

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



XIANDAI TUMUGONGCHENG
SHIGONG JISHU

现代土木工程 施工技术

李建峰 主 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



XIANDAI TUMUGONGCHENG
SHIGONGJISHU

现代土木工程 施工技术

主 编 李建峰
编 写 郑永伟 富锐萍 杨海鸥 王 娇 潘丽霞
主 审 陈向东



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAOJING JIAOYU “SHI WU” GUIHUA JIAOCAI

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书共分十二章,主要内容包括深基坑支护及边坡防护新技术、地下空间施工新技术、地基处理及桩基新技术、高效钢筋与新型预应力技术、新型模板及脚手架应用技术、高性能混凝土技术、钢结构新技术、建筑防水新技术、建筑节能和环保应用技术、绿色建筑与建筑智能化技术、施工过程监测和控制技术及施工管理信息化技术等。书中详细介绍了现代土木工程施工中各种新型施工技术和施工管理信息化技术,在内容设置和安排上突出了实用、创新和时代特色。为了方便读者的学习,本书在每章都精心编写了一些复习思考题。

本书可作为高等院校土木工程相关专业本科和研究生教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代土木工程施工技术/李建峰主编. —北京:中国电力出版社,2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-6515-2

Ⅰ. 现… Ⅱ. 李… Ⅲ. 土木工程-工程施工-施工技术-高等学校-教材 Ⅳ. TU74

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 201107 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 2 月第一版 2008 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 453 千字
定价 30.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

近年来,随着我国国民经济的高速发展,土木工程建设已经进入一个持续高速发展时期。各种高层建筑、跨海大桥、越江隧道、深埋隧洞、高架公(铁)路、城市地铁等工程的开发与建设,极大地促进了现代施工技术和管理改革与发展,涌现出一批新型材料、新工艺和先进的施工技术与方法,并取得了良好的经济效益和社会效益。由于传统的《土木工程施工》没有反映这些新技术和新方法,对于从事土木工程专业学习和研究的本科生、研究生,又急需了解土木工程的各种新型施工工艺与方法,为此,大部分高校开设了相应的课程。

为了适应当前新的发展形势,结合新时期土木工程专业人才培养的新要求和课程建设的需要,依据建设部“关于进一步做好建筑业10项新技术推广应用的通知”和相应参考文献,我们编写了这本《现代土木工程施工技术》。本书既可作为高等院校土木工程相关专业本科和研究生教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

《现代土木工程施工技术》是综合研究新近开发应用的土木工程施工新技术、新工艺、新材料、新机具和新的管理模式的学科,是一门综合性应用技术,是土木工程专业学生进行深造的专业课程。通过本课程学习,使学生掌握现代土木工程最新的施工工艺和技术以及最新的管理模式,熟悉土木工程施工领域新近开发应用的新材料和新机具。目的在于培养学生综合开发和运用现代工程施工技术的能力,能用所学知识进行现代施工的技术管理,会编制土木工程施工新技术、新工艺、新材料、新机具应用的施工方案。本课程的主要任务是:系统研究现代土木工程最新的施工工艺和技术、新近开发应用的新材料和新机具以及最新的管理模式;综合探讨施工新技术各要素的配置和优化管理。

全书共分十二章,包括深基坑支护及边坡防护新技术、地下空间施工新技术、地基处理及桩基新技术、高效钢筋与新型预应力技术、新型模板及脚手架应用技术、高性能混凝土技术、钢结构新技术、建筑防水新技术、建筑节能和环保应用技术、绿色建筑与建筑智能化技术、施工过程监测和控制技术及施工管理信息化技术等。本书在内容设置和安排上重点突出了实用、创新和时代特色。内容以新型施工技术为重点,同时介绍了新型材料、设计、节能环保等相关内容。涉及的新技术主要以建筑工程为主,比较全面地介绍了各种新施工技术的内容、基本原理、特点、适用范围、施工工艺、技术措施和技术指标以及注意事项等。在全书的编写过程中,我们尽可能做到深入浅出、图文并茂,以方便教学和自学,并在每章中附有学习要点和复习思考题。

全书由长安大学李建峰教授策划和主编著,由北京工业大学陈向东教授主审。其中,郑

永伟参与编写了第二章、第三章和第六章，富锐萍参与编写了第七章和第十一章，杨海鸥参与编写了第八章和第十章，王娇参与编写了第九章，潘丽霞参与编写了第十二章。本书在编写的过程中参阅了大量的文献资料、研究论文和专著，并将所引用文献资料在参考文献中列出。在此，对所引用的文献资料和专著的作者对本书的编写工作给予的理解和支持表示衷心的感谢。

由于现代施工技术层出不穷，限于编者水平，书中不足之处在所难免，诚挚地希望读者提出宝贵的意见，予以赐教，使本书日臻完善。

编者

2007年10月于长安大学

目 录

前言	1
第一章 深基坑支护及边坡防护新技术	1
第一节 基坑支护技术概述	1
第二节 预应力锚杆技术	4
第三节 复合土钉墙支护技术	8
第四节 组合内支撑技术	12
第五节 型钢水泥土复合搅拌桩支护技术	17
第六节 冻结排桩法基坑支护技术	21
第七节 高边坡防护技术	24
复习思考题	27
第二章 地下空间施工新技术	29
第一节 暗挖法	29
第二节 盾构法	33
第三节 顶管法	37
第四节 沉井法	39
第五节 逆作法	45
复习思考题	48
第三章 地基处理及桩基新技术	49
第一节 水泥粉煤灰碎石桩 (CFG 桩) 复合地基技术	49
第二节 夯实水泥土桩复合地基技术	53
第三节 真空预压法加固软土地基技术	56
第四节 强夯法处理大块石高填方地基技术	60
第五节 爆破挤淤法地基处理技术	63
第六节 土工合成材料应用技术	65
第七节 桩基新技术	74
复习思考题	78
第四章 高效钢筋与新型预应力技术	79
第一节 新型钢筋	79
第二节 钢筋焊接网应用技术	82
第三节 粗钢筋直螺纹连接及植筋技术	87
第四节 新型预应力技术	92
复习思考题	102
第五章 新型模板及脚手架应用技术	103
第一节 模板技术概述	103

第二节	清水混凝土模板技术	108
第三节	早拆模板技术	117
第四节	液压自动爬模技术	120
第五节	新型脚手架应用技术	123
	复习思考题	131
第六章	高性能混凝土技术	132
第一节	高性能混凝土技术概述	132
第二节	自密实混凝土技术	138
第三节	抗氯盐高性能混凝土技术	144
第四节	清水混凝土技术	146
第五节	超高泵送混凝土技术	148
第六节	混凝土裂缝防治技术	150
	复习思考题	152
第七章	钢结构新技术	153
第一节	钢结构辅助设计与制造技术	153
第二节	钢结构施工安装技术	155
第三节	钢与混凝土组合结构技术	161
第四节	预应力钢结构技术	167
第五节	膜结构建筑技术	169
第六节	钢结构住宅技术	171
第七节	高强度钢材的应用技术	173
第八节	钢结构的防火防腐技术	174
	复习思考题	179
第八章	建筑防水新技术	180
第一节	新型防水技术的概念和内容	180
第二节	新型防水卷材应用技术	184
第三节	建筑防水涂料应用技术	188
第四节	建筑密封材料	193
第五节	刚性防水砂浆	195
第六节	防渗堵漏技术	196
	复习思考题	198
第九章	建筑节能和环保应用技术	199
第一节	建筑节能概述	199
第二节	节能型围护结构应用技术	200
第三节	屋面节能应用技术	215
第四节	节能型建筑检测与评估技术	221
第五节	预拌砂浆技术	223
	复习思考题	227
第十章	绿色建筑与建筑智能化技术	229

第一节 绿色建筑·····	229
第二节 建筑智能化技术·····	234
第三节 建筑智能化系统检测与评估·····	244
复习思考题·····	249
第十一章 施工过程监测和控制技术 ·····	250
第一节 施工过程测量技术·····	250
第二节 特殊施工过程监测和控制技术·····	258
复习思考题·····	263
第十二章 施工管理信息化技术 ·····	264
第一节 管理信息化技术概述·····	264
第二节 工具类技术的开发和应用·····	265
第三节 施工管理信息化技术·····	273
第四节 建筑电子商务·····	286
复习思考题·····	287
参考文献 ·····	288

第一章 深基坑支护及边坡防护新技术

【学习要点】

本章主要介绍了新型深基坑支护及边坡防护技术的概念、技术原理、适用范围和施工技术特点等内容。通过本章的学习,了解基坑支护的发展与现状、各种新技术的特点及应用范围,理解掌握各种技术的概念及技术原理,重点掌握施工工艺及施工要点。

第一节 基坑支护技术概述

基坑支护技术是一项古老而具有时代特点的技术课题。在远古时代,穴居的人类的祖先就开始应用放坡开挖和简易木桩围护等简单的支护技术;随着人类文明的进步,城市建筑开始向高层、超高层和深层的地下空间发展,基坑支护技术因其技术的综合性和复杂性而成为地基基础领域一个突出的技术问题,受到了相关领域众多专家学者和工程技术人员的普遍重视,并逐步发展成一门专门学科——基坑工程学或基坑支护工程学。

一、基坑支护技术的发展现状及趋势

我国基坑支护技术的发展现状及趋势主要体现在以下几个方面:

(1) 基坑向着大深度、大面积方向发展,周边环境更加复杂,基坑开挖与支护的难度愈来愈大。

(2) 基坑支护技术向着既挡土又防渗且经济环保、绿色施工的综合技术发展。

(3) 基坑支护设计计算方法和计算机在基坑支护领域的应用得到了充分发展,日趋完善。基坑支护设计计算方法由传统的基于极限平衡理论的计算方法发展到弹性杆系有限元法。

二、基坑支护结构的基本形式

基坑支护是为保证地下结构施工及基坑周边环境的安全,对基坑侧壁采取的支挡、加固与保护措施。基坑支护常用施工方法有各种类型的桩、地下连续墙、锚杆、钢筋混凝土和钢支撑、土钉和喷射混凝土护面、搅拌桩、旋喷桩、逆作拱墙、钢板桩、SMW 工法、土体冻结等。在实际工程应用中,既可以采用其中一种方法,也可将几种方法结合起来使用。

随着支护技术在安全、经济、工期等方面要求的提高和支护技术的不断发展,在实际工程中采用的支护结构型式也越来越多。按照支护结构受力特点不同,可划分、归并为以下 5 种基本类型。

1. 桩墙结构

桩墙结构是在基坑开挖前沿基坑边缘施工成排的桩或地下连续墙,并使其底端嵌入到基坑底面以下。若基坑开挖深度较大或分层开挖时,在桩墙结构上附加支撑系统(支撑系统可采用内支撑也可以采用锚杆),此时结构的受力形式相当于梁板结构,如图 1-1 所示;当基坑深度较浅同时周边环境对支护结构水平位移

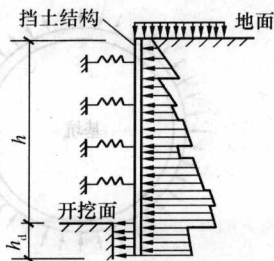


图 1-1 桩墙结构

要求不高时, 桩墙结构上可不附加支撑系统, 此时结构的受力形式为悬臂梁结构。

实际工程中常采用的桩墙结构型式主要有排桩—锚杆结构、排桩—内支撑结构、地下连续墙—锚杆结构、地下连续墙—内支撑结构等。桩的类型包括各种工艺的钻孔桩、冲孔桩、挖孔桩或沉管桩等。

2. 土钉墙结构

常用的土钉墙结构是在分层分段挖土的条件下, 分层分段施做土钉和配有钢筋网的喷射混凝土面层, 挖土与土钉施工交叉作业, 并保证每一施工阶段基坑的稳定性, 如图 1-2 所示。其支护机理是通过斜向土钉对基坑边坡土体的加固, 增加边坡的抗滑力和抗滑力矩, 以满足基坑边坡稳定的要求。这类结构一般采用钻孔中内置钢筋, 然后向孔中注浆的土钉, 坡面用配有钢筋网的喷射混凝土形成的土钉墙; 也有采用打入式钢管再向钢管内注浆的土钉; 也有采用土钉和预应力锚杆等结合的复合土钉墙结构。

3. 重力式结构

重力式结构是在基坑侧壁形成一个具有相当厚度和重量的刚性实体结构, 以其重量抵抗基坑侧壁土压力, 以满足该结构的抗滑移和抗倾覆要求, 如图 1-3 所示。这类结构一般采用水泥土搅拌桩, 有时也采用旋喷桩, 使桩体相互搭接形成块状或格栅状等连续实体的重力结构。

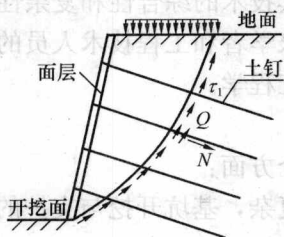


图 1-2 土钉墙结构

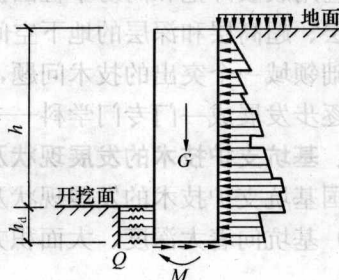


图 1-3 重力式结构

4. 拱墙结构

拱墙结构是将基坑开挖成圆形、椭圆形等弧形平面, 并沿基坑侧壁分层逆作钢筋混凝土拱墙, 利用拱的作用将垂直于墙体的土压力转化为拱墙内的切向力, 以充分利用墙体混凝土的受压强度, 如图 1-4 所示。这种结构一般采用分层分段施工的现浇钢筋混凝土拱墙结构。

5. 放坡

放坡是将基坑开挖成一定坡度的人工边坡, 以使土体在自身重力和外力作用下, 不发生剪切破坏而沿着某一破裂面产生滑动, 从而达到使土坡稳定的目的, 如图 1-5 所示。放坡适用于地基土质较好、开挖深度不深, 以及施工现场有足够放坡场所的工程。当基坑较深时可

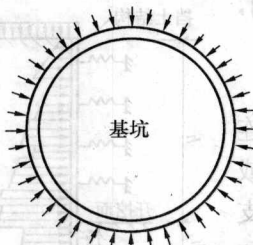


图 1-4 拱墙结构

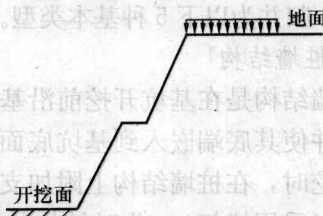


图 1-5 放坡

分级放坡，并保证边坡自身能够稳定。

为了在基坑支护工程中做到技术先进、安全可靠、经济合理，应综合考虑场地工程地质与水文地质条件、地下结构的要求、基坑开挖深度、降排水条件、周边环境和周边荷载、施工季节、支护结构使用期限等因素，因地制宜地选择合理的支护结构型式。

国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—1999)中对各种支护结构的选型做了明确的规定，提出了各种支护型式的适用条件，见表 1-1。

表 1-1 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—1999) 中支护结构选型表

结构型式	适用条件
排桩或地下连续墙	1. 适于基坑侧壁安全等级一、二、三级 2. 悬臂式结构在软土地中不宜大于 5m 3. 当地下水位高于基坑底面时，宜采用降水、排桩加截水帷幕或地下连续墙
水泥土墙	1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级 2. 水泥土桩施工范围内地基土承载力不宜大于 150kPa 3. 基坑深度不宜大于 6m
土钉墙	1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地 2. 基坑深度不宜大于 12m 3. 当地下水位高于基坑底面时，应采取降水或截水措施
逆作拱墙	1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级 2. 淤泥和淤泥质土地不宜采用 3. 拱墙轴线的矢跨比不宜小于 1/8 4. 基坑深度不宜大于 12m 5. 地下水位高于基坑底面时，应采取降水或截水措施
放坡	1. 基坑侧壁安全等级宜为三级 2. 施工场地应满足放坡条件 3. 可独立或与上述其他结构结合使用 4. 当地下水位高于坡脚时，应采取降水措施

三、基坑支护工程的特点

基坑支护工程具有以下特点。

1. 临时性

基坑支护结构大多为临时性结构（个别情况下支护结构也可同时兼作地下室结构的组成部分，成为永久性结构），其作用仅是在基坑开挖和地下结构施工期间，保证基坑周边既有建筑物、道路、地下管线等环境的安全和本工程地下结构施工的顺利进行，有效使用期一般在一年左右。作为临时性结构，它的重要性容易被忽视，安全隐患较大，应引起重视。

2. 技术综合性

基坑支护技术是岩土力学问题与结构力学问题的结合，且受水文、地质、施工技术和方法等因素的影响很大，因此，对从事基坑支护工程人员的综合业务水平要求较高。

3. 不确定性

基坑支护工程受场区地质情况、周边建筑和地下设施的影响很大，而往往这些情况在支护结构设计施工和基坑开挖前无法准确查明，给基坑支护结构方案制定和设计施工带来了很大难度。

四、基坑工程事故原因

引起基坑事故的原因主要有以下几个方面:

- (1) 采用悬臂桩忽视变形控制,或设计有内支撑但施工未加上,导致变形过大,引起周围建筑物开裂。
- (2) 侧壁未封闭或虽已封闭但帷幕失效,或锚杆深入承压含水层而未采取妥善措施,导致坑壁或沿锚孔漏水渐土引起建筑物开裂破坏,道路变形。
- (3) 坑底封闭不严,管涌承压水上涌造成的破坏。
- (4) 深厚淤泥中土方开挖失控,致使工程桩严重倾斜偏位,护坡桩基失效。
- (5) 支护设计忽略整体稳定分析,导致边坡滑移,工程桩受挤压偏位。
- (6) 受水浸润,土体强度大幅下降,土压力增大,支护桩承载力不足时效。

据不完全统计,在已发生的基坑工程事故中,因设计不当引发的事故占 45%,因施工不当引发的事故占 33%,因地下水处理不当引发的事故占 22%。

第二节 预应力锚杆技术

一、概述

预应力锚杆是将拉力传递到稳定岩层或土体的锚固体系。其一端与岩土体或结构物相连,另一端锚固在岩土体层内,并对其施加预应力,以承受岩土压力、水压力、抗浮、抗倾覆等所产生的结构拉力,用以维持岩土体或结构物的稳定。它通常包括杆体(由钢绞线、钢筋、特殊钢管等筋材组成)、灌浆体、锚具、套管和可能使用的连接器。

根据土层锚杆锚固体结构形式的不同,预应力锚杆可分为圆柱形、端部扩大头型和连续球体型三类锚杆;根据其传力机制的不同,预应力锚杆可分为普通拉力型、压力型锚杆和分散拉力型、分散压力型锚杆;根据其服务年限的不同,预应力锚杆可分为永久性锚杆和临时性锚杆。

预应力锚杆技术广泛地应用于各类岩土体加固工程,如隧道与地下洞室的加固、岩土边坡加固、深基坑支护、混凝土坝体加固、结构抗浮、抗倾覆及各种结构物的稳定与锚固等。

二、预应力锚杆施工技术

(一) 工艺原理

土层预应力锚固是根据设计需求,首先在土层中钻出一定深度和直径的钻孔,然后放入预应力筋(钢绞线,精轧螺纹钢或一般螺纹钢),再注入水泥浆或水泥砂浆,充满锚固段内的空腔;待浆体强度大于 15.0MPa 后,借助于张拉设备张拉预应力筋,利用其弹性变形施加预应力,最后用锚具锁定。这样就可将作用于结构物上的拉力,通过粘结材料传递给土层,并能有效地限制结构物与土体的位移,以保持结构物和土体的稳定。

(二) 施工工艺

预应力锚杆施工程序为:定位→钻孔→杆体制作与安放→注浆(一次常压或二次高压)→外锚头制作→张拉锁定→外锚头防腐。

预应力锚杆施工工艺主要包括钻孔、杆体制作与安放、注浆及张拉与锁定等。

1. 钻孔

钻孔是锚杆施工的关键工作,其施工主要包括钻机就位、钻孔和清孔三个工序。锚杆钻

孔直径一般为110~180mm。

(1) 钻孔方式。钻孔方式可根据岩土类型、钻孔直径和深度、地下水情况、接近锚固工作面的条件、所用洗孔介质的种类以及锚杆种类和要求的钻进速度进行选择。岩层中钻孔一般采用气动冲击钻及相配套的潜孔冲击器、钻头；土层中钻孔一般采用回转式、冲击回转式和回转冲击反循环式钻机；在不稳定地层（含水层、易塌孔地层、卵砾石层等）多采用套管护壁、常规球齿形潜孔锤冲击回转钻机进行钻孔。

(2) 钻孔作业。锚杆钻孔方式选定后，施工中要根据工程及地质条件的具体变化及时调整锚杆孔钻进施工工艺，以确保锚杆施工的顺利进行。

普通锚杆回转螺旋钻机在粘土中钻进时极易产生“别”、“抱”钻杆的现象，钻进中，要随时调整钻进速度及反复前进、后退及原地旋转，在充分倒出孔内虚土后再缓慢拔出钻。如遇含水砂层及软土层极易产生塌孔现象时，可采用压浆护壁方法。浆液可采用配比泥浆或水灰比在1:0.6左右的纯水泥浆，浆液的浓度、用量和跟进压力可根据岩土层的种类和含水情况进行调整，含砂较多，水量、水压较大时，浆液跟进压力、浓度和用量可高些。浆液跟进在钻孔开孔时即可开始，一直跟进到要求钻进的深度，钻进过程中钻杆要缓慢钻进和提钻，在易塌孔土层长度内还应反复前进、后退及原地转动，以使浆液充分浸润孔壁。钻孔完成后，缓慢拔出钻杆，使压进浆液充满钻孔并立即安放锚杆杆体，在锚杆注浆时还要注意一定要从孔底开始并且注浆充分，直到注浆浆液从孔口溢出、护壁浆液由孔口返净为止。

在不稳定、易塌孔地层和卵砾石层，宜采用套管护壁、冲击回转钻孔方法，压力分散型锚杆及可重复高压灌浆型锚杆为确保锚杆施工质量也宜采用套管护壁钻孔方法。套管跟进水冲法钻进时，要根据钻进岩土层返出物的大小、地层地下水压力情况调整钻头射水压力。射水压力过小，较大直径的岩土碎屑、卵砾石不能及时返出；如遇流砂层，在地下水头压力下，较小的射水压力不能平衡地下水压力，流砂将随水沿套管与钻孔间间隙流出，流量较大时可能会造成被加固结构塌陷等工程事故。此外，套管跟进钻孔施工前还要仔细检查维护好钻杆及套管，尤其套管及钻杆连接处的丝扣及润滑，在遇粘性土层时，钻进时还要注意钻进速度，防止套管被抱死，造成“丢管”、“掉钻”。

(3) 锚杆钻孔的技术要求：

- 1) 锚杆钻孔中不得随意扰动周围地层；
- 2) 钻孔前，根据设计要求和地层条件，定出孔位，做出标记；
- 3) 钻头直径不应小于设计钻孔直径3mm；
- 4) 锚杆水平、垂直方向孔距误差不应大于100mm，钻孔轴线的偏斜率不应大于锚杆长度的2%；
- 5) 锚杆钻孔深度不应小于设计长度，也不宜大于设计长度500mm；
- 6) 向钻孔安放锚杆前，应将孔内岩粉和土屑清洗干净。采用气动或水洗方法时，锚杆钻孔长度应增加500~700mm，以收容重新残留的岩土块、确保锚杆锚固段有效长度，钻孔结束时，还要从底部继续冲洗至少10min，以尽量减少残留物的数量。
- 7) 钻孔时，还应做好记录，以便于更加详细地揭示地层内部情况，掌握每根锚杆的具体成孔状况、控制锚杆质量。

(4) 清孔。冲击钻机和旋转钻机经常选用气动法进行洗孔，在干燥岩层中使用效果较好，也可用于稍潮湿岩层；水洗方法适用于旋转式取芯钻孔和套管护壁钻孔，在城市密集区

及地下洞室内由于气动冲击会产生较大噪声及粉尘,宜采用水洗循环钻进,但注意一定要有完备的给排水措施。另外,使用水洗时应慎重,因为水洗会降低岩土层的力学性能,影响锚杆锚固体与周围地层的粘结强度。

2. 杆体制作与安放

(1) 杆体制作。锚杆的结构形式与种类不同,其杆体材料与制作方式也不同。杆体材料可用高强钢丝和钢绞线、精轧螺纹钢筋、中空螺纹钢材以及普通钢筋等。

1) 钢筋杆体的制作。按照设计要求长度截取较为平直的钢筋并除油、除锈,如需接长要按照有关规范进行焊接或采用专用连接器。杆体自由段一般采用隔离涂层、加套管等方法进行隔离,对防腐有特殊要求的锚固段钢筋应严格按照设计要求进行制作。为确保杆体保护层厚度,沿杆体轴线方向每隔 1.5~2.0m 还要设置一个对中支架,支架高度不小于 25mm。最后将注浆管(常压、高压)、排气管等与锚杆杆体绑扎牢固。

2) 钢绞线、高强钢丝杆体的制作。其制作方法与钢筋杆体制作基本相同,需要注意的是,钢绞线出厂时一般为成盘方式包装,杆体加工抽线时应搭设放线装置,以免线盘扭弯、抽线困难或抽伤操作人员。另外,锚杆杆体一般由多股组成,所采取的对中支架常为塑料或钢材焊接成型的环状隔离架。此外,在自由段和锚固段对每股钢绞线均要按照设计要求进行相应的隔离与防腐措施处理。

3) 可重复高压注浆锚杆杆体的制作。其制作需安放可重复注浆套管,并在自由段与锚固段的分界处设置止浆密封装置。二次高压注浆套管一般采用直径较大的塑料管,管侧壁间隔 1.0m 左右开有环形小孔,孔外用橡胶环圈盖住,使二次注浆浆液只能从管内流向管外,一根小直径的注浆钢管插入注浆套管,注浆钢管前后装有限定注浆区段的密封装置。此外,工程中还经常采用简易的二次高压注浆方法锚杆,二次高压注浆管在管末端及中部按一定间距开有环状小孔,并用橡胶环圈密封,注浆管前端连接有小直径钢管以便于与注浆泵的高压胶管相连。二次注浆管与杆体绑扎牢固、与锚杆杆体一并预埋。

4) 压力分散型锚杆或拉力分散型锚杆的制作。一般先采用无粘结钢绞线制作成单元锚杆,再由 2 个或 2 个以上单元锚杆组装成复合型锚杆。当单元锚杆的端部采用聚酯纤维承载体时,无粘结钢绞线应绕承载体弯曲成 U 形,并用钢带与承载体捆绑牢靠;当采用钢板承载体时,则挤压锚固件要与钢板连接可靠,绑扎时要注意不能损坏钢绞线的防腐油脂和外包 PVC 软管。同时,各单元锚杆的外露端,要做好区分标记,以便于锚杆张拉或芯体拆除。

此外,锚杆杆体制作时还需要预留出一定杆体长度以满足施工完毕后的预应力张拉要求,预留长度一般为 600~1000mm。杆体需要切断时应采用切割机进行,禁止采取电气焊等方法切割,以防止影响并降低杆体强度。

(2) 杆体存储。杆体加工制作完成后存放要保持平顺、清洁、干燥,并确保杆体在使用前不被污染、锈蚀,存放时间较长的杆体在使用前应该进行检查,发现问题处理后方可使用。

(3) 杆体安放。锚杆杆体放入钻孔之前要对钻孔情况重新进行检查,并要检查杆体的加工质量,看其是否满足设计要求、防腐体系是否完备。杆体安放时,要与钻孔角度保持一致并保持平直,防止杆体扭压、弯曲。杆体插入孔内深度不应小于锚杆长度的 98%,杆体安放后不宜随意扰动。

3. 注浆

(1) 注浆浆液。锚杆注浆通常是用水泥浆或水泥砂浆注入锚杆孔,使其硬化后形成坚硬

的灌浆体,将锚杆与周围地层锚固在一起并保护锚杆预应力筋。注浆浆液通常选用灰砂比 1:0.5~1:1 的水泥砂浆或水灰比为 0.45~0.50 的纯水泥浆,必要时,可加入一定量的外加剂或掺和料以保证浆液的可灌性。水泥砂浆浆液的配置一般采用强度不小于 P.O32.5 级的普通硅酸盐水泥和干净的细砂与水,砂与水的重量比通常为 1:1~1:3,水泥砂浆一般只用于一次灌浆。注浆浆液的强度控制一般 7d 不低于 20MPa,28d 不低于 30MPa;压力型锚杆浆体的强度要求较高,一般 7d 不低于 25MPa,28d 不低于 35MPa。

(2) 注浆作业采用注浆泵通过与高压胶管相连的锚杆注浆管进行,其作业要点如下:

1) 注浆浆液要搅拌均匀、随搅随用,并要在初凝前使用,储浆池要有适当遮盖以防止杂物混入浆液;

2) 下倾孔内注浆时,注浆管出浆口应插入距孔底 300~500mm 处,浆液自下而上连续灌注,确保从孔内顺利排水与排气;

3) 向上倾斜的钻孔内注浆时,要在孔口设置密封装置,将排气管端口设于孔底,注浆管放置在离密封装置不远处;

4) 注浆设备要有足够的额定压力,注浆管要保证通畅顺滑,一般在 1h 内要完成单根锚杆的连续注浆;

5) 注浆时,发现孔口溢出浆液或排气管停止排气时,可停止注浆;

6) 锚杆张拉后,应对锚头与锚杆自由段间的空隙进行补浆;

7) 注浆后,不要随意扰动杆体,也不能在杆体上悬挂重物。

4. 张拉与锁定

锚杆张拉就是通过张拉设备使预应力杆体的自由段产生弹性变形,在锚固结构上产生预应力。锚杆的张拉设备一般有扭力扳手、液压油泵、千斤顶、高压油管、油压表以及压力传感器和百分表等。

(1) 锚具。在预应力锚杆结构体系中,锚具是对结构物施加预应力、实现锚固的关键部分,通常根据不同的预应力杆体采取不同类型的锚具。锚具主要有锁定预应力钢丝的镦头锚具和锥形锚具、锁定钢绞线的挤压锚具、精轧螺纹钢筋锚具、锁定中空锚杆的螺纹锚具、普通钢筋螺纹锚具等。

(2) 张拉作业。锚杆的张拉方法取决于锚杆的种类、所选用的锚具类型和施加预应力的大小。张拉前,可采取在被锚固结构表面设置承载板等措施,以确保施加的预应力始终作用于锚杆轴线方向,使预应力杆体不产生任何弯曲。

对螺纹锚具采用千斤顶张拉至设计荷载之后,即可使用扳手拧紧螺母来保持施加的拉力,当千斤顶上的压力显示稍有下降时,就表示螺母已完全压紧作用于承压板之上,随后就可卸压,完成张拉作业。

对钢丝或钢绞线用的锚具一般采用千斤顶、工具锚板和夹片及限位板进行张拉。张拉时,首先将工作锚板套在预应力筋上并紧贴承载板,放入夹片固定;然后将限位板、千斤顶、工具锚依次顺序套在预应力筋上,在工具锚上放入工具锚夹片,预紧后再将高压油泵与高压油管与千斤顶相连,安装好位移测量装置后即可进行张拉。千斤顶的拉力按逐级加荷的要求增大至需要张拉荷载值时,记录锚头位移与张拉油压,千斤顶卸荷、工作锚夹片回缩就锁定了预应力筋,由此达到张拉预应力筋的目的。当采用前卡式千斤顶对单根预应力筋进行张拉时,则不需要工具锚盘和夹片,是理想的卸锚千斤顶和二次补偿张拉千斤顶。

荷载分散型锚杆的张拉可按设计要求先对单元锚杆进行张拉,消除单元锚杆在相同荷载作用下因自由段长度不等引起的弹性伸长差后,再同时张拉各单元锚杆并锁定,也可按设计要求对各单元锚杆从远端开始顺序进行张拉锁定。

(3) 锚杆张拉操作要点:

- 1) 锚杆张拉前,应对张拉设备进行检查和标定;
- 2) 锚头台座的承压面应平整,并与锚杆轴线方向垂直;
- 3) 锚杆张拉应有序进行,张拉顺序应考虑邻近锚杆的相互影响;
- 4) 锚杆进行正式张拉之前,应取 $0.1 \sim 0.2$ 设计轴向拉力值 N_t ,对锚杆预张拉 $1 \sim 2$ 次,使其各部位的接触紧密,杆体完全平直;
- 5) 锚杆应采用符合设计和规范要求的锚具。

锚杆张拉锁定过程的张拉荷载分级及位移观测时间可参照表 1-2 的规定进行。

表 1-2 锚杆张拉荷载分级及位移观测时间表

荷载分级 N_t	位移观测时间 (min)		加荷速率 (kN/min)
	岩层、砂土层	粘性土层	
$0.1 \sim 0.2$	2	2	≤ 100
0.5	5	5	
0.75	5	5	
1.0	5	10	≤ 50
$1.05 \sim 1.1$	10	15	

注 N_t 为锚杆轴向拉力设计值。

三、技术特点

预应力锚杆技术具有以下特点:

- (1) 能在地层开挖后,立即提供支护能力,有利于保护地层的固有强度,阻止地层的进一步扰动,控制地层变形的发展,提高施工过程的安全性。
- (2) 提高地层软弱结构面、潜在滑移面的抗剪强度,改善地层的其他力学性能。
- (3) 改善岩土体的应力状态,使其向有利于稳定的方向转化。
- (4) 锚杆的作用部位、方向、结构参数、密度和施作时机可以根据需要方便地设定和调整,从而以最小的支护抗力,获得最佳的稳定效果。
- (5) 将结构物与地层紧密地连锁在一起,形成共同工作的体系。
- (6) 节约工程材料,能有效地提高土体的利用率,经济效益显著。
- (7) 对预防、整治滑坡,加固、抢修出现病害的岩土体结构物具有独特的功效。
- (8) 在空间狭小或地理环境复杂的情况下可照常施工,无需使用大型机械。

第三节 复合土钉墙支护技术

一、土钉墙支护技术概述

土钉墙支护技术形成于 20 世纪 70 年代,发展于 20 世纪 80 年代,20 世纪 90 年代以来,该项技术在我国已成功应用于非软土地基坑的支护,基坑深度已突破 20m。

1. 土钉墙支护技术概念及其结构组成

土钉墙支护技术是一种原位土体加固技术,由原位土体、设置在土中的土钉与喷射混凝土面层组成。其支护结构由土钉和面层两部分组成。

(1) 土钉。土钉长度一般为开挖深度的 $0.5 \sim 1.2$ 倍,间距为 $1 \sim 2\text{m}$,水平夹角一般为 $5^\circ \sim 20^\circ$,主要包括钻孔注浆土钉和打入式土钉两种形式。

1) 钻孔注浆土钉为最常用的土钉,一般通过将直径 $16 \sim 30\text{mm}$ 的 HPB335、HRB400 级钢筋置于直径 $70 \sim 120\text{mm}$ 的钻孔中,采用强度等级不低于 M10 的水泥浆或水泥砂浆注入孔中形成。水泥浆水灰比一般为 0.5 左右,水泥砂浆配合比一般为 $1:1 \sim 1:2$,水灰比为 $0.38 \sim 0.45$ 。

2) 打入式土钉一般采用钢管等材料打入土中形成,一般钉长较短,不宜用于密实胶结土中。当打入钢管为周围带孔的闭口钢管时,可在打入后管内注浆,增强土钉与土体的粘结力,提高土体的抗拔能力。

(2) 面层。一般由直径 $6 \sim 10\text{mm}$ 、间距 $150 \sim 300\text{mm}$ 的钢筋网,强度等级不低于 C20 的喷射混凝土组成,面层厚度一般为 $80 \sim 150\text{mm}$ 。为保证土钉和面层的有效连接,可采用加强钢筋与土钉和分布钢筋连接,也可采用承压垫板方法连接。面层坡度一般不宜大于 $1:0.1$ 。

2. 土钉墙支护工作机理

土钉墙支护的工作原理就是通过土钉、墙面与原状土三者共同作用,形成以主动制约机制为基础的复合体,提高边坡土体的结构强度和抗变形能力,减小土体侧向变形,增强整体稳定性。土钉在复合土体中的作用体现在以下几个方面:

(1) 土钉对复合土体的箍束骨架作用。这是由土钉自身刚度和强度以及它在土体内的空间分布作用所决定的,它具有制约土体变形、增强复合土体整体性和稳定性的作用。

(2) 土钉分担荷载的作用。这是由于土钉具有很高的抗拉、抗剪强度和刚度,在土体进入塑性状态后,应力逐渐向土钉转移。

(3) 土钉的应力传递和扩散作用。由于土钉和土体的相互作用,土钉将所承受的荷载向土体深层及周围扩散,从而降低复合土体的应力水平,改善变形性能。

(4) 土钉对面层的约束作用。土钉使面层与土体紧密接触,从而使面层能够约束和限制土体的侧向鼓胀变形量与开裂面的开展程度。

二、复合土钉墙支护技术

(一) 概述

复合土钉墙是由普通土钉墙与一种或若干种单项轻型支护技术(如预应力锚杆、竖向钢管、微型桩等)或截水技术(深层搅拌桩、旋喷桩等)有机组合而成的支护—截水体系。其主要构成要素有土钉(钢筋土钉或钢管土钉)、预应力锚杆(索)、截水帷幕、微型桩(树根桩)、挂网喷射混凝土面层、原位土体等。

(1) 喷射混凝土及土钉。主要对土体起加固、封闭和局部稳定作用。

(2) 预应力锚杆(索)。将土、水、外荷载产生的拉力传递到深部稳定的岩土层中,以达到稳定的目的,并通过预加应力达到主动加固的效果。

(3) 截水帷幕。其主要作用是截水,但也同时兼作支挡结构并形成垂直开挖面,其支挡效果是通过具有一定厚度和强度的帷幕的抗剪作用而产生的。