了修订。
- 10.3.1 3 钢筋焊接的质量与焊工的技术水平关系极大，故参加钢筋焊接的焊工必须有考试合格证。考试内容和可参照《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18-96)。
- 10.3.1 4 钢筋接头如采用搭接或帮条电弧焊接而做成单面焊缝时，钢筋产生偏心应力，对钢筋受力情况不利，故条文规定应尽量采用双面焊缝。有时由于钢筋布置密集，双面帮条摆不下去(或其他原因)，才允许做成单面帮条电弧焊或单面搭接焊。
- 10.3.1 5 电弧焊缝所需长度按焊缝厚度 h 不小于 $0.3d$ ，焊缝宽度 b 不小于 $0.7d$ (d 为钢筋直径)，见《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18-96)，是按接头强度与钢筋强度等强原则并考虑焊接质量安全系数而定的。
- 10.3.1 6 电弧焊条选用主要原则是焊条熔解后形成的金属强度应与被焊接的钢筋强度相同。表 10.3.1 中焊条型号第 3 位、第 4 位数字为 03 的，是钛钙型焊条，是一种最常用的焊条，在实际生产中，根据具体情况，亦可选用相同熔敷金属抗拉强度的其他药皮类型焊条。

表 10.3.1 钢筋电弧焊焊条型号

钢筋级别	电弧焊接接头型式			
	帮条焊、搭接焊	坡口焊、熔槽帮条焊预埋件穿孔塞焊	窄间隙焊	钢筋与钢板搭接焊、预埋件 T 形角焊
I	E4303	E4303	E4316 E4315	E4303
HRB335	E4303	E5003	E5016 E5015	E4303
HRB400	E5003	E5503	E6016 E6015	—

注：窄间隙焊不适用于余热处理Ⅲ级钢筋。

焊剂应按有关要求使用，主要指焊剂应存放在干燥的库房内，当受潮时，在使用前应经 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 烘焙 2h。使用中回收的焊剂应清除熔渣和杂物，并应与新焊剂混合均匀后使用。

在电渣压力焊和埋弧压力焊中所用的焊剂，可采用 HJ431 焊剂，或经技术鉴定，符合国家有关标准规定的专用焊剂。同时，氧气的质量应符合现行国家标准《工业用气态氧》(GB3863)的规定，其纯度应大于或等于 99.5%；乙炔的质量应符合现行国家标准《溶解乙炔》(GB6819)的规定，其纯度应大于或等于 98.0%。

当采用低氢型碱性焊条时，应按使用说明书的要求烘焙，且宜放入保温筒内保温使用；酸性焊条若在运输或存放中受潮，使用前亦应烘焙后方能使用。

适用于焊接的钢筋，其性能应符合附录 E-1 的规定。对于预埋件接头、熔槽帮条焊接头和坡口焊接头中的钢板和型钢，宜采用低碳钢或低合金钢，其性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》(GB700)或《低合金高强度结构钢》(GB / T1591)

的规定。

10.3.1 8 本条规定是依据国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)拟定的。

10.3.1 11 钢筋绑扎接头的最小搭接长度,依据《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92),较原规定有较大的修改,已按混凝土的强度等级不同而提出了不同的规定。

10.3.2 1 《钢筋机械连接通用技术规程》(JGJ107-96)中把机械连接接头分为 SA、A、B 三个性能等级,考虑到桥涵结构基本上都要承受动力荷载并有各级抗震要求,所以规定采用与上述规程中 SA 级接头性能等级相符的接头。对于抗疲劳性能,当设计无明确要求时,亦应满足(JGJ107-96)(含 1998 年局部修订)3.0.6 条的规定。

对于镦粗直螺纹钢筋接头,如其接头性能指标符合附录 E-3 中附表 E-3-1 的规定,其材料、接头质量符合相关行业标准,经主管部门批准,也可使用。

镦粗直螺纹钢筋接头有关技术要求如下:

镦粗直螺纹钢筋接头适用于 HBB335、HRB400 热轧带肋钢筋。用于镦粗的钢筋应符合现行国家标准的要求,套筒与锁母材料宜使用优质碳素结构钢或合金结构钢。

1.制造工艺要求

(1)钢筋下料时,切口端面应与钢筋轴线垂直,不得有马蹄形或挠曲;

(2)镦粗头的基圆直径应大于丝头螺纹外径,长度应大于 $1/2$ 套筒长度,过渡段坡度应小于 1.3;

(3)镦粗头不得有与钢筋轴线相垂直的横向表面裂纹;

(4)不合格的镦粗头,应切去后重新镦粗,不得对镦粗头进行二次镦粗;

(5)如选用热镦工艺镦粗钢筋,则应在室内进行钢筋镦头加工;

(6)钢筋丝头的螺纹应与连接套筒的螺纹相匹配,公差带应符合《普通螺纹公差与配合》(GB197)的要求。

2.接头质量要求

(1)接头拼接时用管钳扳手拧紧,应使两个丝头在套筒中央位置相互顶紧;

(2)拼接完成后,套筒每端不得有一扣以上的完整丝扣外露,加长型接头的外露丝扣数不受限制,但应有明显标记,以检查进入套筒的丝头长度是否满足要求;

(3)丝头加工现场检验及套筒出厂检验应合格,检验方法应符合相关行业标准的規定。

接头的标志、包装、运输和储存亦应符合相关行业标准的规定。

10.3.2 2 因为机械连接中连接件的强度比钢筋母材一般高出 10%以上,局部锈蚀对连接件的影响不如对钢筋锈蚀敏感。此外,连接件保护层厚度是局部问题,要求过严会影响全部受力主筋间距和保护层厚度,故适当放宽。

10.3.2 4 挤压接头规定为直径 16~40mm 的 HRB335、HRB400 牌号带肋钢筋和余热处理钢筋,对进口带肋钢筋可参考应用,但需进行补充试验,符合接头性能要求后方可采用。挤压接头按其挤压方法不同可分为径向挤压和轴向挤压两种,本条是针对径向挤压接头编制的。轴向挤压接头也可参照本条办理。

10.3.2 4 1)挤压接头可以连接不同直径的钢筋。但当采用的套筒两端直径和壁厚均相同时,连接钢筋的直径不宜相差过大,否则套筒过度变形后塑性严重降低,影响连接接头的性能和质量稳定性。

10.3.2 4 2)由于目前低温时试验数据代表面不够广,为留有余地,暂定为-20~12。低于该温度时应补充进行低温试验。

10.3.2 4 3)本项所述的有关规定,系指应符合本条第1款的规定。

10.3.2 4 4)分类规格的钢筋都要与相应规格的套筒相匹配,避免随意混用。

10.3.2 4 5)本项是参照《带肋钢筋套筒挤压连接技术规程》(JC108-96)“挤压接头的施工”编写的。

10.3.2 5 本条及相关条文是参照《钢筋锥螺纹接头技术规程》(JCJ109-96)编写的,进口钢筋亦可参考本规范应用锥螺纹接头。

(1)为了保证套丝质量,减少套丝机和梳刀的损坏,钢筋下料时,应做到切口端面垂直钢筋轴线。钢筋平直,切口无马蹄形,且不挠曲。

(2)鉴于国内现有的钢筋锥螺纹接头的技术参数不相同,其套丝机、螺纹锥度、牙形、螺距等也不一样,为此施工单位采用时要特别注意,对技术参数不一样的接头决不能混用,避免出现质量问题。检查加工质量用的牙形规、卡规或环形规、锥螺纹塞规应由提供钢筋连接技术的单位配套提供。

(3)钢筋锥螺纹丝头质量好坏直接影响接头的连接质量,为此要求在工人自检的基础上,按每种规格钢筋加工批量的10%抽验。决不允许使用牙形撕裂、掉牙、牙瘦、小端直径过小、钢筋纵肋上无齿形等不合格丝头连接钢筋。查出一个不合格丝头,则应重检该批丝头,对不合格丝头可切去千部分,再重新加工出合格丝头,并及时填写检验记录,不得追记。

(4)①接头的质量和锥螺纹的加工质量有关。如果弄脏或碰伤钢筋丝头会影响接头的连接质量。为此必须保持钢筋丝头及连接套螺纹的干净和完好无损。②上海、南京、北京地铁车站的顶板、底板与连续墙的水平钢筋连接,曾发生过由于带连接套的钢筋固定不牢,在连续墙钢筋笼下沟槽时,将水平钢筋碰弯或将带连接套的钢筋碰掉,给连接钢筋带来很大困难。为此必须把带连接套的钢筋固定牢固。为了防止水泥浆等杂物进入连接套而影响接头的连接质量,一定要坚持取下一个密封盖连接一根钢筋的施工顺序。③力矩扳手是连接钢筋和检验接头连接质量的定量工具,可确保钢筋连接质量。为保证产品质量,力矩扳手应由具有生产计量器具许可证的工厂加工制造。产品出厂时应有产品出厂合格证。④考虑到力矩扳手的使用次数不一样,可根据需要将使用频繁的力矩扳手提前校准。不准用力矩扳手当锤子或撬棍使用,要轻拿轻放,不许坐、踏。不用时,将力矩扳手调到0刻度,以保持力矩扳手精度。⑤连接钢筋时,应先将钢筋对正轴线后拧入锥螺纹连接套筒,再用力矩扳手拧到规定的力矩值。决不应在钢筋锥螺纹没拧入锥螺纹连接套筒,就用力矩扳手连接钢筋,以免损坏接头丝扣,造成接头质量不合格。不许接头拧的过紧的目的是防止损坏接头丝扣。为了防止接头漏拧,每个接头拧到规定的力矩值之后,一定要在接头上做标记,以便检查。⑥力矩扳手使用一段时间后,精度有可能发生变化。为确保质检用的力矩扳手精度,规定质检用的力矩扳手与施工用的扳手应分开使用,不得混用。

10.4 钢筋骨架和钢筋网的组成及安装

10.4.1 钢筋的安装应尽可能先制成骨架片和网片,放入模板内焊接或扎结成整体。若起重、运输条件许可,应尽可能组成单元,吊入模板内稍加整理即可浇灌混凝土,这对保证钢筋安装质量和加快施工进度都有好处。

10.4.2 跨径较大的T梁、箱梁以及预应力混凝土梁等的预留拱度应由设计规定。

10.4.2 1 梁的钢筋骨架放样时应设预留拱度,除考虑焊接变形外,还要考虑建

成后由恒载、徐变、部分活载引起的拱度不致过大。装配式 T 梁钢筋骨架的预留拱度可参照表 10.4.2。

表 10.4.2 T 梁钢筋骨架的预留拱度

T 梁跨径(m)	<10	10	16	20
工作台上预拱(mm)	30	30~50	40~50	50~70

10.4.2 5 按照条文规定的施焊顺序进行，可防止或减少骨架的变形。

10.4.3 钢筋网交叉点进行点焊或绑扎的目的，是防止钢筋网在运输和安装过程中变形，导致钢筋不能按设计就位和受力。条文中提出了设置焊点或绑扎点的原则要求和位置，组装钢筋网时应参照办理，以达到牢固不变形。

10.4.4 本条规定的目的，是使箍筋弯钩尽可能地伸入混凝土中，加强箍筋固定主钢筋的作用。

10.4.5 钢筋的保护层厚度以及钢筋的间距，对保持钢筋与混凝土的握裹力，防止钢筋锈蚀，保证结构的耐久性具有重要的作用，因此，必须严格使其符合设计要求。条文中提出了保证保护层厚度的几种方法，重要的是垫块要绑扎牢固，间距不能过大，以达到支垫的效果。对钢筋保护层厚度，当设计未明确提出要求时，应按表 10.4.5 控制。

表 10.4.5 钢筋的混凝土保护层厚度

项 目		保护层厚度(mm)
钢筋混凝土梁	主钢筋侧面	≥ 25
	主钢筋底面	$\geq 30 \leq 50$
	箍筋、防裂缝筋	≥ 15
预应力混凝土梁先张法	预应力钢筋	≥ 25
预应力混凝土梁后张法	侧面、顶面	≥ 35
	底面	≥ 50
板	主钢筋	≥ 20
	钢筋网上下层钢筋	≥ 15
柱与墩台	受力钢筋侧面	≥ 25
钢筋混凝土肋式桥台	钢筋	≥ 30
涵 管	钢筋	≥ 20

注：本表仅适用于一般情况，对处于腐蚀作用的环境，保护层应符合第 11 章的有关规定。

10.5 质量检查和质量标准

10.5.1 本条修订后已与国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)一致。

10.5.2 本条系依据《钢筋焊接及验收规程》(JCJ18-96)进行修订的。

10.5.3 钢筋的机械连接的相关条文及条文说明均是参照《钢筋机械连接通用技术规程》、《带肋钢筋套筒挤压连接技术规程》、《钢筋锥螺纹接头技术规程》有关章节编写的。

钢筋连接工程开始前及施工过程中,应对每批钢筋进行接头工艺检验,目的是检验接头技术提供单位所确定的工艺参数是否与本工程中的进场钢筋相适应。为了防止某些单位选用面积超公差和超强度的钢筋制作接头试件,以满足附录 E-3 中附表 E-3-1 的强度要求,造成接头试件的实测数据不能正确反映接头工艺的质量水准和接头对母材强度的削弱状况,故在本条中规定了试件抗拉强度尚应满足大于等于 0.95 倍钢筋母材的实际抗拉强度。附加这项要求后,除提高了工艺检验的可靠性,减少错判概率外,还可提高实际工程中抽样试件的合格率,减少工程使用后再发现问题造成的经济损失。

现场检验也叫施工检验,是由检验部门在施工现场进行的抽样检验。一般只进行外观质量检验和单向拉伸试验。有特殊要求的接头,由设计图纸另行提出相应的检验要求。

按验收批进行现场检验,同批条件为:材料、型式、等级、规格、施工条件相同。批的数量为 500 个接头,不足此数时也按 1 批考虑。

规定了单向拉伸试验的数量(每批在结构工程中随机抽取 3 件)、检验要求(附录 E-3 中附表 E-3-1 中强度指标)和合格条件。

同时又规定了复式抽检时的检验规则。钢筋机械接头的破坏形态有三种:钢筋母材拉断、连接件拉断、钢筋从连接件中滑脱。只要满足附录 E-3 附表 E-3-1 的要求,任何破坏形式均可判为合格。本条强调要在结构工程中随机截取接头试件作为现场检验的单向拉伸试件,这是为了充分保证试件的随机性和代表性。国内工程经验表明,送样或车间抽样和随机在工程中抽样两种方法的试验结果和合格百分率有不少差异,为了提高抽样的代表性,严把质量关,应坚持在工程中随机抽取。某些类型的机械接头,如锥螺纹接头,在现场结构中(尤其是在柱子中)割取后不能继续再使用锥螺纹接头时,应允许采用焊接或搭接等方法来局部替代被割去的接头。因为被替代的接头数在结构中所占比例通常都很小,它不会造成对结构强度的损害。

现场检验当连续 10 个验收批均一次抽样合格时,表明其施工质量优良且稳定。故检验批接头数量可扩大一倍,即按不大于 1000 个接头为 1 批,以减少检验工作量。

带肋钢筋套筒挤压连接规定接头外观质量检验的内容和要求。对外形尺寸的检查,给出了两个指标,即挤压后的套筒长度和压痕处套筒外径。工地外观检验时任选其中一种方法即可。本条规定外观检验的抽检数,并规定外观质量不合格时进行复检的制度。鉴于外观检查是接头质量(强度和变形性能)的一种附加的辅助性检验手段,因而不能把它作为直接判定接头性能合格与否的标准之一,而只能是影响抽检制度的一种指标,当外观检验合格时为正常抽检制度,外观不合格时,要在外观不合格的接头中补充抽检接头。这种方法较为经济合理,错判的概率比较小。

钢筋锥螺纹接头如发现接头有完整丝扣外露,说明有丝扣损坏或有脏物进入接头丝扣或丝头小端直径超差或用了小规格的连接套;连接套和钢筋之间如有一圈明显的间隙,说明用了大规格连接套连接了细钢筋。出现以上情况应及时查明原因排除故障,重新连接钢筋。如接头已不能重新连接,可采用 E50XX 型焊条补强,将钢筋与连接套焊在一起,焊缝高度不小于 5mm。当连接 HRB400 牌号钢筋时,应先做可焊性能试验,经试验合格后,方可焊接。

11 混凝土及钢筋混凝土工程

11.1 一般规定

11.1.1 水下混凝土及预应力混凝土有与普通钢筋混凝土不同的要求，还应符合相关规定。

11.1.2 混凝土的强度等级，应按立方体抗压强度标准值划分。混凝土强度等级采用符号 C 与立方体抗压强度标准值(以 MPa 计)表示。以边长为 150mm 的立方体混凝土为标准试件系用“等级 C××”来表示其强度分级值，而原规范中规定的以边长为 200mm 的立方体为标准试件则是用“标号”来表示其强度分级值。现取消了原 200mm 立方体试件作标准试件的规定，已与现行国标规定一致。因现行设计图纸仍使用“标号”来表示其强度分级值，在设计图纸未作出改变以前，暂不考虑混凝土的设计“标号”与混凝土的设计强度“等级 C××”的区别。

11.1.3 表 11.1.3 的混凝土试件强度换算系数按国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)中的规定采用。标准值的测定系按《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053-94)拟定的。

11.2 配制混凝土用的材料

11.2.1 1 水泥的类别、定义参照国标《硅酸盐水泥》(GB175-92)及《矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥》(GB1344-92)拟定的。常用水泥的选用参见表 11.2.1。

11.2.1 2 水泥混凝土的强度与水灰比、集料的配合比等多种因素有关，而关系最大的是水泥的强度(软练砂浆抗压强度)。选用水泥强度应与需要配制的混凝土的强度相适应，若以低强度的水泥配制高强度混凝土，而每立方米混凝土需用的水泥量(kg / m³)大为增加，不仅不经济，而且水泥用量多，水化热大，易发生收缩裂纹，影响混凝土的质量。若以较高强度的水泥配制低强度混凝土，虽然可以少用水泥，但不能少于规范表 11.3.4 的规定，否则，混凝土的和易性不好，容易离析，浇筑混凝土质量差。水泥的强度与配制混凝土强度的具体比例是参考文献《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)拟定的。

11.2.1 3 对所用水泥应检验其安定性和强度。有要求时，尚应检验其他性能。其检验方法应符合现行国家有关标准的规定。

11.2.2 1 一般桥涵混凝土多用河砂，因其质地较坚硬，颗粒较洁净。当工地缺乏河砂时，可采用山砂或机制砂，山砂含泥和杂质较多，用岩石加工的机制砂级配成分不好，且价格昂贵。有关不宜采用海砂的限定系参照《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ269-96)及国标《混凝土质量控制标准》(GB50164-92)修订。当海砂中氯离子含量超过限值时，应通过淋洗，使其降低到小于此限值。如淋洗确有困难，可在拌制的钢筋混凝土中掺入经论证和试验的缓蚀剂。各类砂应分批检验，各项指标合格时方可采用。由于目前尚无测混凝土拌和物中氯离子含量的试验方法标准，但各组成材料的氯离子含量的检测方法均有标准规定，因此可根据各组成材料的氯离子含量通过计算求出混凝土拌和物的总含量。无论采用何种砂，均应符合有关规定的指标。

表 11.2.1 常用水泥的选用参考表

项次	混凝土结构环境条件 或特殊要求	优先使用	可以使用	不得使用
----	--------------------	------	------	------

1	地面以上不接触水流的普通环境中	硅酸盐水泥、普通水泥	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥	
2	干燥环境中	硅酸盐水泥、普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥、粉煤灰水泥
3	受水流冲刷或冰冻	硅酸盐水泥、普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥、粉煤灰水泥
4	处于河床最低冲刷线以下	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥	硅酸盐水泥、普通水泥	钻孔灌注桩慎用矿渣水泥
5	严寒地区露天或寒冷地区水位升降范围内	硅酸盐水泥、普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥、粉煤灰水泥
6	严寒地区水位升降范围内	硅酸盐水泥、普通水泥		矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥
7	厚大体积结构物施工时要求水化热低	矿渣水泥、粉煤灰水泥	普通水泥、火山灰水泥	硅酸盐水泥
8	要求快速脱模	硅酸盐水泥、快硬水泥	普通水泥	
9	低温环境施工要求早强	硅酸盐水泥、快硬水泥	普通水泥	
10	蒸汽养护	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥	硅酸盐水泥、普通水泥	
11	要求抗渗	普通硅酸盐水泥	火山灰水泥、粉煤灰水泥	不宜使用矿渣水泥
12	要求耐磨	硅酸盐水泥、普通水泥	矿渣水泥、快硬水泥	火山灰水泥、粉煤灰水泥
13	接触其他侵蚀性物质	根据侵蚀介质种类、浓度等具体条件,按有关规定或通过试验选用(见条文 11.7)		

11.2.2 2 细度模数只反映了砂的全部颗粒粗细程度,而不能反映颗粒级配程度,细度模数相同而级配不同的砂,会具有不同的混凝土配制性质。因此,条文列入了各种级配区如条文中表 11.2.2-2,其中 I 区基本属于粗砂范畴,II 区基本属于中砂范畴,III 区基本属于细砂范畴。使用 I 区砂时,因其拌和物内摩擦大,易产生泌水,均匀性不易保证和不易密实成型,增加配制砂率可改善以上情况。采用 III 区砂配制混凝土时,应比用 II 区砂的配制砂率减小,使配成的混凝土粘性增大,比较细软,易插捣成型并节省水泥。

11.2.2 3 机制砂是将石块经机械轧制成粒径小于 0.5mm 并具有一定级配的砂。本条系用硫酸钠饱和溶液渗入砂中形成结晶时的裂胀力对砂产生的破坏程度来间接地判断砂的坚固性,即耐久性。我国河砂或海砂的坚固性一般是合格的,仅在对其实有怀疑时,才做此试验。

11.2.2 4 砂中杂质含量限值,根据原规范并参照有关规定作了相应的修改。增加了对泥块含量的限值,明确了砂中如含有颗粒状硫化物,则要进行耐久性试验。但原规范中的要求基本都予以保留。砂中云母过多时,会削弱水泥的胶结力,降

低混凝土的强度；有机物和轻物质过多时，将延缓水泥的硬化过程，降低混凝土的强度，特别是早期强度；含泥量过多，将引起混凝土的拌和物需水量和水泥用量增加，并且降低混凝土的强度和抗渗性、抗冻性。硫化物可与水泥中的铝酸三钙发生化学反应，体积膨胀 2.5 倍，影响混凝土的强度和耐久性并腐蚀钢筋。故砂中这些杂质应予以限制。

11.2.3 2 本条对原规范该表内连续级配中公称粒级及相应的累计筛余值作了调整。粗骨料的良好级配应是孔隙小、水泥用量少、不易离析及和易性好。连续级配是粗骨料的分级尺寸互相衔接，每级均占一定数量。天然卵石属此种级配，拌制混凝土时和易性好，不易发生离析。单粒级的骨料分级尺寸不相衔接，拌制混凝土时易离析，捣固较困难。一般轧制的碎石有时单粒级多，需经拌制混凝土试验，无离析现象时方可采用。

11.2.3 3 粗骨料最大粒径的规定原则，主要是防止骨料过大被钢筋的间隙卡住，绝对最大粒径为 100mm。条文中泵送混凝土粗骨料最大粒径不宜超过输送管径的 $1/3$ (碎石)或 $1/2.5$ (卵石)的规定，与有关单位使用泵送混凝土的经验相符。但同时应符合混凝土泵生产厂家的有关规定。

11.2.3 5 混凝土结构物处于规范表 11.2.3-4 所列环境中时，对粗骨料的抗腐蚀、抗磨损等均甚不利，特别当风化或软弱颗粒过多时更为严重。因此规定在这种情况下，应用硫酸钠法对粗骨料进行坚固性即耐久性试验，以保证结构物的使用寿命。

11.2.3 6 碱—骨料反应在我国的部分地区造成了对桥梁等构造物的严重破坏。尤其是近十几年来水泥含碱量增加，及混凝土中含碱外加剂的应用，使得混凝土含碱量剧增，应该引起足够的重视。为此推出了当碱含量较高时，应对所使用的碎石或卵石进行碱活性检验。同时对检验为有潜在危害的集料应采取措。碱是产生碱—集料反应的必要条件。各国对使用具有碱—硅反应潜在危害集料的混凝土，为防止碱集料反应限定混凝土的碱含量不同，多数国家限定为 $3\text{kg}/\text{m}^3$ ，也有的为 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ 或 $1.8\text{kg}/\text{m}^3$ ，我国在这方面还有待进一步研究。提出抑制措施一是使用含碱量小于 0.6% 的水泥，水泥的碱含量按氧化钠当量计 ($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$)。这个碱含量的限值国际上公认的安全指标。另外国内外的研究与实践均证明某些混凝土掺合料有抑制碱—硅反应的作用，故又提出另一个抑制碱集料反应的方法是采用抑制碱集料反应的材料，一般认为掺 30% 的粉煤灰，或 40% 的矿渣，或 10% 的硅灰可以抑制碱集料反应。但由于混合材料品质有较大差异，混凝土使用状况不同，使用混合材料的品种、掺量要进行试验研究后才能确定。

对属碱—硅反应的集料使用中应指出，当使用含钾、钠离子的外加剂时，必须进行专门试验。一些混凝土外加剂虽含有钾、钠离子，但含量较少，不会对混凝土产生危害。但我国目前使用的早强剂、防冻剂、膨胀剂一般均含硫酸钠、硝酸钠(钾)、亚硝酸钠、碳酸钾(钠)、硫酸铝钾等无机盐，且掺量也较高，含碱外加剂的掺入，使混凝土中的含碱量剧增，大大超过了引发碱集料反应的临界值，应禁止使用。故提出必须进行专门试验。

对具有碱—碳酸盐潜在危害的集料，由于目前还没有抑制方法，不宜用做混凝土集料，如必须使用，应以专门的混凝土试验结果作出最后评定。

11.2.4 水中硫酸盐含量原规范规定不超过 1%，规定太宽，交通部水质规范规定不超过 $1500\text{mg}/\text{L}$ (相当于 0.15%)似又太严，现参考《水工混凝土施工规范》(SDJ207-82)修改为不超过 0.27%。

11.2.6 混凝土中掺用粉煤灰等混合材料者日益增多。混合材料掺入混凝土中可起两种作用，一为代替部分水泥使硅酸盐水泥或普通水泥成为粉煤灰水泥等掺用混合材料的水泥；二为起填充材料的作用，可改善混凝土的和易性等性能。但混合材料须有一定的技术条件以保证混凝土质量，故将此项材料的技术条件列入规范附录 F-3。

11.3 混凝土的配合比

11.3.1 拌制混凝土用的水泥、骨料、外加剂等材料，质量差异很大，故对配合比除进行设计计算外，并应通过实际试验确定。试验宜进行多次，必要时可先采用早期推定强度的试验方法作为试配配合比的参考。

11.3.2 公路桥涵施工技术水平、材料质量等的变异较大，因此混凝土配制强度在条文中未统一规定，可根据施工部门的具体情况确定。但验收批强度须具有不低于 95% 的保证率并应满足评定标准的要求。为适应具有统计资料的部门合理地确定配合比，在规范附录 F-4 按数理统计法编制强度的计算方法。附录 F-4 所提供的有关计算规定均采用《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)第四章第二节的有关内容。

11.3.3 配制混凝土的坍落度越小，则配制同样水灰比、同样强度的混凝土时，可节约越多的水泥。但坍落度越小，和易性越差，越不容易捣实，易产生蜂窝、麻面，故坍落度大小应适当。应根据混凝土捣实条件的难易、含钢筋的稀密情况而定。条文表 11.3.3 中数值未加修改。但表中坍落度未考虑外加剂的作用，掺用减水剂等外加剂时，坍落度可适当放大。

11.3.4 影响混凝土的抗冻性、抗渗性和防止钢筋腐蚀的主要因素是它的渗透性，为了获得耐久性良好的混凝土，混凝土应尽可能密实。为此，除了选择级配良好密实的集料和精心施工、保证混凝土的充分捣实以及采用适当的养护方法来保证水泥的充分水化外，水灰比是影响混凝土密实性的最主要因素。表 11.3.4 系根据《混凝土结构设计规范》(GBJ1089)的局部修订稿与修订中的《公路桥梁结构设计规范》协调制定的。

11.3.5 拌制每立方米混凝土的水泥用量太多，则产生的水化热量很大，混凝土凝结时易产生很多的收缩裂缝，影响混凝土质量，特别是养护条件较差时更甚。一般在配制高强度预应力混凝土时，最易超过最大水泥用量，解决的办法是采用高强度水泥，掺加混合材料的配合比设计合理，加强捣实和养护等。本次修订参阅了大量近期施工实例资料，大量的大体积混凝土配制时水泥用量都在 $350\text{kg} / \text{m}^3$ 以下，所以修改了原规范中的大体积混凝土不宜超过 $300\text{kg} / \text{m}^3$ ，但实际运用中，以不超过 $350\text{kg} / \text{m}^3$ 为宜。

11.3.6 钢筋混凝土中如含有氯离子并达到一定的含量时，将对钢筋产生很显著的腐蚀，影响钢筋混凝土结构物的使用寿命。同时，目前掺入混凝土的外加剂中常常带有一定含量的氯离子，混凝土所用骨料及水也常含有氯化物，所以即使不在钢筋混凝土中掺加氯化物，钢筋混凝土也有可能被组成材料带人氯离子。因此，为保证钢筋混凝土结构的耐久性，除限制氯化物掺量外，并应控制由其他各方面带人的氯离子数量。本次修订除强调工程复验的有关规定外，仍保留原规范条文内容，并增加了对碱含量的限制。

11.3.8 本次修订依据《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)修改了原规范本条的内容。

对于特大桥的施工，主要是须满足高泵程的要求，参照上海市建筑工程材料

公司等单位及冯圣清等“南浦大桥主塔工程商品混凝土可泵性优化技术的研究”一文，摘录下列文字供施工时参考：

混凝土的可泵性可用坍落度 S 和压力泌水总量(恒压 30MPa，恒压时间 140s)PB 两个指标来表征。为满足高泵程要求，必须首先确定混凝土可泵性指标。

一般认为， $14\text{cm} \leq S < 23\text{cm}$ 和 $70\text{ml} \leq \text{PB} \leq 110\text{ml}$ ，可泵性良好。而根据泵送混凝土的施工实践，混凝土拌和物的坍落度可按表 11.3.8 选用。

表 U.3.8 坍落度与泵送高度的关系

泵送高度(m)	30 以下	30~60	60~100	100 以上
坍落度(cm)	12~14	14~16	16~18	18~23

一、基准混凝土组成材料的优化

必须通过各种优化途径来提高混凝土的可泵性，而混凝土组成材料的优化则是首要的基础工作。

1. 石子级配的优化

从试验结果可以认为，对于低用水量和高石子用量，并用泵送剂配制的混凝土，组合石子级配改变所导致的石子比表面积与空隙率变化的两项因素中，空隙率大小对混凝土拌和物的流动性起着关键的作用。

2. 砂子细度模数的优化区间

为了配制稳定的饱和混凝土，以减小混凝土在管道中的阻力，许多国家除了控制最小水泥用量限额外对砂率和砂的细度模数也给予了较充分的重视。对这种低用水量、高石子用量，处于临界饱和状态的混凝土，砂子细度模数的变化对其可泵性起着极其重要的作用。砂子细度模数适宜，混凝土坍落度大于 18cm，PB 达 70ml，处于流化可泵状态。砂子细度模数过大，混凝土拌和物中集料处于堆聚状态，混凝土不可泵。当细度模数过小时，混凝土竟处于半干硬性状态，泵送剂不起流化作用。因此可认为砂子细度模数的优化区间为 2.3~2.7。

二、混凝土可泵性优化技术

在基准混凝土组成材料优化的前提下优化混凝土可泵性的基本途径是采用泵送剂与粉煤灰相结合的双掺技术。用双掺技术配制的混凝土，坍落度经时损失小，能使混凝土拌和物中产生均匀的微小气泡，有助于改善混凝土可泵性及硬化混凝土的物理力学性能。由于粉煤灰含有一定数量的玻璃珠，其提高混凝土可泵性的效果相当于等量水泥的两倍。泵送剂改善可泵性的实质是增稠或提高水的粘度，防止水泥浆在压力下泌水或浆体通过集料内部空隙渗透。在基准混凝土组成材料优化的基础上，根据泵送高度调整泵送剂掺量是调整混凝土可泵性的一条技术途径。

三、结语

1. 在低用水量、低水灰比、高石子用量制约条件下，采用优化集料级配，并用泵送剂与粉煤灰相结合的双掺技术来提高可泵性是实现一次泵送高度达 100m 以上的重要技术措施。

2. 通过混凝土可泵性优化技术研究，在低用水量、高石子用量制约条件下，处于临界饱和状态的混凝土，其可泵性不单纯决定于用水量及泵送剂掺量，而且受石子级配的空隙率、砂子的细度模数及砂子用量所制约，因此优化集料级配、合理选择砂子细度模数及用量是不可忽视的重要因素。

11.4 混凝土的拌制

11.4.1 试验室试配混凝土配合比是以骨料表面干燥时计算的理论配合比。工地进行混凝土的拌制施工时,试验室应根据砂、石骨料的实际含水量换算成实际施工拌制的材料用量配合比(以质量比计),以配料通知单通知工地执行。一般每日开工前应测定砂、石表面含水率一次,以后每隔 4h 再测定一次。如因下雨或其他原因致含水率发生变化,应立即测定。每次测定含水率后,应由试验人员填写配料通知单通知工地执行。含水率测定方法可参阅《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053-94)。

11.4.2 考虑到特大桥的施工,表 11.4.2 注⑥系按国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)表 4.3.2 注 5 所列。

11.4.3、11.4.4 条文中的规定均是依据国标《混凝土质量控制标准》(GB50164-92)修订的。

11.5 混凝土的运输

11.5.1 混凝土拌和物运输时间过长则将增加离析和降低坍落度而影响拌和物的质量,故规定运输时间限制是必要的。条文表 11.5.1 是参考《水工混凝土施工规范》(SDJ207-82)搅拌设施的运输条件拟定的。在有搅拌设施的运输时,在运输途中同时对拌和物搅拌,不易离析,故运输时间限制可延长。

11.5.3 泵送混凝土,本次修订系采用国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)的规定。

11.6 混凝土的浇筑

11.6.1 2 自高处倾卸混凝土应注意的问题是防止混凝土离析。当自由倾落高度超过 2m 时,采用串筒或振动漏管(斜管)可降低混凝土降落速度,限制混凝土倾落范围,并可防止混凝土的离析。

对高墩台、索塔或挖孔灌注桩等倾落高度超过 10m 时,应在串筒内设置各个方向不同的斜挡板,以减低混凝土下落速度。串筒料口下面的混凝土,应随落随即转运到各模板内,如堆积高超过 1m,则后落的混凝土拌和物中粗骨料向远方滚去,造成严重离析。

11.6.1 3 混凝土一般是分层浇筑,但为使上下层成为整体,避免形成接缝,浇筑上层时插入式振动器应伸入到下层一定深度(50~100mm),同时下层混凝土须仍保持一定的塑性,因此规定须在下层混凝土初凝或重塑以前浇筑完成上层混凝土。用插入式振动器振捣混凝土时,浇筑层的最大厚度以往多规定不超过振动器作用部分长度的 1.25 倍。但所称作用部分长度比较费解,浇筑层厚度不明确,根据一些插入式振动器规定的浇筑层厚度不超过振动棒长 $2/3 \sim 3/4$ 以及振动棒长多为 500mm 左右的情况(见《建筑机械使用手册》及《路桥施工机械手册》),本条表 11.6.1-1 规定用插入式振动器时,浇筑层厚度不得超过 300mm。

11.6.1 4 1)插入式振动器移动时插点若相距过远,则两次振动作用半径之间的混凝土可能未得到振实;若相距过近,则一方面施工进度较慢,另一方面可能造成重复振捣而使混凝土产生离析。

振动器的作用半径除与本身的功率、性能有关外,还与混凝土的工作度或坍落度(前者对于硬性混凝土,后者对塑性混凝土)大小有关,最好由工地试验确定。

振动器与侧模板保持 50~100mm 距离,是为了防止侧模板受振动影响而变

形或振动器碰撞模板、钢筋、预埋件等。振动器插入下层混凝土 50~100mm 可使上下层结合成整体,防止产生工作缝。振动完毕如急速提出,则振捣器周围的混凝土来不及填补其孔洞,故规定应边振捣边徐徐提出振动棒。

11.6.1 4 2)表面振动器仅可用于振捣混凝土表面和薄板结构。表面振动器功率较小,覆盖已振实部分 100mm 左右可避免发生竖向工作缝。

11.6.1 4 3)钢筋较密的构件,用插入式振动器有困难时,可用附着式振动器,但模板结构必须坚固,并有固定振动器的设备。振动器的布置宜经过试验,使构件任何部位新浇混凝土均能受到振动为准。

11.6.1 5 混凝土浇筑工作在正常情况下应尽可能连续进行,但遇到停电、搅拌机故障、下雨等意外时(工人吃饭、休息应轮班,不得间断浇筑),间断时间如超过已浇筑前层混凝土的初凝时间或重塑时间,则应按工作缝处理。如不做处理继续浇筑时,上下两层或前后两段结合不好,影响混凝土整体质量。允许间断时间应从混凝土加水搅拌起计,包括运输时间、前层混凝土浇筑时间和后一层混凝土浇筑振捣时间。

表 11.6.1-2 是根据《混凝土结构工程施工及验收规程》(GB50204-92)修订的。

混凝土的初凝时间与水泥品种、外加剂、配合比及气温环境有关,是以金属测针竖直插入从混凝土拌和物筛出的砂浆中,使其深度达到 25mm 时的贯入阻力为 3.5MPa 的时间计算的(引自美国 ASTM 试验方法)。一般混凝土的初凝时间与重塑时间很接近,但前者须在试验室测试,后者在施工现场做较方便和可靠,故重塑试验最好在现场做。有条件时,也可先在试验室做初凝试验与现场做的重塑试验进行对比。

重塑试验方法:用插入式振动器靠自重插入混凝土中,振动 15s 后,周围 100mm 内能泛浆,并且拔出振动器时,不留孔沿者即认为能重塑。

11.6.1 6 施工缝不可避免时,应按条文要求,进行表面处理。

11.6.1 6 1)将松弱层凿除,以免影响混凝土整体强度。根据凿除机具和方法规定了处理层混凝土应达到的强度,以免处理层下面的混凝土受损伤。

11.6.1 6 2)涂刷强度较高的水泥砂浆以加强前后两层的粘结。

11.6.1 6 3)施工缝的抗剪强度较差,重要部位和有抗震要求的施工缝应插埋锚固钢筋,以增强其抗剪强度。

11.6.1 6 4)斜面凿成台阶以防止滑移,增强抗剪力。

11.6.1 6 5)施工缝的后层混凝土浇筑振捣时,为防止前层混凝土被振裂或发生其他缺陷,条文按结构物类型规定了前层已浇混凝土需要达到 1.2MPa 或 2.5MPa 的强度。如要求施工缝有较高的密实性(不渗水性)时,最好达到 2.5MPa 的强度后,再按条文规定浇筑后层混凝土。混凝土达到 0.5MPa 和 1.2MPa 强度所需时间,参见规范附录 F-5。

对于钢筋混凝土连续梁分段浇筑时的横向工作缝,箱梁或梁悬臂板边需现浇混凝土的纵向垂直工作缝,大体积混凝土的分块垂直工作缝,大型悬索桥锚碇外墙口内侧模板等,施工时可采用一次性金属网模板做工作缝。这种金属网能提供良好的粗粒结构结合面,不再需要仔细凿除打毛。这种一次性金属网,系进口高科技产品。

11.6.1 7 浇筑中混凝土发生泌水较多时,应及时研究其原因和采取减少泌水的措施。泌水原因可从配合比、运输方法和机具、间歇时间过久等考虑,针对其原因采取措施防止泌水继续增多。已发生的泌水宜从上部采用吸管等方法排除,禁止在模板侧面开孔放走泌水,因这样做可能带走水泥砂浆。泌水过多必须设法排

除,否则混入后层混凝土中,增大其水灰比,降低其强度,这是不允许的。排净表面泌水后,最好再捣实一遍。

11.6.2 1 在天然地基上浇筑墩台基础混凝土时,如基底过干,混凝土中的水分被基底吸收,影响混凝土与基底的粘结,所以要先将基底润湿,如同砌砖时要将砖润湿一样。基面为岩石时,要加以润湿,铺一层砂浆,再浇筑基础,这样可增强混凝土与基底的粘结,如同处理混凝土施工缝一样。

11.6.2 2 墩台及基础混凝土以承受竖直荷载为主,应在整个范围内水平分层浇筑,使承压面与竖直荷载垂直,不致产生侧向分力,承压效果最好。

11.6.2 3 较大体积的混凝土中埋入片石可以节约水泥,在石料来源丰富的地方,更宜提倡。但沉埋的片石数量不宜过多,否则将影响混凝土的强度。根据《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ022-85)的规定,混凝土中按体积掺入 25% 的片石时,其各项极限强度和弹性模量与同强度的未掺片石的混凝土相同。但如混凝土中掺入片石达 50%~60% 时,则成为片石混凝土砌体(它是在混凝土中分层铺入片石,石块净距为 40~60mm)。混凝土与片石混凝土强度相同时,后者的抗压、抗剪和弯曲抗拉的极限强度以及受压弹性模量均较前者为低,故条文按设计要求规定了埋入片石的含量。埋入片石的强度不低于 30MPa 是考虑适应混凝土抗压强度的需要。石块与混凝土的粘结强度通常小于同等级的混凝土强度,《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ022-85)规定 C10 混凝土弯曲抗拉强度为 1.6MPa,而同强度片石混凝土砌体只 0.54MPa,故条文规定受拉区混凝土不得埋放石块。当气温低于 0℃ 时,浇筑混凝土须采取冬期施工措施(见本规范第 14 章),也不得埋放石块。

11.6.2 4 采用滑升模板浇筑墩台混凝土时,在模板方面的技术要求应按照本规范第 9 章有关规定办理,本条只列入浇筑混凝土时应注意事项。

11.6.2 5 墩台基础或台身混凝土进行分块浇筑,是当其截面面积大于 100m²,在前层混凝土开始初凝或失去重塑能力来不及将后层混凝土浇妥捣实时的一种措施。分块浇筑也就是分块间歇浇筑。分块连接面与墩台截面尺寸较小的方向平行,有使结构整体性良好的作用。

11.6.2 6 混凝土墩台基础或台身体积很大时,混凝土在浇筑初期水泥发生大量水化热,内部温度迅速升高,体积膨胀,此时由于受基岩或先期混凝土的约束随即产生压应力。在混凝土硬化后期冷却收缩时,将产生拉应力,且拉应力将大于升温膨胀产生的压应力值。当拉应力超过混凝土的极限抗拉应力时,就会在其内部产生裂缝,并可能发展成为贯穿裂缝,对结构造成较大的危害,因此必须控制大体积混凝土的温差在设计要求以内。当设计无要求时,温差以不超过 25℃ 为宜,这一要求适用于最小边尺寸在 1~3m 范围内的大体积混凝土。

11.7 混凝土的抗冻、抗渗及防腐蚀

11.7.2 随着跨海大桥的兴建及特大型桥涵构造物的修建日益增多,要求混凝土有较高的耐久性能。本条中的相应规定均是依据《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ269-96)制订的。条文中关于南方与北方的划分规定为,当地最冷月月平均气温大于 0℃ 的地区为南方。

11.7.3 水位变动区是冻融破坏最严重的区域,这是有抗冻性要求的混凝土首先应注意的。混凝土抗冻等级的适当标准是参照《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ269-96)制定的。

11.7.4 混凝土的抗渗性能是混凝土耐久性能的重要部分。本次修订根据近年特大

型桥梁的修建日益增多而增加了本条内容。

11.8 混凝土的养护及修饰

11.8.1 1 本条是依据国标《混凝土质量控制》(GB50164-92)修订的。

11.8.1 2 混凝土浇筑成型后, 由于其中水泥的水化作用, 逐渐开始凝结硬化。混凝土拌和物中所含水分足够水化作用的需要, 但由于硬化是逐渐进行, 当空气中相对湿度较小时, 混凝土中水分就会不断地被蒸发掉, 造成混凝土由表到里逐渐脱水(失水), 极易产生干燥收缩裂纹。同时, 失水过多还会阻滞混凝土的继续硬化甚至停止硬化。为使混凝土有适宜的硬化条件, 使强度不断增长, 并避免发生干燥收缩裂纹, 按照条文规定, 对混凝土进行适当的养护是不容忽视的。

11.8.1 3 当气温低于 5℃时, 混凝土的水泥水化凝结速度大为降低, 其中的水分也不易蒸发出来, 混凝土不会发生如前条所说的脱水(失水)现象, 故条文规定不得向混凝土表面洒水, 而应当覆盖保温, 以加快混凝土中水泥水化凝结速度。

11.8.1 5 决定混凝土养护所需时间的原则, 是以混凝土获得正常强度, 停止养护后表面不再产生于缩裂纹时为标准, 正常强度值大小与水泥品种、气候条件及养护方法有关。条文中洒水养护 7d 的规定是根据国际国内一般实际经验确定的。前条已说明混凝土拌和物中的水分较水泥水化作用所需的水分为多, 混凝土浇筑完毕后用塑料薄膜或喷涂化学浆液保护层, 可防止混凝土内的水分蒸发散失, 不致产生干缩裂纹, 可不用洒水养护方法。此法适用于特别缺水地区。

11.8.1 6 当混凝土未达到一定强度以前, 与流动的地表水或地下水接触的混凝土结构有被冲刷、侵蚀的危险, 故应采取如临时排水、堵塞水流、设置防水围堰、防水层或其他办法的防水措施。7d 时间的规定是考虑在 5℃时, 混凝土强度约已达到设计强度的 50%, 已有抗水流冲刷的能力。如果水的流速过大, 使用缓凝性水泥或水温低, 则临时防水时间应酌予延长。条文中提出的侵蚀性地下水, 系指一般有海水渗入的地下水。如地下水含有硫酸盐等侵蚀性较强的物质, 则除按条文规定的时间和混凝土强度要求外, 结构混凝土还应采用抗硫酸盐水泥。

11.8.1 7 本条是根据国标《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)修订的。大体积混凝土在硬化过程中, 产生的水化热不易散发, 施工中如不采取措施, 会由于混凝土内外温差过大而出现裂缝。

11.8.2 2 随着国民经济的发展, 公路标准逐渐提高, 立交构造逐渐增多, 对桥涵的美化问题也日益引起人们的重视。为适应此新形势的发展, 本条参考城市道路桥涵工程有关规定, 拟定了混凝土表面修整、一般抹灰(水泥砂浆抹面)和装饰抹灰(水刷石、水磨石、剁斧石)等质量标准, 列于第 11.11.3 条第 5 款。

11.9 高强度混凝土

11.9.1 1 在不同的历史发展阶段, 不同的国家和地区, 高强度混凝土的涵义是不同的。条文中高强度混凝土的强度区域系采用《高强度混凝土结构施工指南》(HSCC93-2)的定义值。

关于高性能混凝土, 其含意为: 具有高强度、高弹性模量、低渗透性和抵抗外界破坏的性能的混凝土。有时, 还扩展为具有自密实性、高流动性等性能。目前这仍是一个不断探索的课题。

高性能混凝土与常规混凝土的配比基本上是一样的, 不同点是高性能混凝土通常含有微硅粉或含有磨细粉煤灰或磨细高炉矿渣; 骨料必须具有高强度、清洁,

最大粒径小于普通混凝土使用的骨料，一般介于 10~14mm；细骨料用较好的粗砂，细度模数 2.7~3.0，低水灰比，以及掺相容的高效减水剂等与高强度混凝土的要求是一致的。高强度混凝土本身抗渗性能就高，但还不同于高性能混凝土，高性能混凝土主要指高耐久性。

11.9.2 2 细骨料的矿物组成影响混凝土的强度性能，用有棱角的辉绿岩砂代替石英砂，可使细砂混凝土的抗压强度提高约 15%~25%。砂中夹杂的粘土或杂质对混凝土的强度有十分不利的影响。用于配制高强度混凝土的粗细骨料，如果含泥量不符合要求，必须进行机械加工或振动冲洗。

11.9.2 3 选择不仅具有高强度而且具有坚硬胶结物的集料如花岗岩来拌制高强度混凝土，可增大混凝土的塑性断裂进而大幅度降低混凝土的脆性。另外，选择最佳粗集料粒径，可以在相同原材料的情况下有效地降低混凝土的脆性。据有关资料，粗骨料的最佳粒径为 7~8mm，此时混凝土的脆性约可降低 10%。

11.9.2 5 高效减水剂的减水率可高达 20% 以上。减水率达到 25%~35% 时，才便于配制出既具有高强度又具有大流动性的混凝土。配制时，不应使用引气性外加剂。但在应用外加剂时必然会引入一定数量的空气，适量的引气能增加拌和物的流动性，降低混凝土的脆性。含气量过高会导致强度的下降。下列情况下可降低拌和物的引气量：采用中粗砂，降低砂率，水泥砂浆含量相对较低，拌和水量相对较少，水泥用量相对较高，水泥细度相对较小。

11.9.2 6 活性掺合料对于混凝土的增强作用，在于掺合料中的活性成分参与了混凝土的水化反应，以减水剂为主的化学外加剂能使水泥中的硅酸钙水化，从而激发掺和料的活性。粉煤灰作为一种优良的活性掺合料已有了多年的应用历史，已成为混凝土的第六组成部分，应用于高强混凝土中应为首选的掺和料。一般应选择 I 级粉煤灰，尽可能选用细度大且烧失量低的粉煤灰，必要时通过试验也可使用 II 级粉煤灰。

11.9.3 2 在混凝土的配合比设计上，应遵循低水灰比(或水胶比)，低砂率，高骨灰比(或骨胶比)的原则。同时应遵守“先试验，后使用”的原则。

11.9.4 2 采用“二次投料法”的搅拌工艺，可以达到提高水泥砂浆与砂子界面粘结强度的目的。采用这种工艺生产的混凝土，国外称做 SEC 混凝土，即用水泥包裹砂子的混凝土。可参考图 11.9.4 所示的投料顺序。

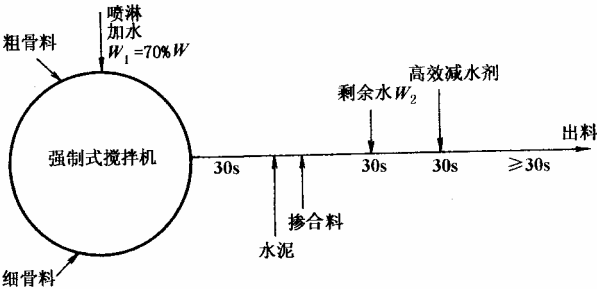


图 11.9.4 “二次投料法”投料顺序

采用这一工艺配制的混凝土，各龄期强度都得到较大提高，早期强度提高约 10%，28d 强度提高约 16%~25%。混凝土的其他性能也得到改善，坍落度增大 5%，含气量减少约 9%，析水量下降约 40%。

11.10 热期、雨期混凝土的施工

混凝土的浇筑温度应控制在 32℃ 以下,是根据《干热地区的混凝土施工(下)》拟定的。(McGraw-Hill 力书公司出版的《Hand-book of Structural Concrete》第 26 章编评,中国铁道出版社安鸿逵编译)

11.11 工程质量检验和质量标准

11.11.1 本条是依据国标《混凝土质量控制标准》(GB50164-92)增订的。进行混凝土质量控制的目的是使所生产的混凝土稳定地保持在所要求的质量水平。原材料的质量及其变异、生产工艺条件和各工序所用生产设备性能的变异、检验测试仪器质量的变异,以及操作人员技术素质的变异等等,均将对混凝土质量产生一定影响。因此,应通过对生产全过程各道工序的质量控制,以保证所生产的混凝土达到合格评定标准。

大桥等重要工程项目为实施质量控制,应定期(月、季、年)对材料的质量检测结果(水泥强度、细骨料细度模数、骨料含泥量等)生产过程中各工序的生产工艺参数、产品质量参数(混凝土搅拌时间,混凝土拌和物的稠度、水灰比及水泥含量,混凝土强度等)等进行统计,应用计量型、计数型等各种管理图表,掌握生产过程的质量动态,保持生产的稳定性,使混凝土质量处于控制状态,并遵循升级循环的方式,制订改进与提高质量的措施,使混凝土质量不断稳定提高。施工单位应结合本单位的实际,配备相应的合格人员和必要的试验检验设备,建立各项规章制度,按有关标准、规范的规定,制定实施细则,进行质量检验、生产控制及合格控制,保证生产出符合质量要求的混凝土。

11.11.2 3 本条对混凝土试件制取组数的规定,基本与《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071)一致,但鉴于公路小桥涵一般单座的工程量较小,同时工程地点比较分散,因此补充了小桥涵混凝土当原材料和配合比相同并由同一拌和站拌制时,可几座合并制取的规定。

11.11.2 4 前条规定的混凝土试件,均是在标准养护条件下,于 28d 龄期做抗压试验以评定混凝土质量用的。而结构物混凝土是在自然条件或人工加热条件下养护的,与试件养护条件不同,且结构物拆模、出池、吊装、预施应力、承受荷载的龄期也不是试件规定的 28d,其强度应根据实际养护条件下构件所达到的实际强度而定,不能由标准条件养护下的各个龄期的试件强度决定,故条文规定应另制取与结构物同条件养护的试件。这种试件的尺寸大小与标养试件相同,试件组数应按实际需要决定。

11.11.3 1 关于验收批的划分

验收批的批量不宜过大,因为批量过大,一旦检验不合格,需作处理的混凝土量太大,造成不必要的经济损失。但批量过小,检验工作量也不会太小。应根据对混凝土取样频率的要求、检验评定方法的规定结合本单位的总体生产条件来确定。对于施工现场现浇混凝土,可按《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071-98)第 6 章桥梁工程“混凝土浇筑”节中所确定的单位工程的验收批项目划分验收批。但根据中国建筑科学研究院的统计调查,同一个验收批的时间范围以不超过一个季度,同时验收批内日平均气温之差小于 15℃ 为宜。

关于非标准尺寸试件,可按表 11.1.3 进行换算。

关于以数理统计方法进行评定

当试件数量较少时,非统计方法的检验效率较差,即存在着将合格品误判为不合格品(生产方风险)或将不合格品误判为合格品(用户方风险)的可能性较大。为此,对工地混凝土构件,主要应采用统计方法评定。《混凝土强度检验评定标

准》(GBJ107-87)规定,“预拌混凝土厂、预制混凝土构件厂和采用现场集中搅拌混凝土的施工单位,应按本标准规定的统计方法评定混凝土强度。对零星生产的预制构件的混凝土或现场搅拌的批量不大的混凝土,可按本标准规定的非统计方法评定。”

不少工地提出,“工地制作的盖梁、梁板等的混凝土强度,可否将同一类型合在一起用统计方法评定?”我们认为,按照“国标”规定,只要强度相同、龄期相同、生产工艺条件和配合比相同,应该而且强调作统计评定,能较真实地反映实际情况。

11.11.3 2 如用钻取芯样法检测混凝土强度,推荐使用由中国工程建设标准化委员会编写的《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS03-88)。

12 预应力混凝土工程

12.1 一般规定

12.1.1 保留原规范条文,仅作文字修改。

12.1.2 预应力混凝土工程施工时,应特别注意加强安全技术防护措施。安全防护措施包括三个方面的内容:作业人员的人身安全、操作设备的安全以及结构物本身的安全。为保证施工作业安全地进行,应制定安全作业操作细则,创造良好的工作环境。实际上,为预应力混凝土工程施工提供良好的工作环境也是保证最终产品优质的前提。施工前,要对所有工作人员进行必要的培训,使之掌握安全操作所需的知识和技能。冷拉或张拉预应力筋时,应由专人负责指挥,严禁任何人站在千斤顶的后方,或踏踩、碰撞预应力筋;量测力筋的伸长值及拧紧螺母时,应停止开动千斤顶或卷扬机;孔道压浆时,作业人员应佩戴防护眼镜,以防灰浆喷出而射伤眼睛。

12.2 预应力筋

12.2.1 国家技术监督局于 1995 年分别发布了钢丝和钢绞线的新标准《预应力混凝土用钢丝》(GB / T5223-1995)和《预应力混凝土用钢绞线》(GB / T5224-1995),故此次修订中对钢丝和钢绞线按新标准进行了修改,但冷拉钢丝未被本规范采用,这是因为作为预应力钢筋抗拉强度设计值的条件屈服点只有其抗拉强度的 0.75 倍,利用率较低;热处理钢筋仍按《预应力混凝土用热处理钢筋》(GB4463-84)执行。

在本规范施行期间如上述国家标准有修改时,应相应采用新标准执行。

12.2.2 冷拉钢筋本规范仅选用了Ⅳ级钢筋,是为与正在修订的设计规范取得一致,其力学性能根据国家标准《混凝土结构工程施工和验收规范》(GB50204-92)的规定采用。

12.2.3 对精轧螺纹钢筋,目前还没有相应的国家标准(有关部门正在着手制订行业标准),但实际上已在桥梁工程中大量采用,为保证这种预应力筋的正常使用,促进该项技术的发展,本规范修订时参考有关企业标准对此作出了规定。

12.2.4 预应力筋的进场验收,原规范除对冷拉钢筋和冷拔低碳钢丝的检验有规定外,对于钢丝、钢绞线及热处理钢筋的进场验收,在取样方法、分批取样数量及合格判定方面均无明确规定。故本次修订根据相关国家标准的规定作出了较具体的要求,以确保工程的材料品质。

除大桥等重要工程外,在一般桥梁工程中使用的预应力筋可仅对抗拉强度进行试验,如果对某厂的产品经常使用,证明质量有保证,经有关方面同意后,可

不一定屡次、每批都进行全部力学性能复验，而由生产厂家提供试验报告，因此条文中对预应力筋力学性能检验办法有一定的灵活性。但对预应力筋的外观质量以及冷拉钢筋、冷拔低碳钢丝和精轧螺纹钢的力学性能，不论用于何种工程，均应按规定在进场时进行严格检验。

12.3 锚具、夹具和连接器

12.3.1、12.3.2、12.3.3、12.3.4 原规范对锚具、夹具和连接器的性能的规定比较笼统，本次修订参考现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB / T14370）对其作出了较具体的规定。锚固性能不可靠或承载能力不够的锚具、夹具和连接器不得用于预应力混凝土结构。

12.3.5 本条系参照《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB / T14370）的规定拟定的。对锚具、夹具和连接器的进场验收原规范的规定不便于操作，本次修订对此作出了比较具体的规定。

12.4 管 道

12.4.2 条文中要求金属管道宜尽量采用镀锌材料制作，是基于提高管道及力筋的防锈蚀性能来考虑的。

12.4.3 1、2、3 这 3 款是参照《预应力混凝土用金属螺旋管》（JG / T3013-94）的有关条款制定的，原规范无此内容，为加强对管道的检验，保证工程质量，故规定如条文。

12.4.4 2 规定平滑钢管和聚乙烯管的壁厚不得小于 2mm 的理由是，为防止空管在安置和浇筑混凝土的过程中变形和挠曲；抵抗高的压浆压力；防止由于特殊的环境造成管道损坏。

12.4.4 3 工程实践证明，管道内横截面积的大小与穿束的难易程度有关，用穿束机时更是如此，因此，一般情况下管道面积应不小于预应力钢材净截面积的 2.0~2.5 倍。当束长超过 70m 时，其管道面积与钢束面积之比应大于 2.5 倍，穿束才不致困难；对于更长的多根力筋的钢束，从理论计算的结果来看其穿束并不困难，但实际施工时往往不好穿，特别当穿至力筋的 2 / 3 以上，尤其是最后几根时，十分困难，甚至无法穿入，故条文规定穿长束时应通过试验来确定其面积比。穿长束时，也可采用穿束网套或将力筋一端按宝塔型电焊成尖头，用卷扬机整束拖拉一次穿入。

12.4.4 4 采用胶管或钢管抽芯法制孔时，抽管时间应根据水泥品种、水灰比、气温和养护方法等条件，通过试验确定。抽管以能顺利抽出来且孔道不坍塌为原则，故抽管时间应在混凝土初凝后终凝前为宜，一般可在 100 温度小时左右时进行。

钢管抽芯法只能用于直线孔道的成形，采用充水或充气的胶管抽芯法，对直线和曲线孔道成形均可适用。胶管充水后管径膨胀，放水后管径缩小，抽管省力，且对抽管时间的要求不如钢管抽芯法严，稍迟仍可抽出。采用充水或充气胶管抽芯时，应预先进行充水充气试验，胶管外径应符合孔道直径要求，管内压力不低于 0.5MPa，并应保持不变，直至抽拔。

12.6 预应力筋制作

12.6.1 1 对同一束中各根钢丝下料长度的相对差值的规定，只有当钢丝束两端采用镦头锚具时才应符合这一规定，当一端采用镦头锚具时无此要求。钢丝束两端采用镦头锚具时，同束钢丝长度的相对差值对钢丝的张拉控制应力是否均匀关系很大，因此下料长度需特别严格的控制，本规范的规定与《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071)的规定是一致的。

12.6.1 2 如用电弧切断预应力筋，在高温下将使力筋的抗拉强度降低，故规定如条文。

12.6.2 冷拉钢筋在冷拉前焊接，可防止先冷拉、后焊接时受高温影响而使钢筋抗拉强度降低。

1. IV级钢筋按牌号不同，其化学成分(%)中含C量为0.36~0.52，平均为0.44；含Si量为1.1~1.8，平均为1.5；含Mn量为0.7~1.4，平均为1.1；按碳当量 $C_q = C + Mn/6 + Si/24$ ，计算得 $C_q = 0.69$ ，超过易焊性指标，故IV级钢筋的焊接性能较差。用预热闪光对焊以后，应进行通电热处理，热处理温度约750~850℃，然后在空气中自然冷却。

2. 预应力筋的对焊接头，虽然规定有质量要求，但由于施工工艺的各种因素影响，其抗拉强度可能较低，成为薄弱环节。对焊接头处其直径常较预应力钢材为大，为避免薄弱环节和大直径接头集中在一个断面内，故规定如条文。

3. 按条文规定办理可使端杆和接头在冷拉时同时受拉。在整个工艺操作中应对螺杆妥为保护，以免碰坏螺纹。

12.6.3 预应力钢材镦粗头的方法和机具是根据其硬度和直径大小来决定的。硬度较低、直径较小的冷拔低碳钢丝，可采用人工或电动冷镦器，也可使用小型液压冷镦器；高强钢丝因其硬度较高，一般宜采用最大镦头力为450kN的液压冷镦器；冷拉钢筋如其直径大于12mm，则不能用前述冷镦器，而需采用对焊机进行热镦，直径25mm以上的粗钢筋则宜用汽锤镦头。IV级钢筋热镦头后须进行通电处理的理由见12.6.2条的说明。

冷拉钢筋采用镦头锚时，一般应在冷拉前镦粗头，如此则其质量较冷拉后再进行镦粗头为好。对于两端均使用镦头锚的预应力筋，如先镦粗头，其长度将受到限制，再进行冷拉时可能会出现预应力筋长度不符合要求的现象，在这种情况下只有先进行冷拉，然后按需要长度下料进行镦粗头，但这样处理时，应对镦头逐个进行张拉检查，以保证镦头的使用质量。

12.6.4 钢筋的冷拉工艺已改变了过去“双控”和“单控”的方法，现根据现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92)的规定，采用控制应力或控制冷拉率的方法。当采用控制应力的方法时，冷拉控制应力采用钢筋屈服强度(标准值)，同时检查钢筋的冷拉率；当采用控制冷拉率的方法时，冷拉应力在前者屈服强度的基础上加30MPa，并以此应力通过试验确定相应的冷拉率。

冷拉时，如钢筋已达到控制应力，而冷拉率未超过允许值，则认为合格；若钢筋已达到允许冷拉率，而冷拉应力尚小于控制应力，则这根钢筋应降低强度使用。

钢筋冷拉时，使材料内的晶体结构开始变形，拉力达到屈服点后再放松，晶体的平面变成不平的面，阻碍了原来平面的继续滑动，因此提高了屈服点。冷拉应力变动速度如过快，使材料内的晶体来不及顺利地变形，就达不到冷拉后提高屈服点的要求。

由于钢筋材料的不均匀性，以相同应力冷拉后的预应力钢材，其延伸率可能不同。在同一束预应力钢材或同一构件内，应使用延伸率大致相同的预应力钢材，

使其受力均匀。故冷拉后，应将预应力钢材按延伸率相近的（不超过 0.5%）编为一组。

12.6.5 冷拔与冷拉相比，后者只是纯拉伸的线应力，而前者是拉伸与压缩兼有的复杂应力。钢筋冷拔后，横向压缩（即断面缩小），纵向拉伸，材料内部晶体结构产生滑移，抗拉强度可提高 50%~90%（较冷拉提高得多些），塑性降低，硬度提高，呈硬钢性质。

冷拔工艺过程包括除锈、酸洗、扎头（将钢筋端头逐级压细，便于穿过拔丝模孔）和拔丝等。冷拔时不似冷拉时用应力或冷拉率控制，而是按条文规定逐级穿过模孔拉伸即可。冷拔到需要的直径后，应按条文规定进行检验。

12.6.6 按强度高低分别编束的理由见 12.6.4 条说明。编束时，梳理顺直，可防止钢丝或钢绞线在穿束、张拉时由于互相缠绕紊乱而导致的受力不均匀现象，当受力不均匀时，将使有的钢丝达不到张拉控制应力，而有的则可能被拉断。

12.7 混凝土的浇筑

12.7.1 混凝土中掺入氯盐可导致钢筋和预应力筋锈蚀而影响结构物的耐久性，为提高结构的耐久性和使用寿命，根据有关试验资料及其他国家（如英、美、日、德）的规定，将原规范中氯离子总含量不超过水泥用量的 0.1% 调整为 0.06%。

混凝土中掺入引气剂时，虽可改善和易性，提高抗冻、抗渗和抗侵蚀性能，但强度从 3d 至 28d 标养均有所下降，一般每增加 1% 的空气含量，强度下降约 5%。如能采取使强度不降低的措施，例如减少拌和用水量、降低水灰比等，则经过试验验证认为掺入引气剂不降低混凝土强度时，可酌量掺入引气型减水剂。

12.8 施加预应力

12.8.1 保留原规范条文，原规范为两条，现合并为一条。

12.8.2 本条为新增内容，系参照《FIP 工程实践指南》（1992 年 10 月版本）制定的。

12.8.3 1 对于拉丝体系的后张法构件，设计规范规定了锚下的预应力筋的张拉控制应力，加上锚圈口预应力损失值才是体外最大张拉控制应力。冷拔低碳钢丝不宜超张拉。

12.8.3 2 预应力筋张拉时，实际伸长值与理论伸长值的偏差控制，原规范规定为 6%，国内工程的实践表明，只要在施工中精心操作，均能达到此要求，故本次修订时未作变动，仍保留原规范的规定。

12.8.3 3 条文中式（12.8.3-1）及附录 G-8 为后张法预应力筋张拉理论伸长值的精确计算公式，公式中考虑了孔道局部偏差的摩阻影响和曲线孔道的摩阻影响。采用此公式时，可分为下列不同情况：

1. 当预应力筋为直线且无孔道摩阻影响时， $P_p=P$ ， L 代表预应力筋长度，得公式

$$\Delta L = \frac{PL}{A_p E_p}$$

2. 对由多曲线组成的曲线预应力筋，或由直线与曲线混合组成的预应力筋，其伸长值宜分段计算，然后叠加。

12.8.3 4 预应力筋张拉时，一般先张拉调整到初应力后再正式分级张拉和量测预应力筋伸长值，而量测的伸长值并未包括从零张拉到初应力时的伸长值，因此，

在确定实际伸长值时，除量测的伸长值外，还应计入初应力时的伸长值，以便与理论伸长值相对应。最初张拉时各根（束）预应力筋的松紧、弯直程度不一定一致，所以初应力时的伸长值不宜采用量测方法，而宜采用推算的方法。推算时，可采用相邻级的伸长值，例如初应力 σ_0 为 $10\% \sigma_{com}$ 时，其伸长值可采用由 10% 张拉到 20% 的伸长值。

12.8.3 6 对原规范中锚固阶段张拉端锚具变形及预应力筋的变形允许值，为与正在修订的设计规范取得一致，进行了适当调整。根据锚固原理的不同，对支承式、锥塞式和夹片式等几类锚具的变形值均作了规定，如此则概括了目前常用的各种锚具。当设计对变形值有专门规定时，可按设计规定确定，设计无具体规定时，可按本条文办理。

JMI5 锚具为带有锥形内孔的锚环（圆形或方形）和一组合成锥形的夹片组成。夹片数量和被锚固的钢筋数量相等，每组锚具可锚固 3~6 根 $\Phi 12$ 光圆钢筋、 $\Phi 16$ 螺纹钢、 $7\Phi 4$ 、 $7\Phi 15$ 钢绞线。

12.9 先张法

12.9.2 1 多根预应力钢丝同时张拉时，应按本条文规定用钢丝应力测定仪等仪器抽查钢丝的应力值。考虑到构件受力的整体性，按构件全部钢丝预应力总值计算，如偏差不大于 5% 即认为合格，否则应检查原因，予以处理。

12.9.2 3 无论使用何种材料的预应力筋，在按设计控制应力 σ_{com} （包括估计到的预应力损失值在内）张拉并持荷到浇筑混凝土期间，预应力筋中的应力都将产生松弛损失，而使实际的张拉应力达不到设计要求。为减少预应力筋的应力松弛损失，可采用条文所述的超张拉程序。

使用夹片式等具有自锚性能的锚具时，因力筋按 $1.05 \sigma_{com}$ 施行超张拉后，由于该类锚具具有的自锚性能，在千斤顶回程时力筋即被锚固而不便放松回零，参照国标《混凝土结构工程施工及验收规范》（GB50204-95），规定将普通松弛力筋从初应力分级张拉至 $1.03 \sigma_{com}$ 后锚固，低松弛力筋从初应力张拉至 σ_{com} 后即可锚固。

超张拉值超过第 12.8.3 条的限值时，应按该条规定的限值进行张拉，这主要是为安全起见，以避免预应力筋被拉过屈服点或屈服强度。初应力程序的目的是在多根预应力筋同时张拉时，调整其每根预应力筋的应力，使其一致。

12.9.3 1 本款按国标 GB50204-95 将放张时混凝土强度的要求提高到 75% 。

12.9.3 2、3 先张法构件放张的原则，就是要防止在放张过程中构件发生翘曲、裂纹及预应力筋断折等现象。按条文规定放张时，一般可防止发生这些现象。

预应力筋放松，不可采用骤然切割的方法，骤然切断会使构件两端受到冲击力，出现裂纹。一般可采用千斤顶、砂箱、螺杆张拉架和混凝土缓冲块等工具使预应力筋的拉应力逐渐减小，然后再用砂轮锯、钢丝钳（锯）等工具或氧炔焰（注意散热）切断预应力筋。

12.9.3 4 规定由放张端开始逐次切向另一端，是为防止切断过程中发生钢丝自行拉断现象。

12.10 后张法

12.10.1 2 为保证管道定位准确，安装时应采用定位钢筋固定，使之平顺，并在浇混凝土时不产生位移，因此其定位钢筋的间距不宜过大，条文对各种管道的定

位钢筋间距作出了具体规定。对于曲线管道，应视实际情况适当加密。

12.10.1 3 管道的接头如处理不当，很容易造成漏浆，因此连接管应具有一定长度，并应有足够的密封性能防止水泥浆浸入。

12.10.1 4 压浆孔用于将水泥浆注入管道内；排气孔用于排出空气、水、灰浆和泌水。当认为需要时，可在管道的最低点设置排水孔以防止水的积存，排水孔应保持开放直至压浆开始。压浆孔和排气孔的位置与灰浆流动的方向、管道的倾斜度、锚具和接头及允许的压浆压力有关，在某些情况下，它们应可以互换使其可用以压浆和再次压浆。

12.10.2 1 在混凝土浇筑之前或浇筑之后穿束，将力筋逐根穿入或编束后整体装入管道中，这些方式都是允许的。对浇筑混凝土之后穿束的孔道，应首先用压力水冲洗，将可能粘附于孔壁的杂物冲洗掉，同时可检查出有无串孔现象，然后用不含油的压缩空气吹干孔道内水分，并用检孔器检查孔道是否畅通，检孔器不能通过的地方，应画上标记，作特殊处理。

12.10.2 2 1) 尽管如本条第 1 款所规定，预应力筋可在混凝土浇筑之前穿入管道；但要注意在穿束期间和穿束后对力筋进行保护，使其力学性能保持不变。因此在施工中由于管道和力筋安装后放置时间过长而需采取额外的防锈蚀措施时，穿束宜尽量推迟，以使穿束与压浆之间的间隔尽可能缩短。当在某种特殊情况下必须这样做时，则应严格执行条文规定的时限，否则应对力筋采取防止锈蚀或其他防腐蚀的措施。

12.10.2 2 2) 力筋装入管道后，湿气的大量进入将会使力筋加速锈蚀，故规定如条文。

12.10.2 2 3) 被电火花损伤的钢丝或钢绞线在张拉时可能会产生断裂，故作此规定。

12.10.2 3 在浇筑混凝土之前穿束，应防止损坏管道，如检查发现有损坏，应及时进行修复。为防止力筋卡在管道内，宜在浇筑混凝土之前先检查力筋能否在管道内自由滑动，发现问题及时处理。

12.10.3 1 如混凝土未达到要求的强度即行张拉，则因混凝土收缩、徐变所引起的预应力损失值将大为增加，严重时可使锚下混凝土产生裂纹甚至破碎。按国标 GB50204-92 调整了构件张拉时的最低强度要求。

12.10.3 2 后张法多根（束）预应力筋张拉时，应使张拉的合力作用线处在构件核心截面以内，以防构件截面产生过大的偏心受压和边缘拉力。因此，张拉宜分批、分阶段、对称地进行。分批先后张拉时，按控制应力先张拉的预应力筋会因后批预应力筋张拉时所产生的混凝土弹性压缩而引起应力损失。但如设计上安排张拉顺序时已考虑到这种应力损失的补偿问题，应按设计规定的顺序和张拉力进行。

12.10.3 4 曲线预应力筋或长度大于等于 25m 的直线预应力筋与孔道壁的摩阻力较大，如采取一端锚固，只在另一端张拉的方法，则摩阻力集中在一端的锚夹具和千斤顶上，实际预应力可能达不到要求，故条文规定在这种情况下应两端同时张拉。如限于设备只能先张拉一端时，可按条文规定先在一端张拉锚固后，再在另一端张拉补足预应力值。

12.10.3 5 增加了对采用有自锚性能的夹片式锚具的预应力筋的张拉程序，理由见第 12.9.2 条第 3 款的说明。

12.10.3 6 保留原规范条文，仅将钢绞线的检查项目单列一项，以示明确，避免理解困难。

12.10.3 7 预应力筋锚固后的外露长度，主要考虑到热影响不波及锚固部位和外露部分不影响构件的安装。

12.11 后张孔道压浆

12.11.1 预应力钢束孔道压浆的目的，主要是防止预应力筋锈蚀，并通过凝结后的水泥浆将预应力传递至混凝土结构中。对防锈蚀而言，孔道压浆越早越好，而且可防止力筋的松弛，使构件尽快安装。

12.11.2 1 矿渣水泥一般早期强度较低，泌水性较大，如经试验符合要求时也可采用。水泥中不应含有团块及任何对预应力筋有害的杂质。

12.11.2 2 在没有清洁饮用水的情况下，需对水质进行化学分析，符合条文要求的指标的水方可用于拌制水泥浆。

12.11.2 3 外加剂的使用将有助于增加水泥浆在给定的水灰比条件下的流动性，减少泌水，防止在高压压浆时的离析，但所采用的类型和用量应经试验验证确定。

12.11.3 水泥浆的强度应不低于 30MPa 的规定系参照《FIP 工程实践指南》（1989 年 10 月版）制定的，国标 GB50204-92 规定为不小于 20MPa。如 12.11.1 条说明所述，孔道压浆的目的主要是为防止力筋的锈蚀，应强调的是压浆的密实性，而水泥浆与力筋之间的粘结力起着向结构传递预应力的作用，因此水泥浆亦应具有一定的粘结强度及剪切强度，故规定水泥浆的强度应不低于 30MPa。

为使水泥浆能全部充满预应力筋周围的孔隙，以压注纯水泥浆为宜。当孔隙较大，且为单根力筋时，为节约水泥和减少收缩，可在水泥浆中掺入适量（不大于水泥质量的 50%）细砂。

为减少水泥浆凝结时的收缩，增加压注的密实性，水灰比不宜过大，以 0.40~0.45 为宜；掺外加剂时，水灰比可减小到 0.35。

水泥浆中掺入一定数量的膨胀剂，可增加其密实性，但掺量过大时，将显著降低水泥浆的强度，故条文中规定膨胀率须小于 10%。

原规范推荐的泌水率、膨胀率及稠度试验方法简单方便，予以保留，仅在文字上作了调整。

12.11.4 压浆前将孔道用高压水冲洗，可冲走杂物并将孔道内壁予以湿润，还可防止干燥的孔壁吸收水泥浆中的水分而降低浆液的流动度；对于金属管道亦有必要进行冲洗以清除管道内可能有的杂物。中性洗涤剂或皂液必须对预应力筋和管道无腐蚀作用，方可用于清洗管道内可能发生的油污。曲线孔道内低凹处的积水，可用不含油的压缩空气排除。

12.11.5 水泥浆拌制好后，应尽快使用，如延续时间过久，将降低其流动度，增加压注时的压力，且不易密实。条文规定在压注前和压注过程中应经常搅动，是为防止水泥浆沉淀泌水、过快地降低流动度。

12.11.6 因为空气和水的密度较水泥浆小，压浆时由最低的压浆孔压入，可使空气和水聚集在水泥浆上面，逐步由最高点的排气孔排除，如从高点压入，则空气易窜入水泥浆内形成气塞，阻碍水泥浆的流动，并在水泥浆凝结后产生气孔。

先压注下层孔道的好处是下层的预应力筋抗弯力矩较大，先压浆，使其松弛损失少一些，对结构较为有利。

12.11.8 孔道压浆的次数一般宜为两次，这是考虑如仅压注一次，在水泥浆有泌水和凝结收缩时，会使孔道上部产生空隙，对孔道进行二次压浆，可使水泥浆完全充满孔道，但二次压浆的间隔时间应掌握好，宜以先压注的水泥浆既充分泌水又未初凝为度。

12.11.9 压浆泵有活塞式和风压式两类，后者可能使空气窜入水泥浆中产生气孔，故条文规定应使用前者，不得使用后者。压浆泵需要的压力，以能将水泥浆压入并充满孔道孔隙为原则，一般在出浆口先后排出空气、水、稀浆、浓浆时，封闭出浆口，并保持不小于 0.5MPa 的压力 2min 以上，再拔出喷嘴，立即用木塞塞住。

12.11.11 规定试模为有底试模，留取试件要按标准条件养护 28d 时的强度作为质量评定依据。

12.12 质量检验及质量标准

12.12.2、12.12.3 结构允许偏差本规范的规定与《公路工程质量检验评定标准》（JTJ071）的规定是一致的。

13 砌 体

13.1 一般规定

13.1.2 砌体基础工程属于隐蔽工程，故在基坑开挖至设计高并进行相应的处理后，须经有关方面检查签证方可开始砌筑。基坑渗透水是难免的，而砌筑砂浆中的水泥比混凝土更易被水冲走，因此砌筑基础时，必须采取可靠的排水措施。

13.2 材 料

13.2.1 1 现行的《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》（JTJ022-85）规定，石料强度标号为 20cm×20cm×20cm 含水饱和试件的极限抗压强度。用较小的试件时，应乘以表 13.2.1 所列系数。

表 13.2.1

试件尺寸 (cm)	20×20× 20	15×15× 15	10×10× 10	7.07×7.07×7.07	5×5×5
换算系数	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

13.2.1 2 抗冻性差的石料，含有一定水分时，经过多次冻结与融化，将会产生脱层、裂缝等损伤，因此，寒冷地区所用石料需具备一定的抗冻性。一月份一般为一年气温最低的月份，因此本条规定需进行抗冻性试验的地区，实际上是气温最低月份平均气温低于-10℃的地区。

13.2.1 3、4、5 片石、块石、粗料石规格的划分，主要依石料的形状、尺寸和表面粗糙程度而定。所耗加工量依次递增，以同样强度砂浆砌筑的三种石料，其砌体抗压强度也依次递增，砌体表面美观程度也是如此。施工时，对石料规格的选择应按设计规定。设计

允许施工单位选择时，可根据石场情况、工期和美观要求决定。

13.2.1 6 拱圈承受的压力较墩台及基础、挡土墙为大，故设计规范要求拱石材料和砌筑砂浆的最低强度等级较高，因而对拱石的施工要求也相应地高些。无论采用何种规格的石料，其层面应尽量与拱轴线垂直，以免产生切向分力。粗料石拱石要求做成楔形，就是这个原因。

13.2.2 混凝土预制块的规格应与粗料石相同，其强度应符合第 11 章的有关规定，

尺寸应根据砌体形状确定。预制块作拱石时，应比封顶时间提前 2-4 个月预制，以减少混凝土的收缩。

13.2.3 1 砌筑用砂浆一般应采用水泥砂浆，但为就地取材，规定在缺乏水泥地区可采用石灰水泥砂浆。但设计有规定时，应按设计规定的砂浆类别和强度采用。

13.2.3 2 砂浆中砂的最大粒径是按各种砌体设计规定的最大砌缝宽度而定的。片石因形状不规则，未规定砌缝宽度，但一般不大于 40mm，故可用粒径较粗的砂；块石形状需大致方正，砌缝一般不大于 30mm；粗料石砌体的砌缝宽度不大于 20mm；混凝土砌块砌体缝宽不大于 10mm，故只能用较细的砂。

砂浆中砂的含泥量限制较混凝土用砂的规定为松，主要是因为设计规定砌体的极限强度较混凝土的为低。虽然含泥量限制较松，并可使用粘土混合砂浆，但砂浆中含泥量愈多，则其砂浆强度愈低，故条文按砂浆强度分别规定最大含泥量。原规范中砂浆强度按标号计，修订后砂浆强度以 $M \times \times$ 表示，它们之间的换算关系为： $M5.0$ 级=50 号， $M2.5$ 级=25 号等等。

13.2.3 5 砂浆的稠度应根据不同的基材、气候条件、施工方法和砌筑要求确定。

13.2.3 6 水泥砂浆中掺入微沫剂可改善和易性，节约水泥，故参考国标《砖石工程施工及验收规范》(GBJ203-83)等资料将该法列入本条内。

13.2.4 1、2、3 小石子混凝土多用于砌筑片石或块石拱圈，它比同强度等级砂浆砌筑的片石、块石砌体抗压极限强度高 30%~10%，可以节约水泥和砂。条文内规定的各项指标是参考交通部第一公路工程局所拟《小石子混凝土浆砌片石拱圈操作须知》提出的。

13.3 浆砌石块及混凝土预制块墩台、挡土墙

13.3.1 3 砌体分层砌筑可使基底受荷均匀，避免不均匀沉陷。但当砌体较长(如挡土墙)，第一层砌完再回转来砌第二层时，第一层间的砂浆可能已初凝，在其上面铺砌加荷可能使下面砂浆振动开裂，影响其粘结力，故须分段又分层砌筑。分段位置宜设在变形缝(包括沉降缝和伸缩缝)处。规定相邻工作段高差不超过 1.2m，是为了防止在施工过程中产生过大的不均匀沉陷。

13.3.1 4 石砌墩台，为使外表美观，常选择较整齐的石料砌筑外层。里层则可使用一般石料，但应注意里外交错地连接成一体，不可砌成外面一环后，里面杂乱填芯。

位于流冰或有严重漂流物河流中的墩台所受摩擦力和冲击力较大，应如条文规定，表面采用较硬石料或高强度混凝土预制块。

13.3.2 2 片石为形状大小不整齐的石料，为了使结构物便于砌筑成型和美观，应选择形状较方正、尺寸较大的片石，稍经修凿后作为转角和曲线讫点等处的标石。

13.3.2 3 在石块下面如用高于砂浆砌缝的小石片支垫，则石块重力集中在小石片上，易将小石片压碎，使石块倾斜不稳，影响结构的安全稳定，故规定如条文。

13.3.3 1、2 块石一般由成层的岩石开出，再按需要尺寸断开成长条形。此种石料如条文规定采取平砌时，则每层高度可基本一致，这对结构物的稳固和承受竖直荷载均有利。砌筑时按丁顺相间或两顺一丁相间，则结构物内外咬合较紧密。上下层竖缝错开距离较大，荷载自上向下传布时，可分布在较大面积上。否则，易造成自上而下的通缝，构造物基础不能均匀受荷，且可能产生不均匀沉陷。

砂浆强度比石材强度标号低，故平缝和竖缝均不宜过宽，否则将影响砌体总

体强度，而且多耗用水泥。

13.3.4 1 用粗料石和混凝土预制块砌筑的结构物，因强度要求较高并要求外表整齐和美观，砌缝厚度就不能大于 20mm 和 10mm，若想用逐层改变砌缝厚度的方法来调整砌体累计高度是很困难的，故应先计算层数，选好料。此外，还应预先预制一些不同高度的砌块用以调节砌体高度。

13.3.4 2 第 13.3.1 条第 4 款已规定位于流冰或有严重漂流物河流中的墩台选用石料或混凝土砌块时在强度方面的要求，本条则规定了桥墩上游破冰体的形状、砌缝等较详细的要求。破冰体的作用是在流冰顺流冲向桥墩时，能以被动压力将流冰顶破使其向两旁通过桥孔流走，故破冰体砌筑高应为从最低流冰水位到取高流冰水位再分别加上 0.5m 及 1.0m，作为安全储备。流冰水位的确定，一般应由设计规定。

13.4 浆砌石块及混凝土预制块拱圈

13.4.1 1 拱圈放样时的预拱度，可根据跨度大小、拱架类型、拱架刚度、地质情况和恒载大小等因素决定，一般取计算跨度的 $1/400 \sim 1/800$ 。一般拱桥的预拱度在拱顶为总量，拱脚为零，其间按抛物线计算分配于各节。对于跨径小于 20m 的拱桥，亦可简化按直线比例分配。拱顶预拱度总量应按本规范第 9 章有关规定计算。

13.4.1 5 不甚陡的砌缝，砂浆铺垫在拱石表面下不致顺坡滑落，再放另一块拱石可利用其自重压紧，并可保证整个砌缝都充满砂浆。过陡的砌缝，砂浆铺贴在拱石上会立即滑落，故只能预留砌缝，待砌块安妥后再将砂浆分层填塞、捣实。

13.4.2 2 拱圈砌筑程序安排原则，除按条文规定保持对称、均衡外，还应考虑拱圈逐步砌筑时砌块加在拱架上的重力逐步增加而使拱架沉降。满布式拱架和拱式拱架的沉降情况是不同的，前者拱圈跨径间的立柱较多，砌块荷载大部通过其拱架下的立柱传到地基，对四旁拱架沉降影响较少。而后者一般只两墩旁有立柱支撑，跨径间无或很少有立柱支撑，每一砌块的荷载都需经过拱架传到墩旁立柱再传到地基，因此每一砌块的加载都影响全拱架的挠度（有下沉或上凸两种情况），故条文对两种拱架砌筑程序分别作了规定。

13.4.2 3 跨径 13~20m 的拱圈，因跨径较大，拱圈较厚，无论何种拱架，如砌筑程序不当，砌块重力分布不匀，则在砌筑过程中，拱架变形过大，故规定分 6 段砌筑，防止拱架发生较大变形和已砌拱圈开裂。

13.4.2 4 跨径 $\geq 25\text{m}$ 的拱圈，可能设计为变厚度的悬链线拱轴，分段砌筑程序较为复杂，一般设计有规定。如无规定时，应按条文规定的原则进行施工设计。

13.4.2 5 多孔连续拱桥，相邻孔的施工顺序应按设计规定的控制条件确定，尽量平衡邻孔所产生的水平推力，以保证每一施工阶段在施工荷载作用下桥墩及拱圈（拱肋）截面应力和偏心距以及稳定性都能满足设计要求。否则将导致桥墩及拱圈破坏。多孔连续拱桥施工工序也不宜分的过多，否则对施工进度、技术管理都带来一定困难。一般可按拱圈、边墙（或立柱、腹拱）和填腹（桥面系）三个工序安排。

13.4.3 1 分段砌筑或不分段从拱脚直砌至拱顶，都需要在节段间或拱脚处设置空缝。设置空缝是为了当拱架变形时，拱圈各节段有一相对活动的余地，从而避免节段间砌缝砂浆开裂。预留空缝的位置为拱圈易于变形开裂的部位。设置空缝还可以在填塞砂浆捣实时产生挤压力（1.0~1.7MPa），挤紧各砌缝砂浆，并可使

拱圈受挤压升高脱离模板，便于拱架的拆除。

13.4.3 2 拱圈底面和外露侧面的空缝宽度与相应的砌块类别的砌缝相同，一般约为 10~15mm，这样，从外面看各条砌缝宽度相同，较美观；拱圈顶面和内腔的空缝宽度则为 30~40mm，空缝较宽，砂浆容易填塞、充入、捣实，且不易从底面或侧面挤压出来。

拱圈内各砌缝中承受的压力离拱脚越近越大，而且跨径越大压力越大。当跨径 $\geq 16\text{m}$ 时，M2.0 水泥砂浆垫块已不能承受拱脚以上拱圈的压力，故条文要求跨径 $\geq 16\text{m}$ 时要用铸铁垫块隔垫。一般跨径 16~25m 时，由拱脚起的两道空缝，跨径 30~40m 时，由拱脚起的三道空缝宜用 $30\text{mm}\times 30\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的铸铁块隔垫。因填塞空缝的砂浆经捣固后向两侧砌体挤压，空缝变宽，铸铁垫块可抽出以便倒用，故可多用铸铁垫块少用水泥垫块（水泥垫块不抽出）。

填塞空缝捣固砂浆时，对拱圈产生一定的冲击力和挤压力，故应待拱圈砌缝砂浆达到设计强度的 70% 后才能填塞空缝。

13.4.4 1 拱圈封顶合龙一般均在各空缝砂浆填塞完毕并有一定强度后进行。若设计规定封顶时不采取刹尖封顶（用铁楔击入，多用于小跨径拱圈）时，则待空缝砂浆强度达到设计强度等级的 50% 即可进行，否则应待空缝砂浆强度达到设计强度等级的 70% 后方可进行。若采用千斤顶在合龙前对拱顶两侧拱圈预加压力，则应按照设计规定的强度进行。几种封顶方法对强度要求不同，采用刹尖法时会对两侧已砌拱圈产生压力，对空缝砂浆强度要求较高。若用千斤顶预加压力时，则关系到压力大小、施加方法、时间等许多问题，一般应由设计规定。

13.4.4 2 不卸拱架施工拱上构造时，主拱圈和砂浆尚未承受拱上结构的荷载，只是受到拱上构造施工时的振动，主拱圈混凝土和砂浆达到设计强度等级的 30% 时可承受此项振动荷载，故规定达到 30% 即可施工。空腹式的腹拱拱圈，为防止卸架时主拱圈各段沉降不均匀而发生开裂，故拱上构造宜在卸架后砌筑。卸架后砌筑拱上构造时，荷载全部由拱圈承受，故须待砂浆强度达到设计强度等级的 70% 后进行。

13.4.5 1 一般砌筑用小石子混凝土其设计强度等级较水泥砂浆高，砌体极限强度也可较高，因此用小石子混凝土砌筑拱圈时，其砌缝比砂浆的可较宽。但也不宜过宽，以防止小石子混凝土凝结时过多的收缩，产生不利影响。

13.5 桥涵附属工程

13.5.1 铺砌层下面的垫层为排水倒滤层，既要有一定的稳固性又要有透水作用，因此泥砂含量均应有一定的限制。

13.5.2 3 本条是根据《公路路基施工技术规范》（JTJ033-95）及近年施工情况制定的。

13.5.2 4 本条是为防止因台背填土引起桥台位移制定的。台背填土的顺序如果设计有要求，应首先满足；对不同桥台的填土顺序要求，这里用的都是“宜”，这是因为各地施工具体情况不同，设计对台背填土的要求也有区别，在保证不至因台背填土引起桥台位移的情况下允许稍有选择，但条件许可时首先这样做。

13.6 砌体勾缝及养护

13.6.1 砌体表面勾缝主要是为了美观并可将靠近砌体表面砌缝空隙用砂浆填塞，提高砌体强度。

13.7 质量检验及质量标准

13.7.1 小石子混凝土抗压强度的评定可与一般混凝土相同，但因数量一般不大，可采用非统计的方法。

14 冬期施工

14.1.1 期 2 国标（GBJ50204-92）规定用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制的混凝土的抗冻强度为设计强度的 30%，用矿渣水泥配制的混凝土的抗冻强度为设计强度的 40%，考虑公路桥涵冬季施工的气温、湿度等环境条件较差，因此本规范将抗冻强度各提高 10%，分别定为 40%和 50%。

14.2.1 1 在室外环境温度低于-5℃条件下进行钢筋闪光对焊或电弧焊时，除应按照常温焊接的有关规定外，还应调整焊接工艺参数（包括焊接电流、电弧电压、焊接通电时间、调伸长度、闪光留量、引弧提升高度等），使焊缝和热影响区缓慢冷却。风力超过四级时，应采取挡风措施。环境温度低于-20℃时，焊接不能保证质量，故不宜施焊。

14.2.1 2 钢筋冷拉是以超过钢筋屈服点的拉应力拉伸钢筋，使钢筋产生塑性变形，以提高屈服点强度，节约钢材。低温时钢筋的屈服点较常温时略有升高，而拉伸率与常温时差不多，故条文规定低温时冷拉控制应力应酌予提高，否则就达不到冷拉钢筋提高屈服点强度的目的。提高值应经过试验确定，因拉应力过大可能发生冷脆拉断，过小则达不到目的，30MPa 是参考国标（GBJ50204-92）拟定的。

14.2.1 3 预应力钢材不论是钢丝、钢绞线或冷拉钢筋，其屈服强度与抗拉极限强度相差较小，常温下张拉时就应小心，低温下张拉时安全性更差，因此张拉时气温不宜低于-15℃。

14.2.2 1 冬期施工选用混凝土水泥的原则是早期强度较高，能较早地达到耐冻的强度。用矿渣水泥拌制的混凝土用蒸汽养护时，其后期强度不降低，故用蒸汽养护混凝土时宜优先选用矿渣硅酸盐水泥。冬季施工使用高炉矿渣水泥或火山灰水泥等混合料较多的水泥时，因其抗冻性能较差，应同时掺入适量的抗冻剂，以提高混凝土的抗冻性。用高铝水泥拌制的混凝土，在硬化过程中，环境温度如超过 25~30℃，则由于水化将形成水化铝酸三钙，使强度大大降低，故不能用加热法养护用高铝水泥拌制的混凝土。

14.2.2 2 混凝土中掺入引气型减水剂后，在拌和过程中产生大量均匀而封闭的微小气泡，这些气泡可以缓冲由于游离水冻结而产生的膨胀压（一般水分在冻结时，其体积膨胀 9%），避免混凝土破损。氯盐（包括氯化钙、氯化钠等）促进混凝土硬化和早强的机理是它能使水泥在水中充分分散，增加水泥颗粒对水的吸附能力，降低水泥浆的沉降度，使水化和硬化速度加快。而且氯盐加入后，可形成水化氯铝酸钙，发生胶体膨胀，使混凝土孔隙减小，密实性增大，从而可提高混凝土的强度。氯盐的掺量与水泥的品种、混凝土类别、养护条件等有关，应结合工程要求（如强度、凝结时间等指标）和施工条件通过试验选择最优用量。一般对无筋混凝土可为水泥质量的 1%~3%；在钢筋混凝土中可为 0.2%~0.5%。含氯盐的钢筋混凝土如用蒸汽养护，将加速钢筋的锈蚀，故不宜用蒸汽养护。

14.2.2 3 附录 J 是根据国际（GBJ50204-92）附录三拟定的，条文表 14.2.2 中规定了拌和用水的最高温度，表注中又规定了水泥不可与 80℃以上的水直接接触，

这是因为水泥与高于 80℃ 的水接触时，将使水泥发生假凝现象，影响水泥颗粒的分散和与骨料充分包裹，而就将降低混凝土的强度。

14.2.4 2 以蓄热法养护混凝土时，为了使混凝土在人模浇筑成型后其水化热能满足强度增长的需要，应有一定的人模温度。否则强度增长慢，就不能达到混凝土本身抗冻的要求。

14.2.4 3 在已硬化的温度过低的混凝土上续浇混凝土时，续浇的混凝土温度将迅速降至 5℃ 以下，从而使其强度不能增长或增长很慢，有被冻坏的可能，故规定如条文。

冬期施工用蒸汽养护混凝土注意事项，一般与第 11 章有关规定相同，本条只编列冬期施工时的特殊要求，其主要目的是防止混凝土内外温差过大，构件裂缝。

14.2.4 6 混凝土温度与外界气温相差 20℃ 时，应对拆模后的外露面加以覆盖，防止混凝土表面冷却过快，产生收缩裂纹。

14.2.4 7 2) 3) 是根据现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-92) 第 7 章冬期施工，第五节混凝土养护拟定的。

14.3.1 2、3 是根据中国计划出版社 1996 年《基础工程施工手册》第七编第二章冬期施工，第二节砌筑工程冬期施工拟定的。

14.3.2 2 1) 是参照国家标准《砖石工程施工及验收规范》(GBJ203-89) 第六章冬期施工拟定的。

14.3.2 3 表 14.3.2 是在保温暖棚中或露天气温在 5℃ 以上时，砂浆(小石子混凝土)中掺入氯化钙早强剂后早期强度对比，与第 14.3.3 条抗冻砂浆的作用不同。

表 14.3.2 氯化钙掺量和砂浆相对强度

砂浆龄期 (d)	氯化钙与水泥用量比			砂浆龄期 (d)	氯化钙与水泥用量比		
	1%	2%	3%		1%	2%	3%
1	180	210	240	5	130	150	160
2	160	200	230	7	120	130	140
3	140	170	190				

注：以未加早强剂的同龄期砂浆强度为 100。

14.3.3 抗冻砂浆是在砂浆内掺入一定数量的抗冻化学剂(一般为氯盐)，使砂浆在一定负温下不冻结，且强度能够继续缓慢增长；或在砌筑后慢慢受冻，而在冻结前便达到一定强度(一般为 20% 以上)。此种砂浆解冻后其强度与粘结力仍和在常温下一样能继续上升，强度不受损失或损失很小。抗冻砂浆在使用前不得低于 5℃，这样可使砂浆有较好的和易性，并在气温降到砂浆的冻结温度时，强度还可慢慢增长。抗冻砂浆的抗冻剂掺量见表 14.3.3。

表 14.3.3 抗冻砂浆的抗冻剂掺量

抗冻剂类别	砌后预计 7d 内最低气温 (℃)			
	-5	-10	-15	-20
	掺 量 (%)			

单盐氯化钠	6	10	—	—
单盐氯化钙	8	10	—	—
氯化钠+氯化钙	3+3	6+4	8+5	10+5

注：①掺量按拌和水质量的百分数计；

②表中掺量可根据具体情况和强度增长速度要求，参照可靠经验或通过试验增减，不允许严重析盐的砌体，应采用较小掺量。

14.4.1 6 加热养护的混凝土采用不适宜的水泥时，后期强度可能降低，因此条文规定增加与结构同条件加热养护后再标养 28d 的试件，以检验和保证其强度。

15 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥

15.2.1 交通部公路一局现使用的一套模架构造如下：

每套模架由 2 组钢梁组成，承重部分为钢箱梁，由 6 个单元组成，长 61.25m，高 2.25m，宽 1.90m，前后分别有钢桁架导梁，前导梁长 31.25m，后导梁长 21.25m，全长 113.75m。钢梁各单元之间均用高强螺栓连接。前后导梁与承重梁连接处分别有一可水平转动的铰，以适应弯桥需要。自移设备在承重钢箱梁的箱内，通过液压夹头夹紧钢索后，用长杆千斤顶驱动。钢梁下弦底部装有不锈钢带，以便在托架的四氟滑板上滑行。前导梁上各有一组 150kN 液压式卷扬机，用以提升托架等部件。每套钢箱梁质量约 497t。

外侧模每节长 1.25m，通过可调节高度和水平位置的螺杆支座固定在钢梁上，预拱度即用此螺杆来调整。内模为每节长 5m 的钢支架结构，伸缩采用液压装置，装拆方便，其竖杆下端支承于钢轨上，钢轨下垫有与箱梁同强度等级的混凝土预制块。在前方有一工作平台固定在前导梁上，平台上设牵引绞车，可将内模逐节牵引就位。底模每节长 1.25m，与侧模配套使用，在与侧模架联接处用钢销销紧。底模的装拆可采取吊车及卷扬机等配合使用，拆下的底模放在车一亡或船上，运至下一孔位置安装。墩身内外侧均设有托架，每个托架上有 4 台大千斤顶，用以顶升钢梁，托架下有钢立柱支承于下部承台顶面。

浇筑箱梁时，钢梁前支点通过前横梁上的长杆千斤顶支承在墩顶，中间支点直接搁置在托架上，后支点则是通过横梁上的 4 根吊杆将钢梁悬挂在已完成箱梁悬臂端上，悬挂点在距支座中心线 6.25m 处。参见文献《厦门高集海峡大桥主桥上部箱梁采用移动式模架逐孔施工》。

15.2.1 1 每一跨施工阶段采用可移动的支架，支架总长一般为桥跨的 2.5 倍。参见文献肖恩源《预应力混凝土连续梁桥逐跨施工的设计》。

15.2.1 3 第一次浇筑到第二孔的第一个反弯点处，此处的位置一般为 0.2 工附近，以后每次都把工作缝设在此处。

15.2.2 参照文献《刚构—连续组合梁》，王文涛主编，人民交通出版社出版；汤俊生《桥梁建设》1993 年第二期。

支架不均匀下沉，会造成混凝土产生裂缝。应特别注意，支撑在承台上与土基上的支架很难做到均匀下沉，因此施工时此部分最好设施工缝分开浇筑。

15.2.2 2 支架上浇筑混凝土可采取支架预压、设置预拱度、合理的浇筑顺序和分段浇筑、使用缓凝剂等措施，防止因支架变形引起混凝土开裂和梁体线形不顺适。

15.3.1 1 参照文献《预应力混凝土梁悬臂施工及发展》及《刚构—连续组合梁》。

15.3.2 4 对称、平衡浇筑是为了不产生或产生不大的扭矩、力矩。施工时不可

能做到绝对平衡，偏差应不超过设计规定。

15.3.2 5 连续箱梁悬浇施工时的预拱度，应根据梁本身可能产生的挠度进行设计和预留。可能产生的挠度一般应包括：各墩上分段悬浇时形成的“T 构”静定体系的挠度，各墩上悬臂梁跨进行浇筑直至形成连续梁体系的挠度和全联连续体系形成后由于静荷载、活荷载和后期混凝土收缩、徐变引起的挠度。对挂篮受重后的下垂变形，应分次及时调整。

15.3.3 2 1) 对称张拉为避免偏心力矩。

15.3.3 2 3) 参照文献《刚构—连续组合梁》。

15.3.4 3 悬浇连续梁合龙前，合龙梁段两端悬臂受温度变化的影响可能产生纵向伸缩使合龙口间距变化，从而导致合龙梁段混凝土凝固过程中受到张拉或压缩的超应力的影响而产生裂缝。需将合龙跨一侧墩的临时锚固改换成活动支座，以减少影响。同时，在浇筑合龙段混凝土前应将两端悬臂临时联结，临时形成刚性连接，保护合龙段混凝土完整，一直到合龙段混凝土养护到一定强度并施加预应力与悬臂形成整体。联结方法是在合龙口设置支撑型钢或钢管(可兼作制孔管用)并张拉一部分预应力钢材。

临时联结力应大于支座摩阻力，以使联结构造与悬臂共同变形。

15.3.4 4 预应力连续梁在悬臂浇筑施工时，是悬臂静定结构体系，梁与墩是临时固结；浇筑混凝土合龙并张拉预应力钢材后，转换为连续梁超静定结构体系。在转换体系时，应将临时固结解除，将梁落于正式支座上，并按标高调整支座高度和反力。

15.3.6 2 参照文献帅长斌等“樟树大桥施工简介”，《公路》(1996.11)。

15.4.2 1 2) 预应力连续梁桥、悬臂梁桥主梁与桥墩间设有支座(不是与墩连成整体)的结构，不能承受不平衡力矩，需要采取如条文所述的临时措施，以承受墩两侧悬臂可能产生的不平衡力矩。硫磺水泥砂浆块作为临时支承较纯水泥块好，前者拆除时只需用加热即可逐步熔化，使梁下落到正式支座上，为避免烧热熔化硫磺水泥砂浆块而将正式支座中的四氟板和橡胶板烧坏，应在硫磺水泥砂浆块与正式支座间设置石棉垫等隔热层。梁通过硫磺水泥砂浆块与桥墩是否需设置锚固筋应按照设计规定办理。

15.4.2 1 3) (1) 吊装设备在吊装前按设计荷载分 3 级加载分别进行荷载试验，可在正式吊装构件前发现问题，能提前予以调整、解决，避免正式起吊时发生事故。

15.4.2 1 3) (5) 悬臂拼装时，随着块件一对对的安装，悬臂端块件和已安装的中间块件的挠度经常在变化，事先绘制主梁各块件安装时的挠度变化曲线，以控制块件安装高程是非常必要的。此曲线由设计提供，当设计未提供时，施工单位应会同设计单位绘制。

15.4.2 2 2) (4)、(5) 参照文献兰远钧等“在桥墩上修建 V 形支撑的施工方法”《桥梁建设》(1996.2)。

15.4.3 1 1) 采用环氧树脂胶接缝时，涂胶并将块件靠拢调正后，即可开始张拉，对块件进行挤压。因为一般粘胶剂涂抹在被粘胶物体上，都须进行挤压，才能粘结良好。挤压力大小与粘胶剂种类有关。

15.4.3 1 3) 同一截面中的预应力筋根数较多，位置各异，不能也不宜将所有预应力筋同时张拉，必须分批张拉。每批张拉先后次序和每批张拉根数均应按照设计规定办理。

15.4.3 1 4) 气温在 0℃以下张拉预应力筋易脆断。拼装块件是高空作业，在

五级以上大风中进行是危险的，故规定如条文。

15.4.3 2 每块块件在拼装过程中，起重吊钩要始终悬挂着块件。当块件预应力钢材按设计要求被张拉后，能保证稳固时才允许放松吊钩，以免发生块件掉落事故。需要张拉多少根预应力钢材才允许放松吊钩，应通过计算确定。

15.4.3 3 明槽中的预应力筋是暴露在大气中且不与明槽的混凝土粘结的，为了避免预应力筋长期暴露在大气中发生锈蚀及产生意外，故规定明槽混凝土在设计许可下应尽快浇筑。混凝土浇筑一开始悬臂的挠度即可完成大部分，向根部靠近后，其增加的挠度逐渐减小，原已浇较久的混凝土不致因挠度变化过大而开裂。

15.4.3 4 预应力连续桥梁在用悬臂拼装时，梁顶部是承受负弯矩，即预应力筋都布置在梁截面上部，两个悬臂在跨中合龙以后，跨中附近变为正弯矩，即该部位梁截面下部成为受拉状态，梁上部变换成受压状态，若在合龙前不采取措施，则原在梁截面上部张拉的预应力筋拉应力松弛，如预应力筋置于明槽内侧可能向上漂浮，如梁下部未曾张拉预应力筋时，则拼装的块件就会折断坠落。

15.5.1 1 1) 条文所述桥轴线包括纵坡和平曲线的轴线，因顶推法在纵坡上和平曲线上均适用。为了确保顶推的导梁端部通过第一跨时的稳定性，预制场地应适当往后布置。

15.5.1 1 2) 预制场长度一般可按 2 倍预制梁段长加 2m 决定，宽度可按桥梁宽度加 $2 \times 2.5\text{m}$ 为准。

15.5.1 1 4) 预制台座地基或引桥的强度、刚度和稳定性很重要，如地基有沉陷，或引桥挠度过大，将使预制的梁段底面不平整，并增大了梁底板厚度，导致顶推摩阻力增加和梁重力增加，造成顶推作业困难。设在路基上的预制台座顶面应比路基设计标高低一个梁高，故宜选在填方路基上，避免设在挖方地段。预制台座应尽可能利用引桥，可减少临时支墩和地基处理工作量以及防水、排水设施等费用。

15.5.3 1 顶推安装的预应力连续梁，由于在顶推过程中，各截面要多次承受交替变化的正负弯矩，因此梁段中的预应力索有些是从顶推开始到连续梁就位都必须具有的永久索；有些是在顶推过程中所必需的，但到连续梁顶推就位后须拆除的临时索；还有一些是为了减小在顶推过程中产生过大的反向弯矩，适当地减少张拉索数，待全梁顶推就位后再按需要添加的补充索。以上 3 种预应力索均应严格按照设计规定进行穿束张拉或拆除，不得随意增减或漏拆。

15.5.3 2 需拆除的临时索，如灌浆就不能拆除了，故规定如条文。其锚具外露多余的预应力索，不宜立即切除，可在预应力索上画线注明锚具的位置，以便在顶推时检查锚具是否松动。

15.5.3 3 对较长的永久索，因孔道上下弯曲，不可能用一根索从孔道头穿到尾，这样的索也不便于张拉，故采取分段穿索用连接器连接是必要的。

15.5.4 1、2 导梁以采用刚度大、变形小的钢板梁为好。限于条件，国内目前多采用万能杆件或贝雷杆件或贝雷拼装的钢桁梁。有的桥梁曾因对导梁的安装和导梁与梁体的连接注意不够，造成导梁个别杆件局部变形，使连接处梁体混凝土开裂，影响了顶推工作的正常进行，为此，条文对导梁的施工作了有关规定。

15.5.4 3 临时墩可以减小主梁的顶推跨径，从而减小顶推时最大正负弯矩和它所产生的主梁截面应力。临时墩应能承受顶推时的最大荷载，不致产生不能容许的沉陷；承受顶推时的最大水平摩阻力，不致发生不能容许的水平位移。在通航或流冰河流中设立临时墩，还要能防范船只和流冰的冲撞。某桥曾发生过因流冰冲毁一个临时墩的事故，不得不重建 2 个临时墩（原墩位不能利用）补救。拆除

临时墩的方法，应在建墩时即布置。拆墩时，墩顶应与主梁底面脱开。

15.5.5 1 各种顶推方式均有其优缺点，集中顶推方式的动力设备数量少，易于集中控制和同步，但要求动力设备的功率大，传递给墩台的水平力较大；分散顶推方式的动力设备数量多，功率小，不易集中控制和同步，但传递给墩台的水平力较小；水平一竖向千斤顶顶推方式，全部操作可在墩台顶上进行，传力直接，但在顶推循环过程中，每次循环均需竖向顶梁，对梁体受力不利；拉杆顶推方式不需顶起梁，对梁体受力易于掌握，不易产生意外，但顶推力通过拉杆传递给梁，梁体内需预埋连接零件，而且每次顶推循环后拆移拉杆时，有时会出现高空作业。施工时可根据施工条件选择适当的顶推方式。

15.5.5 3 1) 计算顶推力是按多种因素如滑动装置的摩擦系数和滑动装置使用中变形情况以及梁段底板的平整度、预制梁段各部尺寸、千斤顶的工作效率等都较为理想的情况下考虑的，为了防止因发生意外而使水平顶力过小而影响顶推工作的顺利进行。

15.5.5 3 4) 左右两条顶推线如横向不同步运行，就可能使被顶推的梁体发生偏离。这里的“同步”包括同时顶推，而且左右的顶推力大小相等。多点顶推时，纵向各墩的水平千斤顶如不同步运行，则加重了早启动千斤顶的负担，甚至超过其顶推能力，而使顶推工作不能顺利进行。

15.5.5 3 5) 在顶推过程中，往往由于左右两条顶推线未能完全同步，各墩顶的滑动装置的摩阻力也不尽一致，使梁的走向偏离中轴线是经常发生的，故需采用导向装置纠偏。

15.5.5 3 6) 用竖向千斤顶将梁顶高的最大升高必须有所限制，否则梁被顶高时将产生临时局部弯矩，此值如过大就可能使箱梁顶板和底板的上缘发生裂纹。各支承点最大相对的顶高差值要控制在主梁能容许的竖向变位范围内，其值与墩距（含临时墩）、梁高、梁顶板和底板厚等有关，最好由设计方面通过计算决定。为了便于拉回滑块，梁底一次顶高一般不宜小于 5mm。设计无规定时，最大一次顶高不超过 5~10mm。顶推跨径较大时可采用上限。

15.5.5 3 7) 顶推装置的墩、台水平顶推力如小于梁段（包括导梁）压在其他墩；台上的摩阻力，则梁不会前进，而在滑块与梁底间做相对滑移运动（即打滑）。

15.5.5 4 拉杆式的水平千斤顶一般采用穿心式的，使拉杆一端能穿过千斤顶锚固在千斤顶活塞顶端，另一端穿过拉锚器用尾套锚固。为了减少拉杆的根数，增强拉锚器和千斤顶的锚固力，可使用高强度螺纹钢钢筋做拉杆。拉锚器常通过箱梁外侧的预埋钢板固定在箱梁上，但为了拆装方便，减轻高空作业的劳动强度，拉锚座常制成插销式活动装置，见文献《包头黄河大桥施工技术总结》。

15.5.5 5 1)、2)、3) 顶推过程中，应对条文所述各注意事项加强检查，这些部分如出了问题，后果是严重的。顶推的速度虽重要，但更重要的是顶推过程中的质量与安全。

15.5.5 5 4) 顶推过程中最常见的故障是滑板被卡住，梁体不能前进，常用千斤顶将梁顶起取出滑板或调整滑板。条文对起顶反力值和起顶高度值的限制，主要为了控制主梁竖向位移所产生的附加应力，防止梁体开裂。

15.5.6 1 1) 水平一竖向千斤顶顶推滑动装置的摩擦垫、滑板、滑块等部件的尺寸大小，均应按其使用材料的容许承载力计算决定。否则，在顶推过程中被压破，更换处理费时误事。

四氟板的容许应力分无侧限和有侧限两种，且与工作时的温度高低有关，温度低时其屈服点强度高。四氟板与金属板摩擦时，产生的热量多由金属板排走，

如果两块四氟板互相摩擦移动,则产生的热量很多,温度很高,易使四氟板被烧坏,故滑动装置不采用上下两层四氟板互相滑动。四氟板的容许应力是参考文献《公路施工手册·桥涵》拟定的。对滑道的基本要求是表面光滑、摩擦系数小、不锈蚀。用不锈钢或镀铬带制作可符合要求。滑道长度和宽度的规定,是考虑在滑动过程中,滑道容纳滑板数应不少于3块和防止滑板偏离滑道。滑道顶面高差的规定是防止滑板局部受力而被压坏。

15.5.6 1 3) 滑动装置的摩擦系数,主要取决于四氟滑板与滑道面的摩擦系数,研究试验结果表明,启动摩擦系数为动摩擦系数的1.1~1.5倍;摩擦系数与滑道所用材料无关,而与滑道表面的光洁度关系大;滑道磨损变形或折皱,摩擦系数会增大;摩擦系数随单位压力增加而减小;随温度降低而增加;摩擦系数随荷载压在四氟板上滞留时间延长而增加。故顶推工作一经开始,最好一气完成该节梁段。在四氟板与滑道之间涂以矿物油脂如轻机油或钾肥皂,可使摩擦系数降低。条文所列启动摩擦系数与动摩擦系数的推荐值是根据一般试验结果拟定的。

15.5.6 3 多联顶推目前常用的伸缩缝临时连接方案有两种:一是在各联相邻间伸缩缝中灌注硫磺砂浆,冷凝后张拉临时预应力索,然后照正常程序进行顶推施工,待全桥顶推完毕,即可拆除临时预应力索,并把缝中硫磺砂浆加热融化掉,落梁后进行伸缩缝的施工;另一方案是在两梁段之间以塑料布隔开,张拉临时预应力索,然后按正常程序施工,待后一梁段达到设计位置,拆除临时预应力索,再将前面一联的连续梁向前顶推到伸缩缝所需距离,达到设计位置时,再落梁进行伸缩缝施工。单点顶推时只能采用第一方案,多点顶推则两方案均可适用。

15.5.7 1 平曲线桥的曲率如变化太大,则其预制台座和预制的梁段均需随曲率变化而变动。顶推过程中的方向也需经常调整改变,这些都很困难,故条文规定顶推安装的平曲线桥只适用同半径的圆曲线桥。与桥头引道衔接的桥梁两端为变曲率缓和曲线时,可采取特殊措施,见《公路施工手册·桥涵》。

顶推法安装的平曲线桥的另一主要限制条件,是其平曲线半径不能太小。如果每孔曲线桥的平面重心落在相邻两座桥墩上箱梁底板的弦连接线以外,箱梁就会倾覆,当然谈不上顶推了。满足条文所述条件,不仅与曲线桥的半径大小有关,而且与箱梁底板的宽度有关。设曲线梁的弦中距 M 值小于 $1/2$ 箱梁底板宽度,则一定可满足上述条件。

当梁的重心在底板范围以内时,还要验算桥墩所受的偏心荷载反力所产生的应力及梁本身产生的扭转挠曲应力,见《公路施工手册·桥涵》。

15.5.7 2 与上条所述理由相同,用顶推法安装的竖曲线桥只适用于同曲率的竖曲线桥。自一端顶推全桥时,开始一段是向上坡顶推,水平顶推力应按顶推平坡时的摩阻力加上坡阻力考虑,顶过坡顶以后,水平顶推力应按顶推平坡时的摩阻力减去下坡阻力考虑。若纵坡太大,顶推下坡时,虽不施加顶推力,全梁也自动往下滑时,则下坡时不宜采取顶推施工。

15.5.8 落梁工作包括:全桥顶推就位后,按营运阶段内力,将补充预应力筋进行穿束、张拉、锚固、压浆;再将临时预应力筋按设计规定顺序拆除,安装正式支座,将梁顶起,取出滑动装置,然后将全梁落于正式支座上。为了消除由于预制产生的箱梁底部高程误差,支座安设中的高程误差和预加应力所引起的二次力矩,使梁体受力状态符合于其自重力引起的弯矩和反力,落梁时千斤顶顶力应以支座反力调整控制为主,同时适当考虑梁底高程。

15.6.1 2 构件移运、堆放或吊装时,混凝土只承受构件本身自重产生的弯曲应力或轴心压应力(按规定另考虑动力系数),比受荷后的应力要小得多,故条文

规定构件混凝土强度达到设计强度的 75% 时进行构件脱底模、移运、堆放、吊装等工作，应当是安全的。

15.6.1 3 条文中支承结构（墩、台、盖梁、拱座等）应符合所要求的强度，系指安装上面的构件时所要求的强度，一般也不应小于混凝土设计强度的 75%。

15.6.1 8 混凝土预制构件或砌块与新浇混凝土砌筑砂浆的粘着强度，与接触面的粗糙度关系甚大，据《铁路桥涵施工规范》试验资料介绍，同样配合比的砂浆，凿毛的比未凿毛的表面其粘着强度高出一倍以上，故规定须按施工缝处理。

15.6.2 1 3) 预制混凝土梁、板构件时，应考虑梁体拱度对桥面铺装的影响，如预计的上拱度偏大，宜在预制台座上设置反拱。

15.6.2 2 2) T 形梁腹板底面的扩大断面（马蹄形断面）从腹板上部往下浇筑混凝土时，由于扩大断面内的空气不易排出，最易造成空洞，一般可在扩大断面顶板处开临时浇筑窗，从窗口向下灌入混凝土，待充满并捣实后再关闭窗口。

15.6.2 2 3) 浇筑 U 形梁时，宜将底板上面的模板暂不安装，待底板混凝土浇筑完并振捣后再安装底板上面的模板，继续从腹板顶部往下灌筑。

15.6.3 1 2) 直杆一点吊时，常以一端搁地另一端先吊起，此时杆件离着地端某处发生最大正弯矩，吊点处发生最大负弯矩，当这两项弯矩值相等时，杆件内发生的弯矩值在起吊时最为有利。经计算，等截面直杆吊点位置设在距一端 $0.29L$ 处时，符合上述要求。同理，两点吊吊点设在距两端 $0.21L$ 处，杆件内发生的弯矩值亦最为有利。

15.6.3 1 4) 板式构件上、下布筋不同，如上、下面吊错必然断折。有些预制板埋有吊钩，不易弄错，有些预制板只有吊孔，有些甚至无吊孔，靠用绳索捆绑起吊，最易弄错上下方向，应特别注意，需在预制完毕时用油漆在每块板的同一位置处注明上下方向。

15.6.3 2 4) 水平多层堆放板式构件时，层与层之间以垫木隔开极为重要，因它可以明确板的支搁位置在设计支点附近，否则由于板的上下面不平整，凸出处成为支点，使板产生负弯矩，造成顶面开裂或折断等事故。支垫位置应靠近设计点（即吊点），上下各层垫木必须在同一条竖直线上，也是为了防止板的开裂或折断。

15.6.5 2 2) 斜桥、弯桥安装时的特殊要求，主要是斜交方向、斜交角度较大时的支座型式及其安装问题，弯桥的超高与支座安装以及桥梁内侧与外侧长度不同等问题，这些都应按照设计规定办理。

15.7.5 是根据广东佛开高速公路《九江大桥施工》（1996 年 11 月）第五章 5.4.1 拟定的。

16 拱 桥

16.1 一般规定

16.1.1 拱桥按构造可分为板拱、肋拱、箱形拱、箱肋组合拱、桁架拱、刚构拱、系杆拱、提篮拱等；按拱轴线形可分为圆弧拱、悬链线拱和抛物线拱；按静力体系可分为三铰拱、两铰拱和无铰拱；按行车道位置可分为上承式拱桥、中承式拱桥和下承式拱桥；按建筑材料可分为圬工拱桥、混凝土拱桥、钢筋混凝土拱桥、预应力混凝土拱桥、钢管混凝土拱桥、劲性骨架拱桥、钢拱桥等。双曲拱桥工序复杂、跨度小，是我国 70 年代的产物，目前已被箱形拱桥所取代，故本规范不包含双曲拱的条文规定。

16.1.2 施工技术人员必须掌握施工过程中的结构强度和稳定性验算，对各个施工

状态下的结构安全系数心中有数。施工组织设计中应包含施工安全措施,大跨度拱桥应组织专门人员对施工全过程进行监测和控制,确保施工安全。

16.1.5 施工过程中大跨度拱桥承受施工荷载,其安全系数比成桥后承受恒载时小得多,在施工过程因对灾害性天气估计不足造成损毁的事故已有先例,故条文规定要求掌握气象资料,尽量避开可能突发的灾害性天气,并提前采取适当措施防患于未然。

16.2 就地浇筑混凝土拱圈

16.2.1 1 跨径小于 16m 的拱圈或拱肋,其全孔的混凝土数量较少,连续浇筑需要的时间较短,有可能在全拱浇筑完毕时最先浇筑的混凝土仍具有可塑性,不致因拱架下沉而使拱圈或拱肋开裂。如果拱圈或拱肋混凝土连续浇筑不能在最先浇筑的混凝土初凝前完成,则应在拱脚处留一隔缝,以防拱脚处最先浇筑的混凝土开裂。

16.2.1 2 跨径大于或等于 16m 的拱圈或拱肋,为避免先浇筑混凝土因拱架下沉而开裂,应沿拱跨方向分段浇筑,各段之间留间隔槽。当拱架沉陷时,拱圈(肋)各节段有相对活动的余地,从而避免拱圈开裂。预留间隔槽的位置为拱圈易于产生裂缝的部位,如条文规定的各处。分段浇筑还可避免混凝土连续浇筑的收缩应力,并使拱架易于拆除。连续浇筑完成时,拱圈因收缩影响,拱轴缩短,使压在拱架上的荷载增加,拆除拱架困难,分段浇筑时此影响很小,较大跨径拱圈还可在间隔槽内用千斤顶施加压力调整应力,使拱架更易于拆除。间隔槽如过小,对拱段两侧接合面按施工缝处理和端面模板的安装均不方便;如过大则本身有较大的收缩量,不利于拱与拱段接合。条文规定为 0.5~1.0m,可按拱圈断面大小选择。

16.2.1 3 分段的长度和数量,应根据拱架形式、拱架和拱圈的受力情况以及浇筑混凝土的方法等方面确定,一般分段长度为 6~15m,应做出设计和进行必要的计算。分段浇筑程序应先下后上,左右对称均衡进行,使拱架变形均匀和尽可能小,以保证浇筑过程中拱圈变形均匀,不发生开裂。拱圈是以轴向受压为主的结构,因此施工缝应处理成垂直于拱轴线的平面或台阶式接合面。

16.2.1 4 等待拱圈分段混凝土浇筑完成,且强度达到 75% 设计强度后再浇筑间隔槽混凝土,其间隔时间较长,可使拱圈各段混凝土在合龙前完成一部分收缩,以减少合龙后拱圈内产生的收缩应力,从而减少收缩裂缝。

间隔槽合龙时温度应符合设计要求或接近当地年平均温度,如白天气温较高可在夜间合龙,如夜间气温仍嫌高,可在拱圈上浇水,降低温度防止以后气温过低时发生收缩裂缝。

16.2.1 5 大跨径钢筋混凝土拱肋浇筑时,如纵向钢筋为整根钢筋,将随气温变化和拱架的沉陷而产生附加应力或隆起变形。为避免产生这种现象,条文规定不得采用整根钢筋,以便在拱架沉陷时在接头处调节钢筋的长度,使钢筋保持正确的位置和受力情况。

有钢筋接头间隔槽的数目,一般选择 2 个对称的即可,数目过多会增加钢筋接头焊接或绑扎的麻烦。

16.2.1 6 分环分段浇筑拱圈并分环合龙的施工方法可使已合龙的环层产生拱架作用,在浇筑后一环层混凝土时,可减轻拱架的负担,使拱架结构及安装简单。但各环层受力复杂和施工周期较长,故适用于大跨径拱圈混凝土浇筑。

先后环层混凝土浇筑时间不同,各环间所受荷载、混凝土收缩徐变影响以及温差影响均不同,因此分环分段方法、浇筑次序、养护时间、各环间的结合等必

须按照计算控制施工质量。浇筑上环时，下环混凝土强度应达到设计规定要求。

16.2.1 7 这是一种预制和现浇结合以现浇为主的施工方法。在拱架上组装时，先将腹板、横隔板的接头钢筋焊接固定，待全部组装完成后，才能浇筑接头和底板混凝土。由于安装腹板及横隔板对拱架起了预压作用，且各板间通过钢筋连接，垫块可以传力，起到部分拱的作用。此时拱架已完成了部分变形，变形已基本稳定，因此，浇筑底板的分段及间隔缝可减少。当底板浇筑完成且达到一定强度后，已形成开口槽形箱，能承担一定荷载，如有必要并经过验算，在施工顶板前可以拆除拱架。

16.2.2 1 条文所列三种方法，分别成功地应于用重庆万县长江大桥、四川宜宾金沙江南门大桥和广西邕宁邕江大桥的主拱施工中。劲性骨架混凝土拱圈或拱肋，施工阶段多，施工周期长，主拱截面逐步形成，内力不断变化，应特别注意在钢骨架安装、拱圈或拱肋混凝土浇筑及桥面系安装阶段结构的变形、强度和稳定性，事先做出加载程序设计和详细的结构分析计算，并在施工过程中进行监测和控制。

16.2.2 2 分环多工作面浇筑劲性骨架混凝土拱圈（拱肋）的关键是分次多点均衡加载，使劲性骨架变形均匀，并有效地控制结构内力和稳定性。例如万县长江大桥，其主拱圈三室箱形截面分 8 次浇筑完成，每次纵向浇筑混凝土采用“六工作面”法，即将拱圈沿纵轴线等分为 6 个工作面，每工作面底板混凝土又分为 13 个工作段，顶板混凝土分 12 个工作段，腹板混凝土分 6 个工作段。各工作面要求对称、均衡浇筑，最多允许有一个工作段的进度差。

16.2.2 3 水箱压载法，即在拱圈（或拱肋）顶部布置水箱，随着混凝土浇筑面从拱脚向拱顶的推进，根据拱圈（或拱肋）变形和应力的观测值，通过对水箱注水加载和放水卸载来实现对拱轴线竖向变形的控制。

水箱加载的一般规律是，当混凝土浇筑至 $L/4$ 区域时，拱 $L/4$ 截面高程下降，拱顶上升，两者达到最大值，同时水箱加载也达到最大值。这是整个拱圈（拱肋）施工的关键阶段，要及时控制好竖向、横向变位，防止钢骨架弦杆应力超限而导致失稳。

16.2.2 4 斜拉扣挂法就是在拱圈（拱肋）适当位置选取扣点，用钢绞线作为扣索（斜拉索），两岸设置临时塔架，在混凝土浇筑过程中，根据各断面的应力情况进行张拉或放松，实现从拱脚到拱顶连续浇筑混凝土。

扣点作为施加在拱肋上拉力的作用点，其位置很重要，可根据受力要求并考虑钢骨架吊装大段的接头位置合理选择。

扣索的索力可采用指定应力法来确定。即指定拱肋断面的应力在某一范围内，在浇筑某一环混凝土时，如应力在此范围内，可不张拉扣索，如超出指定范围，则用扣索来调整应力。扣索的张拉与放松过程，一般是从拱脚往上浇筑混凝土时，拱脚附近的截面上缘受拉，这时就需要靠张拉扣索来调整应力，浇至一定长度后，拱脚转而受压，趋于全拱均匀受荷，就要逐渐放松扣索。混凝土浇完扣索已松完，转变为纯拱受荷体系。

16.2.2 5 条文所规定的相对高差和横向位移值，是根据宜宾金沙江南门大桥、广西邕宁邕江大桥和重庆万县长江大桥三座桥的实践得出的。对应截面的高差如超过 30mm，高程低的一岸就停止浇筑，另一岸加快进度，待两边高程大致对称时，再同时并进。在浇筑混凝土过程中，拱肋发生横向变形时，利用八字缆风进行调整，把横向变形控制在规定值内。

16.3 装配式混凝土、钢筋混凝土拱圈

16.3.1 1 箱肋组合拱是指将预制 T、U 或门形（单拱肋吊装合龙后再横向组成的多肋箱形拱或开口箱形拱，即通常所称的箱形拱。刚架拱与桁架拱大致相同，但刚架拱的节点都是刚性连结，节间数目较少，杆件较长，其安装方法与桁架拱基本相同。

少支架是对应满堂支架而言，仅在拱肋或拱片接头处设立单排或双排支架以支搁接头，便于接头连接施工，称为少支架安装施工。

16.3.1 2 装配式拱桥的各个施工阶段的强度和稳定安全度，常小于拱桥建成后的安全度，因此，对拱圈、拱肋必须在条文所述各个阶段进行强度和稳定性的施工验算，以保证安全和质量。对吊运、安装过程中的验算尚应考虑 1.2~1.5 的冲击安全系数，验算方法和验算公式可参考有关文献。

16.3.1 3 拱桥合龙时在上缘开口，可在口中嵌塞不同厚度的铁片以调整拱轴线；如果下缘开口，则铁片从下插入困难，而且易掉落，故规定如条文。

16.3.2 1 只要河床地形允许，无洪水威胁，应采用少支架施工，因它比无支架施工方便和安全。

16.3.2 3 拱肋接头的连接型式和方法，一般与无支架施工拱肋的接头连接相似，可采用对接、搭接或现浇型式及焊接、栓接或胶接等方法。

16.3.3 3 2) 扣索位置如果偏移拱肋的竖直面，就会使所扣挂的拱肋偏移设计平面位置，造成拱肋横向失稳，故规定如条文。

16.3.3 3 3) 扣架上索鞍顶面的高程如果低于拱肋扣环高程，则扣索不产生向上的分力，就无法使拱肋扣环端升高，拱肋轴线就无法调整，故规定如条文。

16.3.3 4 风缆是加强拱肋横向稳定和调整拱肋中线的重要措施。为了保证拱肋吊装时的横向稳定，分 3 段或 5 段吊装的拱肋至少应有 2 根基肋在接头附近设置稳定的风缆，如规范图 16.3.3 所示。

16.3.3 6、7、8 拱肋高度影响纵向稳定系数，拱肋底面宽度影响横向稳定系数。横向稳定系数 $K=N_L/N$ 中， N 为拱肋自重的平均轴向力， N_L 为临界轴向力，其计算方法可参考文献《公路施工手册》。条文中各项指标的规定，是根据文献《公路双曲拱桥设计施工技术规范》拟定的。拱肋高度和宽度一般已在设计时考虑，吊装施工时只验算横向稳定系数，如达不到要求，应采取措施提高横向稳定。

16.3.3 11 5 段以上拱肋吊装，对风缆系统应进行专门设计。是将风缆作为结构的一部分，在最不利横向荷载时，计入风缆的弹性变形和非线性影响，进行拱肋稳定计算。横向稳定系数不小于 4。

16.3.3 12 拱肋吊装合龙、松索过程中，各项工作应紧密配合。各阶段松索工序相当于有拱架施工时拆卸拱架工序，稍有疏忽，容易造成拱肋开裂、失稳事故。

大跨径拱桥分 3 段或 5 段吊装合龙成拱后，保留起重索和扣索部分受力，称为“留索”（一般起重索拉力保留 5%~10%，扣索基本放松），可增加拱肋接头的连接工序的安全度。

16.3.3 13 拱肋接头部件一经焊接，则拱轴线和中线均已固定，不能再调整，故条文规定应在轴线、中线调整之后进行焊接，焊接之后再全部松索成拱。

16.4 转体施工

16.4.1 桥梁转体施工是 50 年代以后发展起来的新工艺，具有机具设备简单、材料节省、施工期间不受洪水威胁又不影响通航等优点。自 1977 年四川首创 70m

箱形拱转体施工以来，目前国内转体施工桥梁已有 50 余座，数量居世界第一，其中拱桥最多。

转体施工发展较快，平转法由平衡重到无平衡重转体，无平衡重转体由单边转体到双边转体或不对称转体；由平转到竖转、或平移竖转、或先竖转后平转。本节主要规定不平衡重平转施工、无平衡重平转施工和竖转施工的技术要求和注意事项，其他组合转体方法可参照执行。

平转施工适用于刚构梁式桥、斜拉桥和各式混凝土拱桥。其基本原理是，将桥体（主要上部构造）整跨或从跨中分成两个半跨，利用两岸地形搭架或设胎预制，在桥梁墩（台）处设置转盘，将待转桥体的部分或全部置于其上预制，通过张拉锚扣体系实现脱架和对于转轴的重力平衡，再以适当动力（卷扬机、千斤顶等）牵引转盘，将桥体平转至合龙位置，浇筑合龙段接头混凝土，封固转盘，完成平转施工。

竖转施工适用于转体重量不大的各式混凝土拱桥或某些桥梁预制部件（塔、斜腿、劲性骨架）。其基本原理是，将桥体从跨中分成两个半跨，在桥轴方向上的河床设架预制，待转桥体的岸端设铰，桥台或台后设临时塔架支承提升系统，通过卷扬机回收提升牵引绳，将桥体竖转至合龙位置，浇筑合龙段接头混凝土，封固转铰，完成竖转施工。

16.4.2 1) 转体施工：拱桥的桥体、转盘体系必须精心施工，各部分的几何尺寸如发生较大的偏差，易产生转体不平衡等恶果，故对预制场地的选择、桥体结构尺寸和旋转环道精度规定如条文。

16.4.3 1 外锚扣体系是用外加扣索或拉杆扣住桥跨中点附近的扣点后，进行张拉、锚扣；内锚扣体系是利用结构本身作拉杆，如桁架拱或刚架拱的上弦。

16.4.3 3 1) 当转体重量较小时，也可采用钢丝绳作扣索，采用卷扬机牵引，但不便于索力检测和调整。

16.4.3 3 2) 外锚扣体系的扣点宜采用一个，如采用两个以上的扣点时，扣索内力计算较麻烦，施工也不便。

16.4.3 3 3) 为使扣点处的扣索能产生向上的分力和横向分力，便于调整悬臂端的高程和轴线，故规定如条文。

16.4.3 4 1) 内锚扣体系适用于桁架拱、刚构拱等桥型，如经过计算在桁架拱上弦内布设钢筋（加设部分钢筋）可代替扣索，可节约用钢量。

16.4.3 6 2) 拱是轴向承力结构，严格控制合龙温度有利于成拱受力状态与计算值更吻合。

16.4.3 8 按条文公式计算的转体牵引力，根据实际情况增加适当富余量后作为配备牵引机具的依据。

16.4.4 无平衡重平转施工的特点是用锚固体系取代平衡重，其基本原理、施工要求及注意事项均如条文所述。

16.4.5 国内于 1990 年首次采用竖转方法施工拱桥。竖转施工是一种充分利用地形、比较经济的施工方法，利用竖转施工可代替缆索吊装，一般适用于岸坡陡峭，无水、浅水、局部流水或季节性流水河床（河床深浅不限），桥梁跨径不大或竖转桥体重量不大，多用于山区。

16.5 钢管混凝土拱

16.5.1 1 工厂卷制焊管质量容易控制，当条件许可时，也可在工地冷弯卷制。根据不同的板厚和管径，钢管焊接可采用纵向直焊缝或螺旋焊缝两种形式，宜采

用螺旋焊缝形式,宜采用符合国家标准系列的成品焊接管,对其质量和精度更有保证。

16.5.1 2 加工的钢材还应按规定进行抽样检验。对钢管除应按产品质量标准验收外,还应按规定对加工的原材料进行抽样检验。

16.5.1 4 采用加热顶压方式弯管时,如果加热温度超过 800℃,加热次数超过 2 次,会引起钢材微观组织的变化,导致力学性能变坏,可能破坏钢管材质,故规定如条文。

16.5.1 5 拱肋(桁架)节段焊接应按设计要求进行,如设计无具体规定时,可按条文规定办理。

桁架拱主管与腹管采用相贯连接时,因系无节点板结构,主管应力复杂,再加上闭合型焊接,接头区域易于造成粗晶硬化和焊接缺陷,接头韧性常成为控制结构承载的关键,因而在焊接材料的选择和焊接工艺的控制上要特别注意,因相贯线的加工精度对连接质量影响较大,注意焊接线热量的控制和焊材与母材强度的匹配,以小热量和低组配为宜。因相贯线及坡口的加工精度直接影响其焊缝的熔透深度和内在质量,成为结构承载力的保证条件,所以对加工方式特别加以限制。焊条多次交叉使交叉点附近的母材材质受反复加热而变化,极易引发焊接裂纹,故需加以控制(某桥发生 7.73mm 裂纹的事故应引起重视)。

16.5.1 6 哑铃形钢管拱截面压注腹箱混凝土出孔变形已为常见,若加设内腹杆,则问题得以解决。

16.5.1 管防护的质量直接影响钢管混凝土拱桥的使用寿命,条文所指的钢管为卷制焊接管或普通无缝钢管,首先对钢管外露面进行喷砂除锈,然后做长效防护处理。

16.5.2 4 扣索与钢管拱肋的连接件通常与拱肋加工为一体,依托拱肋部件共同承力,故施工完成后不能拆除。每组扣索一般采用多根钢绞线或高强钢丝束,考虑不均衡受力和冲击荷载等因素,条文要求安全系数应大于 2,以策安全。

16.5.3 1 钢管混凝土若采用分段浇筑将形成施工接缝,对拱肋混凝土质量和拱肋受力不利,故规定如条文。

16.5.3 4 通过人工敲击听声音的变化,可以检查出钢管混凝土与钢管内壁间的空隙,精确度可达 1~2mm,这是最常用的方法,但准确性不够理想。超声检测可以检查管内混凝土是否均匀、缺陷大小、混凝土与钢管是否密贴及混凝土密实度和强度,精确度较高,故规定如条文。

16.5.3 6 先钢管后腹箱的程序可避免钢管产生压扁变形。

16.5.4 1 吊杆采用成品索,可以确保锚头的可靠,以解决非预应力吊索采用预应力锚具时出现的事故。

16.5.4 3 预应力系杆的张拉与管道内预应力索的张拉不同(无管内摩阻力),采用控制空索长度内的伸长量较合理。

16.6 式桁架拱和刚构拱

16.6.1 2 桁架拱和刚构拱的拱片多采用平卧预制,吊装时由平卧改为竖立时最易发生杆件折断事故。拱片由平卧改为竖立时一般设有 4~8 个吊点。防止拱片起吊时折断的主要措施,是在拱片吊起翻身竖立过程中使各个吊点始终保持在同一平面内。

16.6.1 3 由于拱片太高(矢跨比一般为 $1/6 \sim 1/10$,跨径 30m 的桁架拱,拱脚杆件为 3m 以上),竖立运输易倾倒,故多采用平卧运输。运输和装卸过程中应

遵守条文规定。

16.6.2 1 桁架拱和刚构拱的区别在于杆件连接的节点，前者假设为铰接，后者为刚性固结；节间距离前者较短，后者较长，二者的吊装施工方法基本相同。

16.6.2 4 拱片采用无支架吊装的方案根据拱片预制方案确定，一般采用分段预制方案较多，吊装时请参照第 16.3 节的规定执行。要特别注意横向失稳问题，故条文对此予以强调。

条文所述的按杆件分别安装方案又称为拱肋式安装方案。三角单元的安装宜自实腹段两端对称地向拱脚进行，以保证裸拱肋的竖向稳定。

16.7 拱上结构

16.7.2 大跨径拱桥的拱上结构较重，纵向分配较长，故需进行加载程序的施工验算和施工观测，使施工过程中的压力线（实际拱轴线）与设计轴线尽量接近，防止拱纵向失稳。

16.7.3 条文中的规定是针对中、小跨径不卸除拱架施工拱上结构而言。下承式或中承式拱桥，其悬吊桥面系混凝土在拱架拆除后施工，可避免拱架干扰，防止桥面系完成后拆除拱架引起拱肋变形，影响桥面系的质量。

16.7.4 拱上结构混凝土浇筑的原则是尽可能连续浇筑，一次浇完，避免设置施工缝。有些部位不可能连续浇筑时，按规定设置施工缝。

16.7.5 中、小跨径装配式拱桥按条文规定施工拱上结构，可以避免拱上结构完成后卸架时拱圈沉降不均匀，造成拱圈和拱上结构开裂。

主拱圈混凝土和砂浆强度达到设计强度的 75% 以后，已能无支架承受拱上结构荷载，故规定如条文。中、小跨径装配式拱桥的拱上结构较轻，纵向分配较短，一般由拱脚至拱顶对称施工，不会发生拱纵向失稳。

16.8 施工观测和控制

16.8.1 装配式拱桥施工过程中，对条文所述各项目进行施工观测极为重要，否则很容易造成拱圈（拱肋）纵向、横向失稳，而使吊装工作失败。

16.8.2~16.8.6 规定了装配式拱桥及就地浇筑施工的拱桥应进行观测的部位、要求和处理措施。

16.8.7 大跨度拱桥的施工观测和控制受气温、光线影响较大，且通过计算不易修正，故规定如条文，提高观测的精度。

16.9 质量检查和质量标准

本节各条规定的质量标准，与现行《公路工程质量检验评定标准》（JTJ071）一致。

17 钢桥

17.1 一般规定

17.1.1 钢桥施工分制造和安装两大部分。目前，钢桥杆件、构件在工厂内制造多以焊缝连接乙在工地安装分铆接、高强度螺栓连接和工地焊接三大类。铆接已渐趋淘汰。故本章规定的适用范围如条文所述。若个别钢桥需采用铆接工艺时，应另按有关规程办理。

17.1.2 钢桥工程施工需要使用的标准很多,不可能在条文中一一转录,现将引用的国家标准和重要的行业标准列入本说明,以减少本章条文的篇幅。

本章引用标准目录

一、钢桥材料

- 1.GB699—88* 优质碳素结构钢技术条件
- 2.GB700—88* 碳素结构钢
- 3.YB/T10—81 桥梁用结构钢
- 4.GB715—89* 标准件用碳素钢热轧圆钢
- 5.GB979—67 碳素钢铸件分类及技术条件
- 6.GB/T1591—94 低合金高强度结构钢
- 7.GB3077—88* 合金结构钢技术条件
- 8.GB3078—82 优质结构钢冷拉钢材技术条件
- 9.GB3274—88* 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带
- 10.GB4171—84* 高耐候性结构钢
- 11.GB4172—84* 焊接结构用耐候钢
- 12.GB8162—87* 结构用无缝钢管
- 13.GB11251—89 合金结构钢热轧厚钢板
- 14.GB11263—89* 热轧 H 型钢尺寸、外形、重量及允许偏差

二、紧固件和焊接材料

- 1.GB38—76 螺栓技术条件
- 2.GB61—76 螺母技术条件
- 3.GB90—85 紧固件验收、检查、标志与包装
- 4.GB98—76 垫圈技术条件
- 5.GB/T1228~1231—91 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈与
技术条件

- 6.GB3098—86 紧固件机械性能
- 7.GB3103—82 紧固件公差、螺栓、螺钉、螺母与平垫圈
- 8.GB/T3632~3633—1995 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副
- 9.GB324—88 焊缝代号表示法
- 10.GB980—76 焊条分类及型号编制办法
- 11.GB985~88 气焊、手工电弧焊、埋弧焊及气体保护焊焊缝坡口
- 12.GB986—88 埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸
- 13.GB/T14958-94 气体保护焊用钢丝
- 14.GB4242—84 焊接用不锈钢丝
- 15.GB5117—1995* 碳钢焊条
- 16.GB5118—1995* 低合金钢焊条
- 17.GB5293—85 碳素钢埋弧焊用焊剂
- 18.GB8110—1995* 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
- 19.GB10045—88 碳钢药芯焊丝
- 20.GB10854—89 钢结构焊缝外形尺寸
- 21.GB12470—90 低合金钢埋弧焊用焊剂
- 22.GB/T14957-94 熔化焊用钢丝
- 23.GB/T14958—94 气体保护焊用钢丝

三、钢材粗糙度及涂装

- 1.GB1031—83 表面粗糙度、参数及其数值
 - 2.GB1764—79 漆膜厚度测定法
 - 3.GB1766—79 漆膜耐候性评级方法
 - 4.GB3505—83 表面粗糙度、术语、表面及其参数
 - 5.GB8923—88 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级
 - 6.GB/T12612-90 多功能钢铁表面处理液通用技术条件
 - 7.GB14907—94 钢结构防火涂料技术条件
 - 8.TB/T1527 铁路钢桥保护涂装
 - 四、紧固件、焊缝、包装、试验
 - 1.GB90—85 紧固件验收检查、标志与包装
 - 2.GB226—91 钢的低倍组织及缺陷酸蚀试验法
 - 3.JGJ81—91 建筑钢结构焊接规程
 - 4.GB229—84 金属夏比（U 形缺口）冲击试验方法
 - 5.GB/T15169—94 钢熔化焊手焊工资格考试方法
 - 6.GB/T12468—90 焊接质量保证对企业的要求
 - 7.GB1225—76 焊条检验、包装和标志
 - 8.GB/T12469—90 焊接质量保证钢熔化焊接头的要求和缺陷分级
 - 9.GB2649~2655—81 焊接接头机械性能试验方法
 - 10.GB2656—81 焊缝金属和焊接接头疲劳试验方法
 - 11.GB2975—82 钢材力学及工艺性能试验取样规定
 - 12.GB3323—87 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
 - 13.GB/T12467—90 焊接质量保证一般原则
 - 14.GB11345—89 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级
 - 15.TB10212—98 铁路钢桥制造规范
 - 16.TBJ214—92 铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定
 - 17.JTJ230—89 海港工程钢结构防腐蚀技术规定
 - 18.TBJ2137—90 铁路钢桥栓接面抗滑移系数试验方法
 - 19.GB50221—95 钢结构工程质量检验评定标准
- 注：目录中注有*者，已改为推荐性标准。

17.1.2 2 当国产钢材不能满足供应，需采用进口钢材时，应按条文规定进行化学成分和力学性能检验，特别要注意其可焊性是否符合要求。

17.1.2 3 本款参照《钢结构工程施工及验收规范》（GB50205—95）3.03.1 款拟定。

17.1.3 本条包括了提交制造厂的设计文件内容及由工厂绘制的施工图应包括的主要内容，这些是为确保制造质量不可少的。

17.1.4 钢桥杆件、构件制造要求极为严格，准确度要求很高。若制造时使用的量具、仪具精确度不符合要求或工厂与工地使用的量具、仪具精确度不一致，极易发生杆件、构件运往工地无法安装的事故，故规定如条文。

17.2 钢桥制造

17.2.1 3 条文对样板、样杆、样条的制作规定了允许偏差，可作为号料加工时的依据。具体制作时，一般应根据施工图尺寸做实样，并预留加工余量。钻孔时应将样板卡紧，以防错位。

17.2.1 5 钢材在负温度下进行剪切和冲孔时，易因钢材的低温淬硬性而产生冷裂现象，故条文规定了不同钢种剪切、冲孔的最低环境温度限制，以保证钢材不致在加工过程中造成冷脆和冷裂的质量事故。

17.2.2 2 对冷矫正和冷弯曲的最低环境温度进行限制，是为了保证钢材在低温加工时，不致产生冷脆裂。在低温下钢材进行矫正或弯曲而脆断比冲孔和剪切加工更敏感，故环境温度限制较严。

17.2.2 3 冷矫正和冷弯曲的最小半径是为了保证成形后的外观质量和防止产生裂纹而规定的。

17.2.2 4 此处热矫温度的控制是指低于此温度时不宜进行热矫正。实践证明，加工温度低于 700℃时，加工困难，成形压力增加很快，低于 600℃加工，钢材容易出现蓝脆。故规定如条文。

17.2.3 1 规定零件加工深度不应小于 3mm 是为了消除切割加工对钢材造成的冷作硬化和热影响区的不利影响。

表 17.2.3—1 和表 17.2.3-2 引自《铁路钢桥制造规范》(TB10212-98)。

17.2.4 5 表 17.2.4-1、表 17.2.4-2 引自《铁路钢桥制造规范》(TB10212-98)。

17.2.5 2 板材、型材尺寸不足应在组装前进行焊拼，这样，可减少焊接残余应力。待焊接、矫正后再进行杆件、构件的组装、焊接。

17.2.5 3 杆件组装按条文规定的顺序和在工艺装备内进行，可减少焊接变形和矫正工作量。

17.2.5 4、5 条文的要求是为了保证杆件、构件组装的准确性和质量。

17.2.5 6 表 17.2.5-1 和表 17.2.5-2 各类杆件、构件允许偏差引自《铁路钢桥制造规范》(TB10212-98)。

17.2.6 1 焊接工艺评定是保证钢桥焊缝质量的前提。通过焊接工艺评定选择最佳的焊接材料、焊接方法、焊接工艺参数、焊后热处理等，以保证焊接接头的力学性能达到设计要求。

17.2.6 2 焊接质量虽然经过焊接工艺评定，保证了焊接质量的前提条件，但仍须通过焊工施焊来实现。焊工施焊工艺水平的高低影响焊接质量的好坏。故条文规定参加钢桥施焊工作的焊工必须经过考试合格。焊工考试可参考《建筑钢结构焊接规程》(JGJ81—91)中焊工考试一章进行。焊工停焊时间超过 6 个月，其焊接工艺会生疏，工艺参数可能忘了，故条文规定应重新考核。

17.2.6 3 在工厂内制造钢桥构件有条件在室内和条文规定的环境条件下焊接，焊接质量易于得到保证。主要杆件在组装后 24h 内焊接可防止焊缝坡口锈蚀，保证焊接质量。

17.2.6 4 低合金高强度结构钢的较厚板材应在焊接前一定宽度范围内进行预热，可减少施焊时钢材变形和残余应力，故规定如条文。

17.2.6 6 焊接时不得在母材的非焊接部位引弧，是为了防止电弧烧伤、弧坑及裂纹出现在母材上，而影响焊件的质量。

多层焊焊接如连续施焊，可防止焊件温度降低从而须预热焊件的麻烦。为清理焊接熔渣或缺陷，可能会出现间断，应使这种间断的次数和时间降低到最低程度。清理药皮、熔渣、溢流等缺陷的目的是防止产生夹渣，影响焊缝质量。

17.2.6 7 定位焊的难度较大，易出现裂纹和未焊透、气孔等缺陷，故条文对坡口尺寸、焊接材料、定位焊的位置和长度等都有严格规定。如发现焊接缺陷，应按照条文规定，查明原因，清除缺陷后重焊。

17.2.6 8 埋弧焊必须在距杆件端部 80mm 以外的引板上起弧、熄弧是为了防止弧

坑缺陷出现在构件应力集中的端部。

17.2.6 9 焊缝焊接完毕必须对焊缝表面磨修平整,本款第 1)、2) 项规定了磨修焊缝表面的具体要求。焊缝表面和内部如发现质量缺陷应按本款第 3)、4) 项进行返修焊。焊缝反修影响了焊缝整体质量,会增加局部应力。故规定返修焊不宜超过 2 次。

17.2.8 1 杆件焊接时,由于焊接受热的高温区金属产生膨胀力,而使相距较远的低温区金属产生压应力,导致杆件在两力交界处的组织疏松。一旦高温区急冷,无热量供给,疏松组织使其收缩复原而产生拉应力,有时出现应力大于金属材料的屈服点的变形,故在矫正时应按照第 17.2.2 条的规定。

冷矫是在室温下对变形的杆件施加外力,使其恢复原状。它有一定的局限,因此,对杆件的冷矫要求严格些。

17.2.8 2 杆件矫正后的允许偏差表 17.2.8-1 和表 17.2.8-2 引自《铁路钢桥制造规范》(TB10212-98)。

17.2.9 3 公路装配式钢桥的钢枢(销子)所受压应力、剪应力和弯曲应力很大,又受弦杆尺寸的限制,不能设计为很大直径,故条文规定应采用高强度合金结构钢制造,这样可减小钢枢所需直径。

17.2.10 钢桥用高强度螺栓工地连接具有施工简便、拆装灵活、承载能力高、受力性能好、耐疲劳、自锁性能好而不松动、安全性能较高等优点,故目前已基本上取代了铆接和部分焊接。高强度螺栓副的制造精度要求高,使用数量较大,故条文规定宜在专门螺栓厂制造。

17.2.10 1 高强度螺栓杆、螺母和垫圈在工地拼装使用后,其孔内部分难于涂装防护,故条文规定宜进行防锈处理。

17.2.11 附录 K-2 高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法引自《钢结构工程质量检验评定标准》(GB50221-95)附录 H 及《铁路钢桥栓接面抗滑移系数试验方法》(TBJ2137-90)。

17.2.12 杆件表面和摩擦面除锈工作应在制作质量合格后进行,可防止因杆件质量不合格即进行除锈工作的浪费。

17.2.12 1 表 17.2.12 杆件除锈方法、除锈等级和适用范围系参照《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》(GB8923-88)和原规范附录 15-4 钢件除锈清净度要求及《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ230-89)编拟的。

17.2.12 2 不同涂料对底层除锈要求是不同的,一般常规的油性涂料湿润性和浸透性较好,对除锈要求可略低一些;而高性能涂料如富锌涂料等对底层表面处理要求较高。不同涂料与除锈方法和等级的适用性可参考附表 17.2.12。

Sa2.5 是最常用的除锈等级,适用于各种涂料,与 Sa3 相比,所需费用可大大降低。动力和手 3232 具除锈方法,只适用于常规涂料,除锈等级应不低于 St2。

17.2.12 3 除锈后的摩擦面进行防锈处理,不仅要求防锈耐久可靠,而且要求不过多地降低抗滑移系数。

17.2.12 4 喷射与抛射除锈技术是目前除锈质量较高、采用较多的技术。二者的区别是喷射的被除锈杆件不动,喷射工具移动;抛射是抛射工具不动,被除锈杆件移动。

17.2.13 3 1) 工厂内钢梁(桁架梁、箱形梁、板梁)试拼装不需要全桥钢梁都进行拼装,应选择具有代表性的局部单元(节间)或一跨试拼装,以能通过试拼装发现上述质量问题为准。

附表 17.2.12 除锈质量等级与涂料的适应性

除锈方法	除锈等级 (GB8923-88)	涂料种类							
		洗涤底漆	有机富锌	无机富锌	油性涂料	长油醇酸涂料	环氧沥青涂料	环氧树脂涂料	氯化橡胶涂料
喷砂除锈	Sa3	○	○	○	○	○	○	○	○
	Sa2.5	○	○	○-△	○	○	○	○	○
	Sa2	○	○-△	×	○	○	○-△	○-△	○
动力工具除锈	St3	△	△	×	○	○-△	△	△	△
手工工具除锈	St2	×	×	×	△	△	×	×	×

注：○为适合；△为稍不适合；×为不适合。

17.2.13 3 2) 每拼完一个单元(节间)应检查和调整好几何尺寸,以免试拼装完毕,误差积累过多,难于调整。

17.2.13 3 3) 试装时采用普通螺栓和冲钉,使孔眼对位、板层紧密,本项规定了使用螺栓和冲钉的最小数量。

17.2.13 4 本款规定了工厂内试拼装的质量要求,引自《铁路钢桥制造规范》(TB10212-98)。

17.2.14 1 为了防止钢桥锈蚀,延长其使用寿命,必须进行涂装,并分厂内涂装和工地涂装两道工序。钢件表面除锈后,在不同湿度空气下 4~8h 就开始生锈,故条文规定,除锈后应在 4h 内开始涂漆,8h 内完成。

17.2.14 2 试验证明在涂过漆的钢材表面上施焊,焊缝根部会出现密集气孔,影响焊缝质量,故规定如条文。

17.3 验 收

17.3.1、17.3.2 钢桥构件在工厂内制作完成后,施工单位应按施工图和本规范进行验收。钢梁构件允许偏差引自《铁路钢桥制造规范》(TB10212-98)。

17.4 钢桥工地安装

17.4.1 4 钢桥构件的底漆除设计或本规范另有规定者外,一般都在工厂内涂装。在运输、存放、吊装过程中,难免有被损坏的涂层,应按照规定予以补涂。

17.4.2 1 钢桥安装采用先在地面上将杆件组拼成扩大单元(构件)可以减少高空安装工作量。对容易变形的构件进行强度和稳定性验算,可防止构件在吊装过程中局部受力大而变形。需要时应采取临时加强措施,如增加起吊桁架、铁扁担、滑轮组等。

17.4.2 2 清除螺栓表面的附着物是为了防止增加施拧时的摩阻力。钢桥杆件对温差的影响特别敏感,天气变化使杆件时冷时热发生温差,如日照、焊接,这些温差变化不仅使钢材产生局部应力,而且影响构件安装尺寸,故条文规定应采取相应的调整措施。

17.4.2 3 在支架上拼装钢梁时，因钢梁自重支承在支架上，故冲钉和粗制螺栓总数不少于孔眼总数的 $1/3$ 即可，其中冲钉占 $2/3$ 。此处冲钉承受剪力作用，粗制螺栓只起夹紧板束的作用。按照《螺栓技术条件》(GB38—76)的规定，螺栓名称未注明“粗制”的，均为精制螺栓。精制与粗制是按尺寸精度、表面光洁度及技术要求划分的，与生产工艺无关。

悬臂法拼装钢梁时，悬臂部分的重力由节点处的冲钉、螺栓承受，故所需冲钉、螺栓数量应按所承受的荷载计算确定，但不得少于孔眼总数的一半，其余孔眼全部布置精制螺栓。

17.4.2 4 条文分别规定了冲钉、粗制螺栓和精制螺栓的直径。直径不同的理由见上述说明。

17.4.3 1 高强度螺栓连接处节点的各杆件的应力都是通过摩擦力传递的。如果抗滑移系数达不到设计要求，就会使节点处的安全和稳定发生问题。故杆件摩擦面处的抗滑移系数不论是厂内处理的或工地处理的，在组拼安装前都应进行复验，以求达到设计要求。

17.4.3 2 表 17.4.3 是参照《铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定》(TBJ214—92)拟定的。

17.4.3 5 螺栓长度过长不仅浪费钢材，有时螺栓虽长，而螺纹长度不够，螺母拧不到板面。强行穿入螺栓会损伤螺纹，改变扭矩系数，甚至螺母不能拧上。螺栓穿入方向一致可便于扳手操作，且较美观。高强度螺栓不得作为临时安装螺栓的理由有三：①防止屡次穿入扳束又拔出来会损伤螺纹；②从杆件组装到螺栓拧紧要经过一段时间，是为防止高强度螺栓的扭矩系数、标准偏差、预拉力和变异系数发生变化；③钢桥用的高强度螺栓杆比普通螺栓小 $1\sim 2\text{mm}$ ，比栓孔小 $2\sim 3\text{mm}$ ，作为组拼螺栓不能准确固定板块连接位置。故条文规定高强度螺栓不能兼作安装螺栓。扳束表面要求与螺栓轴线垂直，是因同样的扭矩夹紧扳束的拉力比非垂直的大，试验的扭矩系数都是按扳束与轴线垂直的情况试验的。

17.4.3 6 按条文规定的顺序施拧，可以防止扳束发生凸拱现象，施拧效率高。用扳手夹着螺母敲打扳柄称为冲击拧紧，可能会损伤螺纹，同时冲击力大小不同难以正确判定施拧扭矩。间断拧紧是施拧一个时期，停止一个时期，再施拧，因为不论是直线运动或旋转运动都是起动时阻力大，起动后再继续运动，阻力较小些。故规定如条文。

17.4.3 7 一个节点处连接的高强度螺栓数量很多，必然有先拧和后拧之别。为了减小先拧与后拧的预拉力差别，施拧高强度螺栓必须分为初拧、复拧和终拧。初拧只是将扳束完全夹紧密贴；而终拧则是用于完成螺栓的预拉力，达到要求的初拧值是通过大量试验值获得的；终拧扭矩值则按公式(17.4.3)计算。公式中考虑了高强度螺栓施拧后，由于应力松弛及其他原因引起的应力损力。

17.4.3 9 高强度螺栓施拧用的扳手，在班前和班后均应进行扭矩校正。班前校正是为保证施拧的扭矩可靠；班后校正是确认该班使用的此扳手在操作过程中的扭矩未发生变化。如班后校正时发现扭矩误差超过允许范围，则该班用此扳手施拧的螺栓全部判为不合格，应重新校正扳手，重新施拧。

17.4.3 10 条文是参照《铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定》(TBJ214—92)拟定的。

17.4.4 钢桥构件在工厂焊接后运到工地，再全部用焊接组装成钢桥，称为工地全焊连接；若在工地部分构件用高强度螺栓连接，另一部分用焊缝焊接组装成钢桥则称为合用连接。在工地采用何种方式连接，应在设计阶段确定，并在设计文

件中示出。

钢桥构件组拼安装在工地以焊缝连接较以高强度螺栓连接的困难大些。受环境条件的制约；对焊工技术要求严格；施焊时对焊缝两边构件的固定工作也较为麻烦。其优点是能节省高强度螺栓的购制、施拧等费用。

17.4.4 2 是参考《广东省悬索桥全焊加劲钢箱梁制造及工地焊接技术规程》（DB44/T59-91）制定的。

17.4.5 2 由于钢桥跨度较大，钢梁长度受工厂制造时温度与施工时安装温度差，以及出厂时实际制造误差和桥墩中线（垂直于桥位轴线）的施工误差，钢梁端的间隙等因素的影响，钢桥的固定支座和活动支座的正确位置，需要经过综合考虑，严密计算才能确定，故规定如条文。

17.4.6 防腐蚀涂料设计使用年限，参考取值见表 17.4.6-1。

表 17.4.6-1 涂层系统

设计使用年限	配套涂层系统			平均涂层厚度 (μm)	
				(1)	(2)
10~20	底 层		富锌漆（无机或有机富锌漆）	40	75
	面 层	I II III IV	氧化橡胶漆 聚胺酯漆 丙烯酸树脂漆 乙烯树酯漆	280	250
	底 层		富锌漆（无机或有机富锌漆）	40	
5~10	同品种 底面层 配套	I II III	氧化橡胶漆 聚胺酯漆 乙烯树酯漆	100	
		第一类 I II III	橡胶树酯漆（氧化橡胶漆或氧化 碳化聚乙烯漆） 乙烯树酯漆 丙烯酸树酯漆	180~220	
		第二类 I II III IV	油性漆 酚醛树酯漆 醇酸树酯漆 环氧树酯漆	190~230	
		第三类	聚胺酯漆	220~240	
		第四类	环氧树酯漆	240~260	
<5	同品种 底面层 配套	I II III IV	油性漆 酚醛树酯漆 醇酸树酯漆 环氧树酯漆	170~190	
			其他	200	

注：①涂层厚度可按《漆膜厚度测定法》（GB1764--79）测定；

②表列 I、II、III、IV 配套涂料及平均涂层厚度（1）、（2）可任选其中一种

③表列各种涂料，系指该涂料系列中的防锈漆和防腐蚀漆；

不同涂料表面处理的最低等级，参考值见表 17.4.6-2。

表 17.4.6-2 不同涂料表面处理的最低等级

涂料品种		表面处理最低等级	
		喷射或抛射除锈	手工和动力工具除锈
非油性漆	无机富锌漆	Sa2.5	不允许
	酚醛树脂漆、氧化沥青漆	Sa2	St3
	醇酸树脂漆		St2
	其他漆类		不允许
油性漆		Sa2	St2

喷涂金属系统包括喷涂金属层和封闭涂层，可参考表 17.4.6-3 确定。一般采用磷化底漆以及环氧、环氧酯、聚胺酯、乙烯树酯、氯化橡胶等作底漆。

表 17.4.6-3 喷涂金属系统

设计使用年限 t	喷涂金属层厚度 (μm)	封闭涂层厚度 (μm)
$t \geq 20$	锌 250	30~60
	铝 200	
$10 \leq t < 20$	锌 150	30~60
	铝 100	

注：表中喷锌、喷铝可任选一种。

17.4.7 此条是根据《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTJ230-89) (试行) 拟定的。

18 悬索桥

18.1 一般规定

18.1.2 悬索桥工程是庞大的系统工程，一个环节考虑不周到就有可能延误整个工期。部分构件（如索鞍、索夹、索股、吊索、钢加劲梁等）需由专业厂家制造；有些关键工序的施工工艺需通过试验才能确定，所以这些工作要有计划的安排，并做好合同管理工作。索鞍、索夹、索股、吊索、钢加劲梁等成品交货时应提供产品质量保证书、产品批号、设计型号、生产日期、数量、长度、重量等，产品出厂检验报告及有关数据。拉索的运输和堆放应无破损、无变形、无腐蚀。

18.1.3 大跨悬索桥的施工精度要求很高，每个环节都不能忽视，随着工程进度要及时做好监控工作，监控的内容包括：校核主要设计数据；提供施工各理想状态线形及内力数据；对施工各状态控制数据实测值与理论值进行对比分析；进行设计参数识别与调整；对成桥状态进行预测及反馈控制分析，提供必要的控制数据；对结构线形及内力（或应力）进行监控；防止施工过程中出现结构位移与应力过大现象，确保施工高质安全快速地进行。

18.2 锚碇

18.2.2 条文中表 18.2.2-1、表 18.2.2-2、表 18.2.2-3 是根据虎门大桥、海沧大桥等的施工实践拟定的。

重力式锚碇是靠庞大体积混凝土的自重抵抗主缆的拉力。根据主缆索股锚固位置的不同可分为前锚式和后锚式。其锚固体系又分型钢锚固体系和预应力锚固体系。

18.2.4 隧道式锚碇是在特定的地质条件下,即基岩坚实、完整的情况下可使用的锚碇。它可直接采用岩体作为锚碇,也可先开挖成隧道再浇筑混凝土成为锚碇。

18.3 索 塔

18.3.2 塔顶钢框架是支承主索鞍的构件,安装精度要求较高,如果在索塔上系梁未施工完安装,将会影响索鞍安装精度。

18.4 施工猫道

18.4.1 猫道是为悬索桥索股架设;紧缆、索夹安装、吊索架设、加劲梁架设、缠丝等的需要而架设的施工便道。除应具有足够的强度和抗风稳定性外,还要考虑施工的方便、操作空间及放置机械的需要而确定其标高和宽度。

18.4.3 猫道承重索可采用钢丝绳或钢绞线。钢丝绳受力后非弹性变形较大,如果不进行预张拉,猫道线形很难控制,因此要求进行预张拉。条文中规定的预张拉荷载的大小、持续时间及进行的次数是个经验数。

18.4.4 猫道承重索一般是边跨和中跨分开设置,这样施工比较方便,至于架设方法可根据具体情况选择。对于跨度大,又要不影响通航的情况,在架设过程中就要求对承重索施加较大的牵引力和反拉力才能使其保持不影响通航的高度,这样对卷扬机的功率要求较高,并且在整个工程中起控制作用。在这种情况下,先架设托架(托架承重绳较细,对卷扬机功率要求较低),然后再通过托架架设猫道承重索是比较经济又安全的办法。

18.4.6 猫道面层的铺设采用预制卷的方法,是本规范推荐的方法。日本自大鸣门桥开始采用这种方法,大大提高了工作效率。虎门大桥也成功地采用了这种方法。采用这种方法时,在下滑过程中,为了下滑能顺利进行和安全,面层前端应设置导向装置,并设置反向滑轮系统控制下滑速度。

18.4.8 抗风缆架设是在猫道架设完毕后进行的,猫道一般按两幅分上下游设置,两幅猫道由几根横向通道连接,因此在架设抗风缆时必须从猫道的外侧向下抛,这就要求抗风缆架设时宜按先内侧后外侧的架设顺序进行。

18.4.9 为了便于施工,要求猫道线形与主缆线形保持一致。加劲梁开始架设后,主缆受集中荷载线形发生突变,为了适应这种情况,要求在吊装钢梁前必须将猫道改吊于主缆上,使猫道线形与主缆线形保持一致。

18.5 主缆工程

18.5.1 牵引索股的方法多种多样,目前常用的是拽拉器牵引和轨道小车牵引。从已成桥的施工方法可以看出,日本习惯采用拽拉器牵引,我国虎门大桥也成功地采用了这种方法;丹麦的小带桥、大带桥,我国的汕头海湾大桥等成功地运用了轨道小车牵引方法。

索股牵引(在主缆位置的侧边进行)完毕后,要经过横移,将其移到索鞍的正上方。横移过程是先把索股从猫道滚筒上提起,为了不损伤索股,要确认全跨径索股已离开猫道滚筒后,才能横向移动。横移时拽拉量不要过大,以免与周围结构发生碰撞和使索股损伤。

18.5.4 索股垂度调整精度标准是参考国内外几座已成桥确定的。具体情况见表18.5.4。

表 18.5.4 索股垂度精度标准

项次	项目	允许偏差 (mm)		
		虎门大桥	汕头海湾大桥	大鸣门桥
1	基准索股 (绝对值)	0~35	±20	±60
2	上下游基准索股高差	10	30	42*
3	一般索股 (相对于基准索股)	±10	3	

注：带*的为紧缆后主缆中心线高差 (实测值)。

18.6 索 鞍

18.6.1 索鞍安装时的预偏量是为调整主缆拉力而设置的。悬索桥主缆在空缆状态下索塔两侧的水平拉力是平衡的,但在上部构造施工过程中,这种平衡很难保持,尤其是单跨悬索桥在加劲梁架设时及桥面铺装时,中跨主缆拉力明显加大,这将导致索塔受弯,弯曲量过大时将会危及索塔结构安全。通过设置预偏量,逐渐调整索鞍位置,可以不断调整主缆拉力,达到确保结构安全的目的。

18.7 索夹与吊索

18.7.1 1 目前设计主缆时,其弹性模量基本是采用主缆高强钢丝的弹性模量,实际上主缆与主缆钢丝的弹性模量有一定差别,另外还有索股制作及架设所产生的误差,导致实际的空缆线形与设计的空缆线形不一致。因此在确定索夹位置前,必须先测定实际的主缆线形,对原理论空载线形进行修正,相应修正其索夹位置。

18.8 加劲梁

18.8.1 本规定主要引用标准见第 17 章条文说明 17.1.2。

主要术语:

1.桥面、桥底板件

指一件桥面板 (或桥底板) 及其上的若干纵肋及部分横向构件组成的结构。

2.横隔板板件

指一件横隔板及其上的加强材组成的结构。

3.节段组装

指将桥面、桥底板件、横隔板件及散装件组成箱形节段的过程。

18.8.2 3 文中介绍的方法是根据近阶段国情而定。实际随着科技进步、国力增强,也可选大型浮吊安装,目前世界上最大浮吊吨位已达 8000t。

18.9 钢桥面铺装

钢桥面铺装技术在国内还处于起步阶段,仍在不断总结经验。各地在执行本节规定时,可根据当地实际,结合国内外施工的成功经验,通过研究与试验,制定出本节的附加规定。

钢桥面铺装与普通路面、机场道面以及混凝土桥面铺装有很大的不同,这是

因为①钢桥面板刚性较小,在交通荷载作用下局部变形大;②钢桥面板热容量小且易导热,温度变动范围大;③桥面用钢板制作,须特别注意防锈。

正交异性钢桥面板是由钢板下面用纵肋或纵向腹板以及横梁加强的行车道板,钢板刚性较小,由交通荷载引起的桥梁整体和局部变形很大,特别是在纵肋、纵向腹板和横梁上方引起的局部变形相当大,这种反复的变形很容易导致铺装层疲劳开裂,因此桥面铺装的抗裂性和适应变形的能力成为最突出的问题。

钢桥面板热容量小,属于导热体,因此容易受周围气温变化影响,温度变动范围大,给钢桥面沥青铺装带来很大影响。低温季节,沥青铺装发生硬化,变形能力降低,容易产生裂缝;高温季节,沥青铺装又长期处在较高温度条件下,在交通荷载作用下容易产生车辙和推拥,因此,钢桥面沥青铺装应兼顾低温抗裂性和高温稳定性,以求铺装有良好的使用性能。

钢桥面板极易生锈,尤其是在腐蚀性环境中更是如此,钢板生锈无疑会严重影响钢桥面板的使用寿命,因此必须特别注意防锈问题,钢桥面铺装应能防止路表水浸入钢桥面板。另外,由于钢桥面铺装一般结构层次相对较多,因此铺装的整体性相当重要,层与层之间只有粘结牢固才能保证彼此协同作用。层间粘结不好,会导致铺装的早期破坏。

目前国内外采用的钢桥面沥青铺装层混合料类型主要有三种,分别是 GA、SMA 和 AC。

GA 是一种矿料与硬质沥青胶结料在高温下进行拌和,采用浇注法进行摊铺的沥青混合料,它是一种传统的钢桥面沥青铺装混合料,具有良好的抗裂性和适应变形的能力,通过采取特殊的工艺措施其抗车辙性能也能得到很大程度的改善。另外,GA 铺装层密水性好,空隙率几乎为零,因此采用 GA 时钢桥面铺装中可不设防水层。国外对 GA 的研究较多,并积累了较为丰富的经验,同时也不乏成功的实例。在欧洲和日本等地,GA 得到了较多的应用,但国内尚缺乏这方面的实践经验,且国内目前还没有引进 GA 混合料施工的成套机械设备,因此当钢桥面铺装中采用 GA 时,应根据当地实际情况,进行充分地调查研究,通过借鉴和吸收国外的成功经验,并经过试验及试验段的铺筑,掌握 GA 混合料的施工工艺。

SMA 属于间断级配密实骨架型沥青混合料,具有较好的抗裂和抗车辙性能,通过采用性能优良的聚合物改性沥青,SMA 混合料的性能还可得到进一步的改善和提高,因此,SMA 是钢桥面铺装中一种较为适合的沥青混合料。虽然国内外在钢桥面沥青铺装中采用 SMA 的并不多,但随着对 SMA 铺装技术研究的逐渐深入,SMA 的优越性已越来越受到人们的重视。

AC 属于密级配沥青混凝土混合料,其特点是热稳性较好,但抗变形能力较差,难以适应钢桥面板的变形,在交通荷载作用下铺装容易产生裂缝,虽然通过采用改性沥青其抗裂性会有所改善,但仍不能很好解决铺装开裂问题。因此,在钢桥面沥青铺装中本规范不推荐采用 AC。当需要采用 AC 时,必须经试验论证确定可行,而且只限于钢桥面沥青铺装上层中。

钢桥面铺装施工过程中,施工前下层保持干燥和整洁相当重要,施工时若下层有任何锈蚀、油污或水分等,都将严重影响层与层之间的粘结效果,从而影响铺装的使用寿命。在进行任何一道工序前,都应对下层进行检查,只有当检查合格并经监理工程师认可后方可进行施工。对于悬索桥来说,钢桥面铺装的施工有时会受到其他工序作业的干扰,比如主缆清洗、缠丝、涂装和紧索夹等,如果处理不当,就会给桥面铺装的施工造成不利影响,因此当出现交叉作业情况时,应

采取有效、妥当的保护措施，而且各工序之间应协调好。车辆在铺装层上快速行驶、刹车或调头，会对防锈层、防水层或粘结层造成损害，因此本规范规定不允许非施工车辆在铺装层上通行（沥青铺装层除外）。当施工车辆在铺装层上通行时，车轮应保持干净，并避免在铺装层上急刹车或调头，且时速不得超过 5km/h。

在日本，钢桥面沥青铺装层厚度一般要求为 60~80mm，且分两层铺筑，上下层厚度分别为 30~40mm 左右。德国钢桥面铺装规范中把沥青铺装分为保护层（即沥青铺装下层）和面层（即沥青铺装上层）两层，并规定保护层厚度当采用浇注式沥青混凝土时通常为 35mm，采用 SMA 时一般为 40mm，面层厚度通常为 35mm。

钢桥面沥青铺装与其他路面相比，在抗裂性（疲劳开裂和低温开裂两方面）、高温稳定性和防水性三方面有更高的要求，因此本规范对钢桥面沥青铺装层混合料性能提出了较高的要求。

关于 SMA 和 GA 混合料的矿料级配和沥青用量，表 18.9-1 列出广东虎门大桥钢桥面铺装 SMA 混合料矿料级配范围，表 18.9-2 列出日本《本州四国连络桥桥面铺设标准（草案）》中 GA 混合料矿料级配范围，可供参考。

表 18.9-1 虎门大桥钢桥面铺装 SMA 混合料矿料级配范围

级配类型	通过下列筛孔（方孔筛，mm）的质量百分率（%）										
	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-10	100	90~100	28~50	21~34	16~25	12~20	10~17	9~14	8~13		
SMA-13	100	90~100	34~75	23~41	18~30	15~24	13~21	11~17	10~15	9~13	
SMA-16	100	90~100	60~90	40~80	25~40	18~30	15~24	12~20	10~17	9~14	8~13

注：沥青用量宜为 6.0%~7.5%。

**表 18.9-2 日本《本州四国连络桥桥面铺设标准（草案）》
GA 混合料矿料级配范围**

筛孔尺寸（mm）	13	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.074
通过质量百分率（%）	100	65~85	45~62	35~50	28~42	25~34	20~27

注：硬质沥青用量以 7%~10% 为准。

为了使钢桥面沥青铺装混合料满足使用性能要求，采用性能优良的胶结料是关键之一。对于 SMA 混合料，宜采用聚合物改性沥青，对于 GA 混合料，国外通常采用天然沥青与石油沥青混合而成的硬质沥青。

国内对改性沥青研究较多，并准备制订这方面的施工技术规范，日本《本州四国连络桥桥面铺设标准（草案）》中对改性沥青提出了具体的标准，见表 18.9-3，可供参考。

表 18.9-3 日本《本州四国连络桥桥面铺设标准（草案）》改性沥青标准

项 目	标准值		试验方法
	I 型	II 型	
针入度（25℃）（0.1mm）	60~100	60~100	JIS K2207

软化点 (°C)		55~65	60~75	JIS K2207
延度 (10°C) (cm)		50 以上	10 以上	JIS K2207
费拉斯脆点 (°C)		-12 以下	-12 以下	JIS K2207
韧度 (25°C) (kg·cm)		120 以上	30 以上	桥面铺装标准
粘结力 (25°C) (kg·cm)		100 以上	10 以上	桥面铺装标准
粘 度	60°C (泊)	4000 以上	16000 以上	ASTM D2171
	160°C (SFS)	500 以下	1000 以下	JIS K2207
	200°C (SFS)	200 以下	300 以下	JIS K2207
闪点 (COC) (°C)		280 以上	280 以上	JIS K2274
灰分 (%)		1.0 以下	1.0 以下	JIS K2272
比重 (25°C/25°C)		1.000 以上	1.000 以上	JIS K2249
薄膜加 热 (180 °C× 2.5h) 后	蒸发量 (%)	0.3 以下	0.3 以下	JIS K2207 条件有变化
	针入度比 (%)	65 以上	65 以上	
	软化点 (%)	80~10	80~10	—

注：按重量比例，I型是在1加单位的60~80直馏沥青中添加7单位的橡胶，II型是在100单位的80—2印直馏沥青中添加3~6单位的橡胶，4~6单位的热塑性树脂。I型的特点是韧度、粘结力和延度高，II型的特点是软化点高。另外，I型与II型相比，高温粘度低，故施工性良好，但若使用机械施工，II型也能达到良好的施工性。

硬质沥青在日本是指针入度在40以下的沥青，由天然沥青与石油沥青按一定比例混合而成。在国外天然沥青一般采用精制而成的特里尼达湖沥青，将特里尼达湖沥青用于GA混合料是为了提高混合料的施工性（流动性）和稳定性（贯入量、动稳定度）等。日本标准中规定硬质沥青中特里尼达湖沥青所占比例不得低于20%，石油沥青的针入度要求在20~40之间，表18.9-4列出日本《本州四国连络桥桥面铺设标准（草案）》硬质沥青标准，可供参考。

表 18.9-4 日本《本州四国连络桥桥面铺设标准（草案）》硬质沥青标准

项 目	标准值	试验方法
针入度 (25°C) (0.1mm)	15~30	JIS K2207
软化点 (°C)	58~68	JIS K2207
延度 (25°C) (°C)	10 以上	JIS K2207
蒸发质量变化率 (%)	0.5 以下	JIS K2207
三氯乙烷可溶成分 (%)	86~91	JIS K2207
闪点 (COC) (°C)	240 以上	JIS K2274
比重 (25°C/25°C)	1.07~1.13	JIS K2249

国内在钢桥面沥青铺装方面尚未积累丰富的施工经验，特别是GA混合料的施工，更缺乏实践经验，对GA混合料施工的专用机械设备的操作也比较陌生，为了确保在实桥上施工能顺利进行，施工质量能符合要求，本规范规定钢桥面沥青铺装施工前，必须铺筑试验段。

为了确保改性沥青的质量，防止其在使用过程中改性剂发生离析相当重要。

为使改性剂均匀分布于基质沥青中,采用胶体磨设备现场加工改性沥青是最有效的方法。国内已建成的高速公路中,有好几条在沥青面层施工时,采用了由奥地利理查德费尔辛格公司的胶体磨设备现场加工而成的、被称做 Novophalt 的改性沥青,如首都机场路、广佛高速公路和深汕高速公路的部分路段等,并取得了成功,这方面的经验值得推广。使用成品改性沥青时,由于改性沥青在使用前须经过两次升温加热(其中一次是在沥青生产厂加工时,另外一次是在成品改性沥青脱水时),再加上成品改性沥青脱水后若不采取有效的措施(须充分进行搅拌),这些都会造成沥青一定程度的老化和改性剂发生离析,以致影响改性沥青的质量,因此钢桥面沥青铺装不宜采用成品改性沥青,当条件不够不得已须采用时,应采取有效措施防止改性剂发生离析。

SMA 混合料的施工温度与改性沥青的品种及粘度有关,不同品种的改性沥青,其施工温度也不一样,因此本规范对 **SMA** 混合料的施工温度未作统一规定,而是建议应根据试拌试铺来确定混合料的施工温度,供施工质量控制用。一般地,改性沥青 **SMA** 混合料的拌和出料温度较普通沥青混合料的高 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 左右。

不得振动碾压和采用轮胎压路机碾压 **SMA** 混合料,这是因为压路机振动碾压不仅会对桥梁造成损坏,而且由于 **SMA** 混合料中由细集料、填料、纤维和改性沥青形成的沥青玛蹄脂含量较高,容易使混合料产生推挤拥包,而若采用轮胎压路机碾压,则可能由于轮胎的搓揉造成沥青玛蹄脂挤到表面而达不到压实效果。

施工缝的设置,首先,由于沥青铺装层下是防水层或粘结层及防锈层,还有钢桥面板,处理施工缝时,如切缝机切割、人工凿边等,应特别小心,对下层及钢桥面板不得有任何损害。其次,施工缝的设置应避开铺装受力较为不利的位置,如加劲肋、腹板、横梁顶面位置及吊杆位置,这是因为沥青铺装两幅相接的部分一般结合不是特别好,在上述位置设置施工缝,极易导致铺装开裂。

关于 **GA** 混合料的施工,由于国内尚缺乏这方面的实践经验,规范不可能作较细的规定,而只能参照国外 **GA** 混合料施工的有关标准,作一些简单而必要的规定。各地在进行 **GA** 混合料施工时,可结合本地实际,通过调查研究、室内试验及试验路的铺筑,摸索确定 **GA** 混合料的施工工艺,并制订相关的施工实施细则,报上级主管部门批准,作为 **GA** 混合料施工质量控制及工程监理的依据。在沥青铺装与构造物相接触的部分应设置接缝,是为了防止结合部位渗水。德国和日本的钢桥面铺装标准中都规定要设置接缝。

19 斜拉桥

19.1 一般规定

19.1.1 斜拉桥的分类还可以按结构型式分。如桁架斜拉桥、板拉斜拉桥、吊拉组合斜拉桥以及塔梁固结或不固结等多种斜拉桥。结构型式变化所致的影响及差异主要由设计考虑并提出相应要求,施工主要着重于材料的差异。

吊拉组合桥中有关悬索部分的施工应遵照悬索桥施工技术规范的要求执行。

本章突出异于一般桥梁施工的斜拉桥索塔、主梁和拉索的施工特点,减少与本规范中各相关章的重复。如基础、钢桥、钢结构以及桥面施工可参照相关规定。我国目前的斜拉桥主梁多为预应力钢筋混凝土结构,其桥面结构不论是采用沥青材料还是混凝土材料,其要求已列在规范有关章节。斜拉桥钢主梁上路面的施工要求,与钢桥及悬索桥中钢梁上路面的施工规范要求相同。

因施工阶段的斜拉桥对风所致影响更为敏感,施工时应予复核,以确保施

工阶段的安全。

19.1.3 斜拉桥设计与施工相辅相成的密切关系是斜拉桥的特点。设计时一般已设定其施工方法，并以此完善设计计算。施工方法与设计不符时，可由设计单位重新计算结构内力和配筋，也可由施工单位依程序提出修改方案和资料，会同设计单位确定后实施。

19.1.5 平衡悬臂法包括悬浇和悬拼两种方法。梁的施工方法有成梁转体法、顶推成梁后张法、支架法、吊悬组合法、劲性骨架法等。劲性骨架法，即在成桥前完成劲性骨架（或桁架），再进行梁的整体施工。

19.2 索 塔

斜拉桥索塔的外形有柱式、门式、H 式、A 形、倒 Y 形及菱形等多种，就其支承情况又可分为：①悬浮体系，塔墩固结，塔梁分离；②支承体系，塔墩固结，梁墩支承；③塔梁固结体系，梁墩支承；④刚构体系，塔墩梁固结。

按塔身建筑材料可分钢、钢筋混凝土和钢管混凝土三类。我国现代斜拉桥索塔多为钢筋混凝土类。塔柱的施工方法与技术要求亦以此类塔为主。钢塔的制作、拼接安装及质量标准应参照钢桥及悬索桥的有关规定执行。由于钢管混凝土拱桥的发展，我国已有钢管混凝土施工的有关规范。钢管混凝土索塔可参照执行。

19.3 主 梁

19.3.1 由于斜拉桥的施工方法和程序对成桥后主梁线形和结构恒载内力具有决定性的作用，特别是施工阶段斜拉桥结构体系和荷载状态的不断变化直接引起结构内力和变形的不断变化，所以对斜拉桥每一施工阶段和步骤的结果必须进行详细的检测分析和验算，从而确定下一施工阶段拉索张拉量值和主梁标高及索塔位移等控制量值，以便进行下一阶段的施工，如此直至合龙和成桥。这一过程控制就是斜拉桥的施工监控。

施工监控是斜拉桥主梁架设设计计算的继续。

斜拉桥在主梁架设过程中，结构实际参数难免与设计值存在差异，加之施工荷载的不确定性，使结构内力与变位偏离设计值。这种偏离的积累，不仅影响成桥后的正常使用，而且涉及施工中的结构安全，因此必须对每个节段架梁循环采取监控测试措施。将监控测试所取得的实际架梁参数，经过温度修正和标准化处理并与设计值的偏差作出分析、判断，对偏差超限作出调整对策等。以上过程一般由设计单位通过监控软件系统完成，最后得出下一节段主梁架设的索力和节段高程等，以指导架梁施工。

施工监控实际上是对每个节段架梁循环逐步调整计算的过程，常以设计计算为主牵头进行；由设计指导施工，由试验提供已架梁段的实际参数。

施工监控中设计、施工、试验三者的关系可参见图 19.3.1 所列施工监控流程循环图。

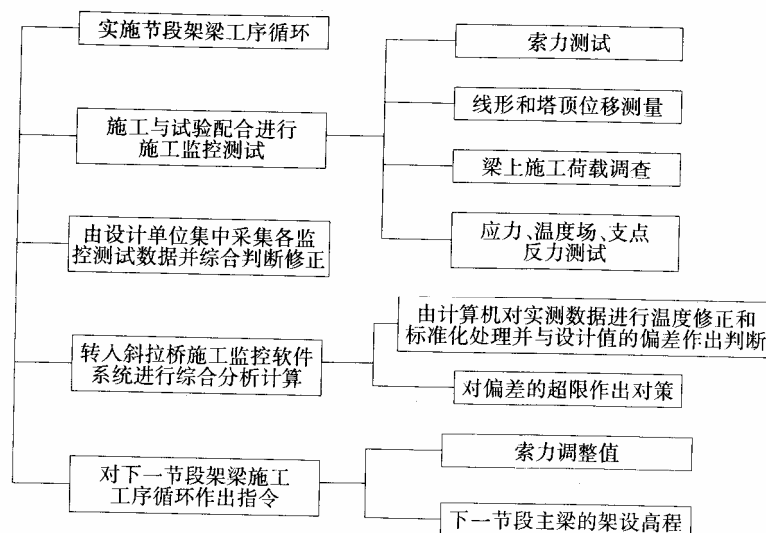


图 19.3.1 施工监控流程循环图

19.3.2 对于偏差的处理和索力的调整，常用的方法主要有：

1.一次张拉法

在施工过程中每一根斜拉索张拉至设计索力后不再重复张拉。对于施工中出现的梁端挠度和塔顶水平位移偏差不用索力调整，或任其自由发展，或通过下一块件接缝转角进行调整，直至跨中合龙，其挠度的偏差采用压重等方法强迫合龙。一次张拉法简单易行，施工方便，但对构件的制作要求较高。因为对已完成的主梁标高和索力不予调整，主梁线形较难控制，跨中强迫合龙则扰乱了结构理想的恒载内力状态。

2.多次张拉

在整个施工过程中对拉索进行分期分批张拉，使施工各阶段结构的内力较为合理，梁塔的受力处于大致平衡的状态，即梁塔仅承受轴向力和数值不大的弯矩。主梁的线形主要是通过斜拉索索力在一定范围内的调整而加以控制的。

19.3.4 混凝土主梁系指钢筋混凝土梁或预应力钢筋混凝土梁。

19.3.4 2 挂篮是主梁施工时，利用已施工梁段作挂篮的支撑体，以支承待施工梁段模架及施工梁体重力的施工设施。挂篮有多种型式，一般由施工单位根据拥有材料设备等情况自行设计。设计力求安全轻便，使用可靠，按结构一般可分两类：

1.悬臂梁式，包括悬臂桁架梁式挂篮，特点是悬出的梁或桁架梁前端没有支点；

2.前支点式（牵索式），利用主梁的斜拉索作悬出梁端的前支点，待新浇梁段混凝土达到设计强度后再将斜拉索拉力转移到主梁上，这种简支式的结构使挂篮的结构和自重大为简化。设计合理的挂篮，其自重约为待施工梁段自重的 0.4 倍。

19.3.5 钢梁比混凝土梁传热快，温度变化大，确定合龙梁长和选择合龙时间尤为重要。

组合梁斜拉桥适合于跨度大于 400m 的斜拉桥。组合梁包括主梁采用预应力混凝土与钢的混合结构及主梁采用钢梁与混凝土车道板联结的复合梁结构，二者均属钢结构为主梁段结构。在金属构件的加工制作中焊接工艺对梁的施工误差、变形及诸项的质量标准影响大，根据林元培所著《斜拉桥》中的施工经验，

钢梁焊接时，为确保焊接接头热影响区的粗晶区与母材标准的最低值等强度、等韧性，即 20℃ 条件下，焊接热影响区的粗晶区的断裂韧性平均 $A_{kv} \geq 39j$ ；纵向。为此，必须严格控制该区的 $t_8 / 5$ 值（粗晶区由 800℃ 冷至 500℃ 的时间。因热影响区的性能与 $t_8 / 5$ 值有关）。该区的 $t_8 / 5$ 时间换算成相应的焊接线热输入量控制值 E_{max} （设计规定值见表 19.3.5-1），因而不单纯、片面控制线热量输入值 E ，亦不单纯凭探伤合格就认为焊接接头合格，应经试验后在钢梁加工制作时予以适当调整。

注：南浦大桥对焊接 STE355 钢的 $E_{max} \leq 46 \text{kJ/cm}$ ， $t_8/5 \leq 40\text{s}$ ，焊接 STE460 钢的 $E_{max} \leq 41 \text{kJ/cm}$ ， $t_8/5 \leq 49\text{s}$ 。

典型焊接接头 $t_8/5$ 与 E_{max} 换算技术指标如表 19.3.5-1。

表 19.3.5-1 典型焊接接头 $t_8/5$ 与 E_{max} 换算技术指标

钢号	t8/5（s）	接头型式	板厚范围（mm）	焊接工艺	预热温度（℃）	允许最大线能量（kJ/cm）
STE355 STE460	35	对接	15	埋弧自动焊	10	27.0
			25		10	45.4
			>28		150	50.0
	35	贴角	15	埋弧自动焊	10	32.5
			>28		150	60.5
	STE460	30	对接	25	埋弧自动焊	150
>28				150		50.0
30		贴角	>28	埋弧自动焊	150	57.0

注：①凡接头板厚不同者，按薄的板厚计算，而预热时，按厚板规定预热温度控制；

②当钢中含 C 量 $< 0.15\%$ ，同时 $Nb \leq 0.015\%$ ， $V \leq 0.01\%$ 者， $t_8/5$ 允许扩大到 40s。

并应拟定防止钢梁焊接裂缝出现的有效措施：

1. 选用含有 0.45%MO 的 OKI2.24 焊丝，使主要合金元素由焊丝过渡，而不是由焊剂过渡，以避免焊缝上下各层合金成分的不均匀。采用含有 0.77%Ni 的 J507Ni 焊条，确保焊缝金属有较高强度，又有较好的韧性。

2. 规定预热温度及层间温度应按不同钢板种类、厚度及环境温度的控制值（见表 19.3.5-2）。

表 19.3.5-2 钢板预热温度

钢号	板厚 (mm)	环境温度 (板温)	
		$< 5^\circ\text{C}$	
STE355		100~150℃ (所有板厚)	100~150℃ (板厚 $\geq 30\text{mm}$)
STE460	35, 60, 80	120~180℃	120~180℃

一般板越厚，预热温度应接近表中之上限值。所有预热与层间温度的偏差为-0~+50℃。定位焊的焊接预热温度，比正式施焊预热温度高 50℃。修补时，碳弧气刨前的预热温度与施焊时间相同。

3.为了防止“氢致”裂缝，严格控制焊条、焊剂的焙烘温度，以便减少焊缝金属中的含氢量，采用低焊接材料对 STE460 与 STE460 及 STE460 与 STE355 钢相连接的焊接，焊后作去氢温度为 250~280℃，保湿时间 1.5h，以每 30mm 保湿 1h 为原则计算。

对焊接应力较大的部位（如拉索锚箱厚腹板焊接区，辅助墩顶主梁腹板穿过下翼板周边焊接），进行焊后局部应力消除处理。消除应力温度为 500~580℃，保湿时间为 1.5min/mm。并应掌握热处理后的冷却速度。

杨浦大桥钢梁的拼装拟定了如下主要要求：

1.建立全桥上部结构施工放样量测的坐标系统。

2.拼装开始时就应精确测量钢梁的 X、Y、Z 三维坐标，正确就位。保持钢梁的设计线形和中心轴线，防止钢梁框架扭曲、偏离。一旦发现不正确时则应及时调整。桥梁轴线偏差精度为±5mm，两箱形主梁轴线偏差±1mm。箱梁拼装扭转偏差±1mm。

3.钢主箱梁拼装时宜尽量左、右、前、后对称进行。拼装用的冲钉其直径应比螺栓孔眼设计直径小 0.2mm，其中间圆柱段应大于板束厚度。冲钉可用 45 号碳素结构钢制造。

19.4 拉 索

拉索的材料性能和技术标准是拉索质量的前提和关键。拉索的主要力学性能应符合表 19.4 的要求。

在斜拉桥设计中，斜拉索的设计应力多在 0.35R~0.45R 间选用，采用的疲劳安全系数为 1.5，即设计应力幅值不超过试验应力值的 2 / 3（引自林元培《斜拉桥》）。锚杯、锚板、螺母、垫块等锚具类受力件钢材，必须选用优质钢材制造，其技术条件应符合 GB699 或 GB307。对于锻钢尚应符合 YB3207 的规定（引自《城镇建设》（CJ3058—1996））。

表 19.4 拉索的主要力学性能

拉丝类别	单丝类别	单丝				拉索				
		静载		动载		静载			动载	
		公称强度 R(MPa)	极限延伸率 (%)	应力上限 (MPa)	应力幅 (MPa)	效率系数	极限延伸率 (%)	弹性模量 (MPa)	应力上限 (MPa)	应力幅 (MPa)
平行钢丝索	钢丝	1570	4.0	710	300	0.95	2.0	2.0×10 ⁵	710	200
半平行钢丝索	钢丝	1570	4.0	710	300	0.95	2.0	1.95×10 ⁵	710	200
	钢绞线	1860	3.5	840	200		2.0	1.90×10 ⁵	840	160
平行钢绞	钢绞线	1860	3.5	840	200	0.95	2.0		840	160

线索	圆形	1470	4.0			0.9	2.0	1.85×10^5	840	150
半平行钢绞线索	梯形Z形					5		1.85×10^5		
封闭式钢缆						2				
加载次数为 2×10^6 次										

20 桥面及附属工程

20.1 一般规定

20.1.3 梳形钢板伸缩装置，板式橡胶伸缩装置，如果锚固不牢时，前者由于螺栓的脱落会发出较大噪声，后者的橡胶块会松动脱落。梳形钢板伸缩装置缝易夹进杂物，应当经常清扫，保持干净，增加耐久性。

20.2 支 座

20.2.1 板式橡胶支座在安装前的全面检查和力学性能检验，包括支座长、宽、厚、硬度（邵氏）、容许荷载、容许最大温差以及外观检查等，如不符合设计要求时，不得使用，否则以后更换支座很麻烦。

橡胶支座顶面或底面应与梁底或墩台顶密贴，使支座全面积承受上部构造传递的竖直荷载，以符合设计要求。

20.2.2 盆式橡胶支座的顶板与底盆底板是钢板，必须用焊接或栓接与梁底预埋钢板和墩顶预埋钢板连接上，条文规定了焊接或栓接应注意的事项。锚碇螺栓外露螺杆的高度不得大于螺母的厚度，否则支座内部滑动部件会因螺栓的障碍而安装不进去。

盆式橡胶支座顶、底面积及压力均较大，浇筑支座底面钢垫板处墩顶混凝土时，必须有特殊措施，使垫板下混凝土能灌筑密实。

盆式橡胶支座的聚四氟乙烯板与不锈钢板的滑动面和密封在钢盆内的橡胶垫块都不能有污物和损伤，否则将影响支座质量，增大摩擦系数。钢盆内密封胶块安装时要排气密贴，以保证支座的承压能力。

20.3 伸缩装置

20.3.1 梳形钢板伸缩装置具有耐久性好，不易变形腐蚀，行车也比较平稳的优点，但也存在缺点，如钢板不易焊牢，锚固不强，有较大漏水现象，钢板松动后，车辆行驶发出较大噪声，缝内夹进杂物时活动异常等。要锚固得当，增加锚固板和锚固环，在齿板底部设置止水橡胶带，既增强锚固，又达到了止水效果。齿缝填充延伸率较大的阳离子乳化沥青，效果更好。

20.3.2 橡胶伸缩装置在安装前应做全面检查和材料性能检验，包括长、宽、厚、硬度（邵氏）、成品解剖检验证明等。与橡胶支座胶料相比，增加了耐水性、耐油性能要求，因伸缩装置处于桥梁表面，对水、油、尘土污染与橡胶相比更严重。

对于板式橡胶伸缩装置的成品解剖检验，以检测生产过程中钢板和角钢等预埋位置是否按照设计图纸位置安放准确。因为在实际应用中，发现有的工厂加工

的板式伸缩装置,解剖后其预埋钢板、角钢等构件位置不准,钢板偏斜严重,钢板间胶层允许变形达不到设计要求,再加上施工质量不好,使用后造成严重破坏,故必须进行成品解剖检验。

伸缩装置应在工厂组装,并按照施工单位提供施工安装温度定位,固定后出厂,若施工安装时温度有变化,一定要重新调整定位后安装就位。

20.3.3 模数式伸缩装置的橡胶件,一般起防水、防尘、密封等作用。模数式伸缩装置必须在工厂组装,按照用户提供施工安装温度定位,固定后出厂,若施工安装时温度有变化,一定要重新调整定位后再安装就位。

20.3.4 填充式伸缩装置,癸汀类粘弹性结合材料的特点是在高频的作用下(如冲击、振动)呈现的是高弹性,在低频作用下(如温度作用下的伸缩、自然状态下的徐变)则呈现的是可塑性,就物理性能而言其优于沥青。主要用于伸缩量小于50mm的各种桥梁接缝,对一般公路和高等级公路上占绝大多数的中、小桥,立交通道桥等均适用,对多孔大桥可划分多联,铺设多道接缝或采用多孔简支梁,不做桥面连续,每墩顶接缝均做成弹性接缝也是可行的。

美国 D.S 布朗公司用 502 与骨料结合,做成弹塑体填充式伸缩缝,其位移量也是 $\leq 50\text{mm}$,方法与效果类似 TST 粘弹性结合材料。

20.3.5 将复合改性沥青加热溶化,将石料加热至 $180\sim 200^{\circ}\text{C}$,按 2:1 比例将复合改性沥青和粗石料拌制成粗混合料,按 4:1 比例将复合改性沥青和细石料拌制成混合料。

20.4 沉 降 缝

20.4.1 沉降缝是防止装配式拱桥拱圈上的侧墙、护拱、缘石等(包括涵洞、挡土墙等构造物的)不均匀沉降发生不规则裂纹而设的(使裂缝限制在沉降缝处)。要求缝宽变化或缝两边结构上下错动时能保持其防水效能。沉降缝中的材料、结构和施工工艺均应按设计规定办理。

20.8 桥面防护设施

20.8.2、20.8.3、20.8.4 桥面人行道和栏杆等,一般悬装在翼缘板之外,故必须在主梁已经横向联接稳定之后方可安装。构件重心设计在底层结构外缘之内的人行道板,必须采取由里向外的次序铺设,防止倾覆。其他应注意事项详见条文的规定。

21 涵 洞

21.1 一般规定

21.1.1 涵洞开工之前的现场核对工作,主要是位置、数量问题,山区涵洞可能还有孔径问题。在平原区农业方面提出的问题,一般是变更位置,增加数量的情况较多,可根据实际情况,查核设计单位与当地农业部门的协议书,如确需变更设计,可按有关规定办理。

21.1.2 设计单位提供的涵洞图纸,一般只包括涵位布置图和涵洞表,在地形简单、地势平缓地区的涵洞,施工单位可按上述资料和涵洞标准图放样施工。但遇到条文所述的各类涵洞,其构造和涵台、涵墙、翼墙等各部分尺寸、形状比较复杂,如设计单位未提供施工详图时,施工单位应自行绘制,再按图放样施工。

21.1.4 为了防止涵洞地基发生不均匀沉陷时基础、涵身产生裂缝而漏水,《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ022)规定涵长每 4~6m 设置沉降缝,缝内用沥青麻絮或其他具有弹性的不透水的材料填塞,这样可约束涵洞的不均匀沉降于沉降缝处。沉降缝内填塞有沥青麻絮等具有弹性和不透水的材料,虽发生变形仍不漏水,因此要求沉降缝处的基础与涵身应全断面贯通,上下不得交错,否则就失去了沉降缝的作用。对于高路堤下的涵洞,在路基边缘下的涵身及基础,也应该设置沉降缝。

21.1.5 为了防止雨水从路基中浸入涵洞结构,影响结构寿命和安全,对设计上规定铺设的防水层,必须严格保证其工程质量,因一旦发生质量问题,补救是很困难的。

21.1.6 涵洞有填方路堤涵洞和挖方路基涵洞两种。涵洞两侧缺口回填土很重要,回填土土质不良、压实度不足时,将严重影响行车舒适,其中挖方路基涵洞两侧回填土如有沉陷,影响更大,故须严格按本条执行。涵洞顶上通过筑路机械所需的最小填土厚度,原规范规定为 0.5m,考虑所需最小厚度与筑路机械的重力大小有关(目前国内外推土机最重的已达 300~600kN),原规定的最小厚度 0.5m 遇较重的筑路机械通过,可能会影响涵洞安全,故条文修订为 0.5~1m,按筑路机械重力大小掌握。

21.1.7 涵洞进出口水流不畅,将降低涵洞的宣泄能力,增加涵前雍水高度,扩大淹没区面积,或迫使河流改道损害路堤、农田、村舍等。出水口水流受阻,还将使涵身淤塞。

21.2 管 涵

21.2.1 1 管节端面与其轴线垂直的要求很重要,应在预制时严格掌握,否则在安装时管节接缝难以满足要求。斜交管涵进出口管节的外端面处理方法目前有①按斜交角度特制斜交管节;②斜涵正做,即管节端面不做任何处理,管节大部分斜伸出涵洞端帽石路基边坡之外;③管节外端面也不做处理,但管节全部不伸出路基边坡外,管节两侧另加砌长度不同的涵台,涵顶伸出管节部分现灌梯形钢筋混凝土盖板,涵洞帽石与路基边坡贴合。上述 3 种方法各有优缺点,可同有关方面商定处理方案。

21.2.1 3 规范表 21.2.1 规定圆管成品偏差,主要是控制管壁厚度不匀的偏差。在采用振动制管法时,有时因内模未固定好,灌筑混凝土振捣时内模移动,因而发生管壁厚度不匀。

21.2.1 5 按照一些标准图,填土高度无论大小,其同一内径的涵管管壁厚度均相同,只是配筋数量不同,因此在该管节混凝土灌筑完毕拆除外模以后,必须在管节外壁用油漆注明该管节适用的管顶填土高度,并将适用于管顶填土相同的管节堆置在一处。这样,取用时方便,且不易弄错,防止发生低填土管节用于高填土处而被压裂的事故。

21.2.3 不论涵管是搁置在混凝土、砌体基础或天然地基上,都要求管座混凝土或填土弧形管座表面与管身密贴,这样可使管节受力均匀。设置密贴的管座,可使地面与涵洞顶的距离 h 值减小,因而按填土重对于涵洞的竖向压力计算公式 $P = \gamma_0 DC_H$ 检验时, C_H 值随 h 值减小而减小。即减小了填土重对涵洞的竖向压力。例如对填土 4.8m、内径 1m 的管涵,不设弧形管座的比设管座的将增加竖向压力 12.7%。若填土较高,内径较大时,增加压力百分比更大些。

21.2.4 过去曾发生过预制为低填土的管节安装在高填土处的情况,使管节多处发生裂缝,故规定取用时应严格检查。原规范规定对接管接缝宽度不应大于 10mm,根据实际经验,由于预制管节端面不易与轴线完全垂直以及端模板粗糙不平整等原因,要求接缝宽度不大于 10mm 很难做到,而且因接缝太窄塞缝料也不易填塞进去,现修订为 10~20mm。过去曾有任意加大管节接缝宽度以满足涵洞长度不足的做法,这种做法是不好的,因接缝太宽,塞缝料不易嵌紧,易漏水。有些改用水泥砂浆塞缝也不好,因它是无弹性材料,涵洞稍有不均匀沉降,即开裂漏水。

21.3 拱涵、盖板涵

21.3.1 1 跨径<5m 的拱式过水构造物称为拱涵。因为拱涵跨径小,拱圈施工应按拱的全宽全厚自两侧拱脚对称地向拱顶进行,在拱顶处合龙,不应由一侧砌筑至另一侧。

21.3.1 2 现场灌注拱圈和盖板混凝土应按沉降缝分段,按照本条第 1 款的顺序从两侧向中间广次连续进行,不留施工缝。

21.3.2 采用全填土胎施工的条件是干旱性沟渠,从施工开始到拱圈或盖板完工期间,不会发生洪水冲毁土胎。此外还应对土胎法与组合钢模板法进行技术经济比较,然后确定优选方案。

21.3.5 预制安装盖板时发生上下方向错误,或斜交盖板发生斜交角方向错误的事故,过去时有发生,故条文提示应注意避免。

21.4 倒虹吸管

21.4.1 倒虹吸管适用于路堤高度很低,不能修建明涵处;或因灌溉需要,必须提高渠底,建筑架空渡槽又不能满足路上净空要求处。倒虹吸管在过水时,压力水流充满管内,容易渗漏至路基中,而影响路基的稳定和强度,故要求管节接头及进出水口砌缝应特别严密,不漏水。

21.4.2 倒虹吸管一般不宜在冰冻期施工,当必须在冰冻期施工时,应将管内积水排出,否则管内积水结冰后体积膨胀,将会使涵管冻裂。

22 通道桥涵

22.1 桥涵的顶进施工

22.1.1 铁路加固一般可采用吊轨梁法、吊轨横梁法、吊轨加纵横梁法、钢轨束梁法、工字钢束梁法及钢板脱壳法等,应按以下原则选择加固形式:

顶进桥涵跨径小于 2m,顶入位置处于线路直线段,运输车辆少、路基填土密实、覆土厚度在 3m 以上时,可不进行线路加固,但应限速通过,并设专人监视;

顶进桥涵跨径大于 3m 小于 8m,覆土厚度 1m 以上时,可采用钢轨束梁法或工字钢束梁法加固,或采用钢板脱壳法和吊轨梁等法加固;

顶进桥涵跨径大于 8m,顶上又无覆土或覆土很薄时,可采用吊轨加横梁法或吊轨加纵横梁法加固。

顶进方法如下:

整体顶进法。即一般常采用的由路堤一侧将桥涵全长顶入另一侧的方法。

对顶法。对顶法是由路堤两侧同时或先后由各自一侧向另一侧顶入，在路堤中部合龙。这种顶进法，可缩短顶入长度，减少顶入总阻力，但应注意防止对接点错位。

中继间法。中继间法是将小桥涵分成数节，增设节间千斤顶，使之交替顶入。即前节桥涵利用后节作后背反力，用中继间的千斤顶顶进。当其达到最大冲程后，前节暂停顶入，而进行后节的顶入，这样，后背的最大反力仅为最后一节小桥涵的顶力，可减小后背工程和设备的受力强度。

对拉法。对拉法是在路基两侧工作坑内各预制半节小桥涵，然后利用小口径管顶管法，将高强钢丝束或拉杆穿越路基，两端连上两个事先预制的半节小桥涵，互为地锚，对拉穿越路基，直到对接。只要用作地锚的两个半节小桥涵事先经过验算，有足够的稳定性，一般是能够成功的。

多箱分次顶进法。多箱分次顶进法，亦称多次顶进法。此法是将预制的多孔箱涵，逐次分孔顶入路基，避免两孔或多孔同时顶入，以减小后背反力和缩短箱涵顶面加固路基的长度。

顶拉法。顶拉法是将整座箱涵分为若干节，用通长拉杆串连，根据中继间的原理，以前后节箱涵互为后背，交替逐节顶拉，做到不设固定后背而将箱涵顶拉进入路基就位。

牵引法。牵引法是在计划埋设结构位置的路基一侧，设置特殊的张拉千斤顶，用千斤顶拖动穿过水平钻孔的钢绞线，通过钢绞线将置于另一侧的结构物拉入路基就位的方法。

22.1.2 3 3) 特别是采用整体顶入法或对顶法顶入时，滑板表面应平顺、光滑，摩擦系数小。桥涵分节较大、较重时，还可设置钢滑道，以减小摩阻力。

22.1.2 3 4) 为防止在桥涵顶入启动时将滑板一起带走，还要求滑板底面粗糙或设锚梁，以保证滑板的稳定性。

22.1.2 3 5) 桥涵顶入过程，其前端常有向下扎头（倒栽头）倾向，故宜将滑板改成前端高、后端低的仰坡。仰坡大小原规范规定为 1%左右，经验证明太小，现改为 3%左右。有些工地仰坡用到 5%。仰坡可视桥涵设计纵坡、土质和刃脚前的挖土等情况，加以综合考虑。

22.1.2 4 后背承受桥涵顶入时的水平顶力，位于工作坑后部，它虽是临时构造物，但必须安全可靠，满足强度和稳定性的要求。后背一般可选用板桩式（钢板桩或型钢）、重力式或拼装式等，对所需顶力小的顶管亦可采用原土后背。

1. 后背的强度计算应考虑以下两点：

顶入前，后背应能承受其后填土的水平推力（主动土压力）。

顶入时，板桩式后背由桩后土的水平抗力（被动土压力）承受全部千斤顶的顶力；重力式后背则由结构自重与土的摩阻力及部分土的抗力承受顶入时的顶力。

桥涵顶入时所需的顶力必须克服桥涵重力产生于滑板上的摩阻力、周围土的摩阻力及前刃角切土时的阻力。顶力可按下式进行计算：

$$P=k[N_1f_1+(N_1+N_2)f_2+2Ef_3+RA]$$

式中：P——最大顶力（kN）；

N_1 ——桥涵顶面上的荷载（包括线路加固材料重力）（kN）；

f_1 ——桥涵顶面与其上荷载的摩擦系数，由试验确定，无试验资料时，可视顶面润滑处理情况，采用下列数值：涂石腊为 0.17~0.34，涂滑石粉浆为 0.30，

涂机油调制的滑石粉浆为 0.20, 覆土较厚时用 0.7~0.8;

N_2 ——桥涵重力 (kN);

f_2 ——桥涵底面与基底土的摩擦系数, 由试验确定, 无试验资料时, 视基底土的性质可采用 0.7~0.8;

E ——桥涵两侧土压力 (kN);

f_3 ——侧面摩擦系数, 由试验确定, 无试验资料时视土的性质可采用 0.7~0.8;

R ——土壤对钢刃角正面的单位面积阻力, 由试验确定, 无试验资料时视刃角构造、挖土方法、土的性质对细粒土为 500~550kPa, 对粗粒土为 1500~1700kPa;

A ——钢刃角正面积 (m^2);

k ——系数, 一般采用 1.2。

2.重力式后背墙的设计与施工可按一般砌体或混凝土挡墙进行, 但应考虑桥涵顶入时所承受的反力, 并使土体的静土压力线与顶力作用线一致。

3.板桩后背墙一般按顶端锚碇板桩进行设计。可根据地形、地貌及设备情况采用埋桩或打桩, 但必须使千斤顶的施力点与墙后被动土压力的合力点一致, 当发生最大顶力时, 保持板墙稳定。

4.与滑板联为整体的后背, 其设计顶力应从桥涵的最大顶力减去滑板的抗滑力。

5.后背施工时应注意下列事项:

(1) 如后背与滑板设计为整体时, 混凝土应连续浇筑, 不留施工缝;

(2) 在浇筑后背梁混凝土时, 后背梁与板桩或后墙之间应设置隔离层, 以利竣工后板桩或墙的拆除;

(3) 拼装式后背的预制块和预制桩宜在工厂集中预制, 后背的垫层用浆砌片石或填筑砂石等, 垫层后的填土应分层夯实;

(4) 后背梁采用横顶铁时, 应使接触面保持平直, 不得有空隙, 并须垂直于桥涵中线。

6.以工作坑壁原土做顶管后背时, 应符合下列要求:

(1) 计算原土后背横排方木面积时, 应满足顶力所需的土的容许承压应力, 若缺乏试验资料时, 对一般土质, 可按不超过 150kPa 考虑;

(2) 方木应置于工作坑以下一定深度, 使千斤顶的着力点约在方木高度的 2/5 处;

(3) 后背土壁应铲修平整, 并使设置横木处的壁面与管道顶入方向垂直。

22.1.3 1 预制的桥涵尺寸, 允许前端保持正偏差, 后端保持负偏差 (如同沉井尺寸上口应比下口稍小一点), 顶入时, 只要桥涵前端通过后, 顶入阻力就可减小。为了减小顶入阻力, 预制桥涵的模板应采用钢模板或内壁光滑、不漏浆的模板, 以保证预制构件表面光滑。

22.1.4 5 本条规定系根据管涵一般管径不会太大, 管顶土体为圆弧形, 短期内悬空不易塌陷而提出的, 但应注意土质、水文情况, 按规定控制超挖量, 并在超挖后及时顶入。

22.1.4 6 桥涵顶入过程中, 常常会发生左右偏差或上下偏差 (偏高或偏低), 严重时难以纠正, 因此纠偏工作在顶入桥涵施工中是一项重要工作。要点是勤观测, 及时纠正。下面介绍几种偏差调整方法。

1.左右偏差的调整

(1) 挖土校正法：即在刃角前一侧或桥涵设计中线的一侧适当超挖，而另一侧不挖或少挖，形成两侧的阻力不同，使桥涵在顶进中逐渐回到设计位置。

(2) 千斤顶校正法：用增减一侧千斤顶顶力或数量进行调整。

2. 偏高的调整

(1) 如因底刃角向上翘，边刃角向里翘，可适当调整刃角高度；

(2) 如因底刃角前端超挖略高于底板，须逐渐调整；

(3) 如因挖土不够宽、吃土量过大而抬高桥涵时，可在两侧适当超挖。

3. 偏低的调整

(1) 使边刃角增加向里翘的角度，底刃角增加向上翘的角度；

(2) 如因土质松软造成扎头现象时，可换铺 0~39cm 厚石料，边铺边顶进，必要时亦可灌注早强或快硬混凝土。

22.1.4 7 顶入作业应连续进行的要求很重要，如果长期停顿，工作坑可能被水浸泡而使土基承载力降低，且顶入阻力也会较大地增加。

22.1.4 8 顶入桥涵节间的防水处理，原则上是按设计要求进行，一般采用沥青麻筋和水泥砂浆填塞，装橡胶止水带，再做防水混凝土层；或在接缝周围填入普通胶管，用桥涵最后一顶力将缝挤紧，然后在缝内塞沥青麻筋，用水泥砂浆将缝填平，再做防水层。

现行公路工程标准、规范、规程一览表

现行公路工程标准、规范、规程一览表

序号	名称	序号	名称
1	(JTJ001-97) 公路工程技术标准	32	(JTJ051-93) 公路土工试验规程
2	(JTJ002-87) 公路工程名词术语	33	(JTJ052-2000) 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
3	(JTJ003-86) 公路自然区划标准	34	(JTJ053-94) 公路工程水泥混凝土试验规程
4	(JTJ004-89) 公路工程抗震设计规范	35	(JTJ054-94) 公路工程石料试验规程
5	(JTJ005-96) 公路建设项目环境影响评价规范 (试行)	36	(JTJ055-83) 公路工程金属试验规程
6	(JTJ/T006-98) 公路环境保护设计规范	37	(JTJ056-84) 公路工程水质分析操作规程
7	(JTJ011-94) 公路路线设计规范	38	(JTJ057-94) 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
8	(JTJ012-94) 公路水泥混凝土路面设计规范	39	(JTJ058-2000) 公路工程集料试验规程
9	(JTJ013-95) 公路路基设计规范	40	(JTJ059-95) 公路路基路面现场测试规程
10	(JTJ014-97) 公路沥青路面设计规范	41	(JTJ/T060-98) 公路土工合成材料试验规程
11	(JTJ015-91) 公路加筋土工程设计规范	42	(JTJ061-99) 公路勘测规范
12	(JTJ016-93) 公路粉煤灰路堤设计与施工技术规范	43	(JTJ062-91) 公路桥位勘测设计规范
13	(JTJ017-96) 公路软土地基路堤设计与施工技术规范	44	(JTJ063-85) 公路隧道勘测规程
14	(JTJ018-97) 公路排水设计规范	45	(JTJ064-98) 公路工程地质勘察规范
15	(JTJ/T019-98) 公路土工合成材料应用技术规范	46	(JTJ065-97) 公路摄影测量规范
16	(JTJ021-89) 公路桥涵设计通用规范	47	(JTJ/T066-98) 公路全球定位系统 (GPS) 测量规范
17	(JTJ022-85) 公路砖石及混凝土桥涵设计规范	48	(JTJ071-98) 公路工程质量检验评定标准
18	(JTJ023-85) 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范	49	(JTJ073-96) 公路养护技术规范
19	(JTJ024-85) 公路桥涵地基基础设计规范	50	(JTJ073.1-2001) 公路水泥混凝土路面养护技术规范
20	(JTJ025-86) 公路桥涵钢结构及木结构设计规范	51	(JTJ073.2-2001) 公路沥青路面养护技术规范
21		52	
22		53	

23	(JTJ026-90) 公路隧道设计规范 (JTJ026.1-1999) 公路隧道通风照明设计规范 (JTJ027-96) 公路斜拉桥设计规范 (试行)		(JTJ074-94) 高速公路交通安全设施设计及施工技术规范 (JTJ075-94) 公路养护质量检查评定标准
24 25 26 27 28 29	(JTJ032-94) 公路沥青路面施工技术规范 (JTJ033-95) 公路路基施工技术规范 (JTJ034-2000) 公路路面基层施工技术规范 (JTJ035-91) 公路加筋土工程施工技术规范 (JTJ036-98) 公路改性沥青路面施工技术规范 (JTJ037.1-2000) 公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范	54 55 56 57 58 59	(JTJ076-95) 公路工程施工安全技术规程 (JTJ077-95) 公路工程施工监理规范 (JTJ0901-98) 1: 1000000 数字交通图分类与图式规范 GBJ22-87 厂矿道路设计规范 GB50092-96 沥青路面施工及验收规范 GBJ97-87 水泥混凝土路面施工及验收规范
30 31	(JTJ041-2000) 公路桥涵施工技术规范 (JTJ042-94) 公路隧道施工技术规范	60 61 62	GBJ124-88 道路工程术语标准 GB5768-1999 道路交通标志和标线 GB50162-92 道路工程制图标准