



普通高等教育“十二五”规划教材

(第二版)

现代土木工程 施工技术

李建峰 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

(第二版)

现代土木工程 施工技术

主编 李建峰

参编 郑永伟

潘丽霞

王旭

董合欢

主审 陈向东

图书馆

王 娇

王秉亮

王淑芳

杨海欧

马梦娜

富锐萍



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”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、地基处理及桩基新技术、地下空间施工新技术、高效钢筋与新型预应力技术、新型模板及脚手架应用技术、新型混凝土技术、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，以及施工管理信息化技术。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. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2015. 2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-6791-3

I. ①现… II. ①李… III. ①土木工程-工程施工-高等学校-教材 IV. ①TU7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 272383 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 2 月第一版

2015 年 2 月第二版 2015 年 2 月北京第六次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23 印张 560 千字

定价 46.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

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

《现代土木工程施工技术》自2008年出版以来,深受读者的喜爱和关注。随着近年来施工新技术、新材料、新工艺的不断涌出,加之相关施工技术规范 and 标准的更新,深感教材已略显陈旧,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》的精神,加强教材建设,彰显最新施工技术,紧密结合工程实际进行教学,有必要修改、改编教材。

整个修编过程,坚持“吐故纳新,突出现代,贴近教学,力求实用”的指导思想,注重最新动态和未来走向,使教材内容更加符合当前土木工程施工和教学的需要。每章节均从施工技术概念、施工工序、施工工艺和技术特点等方面进行了多角度介绍,内容上,除讲求全面外,更注重实用性、可读性。教材的修编主要包括修订和补充两项内容。

第一,主要依据国家最新的政策、规范、规程和近年来涌现的新型材料、新型工艺和先进的施工技术与方法,结合教学实践和同行们的建议,对原书做了较大修改。

第二,大部分章节均增加了施工相关的前沿知识,便于学生和专业人士对新材料、新工艺、新技术等学习。本次修订的主要内容是第一章增加TRD工法,第二章增加挤扩灌注桩施工技术,第三章增加盖挖法施工技术,第四章增加缓凝结预应力技术,第五章增加插销式脚手架,第六章增加现浇混凝土空心楼盖,第七章增加新型外包钢—混凝土组合梁技术、波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁技术、桥梁转体施工技术,第八章增加高压灌浆堵漏施工技术,第九章增加节能型幕墙技术、硬泡聚氨酯外墙喷涂保温技术、环保型混凝土技术,第十章增加了单独的一节绿色施工技术,第十二章增加了建设工程资源计划管理技术、BIM信息化技术,完善了施工仿真技术。

第三,在保持原版教材风格的基础上,对语言和内容进行了锤炼,更加注重实际、贴近教学。因此,新版教材具有如下特点:

(1) 教材的体系完整性。在第一版的基础上对内容和章节顺序进行了调整,从工程的地下到地上再到节能环保、绿色智能化,使学习的思路更加清晰。

(2) 内容的新颖性。依据施工技术前沿研究成果和最新颁布的相关文件及标准进行修改、补充,体现了与时俱进。

(3) 教学的贴切性。从培养土木工程专业人才教学需要出发,结合教学规律,各章对每一施工新技术的概念、原理、施工工艺流程和施工方法等方面均做了详细的讲解。

全书共分十二章,包括深基坑支护及边坡防护新技术、地基处理及桩基新技术、地下空间施工新技术、高效钢筋与预应力技术、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、建筑防水技术、建筑节能与环保应用技术、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。在全书的修编过程中,保持了第一版教材的特点,尽可能做到深入浅出、图文并茂,以方便教学和自学。

本书可作为高等院校土木工程以及相关专业本科和研究生教材使用,也可供相关工程技术人员参考学习。

全书由长安大学李建峰教授策划和主要编写，甘肃世贸城房地产有限公司郑永伟，西安外事学院王娇，中国建设工程造价管理协会杨海欧，中国长江三峡集团枢纽管理局潘丽霞，长安大学王秉亮、马梦娜、王旭、王淑芳、党合欢，长庆油田公司第五采油厂富锐萍参与编写。在本书的再版过程中，既有我们教学研究团队的努力，也有历届读者、同行、工程一线人员的宝贵意见，更有出版社的大力支持。本书由陈向东主审。

由于现代施工技术层出不穷和编者水平所限等原因，本书难免会有不足之处，恳望大家不吝赐教。

编 者
2014 年 9 月

第一版前言

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。在本书的编写过程中,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，使本书日臻完善。

编 者

2007 年 10 月于长安大学

目 录

前言

第一版前言

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	5
第三节 复合土钉墙支护技术	9
第四节 组合内支撑技术	13
第五节 型钢水泥土搅拌墙支护技术	18
第六节 TRD 工法	22
第七节 冻结排桩法基坑支护技术	26
第八节 高边坡防护技术	28
复习思考题	32
第二章 地基处理及桩基新技术	34
第一节 真空预压法加固软土地基技术	34
第二节 爆破挤淤法地基处理技术	38
第三节 强夯法处理大块石高填方地基技术	40
第四节 土工合成材料应用技术	43
第五节 水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)复合地基技术	52
第六节 夯实水泥土桩复合地基技术	55
第七节 长螺旋水下灌注桩技术	59
第八节 灌注桩后注浆技术	61
第九节 挤扩支盘灌注桩技术	63
复习思考题	71
第三章 地下空间施工新技术	72
第一节 暗挖法	72
第二节 盾构法	78
第三节 顶管法	82
第四节 沉井法	84
第五节 逆作法	90
第六节 盖挖法	93
复习思考题	101
第四章 高效钢筋与新型预应力技术	102
第一节 新型钢筋	102

第二节	钢筋焊接网应用技术·····	106
第三节	粗钢筋直螺纹连接及植筋技术·····	110
第四节	新型预应力技术·····	116
	复习思考题·····	127
第五章	新型模板及脚手架应用技术·····	129
第一节	模板技术概述·····	129
第二节	清水混凝土模板技术·····	134
第三节	早拆模板技术·····	143
第四节	液压自动爬模技术·····	146
第五节	新型脚手架应用技术·····	149
	复习思考题·····	161
第六章	新型混凝土技术·····	162
第一节	概述·····	162
第二节	自密实混凝土技术·····	168
第三节	抗氯盐高性能混凝土技术·····	174
第四节	清水混凝土技术·····	176
第五节	超高泵送混凝土技术·····	178
第六节	现浇混凝土空心楼盖·····	180
第七节	混凝土裂缝防治技术·····	183
第八节	智能混凝土简介·····	185
	复习思考题·····	188
第七章	钢结构新技术·····	189
第一节	钢结构辅助设计与制造技术·····	189
第二节	钢结构施工安装技术·····	191
第三节	钢与混凝土组合结构技术·····	197
第四节	桥梁转体施工技术·····	207
第五节	预应力钢结构技术·····	212
第六节	膜结构建筑技术·····	215
第七节	钢结构住宅技术·····	216
第八节	高强度钢材的应用技术·····	219
第九节	钢结构的防火防腐技术·····	220
	复习思考题·····	224
第八章	建筑防水新技术·····	226
第一节	新型防水技术的概念和内容·····	226
第二节	新型防水卷材应用技术·····	230
第三节	建筑防水涂料应用技术·····	235
第四节	刚性防水砂浆·····	240
第五节	建筑密封材料·····	242
第六节	防渗堵漏技术·····	244

复习思考题.....	247
第九章 建筑节能与环保应用技术.....	248
第一节 建筑节能概述.....	248
第二节 节能型围护结构应用技术.....	249
第三节 屋面节能应用技术.....	268
第四节 节能型建筑检测与评估技术.....	275
第五节 预拌砂浆技术.....	277
第六节 环保型混凝土技术.....	280
复习思考题.....	284
第十章 绿色建筑与建筑智能化技术.....	285
第一节 绿色建筑.....	285
第二节 绿色施工.....	290
第三节 建筑智能化技术.....	298
第四节 建筑智能化系统检测与评估.....	308
复习思考题.....	312
第十一章 施工过程监测和控制技术.....	314
第一节 施工过程测量技术.....	314
第二节 特殊施工过程监测和控制技术.....	322
复习思考题.....	327
第十二章 施工管理信息化技术.....	328
第一节 管理信息化技术概述.....	328
第二节 工具类技术的开发和应用.....	329
第三节 施工管理信息化技术.....	338
第四节 建筑电子商务.....	352
复习思考题.....	354
参考文献.....	355

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、技术原理和技术要点以及适用范围等内容。通过本章学习,了解深基坑支护的发展与现状、各种新型基坑支护技术的特点及应用范围,理解掌握各种深基坑支护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又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木桩围护等简单的支护技术而穴居;随着人类文明的进步,城市建筑开始向高层、超高层和深层地下空间发展,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高度重视,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越来越大。

(2) 基坑支护技术向着既挡土又防渗、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、基坑支护工程的特点

1. 临时性

基坑支护结构大多为临时性结构,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(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知识水平要求较高。

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。

三、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。基坑支护工程中的常用施工方法有: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。在实际的工程应用中,可以采用一种方法,或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形式也越来越多。按照支护结构受力特点不同,可划分、归并为以下四种基本类型。

1. 支挡式结构(图 1-1)

支挡式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,在桩或地下连续墙上附加支撑系统(支撑系统可为锚拉式,也可为支撑式),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要求不高时,桩或连续墙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支挡式结构主要有:锚拉式结构(如排桩—锚杆结构、地下连续墙—锚杆结构)、支撑式结构(如排桩—内支撑结构、地下连续墙—内支撑结构)、悬臂式结构(如石砌挡土墙或钢筋混凝土拱墙结构,如图 1-2 所示)、双排桩及支护结构与主体结构结合的逆作法等。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。

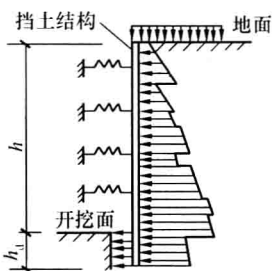


图 1-1 支挡式结构

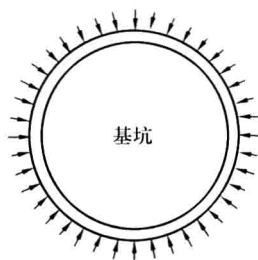


图 1-2 拱墙结构

2. 土钉墙结构(图 1-3)

最常用的土钉墙结构是在分层分段挖土的条件下,分层分段施作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。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,然后孔中注浆形成土钉,坡面用配有钢筋网的喷射混凝土形成护面,从而组合成土钉墙结构;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、水泥土桩及微

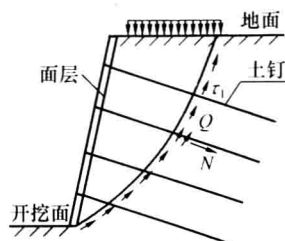


图 1-3 土钉墙结构

型桩等结合的复合土钉墙结构。

3. 重力式水泥土墙（图 1-4）

重力式水泥土墙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。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。

4. 放坡（图 1-5）

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。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。当基坑较深时可分级放坡，并保证边坡自身能够稳定。

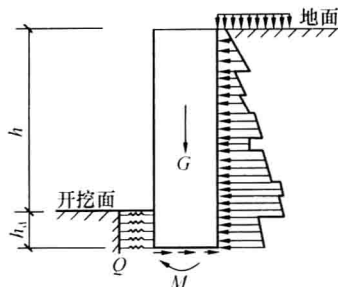


图 1-4 重力式水泥土墙

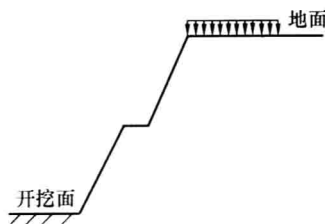


图 1-5 放坡

四、基坑支护设计、施工原则与选型

1. 基坑支护设计和施工原则

基坑支护设计和施工应遵循技术先进、安全可靠、经济合理的原则。基坑支护设计和施工必须保证基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路的安全和正常使用及主体地下结构的施工空间。基坑支护设计应规定其设计使用期限，且不应小于一年。

2. 基坑支护选型

基坑支护设计时，应综合考虑基坑周边环境 and 地质条件的复杂程度、基坑深度等因素，按表 1-1 采用支护结构的安全等级。对同一基坑的不同部位，也可采用不同的安全等级。

表 1-1

支护结构的安全等级

安全等级	破坏后果
一级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响很严重
二级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响严重
三级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响不严重

在基坑支护工程中，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形式。国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120—2012）对各种支护结构的选型做了明确的规定，提出了各种支护形式的适用条件，见表 1-2。

表 1-2 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012) 中各类支护结构的适用条件

结构类型		适用条件		
		安全等级	基坑深度、环境条件、土类和地下水条件	
支挡式结构	锚拉式结构	一级、二级、三级	适用于较深的基坑	1. 排桩适用于可采用降水或截水帷幕的基坑
	支撑式结构		适用于较深的基坑	2. 地下连续墙宜同时用作主体地下结构外墙,可同时用于截水
	悬臂式结构		适用于较浅的基坑	3. 锚杆不宜用在软土层和高水位的碎石土、砂土层中
	双排桩		当锚拉式、支撑式和悬臂式结构不适用时,可考虑采用双排桩	4. 当邻近基坑有建筑物地下室、地下构筑物等,锚杆的有效锚固长度不足时,不应采用锚杆
	支护结构与主体结构结合的逆作法		适用于基坑周边环境条件很复杂的深基坑	5. 当锚杆施工会造成基坑周边建(构)筑物的损害或违反城市空间规划等规定时,不应采用锚杆
土钉墙	单一土钉墙	二级、三级	适用于地下水位以上或经降水的非软土基坑,且基坑深度不宜大于 12m	当基坑潜在滑动面内有建筑物、重要地下管线时,不宜采用土钉墙
	预应力锚杆复合土钉墙		适用于地下水位以上或经降水的非软土基坑,且基坑深度不宜大于 15m	
	水泥土桩垂直复合土钉墙		用于非软土基坑时,基坑深度不宜大于 12m;用于淤泥质土基坑时,基坑深度不宜大于 6m;不宜用在高水位的碎石土、砂土、粉土层中	
	微型桩垂直复合土钉墙		适用于地下水位以上或经降水的基坑,用于非软土基坑时,基坑深度不宜大于 12m;用于淤泥质土基坑时,基坑深度不宜大于 6m	
重力式水泥土墙		二级、三级	适用于淤泥质土、淤泥基坑,且基坑深度不宜大于 7m	
放坡		三级	1. 施工场地应满足放坡条件 2. 可与上述支护结构形式结合	

注 1. 当基坑不同部位的周边环境条件、土层性状、基坑深度等不同时,可在不同部位分别采用不同的支护形式;
2. 支护结构可采用上、下部以不同结构类型组合的形式。

五、基坑工程事故原因

引起基坑事故的原因主要有以下方面:

- (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,支护桩承载力不足失效。

据不完全统计,在已发生的基坑工程事故中,不当设计引发的事故占 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,用以维护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、普通压力型锚杆和拉力分散型、压力分散型锚杆;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,各种结构物稳定与锚固等。

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,精轧螺纹钢筋或一般螺纹钢筋),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,通过黏结材料传递给土层,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序,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黏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, 尤其是套管及钻杆连接处的丝扣及润滑, 在遇黏性土层时, 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 $500\sim 700\text{mm}$, 以弥补重新残留的岩土块、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, 在黏性土、泥灰岩层中钻孔。气动冲击会产生较大噪声及粉尘, 所以在城市密集区及地下洞室内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黏结强度。

2. 杆体制作及安放

(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。首先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明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。一般先采用无黏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,无黏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。锚杆注浆通常是将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 32.5 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 1:3~1:1,水泥砂浆一般只用