

文章编号: 0451-0712(2006)12-0032-06

中图分类号: U445.467

文献标识码: B

京杭运河大桥主拱肋预制拼装施工工艺

倪建华¹, 王颖², 胡胜来¹, 罗涛²

(1. 安徽省港航勘测设计院 合肥市 230011; 2. 北京华宏路桥咨询监理公司 北京市 101113)

摘要: 介绍京杭运河大桥钢管混凝土主拱肋节段预制和节段在支架上拼装的施工工艺, 及施工质量验收检验技术的主要参数。

关键词: 京杭运河大桥; 钢管混凝土拱桥; 主拱肋预制; 拼装; 施工工艺

1 工程简介

京杭运河大桥是连云港~徐州高速公路中的一座大型桥梁, 桥梁全长为2 577 m。主桥结构体系为自锚式钢管混凝土中承式系杆拱桥, 由3跨组成, 2边跨为钢筋混凝土主拱肋构成的上承式拱桥, 边跨跨径为57.5 m, 主孔跨径为235 m, 主桥全长为350 m。主拱肋向桥轴中心线倾斜, 倾斜角度为80.066°, 两主拱肋在主桥中心处净距为16 m, 拱脚处拱肋中心净距为36.579 m, 主拱肋每肋为4根 $\phi 850$ 钢管混凝土构件。拱肋间设置9道横撑联系, 其中两侧为“K”形横撑, 每道横撑为空钢管构成的格桁式梁。主桥总体布置如图1所示, 主拱肋横截面如图2所示。

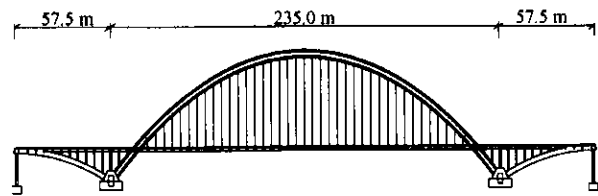
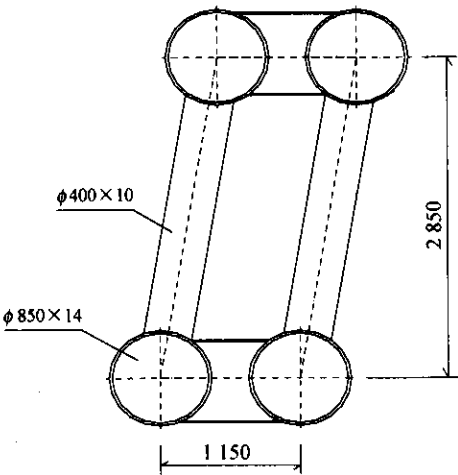


图1 主桥总体布置

桥址处河水面宽为240 m, 正常水深为6.5 m, 常年水位标高为22 m。多年径流流量为14.1 m³/s。叠燕式提篮钢管混凝土系杆拱桥, 本身施工具有相当大的难度, 又加上桥址处于大运河段为邳州市和苏北地区水上航运繁忙的人工主干道, 在桥梁施工期间不能长时间中断河道通航, 对大桥的施工增加了一定的难度。本文介绍了主拱肋节段的预制施工工艺, 对在不中断通航的条件下所采取的拱



单位: mm
图2 主拱肋横截面

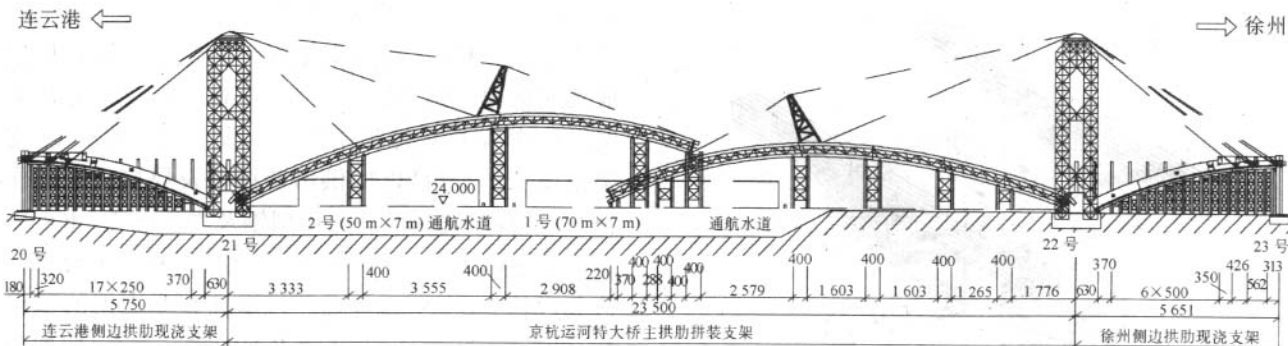
肋拼装施工工艺做了较详细的介绍。

2 主拱肋预制

2.1 主拱肋拼装节段划分

通过对主桥竖转施工方案, 桥址处的实际地质地貌, 运河的通航要求和施工设备吊装能力的综合考虑, 共设计了10道组拼支架用于拱肋的整体拼装。主拱肋按照施工需要共划分了30个长度不等的桁架节段在工厂内预制, 到现场后共为26个节段(含合龙段和拱座预埋段)和9道横撑, 其中20个节段拱肋和8道横撑需要在支架上完成拼装。具体布置如图3所示。

2.2 主拱肋节段预制



单位:cm

图3 节段拼装布置

钢管拱肋预先在工厂分段制作,然后运至施工现场拼接安装。

(1) 加工工艺流程。

号料→切割→边缘加工→卷管→焊接(纵缝、并超声波检测)→矫圆→拼接(接长对接环缝)→超声波检测及X射线拍片→热弯→组装(焊成节段、超声波检测及X射线拍片)→试拼(各吊装节段间试拼)→涂装及封端→起吊、装船、运输。

(2) 拱肋加工质量控制要点。

①焊接工艺:拱肋的管节纵缝、对接环缝、缀板的对接横缝均采用全熔透焊,自动焊。

②无损检测:所有焊缝均需100%的进行超声检测,对T形焊缝及超声检测认为有问题的均应用X射线拍片,且拍片数量控制在20%左右,焊缝质量达到GB50205—95的二级要求。对焊缝的无损检测应在焊接24h后进行,以避免延迟裂缝的漏判。

③小管节下料要考虑一定的焊接收缩量,一般按管节长度的1%计算。

④小节加工时,卷管方向与钢板压延方向一致,且保证管端平面与管轴线垂直。

⑤小管节拼装成长的节段时,管节的纵向焊缝要互相错开20cm以上,且尽量使焊缝在缀板混凝土的范围之内,缀板的横向焊缝与该管的环缝错开100cm以上。

3 主拱肋拼装施工

3.1 主拱肋吊装设备

主拱肋桁架节段的水上最大组拼安装重量设计为92t,陆上最大组拼安装重量设计为50t,分别采用如图4所示的JDL—110T型浮吊和ZYH—26H44W—55T型龙门吊机进行安装调位。

3.2 主拱肋拼装施工

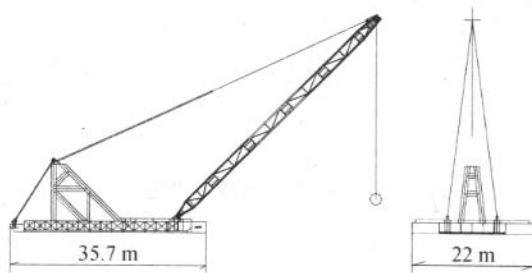


图4 浮吊

主拱肋节段的组拼采用先在21号墩和22号墩之间根据设计位置搭设支架平台,然后用浮吊(水中)和龙门(徐州岸)将各拱肋节段吊至支架平台上,并对各拱肋节段进行调整,使之符合设计线形位置,之后利用支架平台提供的操作空间对各拱肋节段接头施焊连接形成整体。平台支架的搭设和各拱肋节段(包括各类横撑及C横梁)吊装均按吊装顺序进行。

拼装支架结构见图5所示。

3.2.1 21号、22号墩转体活动铰支座安装

(1) 活动铰支座安装基本情况。

活动铰支座是活动铰与拱座间的连接构件,在竖转过程中,此处的受力较为复杂,根据主拱肋竖转施工的要求,活动铰支座的定位精度要求很高。活动铰的外形尺寸为:长2.60m,宽0.76m,高0.46m,重约4t。经过方案分析比较,采用全站仪放点,油压千斤顶配合,定位螺杆精调就位的方法进行活动铰支座的安装施工。转体活动铰结构见图6所示。

(2) 活动铰支座构件进场验收及支座安装。

活动铰支座进场后需对外形尺寸,支座弧形板的光洁度、椭圆度、平整度及构件中各部位间的相对位置等进行测量验收,以便在安装定位中将加工误

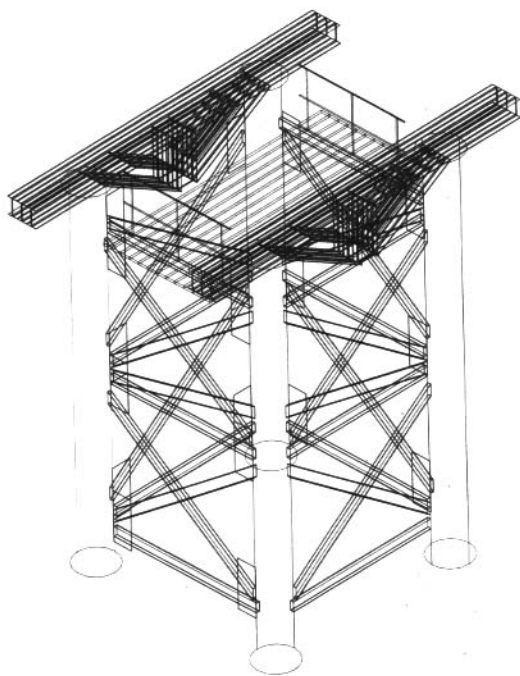
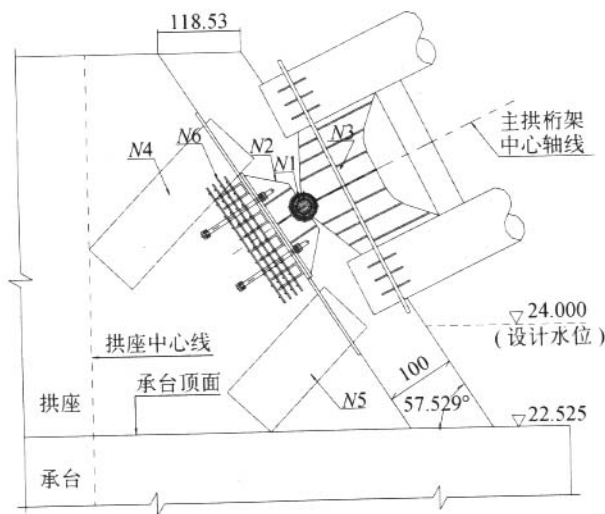


图5 拼装支架结构简图



N1 为活动铰转动轴;N2 为活动铰支座;N3 为桁架活动铰;N4 为拱座下弦杆预埋钢管;N5 为拱座上弦杆预埋钢管;N6 为活动铰支座防裂钢筋网

单位:cm

图6 转体活动铰结构简图

差考虑进去,尽量避免误差累积;活动铰支座的定位按全站仪放点,油压千斤顶配合定位螺杆精调就位的方案施工,定位后单个承台误差不超过 1 mm,上下游承台之间误差不超过 2 mm。

3.2.2 支架搭设

搭设连云港岸 1 号、2 号支架,承台顶支架和徐州岸 10 号、9 号、8 号支架,同时安装定位楔形块并

进行徐州岸龙门的拼装。支架均由 4 根 $\phi 850 \times 8$ 钢管桩作承重立柱(承台顶支架除外),通过型钢连接组成单元格构,格构尺寸为 $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,桩顶设 1 号桁架梁 2 根,桁架梁设计跨径为 5 m,设计荷载为 80 t。支架顶设工作平台,以提供吊装调整及焊接时的操作空间。平台根据现场情况用型钢及木板加工,木板表面应铺薄钢板,防止割焊作业时引燃木板。平台设计荷载应按 2.0 kN/m 考虑。为增加整个支架的稳定性,可将原设计中 1 号、2 号支架的横向联系(即剪刀撑)起始位置由离原设计最高水位 1 m 距离开始,调整到从实际常水位开始,从而减小支架的自由高度。另外,在 1 号拱肋节段放置在支架上后,应在 1 号支架上拉结 2 根风缆至 21 号承台,以防止支架产生纵桥向的水平位移。抗风缆只设在 1 号支架上,其余支架上不设。承台顶支架采用 2 根 $\phi 850 \times 8$ 短钢管桩支撑,并用槽钢与拱座预埋件连接固定。钢管底部铺钢板后直接支撑于承台上,顶面设分配梁。支架搭设完毕吊装拱肋前,应根据设计坐标安装好拱肋定位楔形支座,支座实际位置应根据设计位置分别在标高和宽度方向预留 $2 \sim 3 \text{ cm}$ 的调节余地,支座与桁架梁焊接固定。

徐州岸侧上拱肋拼装施工见图 7 所示。

徐州岸龙门支架采用甲型万能杆件拼装,支架宽 4 m,高 27 m,拼装要求依据钢脚手架施工手册要求,注意轨道及平车的安装,在拼装龙门立柱时,应斜向布设八字抗风缆绳。

3.2.3 1 号拱肋节段安装及调节

拱肋节段由预制单位加工,通过船运抵达施工现场。拱肋节段到达现场后,首先组织有关技术人员进行检查,特别是拱脚竖转活动铰部位应详细检查,看其是否在航运中有损坏,是否满足设计要求。另外还应检查吊点位置及测量观测点布设是否正确。测量点应有醒目标记及编号,以免施工时弄混出错。其次,在吊装前应完成浮吊的试吊和调整完善工作,使浮吊始终处于良好的工作状态,确保施工安全。

完成上述工作后,即可进行载运钢管拱肋节段驳船的定位作业。定位时先做粗略定位,将驳船大致停在钢管拱肋吊装位置的附近,然后由拖轮顶推船体转向,使船体长度方向与桥轴线方向一致并靠近 1 号支架后挂好拉缆,最后通过绞锚和调整拉缆等予以精确定位与固定。驳船定位于 1 号支架钢管的外侧,定位时应防止碰撞支架钢管。固定后浮吊就位,开始起吊拱肋节段。在起吊前应对吊点、吊钩、扁

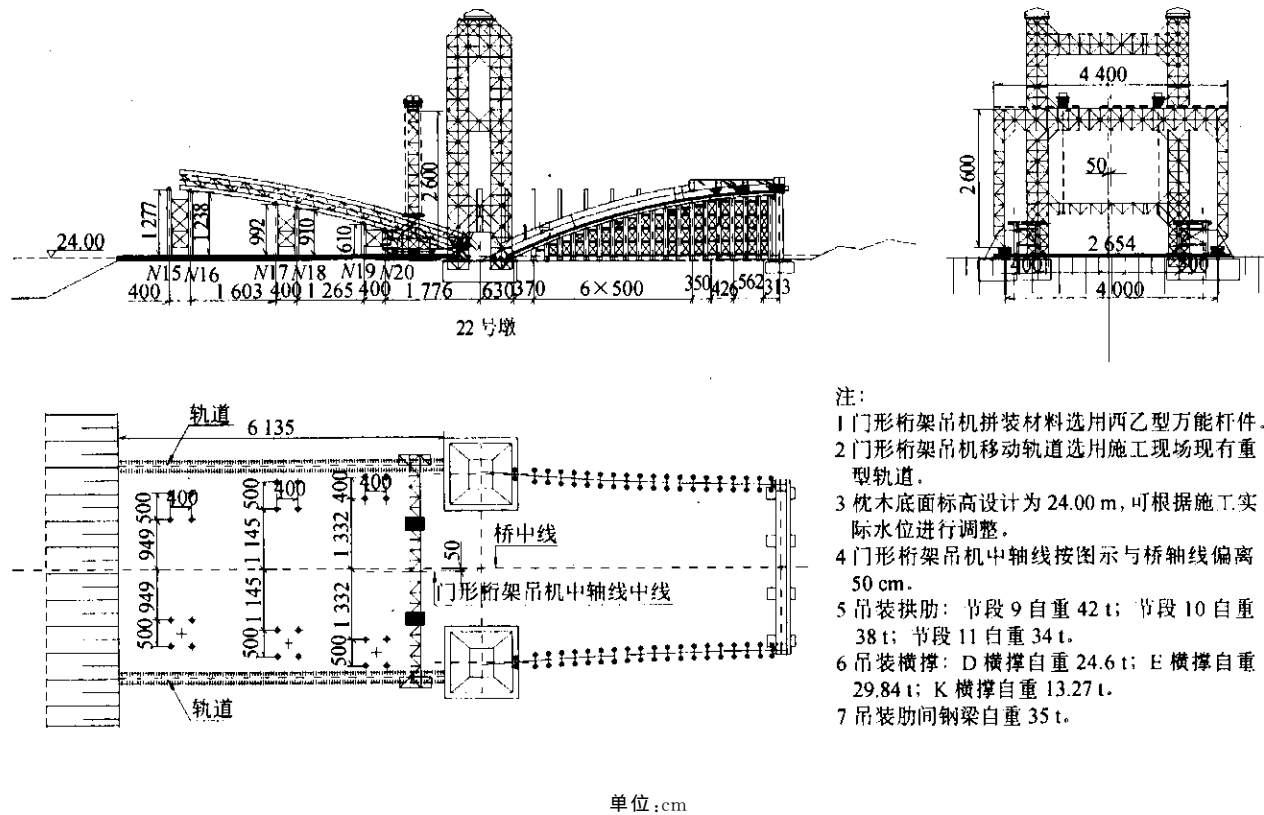


图 7 徐州侧岸上拱肋拼装施工作业总体布置

担梁、钢丝绳、脚手及其他工具等方面进行检查,符合要求后方可起吊。拱肋节段吊点在工厂安装,由吊耳及加劲板组成并焊于两上弦管顶面,两吊点间距为 20.117 m。考虑到拱肋节段在卧拼状态下拱脚处低,1 号支架端高,因此在起吊前应通过计算确定起吊钢丝绳的长短,使拱肋节段吊起后基本呈就位后的角度,起吊钢丝绳长度的计算可根据吊点定位布置图中吊点位置、拱肋卧拼状态及保证吊起后钢丝绳与两吊点间连线的最小夹角不小于 60°来确定。

起吊拱肋节段时,先吊离支承面约 10~20 cm 后停止,检查无误后再继续起吊,起吊应保持平稳、均匀、缓慢及对称进行。拱肋吊起一定高度后驳船立即离开。继续起吊直到高出支架顶楔形块高度后(高出约 40~50 cm 为宜),通过收紧浮吊上的拉缆使之吊住拱肋段向定位处慢慢靠近,当拱肋节段处于 2 端支架顶楔形块正上方时,固定住浮吊位置,之后徐徐下吊钩将拱肋节段置于楔形块内。考虑到 1 号拱肋节段倾角及重量较大且受到 N3 件的影响重心偏于拱脚端,极易造成浮吊偏载,因此在吊装 1 号节段前于拱脚处塔架上预先设置滑车组配合浮吊安装。拱肋节段与楔形块的相对位置,根据在工厂预拼时焊于拱肋下弦管的包板确定。安装时包板中心线与

楔形块几何中心线应基本重合。初步定位完成后,为防止拱肋节段发生滑移及失稳倾覆,在松吊钩之前应在支架上拱肋节段内侧安装焊接支撑架,外侧用葫芦拉结并在楔形块位置拱肋钢管上焊接限位钢板。

上下游 1 号拱肋节段均吊放至支架上后,开始精调定位。调节前先计算出各拱肋节段上测量定位点在卧拼状态下的理论坐标值,然后现场通过全站仪测量拱肋节段上靠近 2 端头的 4 个定位点坐标(1 号拱肋节段上为 38 号和 46 号点)并与理论值比较,根据在 X、Y、Z 方向的差值用浮吊进行移动调节。将临时支撑拆除后,吊起拱肋节段(连同 N3 件一起)稍稍脱离开支架上的楔形块,通过葫芦及千斤顶在左右和前后方向移动拱肋节段直至定位点坐标值满足误差要求,这个过程可能需要多次反复进行。定位完成后应及时在支架上用葫芦及斜撑拉结撑顶并焊接限位钢板将拱肋节段固定。

1 号拱肋节段调节完后,将 N3 件顶入活动铰支座内,使 N3 件的转轴与活动铰支座的弧形板密合,同时应尽量保证 N3 件的分力底板与拱肋轴线垂直。就位后用码板在侧面将 N3 和 N2 件固定,防止在焊接过程中由于温度的影响产生变形移位。

另外,在转轴及弧形板内应预先涂一层黄油和四氟粉并用防火布覆盖,防止施工中进入杂质。

3.2.4 2号拱肋节段吊装及调节

2号拱肋节段按1号拱肋节段吊装及调节方法和要求安装定位至1号、2号支架上,吊装时应注意避免碰撞1号拱肋节段,调节完毕后对1号、2号节段进行整体坐标及线形测量并检查拱肋接头错边量是否符合要求,合格后将拱肋固定并用码板连接2段接头钢管。

另外还应对已调好的节段继续进行观测,直至稳定为止,测量坐标时需记下相应的温度值。

3.2.5 安装及调节连云港岸临时横撑,C类钢横梁和D、E、K横撑

同样,在吊装前应对构件进行全面检查并作出定位标记,测量组应对拱肋上横撑短接管位置进行量测调整,同时测出对应2短管间的实际距离以便将横撑节段主管预留量切除。吊装时将装有横撑的驳船定位到横撑就位位置的正下方使横撑起吊时仅作垂直升降。由于横撑吊装未设支架,从起吊到焊接固定必需由浮吊配合完成,所以要求吊装前准备充分,定位时迅速准确。横撑起吊前应根据横撑与水平面的设计倾角确定起吊钢丝绳的长度。横撑吊点取距两端头1/4横撑长度附近的主、腹杆相交位置处,吊点采用对角布置钢丝绳捆绑。钢丝绳直径宜为 $\phi 26 \sim \phi 31.5$,捆绑3~5圈,捆绑前应先用麻袋包缠该处钢管以防损伤构件。吊起横撑后,利用设置在吊点与起吊钢丝绳之间的10t葫芦调节横撑到设计倾角,只需粗略调整,然后起吊横撑至拱肋上短管接头处(起吊过程中横撑2端应用麻绳牵拉,防止横撑碰撞摇晃),利用葫芦等调节横撑与短管对接定位。符合要求后,用码板将接头连接并进行焊接加固。

C类横梁也应按此方法进行,所不同的是C横梁重量较横撑重,且C横梁嵌入拱肋内,因此吊装时应将横梁一头先插入拱肋,然后再插入另一头就位。吊点捆绑处应垫麻袋及方木,并对钢丝绳进行限位,以防吊装过程中产生向内滑动,擦伤构件。就位后应立即对C横梁进行加固并设临时支撑。

3.2.6 安装、张拉3号扣索和临时扣索并拆除1号支架

为进行下一步河中3号、4号、5号和6号支架平台的搭设及相应拱肋节段的吊装,并满足京杭运河通航要求,必需先拆除1号支架,将通航水道改至1号支架处。而拆除1号支架前需用临时扣索拉住1号、2号拱肋节段。上、下游临时扣索均采用 $\phi 34$ 钢

绳,利用定、动滑车组各2个导向,走16线钢丝绳,出绳由5t卷扬机拉紧,并利用10t葫芦收放、调节拱肋轴线线形。临时扣索前锚点由 $\phi 56$ 钢丝绳捆绑于1号支架处拱肋上弦管,后锚点位于塔架顶部通过特殊节点板引出的连接框架上。临时扣索拉紧前应先安装3号扣索并提前预拉。3号扣索前端锚于边拱肋,后端锚于塔架顶部的连接框架上,采用6 $\phi 15.24$ 钢绞线束,上下游各2束。前锚点为OVM普通锚,后锚点锚固形式采用P型锚。钢绞线下料后,先将一头进行P锚挤压,挤压时应注意以下几点:

(1)挤压模内腔要保持清洁,每次挤压后都需清理一次,并涂抹石墨油;

(2)钢绞线衬套各圈钢丝应并拢,不得有间隙;

(3)P锚挤压头挤压后,钢绞线端头宜外露1.0cm以上。

挤压完毕后吊至塔架顶,将钢绞线由上至下穿过锚梁并牵拉至前锚点,套上锚垫板及夹片后即可进行预张拉,张拉时对控制拉力进行控制。临时扣索收紧刚好使楔形块松动后停止,测量组进行复测,若拱肋线形没有发生变化则可用铁锤敲掉楔形块完成张拉。

临时扣索锚固后就可以拆除1号支架,并进行3号~6号支架平台的搭设。

3.2.7 徐州岸8号、9号、10号拱肋节段及临时横撑、C类钢横梁和D、E、K横撑安装

在吊装2号拱肋节段的同时,徐州岸可进行10号、9号、8号拱肋节段吊装以及C类横梁、临时横撑及D、E、K横撑等的安装,安装时采用龙门吊。拱肋节段由船运至现场后,先由浮吊转运至岸上后再由龙门吊运并安装调节,吊装方法及要求与水中拱肋吊装基本相同,所不同的是由于龙门高度的限制及稳定性的要求,拱肋节段吊点设置与水中吊装有所不同,吊点位置应按龙门施工设计图中的吊点布置图设置,吊点采用 $\phi 34.5$ 钢丝绳捆绑。另外,龙门吊装前也应进行试吊及行走检查,确认无误后才可正式起吊。拱肋节段吊运时应缓慢对称的进行,不允许在龙门跨中附近起吊构件,以保证龙门的稳定与安全。拱肋节段吊运到位后直接用龙门作为调节支架,按前述方法调整拱肋节段及各类横梁和横撑的位置,使之满足设计要求。

3.2.8 搭设7号拼装支架并安装7号拱肋节段

支架搭设与拱肋节段吊装同前,节段吊装由浮吊及龙门共同完成。

3.2.9 吊装河中6号、5号拱肋节段及A、B、C横撑

A、B、C 类横撑长度较短,所在位置的高度较低,所以不需要将驳船定位于安装位置下,可由浮吊从上、下游拱肋两侧起吊并安装就位。施工过程中注意浮吊臂杆的倾角设置,防止其与卧拼的拱肋桁架节段相撞。

3.2.10 安装3号、4号拱肋节段及连云港岸A、B、C横撑

3号、4号拱肋节段安放在支架上后,浮吊无法通过预留的通航水道,所以应当综合考虑施工设备的施工安排,充分利用现有施工设备。

所有节段安装就位并满足设计要求后,应立即加固焊接,以保证整体性及不影响下道工序的进行。另外,还应进行全面检查量测,以确保安装位置正确无误。

3.3 主拱肋预制组拼精度控制要求

通过对拱桥施工相关资料的检索和国家桥梁施工规范的查阅,在施工过程中,结合设计单位、监理单位、工程建设指挥部三方单位的意见,制定了严格的施工精度控制指标。具体数值如下:

- (1)拱肋桁架节段拼装误差 ≤ 5 mm;
- (2)拱肋轴线偏位 < 5 mm;
- (3)拱顶、拱脚偏差 < 10 mm;
- (4)拱肋间相对偏差 < 5 mm;
- (5)所有焊缝质量必须达到 GB50205—95 的 2 级要求;

(6)小管节下料时,焊接收缩量按管节长度的 1% 计算;

(7)所有管肋纵横向焊缝之间的间距必须满足相应规范要求。

4 结语

京杭运河大桥采用组拼的施工方案取得了明显

的施工效果,主拱肋于 2000 年 12 月开始组拼,2001 年 6 月组拼完成,共完成 1 290 t 2 个半拱拱肋桁架的拼装。在施工过程中我们结合具体的施工环境,制定了详细的主拱肋施工方案,同时在施工过程中不断地修正和改善施工控制数据,结合大型吊装设备的应用,减小了施工的难度,不仅安全顺利地完成了施工而且缩短了工期,降低了工程成本,为工程的顺利展开奠定了基础。但此施工方案还存在一些值得探讨和改进的地方。

(1)在临时支架上组拼拱肋,为保证线形与原设计相符需要大量的计算和数值修正。施工设计的参考数据必需进行一定的前期现场实测试验。

(2)主拱肋组拼过程需要较长的时间,施工工况随时变化,用于施工过程监控的坐标数值和拱肋线形确定标准和容许范围,缺乏规范的指导。

(3)不规则大型预制构件节段组拼所参照的标记点位,在工厂预制过程中必需保护好。如有变动,需将标记点变更内容及时通知施工现场。以免对施工造成影响。

(4)由于主拱肋节段重量较大,在支架上用葫芦和小型千斤顶精确定位有一定的困难,因此如果能在支架上安装一种小型吊装设备,这将会给施工带来很大的方便。

参考文献:

- [1] 交通部第一公路工程总公司. 公路施工手册桥涵[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [2] 汪正荣,朱国梁. 简明施工计算手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [3] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.

浙江公路三举措服务新农村建设

浙江省公路管理局实施三项措施,服务社会主义新农村建设。这三项举措包括:加快乡村康庄工程建设步伐;继续完善浙江省“绿色通道”;对农村客运班车实行公路规费优惠,进一步促进农村客运网络化发展。

截至2006年10月底,浙江省已完成通村公路建设总里程14 891.1 km,为年度计划暨考核目标12 000 km 的 124%;2006 年浙江省“绿色通道”免收通行费1.2 亿元,其中普通公路2 000 万元左右,高速公路1 亿元左右;浙江省在 2005 年按政策对 12 989 辆农村客运班车养路费等公路规费实行减免优惠的基础上,截至 10 月底,今年又对 3 305 辆农村客运班车实行了减免优惠,涉及线路 358 条。2005 年、2006 年两年浙江省公路养路费减免额达 5.3 亿元。