



高等职业教育土木工程专业系列教材

地下工程 施工技术

DIXIA GONGCHENG
SHIGONG JISHU

上海市教育委员会 组编
曾进伦 王聿 赖允瑾 编著
夏明耀 主审

高等教育出版社

高等职业教育土木工程专业系列教材

地下工程施工技术

上海市教育委员会 组编
曾进伦 王 聿 赖允瑾 编著
夏明耀 主审

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工技术/曾进伦主编.—北京:高等教育出版社,
2001.5

ISBN 7-04-007657-8

I.地... II.曾... III.地下工程-施工技术-高等学校:
技术学校-教材 IV.TU94
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 11846 号

责任编辑 孙鸣雷 特约编辑 杨家琪
封面设计 乐嘉敏 责任印制 蔡敏燕
吴昊

书 名 地下工程施工技术
主 编 曾进伦 王聿 赖允瑾

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

021-62587650

021-62551530

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

排 版 南京理工排版校对公司

印 刷 商务印书馆上海印刷股份有限公司

开 本 787×1092 1/16

版 次 2001 年 7 月第 1 版

印 张 20.5

印 次 2001 年 7 月第 1 次

字 数 507 000

定 价 21.50 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部
门联系调换。

版权所有 侵权必究

序

高等职业教育培养适应 21 世纪我国社会主义现代化建设需要的,具备综合职业能力和全面素质的,直接在生产、服务、技术和管理第一线工作的技术应用型人才。要提高高等职业教育的教育质量和办学效益,必须深化教育教学改革,而课程改革、教材建设则是教学改革的关键所在。基于这种认识,上海市教育委员会自 1998 年 9 月起开始进行高职教材的组编工作。根据职业教育专业门类多的特点,组编工作着重于领导、引导和指导,目的是动员本市广大高职教师,开展高职教材的研究与建设。

在组织编写的过程中,我们着重提出几个方面的要求:

1. 明确课程内容在本专业应用能力形成中的地位 and 作用,是高职教材编写的基本依据。要求编者首先把握住使用本教材的专业的培养目标和规格,掌握课程设置的结构与要求,最终明确本教材在实现培养目标的课程体系中的地位与作用以及同其他课程的关系,努力体现“联系实际、够用为度”的编写原则。

2. 促进教材编写与高职课程改革的紧密联系。高职教材的建设是以课程改革为基础,又是为课程改革服务的。我们组织编写的高职教材基本上是高专业主干课程的教材,教材内容要尽可能反映出课程改革的思路与实践,力求以一门主干课程教材的建设带动整个专业主干课程的改革。

3. 组建一支既有理论知识、又有实践经验的编写队伍。高职教材要求内容、形式充分体现以能力培养为主线。要达到这一目标,在编写队伍的结构上,必须注意整体优化组合,让学术专家、实践行家共同参与编写。这样,高职教学中的产学结合思想在教材编写过程中容易得到贯彻落实。

经过近二年的努力,在社会各界的重视、支持、帮助和参与下,我们在机电类、土建类、计算机类和商贸类等四大类专业组编了 20 余本高职教材,现已陆续出版发行。作为一种实践活动,本次编写的高职教材无论在内容还是在形式方面,都会存在一些不足,请广大读者指正。

上海市教育委员会

编者的话

本套高等职业教育土木工程专业系列教材,是在上海市教育委员会领导下,由同济大学高等技术学院牵头,组织上海市几所高等职业技术学校的教师与工程技术人员共同编写的。本系列教材共计15本,包括《土木工程施工实录》、《土木工程施工工艺》、《土木工程测量》、《建筑材料》、《土力学与基础工程》、《房屋建筑学》、《建筑施工技术》、《地下工程施工技术》、《桥梁施工技术》、《道路工程施工技术》等。

本系列教材的编写指导思想是:跟踪土木工程施工技术的迅速发展,适应建筑、地下、桥梁、道路等工程技术的相互交叉,使学生在掌握传统施工工艺的同时,也能掌握各种施工新技术。本系列教材的相关课程衔接科学、合理,尽量避免内容上不必要的重复;突出高职教育的特点,强调理论联系实际,强调以能力培养为核心。本系列教材根据我国土木工程最新设计标准与施工规范、规程、标准等编写,体现了当前我国与国际上的土木工程施工技术与管理水平。

在本系列教材编写之前,同济大学成立了由高等技术学院副院长董大奎教授为组长、土木工程学院施工教研室主任应惠清教授为副组长的教材编写小组,对土建行业的有关企业进行了长达一年的调研,对人才的培养目标、业务规格、能力结构、素质要求等方面进行了研究与分析,确定高职土木工程专业培养目标为以建筑工程、市政工程从事项目经理岗位为主的第一线技术与管理人才。根据这一培养目标,教材编写小组对课程体系进行了较大力度的调整与改革,形成了具有高职特色的培养计划与课程设置,并在此基础上确定系列教材编写目录。在编写过程中,得到了上海市建设委员会、上海建工集团、上海住总集团等的大力支持,在此一并表示感谢。

《地下工程施工技术》是系列教材中的一本,由曾进伦、王聿、赖允瑾编著,夏明耀主审。教材的绪论、第2、3、4、5、6章由曾进伦编写;第7、8、9、10、11、12章由王聿编写;第1章由赖允瑾编写。

由于高职教育在我国刚刚起步,本系列教材的编写尚无经验,书中不妥之处难免,恳请读者提出宝贵意见。

同济大学高等技术学院
土木工程专业教材编写小组

目 录

绪论	1
第一章 大开挖基坑工程施工	4
§ 1.1 概述	4
§ 1.2 施工组织设计	5
§ 1.3 边坡稳定性计算和边坡失稳防止措施	7
§ 1.4 流砂、管涌的防止和基坑降水措施	9
§ 1.5 土方开挖施工	11
思考与练习	19
第二章 深基坑工程施工	20
§ 2.1 概述	20
§ 2.2 基坑支护结构类型与选择	21
§ 2.3 基坑稳定性验算	29
§ 2.4 钢板桩支护结构施工	34
§ 2.5 钻孔灌注桩支护结构施工	39
§ 2.6 挖孔桩施工	48
§ 2.7 水泥土墙支护结构施工	50
思考与练习	53
第三章 沉井施工	55
§ 3.1 概述	55
§ 3.2 沉井的分类与构造	56
§ 3.3 沉井施工	61
§ 3.4 沉井施工引起土体移动的分析与计算	86
思考与练习	93
第四章 地下连续墙施工	94
§ 4.1 概述	94
§ 4.2 地下连续墙的施工简述与工艺流程	94
§ 4.3 地下连续墙施工	96
§ 4.4 地下连续墙的施工机具设备	121
§ 4.5 地下连续墙施工常遇问题与处理对策	124

2 目 录

§ 4.6 地下连续墙施工质量标准	126
思考与练习	127
第五章 地下工程逆作法施工	128
§ 5.1 概述	128
§ 5.2 逆作法施工顺序与工艺流程	130
§ 5.3 逆作法施工	132
思考与练习	136
第六章 盾构法隧道施工	137
§ 6.1 概述	137
§ 6.2 盾构的构造、分类与选型	139
§ 6.3 盾构法施工	150
§ 6.4 盾构隧道衬砌	160
§ 6.5 盾构掘进中的辅助施工法	166
§ 6.6 工程实例	167
思考与练习	170
第七章 顶管法施工	172
§ 7.1 概述	172
§ 7.2 工作井及后背墙	173
§ 7.3 常用顶管的施工方法	178
§ 7.4 主要技术措施	184
思考与练习	189
第八章 沉管法施工	191
§ 8.1 概述	191
§ 8.2 管段的制作	194
§ 8.3 管段的浮运和沉放	201
§ 8.4 基槽浚挖与基础处理	208
思考与练习	214
第九章 箱涵施工	216
§ 9.1 概述	216
§ 9.2 前期施工	218
§ 9.3 箱涵顶进	223
§ 9.4 工程实例	229

思考与练习	231
第十章 地下工程辅助施工方法	232
§ 10.1 概述	232
§ 10.2 降水法	233
§ 10.3 冻结法	243
§ 10.4 气压法	247
§ 10.5 注浆法	252
思考与练习	253
第十一章 地下工程防水与堵漏施工	254
§ 11.1 概述	254
§ 11.2 防水混凝土施工	256
§ 11.3 附加防水层的施工	262
§ 11.4 注浆防水施工	274
§ 11.5 渗漏治理方法	276
思考与练习	279
第十二章 地下工程施工监测	280
§ 12.1 监测方案的编制	280
§ 12.2 监测的组织与实施	281
§ 12.3 监测仪器和监测元件	284
§ 12.4 常用监测项目及其方法	290
§ 12.5 监测资料的整理与分析	303
思考与练习	304
附录	306
参考文献	317

绪 论

一、地下工程施工技术课程的任务、特点

地下工程是建设工程的重要组成部分。随着地下空间开发和利用的发展,各种类型的地下工程越来越多,国家用于地下工程、深基础工程的投资也越来越大。要优质高效地建设好地下工程,学习、掌握地下工程的施工技术尤为重要。

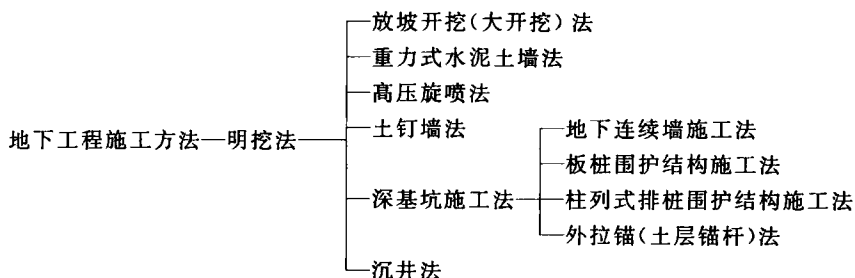
地下工程是埋于岩土介质中的结构物,它的施工是在岩土介质中进行,其施工方法由工程地质和施工条件等因素所决定,而不能一概采用通常模式的施工方法。对于同一地下工程,有多种施工方法。每一种施工方法,又由多个工序组成。而每一道工序的施工,可由不同的施工技术、不同的机械设备来完成。因此,通过“地下工程施工技术”课程的学习,应使每个学员能根据工程地质与水文地质条件,综合考虑地下工程的类型、规模、结构形式、开挖深度、降水排水条件、施工季节、周边环境、工程经验、工程造价等因素,做到因地制宜、因时制宜,选用合适的地下工程施工方法与施工技术,以取得“安全可靠、质量保证、方便施工、技术先进、经济合理”的效果。

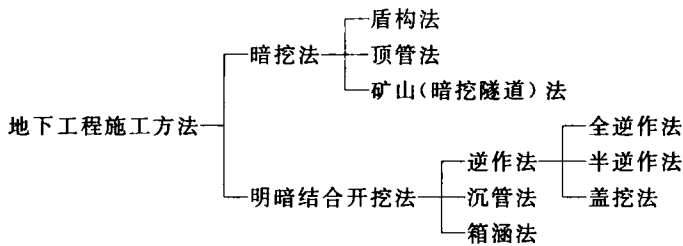
地下工程施工技术是一门综合性很强的专业技术课,它与岩土力学、工程地质学、地基基础、建筑力学、工程结构、工程测量、建筑机械、施工组织与管理、施工预算等课程有着密切的关系。它们相互联系、相互影响又相互渗透。要学好地下工程施工技术,还应当学好上述课程。

地下工程施工技术是一门专门研究各类地下工程、基础工程施工方法、施工工艺和施工技术的学科,是土建专业学生必不可少的重要学习内容。本课程的任务,不但要求学生学习、掌握地下工程施工技术,而且要求学生能够研究各类地下工程的施工方法、施工工艺与施工技术,具有独立分析和解决地下工程施工问题的能力。

二、地下工程施工技术概要

目前,随着城市地铁、越江隧道、引水隧道、地下工厂、地下民用设施、地下军用设施、高层建筑地下室等工程建设的需要,国内外地下工程施工技术有了很大的发展,常用的地下工程施工方法主要有:





明挖法是历史最悠久的传统施工方法,常用的放坡开挖(大开挖)法是明挖法中用得最多、最普遍的一种方法,其特点是坑内无支护、支撑结构,方便大型挖土机械与主体结构施工。此法适用于开挖深度不大(一般小于 10 m)、地下水位低、场地开阔的地下工程,具有施工速度快、成本低等优点,在可能的情况下,应优先采用。

水泥土墙法为重力式结构,基坑内不需要支撑,具有无污染、无噪音、无振动,对周围环境影响小,造价低等特点。近年来水泥土墙围护结构已得到较快的发展。

高压旋喷法是近几年发展起来的新型施工工艺,其特点为可形成各种直径的桩体,遇到地下管线等障碍物时可方便、灵活地处理,结构形式为自立式,坑内不需要支撑,可作为基坑工程的防水帷幕。

土钉墙法适用于地下水位低的粘性土地层,其特点为基坑壁与土体共同作用,主动承载,变形小,施工速度快,不影响工期,造价低,基坑内无支撑,便于挖土与主体结构施工。

深基坑施工法以围护结构型式不同,可分为地下连续墙施工方法、板桩围护结构施工方法、柱列式排桩围护结构施工方法及外拉锚法等四种方法。由于地下工程埋置较深(一般大于 10 m),相应的基坑也开挖较深,因此坑内需设置单道或多道支撑(除外拉锚法外)及支撑的立柱,其特点为不便于坑内机械挖土与主体结构施工。如果地下水位较高,还需要降低地下水位,而且施工工期长,施工费用较高。外拉锚法有锚锭桩式拉锚与土锚式拉锚之分,适用于锚杆的锚固效应较好、施工范围内无障碍物、周围环境允许打设锚杆的地层。此法的特点为基坑内无支撑,方便主体结构施工,与坑内设置支撑的地下连续墙、板桩、柱列式排桩围护结构相比,施工工期较短,施工费用较低。

沉井法是地下工程和深基础工程施工的一种常用方法。沉井施工占地面积小。不需要另筑围护结构,与大开挖相比较,挖土量少,对附近建(构)筑物的影响比较小,操作方便,无需特殊的专业设备。沉井法施工的新技术有深沉井和钻吸法沉井施工技术,采用深沉井不排水下沉施工,有下沉平稳、对周围环境影响小等优点;采用钻吸法沉井施工技术,新颖的钻吸机组在水下破土排泥,工效高,下沉平稳。

暗挖法可分为盾构法、顶管法和矿山法等三种。盾构法是在地面以下暗挖隧道的一种施工方法。盾构法施工时,盾构既能支承地层压力又能在地层中推进,是一项综合性的施工技术,其优点为:地面作业少,隐蔽性好,噪音小,特别适合于建造覆土深的隧道,施工费用和技术难度不受覆土深度的影响。隧道穿越河道、海底、地面建筑物和地下管线密集区下部时,隧道的施工可完全不影响通航和地面建筑物与市政管线的正常使用,也完全不受气候的影响。隧道施工自动化程度较高,工人劳动强度低,施工速度快。

顶管法一般适用于内径小于 4 m 的软土地层中的地下管道(隧道)施工。它类似于盾构法,对于埋置深度较大,穿越河、海,交通干线和周围环境对位移、地下水有严格限制的地段,采

用顶管法施工可获得安全、经济的效果。

矿山法在硬土(岩石)地区普遍采用,它适用于地质较好、强度较高、地下水位较浅的地层。此法的特点为:在硬土地层中暗挖地下空间(隧道)后,地下空间周围的岩土介质有一定的自立能力,而不会造成地层的坍塌,所以地下结构的制作往往可滞后于开挖阶段,必要时,也可以不作内衬结构,开挖地层也多采用钻眼爆破的方法。由于学时、篇幅所限,本书中对矿山法不作介绍。

逆作法适用于埋藏较深的地下(基础)工程施工,在地下工程结构施工时,不需架设临时支撑,结构本身既作挡墙,又作支撑,能有效地控制基坑周围环境的变形和地表的沉降,地下地上可同时施工,缩短工期。逆作法与明挖法相比,可获得较好的社会、经济效益。逆作法可分为“全逆作法”、“半逆作法”与“盖挖法”等三种。

沉管法是跨越江、河、湖、海水域修建隧道的重要方法之一。沉管法修建隧道主要包括:地槽的浚挖、管节制作、管节防水、管节驳运沉放和地基处理等施工工序。此法的施工技术受特定的环境条件和工程要求的影响。沉管法隧道与通常的掘进隧道相比,可缩短工期,节约造价;在特定的条件下,可取得较好的效益。用沉管法,在美国、荷兰、德国、瑞典、法国、日本、丹麦、英国、比利时,以及我国的台湾省、香港特区、广州珠江、宁波涌江等地建造了100余条沉管隧道。

箱涵法一般适用于铁路与公路交叉口下的立交地道顶进工程。箱涵顶进时不影响地面交通的正常运营,工程量比上立交小,总投资省,具有较好的环境效益。用箱涵顶进方法修建立交地道工程在我国已得到广泛应用。箱涵的横断面形式有单孔、多孔、数个单孔等不同形式。此法还相应地改良了顶进设备,改变了顶进工艺,减小了设备功率,从而达到了节省投资的目的;在施工方法上也变得多样化,由单一的“顶推”,演变到对顶、顶拉、牵引等多种方式,在采用中继千斤顶设施后大幅度地降低了传到后背上的反顶力。此外,还在减阻措施上得到进展,把顶力减少到相当低的程度。

三、学习本课程需要注意的几个问题

(1) 本课程着重讨论地下工程施工方法、施工工艺与施工技术,每一种施工方法、施工工艺与施工技术都有其特点,学习时应注意它们各自的适用场合。

(2) 根据地下工程施工技术课程的学习与研究对象,要求学生掌握一般地下工程常用的施工方法和施工技术,了解国内外地下工程施工领域内的新技术与发展动态。具有独立分析和解决地下工程施工技术问题的初步能力,为今后的学习、工作与科学研究打下基础。

(3) 地下工程施工技术涉及面广,实践性强,技术发展迅速,在学习中必须坚持理论联系实际,不但要求学生课堂上讲授的基本理论、原理、基本知识有所理解与掌握,而且要重视生产实习、教学参观、现场教学等实践性的教学环节。有些内容,如地下连续墙、逆作法、盾构法、顶管法、沉井法、沉管法等施工技术,若不进行必要的现场参观是很难掌握的。因此,在学习过程中要有计划地到施工现场去参观,留心观察施工中各个环节,积累实际的感性知识,这对学好本课程颇有益处。

第一章 大开挖基坑工程施工

内容提要与学习要求

大开挖(放坡开挖)是明挖法中用得最多、最普遍的一种方法,具有坑内无支护、无支撑结构、方便大型机械与主体结构施工、施工速度快、成本低等优越性,适用于开挖深度不大(一般小于10 m)、地下水位低、场地开阔的地下工程。本章主要介绍以下内容:

1. 放坡开挖的施工组织设计;
2. 边坡稳定性计算和技术措施;
3. 地下水不利情况下边坡失稳的防止;
4. 降水系统的设计计算;
5. 土方开挖机械。

通过本章学习应达到下列要求:

1. 了解放坡开挖土方施工组织设计时应该考虑的因素;
2. 熟悉边坡失稳的原因和防止措施;
3. 掌握流砂和管涌产生的机理和防止措施;
4. 认识常用土方开挖机具的工作参数和适用条件。

§ 1.1 概 述

大开挖土方工程是指不采用支撑形式而采用直立或放坡施工方法进行开挖的基坑工程,有时又称放坡基坑开挖。对于基坑挖深较浅、施工场地空旷、周围建筑物和地下管线及其他市政设施距离基坑较远的情况,一般都采用大开挖,因为这是最为经济合理的施工方法。

大开挖土方工程可以为地下结构的施工创造最大限度的工作面,方便施工布置。因此,在场地允许的情况下,应优先选择大开挖法进行基坑施工。

基坑大开挖边坡施工过程中,由于开挖等施工活动导致土体原始应力场的平衡状态遭到破坏,当土体抗剪强度下降或附加应力超过极限值时,便会出现土体的快速或渐进位移,即发生了边坡失稳。基坑进行大开挖的边坡设计必须保证基坑边坡具有足够的稳定性安全系数。

边坡稳定性安全系数一般定义为沿假定滑裂面的抗滑力与滑动力的比值。当该比值小于1时,边坡即发生破坏。

边坡设计需要确定两个基本参数:边坡开挖深度和坡度。在边坡分析中,边坡开挖深度称为坡高 H ,边坡的坡度则用坡角 β 或高宽比 m 表示(图1-1)。这两个参数的确定取决于许多因素,包括土体的抗剪强度高、地下水位的变化、地面超载的大小、基坑底的

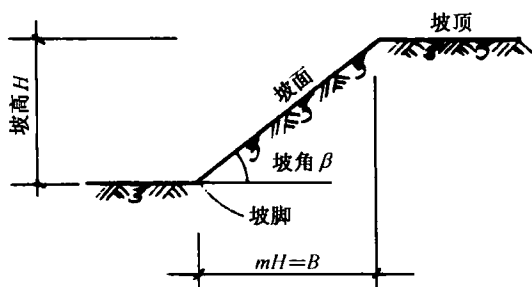


图 1-1 边坡各部位名称

支承强度和刚度,以及施工顺序及施工工期的安排,等等。

由于大开挖基坑的边坡稳定主要是通过边坡土质的抗剪强度来实现的,所以边坡开挖的深度及坡度都受到土体抗剪强度的限制;边坡的变形控制也与土体抗剪强度密切相关,并受环境条件的限制。此外,坡顶的堆载大小、基坑底的支承强度和刚度也对边坡的稳定和变形产生影响,如堆载越大或坑底支承强度和刚度越小,则边坡的稳定性安全系数越低,变形越大。因此,基坑大开挖需要综合考虑地质、环境、结构和施工各方面的影响因素,达到基坑施工安全、可靠、经济、合理的目的。

大开挖基坑工程的施工内容包括:

- (1) 施工组织设计。
- (2) 基坑降水和边坡加固的方法。
- (3) 基坑土方开挖。

§ 1.2 施工组织设计

施工组织设计的任务是根据建筑设计的要求,结合施工现场的具体情况,提出施工的具体方法和实施途径,保证工程按质如期完成。对于大开挖基坑工程施工来说,施工组织设计主要包括如下内容:

- (1) 选择合理的土方开挖方案、施工方法和施工设备。
- (2) 对建筑工地进行总平面规划。

一、确定土方开挖方案和施工方法

大开挖基坑施工的土方开挖方案主要指边坡稳定计算、基坑降水方案、土方开挖的行进路线和边坡加固方法等。

土方开挖的施工方法目前主要有人工开挖和机械开挖两种。

施工方案制定要根据设计的技术要求、环境条件和施工力量,以及经济效益综合考虑。所以,在制定施工方案时应进行环境调查。

对基坑周围的建(构)筑物等的详细调查,可以为基坑边坡设计确定地面超载、边坡变形限制和安全系数的取值提供依据。例如采用桩基础的房屋比采用浅基础的房屋对邻近基坑产生的地面超载小得多,材料和接头刚度较好的地下管线允许基坑边坡产生较大的位移而能正常使用,重要性等级高的建筑物或构筑物要求较高的安全储备,即边坡的安全系数取值较一般情况高。

软土地区进行基坑大开挖的环境调查一般应包括如下内容:

- (1) 查明基坑周围影响范围内的建(构)筑物的结构类型、层数、基础类型与埋深及结构现状。
- (2) 基坑周围地下设施(包括上、下水管线、电缆、煤气、管道、热力管道、地下箱涵等)的位置、材料和接头形式。
- (3) 查明场地周围和邻近地区地表和地下水的分布、水位标高、距基坑距离及补给、排泄关系对开挖的影响程度。

(4) 基坑周围的道路、车流量及载重情况。

二、选择施工设备

根据施工方法,选择合理的施工机具,提高挖土的机械化水平,缩短工期。一般地,对于小型基坑,土方量少,可以采用人工挖土;对于土方量大的基坑,应该采用机械挖土。建筑工程施工使用的机械种类繁多,常用的有推土机、铲运机、单斗挖土机、装载机等。选用土方机械可参考表 1-1。

表 1-1 一般常用土方机械的特性和适用范围

名称	机械特性	作业特点	适用范围	辅助机械
推土机	操作灵活,运转方便,需工作面小,可挖土送土,行驶速度快	1. 推平; 2. 运距 80 m 内的堆土; 3. 开挖浅基坑; 4. 回填、压实; 5. 助铲; 6. 牵引	1. 找平表面,平整场地; 2. 短距离移挖作填、回填压实; 3. 开挖深不大于 1.5 m 的基坑; 4. 堆筑高 1.5 m 内的路基堤坝; 5. 拖羊足碾	土方挖运出需配备装土、运土设备;推挖三~四类土需用松土机预松土
铲运机	操纵简单灵活,不受地形限制,不需特设道路,能独立工作,不需其他机械配合能完成铲土、运土、卸土、压实等作业,行驶速度快,生产效率高	1. 大面积整平; 2. 开挖大型基坑; 3. 运距 300 m 内的挖运土; 4. 填筑路基、堤坝; 5. 回填压实土方	1. 大面积场地整平压实; 2. 运距 100 ~ 800 m 的挖运土方	开挖坚土时需用推土机助铲;开挖四类土需用松土机预松土
正铲挖掘机	装车轻便灵活,回转移位方便,能挖掘坚硬土层,易控制开挖尺寸,工作效率高	1. 开挖停机面以上土方; 2. 挖方高度 1.5 m 以上; 3. 装车外运	1. 大型场地整平土方; 2. 大型管沟和基槽; 3. 独立基坑; 4. 边坡开挖	土方外运应配备自卸汽车;工作面应有推土机配合平土,集中土方
反铲挖掘机	操作灵活,挖土、卸土均在地面作业,不用开运输道	1. 开挖停机面以下土方; 2. 挖土深度随装置而定; 3. 可装车或甩土	1. 管沟和基槽; 2. 独立基坑; 3. 边坡开挖	土方外运应配备自卸汽车;工作面应有推土机配合
拉铲挖掘机	可挖深坑,挖掘半径及卸载半径大,操纵灵活性较差	1. 开挖停机面以下土方; 2. 可装车和甩土; 3. 开挖断面误差较大	1. 管沟、基坑、槽; 2. 大量外借土方; 3. 填筑路基、堤坝; 4. 挖掘河床; 5. 不排水挖取土	土方外运需配备自卸汽车;配备推土机创造施工条件
抓铲挖掘机	钢绳牵拉,灵活性较差,工效不高,不能挖掘坚硬土	1. 开挖直井或沉井土方; 2. 装车和甩土; 3. 排水不良也能开挖	1. 深基坑、基槽; 2. 水中挖取土; 3. 桥基、桩孔挖土; 4. 散装材料装车	土方外运时,按运距配备自卸汽车
装载机	操作灵活,回转移位方便,可装卸土方和散料,行驶速度快,可进行松软表层土剥离、整平	1. 开挖停机面以上的土方; 2. 轮胎式只能装松散土方,履带式装普通土方; 3. 要装车运走	1. 外运多余土方; 2. 履带式改换挖斗时可用于开挖	土方外运需配备自卸汽车;作业面需经常用推土机平整,并推松土方

三、施工平面设计

施工平面设计应包括如下内容:

- (1) 地上和地下原有建筑物和构筑物。
- (2) 地上和地下拟建建筑物和构筑物。
- (3) 为施工服务的临时设施。

一般地说,在整个工程的施工组织设计中已经把基坑施工平面图考虑进去,但不是很详细、很具体。这里的施工平面设计则要做到具体化。

对于大开挖基坑工程来说,其中心内容是基坑的出土方式和出土路线。出土方式和出土路线需要考虑运输机械和其他堆载对边坡稳定的不利影响。

一旦施工平面图确定以后,基坑开挖必须严格执行,否则很容易发生边坡由于堆载位置、堆载大小超出预设范围而滑坡的事故。

§ 1.3 边坡稳定性计算和边坡失稳防止措施

一、大开挖基坑施工的边坡稳定性计算

(一) 边坡失稳的破坏形式和原因

大量计算和实际观测表明,基坑边坡破坏形式与土层的岩土性质、地面超载以及边坡形状等因素有密切关系。基坑边坡主要的破坏形式有:

- (1) 沿近似圆弧的滑动面转动,这种破坏常常发生在较为均质的粘性土层。
- (2) 沿近乎平面的滑移,这种破坏常常发生在无粘性土层和有明显分界的两类或多类土层。

土坡的失稳常常是在外界不利因素的影响下触发和加剧的,一般有如下几种原因可能导致边坡原来受力状态失去平衡:

(1) 受荷。或由于地震或临近基坑打桩、车辆行驶、爆破等原因,使得侧向水平压力增加,破坏了原来的平衡状态。

(2) 土体抗剪强度降低。由于水的作用而发生风化、淋溶、矿物成分的变化,或当边坡暴露时,雨水和地面水渗入边坡,导致含水量增加及孔隙水压力上升和土体软化,或发生蠕变,从而最终造成土体的抗剪强度逐渐降低;对于饱和砂性土,打桩、车辆行驶、爆破、地震等引起的振动常常导致砂土的液化,从而降低土体的抗剪强度。

(3) 动、静水压力的作用。降雨或人为因素导致地下水位升高,增加了边坡的侧向静水压力和渗流压力。

(二) 边坡稳定性计算

边坡稳定性计算的目的是要根据地质条件和水文条件、施工期间地面车辆行进路线和堆载情况、地面环境,依照土力学理论并结合施工经验确定边坡的主要参数、放坡坡度等。边坡参数的确定与施工平面图的布置有直接的关系。例如,地面堆载越大,坡角越小,开挖土方就越多。

有关边坡稳定的计算理论和方法可以参阅土力学教材,本教材不再赘述。

二、基坑边坡失稳的防止措施

(一) 大开挖基坑土方开挖注意事项

由于种种原因,常常出现施工工况和原设计条件不相符合的情况,或者设计中难以考虑周全的施工情况,此时必须对基坑边坡重新验算,如果安全度不足,应采取相应的补救措施。所以,施工过程中应注意:

(1) 不要在已开挖的基坑边坡的影响范围内进行动力打桩或静力压桩的施工活动,如必须打桩,应对边坡削坡和减载,打桩采用重锤低击、间隔跳打。

(2) 不要在基坑边坡顶堆加过重荷载,若需在坡顶堆载或行驶车辆时,必须对边坡稳定进行核算,控制堆载指标。

(3) 施工组织设计应有利于维持基坑边坡稳定,土方出土宜从已开挖部分向未开挖方向后退,不宜沿已开挖边坡顶部出土,应采用由上至下的开挖顺序,不得先切除坡脚。

(4) 注意地表水的合理排放,防止地表水流入基坑或渗入边坡。

(5) 采用井点等排水措施,降低地下水位。

(6) 注意现场观测,发现边坡失稳先兆(如产生裂纹)时,应立即停止施工,并采取有效措施,提高施工边坡的稳定性,待符合安全度要求时方可继续施工。

(二) 基坑边坡失稳的防止措施

1. 边坡修坡

改变边坡外形,将边坡修缓或修成台阶形(图 1-2)。这种方法的目的是减少基坑边坡的下滑重量。因此,必须结合在坡顶卸载(包括卸土)才更有效果。

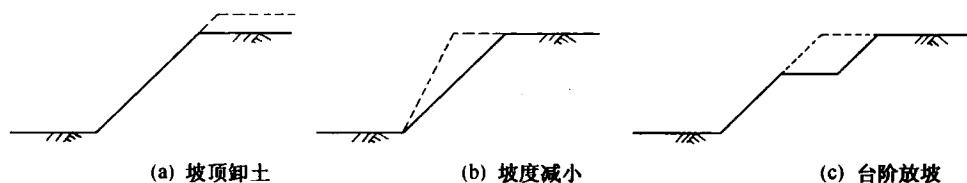


图 1-2 边坡修坡

2. 设置边坡护面

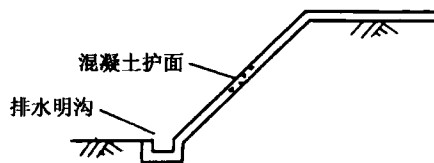


图 1-3 基坑边坡设置混凝土护面

设置基坑边坡混凝土护面的目的是为了控制地表排水经裂缝渗入边坡内部,从而减少因为水的因素导致土体软化和孔隙水压力上升的可能性。护面可以作成厚为 10 cm 的混凝土面层,为增加边坡护面的抗裂强度,内部可配置一定的构造钢筋(如 $\phi 6 @ 300$),如图 1-3 所示。

3. 边坡坡脚抗滑加固

当基坑开挖深度大,而边坡又因场地限制不能继续放缓时,可以通过对边坡抗滑范围的土

层进行加固(图 1-4)。采用的方法有:设置抗滑桩、旋喷法、分层注浆法、深层搅拌法等。

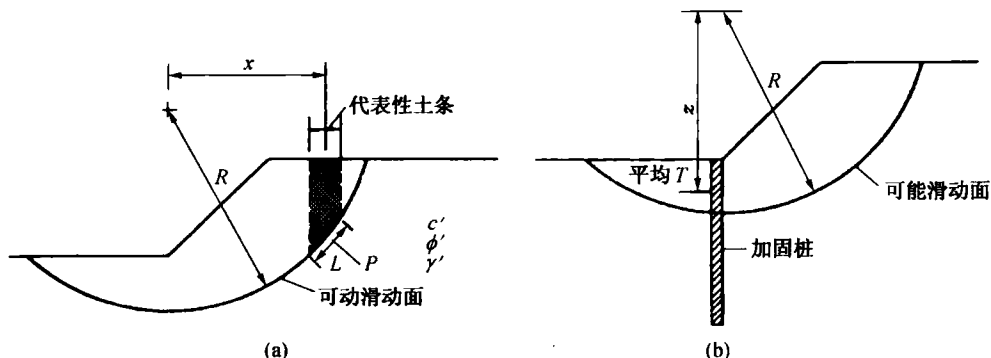


图 1-4 基坑边坡坡脚抗滑加固

采用这种方法的时候必须注意加固区应穿过滑动面并在滑动面两侧保持一定范围。对于混凝土抗滑桩,此范围一般应大于 5 倍桩径。

§ 1.4 流砂、管涌的防止和基坑降水措施

土方边坡稳定与地下水有密切关系。在地下水的浸泡下土体抗剪强度下降,同时土体还会受到浮力(即静水压力)和渗透力(即动水压力)的作用,边坡容易失稳导致滑坡。此外,对于细砂和粉砂土层的边坡,地下水常常导致流砂和管涌,在粘土层则可能出现基坑隆起,这些对施工都十分不利。在土方外运方面,挖方含水量过高还会对城市道路造成污染。因此,在土方开挖前和开挖过程中,以及地下结构施工期间,作好地下水的处理工作,保持基坑土体干燥十分重要。

一、流砂与管涌

流砂和管涌是基坑土方工程施工需要防止的两大危害。我们知道,土具有透水性,土质不同,相同水力梯度下水在其中的渗透速度也不一样,砂性土渗透速度大些,粘性土小些。工程上通常用渗透系数 k 来表示水在土中通过的难易程度。渗透系数 k 也是反映地下水动力作用的一个参数。渗透系数 k 可以通过室内土的渗透试验或现场抽水试验来测定。各种土的渗透系数变化范围如表 1-2 所示。

表 1-2 土的渗透系数参考值

土的名称	渗透系数 k /(cm/s)	土的名称	渗透系数 k /(cm/s)
粘土	$< 10^{-7}$	粉砂、细砂	$10^{-3} \sim 10^{-4}$
粉质粘土	$10^{-6} \sim 10^{-7}$	中砂	$10^{-1} \sim 10^{-3}$
粘质粉土	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	粗砂、砾石	$10^2 \sim 10^{-1}$

地下水的渗流对土单位体积内的骨架产生的压力称为动水压力。动水压力方向为地下水渗流方向(图 1-5),大小等于水的重度^①与水力梯度的乘积,即

① 在国家标准《量和单位》中,“重度”已废弃,鉴于土木工程中这一物理量经常用到,故在本书中仍保留使用。