

Guidelines for Soil Nailing in Highway Engineering

公路土钉支护技术指南

长沙理工大学 主 编

人民交通出版社

二〇〇六 北京

中华人民共和国交通部

交公便字[2006]02号

关于公布《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》与《公路土钉支护技术指南》的函

各有关单位：

为提高公路工程质量及耐久性，促进新技术、新材料、新工艺在公路建设中的应用，及时指导工程实践，我司组织编制了《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》与《公路土钉支护技术指南》，作为公路工程技术指南，予以公布。

指南作为参考性的技术资料，为相关工程技术人员提供技术参考。各地参考使用时，要本着对工程质量负责的原则，结合当地实际情况，灵活运用。

《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》、《公路土钉支护技术指南》分别由吉林省交通厅、交通部公路科学研究院、长沙理工大学主编和解释，如有问题，请与各主编单位联系，联系方式如下：

吉林省交通厅：长春市解放大路2518号，130021，电话：0431—5917293。

交通部公路科学研究院：北京市西土城路8号，100088，电话：010—62079687。

长沙理工大学：长沙市天心区赤岭路45号，410076，电话：0731—5219011。

特此函告。

交通部公路司

二〇〇六年一月五日

前 言

随着我国公路建设的快速发展,土钉支护技术越来越多地应用于各种公路边坡的锚固工程之中。为了满足公路建设的需要,根据交通部交公路字发[1999]739号文件的要求,由长沙理工大学会同有关教学、设计、施工、研究单位编写了《公路土钉支护技术指南》(以下简称《指南》)。

本《指南》是我国交通行业第一本土钉支护技术指南。在编写过程中,主编单位成立了课题研究组,开展了长达数年的多项专题研究,同时收集和参考了大量国内外资料,调查总结了近年来国内多条高速公路应用土钉支护技术的实践经验,并以各种形式广泛征求了国内有关勘察、设计、施工、科研、教学及工程管理单位的意见,反复讨论,多次修改,最后经审查定稿。

本《指南》包括十章,涵盖了公路土钉支护工程中的勘察、设计、施工、试验、监测及质检等各个方面,对涉及到的理论和技术要求做了规定和说明。

我国幅员辽阔,各地地质条件不一,岩土性质复杂,且土钉支护在我国公路工程中应用历史还较短,因此有关土钉支护的研究和实践还有待深入。请各有关单位将实施本《指南》过程中所发现的问题和意见函告长沙理工大学岩土工程研究所(长沙市天心区赤岭路45号,邮编410076),以便下次修订时参考。

本《指南》由长沙理工大学负责解释。

主 编 单 位:长沙理工大学

副主编单位:清华大学

参 编 单 位:中国人民解放军广州军区司令部建筑设计院

中国人民解放军总参谋部工程兵科研三所

湖南省高速公路管理局

主要起草人:张起森 黄生文 陈肇元

参加编写人:陈浩军 宋二祥 赵明伦 曾宪明 郭红仙 黄 庆

江水德 魏 武

本指南统稿人:黄生文

目次

1 总则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	5
4 工程调查与岩土工程勘察	8
5 土钉支护的构造设计	10
5.1 土钉支护的一般类型	10
5.2 土钉构造及布置	12
5.3 支护面层	14
5.4 土钉与面层的连接	15
5.5 防腐蚀耐久性要求	16
5.6 排水系统	18
5.7 复合土钉支护	19
5.8 绿化与环境	20
6 土钉支护结构计算	22
6.1 一般规定	22
6.2 支护的整体稳定性分析	25
6.3 混凝土面层设计	28
7 土钉支护施工技术	30
7.1 一般规定	30
7.2 施工准备	31
7.3 土方开挖	31
7.4 临时排水系统施工	33
7.5 土钉设置	34
7.6 喷射混凝土面层施工	36
7.7 地梁、网格梁的施工	38
7.8 特殊地质条件下的土钉施工与险情应急措施	39
8 土钉现场试验	41
8.1 一般规定	41

8.2	土钉基本试验	42
8.3	土钉验收试验	44
8.4	土钉徐变试验	45
9	土钉支护施工监测	46
10	质量检验与工程验收	47
10.1	一般规定	47
10.2	各分项工程的中间检验	47
10.3	竣(交)工验收	48
附件	《公路土钉支护技术指南》条文说明	51

1 总则

1.0.1 为适应我国公路工程建设需要,统一公路土钉支护的设计、施工、试验及检测技术要求,做到技术先进、经济合理、安全可靠并确保质量,特制定本《指南》。

1.0.2 本《指南》适用于新建和改建公路工程中设置在原位岩土体或压实填土内的永久性土钉支护和临时性土钉支护的设计、施工、试验及质量检测。适用的支护工程,包括土钉挡土结构(土钉墙)、土钉加筋边坡以及土钉加筋桥台等。土钉也可用于已有砌体或挡土墙的加固及小型滑坡的整治。

1.0.3 本《指南》适用于钻孔注浆型土钉。对于其他类型的土钉如不注浆的角钢(或圆钢)及钢筋等击入钉,也可参照本《指南》的基本规定进行支护的稳定性分析,但击入钉只适用于临时性支护。

1.0.4 土钉支护类型包括:

- (1)由土钉与含钢筋网或土工格栅网的喷射混凝土面层构成的支护结构;
- (2)由土钉与将各个钉头拴系在一起的钢筋混凝土网格梁及边梁或地梁组成的支护结构,其中又包括网格梁下有喷射混凝土层和无喷射混凝土层两种;
- (3)独立的土钉及钉头混凝土保护块构成的支护结构;
- (4)由土钉与立柱及挡土板构成的支护结构;
- (5)由现浇或预制的钢筋混凝土面板拼装成连续面层并与土钉结合构成的支护结构。

1.0.5 采用土钉支护应因地制宜,充分考虑具体的支护对象及其地质条件、荷载、工程要求,充分考虑土钉支护的结构形式、适用性及局限性,并应与其他支护技术比较,进行技术经济论证。

1.0.6 土钉支护工程的设计与施工必须紧密结合,充分利用这一支护形式适用性强和应用灵活的特点,尽可能在设计前进行现场试验,获得有关设计参数,并应根据现场施工获得的信息及时进行动态设计和信息化施工。

1.0.7 土钉支护工程的地质勘察、设计、施工,以及所用的有关各种材料、排水设施等的要求,除本《指南》已作规定者外,尚应符合最新的国家及交通部有关规范、标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 土钉 soil nails

用于加固和稳定岩土体的细长筋体,置入岩土体中后依靠与周围岩土体之间的黏结力或摩擦力,在岩土体发生变形的条件下被动受力并主要承受拉力。

2.1.2 土钉支护 soil nailing

以密集土钉群作为筋体用于加固和稳定岩土边坡的柔性被动支护技术,或指利用土钉技术形成的支护结构。土钉支护通常由土钉群、被加固的原位岩土体、混凝土或钢筋混凝土块、板、梁柱等连续或不连续的面层及必要的排水、防水系统组成。

2.1.3 土钉挡土结构 soil nailed retaining structures

直立或陡峻边坡的土钉支护,其形式类似一般的重力式挡土墙,对支护背面的未被加固的土体起着挡土结构的作用。但土钉支护本身的受力特征与机理,与一般的重力挡土墙有根本的区别。土钉挡土结构的边坡坡度一般大于等于 70° ,通常在开挖过程中修建。采用从上到下分层修建的施工工序是土钉挡土结构的重要特征之一。

2.1.4 土钉加筋边坡 soil nailed slopes

缓坡形式的土钉支护,边坡坡度小于 70° ,且一般小于 45° 。对于填土边坡和开挖边坡坡角小于 45° 的土钉加筋边坡一般不设喷射混凝土面层,而采用钢筋混凝土网格梁将各土钉连成一个整体或采用独立的混凝土块保护钉头,并用植草盖表土。

2.1.5 钻孔注浆钉 grouted nails

采用土中成孔,置入金属筋体,然后用水泥净浆或砂浆沿全长注浆填孔,形成以钢筋作为中心体、周围用浆体包裹的一种土钉。

2.1.6 击入钉 driven nails

是用角钢、钢管或钢筋作为钉体,将其直接击入土中而成的一种土钉。

2.1.7 喷射注浆土钉 jetting nails

将镀锌的多孔钢管或钻杆作为加筋体,通过高频冲击器($>70\text{Hz}$)打入土中或插入钻孔中,然后在钢管中高压($>13.8\text{MPa}$)喷射浆液,浆液从钢管壁的小孔中喷入岩土体并产生水力裂隙,形成含土钉的注浆岩土体。

2.1.8 土体 soil mass

本《指南》中所指的土体泛指自然状态的岩土,包括《公路工程地质勘察规范》(JTJ 064—1998)中的松土、普通土、硬土和软岩。

2.1.9 临时土钉支护 temporary soil nailing

指使用期限不超过 24 个月,仅在施工阶段为维持开挖面土体稳定而临时设置的土钉支护。

2.1.10 永久土钉支护 permanent soil nailing

指使用期限为两年以上并永久发挥作用的土钉支护。

2.1.11 复合土钉支护 composite soil nailing

指与预应力锚杆、锚索、微型桩或其他岩土体加固方法联合使用时的土钉支护。

2.1.12 带套管的防腐蚀土钉 encapsulated corrosion protected nails

将外面套有塑料管或钢管的加筋体插入钻孔中,并在钻孔注浆前用浆体充填管子,形成密封的防腐蚀土钉,多用于需要高度防腐蚀保护的永久支护结构中。

2.1.13 钉头 nail head

是土钉外端未粘结的钢筋部分。

2.1.14 面层 facing

是土钉支护结构中唯一的外露部分,其作用是保证土钉间局部岩土体的稳定性,限制开挖后的边坡松散,保护边坡免遭侵蚀和风化。面板类型有:焊接的金属网、喷射混凝土、预制或现浇的钢筋混凝土板、现浇的钢筋混凝土梁等。面板类型控制了结构的外观。

2.2 符号

A ——土钉中钢筋的截面积。

H ——支护高度。

F_s ——支护的内部整体稳定性安全系数。

N ——土钉的最大设计内力。

T_L ——土钉的极限抗拔力。

R ——土钉设计的极限抗拉能力。

c ——土的粘聚力特征值。

d ——土钉钢筋直径。

d_0 ——土钉钻孔孔径。

f ——土钉钢筋的屈服强度。

f_y ——钢筋抗拉强度设计值。

l ——土钉长度。

l_a ——土钉在被动破坏面以上非稳定土体中的长度。

l_p ——土钉伸入破坏面一侧稳定土体中的长度。

p ——侧向土压力。

q ——地表均布荷载。

S_h ——土钉水平间距。

S_v ——土钉竖向间距。

γ ——土的重度。

φ ——土的内摩擦角特征值。

θ ——土钉倾角。

τ ——土钉与土体之间的界面粘结强度特征值。

μ ——土钉钢筋与其周围浆体之间的界面粘结强度特征值。

3 基本规定

3.0.1 土钉支护适用于下列土体:可塑、硬塑或坚硬的黏性土,胶结或弱胶结(包括毛细水粘结)的粉土、砂土和角砾,密实的填土、软岩和风化岩层等。

在松散砂土和夹有局部软塑或流塑黏性土的土层中采用土钉挡土结构时,应在开挖前采用注浆或设置微型桩等,预先加固开挖面上的土体。

在膨胀土和冻融地区对冰冻敏感的土体(如粉土)中采用土钉挡土结构时,应在设计中采取可靠的措施防止水分渗入土钉支护内的土体,并在支护混凝土面层与土体之间设置缓冲层以减轻膨胀或冻胀对面层的压力,必要时适当加强面层以及面层与钉头连接的承载能力。

在砾石层土体和有裂隙的岩层中设置土钉时,需采取专门措施,防止注浆浆体通过较大的孔隙流失。

在下列土体中,不宜设置永久土钉支护:标贯击数 $N < 9$ 、相对密度 $D_r < 0.3$ 的松散砂土;液性指数大于 0.5 的软塑、流塑黏土;含有大量有机物或工业废料的低强度回填土、新填土以及强腐蚀性土;在塑性指数大于 20 和液限大于 50% 且无侧限抗压强度小于 50kPa 的黏性土中,修建土钉支护工程时,应通过现场的土钉抗拔试验,检验土体的徐变性能。

3.0.2 土钉支护的设计与施工,应特别重视水的作用与影响,必须在地表和支护内部布设适宜的排水系统以疏导地表径流和地下水。对于永久性土钉支护的设计,应考虑长期使用过程中土体含水量的可能变化对土体抗剪强度的不利影响。当有丰富地下水源补给,地下水的流量较大,在支护施工的作业面上难以成孔和形成喷射混凝土面层时,应在施工前降低地下水位,并在地下水位以上进行支护施工。

3.0.3 土钉支护的设计施工,应充分考虑施工作业周期和降雨、振动等因素对陡坡开挖面临时裸露土体稳定性的影响,必须随开挖、随支护,尽快设置土钉和构筑喷射混凝土面层以减少边坡变形。

土钉支护在开挖施工过程中,应有现场测试与监控内容,没有监测方案不得进行施工。

3.0.4 永久土钉支护按其破坏后果的严重性,在设计中取不同的重要性系数 K_1 (表 3.0.4)。

表 3.0.4

工程对象	公路级别及支护工作状态		K_t
边坡土钉支护	高速公路、一级及干线二级公路	支护面层受车载或建筑物等主要外载影响 (图 3.0.4-1、图 3.0.4-2)	1.15
		支护面层不受车载或建筑物等主要外载影响	1.10
	一般二级公路及其以下等级的公路	支护面层受车载或建筑物等主要外载影响 (图 3.0.4-1、图 3.0.4-2)	1.05
		支护面层不受车载或建筑物等主要外载影响	1.00
桥台土钉支护	高速公路、一级及干线二级公路	内置组合式桥台	1.20
	一般二级公路及其以下等级的公路	整体式桥台	1.20
		内置组合式桥台	1.10

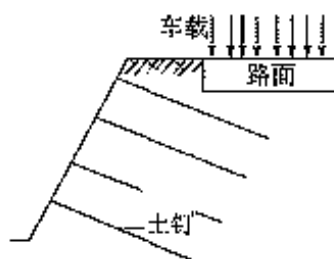


图 3.0.4-1 受车载作用的土钉支护

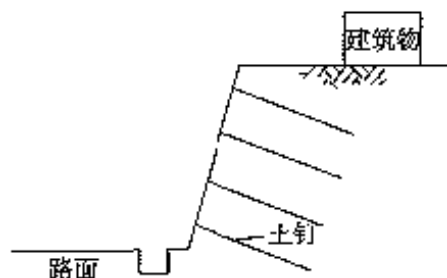


图 3.0.4-2 受建筑物荷载作用的土钉支护

3.0.5 永久土钉支护在施工过程中的稳定性验算,其重要性系数按临时支护取用。

3.0.6 临时土钉支护稳定性验算的重要性系数,按其破坏后果的严重性,取 0.90 ~ 1.0,但其与表 6.1.7 中稳定性安全系数的乘积应不低于 1.05。

3.0.7 土钉支护设计一般应包含以下内容:

- (1) 工程调查与岩土工程勘察;
- (2) 分析确定拟支护工程的破坏模式,并以此决定边坡的稳定性分析方法,决定边坡土钉支护的设计方案;
- (3) 支护的总体设计,确定支护的总体平面布置与关键的设计剖面;
- (4) 根据经验与工程类比,并通过土压力或边坡稳定性及土钉支护强度计算分析,选

定支护的结构构造,标明全部土钉的位置并逐一编号;通过土钉抗拔力验算,给出土钉的尺寸(直径、孔径、长度、锚固长度)、倾角和间距,支护面层的形式、构造和厚度,面层与土钉的联结方法,以及支护材料的规格和强度等级等;对于规模较大的土钉支护工程,设计前应进行现场基本试验,以确定岩土与土钉间的粘结强度和各设计参数;

(5)排水、防水系统设计;

(6)耐久性设计,提出支护的防腐蚀耐久性设计措施,以及长期使用过程中的检测要求;

(7)施工阶段的现场测控方案设计,包括保证边坡稳定的最大允许侧向位移量控制,为防止危及周围建筑物、道路、地下设施而采取的措施和应急方案;

(8)绿化与环境设计;

(9)施工方案及施工组织设计,通过计算和试验确定每步开挖的临界高度与临界长度,提出边坡开挖面裸露时间即自稳时间的限制,提出施工人员、设备的配备数量、工程计划进度、施工方法、施工工艺、施工工序、质量控制指标及其措施,以及施工安全与管理體系等;

(10)工程施工过程中的反馈设计或动态设计,根据现场施工开挖和钻孔获得的土样数据以及测控信息,必要时对土钉设计参数(直径、长度、倾角、间距等)和施工方法及时作出调整。

与以上内容相对应,给出土钉支护的设计及动态设计文件,包括最终的竣工图和说明等。

3.0.8 土钉支护的形式应根据工程的具体特点和功能要求,结合当地的地形、地质和施工条件,采用土钉挡土结构、土钉加筋边坡等类型。土钉支护还可以与削坡(上部削坡、下部土钉支护)、加筋土结构(上部加筋土填土结构、下部土钉支护原位土结构)、桩锚支护(上部土钉支护、下部桩锚结构)联合使用。当土钉支护位于不良土体且需严格限制支护的变形,或支护的高度甚大(如单级边坡高度超过15m)时,应采用复合土钉支护。

4 工程调查与岩土工程勘察

4.0.1 土钉支护设计前,必须进行充分的工程调查,收集场地周围已建工程及本项公路建设工程的工程地质与水文地质勘察资料,查明支护周围已有建筑物、构筑物、埋设物(管线等)和道路交通等周边环境条件与施工场地条件,当地气象条件、水文地质条件及与周围地表水体的补给与排泄关系,地层、地质构造和岩土的物理力学特性及其潜在腐蚀性。

4.0.2 土钉支护工程的地质勘察应遵照《公路工程地质勘察规范》(JTJ 064—1998)的基本原则进行。在本项公路建设工程已有初勘资料的基础上,进行详细的工程地质勘察。其勘察范围应根据支护的尺度和场地地质条件与环境条件而定。沿支护工程的长度方向内侧进行勘察的第一排钻孔间距一般可取 30m 左右,其位置至开挖面的水平距离应小于设计土钉的长度,垂直边坡走向的勘探横断面的宽度可从支护的面层位置算起向边坡内延伸 1.5~2 倍支护高度的水平距离;沿支护工程长度方向的第二排钻孔的间距可取 45m 左右,与第一排钻孔的水平距离可取支护高度(H);每个控制横断面上至少应有 1 个钻孔,钻孔设置在横断面宽度的支护面层内侧;对于控制性断面应在开挖面外侧且距开挖面水平距离 $0.75H$ 处布置一个钻孔(图 4.0.2)。钻孔的深度一般可取土钉最大埋深以下 5~10m。当场地有不良土层、古滑坡、土洞、岩溶、采空区等地段时应加密勘探点。此外,当边坡岩土中存在薄弱界面,如岩体中的断层、软弱夹层等潜在滑动面时,应确定其具体位置并对其作出详细描述。

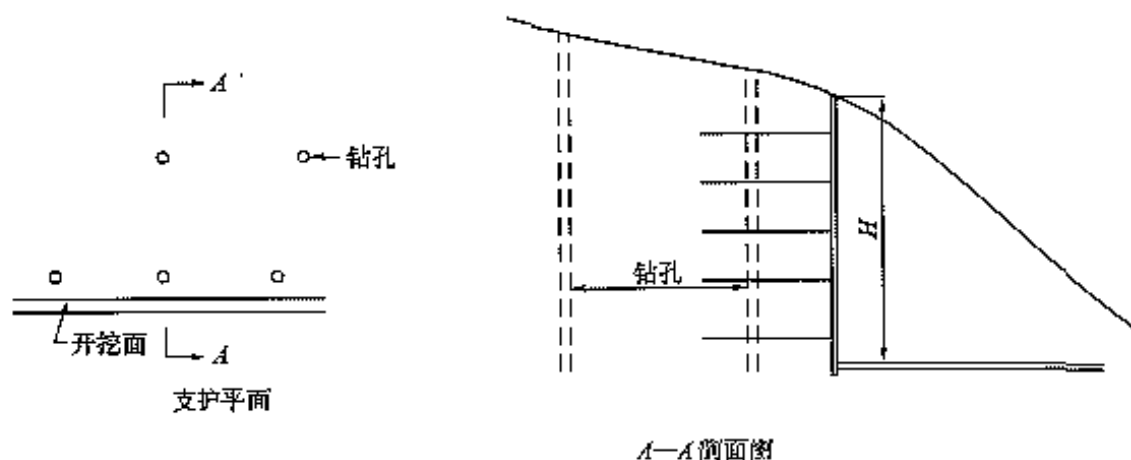


图 4.0.2 钻孔布置图

4.0.3 每一钻孔均应分层取岩、土样做室内岩土试验,主要岩土层的每一试验项目要

求不少于6个数据。室内测试项目一般应有重度、含水量、抗剪强度(砂土的直剪、黏性土的固结快剪、快剪或三轴固结不排水剪等)、黏性土的稠度、压缩性、膨胀性、砂土的颗粒分析与休止角,岩石的饱和抗压强度、软化系数、抗冻性等。通过测试确定每一层岩土的分类和物理性质,给出分层岩土的內摩擦角和黏聚力等力学性质指标。

4.0.4 每一控制横断面上应进行必要的钻孔原位测试,如砂砾和岩石的渗透试验、砂土和一般黏性土的标准贯入试验和触探试验等。

4.0.5 为土钉支护设计提供的工程调查与地质勘察报告应包括以下主要内容:

(1)任务、方法和过程的描述;

(2)场地地形、地貌、地层、地质构造和岩土性质的描述,不良地质和潜在滑动界面的说明与分析,岩土强度的分析评价,岩体结构稳定分析和土体稳定分析,根据室内和原位测试结果并结合当地经验和工程的特点,提出抗剪强度参数 c 、 φ 的建议值;

(3)场地水文地质条件,地表和地下水补给来源与地层的渗透系数,地下水位高程、流向、流量、补给来源与排泄形式及水质分析等,评价地表、地下水对土钉支护施工与长期工作性能的影响;

(4)土钉支护施工开挖过程对周边环境与设施影响的分析与建议;

(5)岩土의腐蚀性及其对支护耐久性影响的评价;

(6)必要的图表,如工程地质平面图、纵断面图、横断面图,有代表性的钻孔地质柱状图,岩土物理力学性质的现场和室内试验结果的有关图表等。

5 土钉支护的构造设计

5.1 土钉支护的一般类型

5.1.1 土钉挡土结构

土钉挡土结构是在施工过程中分步开挖、支护,并具有直立或较陡支护面的挡土结构,由设置在岩土中有规律排列的土钉群、被加固的岩土体与内夹钢筋网的喷射混凝土面层或网格梁或立柱加挡土板及排水系统组成。永久性土钉支护,一般应在初次构筑的施工喷射混凝土面层上再喷射一层混凝土或再浇筑一层混凝土。考虑到支模的方便,现浇混凝土面层适用于直立或接近直立的支护面。

土钉挡土结构可用于挖方边坡的临时支护(图 5.1.1a)),也可用于路堑或路堤的永久支护(图 5.1.1b)、图 5.1.1c)、图 5.1.1d))。当支护的路堑边坡高度较大时,宜做成台阶式支护,每隔 6~10m 高度设一宽度不小于 1m 的平台,并根据需要在平台内侧设矩形排水沟(图 5.1.1e))。土钉挡土结构的底部地面如为斜坡,也应有不小于 1m 宽的平台。

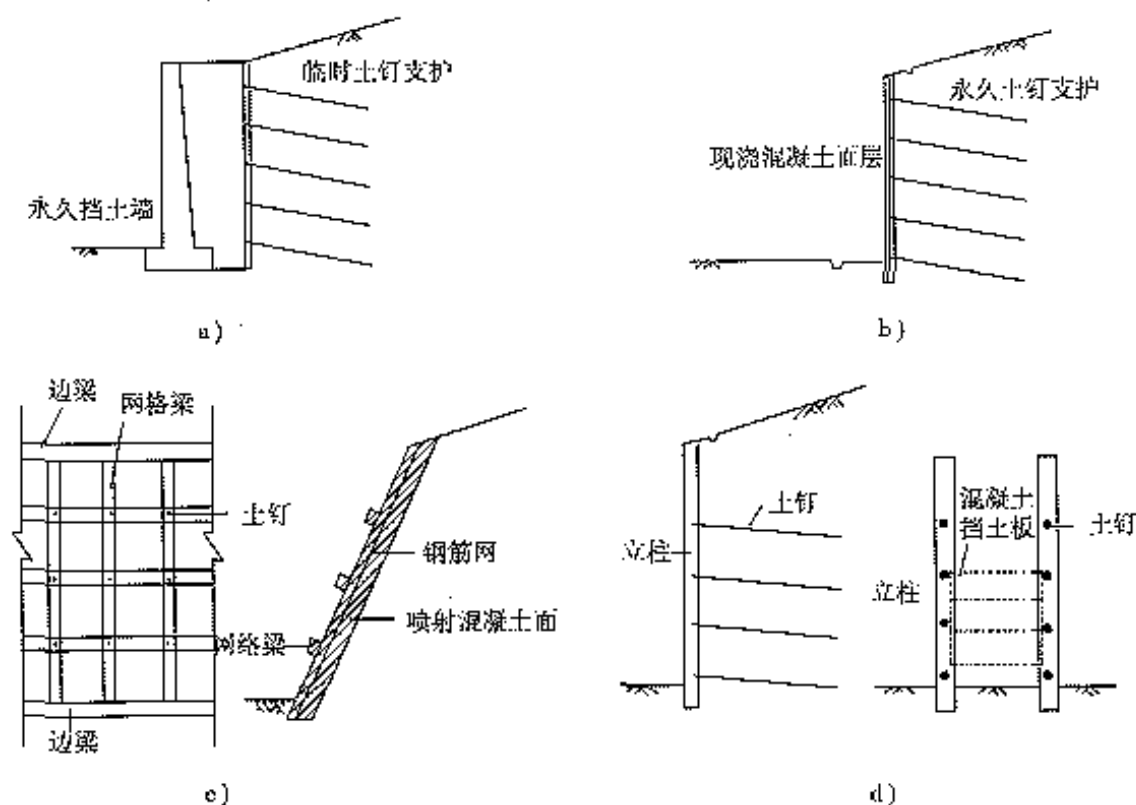


图 5.1.1

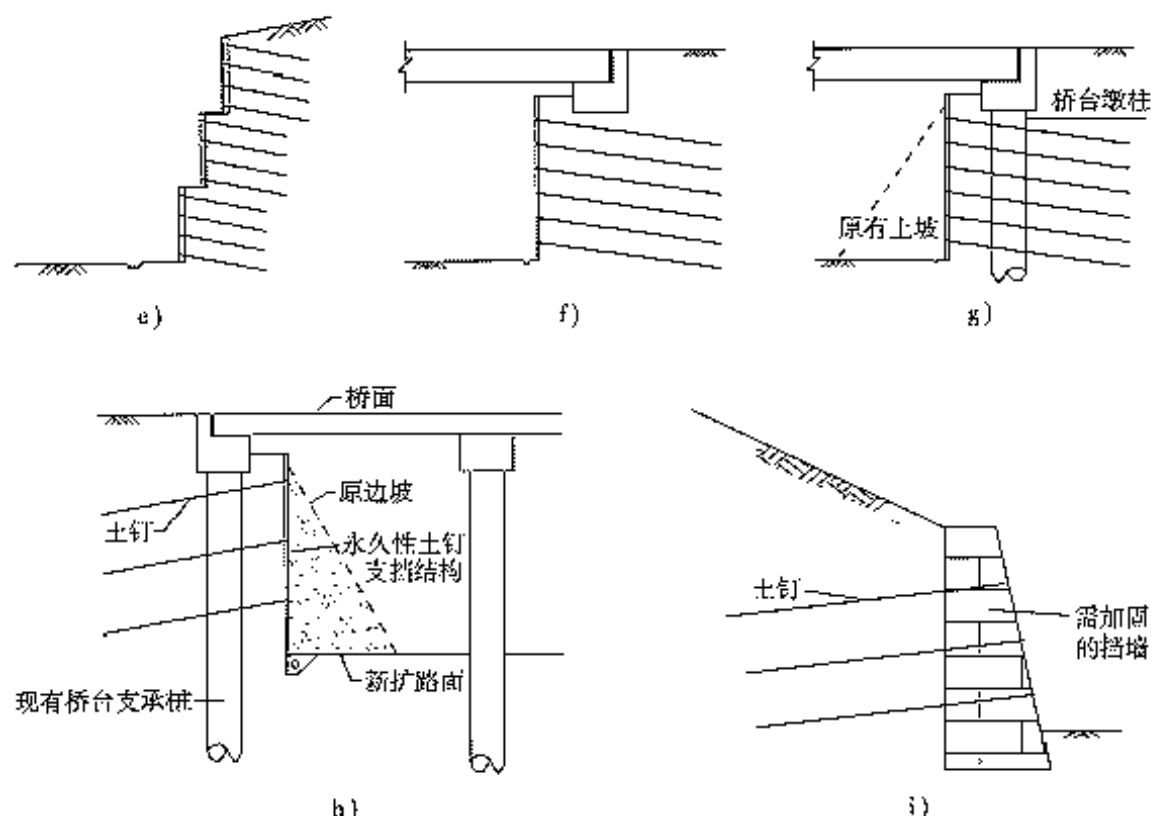


图 5.1.1 公路土钉挡土结构常用类型

土钉支护可用于桥台结构,承担台后的土压力。如整体式桥台(图 5.1.1f)、内置组合式桥台(图 5.1.1g)、图 5.1.1h)。

作为永久支护,土钉挡土结构还可用于隧道洞门的上端和洞口两侧挡墙及现有挡墙的加固等(图 5.1.1i)。

5.1.2 土钉加筋边坡

土钉加筋边坡是由土钉加固的平缓边坡,其坡面倾角通常小于 45° (图 5.1.2)。土钉加筋边坡可以在原有的天然边坡内设置土钉,也可以在开挖形成的边坡内设置土钉,用于增加原有边坡或开挖后边坡的稳定性。土钉加筋边坡是否设置喷射混凝土面层,视岩土的物理力学特征和土钉间距而定。当用作临时支护时,一般不设置混凝土

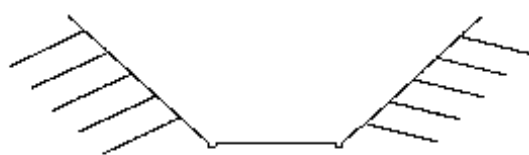


图 5.1.2 土钉加筋边坡

面层;用作永久支护时,应在边坡面上通过植草或采用土工格栅植草防止表层岩土风化侵蚀,面层可采用独立的混凝土块包封各个钉头,必要时应采用连接钉头的钢筋混凝土网格梁保持边坡岩土的稳定。土钉加筋边坡也应设置必要的排水系统。

5.1.3 复合土钉支护

复合土钉支护一般用于永久性的公路工程。

微型桩复合土钉支护适用于松散或软弱土体的土钉挡土结构,可有效控制施工过程

中开挖面上裸露土体的稳定并减少支护的变形。预应力锚杆与土钉一起间隔使用,形成复合土钉支护,应用于挡土结构中能有效控制支护的后期变形。也可以采用土钉与背拉长锚杆(索)的方式,通过长锚杆(索)来锚固整个被土钉加固的岩土体,适用于高度较大(如超过 15m)或需严格控制边坡位移的土钉支护结构(图 5.1.3),参见 5.7 节。

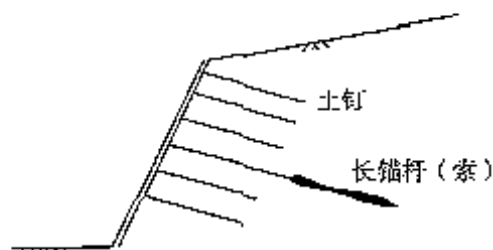


图 5.1.3 复合土钉支护

5.2 土钉构造及布置

5.2.1 永久支护中的土钉应采用钻孔注浆钉。击入钉仅限用于临时土钉支护。钻孔注浆钉的材料、尺寸及构造方式应符合本节规定,此外还应满足第 6 章的强度和稳定性分析的要求。

5.2.2 钻孔注浆钉由钢筋及其外包的水泥浆或砂浆组成,其构造一般为:

(1)土钉钢筋采用 HRB400 或 HRB335 钢筋,直径 d 一般为 18~32mm。钢筋接长应采用焊接或机械连接,接头的质量需满足国家有关标准的规定。同排土钉钢筋接头在支护内应错开布置,接头处的浆体保护层厚度应满足耐久性要求,对处于腐蚀性环境下的土钉钢筋以及工程使用期限为 I 级的土钉钢筋尚应满足 5.5 节规定的防腐蚀耐久性要求;

(2)土钉直径 d_0 与土中钻孔直径相同,一般为 3~6 倍钢筋直径 d ,岩质边坡、临时支护取低值,一般不小于 70mm,永久支护和土质边坡取较高值,一般不小于 100mm。孔径的大小还应满足土钉钢筋所需保护层厚度的要求。土钉的长度与钻孔长度相等,钻孔的长度超过土钉钢筋尾端的距离应不小于 200mm;

(3)土钉注浆可采用低收缩性的纯水泥浆或水泥砂浆,水灰(胶)比不高于 0.45(永久性支护)或 0.50(临时性支护),浆体的 28d 强度应不低于 15MPa,3d 强度不低于 5MPa。对永久支护尚应满足第 5.5 节的耐久性要求。注浆宜尽可能使用含有中、细砂的砂浆以减小浆体的收缩量,并使用高效减水剂和掺入适量的粉煤灰以改善浆体的工作性和可泵性。在浆体中掺入膨胀剂有助于防止浆体出现收缩裂缝,但必须经过试验,证明钻孔周围的土体密实度足以提供所需的限制膨胀能力。

5.2.3 土钉钢筋定位支架

沿土钉钢筋长度每隔一定距离应设置定位支架,保证钢筋置入钻孔后处于钻孔的中央,使其四周有足够的浆体保护层厚度。定位支架的间距应防止钢筋发生过大的垂度,一般可取 1.5~2.0m,位于末端的定位支架离钢筋尾端的距离应不超过 0.5~1.0m。定位支架的构造应能保证浆体在钻孔内自由流动,其外缘间的最大尺寸与钻孔直径之差应不超过 30mm。

除临时支护的定位支架可用细钢筋弯成并焊接在土钉钢筋侧面(图 5.2.3)以外,永久支护内的定位支架应采用非金属材料如 PVC 制成。

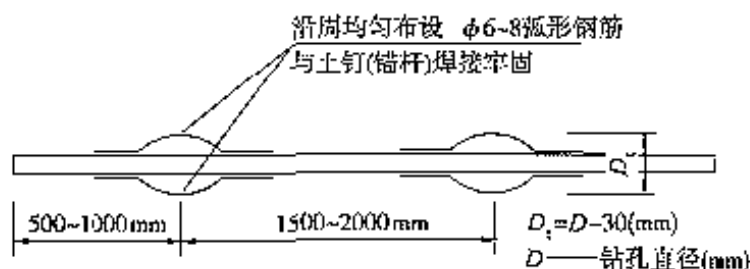


图 5.2.3

5.2.4 土钉布设

1) 土钉长度

土钉挡土结构内的土钉长度 l 与支护高度 H (H 为分级边坡的垂直距离) 之比, 对一般砂、粘土中的永久土钉支护, l/H 宜在 0.8~1.2 的范围内, 密实砂土和坚硬黏土中可取低值, 塑性黏土中取高值。当支护顶部地表呈向上的坡角时, 宜适当增大 l/H 的比值, 在薄弱土体内有时可达 1.6。为了减少支护变形并控制地表开裂, 靠近支护顶部位置的土钉长度应适当加长, 对于砂性土中的底部土钉, 其长度可适当减小, 但也不宜小于 $0.7H$ 。对于岩质边坡中的永久土钉其 l/H 宜为 0.6~0.8。

对于临时土钉, 其 l/H 值一般为 0.5~0.7, 岩土性质好时取低值, 岩土性质差时取高值。为方便机械化施工, 尤其有专供规格的土钉钢筋产品时, 匀质土体中的土钉宜等长设置, 否则支护内的土钉长度宜采用上部和中部偏长, 靠近底部偏短并适当加密的设置方式, 但在软弱黏土层内的底部土钉长度不宜过短。

用于滑坡支挡时, 土钉长度取: $l = l_u + l_p$, $l_p = (0.8 \sim 1.6)H$, 具体应根据滑坡下滑力的计算确定, 且应满足: $\pi d_0 l_p \leq \mu \pi d l_p \leq 0.8 Af$ 。

2) 土钉倾角

土钉钻孔的向下倾角宜在 $0^\circ \sim 25^\circ$ 范围内, 重力注浆时的土钉倾角不宜小于 15° 。较小的倾角有利于减小直立挡土结构的变形。当用压力注浆且有可靠的排气措施时, 倾角可接近水平。如表土层软弱, 此时的顶层土钉宜适当加大下倾角, 使土钉尾部能插入强度较高的下层岩土中。此外, 适当加大底部土钉的下倾角也有利于整个支护的稳定。

3) 土钉间距

土钉的水平间距 S_h 和与竖向间距 S_v , 对于采用钻孔注浆的永久土钉支护, 可取 $S_h = S_v = (10 \sim 20)d_0$, 对砂性土常取 S_h 和 S_v 为 1.5m, 干硬黏土中可接近或稍大于 2m, 在岩体中不超过 3m。对于土钉挡土结构, S_h 和 S_v 取低值, 最大间距不应超过 2m, 对于土钉加筋边坡, S_h 和 S_v 取高值, 但最大间距不应大于 3m。土钉的竖向间距应与支护施工的每步开挖深度相对应。上下两排的土钉可以竖向对齐或相互错开, 并与支护面层背面的排水系统设置方式有关。沿支护面层布置的土钉密度一般为每 $6m^2$ 左右一根。

对于临时土钉挡土结构, 采用击入钉时, S_h 和 $S_v \leq 1m$; 采用钻孔注浆钉时, S_h 和

$$S_v \leq 3m_0$$

在有倾斜软弱面的岩体和土体中,土钉的布设方式应视岩土的结构面及边坡的潜在破坏形式而定。

5.3 支护面层

5.3.1 土钉挡土结构的面层一般采用喷射混凝土,以使施工过程中开挖面上的裸露土体能够尽快获得稳定。喷射混凝土面层的厚度应根据受力计算确定,对临时和永久支护应分别不小于 60mm 和 120mm,混凝土的强度等级对临时和永久支护分别不低于 C20 和 C30。

喷射混凝土面层内应设置钢筋网,钢筋直径不小于 6mm,钢筋间距 150 ~ 250mm。当面层厚度大于 150mm 时,应设置里、外两层钢筋网。临时支护的喷射混凝土面层一般可仅设一层钢筋网,置于面层厚度的中心位置。永久支护的喷射混凝土面层一般分两层先后喷射,内层为支护开挖后立即构筑的施工面层,待设置土钉及其与施工面层连接后,再构筑最终面层;最终面层的喷射混凝土表面应作抹平修饰处理。面层钢筋网在施工缝处的搭接长度应不小于 200mm,也不小于一个钢筋间距。为改善支护的外观和内在质量,最终面层也可用现浇混凝土或预制混凝土件构筑。永久支护面层钢筋的喷射混凝土保护层厚度应不小于 5cm。

5.3.2 喷射混凝土面层的顶部钢筋网应向护坡背后转折,并构筑宽度不小于 500mm 的喷射混凝土(或现浇混凝土)护顶。面层顶部不得直接承受竖向重载,以防止支护施工过程中面层下坠和钉头受弯。

5.3.3 永久支护的喷射混凝土最终面层,也可用连接钉头的网格梁代替,网格梁与喷射混凝土的施工面层组成整体梁板体系发挥作用。对于岩体中的土钉支护,如裸露的开挖面有足够抗风化的能力,则可仅用连接钉头的网格梁作为支护的面层构件。

对坡角大于等于 45° 的土质边坡,为了绿化,也可仅用网格梁作为支护的面层构件。网格梁在土坡中开槽现浇,梁的表面与坡面齐平,并设置有利于排去坡面地表水的泄水槽。在坡脚和坡顶还可设置地梁或边梁与网格梁构成一个整体。地梁、边梁及网格梁断面尺寸不小于 250mm × 250mm,主筋为直径不小于 16mm 的 HRB335 和 HRB400 型钢筋。

5.3.4 永久支护的面层底端应插入支护趾部地表以下 200 ~ 400mm。如面层由预制混凝土件构筑,则需设置专门的基础。

5.3.5 永久支护的混凝土面层在长度方向上应设置伸缩缝,其间距一般不大于 30m,缝宽 10 ~ 20mm,缝间用沥青麻絮或泡沫聚苯乙烯板等材料填充。

5.3.6 坡角小于 45° 的土钉加筋土坡,必要时可不设网格梁,而仅在土钉钉头钢筋外露段现浇混凝土或砂浆块以保护钉头,也可铺设土工织物保持表层土的稳定,土工织物上宜加覆一层表土防止遭受紫外线照射后老化。整个土坡应通过植被防止表土被冲蚀。

5.4 土钉与面层的连接

5.4.1 土钉钢筋与面层的连接方法,视面层的受力大小以及支护的重要性而定,并需经过强度验算,必要时通过加载试验验证。

5.4.2 支护面层内的配筋除 5.3.1 条提及的钢筋网外,尚应在连接同排相邻土钉钢筋的水平方向上,紧靠每一土钉钢筋的上下,各设置一根通长的水平加强筋。加强筋的直径为 $16 \sim 25\text{mm}$,置于施工面层钢筋网的外侧,并与土钉钢筋焊接。当面层受力较大时,宜在连接同列土钉钢筋的竖直方向上,紧靠土钉钉头的左右,各焊接一根直径约为 16mm 竖向加强筋(图 5.4.2),与水平加强筋构成“井”字。竖向筋在面层水平施工缝处的搭接长度应不小于直径的 30 倍。

5.4.3 在临时支护中,土钉钢筋与面层的连接一般采用图 5.4.3 的构造方法,即在土钉钉头两侧沿钉长方向焊上相同直径的短钢筋(锁定筋),并将其底端与面层内的加强

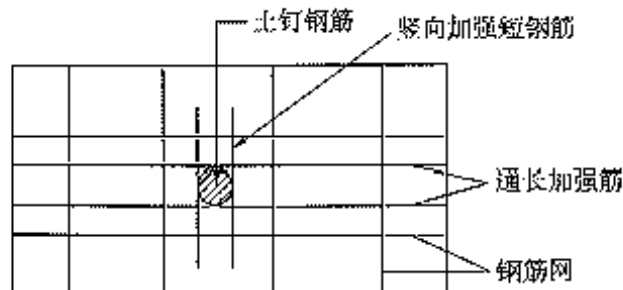


图 5.4.2 土钉钢筋与面层的“井”字连接

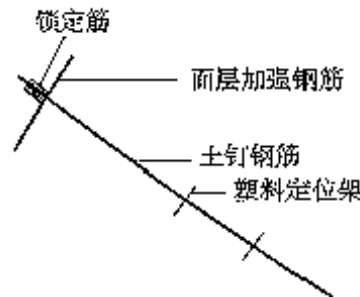


图 5.4.3 临时支护的土钉钢筋与面层的连接

筋焊接固定。如土钉钉头的轴向拉力较大,宜采用 5.4.4 条的连接方法。

5.4.4 在永久支护中,土钉钢筋与面层之间一般宜采用螺母、垫板的连接方法,将钉头做成螺纹端,通过螺母、楔形垫圈及方形钢垫板与面层连接。钢垫板应均匀紧贴于喷射混凝土的施工面层上,方垫板的尺寸一般不小于 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$,厚度不小于 18mm (图 5.4.4)。

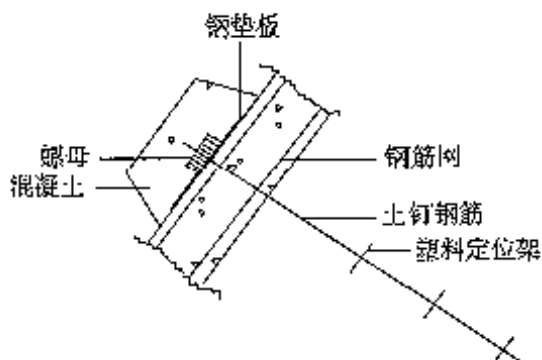


图 5.4.4 永久支护的土钉钢筋与面层的连接

5.4.5 当支护面层采用网格梁时,土钉钉头与面层的连接方法宜采用螺纹垫板连接,也可将土钉

钉头加长,并做成弯钩,直接锚固于网格梁中(图 5.4.5)。弯钩伸入面层网格梁的总长应不小于土钉钢筋直径的 30 倍,并应设置相应的箍筋保证锚固作用。如土钉轴力较大,弯钩下应设置局部的横向钢筋网。

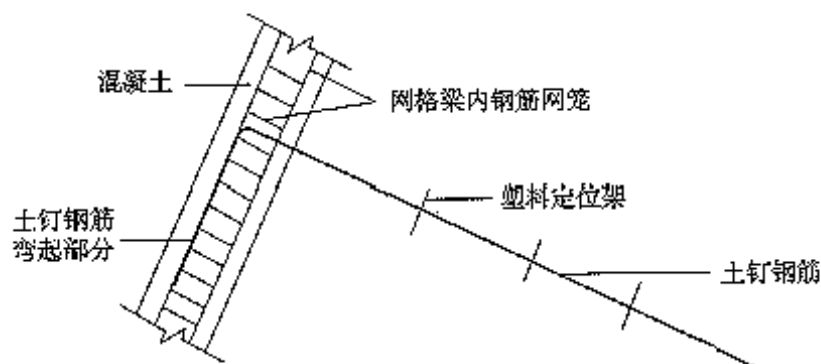


图 5.4.5 网格梁中土钉钢筋与面层的连接

5.4.6 土钉加筋土坡中的土钉钉头,可仅设置局部的喷射混凝土或现浇混凝土方块,方块中的配筋与土钉钉头焊接。混凝土方块可外露或浅埋于坡面。方块中的土钉钢筋保护层厚度不小于 5cm。

5.5 防腐蚀耐久性要求

5.5.1 永久土钉支护应在土体腐蚀性评定的基础上进行设计。土体腐蚀性的评价标准如下:

(1)测定土的电阻率^[1]与酸碱度(pH 值),如电阻率大于 $50\Omega\cdot m$,且 pH 值大于 6,可认为无腐蚀性,否则应进一步测试氯盐和硫酸盐含量;

(2)如土体的电阻率不小于 $20\Omega\cdot m$,且 pH 值不小于 6, SO_4^{2-} 小于 200×10^6 , Cl^{-1} 小于 100×10^6 ,可认为无腐蚀性;

(3)土体的侵蚀作用可按表 5.5.1 分级;

表 5.5.1

作用级别		弱	中	强
侵蚀介质	强透水土	200 ~ 1000	1000 ~ 5000	> 5000
	弱透水土	1000 ~ 5000	5000 ~ 15000	> 15000
Cl^{-1} (mg/kg)		100 ~ 500	500 ~ 5000	> 5000
pH		5 ~ 6	4 ~ 5	< 4

[1] 电阻率的测定可从现场取样,去除岩石和矿物碎屑后,放入测试盒内分层压实,使接近现场土的密实度,然后倒入蒸馏水使之饱和,测定其电阻率;如工程处于地下水中,应取地下水使之饱和,具体方法可参考《公路加筋土工程设计规范》(JTJ 015—91)的附录 1。

(4)盐渍土,以及可能遭受除冰盐或其他强腐蚀性物质污染的土,均应列为强腐蚀作用级别。靠近海洋环境的土体,应按上表的氯盐和硫酸盐含量划分腐蚀级别。

5.5.2 土钉支护的使用期限,一般可按公路工程的等级划分级别:

- (1)高速公路和一级公路的路堑、路堤和桥台的支护使用期限为一级;
- (2)二级、三级公路的路堑、路堤和桥台的支护使用期限为二级;
- (3)四级公路的路堑、路堤和桥台的支护使用期限为三级。

各级公路土钉支护工程的设计使用年限应不低于受其影响的相邻公路工程的使用年限。

根据支护可修复加固与改造的难易程度及其对公路正常运营的影响后果,结合全寿命的经济投入,在设计时可与业主共同商定,对支护的使用期限选定适当的级别。

5.5.3 除非经过专门的论证认可,在强腐蚀环境作用下,永久支护的注浆钉应沿钢筋全长加设聚乙烯或聚丙烯塑料波纹套管。套管壁厚约 2mm(应不小于 1mm),方形波纹的间距在 6~12 倍壁厚的范围内,波纹的幅高不小于壁厚的 3 倍。套管内壁与钢筋之间的环形间隙用水泥浆密实填充,并至少应有不小于 5mm 的厚度,然后一起置入钻孔内注浆充填钻孔。

5.5.4 除非经过专门的论证认可,中等腐蚀环境作用下的永久支护注浆钉,应采取以下的防腐措施:

- (1)使用期限为一级的工程,沿钢筋全长加设塑料波纹套管;
- (2)使用期限为二级的工程,采用工厂生产的环氧树脂涂层带肋钢筋作为土钉钢筋,涂层厚小于 0.3mm;此外,将钢筋按强度计算所需的直径再加大 2~3mm,以考虑钢筋可能的锈蚀对截面的削弱影响;
- (3)使用期限为三级的工程,可将钢筋按强度计算所需的直径加大 2~3mm;如采用环氧涂层钢筋,直径加大 1~2mm。

5.5.5 弱腐蚀环境作用下的永久支护注浆钉,应采取以下防腐措施:

- (1)使用期限为一级的工程,采用环氧涂层钢筋,否则将钢筋直径加大 2~3mm;
- (2)使用期限为二级的工程采用环氧涂层钢筋,否则将钢筋直径加大 1~2mm。

5.5.6 强腐蚀和中等腐蚀环境下的土钉浆体及面层混凝土的水胶比应不高于 0.4,否则应适当加强 5.5.3 和 5.5.4 条中无套管钢筋的防锈蚀措施。在强腐蚀环境下,土钉钉头与面层连接处的钢件应涂刷防腐表面涂层。

5.5.7 腐蚀环境下面层和土钉钢筋的保护层厚度应符合表 5.5.7 的要求:

表 5.5.7

侵蚀作用等级	弱	中	强
保护层厚度(mm)	50	60	70

注:1.设有塑料套管的土钉钢筋在套管外的保护层厚度不小于 20mm;

2.在浆体或混凝土中加有粗骨料时,表中的最小保护层厚度可适当降低。

5.5.8 腐蚀环境下的永久土钉支护,应专门设置若干个供使用阶段检测用的土钉,用于检测土钉钢筋经过不同年限的锈蚀状况。检测用土钉的构造及施工方法与工作钉完全相同,但长度较短,以便需要时能整体拔出观察。

5.6 排水系统

5.6.1 公路土钉作为挖方路基边坡或桥台支护结构,其排水系统除应按照《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)、《公路排水设计规范》(JTJ 018—1997)等标准的相应规定外,尚应满足土钉支护的特殊要求。

5.6.2 永久土钉支护的顶部地面必须设置截水沟或排水沟,防止地表径流流向整个支护的顶面。支护顶部及附近地表宜尽可能设置防渗层,如铺设透水性差的粘土层、水泥砂浆或土工膜等其他防渗材料(图 5.6.2)。

5.6.3 对于多级永久土钉加筋边坡,应按《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)中的地表排水规定,每级边坡内侧应设置排水沟,表面应植草或用水泥砂浆抹面。平台内侧的排水沟应与边坡两侧的环形周边排水沟连接成统一的地表排水系统(图 5.6.3)。

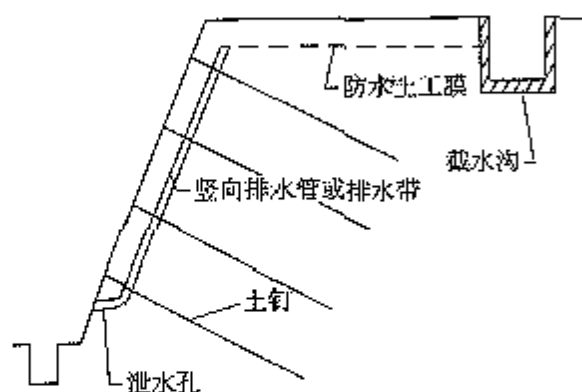


图 5.6.2 永久土钉支护中的排水措施

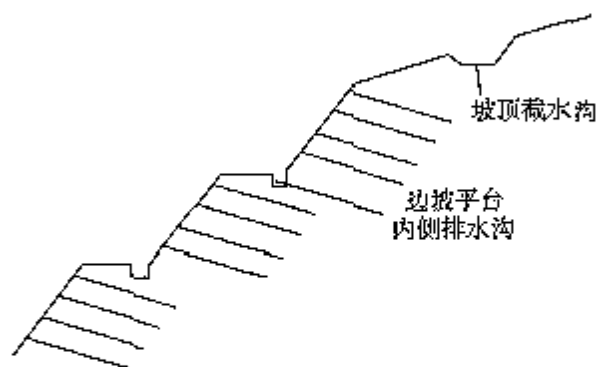


图 5.6.3 多级土钉加筋边坡的排水沟设置

5.6.4 永久土钉支护面层的背部应设置排水系统,可紧靠开挖面设置竖向的带孔塑料排水管或土工织物排水带,其间距可取土钉水平间距的某一倍数,一般为 3~5m。竖向排水管或排水带在面层喷射混凝土施工前嵌入或铺设在开挖面上,位于两列土钉之间。排

水管或排水带在面层的上下施工缝处竖向套接或搭接,一直延伸到支护底部并将各个排水水管或排水带在水平方向连通,用短管穿过支护混凝土面层将水引入支护外的排水沟中。带孔排水管的直径可取 80mm 左右,用透水土工布包裹,以防止土体颗粒流入管内。土工排水带的宽度一般可为 300~400mm。

5.6.5 当永久土钉支护体内有可能渗入大量的地表水和地下水时,应在整个支护内设置向上倾斜的水平带孔 PVC 排水管或排水波纹管,管径一般可为 50~80mm,上倾角 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$,长度应超过土钉尾端一定距离。这种排水管可在面层完工后向支护内钻孔置入,每 50m^2 面层上至少有一根水平排水管(图 5.6.5),将水引到支护面层外部后再流入集水管道或排水沟。

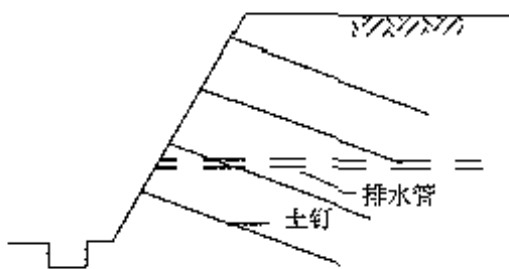


图 5.6.5 永久土钉支护边坡中的排水管设置

5.6.6 临时土钉支护内部的排水措施一般可仅在支护面层上设置排水孔,用直径 40~60mm、上倾角 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 的塑料短管将支护面层背部的水引至面层外,塑料短管插入土体的长度约 300~500mm,间距或数量视水的情况而定,通常在每 10m^2 的面层上应至少设置一个。塑料排水管道埋入土中的一端管壁应带孔,周边和端口用过滤土工布包裹。这种排水孔也可以用于永久支护,为了避免排水出口在支护面层外表形成水流污迹,也可将出口引至喷射混凝土施工面层与最终面层之间的竖向排水管道上,从底部排出支护面层以外。

5.7 复合土钉支护

5.7.1 当采用微型桩土钉复合支护时,可在开挖前先沿开挖面或紧靠其后方设置密排的竖向微型桩(图 5.7.1),间距不宜大于 1m,深入支护底部下方 1~3m。微型桩通常用内部注浆的无缝或焊接钢管做成,直径 48~150mm,管壁上钻出浆孔。小直径的钢管(小于 100mm)可分段在不同挖深处用击打方法置入后注浆;较大直径(大于 100mm)的钢管宜采用先钻孔后置入并注浆。钢管壁上的出浆孔直径 10~15mm,间距 400~500mm。出浆孔设于钢管下 1/3 左右管长范围内(即地表下 2/3 钢管长无须设置出浆孔)。

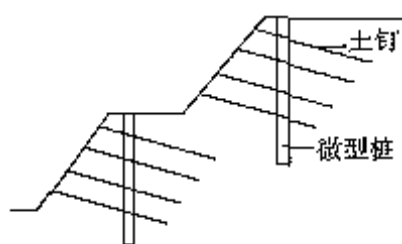


图 5.7.1 微型桩复合土钉支护

5.7.2 微型桩复合土钉支护也可采用垂直的直径为 150~200mm 的钢筋混凝土土桩。施工时先在边坡上修整出 1m^2 左右的施工平面,然后用钻机钻孔,并依孔径大小放置一根 $\phi 36$ 钢筋或 2~3 根 $\phi 25$ 带有箍筋的钢筋束,最后向钻孔内浇灌混凝土并振捣密度,必要时还可通过桩顶预留的钢筋,用地梁将各排微型桩连成整体。

土钉也可与束状微型桩(树根桩)形成复合土钉支护(图 5.7.2),束状微型桩在边坡上同一开孔内按不同方向和角度成孔,孔数通常为 2~3 个,孔径为 100~150mm 然后及时

置入 $\phi 32\text{mm} \sim \phi 36\text{mm}$ 钢筋或 $\phi 40\text{mm}$ 带孔钢管,低压注浆,微型桩长应大于土钉长度。

5.7.3 当采用预应力锚杆(索)复合土钉支护时,可用预应力锚杆取代支护上部的部分土钉,锚杆长度应大于周边土钉。通常从坡顶往下,锚杆可全部或间隔取代第2排或第2、3排上的土钉,但支护的顶排土钉以及位于支护下部的土钉不需要用锚杆代替。预应力锚杆在设置锚固段、施加预应力张拉并锁定于面层上的垫板或腰梁以后,最终注浆充填自由段的钻孔,实现全长粘结。

5.7.4 当采用预应力长锚杆(索)复合土钉支护时,锚杆(索)应位于支护上部,锚固段应处于土钉加固的整个土体之外的坚实岩土中,锚固段应位于潜在的边坡破裂面之后(图 5.7.4)。

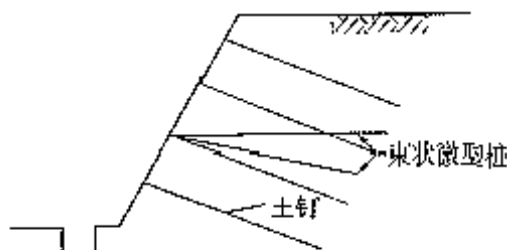


图 5.7.2 树根桩复合土钉支护

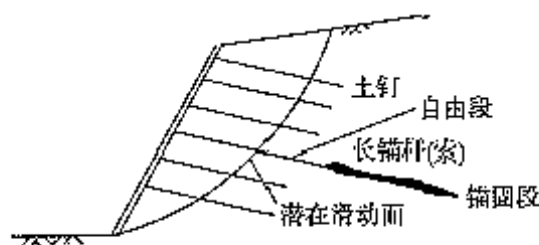


图 5.7.4 复合土钉支护预应力锚杆(索)

5.8 绿化与环境

5.8.1 对永久土钉支护工程,应重视绿化与环境的设计,力求使支护工程与自然环境协调,融为一体。在设计阶段,应针对具体支护工程的特点,当地植被与气候等条件等,因地制宜,对边坡支护工程进行绿化与环境地专门设计,并在土钉支护工程施工结束后,及时进行绿化与环境工程的施工。

5.8.2 土钉支护工程的绿化设计,对于采用喷射混凝土面层的土钉支护结构,宜采用在坡脚种植攀爬藤蔓植物,在边坡平台上种植下垂草本植物;对于无喷射混凝土面层而仅采用钢筋混凝土网格梁或钉头混凝土块作为面层的土钉支护结构,当坡角大于 45° 时,可采用三维土工网植草或喷射含草籽的种植土,也可在各网格内镶嵌六边形空心混凝土预制块,在混凝土块的中空部分培土植草;对坡角不大于 45° 的支护边坡,可直接在其上植草绿化;对于采用现浇或预制混凝土板作为阶梯状土钉支护面板的支护工程,可在各级阶梯上部利用混凝土面板设计花坛,种植花草、灌木(图 5.8.2)。

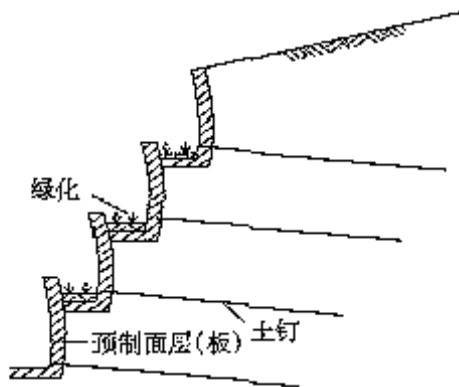


图 5.8.2 阶梯状土钉支护边坡的绿化

5.8.3 在土钉支护边坡开挖的设计与施工中应采取措施保护地质环境和周围已有建筑或设施,防止边坡出现滑坡和较大的塌方及地变形,对岩质边坡禁止采用大爆破施工,而应采用控制爆破和光面爆破;对于土质边坡,当设计坡角大于 45° 时,应严格按照逐级开挖,逐级及时支护的方式施工,对于设计坡角小于等于 45° 的缓坡,可一次性开挖,但不得让边坡开挖后长期裸露,应及时进行土钉支护施工,边坡开挖废弃的土石方应有序堆置于弃土场,且应平整表面,植树种草,必要时还应设置支挡工程,防止水土流失和对周围环境的污染破坏。

6 土钉支护结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 土钉支护的结构计算包括以下内容:

(1)支护的整体稳定性分析。用极限平衡分析方法计算:

- ①内部整体稳定性。此时土体的破坏面穿过支护内部,与全部或部分土钉相交;
- ②外部整体稳定性。此时土体的破坏面发生在整个支护的外部,相应的分析方法与无筋的普通边坡相同;

③对于土钉挡土结构,尚需将整个由土钉加固的土体假定为刚性的重力挡土墙,在墙背主动土压力和外部荷载作用下,进行整体滑动、倾覆和基底土体承载力的验算。

(2)支护面层以及面层与土钉的连接计算。

6.1.2 与我国现行的岩土工程和结构工程设计规范相对应,土钉支护整体稳定性和土钉承载力的设计计算采用安全系数设计方法,其中将荷载的特征值作为荷载设计值,将土体极限强度的特征值定为土体强度设计值;对于面层和连接等混凝土构件的设计,则采用以概率极限状态为基础的分项系数设计方法,其中的荷载设计值取荷载分项系数与荷载特征值的乘积,并按现行的混凝土结构设计规范进行设计。

6.1.3 公路土钉支护设计应考虑的作用(荷载)可参照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的规定,一般应包括:

(1)永久作用(恒载)——支护结构重力,支护上部的覆土和永久设施重力,土、水的侧压力及水的浮力等;

(2)可变作用(活载)——汽车荷载,汽车引起的土侧压力;对于桥台土钉支护,尚应包括汽车制动作用;土钉支护设计一般可忽略汽车冲击力、离心力、人群荷载等的作用;

(3)偶然作用——地震作用力。

般情况下,土钉支护设计可仅考虑作用的两种组合,即组合Ⅰ(永久作用加可变作用)和组合Ⅴ(永久作用加偶然作用)。

为简化设计计算,组合Ⅰ各种作用的荷载分项系数可统一取 1.25。

6.1.4 可变作用应按其最不利的的作用位置进行布置。对路基下边坡和桥台土钉支护作整体稳定性分析时,汽车荷载按车道荷载作用,对于各级公路工程可统一取 10kN/m^2 的

均布载作为特征值;对路基下边坡和桥台土钉支护的面层作强度计算时,除按车道荷载作用外,尚应单独考虑汽车荷载按车辆荷载作用对面层产生的局部侧向土压力,但车道荷载与车辆荷载不考虑重叠作用。车辆荷载的轮压及布置可按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)选用。

土钉支护施工阶段验算的可变作用为施工车辆、堆料和施工设备造成的荷载,一般可取 10kN/m^2 的均布载作为特征值,但对于特殊堆重及重载设备应按实际情况进行复核。除施工阶段验算外,路堑土钉支护一般可不考虑可变荷载。

6.1.5 下列土钉支护应作永久和地震组合下的强度和稳定性抗震验算:

- (1)地震动峰值加速度系数 $\geq 0.4g$ 地区的三、四级公路的路堑与路堤支护;
- (2)地震动峰值加速度系数为 $0.2g$ 和 $0.3g$ 地区的高速公路、一、二级公路的路堑与路堤支护;
- (3)地震动峰值加速度系数为 $0.1g$ 和 $0.15g$ 地区的桥台土钉支护及液化土、软土地基上的路堤支护。

公路土钉支护的抗震设计可按照《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)的有关规定。在进行支护的整体稳定性验算时,作用于土体或土条上的水平地震荷载可按抗震规范中路基的水平地震荷载公式计算,式中的综合影响系数按该规范规定的 0.25 取用(桥台为 0.35),其重要性修正系数也按规范规定取用,此时在支护稳定性安全系数中不再重复考虑本《指南》表 3.0.4 的重要性系数。在进行支护作为刚性挡土端的整体抗滑、抗倾和地基承载力验算时,作用于挡土墙的地震荷载和地震情况下的土压力均按该规范的公式和规定计算,地震作用下的地基抗震承载力特征值提高系数也按该规范的规定取用。

6.1.6 土钉支护设计采用的土体物理力学参数(重度、抗剪强度、土钉界面粘结强度等)应以实测结果为依据,取值时应考虑到施工及长期使用过程中由于土体含水量可能变化对这些参数的影响。土体与结构材料强度的设计值如下:

- (1)土体 c 、 φ 的设计值取为特征值,一般情况下可取其室内固结不排水试验强度均值的 $0.8 \sim 0.9$ 倍(对 c 取 0.8 ,对 $\tan\varphi$ 取 0.9)。沿岩体结构面破坏时的界面抗剪强度特征值可近似按表 6.1.6-1 取用;

表 6.1.6-1 岩体结构面抗剪强度特征值

结构面 结合程度	结构面特征	内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (MPa)
好	张开度小于 1mm ,胶结良好,无充填 张开度为 $1 \sim 3\text{mm}$,硅质或铁质胶结 张开度大于 3mm ,表面粗糙,钙质胶结	> 35	> 0.15

表 6.1.6-1(续)

结构面 结合程度	结构面特征	内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (MPa)
一般	张开度为 1~3mm, 钙质胶结 张开度大于 3mm, 表面粗糙, 钙质胶结	35~27	0.15~0.10
差	张开度为 1~3mm, 表面平直, 无胶结及充填 张开度大于 3mm, 岩屑充填或岩屑夹泥质充填	27~18	0.10~0.06
很差	泥质充填或泥质夹岩屑充填, 充填物厚度大于结构面起伏差 未胶结的或强风化的小型层状破碎带	18~12	0.06~0.02
	分布连续的泥化层	< 12	0.02

注:表中数据引自《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)。

(2)土钉与周围岩土体的界面粘结强度 τ 的设计值为特征值,一般应根据现场抗拔试验确定。对同一岩土层取其实测均值的 0.8 倍作为特征值。用于初步设计的粘结强度特征值可参考表 6.1.6-2 的数据,也可根据工程经验和工程类比法确定,对坚硬的块状岩体,也可取其轴向抗压强度的 10% 作为其粘结强度特征值。土钉支护中土钉周边的界面粘结强度与土钉的埋深无关;

表 6.1.6-2 土钉与岩土体界面粘结强度特征值 τ (kPa)

黏性土	坚硬	70~90	泥质页岩	50~70
	硬塑	50~70	粉砂质页岩	80~120
	可塑	30~50	全风化砂岩	40~65
	软塑	15~30	强风化含砾砂岩	130~160
粉土	50~100		中风化含砾砂岩	180~250
			弱风化含砾砂岩	280~300
砂土	密实	160~200	泥灰岩/灰岩	280~380
	中密	120~60	千枚岩	90~200
	稍密	90~100	强—中风化的页岩、片岩	70~140
	松散	70~90	玄武岩	470~570

注:表中数据作为一般低压注浆时极限强度的特征值。当用重力注浆时应适当折减,高压注浆时则可适当增大。

(3)土钉抗拉只考虑土钉钢筋的作用,钢筋强度的设计值 f_y 按现行的混凝土结构设计规范取用,即对 HRB335 钢筋为 300MPa,对 HRB400 钢筋为 360MPa;

(4)支护面层及其与土钉连接的材料强度设计值按现行的混凝土结构设计规范取用。

6.1.7 土钉支护整体稳定性分析的安全系数应不低于表 6.1.7 所示的数值。地震组合作用下的安全系数按表中的数值减 0.1 取用。

表 6.1.7 支护稳定性安全系数 K

内部整体稳定性		1.25 ~ 1.30	重要工程可取 1.30
外部整体稳定性(沿底部以下滑动)		1.25	
按刚性挡土墙验算稳定性	基底抗滑	1.20	土钉加筋边坡不作此项验算
	整体倾覆	1.30	
	地基承载力	见表注 2	

注:1.表中安全系数仅与本《指南》所采用的计算分析方法相应;

2.刚性挡土墙地基承载力按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)的规定验算;

3.对临时土钉支护,按表中数值减 0.1 取用。

6.1.8 用于支护内部整体稳定性分析时的土钉抗拉强度安全系数 k_{at} (对钢筋抗拉强度的设计值 f_y) 取 1.25, 土钉抗拔强度的安全系数 k_{ab} (对土钉界面粘结强度特征值 τ) 取 1.50, 对临时土钉支护工程的抗拉和抗拔安全系数则分别取 1.10 和 1.30。施工阶段验算时, 土钉抗拉和抗拔的安全系数对永久土钉支护分别取 1.10 和 1.25, 对临时土钉支护分别取 1.00 和 1.10。

地震作用下, 上述抗拉和抗拔的安全系数对永久土钉支护分别取 1.00 和 1.20。与此相对应, 在确定地震作用下的土钉极限抗力时, 钢材强度与土体粘结强度不再提高。

6.1.9 土钉支护的设计计算可取单位长度支护按平面应变问题进行分析。对支护沿长度有突变转角的区段, 在凹角处可适当考虑三维空间作用的有利影响, 对该处的支护参数作部分调整, 而在凸角处则必须局部加强。

6.2 支护的整体稳定性分析

6.2.1 对于一般土体和破碎岩体, 可按圆弧破坏面采用普通条分法对支护作内部与外部整体稳定性分析(图 6.2.1a)、图 6.2.1b)。假定破坏面上所有的土钉只承受拉力且均分别达到按第 6.2.6 条所确定的最大设计抗力 R , 同时忽略面层对支护整体稳定性的贡献。

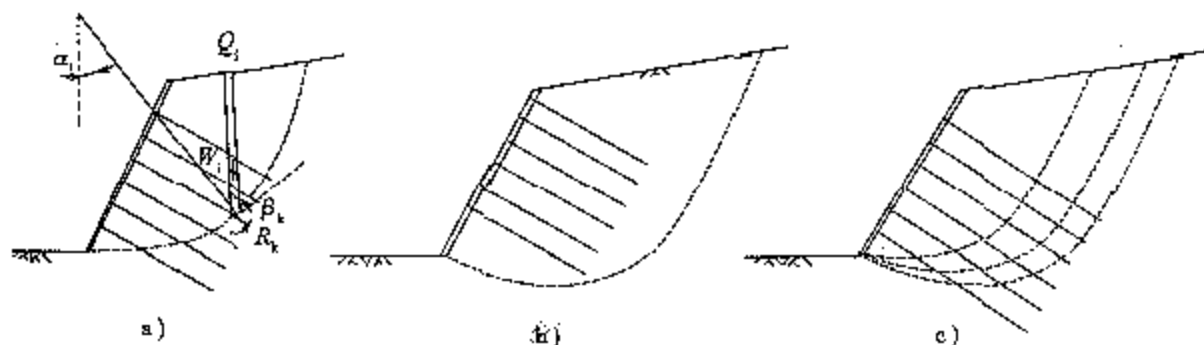


图 6.2.1 内部、外部整体稳定性分析

取单位长度支护进行计算,按式(6.2.1)算出内部整体稳定性安全系数为:

$$F_{\text{is}} = K \cdot K_1 \frac{\sum [(W_i + Q_i) \cos \alpha_i \cdot \tan \varphi_j + (R_k / S_{hk}) \sin \beta_k \cdot \tan \varphi_j + c_j (\Delta_i / \cos \alpha_i) + (R_k / S_{hk}) \cos \beta_k]}{\sum [(W_i + Q_i) \sin \alpha_i]} \quad (6.2.1)$$

式中: K ——支护稳定性安全系数;

K_1 ——支护重要性安全系数;

W_i, Q_i ——作用于土条 i 的自重和地面荷载;

α_i ——土条 i 圆弧破坏面切线与水平面的夹角;

Δ_i ——土条 i 的宽度;

φ_j ——土条 i 圆弧破坏面所处第 j 层土的内摩擦角;

c_j ——土条 i 圆弧破坏面所处第 j 层土的粘聚力;

R_k ——破坏面上第 k 排土钉的最大抗力,按 6.2.6 条确定;

β_k ——第 k 排土钉轴线与该处破坏面切线之间的夹角;

S_{hk} ——第 k 排土钉的水平间距。

对于外部整体稳定性分析,可能破坏面在土钉的设置范围以外,上式中无土钉抗力项。

当有地下水时,上式中尚应计入地下水的作用,对边坡地下水位以下的土体,计算其自重 W 时,按浮容重 γ' 计算;当有地下水渗流时,还必须考虑渗流力的作用,在上式分母中加上渗流力 $J = \gamma_w i$,式中 γ_w 为水的重度 kN/m^3 , i 为水头梯度平均值,可近似地假设 i 等于边坡浸润线两端连线的坡度。

对于桥台土钉支护,上式中应计入车辆的水平制动力(作用于地表)。

在地震作用下,上式中应计入作用于土体的水平地震力,其作用方向指向坡外。地震力可以按每一土条分开计算,作用于土条的重心,也可以按整个土体计算。

6.2.2 作为设计依据的临界破坏面位置需根据试算确定,与其相应的整体稳定性安全系数在各种可能的破坏面(图 6.2.1c))中应为最小值,并不低于表 6.1.7 中规定的安全系数 K 与支护工程的重要性系数 K_1 的乘积。 K_1 的数值见表 3.0.4,对于支护施工阶段的稳定性验算及临时土钉支护, K_1 按第 3.0.5 条和第 3.0.6 条的规定取用。

6.2.3 对于存在薄弱结构面的岩体,或在土体中有较薄弱的土层或薄弱面时,应将这些薄弱面组合作为潜在的滑动面进行稳定性分析,求出最低的稳定性安全系数。

6.2.4 土钉支护还应验算施工各阶段的内部稳定性(图 6.2.4),此时的开挖已达该步作业面的深度,但尚未设置这

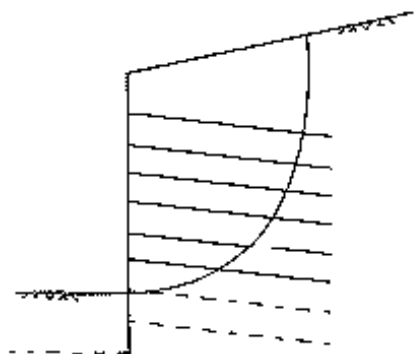


图 6.2.4 土钉支护的内部稳定性验算

一作业面上的土钉或其注浆尚未能达到应有的强度。

6.2.5 土钉挡土结构按刚性重力式挡土墙进行整体稳定性分析,其方法与一般的挡土墙相同(图 6.2.5),分别验算:

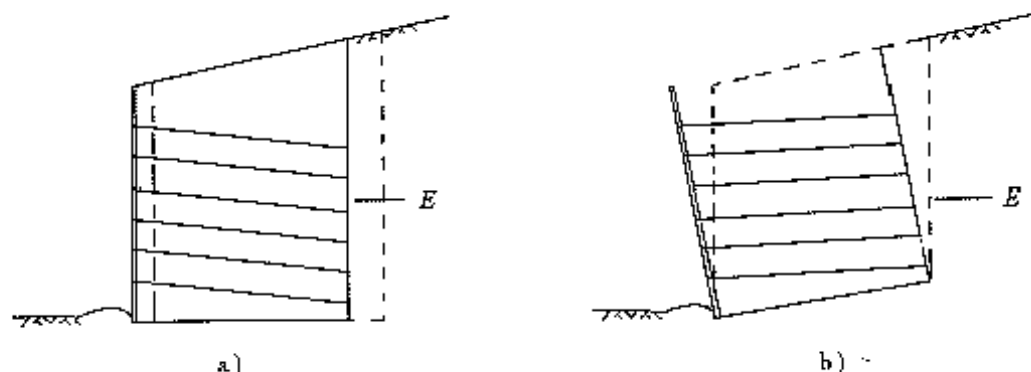


图 6.2.5 土钉支护按刚性重力式挡土墙进行整体稳定性分析

(1)整个支护沿底面水平滑动(图 6.2.5a));

(2)整个支护倾覆(图 6.2.5b));

(3)支护在倾覆力作用下的地基承载力。

计算时可近似取墙体的宽度等于底部土钉的水平投影长度,取墙体背面的土压力为水平作用的库仑主动土压力。地基承载力验算可参照《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)的规定进行。

6.2.6 对支护作内部稳定性分析时,破坏面上的土钉最大抗力按以下算式确定,并取其中的最小值:

$$\text{按土钉受拉屈服: } R = \frac{1}{K_{dl}} \frac{\pi d^2}{4} f_y \quad (6.2.6-1)$$

$$\text{按土钉从破坏面内侧拔出: } R = \frac{1}{K_{db}} \pi d_0 l_p \tau \quad (6.2.6-2)$$

$$\text{按土钉从破坏面外侧的面层拔出: } R = \frac{1}{K_{db}} \pi d_0 (l - l_p) \tau + 0.8 R_m \quad (6.2.6-3)$$

式中: d ——土钉钢筋直径;

d_0 ——土钉孔径;

f_y ——土钉钢筋抗拉强度设计值,按现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)取用;

τ ——土钉与土体之间的界面粘结强度特征值;

l_p ——土钉在破坏面内侧伸入稳定土体中的长度;

l ——土钉全长;

K_{dl} 、 K_{db} ——土钉抗拉、抗拔安全系数,见第 6.1.8 条;

R_m ——钉头与面层连接处的抗拔能力设计值,取决于连接处的节点强度以及面层的抗冲切与抗弯能力,按现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)与《钢结

构设计规范》(GB 50017—2003)确定,具体见第 6.3 节。

6.3 混凝土面层设计

6.3.1 土钉挡土结构的混凝土面层应视为承受侧向压力的受弯构件,按现行混凝土结构设计规范进行设计。这些侧向压力包括:土体自重产生的土压力,地面车载产生的土压力,地下水产生的水压力以及对桥台土钉支护尚有桥台垫梁和车辆制动引起的土压力。

6.3.2 土体自重对支护面层施加的侧向土压力强度 p_z 可按下列式计算:

$$p_z = 0.7 \left(0.5 + \frac{s-0.5}{5} \right) p_{zl} \leq 0.7 p_{zl} \quad (6.3.2-1)$$

$$p_{zl} = k_a \eta_z \gamma H \quad (6.3.2-2)$$

$$k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_z}{2} \right) \quad (6.3.2-3)$$

式中: s ——土钉的横向间距或竖向间距,取其中的较大值,单位为 m; p_{zl} 为:

k_a ——深度 z 处土层的主动土压力系数;

φ_z ——深度 z 处土层的内摩擦角,对于黏性土, φ_z 为等效内摩擦角;

η_z ——系数,随深度变化呈梯形分布,如图 6.3.2

所示;

$$\eta_z = \frac{1.1 E_a}{\gamma H^2} \left(\frac{z}{0.2H} \right) \leq \frac{1.1 E_a}{\gamma H^2} \quad (6.3.2-4)$$

E_a ——将面层假定成挡土构件时,作用于面层的主动土压力,对直立或接近直立的面层且地表为水平时,可按朗金公式给出,有:

$$E_a = \frac{k_a}{2} \gamma H^2, k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

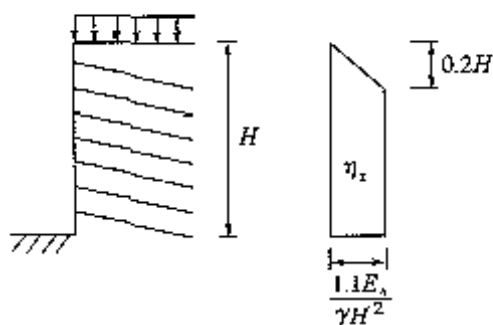


图 6.3.2 系数 η_z 随深度的分布图

对分层土体,上式中的土体参数 φ 、 γ 可取各层土体的参数 $\tan \varphi_z$ 及 ρ_z 按其分层厚度 h_z 加权的平均值。当支护面层倾斜且倾角不小于 75° 时或地表有横坡时, E_a 值可用库仑公式算出,此时可假定土体与面层间的摩擦角 δ 为零,且 E_a 为水平方向作用。

6.3.3 当地面车道荷载向下扩散的压力触及面层时(图 6.3.3),车道荷载作用于面层的侧压力强度 p 可按下列式估算:

$$p = k_a \cdot q \frac{B}{B_1} \quad (6.3.3)$$

式中: q ——地面车道荷载特征值;

B, B_1 ——意义如图 6.3.3 所示；

k_a ——主动土压力系数。

6.3.4 当土钉挡土结构中有地下水时,应单独计算混凝土面层后的水压力 p_w ：

$$p_w = 0.5 \gamma_w z \quad (6.3.4)$$

式中： z ——地下水位以下至计算点的深度；

0.5——经验系数；

γ_w ——水的重度。

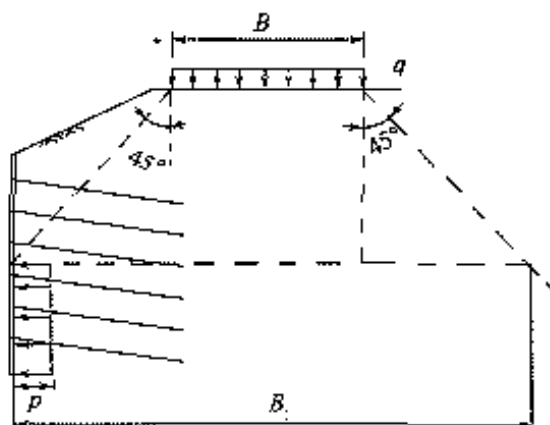


图 6.3.3 车辆荷载作用于支护面层的侧压力计算图

6.3.5 混凝土面层可按以土钉为点支承的连续板进行设计。对永久土钉支护作用于面层的侧压力设计值为荷载分项系数 1.25 与特征值的乘积,并据此确定面层构件承受的正、负弯矩与支点剪力,进行面层抗弯强度与抗冲切强度的验算。在支护面层的伸缩缝处,应根据伸缩缝的具体构造选定面层的计算图形,一般应视为悬臂板。当支护面层由混凝土网格梁或梁板组成时,则按连续梁体系或梁板体系进行内力分析和计算。

6.3.6 土钉钉头与混凝土面层的连接,应按钉头作为面层的支点,将侧向土压力作用下产生的支点反力作为钉头应能承受的拉力。当钉头采用螺纹、螺母和垫板与面层连接时,应按现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)验算土钉钢筋外端螺纹截面的抗拉以及垫板的抗弯能力。当用焊接或锚固等方法通过不同形式的部件与面层相连时,应对焊接强度或锚固长度进行验算。此外,面层连接处尚应验算混凝土的局部承压能力。

永久支护在喷射混凝土施工面层外设有现浇混凝土面层时,应通过锚钩或锚栓等构造(经过验算)将钉头拉力传递到现浇混凝土面层中。

6.3.7 对支护作内部整体稳定性分析时,土钉钉头从面层拔出的抗力按以下途径计算确定：

- (1)根据面层的抗弯能力,按均布侧向荷载作用算出钉头作为面层支点时的反力；
- (2)根据面层在支点处的抗冲剪能力,按均布侧向荷载作用算出钉头作为支点时的反力；
- (3)根据土钉钉头与面层的连接强度,算出钉头能够承受的轴力；

土钉钉头从面层拔出的抗力应为上述三者中的最小一个,并除以荷载分项系数 1.25 作为特征值。

7 土钉支护施工技术

7.1 一般规定

7.1.1 土钉支护施工,应按施工组织设计制订的方案和工序进行,仔细安排土方开挖、支护和设置排水系统等工序并使之密切配合,力争连续快速施工。

7.1.2 土钉支护每步施工的一般流程如下:

- (1)开挖工作面,修整边坡;
- (2)设置土钉(包括成孔、置入钢筋、注浆、补浆);
- (3)铺设、固定钢筋网,或放线挖槽、绑扎钢筋笼(网格梁面层);
- (4)喷射混凝土面层,或立模、浇灌混凝土、振捣密实(网格梁面层)。

根据不同的岩土特点和支护构造方法,上述工序可以变化。支护的内部排水以及坡顶和坡脚的排水系统应按整个支护从上到下的施工过程穿插设置。

7.1.3 应强调信息化施工,施工开挖和成孔过程中应随时观察地质变化情况并与原设计所认定的加以对比,如发现异常应及时进行反馈设计。对于大型土钉支护工程应有施工监控措施,建立地面观测网和深层位移监测点,埋设必要的传感器,如土压力盒、钢筋计或锚杆测力计、深部测斜管等,应用收敛计、测斜仪、裂缝测试仪及水准仪、经纬仪等量测施工过程中的岩土压力和土钉应力变化,地表、坡顶侧向位移 λ 与该级边坡的开挖深度 H 之比不得超过表 7.1.3 所列数值,且位移收敛,否则应采取加固措施并应加强观测。

表 7.1.3

土 类	砂 土	黏 土	软 土
λ/H	3‰	3‰~5‰	5‰~10‰

7.1.4 施工中应强化安全意识,特别是对高陡边坡,一定要事先制订安全保障措施,建立健全安全制度,严禁大爆破、大开挖,钻孔和土钉设置所需的脚手架和施工平台必须牢固稳定。

7.1.5 应重视生态和环境保护,文明施工,防止污染,防止因施工不当诱发地质灾害或加剧已有地质灾害对工程本身及周围环境的破坏,如发现支护边坡本身为不良地质体,如古滑坡、岩堆等,或其附近有地质灾害时,应及时通知监理和业主,并暂停施工。

7.2 施工准备

7.2.1 熟悉施工设计图。核对设计条件与地质勘察资料是否一致,如有不符,应向设计人员提出并做记录,以作备查。

7.2.2 编制施工组织设计。施工组织设计的编制应根据设计图纸、地质条件以及临近边坡的环境状况进行,其内容应包括:组织管理、机具配备、开挖方法、监测手段、应急措施等。

7.2.3 材料准备与原材料检测。施工前应对砂、石、水泥、钢筋、外加剂等原材料的供货商进行考察,确保原材料的质量。所用的原材料除必须为合格产品外,在施工前还必须进行抽验并取得相应的合格证明。对于用作注浆和喷射混凝土及网格梁等支护面层的水泥,宜采用普通硅酸盐水泥,水泥强度等级应不低于42.5MPa;注浆用砂应选用粒径小于2mm的中细砂,使用前须过筛,严防石块、杂物混入,砂的含泥量按重量计不得大于3%;喷射混凝土用砂应为中粗砂,细度模数大于2.5,砂的含水率宜为5%~7%;用于喷射混凝土的石子应为坚硬卵石或碎石,最大粒径不宜超过15mm,喷射混凝土所用骨料级配应参照《锚杆喷射混凝土支护规范》(GB 50086—2001),宜控制在表7.2.3所给的范围内;注浆用水和混凝土用水不得使用污水和pH值小于4的酸性水,不应含有影响混凝土质量的有害杂质。

表 7.2.3 喷射混凝土骨料通过各筛径的累计质量百分数(%)

筛孔尺寸(mm)	0.15	0.30	0.60	1.18	2.36	4.75	9.5	13.2
优	5~7	10~15	172~2	23~31	34~43	50~60	78~82	100
良	4~8	5~22	133~1	18~41	26~54	40~70	62~90	100

7.2.4 土钉的现场极限拉拔试验。施工前应根据设计要求,在现场选取不同类型的岩土层,设置试拉土钉,按有关要求基本进行基本试验,以检验设计参数的合理性,为优化和修正设计提供依据。

7.2.5 建筑物的鉴定。施工前对因边坡支护施工可能会影响到临近边坡的文物和重要建筑物的安全时,应请有关部门对其现状做出鉴定,并标记和拍照所有损坏的部位和破坏程度,以备施工中对损坏部位进行严密监测,确保原有文物或建筑物的安全。

7.3 土方开挖

7.3.1 土钉支护应按设计规定的分层深度按作业顺序开挖,在完成上层作业面的土钉与喷射混凝土以前,不得进行下一层深度的开挖。一次开挖高度不得大于设计中规定的边坡临界自稳高度,一次开挖长度也不得大于设计中规定的临界自稳长度。

7.3.2 当用机械进行土方作业时,严禁边壁出现超挖或造成边壁土体松动。边壁宜采

用小型机具或铲锹进行切削清坡,以保证边坡平整并符合设计坡率。

7.3.3 土钉支护分层开挖深度和施工的作业顺序应保证修整后的裸露边坡能在规定的时间内保持自立,并在限定的时间内完成设置土钉和进行面层施工。在沿边坡走向的水平方向的开挖也应分段进行,一般可取 10~20m。

应尽量缩短边坡土体的裸露时间。对于自稳能力差的土体,如高含水量的黏性土和无天然黏结力的砂土必须立即进行支护。

7.3.4 为防止边坡的裸露土体发生坍塌,对于易塌的土体可采用以下措施:

- (1)对修整后的边坡立即喷上一层薄砂浆或混凝土,待凝结后再进行钻孔;
- (2)在作业面上先构筑钢筋网喷射混凝土面层,而后进行钻孔并设置土钉;
- (3)在水平方向上分小段间隔开挖;
- (4)先将作业深度上的边坡做成斜坡,待钻孔并设置土钉后再清坡;

(5)当开挖前已知开挖面有软弱土层且垂直开挖时,或经计算和试验已知边坡自稳时间过短时,应严格控制开挖高度和长度,采取开挖前超前支护,开挖后快速封闭措施,可在开挖前沿开挖面置入 $\phi 48\text{mm} \sim \phi 100\text{mm}$ 钢管(图 7.3.4a));开挖过程中遇有局部易塌方土

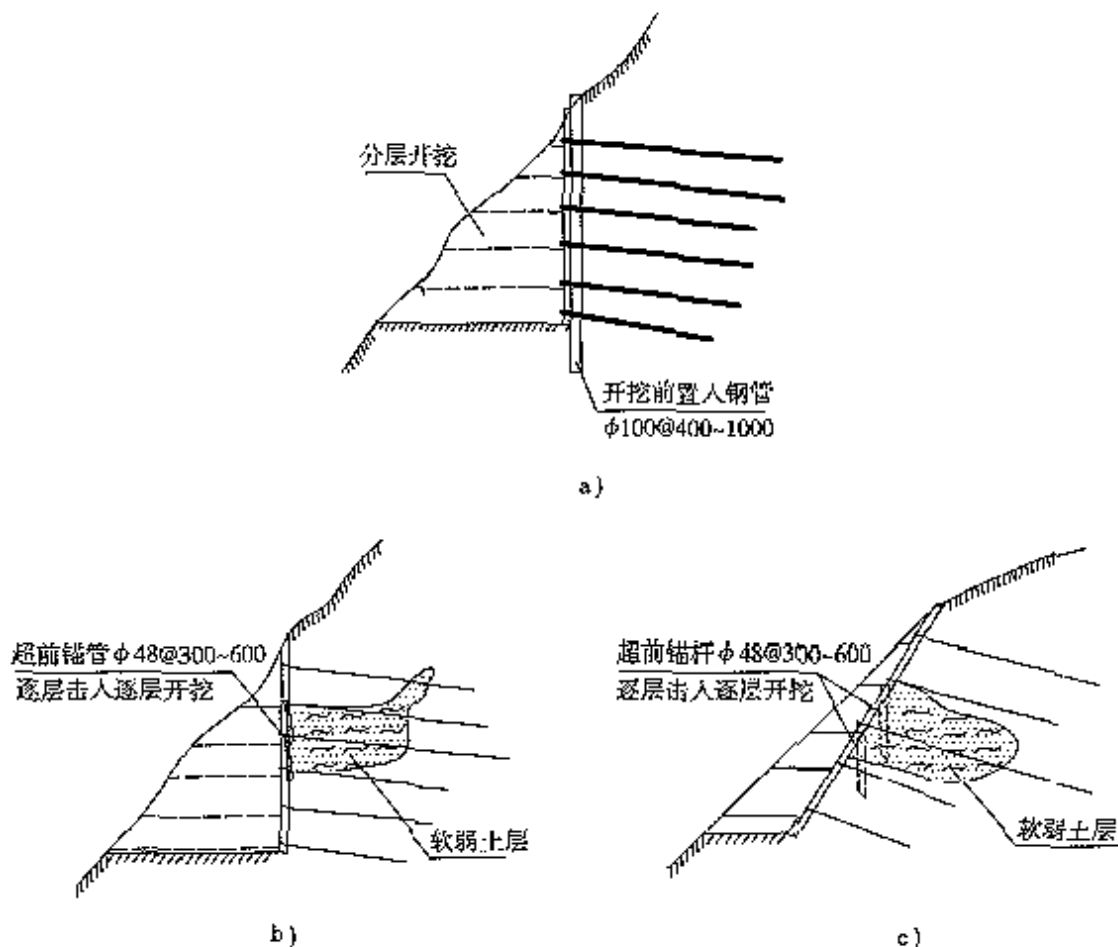


图 7.3.4 边坡开挖的超前支护方式(尺寸单位:mm)

层时,可逐层分段击入 $\phi 48\text{mm}$ 钢管@300~600mm(图 7.3.4b));当边坡采取放坡开挖遇有局部较差土层时,可在较差土层坡顶部击入 $\phi 48\text{mm}$ 钢管(或竹、木桩),其间距@300~600mm,(图 7.3.4c))。无论何种情况,在开挖一层土钉作业面后,应随挖随喷第一层混凝土,然后再编扎钢筋网和施喷第二层混凝土。待喷层混凝土具有一定强度后(一般不少于 2h)再进行土钉钻孔作业。当有施工条件时,也可采用深层搅拌桩对不稳定的软土边坡进行开挖前的加固。

7.3.5 对已塌方的边坡的处理。对一般性较小塌方,应先对塌方部分的松散土体进行加固或清除,再行边坡开挖支护;对较大塌方应在松散土体中采用击入钢花管注浆加固或击入竹(木)桩加固(图 7.3.5),当条件允许时也可采取深层搅拌桩加固。

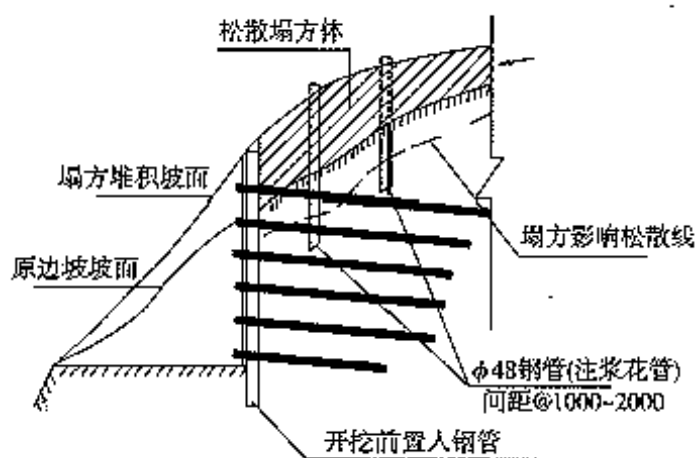


图 7.3.5 失稳边坡的处理(尺寸单位:mm)

7.4 临时排水系统施工

7.4.1 地表排水系统施工。在距边坡顶部 3~5m 范围内宜开挖一截水沟,截水沟断面大小视当地汇水面积确定,但不得小于下底宽 0.3m,上口宽 0.5m,深 0.3m。从边坡顶部至排水沟之间应全部用水泥砂浆抹面(或植草),以防雨水冲刷。当设计图要求坡顶有永久性排水沟时,施工排水沟宜与永久性排水沟合建。

7.4.2 边坡土体内排水。在施工过程中应视边坡土体内的水量情况设置排水(滤水)管,管的长度宜为 0.5m~1.0m,其间距视边坡土体的水量分布定,一般 2m 左右。当设计有永久性排水孔(管)时,其临时排水孔(管)宜与永久性排水孔(管)综合考虑布置。为控制边坡沉降,设计上不允许排水时,待喷射混凝土达到一定强度后,应将临时排水孔堵塞。

7.4.3 边坡脚的临时排水。在开挖每一层土钉(锚杆)作业面时,宜在距作业面适当距

离处设置临时排水沟和集水坑,将集水排除,以保证施工过程中确保土质边坡下部不被雨水或施工用水浸泡。

7.4.4 对边坡岩土中有地下水流出的裂隙、泉眼,施工开始时应将裂隙、泉眼中的地下水用塑料胶管等引出边坡外。土钉支护施工时,再将裂隙水引入永久排水系统中。

7.5 土钉设置

7.5.1 土钉成孔前,应对钻孔机具相关的性能和有关参数及配件进行核对,是否满足所需的钻孔深度、钻孔直径等设计要求;熟悉钻孔部位的地质及地下状况,是否有通信电缆、煤气及给排水管道等地下设施;根据设计要求在作业面上标定孔位,并作出标记和编号。孔位的允许误差不大于 150mm(但若遇有地下水渗流的导水裂隙,钻孔应避开),钻孔的倾角误差不大于 3° ,孔径允许误差 $+20\text{mm}$ 、 -5mm ,孔深允许误差 $+200\text{mm}$ 、 -50mm 。

7.5.2 钻孔机具的选择与要求。钻孔机具的配置应根据钻孔机具的性能及地质状况(全土层、半岩半土层或全岩层)、设计孔深、孔径以及成孔方式等,选用与之相应的钻孔机具如冲击钻机、螺旋钻机、回转钻机、洛阳铲等。对于土层边坡支护的钻孔,如有条件,优先选用干式成孔机具,可减少边坡的变形;在易塌孔的土体中钻孔,宜采用套管成孔或挤压成孔;在变形较大、易发生缩颈和堵塞的软土中,宜采用套管成孔或用锚管作为土钉筋体,用冲击锤直接击入边坡,旋即注浆。

7.5.3 钻孔方式的选择。钻孔方式主要根据其地质条件及设计要求进行选择。对于坚硬岩层必须采用湿式钻孔;对于软质岩层,钻孔过程中不出现粉尘时,可湿式钻孔,也可干式钻孔;对于土质边坡(设计允许外)宜优先考虑干式钻孔。

7.5.4 钻孔障碍的排除与地质条件改变的处理。当在钻孔作业中,遇有地下管线等障碍物或现场地质与设计不符例如出现软弱土层时,允许改变其设计钻孔的倾角或水平角,使钻孔作业能顺利通过障碍物,并将土钉的固定端置入较好的土层中。

7.5.5 清孔方式。在岩体内的清孔,可用水冲洗孔内岩粉、岩屑等,并用高压空气将其吹出。对于土层采用湿式钻孔时,可采用注水冲洗孔内残浆、残渣等杂质,直至孔口出清水后,再用高压空气将孔内残留物吹出并及时注浆;对于土层中的干式钻孔,不应进行带水清孔,宜采用高压空气经钻杆达孔底,将孔内一切松散杂质吹出。

7.5.6 成孔过程中应做好成孔记录,按土钉编号逐一记载取出的土体特征、成孔质量、事故处理等。应将取出的土体与初步设计时所认定的加以对比,发现有较大偏差时需及时反馈,修改土钉的设计参数。

7.5.7 土钉钢筋置入孔中前,应先设置定位对中支架,保证钢筋处于钻孔的中心部位,支架沿钉长的间距应视钻孔孔壁软硬而定,一般为1.5~2.0m,孔壁软时取小值,坚硬时取大值,支架的构造应不妨碍注浆时的浆液自由流动。

7.5.8 土钉钢筋的安装。在安装前应按设计要求检查钻孔质量,在钻孔深度、孔径以及清孔等均合格后,方可将土钉钢筋(连同注浆管或注浆排气管)送入钻孔内。当出现塌孔,不能将土钉钢筋送达预定位置时,应将土钉钢筋拔出,清除孔内坍塌物后,再重新将土钉钢筋送达预定的设计深度处。

7.5.9 土钉钢筋置入孔中后,可采用重力、低压(0.4~0.6MPa)或高压(1~2MPa)方法注浆填孔。注浆泵的规格、压力和输出量应满足施工要求,水平孔必须采用低压或高压方法注浆。压力注浆时应在钻孔口部设置止浆塞(如为分段注浆,止浆塞应置于钻孔内规定的中间位置),注满后保持压力3~5 min。

7.5.10 对于下倾的斜孔,采用重力或低压注浆时应采用底部注浆方式,注浆导管底端应先插入距孔底10~20cm处,在注浆同时将导管以匀速缓慢撤出,导管的出浆口应始终处在孔中浆体的表面以下,保证孔中气体能全部逸出。重力注浆以满孔为止,但在初凝前需补浆1~2次。

7.5.11 对于水平钻孔,必须用口部压力注浆或分段压力注浆,此时需配排气管并与土钉钢筋绑牢,在注浆前与土钉钢筋同时送入孔中。

7.5.12 为了提高土钉抗拔能力可采用二次劈裂注浆方法,即在首次注浆(砂浆)终凝后2~4h内,用高压(2~3MPa)向钻孔中的二次注浆管注入水泥净浆,注满后保持压力5~8min。二次注浆管的边壁带孔且与钻孔等长,在首次注浆前与土钉钢筋同时送入孔中。

7.5.13 向孔内注入浆体的充盈系数必须大于1。每次向孔内注浆时,宜预先计算所需的浆体体积并根据注浆泵的冲程数求出实际向孔内注入的浆体体积,以确认实际注浆量超过孔的体积。最小注浆量应满足式(7.5.13)要求:

$$Q \geq K\pi r^2 L \quad (7.5.13)$$

式中: Q ——实际入孔内的注浆量, m^3 ;

r ——钻孔半径, m ;

L ——钻孔长度(孔口至孔底), m ;

K ——与钻孔周围土层孔隙有关的系数,一般取 $K \leq 1.2$ 。

7.5.14 注浆用水泥砂浆或净浆的水灰比宜为0.4~0.45,并宜加入适量的速凝剂等外加剂。施工时当浆体工作度不能满足要求时可外加高效减水剂,不准任意加大用水量。

浆体应搅拌均匀并立即使用,开始注浆前、中途停顿或作业完毕后须用水冲洗管路。

7.5.15 用于注浆的水泥砂浆强度可用 $70\text{mm} \times 70\text{mm} \times 70\text{mm}$ 立方试件经标准养护后测定,每批至少留取 3 组(每组 3 块)试件,给出 3d 和 28d 强度。

7.5.16 当土钉钉头通过螺纹、螺母、垫板与面层连接时,宜在钉头约 600 ~ 800 mm 的长度段内,用塑料包裹土钉钢筋表面使之形成自由段,以便于喷射混凝土凝固后拧紧螺母;垫板与喷射混凝土面层之间的空隙用高强水泥砂浆填平;当土钉钢筋端部通过锁定筋与面层内的加强筋及钢筋网连接时,其相互之间应可靠焊牢;当土钉钉头通过其他形式的焊接件与面层相连时,应事先对焊接强度作出检验。

7.5.17 土钉支护成孔和注浆工艺的其他一般要求与注浆锚杆相同,并可参照《土层锚杆设计与施工规范》(CECS 22:90)和《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)。

7.6 喷射混凝土面层施工

7.6.1 混凝土喷射机的输送距离应满足施工要求,供水设施应保证喷头有足够的水量和水压(不小于 0.2MPa)。空压机应满足喷射机工作风压和风量要求,一般可选用风量 $9\text{m}^3/\text{min}$ 以上、压力大于 0.5 MPa 的空压机。

7.6.2 在喷射混凝土前,面层内的钢筋网应牢固固定在边坡上并符合规定的保护层厚度要求。钢筋网可用插入土中的钢筋固定,在混凝土喷射下应不出现振动。

永久支护喷射混凝土面层的厚度允许误差为 -10mm ,其表面宜作抹平压实修整。

7.6.3 钢筋网一般宜在现场焊接或绑扎,网格允许误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。钢筋网铺设时每边的搭接长度应不小于一个网格边长或 200mm,如为搭焊则焊长不小于钢筋直径的 10 倍。钢筋网的水平钢筋一般采用搭接绑扎加电焊(每一接头不少于 2 个焊点),钢筋网的竖向钢筋的连接应采用焊接接头。

7.6.4 钢筋网与钉头的固定:当边坡设有超前钢管桩时,钢筋网应置于钢管桩以外,网格梁或加强钢筋(不小于 $2\phi 16\text{mm}$ 或由设计确定)置于钢筋网以外,固定于土钉钢筋外端,即钢筋网的受力是经加强钢筋传递于钉头。钢筋网、加强钢筋、钉头的相互连接关系如图 7.6.4 所示。

7.6.5 喷射混凝土配合比应通过试验确定,粗骨料最大粒径不宜大于 15mm,水灰比不宜大于 0.45,并应通过外加剂来调节所需工作度和早强时间。喷射混凝土的配合比,一般根据设计要求的强度等级,现场试配。但对于强度等级为 C20 ~ C25 的喷射混凝土,其

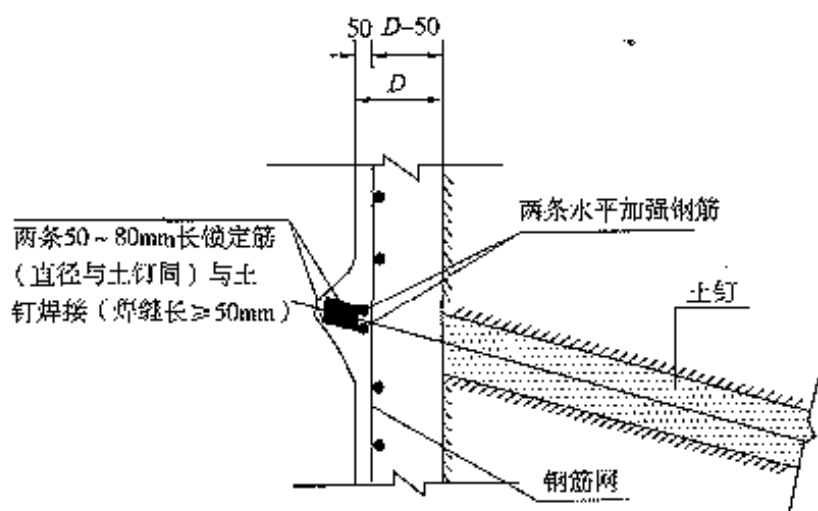


图 7.6.4 钢筋网与钉头的固定(尺寸单位:mm)

D-钻孔直径

参考试配比(重量比)为:水泥:水:石:砂 = 1:0.4~0.45:2:2。当支护边坡为垂直开挖或有地下水时宜按需要掺入速凝剂。

7.6.6 当采用干法施工时,应事先对操作手进行技术考核,保证喷射混凝土的水灰比和质量能达到要求。喷射混凝土前,应对机械设备、风、水管路和电路进行全面检查及试运转。

7.6.7 喷射混凝土面层的分级分段。对整个边坡而言,喷射混凝土应从上(坡顶)至下(坡脚)逐级进行,对具体施工某一级某一段而言,施喷方法应从下至上,从里到外,逐次增厚。喷头的位置应尽量与喷射面垂直。喷头与受喷面距离宜控制在 0.8~1.5m 范围内,射流方向垂直指向喷射面,但在钢筋部位,应先喷填钢筋后方,然后再喷填钢筋前方,防止在钢筋背面出现空隙。

7.6.8 为了保证施工时的喷射混凝土厚度达到规定值,可在边壁上垂直打入短钢筋作为标志。当面层厚度超过 100mm 时,应分两次喷射,每次喷射厚度宜为 50~70mm。在继续进行下步喷射混凝土作业时,应仔细清除预留施工缝结合面上的浮浆层和松散碎屑,并喷水使之潮湿。施工缝(包括水平接头和上下层接头)混凝土面层的结合处应采用斜面(45°左右)接头,不应采用垂直面(垂直缝)接头。缝面应粗糙、清洁、良好。

7.6.9 喷射混凝土终凝后 2h,应根据当地条件,采取连续喷水养护 5~7d,或喷涂养护剂。在养护期间内应保持混凝土面充分湿润;对于临时性支护边坡的喷射混凝土,可不进行养护。

7.6.10 喷射混凝土强度可用边长 100mm 立方试块进行测定,制作试块时应将试模底面紧贴边坡,从侧向喷入混凝土,每批至少留取 3 组(每组 3 块)试件。

7.6.11 土钉支护喷射混凝土的其他一般要求可参照《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)。

7.7 地梁、网格梁的施工

7.7.1 地梁施工。根据地质情况是否需要设置地梁按设计要求,地梁一般设于边坡底部,其工序应在边坡最下一排土钉施工完成后进行;地梁一次开挖长度应视地质条件定,一般开挖长度与边坡开挖长度大体一致;地梁配模,一般只需配置外模,靠边坡一侧及梁底,可喷 40~60mm 混凝土作垫层,梁底宜再用水泥砂浆找平;地梁钢筋配置后应将边坡支护底部的竖向钢筋锚于地梁内,其锚固长度按设计要求,一般不小于边坡支护的竖向钢筋直径的 30 倍。

7.7.2 网格梁及边梁土槽开挖。对于突出式网格梁和边梁(即突出支护面的梁),无需对网格梁进行挖槽。对于嵌入式网格梁及边梁(即嵌入边坡支护面以内的梁)且地质条件较差时,应分段开挖,其分段长度不应大于边坡开挖的分段长度。土槽开挖深度依网格梁及边梁的嵌入深度而定,边梁和网格梁可全部或部分嵌入坡内。网格梁槽的开挖宜用人工开挖,当边坡岩土较疏松时宜随挖随喷混凝土护面(喷射混凝土厚宜为 30~40mm),以防梁槽侧壁(尤其是水平梁槽的上侧)坍塌。当遇有很差土体时,在开挖网格梁槽前,宜在梁的上侧击入 $\phi 18\text{mm} \sim \phi 22\text{mm}$ 钢筋(或竹钉、木片),间距 0.3m 左右。土钉支护结构的网格梁见图 7.7.2。

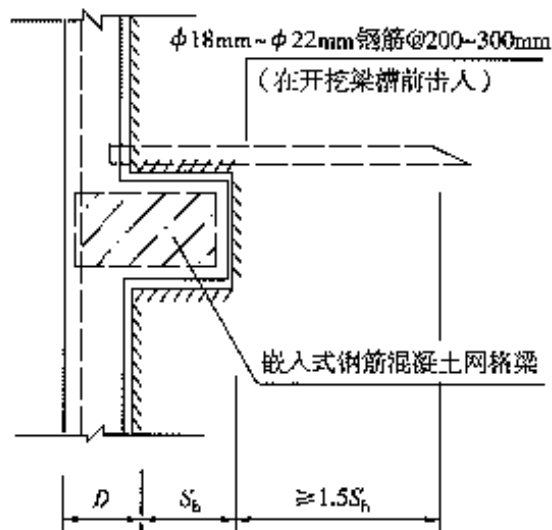


图 7.7.2 土钉支护中的网格梁
D-钻孔直径

7.7.3 网格梁配模。使用喷射混凝土时,对水平梁和边梁只需配置上、下模板,对竖向梁只需配置左、右侧模板。模板应做到平整、牢固,并在模板内侧刷脱模剂。

7.7.4 网格梁钢筋绑扎与土钉的连接。网格梁钢筋绑扎,除应满足现行国家《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)外,如设有竖向梁且竖梁按逐层(土钉的竖向间距)施工时,其纵向受力筋的接头应采用焊接;位于网格梁内的土钉钢筋长度不宜小于 $30d$ (d 为土钉钢筋直径)且土钉钢筋应弯曲成 90° 与网格梁受力钢筋搭接,不应突出梁面外。网格梁的节点必须置于土钉头的位置,土钉加筋边坡的网格梁见图 7.7.4。

7.7.5 地梁、网格梁混凝土浇筑。地梁和网格梁在立模后可采用喷射混凝土或现浇混凝土。当采用喷射混凝土时,对梁的正面(未配模一面)在混凝土尚未终凝时,应辅以人工

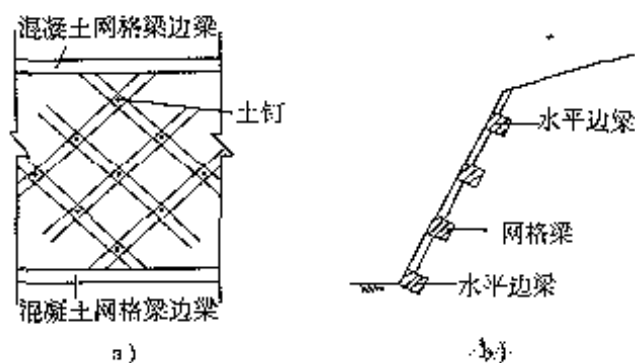


图 7.7.4 土钉加筋边坡的网格梁设置

a)平面图;b)剖面图

及时修整抹面成型,并将喷射混凝土回弹物及时清除干净,混凝土的强度等级不应低于 C25。

7.7.6 地梁、网格梁的养护。地梁、网格梁的养护与 7.6.9 条相同。

7.8 特殊地质条件下的土钉施工与险情应急措施

7.8.1 膨胀岩土边坡中的土钉支护施工,应充分考虑外界环境对膨胀岩土的影响,在施工中应尽量减小边坡岩土中含水量的变化,施工中及时封闭边坡坡面及坡顶的地表,修建完整的地表排水系统,并经常检查,防止渗漏水;给排水管道临时水池、搅拌站等施工用水设备应妥善管理,距边坡不宜太近,钻孔完成后,宜用高压空气清孔,不得用水洗孔,对边坡变形控制较严的支护工程,为了平衡边坡膨胀压力,必要时可对土钉施加部分预应力,施加的预应力应大于膨胀压力,也可在支护面层布设应力释放孔,释放部分膨胀压力,膨胀压力释放孔的密度与土钉的密度相同,一般相间排列,其深度和孔径视当地大气影响深度和膨胀岩土等级而定,一般孔深 3~5m。

7.8.2 砂砾土边坡中的土钉支护。位于地下水位以下的由砂卵石组成的河流阶地路堑边坡,因其透水性好,往往会发生流砂现象,且钻孔时,塌孔现象多。施工时可用等强度锚管代替土钉,用冲击锤将锚管击入边坡,也可用套管跟进钻孔或冲击成孔;边坡开挖时,应先设置一定数量的排水孔,排水孔中的带孔 PVC 管或波纹管应设置反滤层;应严格边坡分层开挖高度,对挖出的坡面应立即喷射混凝土,待边坡稳定后再按后续工序造孔、安放土钉等;砂砾层中的土钉注浆宜采用纯水泥浆并掺入一定数量的早强剂,注浆方式宜采用底部注浆,缓慢加压,注浆压力宜控制在 1.5MPa 以内。

7.8.3 强风化岩中的土钉支护施工,强风化岩体呈碎裂结构,裂隙发育,土钉支护施工中常出现塌孔、漏浆、跑气等现象,施工时每层挖深应经过现场试验确定,一般应控制在 3m 以内,每层开挖后宜立即喷射第一层混凝土,一般完成土钉支护 24h 后再开挖下一层。

土钉设置宜用冲击钻成孔或采用回旋钻进及泥浆护壁防止塌孔；注浆时宜采用低压注浆，缓慢加压，防止漏浆，必要时也可采用二次注浆技术。

7.8.4 土钉支护施工出现险情时，应立即停止施工，做好反映支护工程异常情况的资料收集、整理和汇编工作，尽快查清原因，采取对策，制订和实施施工抢险方案。

7.8.5 对施工事故、施工险情等，施工方应尽快向业主、监理及勘察设计单位反馈信息，对勘察、设计资料进行复审，必要时进行变更设计。

7.8.6 当边坡变形过大、变形速率过快、位移不收敛，边坡出现开裂、沉陷等险情时，可视情况选用如下应急措施：

- (1)坡脚临加堆载反压；
- (2)坡顶卸土减载，并严格控制卸载程序；
- (3)做好临时排水、封面处理；
- (4)对支护结构临时加固；
- (5)加强险情段的监测。

8 土钉现场试验

8.1 一般规定

8.1.1 土钉试验应由业主委托设计、施工单位之外的第三方进行。

8.1.2 注浆土钉的浆体强度和台座强度均达到设计强度的 70% (约 15.0MPa) 以上,方可进行拉拔试验。所有的试验土钉均不得用作工作土钉。

8.1.3 土钉试验前,应对张拉设备进行标定。

8.1.4 试验用加荷装置的额定压力必须大于试验压力;试验用反力装置在最大试验荷载下应保持足够的强度和刚度;试验用检测装置(测力计、位移计、计时表)应满足设计要求的精度。

8.1.5 土钉试验应在面板施工前进行。当土钉密度较大时,试验土钉的选择应采取跳跃式,以免相邻土钉相互影响。

8.1.6 土钉正式张拉之前,应取 $0.1f_A$ 的初始荷载,对试验土钉进行预拉,使其各部件接触紧密,杆体完全平直。

8.1.7 用作基本试验和徐变试验的测试钉应保留距孔口至少有 1.0m 的非粘结段。非粘结段应外套 PVC 管,待试验结束后,非粘结段应用浆体回填。

8.1.8 对于各类试验土钉,均应在试验前现浇制作混凝土或钢筋混凝土台座,作为拉拔试验的反力装置。台座应留有大于土钉直径的孔洞,台座内的土钉钢筋应避免与台座粘结。台座宜为梯形体,上小下大,正面应与土钉垂直。出露台座外的土钉钢筋长度应不短于 0.5m。

8.1.9 土钉现场拉拔试验应用穿心千斤顶加载,千斤顶应置于台座上,但土钉、千斤顶、测力杆必须在同一轴线上。加载时用油压表大体控制加载值并由测力杆准确予以计量。

土钉的拔出位移量用精度为 0.01mm、量程不小于 50mm 的百分表或电子测微表测

量。位移量测仪表应远离混凝土面板着力点。

8.2 土钉基本试验

8.2.1 基本试验应在施工前专门设置的非工作钉上进行,并应加载直至破坏,用以确定极限荷载,并作为选用设计荷载,即设计内力的依据。但最大试验荷载不得超过钢筋的屈服强度 f 与其面积 A 的乘积的 0.8 倍。

8.2.2 每一典型岩土层中至少应有一组 3 根用于基本试验的非工作土钉。基本试验土钉的各项设计参数及施工工艺均与工作土钉相同,其注浆粘结长度一般为 3~5m,在满足钢筋不发生屈服并最终发生拔出破坏的前提下宜取较长的粘结段,必要时适当加大土钉钢筋直径,或选用更高强度的钢筋作为试验土钉钢筋。

8.2.3 基本试验采用分级循环加载,首先施加 $0.1fA$ 的初始荷载,使加载装置保持稳定,然后按每级 $0.1 \sim 0.15fA$ 的荷载增量加载,在每级加荷等级观测时间内,测读钉头位移不少于 3 次,岩质、砂质及硬粘土中土钉加荷等级与观测时间见表 8.2.3。

表 8.2.3 岩质、砂质及硬粘土中土钉基本试验加荷等级与观测时间

加荷增量 ΔA (%)	初始荷载	—	—	—	10	—	—	—
	第一循环	10	—	—	30	—	—	10
	第二循环	10	20	30	40	50	20	10
	第三循环	10	30	40	50	40	30	10
	第四循环	10	30	50	60	50	30	10
	第五循环	10	30	50	70	50	30	10
	第六循环	10	30	60	80	60	30	10
	第七循环	10	30	60	90	60	30	10
观测时间(min)		5	5	5	10	5	5	5

8.2.4 在每级加荷等级观测时间内,钉头位移量不大于 0.5mm 时,可施加下一级荷载,否则应保持荷载不变继续测读 15、30、60min 时的位移,直至 60min 与 5min 的位移增量小于 2.0mm 时,方可施加下一级荷载。否则即认为达到破坏荷载。

8.2.5 $0 < I_L \leq 1.0$ 的可塑粘土中的土钉基本试验的循环加荷分级及观测时间见表 8.2.5。

表 8.2.5 可塑粘土中土钉基本试验加载等级与观测时间

加荷等级 ΔA (%)	初始荷载	第一级	第二级	第三级	第四级	第五级	第六级
	10	30	40	50	60	70	80
观测时间(min)		15	15	15	30	120	120

当荷载等级 $< 0.5f_A$ 时,每分钟加荷不宜大于 20kN ,荷载等级 $> 0.5f_A$ 时,每分钟加荷不宜大于 10kN 。

当荷载等级为 $(0.6 \sim 0.8)f_A$ 时,钉头位移增量在 2.0h 观测时间内小于 2.0mm ,方可施加下一级荷载。

8.2.6 土钉拉拔破坏的标准

- (1) 拉拔力超过了最大值,钉—土界面粘结强度丧失(图 8.2.6a));
- (2) 钉头位移不收敛,即位移在恒载下继续发展(图 8.2.6b));
- (3) 后一级荷载产生的钉头位移增量等于或大于前一级荷载产生的位移增量的两倍;或钉头位移 1mm 时钉头拉拔力的变化 $\Delta T/T$ 不大于 1% (图 8.2.6c));
- (4) 钉头位移超过设计容许位移值。

上述标准中只要达到其中之一,则认为土钉已处于破坏状态。

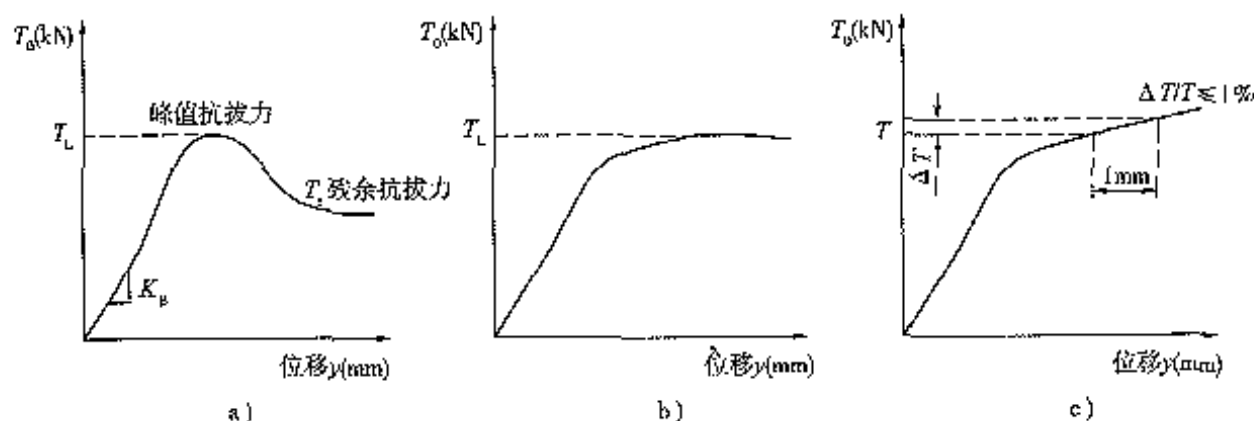


图 8.2.6 土钉破坏判断依据

8.2.7 基本试验达到破坏荷载后应卸荷至 $0.1f_A$,并从荷载—位移曲线上测出土钉达到破坏时的弹性位移和塑性位移,且其总位移必须大于测试钉非粘结段土钉钢筋弹性伸长理论计算值的 80% ,否则这一测试数据无效。

8.2.8 试验得到的设计承载力 N 由下式确定:

$$N = T_L / K \quad (8.2.8)$$

式中: K ——规定的安全系数,对永久土钉支护 $K = 1.5$;对临时土钉支护 $K = 1.3$;

T_L ——极限荷载,取破坏荷载的 90% 。

如果由上式得到的 N 小于设计值或大于设计值的 20% ,则应进行反馈修正设计。

8.2.9 根据土钉的峰值抗拔力 T_L ,按下式计算出钉—土界面最大平均粘结强度:

$$\tau = \frac{T_L}{\pi d_0 l_p} \quad (8.2.9)$$

8.3 土钉验收试验

8.3.1 验收试验的土钉采取随机抽样的方式确定,也可以由监理或业主指定,对不良地质地段的土钉应作为重点抽检对象,验收试验的数量为工作土钉总数的1%,且不少于3根。

8.3.2 最大试验荷载对永久土钉为土钉设计轴向拉力 N_t 的1.2倍,对于临时土钉为土钉设计轴向拉力,并应不超过土钉钢筋 $A \times f_k$ 值的80%。

8.3.3 验收试验采取分级连续加载方式进行,对土钉施加荷载与钉头位移测读按以下规定进行:

- (1)初始荷载宜取土钉设计轴向拉力的0.1倍;
- (2)加载等级与各级荷载观测时间应满足表8.3.3的规定;
- (3)最大试验荷载观测15min之后,卸载至0.1 N_t ,并量测位移,然后卸载至零结束试验。

表 8.3.3 验收试验土钉的加载等级与观测时间表

加 荷 等 级	0.1 N_t	0.25 N_t	0.5 N_t	0.75 N_t	1.0 N_t	1.2 N_t
测 定 时 间 (min)	5	5	10	10	15	15

8.3.4 试验结果整理:根据每级荷载下的稳定位移值,作出连续的拉力—位移曲线。

8.3.5 土钉验收合格标准。

土钉承载力达到或大于1.0 N_t ,且满足如下条件:

- (1)在最大验收荷载下的位移测读时间内,钉头位移稳定或趋于收敛;
 - (2)钉头总位移不大于设计允许位移值;
 - (3)后一级荷载产生的钉头位移增量小于前一级荷载产生的钉头位移增量的两倍。
- 达到上述标准的土钉为合格土钉,否则为不合格土钉。

8.3.6 验收试验不合格的土钉,当其数量大于等于被检测数量的20%时,应将验收试验的土钉数增大到总数的3%,如仍有20%以上的土钉不合格,则该土钉支护工程为不合格工程,并应采取相应的补救措施,如补打加密一定数量的土钉等。

8.3.7 当按施工土钉总数1%或3%进行验收试验的土钉,不合格数小于20%时,对不合格的土钉也应在其旁侧补加土钉。

8.3.8 对验收试验不合格的土钉,必要时可进行完全拔出检测试验,以实测工作土钉

的直径、注浆质量及土钉与土钉钢筋的长度等,试验后,应在被拔出的土钉附近位置及时补打工作土钉。

8.4 土钉徐变试验

8.4.1 塑性指数 $I_P \geq 20$ 和液限 $w_L > 50\%$ 的黏土中的永久支护土钉应在施工前进行徐变试验。徐变试验的土钉不得少于一组 3 根。施加在钉头的最大试验荷载为 $1.2N_t$ 且应小于 $0.6 f_A$ 。

8.4.2 土钉徐变试验在每级荷载的观测时间内必须保持荷载恒定,加荷等级与观察时间应满足表 8.4.2 的要求。

表 8.4.2 土钉徐变试验加荷等级与观测时间表

加 荷 等 级	$0.25 N_t$	$0.5 N_t$	$0.75 N_t$	$1.0 N_t$	$1.1 N_t$	$1.2 N_t$
测定时间(min)	10	30	60	120	240	360

8.4.3 每级荷载按时间间隔 1、2、5、10、15、20、30、45、60、75、90、120、150、180、210、240、270、300、330、360min 记录徐变量。

8.4.4 试验结果经整理后,并绘制徐变—时间对数($s-\lg t$)曲线。徐变系数由下式求得:

$$K_e = \frac{s_2 - s_1}{\lg(t_2/t_1)} \quad (8.4.4)$$

式中: s_1 、 s_2 ——时刻 t_1 和 t_2 测得的徐变量,mm。

8.4.5 土钉徐变试验测得的最后一级荷载下的徐变系数不应大于 2.0,否则应采取补强加固措施。

9 土钉支护施工监测

9.0.1 在土钉支护施工前,施工单位应制定切实可行的施工监测方案,建立位移监测控制网,埋设监测仪器和标志。

9.0.2 在土钉支护施工期间,边坡顶部的侧向位移与边坡开挖高(或深)度之比如果超过 3‰ 时,应加强观测,分析原因,必要时对支护工程局部或全局采取加固措施,或增加其他支护手段。

9.0.3 在支护工程竣工后规定的质量保证期内,施工单位应继续对支护的变形进行监测。

9.0.4 土钉支护属于隐蔽工程,应加强现场旁站监理监测和施工单位的自检。其主要内容包括:

- (1)土钉钢筋或钢管的型号、长度、直径、质量的量测和试验;
- (2)土钉钻孔的直径、倾角、深度和清孔质量;
- (3)面层的厚度、钢筋的分布密度、直径、数量、混凝土保护层厚度、混凝土和水泥(砂)浆的强度等;
- (4)地下和地表排水系统施工质量的监测。

9.0.5 施工期间对永久土钉支护边坡,应进行边坡位移的全程量测。其内容包括:

- (1)支护位移的量测;
- (2)坡面、坡顶地表裂纹宽度、位置、数量的观察和量测;
- (3)邻近建筑物、构筑物及其他设施的变形和裂纹量测。

9.0.6 施工阶段的量测频率,每天不应少于 1 次,对雨天和雨后 3d 内,每天不应少于 2 次。对支护位移的量测,包括坡顶的水平位移和垂直沉降,其测点位置应选在变形最大或局部地质条件最差的地段,测点总数不少于 3 个,测点间距不宜大于 30m。

9.0.7 垂直和水平位移的监测手段一般用精密水准仪和精密经纬仪测量,对裂缝宽度及其发展情况可用钢钢尺或裂缝计量测。必要时可在每级边坡平台及坡顶钻孔埋置测斜管,用测斜仪监测边坡的水平位移,同时观测坡顶和各级平台的垂直位移,给出边坡水平位移—时间曲线和地表沉降—时间曲线。

10 质量检验与工程验收

10.1 一般规定

10.1.1 质量检验项目及标准,适用于中间检查和竣(交)工验收。

10.1.2 中间检查系土钉支护工程各工序的施工质量检测,以施工单位自检为主,监理抽检为辅。竣工验收检测由业主组织,施工、监理方配合,并委托有资格的检测单位进行。

10.1.3 为了便于对土钉支护工程进行质量检测,可将其分为边坡开挖、钻孔、安放土钉钢筋并注浆、挂钢筋网喷射混凝土或制作混凝土面层、网格梁及防排水等分项工程。

10.1.4 土钉支护工程应严格工程管理,应建立施工单位自检系统与监理单位的质量监理系统,各分项工程均应进行质量检查验收,应提交原始施工记录、各分项工程质量验收检查报告,做到数据真实可靠,资料齐全。

10.1.5 土钉支护工程的质量检验除应符合交通部现行的《公路工程质量检验评定标准》(JTG F 80/1—2004)中 4.4 节的规定外,还应符合本规程如下各条款。

10.2 各分项工程的中间检验

10.2.1 边坡开挖应符合下列标准:

- (1)修正后的边坡符合设计坡率;
- (2)坡面平整,没有超挖和欠挖(溶蚀后的灰岩突出体除外);
- (3)没有发生工程滑坡、坍塌等开挖事故。

10.2.2 土钉和排水成孔施工应符合下列规定:

- (1)孔深允许偏差 $+200\text{mm}$, -50mm ;
- (2)孔径允许偏差 $+20\text{mm}$, -5mm ;
- (3)孔距允许偏差 $\pm 100\text{mm}$;
- (4)钻孔倾角偏差 2° ;
- (5)孔内残留的松土和岩屑按规定的办法清除干净。

10.2.3 土钉的检查内容:

- (1)检查注浆材料质量包括水灰比、灰砂比和浆体强度等;
- (2)土钉钢筋的定位支架及间距;
- (3)土钉钢筋的尺寸、质量及土钉间距与设计参数相符。

10.2.4 面层施工应检查以下内容:

- (1)喷射第一层混凝土之前,对施工对象工作面的高程及平整度进行检查;
- (2)钢筋网的密度、清污除锈情况;插筋与“井”字短钢筋的焊接质量、钢筋网的绑扎质量;预先加工好的钢筋网的质量及其固定情况;
- (3)检查每层喷射混凝土的配合比、厚度和抗压强度;
- (4)网格梁、边梁或地梁的挖槽深度、钢筋笼的制作、立模、混凝土强度及其振捣质量应符合要求。

10.2.5 施工单位对水泥混凝土、喷射混凝土和水泥砂浆的抗压强度的自检,应按《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2004)中的附录 D、附录 E 及附录 F 中规定的试验方法和检测频率进行。

10.3 竣(交)工验收

10.3.1 土钉支护工程的竣(交)工验收按现行《公路工程竣(交)工验收办法》进行。竣工时,施工单位应及时向监理和业主提交如下工程验收资料:

- (1)各种原材料(水泥、砂石、混凝土外加剂、钢筋等)的出厂合格证及材料试验报告;
- (2)工程开挖记录及质量检测报告;
- (3)钻孔记录(钻孔尺寸误差、清孔,以及钻取土样特征等);
- (4)注浆记录包括注浆方式、压力、时间等;
- (5)喷射混凝土或网格梁施工记录,质量自检结果;
- (6)土钉钢筋尺寸、质量自检记录及土钉试验测试报告;
- (7)水泥(砂)浆、混凝土等试件的强度试验记录及试验报告;
- (8)支护工程位移监测记录及其图表;
- (9)排水系统施工记录;
- (10)土钉支护工程竣工图。

10.3.2 土钉支护工程竣(交)工检验的内容、检测方法及标准见表 10.3.2。其中水泥混凝土、喷射混凝土和水泥砂浆抗压强度的试验方法、试件数量及合格标准应按《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2004)中的附录 D、附录 E 和附录 F 执行,土钉支护各分部工程和单位工程的质量评定,可参照该规范第 3 章进行。对于涉及结构安全和使用功能的重要实测项目,其合格率不得低于 90%。对于土钉支护工程中重要的排水分项工

程的竣工检验,可按《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2004)中的有关条款执行。

表 10.3.2 土钉竣工验收检验项目及合格标准

项次	检测项目	检测方法	检测频率	验收合格标准	权值
1△	水泥混凝土抗压强度	查看试件强度、试验记录或试验报告	全部试件		2
2△	喷射混凝土抗压强度	查看试件强度、试验记录或试验报告	全部试件		2
3△	水泥(砂)浆抗压强度	查看试件强度、试验记录或试验报告	全部试件		2
4△	土钉长度	尺量	抽查 10%	不小于设计值	2
5△	土钉直径	尺量	抽查 10%	不小于设计值	2
6△	土钉抗拔力	按本《指南》验收试验进行	工作土钉的 1%	验收试验土钉的抗拔力平均值不小于设计值,低于设计值的土钉数小于 20%,最低抗拔力不小于设计值的 90%	3
7	土钉间距	钢尺	工作土钉的 10%	满足 10.2.2 条的规定	1
8	土钉倾角	地质罗盘量测	工作土钉的 10%	满足 10.2.2 条的规定	1
9	喷射混凝土面层厚度	钻孔取芯或激光断面仪测量	每 10m 长检查一个断面,每 3m 长检查一个点	检查点的 60% 不小于设计厚度,各点平均厚度不小于设计厚度,最小厚度不小于 0.5 倍设计厚度,且不小于 60mm	2
10	网格梁、地梁、边梁尺寸	钢尺量测	每 100m ² 检查一个点	尺寸允许误差 +10mm, -5mm	2
11	网格梁或喷射混凝土面层外观	目测	每 100m ² 检查一个点	混凝土表面密实平整,无突变;无蜂窝麻面;与地表结合紧密,不应起鼓	1

注:“△”为重要实测项目。

附件

《公路土钉支护技术指南》

条 文 说 明

1 总则

1.0.1 目前我国公路工程中的土钉支护一般采用《基坑土钉支护技术规程》(CECS96:97)和《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001),但土钉在公路工程中的应用对象与基坑边坡差异甚大。在公路边坡中除陡边坡外,更多的是 45° 左右的缓坡,且公路边坡岩土类型多、变化大,既有挖方边坡,又有填方边坡,高达数十米的多级边坡十分常见。公路工程中的挡墙、桥台和小型滑坡整治也已成为土钉支护的重要对象。因此,公路土钉支护的形式较基坑更为多样。土钉与锚杆在支护原理与岩土的相互作用以及设计、施工等许多方面也不尽相同。一些发达国家已先后制订了公路土钉支护技术规范,为了更好地指导和服务于实践,我国公路行业土钉支护技术指南已成为势在必行的迫切需要。

1.0.2 土钉支护在发达国家已有30年的应用历史,近年来已开始逐渐推广到公路工程。国内在直立基坑工程中完成的土钉支护,深度最大的已达25m,而在公路路堑边坡的支护高度已超过50m,并在许多中小型滑坡的整治工程中得到成功应用。与其他支护技术相比,土钉支护具有用料省、占地少、施工简便、工期短等诸多优点:如土体不良、或支护很高时,可与预应力锚杆、微型桩等其他支护技术联合使用。

1.0.3 钻孔注浆型土钉在构造上与全长注浆粘结的非预应力锚杆相同,国内最早称这种土钉支护为喷锚网支护。土钉以群体起作用,主要用于从上到下分层开挖土体时加固边坡原位土,其布置方向大体与开挖引起的边坡土体主拉应力方向平行,所以一般接近水平。土钉支护技术在国际上出现于20世纪70年代初,一些国家在开始时都是独立提出这种技术并加以发展,因而有不同的名称。将喷锚网支护技术用于基坑工程是我国工程技术人员的创造。现在国际上将这种支护称为土钉支护或土钉墙,本《指南》采用土钉支护这一术语。

1.0.5 土钉支护的设计与施工还应包括施工监测、反馈设计以及施工监理。其中施工监测对支护位移的现场量测应是土钉支护技术不可分割的组成部分;除有正确的设计计算分析外,支护的安全还必须通过施工过程中的现场量测加以保证。

3 基本规定

3.0.2 土钉支护对水的作用特别敏感。土的含水量增加不但会增大土的自重,更主要

的是会降低土的抗剪强度和土钉与土体之间的界面粘结强度。大量工程实践表明,土钉支护工程发生事故多与水的作用有关,因而在设计和施工中必须特别注意。

3.0.3 土钉支护的变形大小在很大程度上取决于施工因素。土钉支护的现有过程设计计算方法不能给出有关变形的任何数据,控制支护的变形也不能单纯依靠支护设计参数的合理选择,而必须对施工方法和施工工序做出严格规定,另外还需要通过现场监测的信息反馈,及时调整设计施工参数。

从上到下分层修建的施工方法是土钉挡土结构最基本的要求,支护每层开挖深度应与土钉的竖向间距相等,只有这样才能使土钉正常发挥作用,并限制支护变形和保证施工安全。

在施工和设计中可以采用下列措施来限制土钉支护的变形:

- (1)减少分层、分段作业的深度和长度,尽量缩短从开挖到支护的施工时间间隔;
- (2)在开挖前,对开挖面土体进行超前加固;
- (3)加大上部土钉的长度;
- (4)设计时加大安全系数;
- (5)采用端部有螺纹的土钉,能通过拧紧螺母,对土钉施加少量预应力,大小可为土钉设计内力值的 10% ~ 20%;
- (6)在适当位置增设预应力锚杆(索)。

3.0.4 本条对受力不同的工程对象,分别给以不同重要性系数的分类方法,参考了英国规范《土体加筋结构设计规范》(BS 8006)。

4 工程调查与岩土工程勘察

4.0.1 ~ 4.0.3 在土钉施工过程中,土体开挖和土钉成孔也为具体了解现场地质情况提供了有利条件,当发现实际土质与原来的工程地质勘察报告不符时,尚可对原设计方案及时进行修改,这种动态设计也是土钉支护的重要特点之一。

5 土钉支护的构造设计

5.1.2、5.1.3 土钉挡土结构(土钉墙)与土钉加筋边坡在坡面倾角上的区分并无明确

界限。英国规范《土体加筋结构设计规范》(BS 8006)的定义:倾角 75° 以上者为挡土结构 (retaining structures 或 retaining wall); 45° 以下者为边坡 (slopes); 处于 $45^\circ \sim 75^\circ$ 之间的, 视土体的自稳能力可分别纳入加筋挡土结构或加筋边坡。

5.2.2 土钉直径 d_0 的设计值, 应通过基本实验和计算后确定。这里列出的取值范围仅适用于初步设计, 并参考了法国的土钉支护推荐技术规范, 该规范对采用小直径土钉钢筋的钻孔注浆土钉、击入土钉或振动一钻孔土钉, 初步设计建议土钉周长取值为 $150 \sim 200\text{mm}$; 对大直径土钉钢筋的钻孔注浆钉, 建议土钉周长取值为 $200 \sim 600\text{mm}$; 鉴于一些不稳定的岩质边坡也需采用较大直径的土钉钢筋, 其土钉直径相应较大, 因此岩质边坡的土钉直径可以达到 100mm 甚至更大值。

5.2.4 在土钉支护的初步设计中, 关于土钉的长度和间距, 法国推荐的技术规范提出, 对于土钉挡土结构, 一般用于临时支护的击入钉, l/H 为 $0.5 \sim 0.7$, S_v 和 $S_h \leq 1\text{m}$; 用于永久支护的注浆钉, l/H 为 $0.8 \sim 1.2$, $1\text{m}^2 \leq S_v \cdot S_h \leq 6\text{m}^2$ 。本条目原则上采用了这一标准, 但依据工程经验和不同类型的岩土条件, 对取值范围作了修改和细化, 并且提出了土钉加筋边坡的土钉间距。在土钉挡土结构的岩质边坡中和土钉加筋边坡的土质边坡中, 土钉间距可以放大。我国许多高速公路的路堑边坡土钉支护工程, 对坡角大于 70° 的岩质边坡和坡角 45° 左右的土质边坡, 采用 $S_h = S_v = 3\text{m}$, 即 $S_h \cdot S_v = 9\text{m}^2$, 且达到了安全可靠和节约投资的要求。

5.3.3 在我国的公路土钉加筋边坡中, 钢筋混凝土网格梁已成为最主要的面层形式, 比较喷射混凝土面层, 它具有美观、便于绿化、节省混凝土材料的优点。

5.5 土钉的耐腐蚀耐久性要求主要是参考国外的经验。但不同国家对土钉支护防腐的要求也很不相同, 如德国对永久支护的土钉都要求加塑料波纹套管, 美国对永久土钉都要求用环氧涂膜钢筋, 而且国外不少资料中对钢筋的锈蚀, 往往按埋在土中、直接与土接触的情况来考虑。但是注浆钉的锈蚀实际上与混凝土中的钢筋锈蚀相似, 完全不同于加筋土结构中作为筋体的带钢, 后者则直接埋在填土中。本《指南》对土钉的防锈蚀要求, 主要比照混凝土中的钢筋锈蚀, 着眼于注浆保护层的作用。

5.6 土钉支护工程的排水系统对工程质量、稳定性和使用寿命具有重要意义, 支护的排水系统必须能够防止地表水及其他可能的水源大量渗入支护内部, 并在支护面层背部积聚, 从而降低土体(粘土)的抗剪强度, 损害支护的整体稳定性, 削弱土钉在粘土中的抗拔能力, 并增加面层所受的水、土压力。此外, 水的渗入也会对支护钢筋与混凝土材料的耐腐蚀耐久性带来不利影响。

6 土钉支护结构计算

6.1.1 在土钉支护设计中,由于土体性能和支护工作机理的复杂性,能够反映地区特点的工程类比方法仍应起重要作用,正确的设计应建立在工程类比和计算分析相结合的基础上,同时施工过程中通过现场测试与监控,及时对原设计作出必要的修改。

本《指南》所确定的土钉支护设计计算方法,系根据国内一些单位的工程实践并参考国外的经验得出。考虑到现有的各种计算方法都有一些不足之处,所以本《指南》要求同时采用3种不同思路的计算方法对支护进行验算,以弥补某单一方法的不足。这3种方法是:

(1)应用土坡稳定极限平衡理论,对土钉支护的整体稳定性进行极限平衡分析;

(2)应用重力挡土墙极限平衡分析的计算方法,对土钉支护整体水平滑动和整体倾覆的稳定性进行分析,并验算支护底部地基承载力。

(3)根据经验给出土钉支护内部的侧向土压力,并据此确定土钉的设计内力。

3种方法相互独立,它们之间没有可比的关系。

6.1.2 以概率理论为基础的极限状态设计方法用于土工结构尚有一些有待解决的问题,所以目前我国在土坡稳定以及锚杆支护设计中仍多沿用总安全系数设计方法。本《指南》对土钉支护的整体稳定性计算也采用总安全系数设计方法,但其中对土体力学性能参数的设计值则取特征值而不是平均值。

由于采用总安全系数设计方法,所以不考虑荷载的分项系数(或以荷载分项系数为1),而直接以荷载的特征值作为设计计算值。本《指南》中用于支护整体水平滑动和整体倾覆稳定性分析的土压力设计值,以及为确定土钉设计内力而给出的侧向土压力设计值也均为特征值。

当用《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)设计喷射混凝土面层时,由于这一规范完全采用《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)所规定的设计方法体系,这时需将作用于面层上的土压力荷载乘以荷载分项系数。另外在承载力极限状态设计表达式中,需考虑结构重要性系数 γ_0 。鉴于支护结构的特殊性,很难将其纳入《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)规定的建筑结构安全等级,而且支护结构破坏造成的危害远大于路面结构破坏带来的危害,因此本《指南》对各种土钉支护结构的重要性系数的取值(表3.0.4),与《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)和《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)所规定的均略有差别。

6.1.3 与支护结构的自重和上覆土重相比,车载、特别是人群荷载相对甚小,所以本

《指南》规定不需专门考虑人群荷载。另外由于车载对支护结构的整体稳定性和强度的影响不大,所以在以下的条文中,对于车载的布置及其压力的传播方式,均采用了非常近似和简化的方法。

6.1.6 土的力学性能参数 c 、 φ 的计算值取特征值,当勘察报告结果仅给出平均值时,可近似取 c 、 φ 的特征值分别为其平均值的 0.8 和 0.9 倍。

参数 c 、 φ 值的选取应注意不同试验方法和取样方法的影响,并考虑地方的经验。对于黏性土,一般可取固结快剪(或三轴固结不排水剪)峰值强度指标,当有地下水作用或工程降水后短时期内未能充分固结时则取直接快剪(或三轴不固结不排水剪)峰值强度指标。

表 6.1.6-2 中的界面粘结强度数据作为初步设计时参考,土体和岩体中的界面粘结强度部分源于课题组的现场试验,部分引自国外资料。我国地域辽阔,各地地质情况迥异,因此宜根据当地经验,选定初步设计时的界面粘结强度值。土钉的界面粘结强度尚与土钉的施工方法有关,对于一般的重力注浆钉和低压注浆钉,界面粘结强度不随埋深变化。国外及课题组的大量测试结果表明,由于土钉受拔引起的土体剪胀效应以及钻孔造成孔周土体初应力释放等原因,一般土钉的界面粘结强度在不同深度处差别不大,应视为与埋深无关。

6.2.1 参考土坡稳定理论,对土钉支护的整体稳定性进行极限平衡分析时,本《指南》采用了圆弧破坏面的假定,按普通条分法进行计算,计算时将土钉和土条分开考虑。在分析土条所受的作用力时,不考虑土条侧向力和土钉的影响。式(6.2.1)只是在一般素土土坡的稳定性计算公式中,叠加了土钉对破坏面上抗剪能力的贡献。后者包括两个部分,一部分是破坏面上土钉极限抗拉能力沿破坏面的切向分力 $R_k \cos \beta_k$,另一部分是破坏面上土钉极限抗拉能力的法向分力提高了破坏面上土体的抗剪能力,其大小等于 $R_k \cos \beta_k \cdot \tan \varphi_j$ 。

对各种可能的圆弧破坏面,按式(6.2.1)算出不同的安全系数,其中安全系数最小的一个就是临界破坏面。但临界破坏面并不代表真正的破坏面,因其安全系数必须大于 1.0。要求的安全系数愈大,临界破坏面与地表交点的位置离开坡顶愈远,也就是破坏面的位置和土钉参数有关。

设置土钉之后,不能根据素土边坡的经验只在某一局部区域内对临界圆弧破坏面的圆心进行搜索。按照式(6.2.1)计算安全系数并寻求临界破坏面,需要编制相应的程序用计算机完成。现在已有建立在 Windows 平台上的此类分析软件,能迅速完成这一分析,并能面向对象迅速对设计参数作出调整。

表 6.1.7 的安全系数是按照本《指南》确定的设计计算方法通过工程实例验算,并经过与其他一些设计方法的比较而得出的。土钉支护是一种比较新颖的技术,设计人员也可根据地区和个人经验,采用不同于本《指南》的经过多次实践考验的其他极限平衡分析方法,比如简化的 Bishop 条分法,或假定非圆弧破坏面如对数螺线破坏面等;但是不同的

方法保守程度和可靠程度均不相同,因此相应的安全系数也应该有所不同。安全系数取值必须以充分的工程实践作为依据。不同的极限平衡分析方法之间可有较大的差别,如在对数螺线破坏面的机动法中,临界破坏面的位置与土钉的密度和长度无关。

6.2.5 土钉支护的工作状态与重力式挡土墙有较大差别。按照重力式挡土墙的模式作水平滑动和倾覆稳定验算不过是一种工程处理方法,其主要目的在于保证底部土钉的长度不至于过短,并进行地基承载力验算。

6.3.2 p_{at} 所反映的是土钉支护内部的土压力,其分布大体与每一土钉中的最大轴力相平衡。根据实测,这一土压力分布在匀质土体中(软土除外)大体呈梯形,即上下两端偏小,中部偏大,与顶部和底部的土钉轴力较小,而中部土钉轴力偏大的规律相一致。考虑到底部土体或有可能受到某种水压等不良作用,所以本《指南》采用了图 6.3.2 的梯形分布图形(p_x)。

支护面层在土体自重作用下并不是主要受力构件,它所受的侧向土压力 p_s (与土钉钉头的轴向拉力相平衡),只是支护内部侧向土压力 p_{at} 的一部分,二者的关系与许多因素有关,式(6.3.2)参考了法国的研究结果,大体能与国内的有限量测数据相印证。

6.3.4 当面层的弯曲刚度较弱(钉距较大或面层较薄)时,作用于面层的侧向土压力趋向于向支座(钉头)集中,而跨中的土压降低,即发生拱作用。这种作用降低了面层的弯矩。在美国联邦公路局出版的文件中,建议临时土钉支护的面层厚度小于 20cm 时可考虑拱作用。

7 土钉支护施工技术

7.1.2~7.1.5 本《指南》针对国内目前多采用人工和小型机具进行土钉支护施工的现实,对相应的工序与工艺提出具体规定和要求。在满足设计要求和规定质量的前提下,当土钉支护施工采用其他的工艺和方法时,可不受这些规定和要求的限制。

7.2.3 表 7.2.3 引自《锚杆喷射混凝土支护规范》(GB 50086—2001)。该规范中所用的试验筛为圆孔筛,鉴于公路行业在集料试验中普遍采用方孔筛,按照《公路工程集料试验规程》(JTG E42—2005),根据圆孔筛与方孔筛的对应关系,本表已将筛孔尺寸一栏中的圆孔筛孔径换算为方孔筛孔径。

7.3.3 尽快在修整后的裸露边壁上设置土钉并喷射混凝土对施工阶段的支护稳定和

控制支护变形极为重要。因此在同一段作业面上,修整裸露边壁、设置土钉,以及喷射混凝土等工序必须连续进行。如不能在数小时或同一工作日内连续完成支护,则应先开挖成有稳定斜面的边坡,而后再修整边壁。

7.5.2、7.5.3 钻孔机具的选用主要根据支护边坡的土性考虑。当边坡为土层时,宜选用普通锚杆钻(如 MCS—50 等),以便在土层中钻孔速度较快;当边坡为土岩混合时,为避免更换钻头的麻烦可选用软硬兼用的钻机(如 MD—100 型或地质钻等);当边坡为岩层时,宜选用潜孔钻。在土层边坡支护中,如有条件,宜优先选用干式钻孔作业的机具,采用干式钻孔作业,将有效地减少土体边坡的变形。

7.5.4 钻孔障碍的排除与地质变化的处理:当支护边坡位于城镇或其他复杂环境时,在离地面一定深度处,有可能会遇到一些诸如地下电缆、给排水管等地下设施或废弃结构物等。为避免损坏地下设施和顺利绕过障碍物,允许改变钻孔的倾角和水平角;由于场地的地质条件与原设计不符,使钻孔全位于软土层且相邻又有较好土层时,允许改变钻孔倾角,使土钉的锚固端完全置于或部分置于较好的土层中。在土体边坡支护中,总的原则是,土钉的锚固端要尽量避开软弱土层,充分利用较好土层的锚固作用。

7.5.8 土钉钢筋的安装:当出现塌孔,并经多次清孔都无法将土钉钢筋送达设计预定位置时,允许该根土钉钢筋实际入孔长度小于设计长度,但应在相邻土钉钢筋处增长其相应减短的长度。当送入孔内的土钉钢筋的实际长度不足设计长度的 $2/3$ 时,应在土钉钢筋原位的相邻处增设一根与原设计相同的土钉钢筋。

7.5.9~7.5.12 注浆方法:分口部注浆和底部注浆。所谓口部注浆,即将排气管连同土钉插入钻孔底部,注浆管置于钻孔口部一定位置,并用止浆塞封堵口部。将压力浆液从口部向底部逐步充填(孔内空气由排气管排出),当排气管流出浆液时,证明孔内被浆液填满,这时封堵排气管,再经适当加压补浆,即告完成;所谓底部注浆,即将注浆管连同土钉一并送入钻孔内(注浆管口距孔底 0.2m 左右),使浆液从底部逐步向孔口充填(在注浆过程中,随着浆体的逐步充填,应将注浆管逐步向外拉拔,但应注意注浆管口必须始终保持在浆液内一段距离)。当浆液充满至口部时,由止浆塞封口,加压一段时间后(当注浆压力稳定 $3\sim 5\text{min}$ 时)即注浆完成;一般情况下,对于土层较差、岩层较破碎,且锚杆(指预应力锚杆)抗拔力较高而一次注浆难以满足要求时,需进行二次注浆。对于一些设计轴向拉力大的永久性土钉,宜采用二次注浆,对于一般土钉和临时支护的土钉可采用一次注浆。

注浆压力:注浆压力是对土钉注浆饱满度和浆液在钻孔周围介质的扩散情况的检验,注浆压力越高,一般来说,其注浆质量越好。但为避免注浆压力过大而损坏临近地下建(构)筑物和对岩土结构造成破坏,在无可靠试验数据可依时,就对地表不被破坏(产生裂缝)而言,其单位长度内的安全注浆压力宜满足下式:

$$K[P] \leq h(\gamma d_0 + 2c)/d_0$$

式中: K ——安全系数,取 1.2~1.5;

$[P]$ ——注浆时的允许压力, kPa;

h ——注浆孔上沿至地表的厚度, m;

γ ——注浆孔至地表间土层的加权重度, kN/m³;

c ——注浆孔至地表间土层的加权凝聚力, kPa;

d_0 ——钻孔直径, m。

8 土钉现场试验

8.1.1 土钉现场试验是土钉支护工程中的一项十分重要的工作内容。一些土钉支护工程事先不进行土钉的适用性试验,以致出现设计失误,施工质量低劣,最后导致支护工程失败。为了保证试验的公正性和试验质量,试验应由业主委托具有资质的检测单位进行。

8.1.2 土钉沿全长与土体粘结,没有预应力锚杆中那样的自由段,所以现场抗拔试验即基本试验应在专门设置的非工作钉上进行。

一般情况下,不宜采用非破坏检验的方法在工作钉上进行抗拔测试,这是由于在钉头施加拉力的条件下,抗拔的粘结长度过长,与土钉实际工作情况不符,而且容易引起土钉钢筋受拉屈服。此外,不能以测试时的钉头最大拉力与工作土钉的设计内力进行直接比较来判断抗拔能力是否合乎要求,因为两者的粘结长度并不一样。

8.1.3~8.1.9 现场试验前的准备工作对试验结果具有极大的影响,因此必须认真对待。对土钉进行现场拔出试验时,由于千斤顶下的支承板或反力台座直接以压应力形式作用在钉头周围土体上,从而产生边界效应,影响试验结果,因此试验土钉距孔至少应有 1.0m 的自由段。

8.2.1、8.2.2 基本试验一词及其试验方法主要参考了我国《土层锚杆设计与施工规范》(CECS 22:90)的相关条款。国外对目的为求取钉—土界面粘结强度 τ 的试验名称不尽相同。法国的初步试验(Preliminary tests)主要是用于没有土钉支护经验的新的岩土体,或是用来检验某种新的土钉支护技术,或用于重要的施工场地以及由于业主要求。适用性试验(Conformity tests)的目的是为检验工程设计阶段所取的土钉粘结强度 τ 的正确性,其试验是在施工开始时进行的。而在施工过程中进行的检测试验(Inspection tests)也可用来求取土钉的粘结强度。可见我国的基本试验相当于其初步试验。

对于基本试验的最大试验荷载,国内一些规范采用不超过钢筋强度的0.8倍,而法国的上述3类试验都是小于土钉钢筋弹性屈服强度的0.9倍。根据课题组在京珠高速公路上所作的大量现场基本试验,由于试验土钉较短,一般都在拉拔力小于 $0.9f_A$ 之前就发生了拔出破坏,只有极少的岩石中的土钉才能达到 $0.9f_A$ 的抗拔力。故此处把 $0.8f_A$ 作为最大试验荷载。

试验土钉的长度对试验结果影响很大。香港的非工作试验土钉的长度仅2~3m,法国为5m,此处采用3~5m。为了保证试验时土钉能被拔出而土钉钢筋不发生断裂破坏,因此,在事先设置试验土钉时,可采用更大直径的短钢筋或更高强度的钢筋。

基本试验的土钉数量,法国按支护的面积确定,试验数量较大。本《指南》按支护的岩土类型考虑,并规定了每一类型的岩土中的最基本的试验数不少于3根。

8.3.8 对工作土钉的完全拔出检测是最直观可靠的检测方法。由于土钉支护属隐蔽工程,且公路土钉施工数量往往较大,又属永久支护,因此增加对工作土钉的拔出检测对保证施工质量,防止偷工减料十分必要,且已被实践证明效果甚佳,但因要求土钉完全拔出,工作量较大,因此仅限于对验收试验不合格的少数土钉。

8.4 土钉徐变试验的土质条件,国内有的规范规定为 $I_p \geq 17$,法国规定 $I_p \geq 20$ 。本规范采用 $I_p \geq 20$ 这一指标,同时规定 $w_L > 50\%$ 。按照土的塑性图分类,A线的方程 $I_p = 0.73(w_L - 20)$,当 $w_L = 50\%$ 时 $I_p = 22$ 。因此 $I_p = 20, w_L = 50\%$ 的土恰好位于A线以上,B线以右,即为高液限、高塑性指数的黏土,应进行徐变试验。

9 土钉支护施工监测

9.0.1~9.0.4 土钉支护最适合信息化施工。土钉支护的最大水平位移与垂直沉降一般发生在边坡的顶部,在正确设计施工的前提下,最大水平位移与边坡开挖深度的比值一般在1‰~3‰之间,黏性土中的比值偏大。如对变形控制无特殊要求,可将3‰(砂土)或4‰(黏土)作为施工监测中的报警值。

从上到下分层修建的施工方法是土钉挡土土结构最基本的要求,支护每层开挖深度应与土钉的竖向间距相等,只有这样才能使土钉正常发挥作用,并限制支护变形和保证施工安全。

10 质量检验与工程验收

10.3.2 本节依据现行《公路工程竣(交)工验收办法》,力求与《公路工程质量检验评定标准》(JTGF80/1—2004)协调一致。表 10.3.2 中所列项目均为实测项目,评定等级分为合格与不合格两类。其中与锚喷防护相同的项目,在检测方法和频率、验收合格标准及权值方面,均与现行《公路工程质量检验评定标准》(JTGF80/1—2004)中表 6.8.2(锚喷防护实测项目)一致。另根据土钉支护的特点,本节增加了部分实测项目。各检测项目依据其重要性给出了其不同的权值,总权值为 20。各检查项目、分项工程及整个土钉支护工程的质量得分可完全按现行《公路工程质量检验评定标准》规定评分办法计算。

已出版技术指南类图书书目

书 名	主 编 者	文 号	定价(元)
公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南	交通部公路科学研究院	中建标公路[2002]1号	16.00
公路机电系统维护技术指南	上海市公路管理处	交公便字[2005]330号	30.00
公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南	交通部公路科学研究院	交公便字[2006]02号	50.00
微表处和稀浆封层技术指南	交通部公路科学研究院	交公便字[2005]329号	18.00
公路冲击碾压应用技术指南	交通部公路科学研究院	交公便字[2005]329号	15.00
公路工程抗冻设计与施工技术指南	吉林省交通厅	交公便字[2006]02号	26.00
横张预应力混凝土桥梁设计施工指南	重庆市交通委员会		15.00
公路土钉支护技术指南	长沙理工大学	交公便字[2006]02号	22.00

人民交通出版社 标准与规范图书编辑部

邮编:100011

电话:010-85285922

E-mail: bz@cpress.com.cn