



新世纪土木工程系列教材

# 土木工程施工

刘宗仁 主编    王士川 副主编



高等教育出版社

新世纪土木工程系列教材

# 土木工程施工

---

刘宗仁 主 编  
王士川 副主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书为新世纪土木工程系列教材之一,是依据1998年7月教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》和高等学校土木工程专业指导委员会制定的“土木工程施工课程教学大纲”编写的。

本书阐述了土木工程施工技术和施工组织的基本规律、施工工艺、施工方法,反映了土木工程施工的新技术、新工艺及实践性。全书共15章,分别为土方工程、基础工程、砌体工程、混凝土结构工程、预应力混凝土工程、房屋结构安装工程、桥梁工程、道路工程、防水工程、建筑装饰装修工程、施工组织概论、流水施工原理、网络计划技术、单位工程施工组织设计、施工组织总设计。

本书可作为普通高等学校土木工程专业的教材,也可作为土木工程施工技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工/刘宗仁主编. —北京:高等教育出版社, 2003.2

ISBN 7-04-011599-9

I. 土… II. 刘… III. 土木工程-工程施工-高等学校-教材 IV. TU74

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第099182号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街55号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
传 真	010-64014048		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	新华书店北京发行所		
排 版	高等教育出版社照排中心		
印 刷	河北新华印刷一厂		
开 本	787×1092 1/16	版 次	2003年2月第1版
印 张	28	印 次	2003年2月第1次印刷
字 数	650 000	定 价	34.70元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 教育部高等教育出版社土建类系列教材

## 编辑委员会委员名单

**主任委员:**沈蒲生(湖南大学)

**副主任委员:**(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(长安大学)

强士中(西南交通大学)

**委员:**(按姓氏笔画排序)

卫 军(华中科技大学)

王清湘(大连理工大学)

江见鲸(清华大学)

刘 明(沈阳建筑工程学院)

张印阁(东北林业大学)

吴胜兴(河海大学)

尚守平(湖南大学)

胡长顺(长安大学)

梁兴文(西安建筑科技大学)

焦兆平(广州大学)

霍 达(北京工业大学)

王 健(北京建筑工程学院)

叶志明(上海大学)

关宝树(西南交通大学)

朱彦鹏(甘肃工业大学)

张家良(辽宁工学院)

杨和礼(武汉大学)

周 云(广州大学)

赵明华(湖南大学)

黄醒春(上海交通大学)

廖红建(西安交通大学)

## 出版者的话

新世纪土木工程系统教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本部门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系

统的专业系列教材,以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材的编写大纲和初稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

2001年3月

# 前 言

土木工程施工课程是土木工程专业的主要专业课之一,在培养学生独立分析和综合运用土木工程专业知识和基本能力方面起着重要作用。

土木工程施工是研究土木工程施工的主要工种、工程施工技术和施工组织计划规律的技术课程。它实践性强,涉及的知识面广,技术发展迅速。

本书为新世纪土木工程系列教材之一,是依据教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》和高等学校土木工程专业指导委员会制定的《土木工程施工》课程教学大纲编写的。本书较为系统、全面地介绍了土木工程施工的基本知识和基本理论,结合土木工程施工的新技术、新工艺、新材料及新颁布的土木工程设计规范和施工质量及验收规范,增加了建筑基坑支护、地下连续墙、钢结构安装、桥梁工程、道路工程等内容,删除和精简了部分过时的陈旧内容,力求做到科学地反映出当前土木工程施工的高科技施工水平,培养学生对现行规范、规程的了解和运用,加强土木工程施工理论与应用的研究,以促进土木工程施工的发展。

本书由哈尔滨工业大学刘宗仁主编并编写第1、5、10章;西安建筑科技大学王士川副主编并编写第2、6章;姜庆远编写第3、4章;郭组辛编写第7、8章;毛文英编写第9章;赵平编写第11、12章;胡长明编写第13、14、15章。全书由刘宗仁、王士川统稿。本书承同济大学赵志缙教授审阅。

限于编者水平,不足之处和有待探讨的问题,诚请读者提出宝贵意见。

本书编写过程中,得到哈尔滨工业大学、西安建筑科技大学的大力支持和土木工程界人士的热情帮助,在此表示衷心感谢。

编者

2002年11月

# 目 录

<b>第1章</b>	<b>土方工程</b> .....	1	6.1	起重机械 .....	175
1.1	概述 .....	1	6.2	单层工业厂房结构安装 .....	186
1.2	土方边坡与土壁支护 .....	3	6.3	钢结构安装 .....	203
1.3	场地平整施工 .....	18	<b>第7章</b>	<b>桥梁工程</b> .....	218
1.4	排水、降水施工 .....	24	7.1	桥梁结构施工常用施工机具与 设备 .....	218
1.5	土方填筑与压实 .....	42	7.2	混凝土结构桥梁施工方法 .....	218
1.6	土方工程机械化施工 .....	46	7.3	钢桥施工 .....	242
<b>第2章</b>	<b>基础工程</b> .....	51	<b>第8章</b>	<b>道路工程</b> .....	246
2.1	钢筋混凝土预制桩 .....	51	8.1	路基工程 .....	246
2.2	混凝土及钢筋混凝土灌注桩 .....	56	8.2	路面分类与等级 .....	254
2.3	地下连续墙施工 .....	64	8.3	路面工程 .....	256
2.4	沉井基础、管柱基础 .....	67	<b>第9章</b>	<b>防水工程</b> .....	270
<b>第3章</b>	<b>砌体工程</b> .....	71	9.1	屋面防水工程 .....	271
3.1	砌筑砂浆 .....	71	9.2	地下防水工程 .....	294
3.2	毛石砌体工程 .....	74	<b>第10章</b>	<b>建筑装饰装修工程</b> .....	304
3.3	砖墙砌体施工 .....	75	10.1	抹灰工程 .....	304
3.4	砌块砌体工程 .....	79	10.2	饰面板(砖)工程 .....	312
3.5	砌筑用脚手架 .....	80	10.3	涂饰工程 .....	321
3.6	砌体工程垂直运输设施 .....	85	<b>第11章</b>	<b>施工组织概论</b> .....	325
<b>第4章</b>	<b>混凝土结构工程</b> .....	87	11.1	工程项目施工组织原则 .....	325
4.1	模板工程 .....	88	11.2	施工项目的施工准备工作 .....	326
4.2	钢筋工程 .....	108	11.3	施工组织设计 .....	332
4.3	混凝土工程 .....	121	<b>第12章</b>	<b>流水施工原理</b> .....	336
<b>第5章</b>	<b>预应力混凝土工程</b> .....	141	12.1	流水作业的基本概念 .....	336
5.1	预应力混凝土分类和材料 .....	141	12.2	流水作业的主要参数 .....	340
5.2	预应力夹具和锚具 .....	144	12.3	组织流水作业的基本方法 .....	345
5.3	预应力张拉机械 .....	147	<b>第13章</b>	<b>网络计划技术</b> .....	353
5.4	先张法施工 .....	150	13.1	网络图的基本概念 .....	353
5.5	后张法施工 .....	158			
<b>第6章</b>	<b>房屋结构安装工程</b> .....	175			



---

13.2 双代号网络图 .....	354	<b>第 15 章 施工组织总设计 .....</b>	<b>411</b>
13.3 单代号网络图 .....	368	15.1 施工部署 .....	412
13.4 搭接网络计划 .....	373	15.2 施工总进度计划 .....	413
13.5 网络计划的优化 .....	381	15.3 资源需要量计划 .....	415
13.6 网络计划的实施与计算机管理 ...	391	15.4 全场性暂设工程 .....	417
<b>第 14 章 单位工程施工组织设计 .....</b>	<b>396</b>	15.5 施工总平面图 .....	429
14.1 施工方案 .....	397	15.6 技术经济指标 .....	433
14.2 施工进度计划与资源需要量 计划 .....	401	<b>参考文献 .....</b>	<b>435</b>
14.3 施工平面图设计 .....	406		

# 第1章

## 土方工程

\*\*\*\*\*

土方工程是土木工程施工的主要工种工程。高层建筑大规模的建设,土方工程施工的重要性日益为工程界所认识,采用先进的施工工艺和施工方法,选择合理的施工方案,保证工程质量与安全,以求获得最佳的经济效益。

\*\*\*\*\*

### 1.1 概述

土方工程一般包括场地平整,基坑和基槽的开挖,人防工程及地下建筑物的开挖,回填工程等。

#### 1.1.1 土方工程施工特点

土方工程施工的特点是工程量大,施工条件复杂。新建一个大型工业企业,其场地平整、房屋及设备基础、厂区道路及管线的土方工程量往往可以达几十万至数百万立方米以上。合理地选择土方机械、组织机械化施工,对于缩短工期,降低工程成本具有很重要的意义。土方工程多为露天作业,土、石又是天然物质,种类繁多,施工受到地区、气候、水文地质和工程地质等条件的影响。在地面建筑物稠密的城市中进行土方工程施工,还会受到施工环境的影响。因此,在施工前应做好调查研究,并根据本地区的工程及水文地质情况以及气候、环境等特点,制订合理的施工方案组织施工。

#### 1.1.2 土的工程性质

##### 1. 土的密度

与土方工程施工有关的是土的天然密度  $\rho$  和土的干密度  $\rho_d$ 。天然密度是指土在天然状态下单位体积的质量,它与土的密实程度和含水量有关。在选择运土汽车时,往往要将载重量折算成体积,此时必须用到天然密度。

土的干密度是指单位体积土中固体颗粒的质量,即土体孔隙内无水时的单位土重。干密度在一定程度上反映了土颗粒排列的紧密程度,可用来作为填土压实质量的控制指标。

##### 2. 土的含水量

土的含水量  $w$  是土中所含的水与土的固体颗粒间的质量比,见公式(1-1)。

$$w = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中:  $G_1$  ——含水状态时土的质量;

$G_2$  ——烘干后土的质量。

土的含水量随外界雨雪、地下水的影响而变化。当土的含水量超过 25%~30% 时,采用机械施工就很困难,一般土含水量超过 20% 时就会使运土汽车打滑或陷入泥坑。回填土夯实时若含水量过大则会产生橡皮土现象,无法夯实。土的含水量对土方边坡稳定性也有直接影响。

### 3. 土的渗透性

土的渗透性是指土的透水性能。土体孔隙中的自由水在重力作用下会发生流动,当基坑开挖至地下水位以下,地下水的平衡破坏后,地下水会不断流入基坑。地下水在土中渗流时受到土颗粒的阻力,其大小与土的渗透性及地下水渗流路程长短有关。

### 4. 土的可松性

自然状态下的土,经开挖后,其体积因松散而增加,以后虽经回填压实,仍不能恢复成原来的体积。

土的可松性的大小用可松性系数表示,见公式(1-2)。

$$K_s = \frac{V_2}{V_1}, \quad K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-2)$$

式中:  $K_s$  ——最初可松性系数;

$K'_s$  ——最终可松性系数;

$V_1$  ——土在自然状态下的体积;

$V_2$  ——土经开挖后松散状态下的体积;

$V_3$  ——土经回填压实后压实状态下的体积。

土的最初可松性系数及最终可松性系数见表 1-1。土的可松性对土方的平衡调配、基坑开挖时留、弃土量及运输工具数量的计算均有直接影响。

表 1-1 土的可松性系数

土的类别	$K_s$	$K'_s$
一类土	1.08~1.17	1.01~1.03
二类土	1.14~1.24	1.02~1.05
三类土	1.24~1.30	1.04~1.07
四类土	1.26~1.45	1.06~1.20
五类土	1.30~1.50	1.10~1.30
六类土	1.45~1.50	1.28~1.30

**例题 1-1** 建筑物外墙为条形毛石基础,基础平均截面面积为  $3.0 \text{ m}^2$ 。基坑深  $2.0 \text{ m}$ ,底宽为  $1.5 \text{ m}$ ,地基为亚粘土。计算  $100 \text{ m}$  长的基槽土挖方量、填方量和弃土量( $1:m=1:0.5$ ;  $K_s=1.30$ ;  $K'_s=1.05$ )。

解 挖方量  $V_1 = \frac{1.5 \text{ m} + (1.5 \text{ m} + 2 \times 2 \text{ m} \times 0.5)}{2} \times 2 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 500 \text{ m}^3$

填方量  $V_2 = \frac{500 \text{ m}^3 - 3 \text{ m}^2 \times 100 \text{ m}}{1.05} = 190 \text{ m}^3$

$$\text{弃土量 } V_3 = (500 \text{ m}^3 - 190 \text{ m}^3) \times 1.30 = 403 \text{ m}^3$$

### 1.1.3 土的工程分类

土的种类很多,其工程性质直接影响土方工程施工方法的选择、劳动量的消耗和工程的费用。

土方工程按照土的开挖难易程度,在现行预算定额中,将土分为松软土、普通土、坚土等八类,见表 1-2。

表 1-2 土的工程分类

土的分类	土的级别	土的名称	开挖方法及工具
一类土 (松软土)	I	砂;亚砂土;冲积砂土层;种植土泥炭(淤泥)	用锹、锄头挖掘
二类土 (普通土)	II	亚粘土;潮湿的黄土;夹有碎石、卵石的砂;种植土、填筑土及亚砂土	用锹、锄头挖掘;少许用镐翻松
三类土 (坚土)	III	软及中等密实粘土;重亚粘土;干黄土及含碎石、卵石的黄土;亚粘土;压实的填筑土	主要用镐,少许用锹、锄头挖掘,部分用撬棍
四类土 (砂砾坚土)	IV	重粘土及含碎石、卵石的粘土;粗卵石;密实的黄土;天然级配砂石;软泥炭岩及蛋白石	先用镐、撬棍,然后用锹挖掘,部分用楔子及大锤
五类土 (软石)	V~VI	硬石灰岩粘土;中等密实的页岩、泥灰岩;白垩土;胶结不紧的砾岩;软的石灰岩	用镐或撬棍、大锤挖掘,部分使用爆破方法
六类土 (次坚石)	VII~IX	泥灰岩;砂岩;砾岩;坚实的页岩、泥炭岩、密实的石灰岩;风化花岗岩、片麻岩	用爆破方法开挖,部分用镐
七类土 (坚石)	X~XIII	大理岩;辉绿岩;玢岩;粗、中粒花岗岩;坚实的白云岩、砂岩、砾岩、片麻岩、石灰岩;风化痕迹的安山岩、玄武岩	用爆破方法开挖
八类土 (特坚石)	XIV~XVI	安山岩;玄武岩;花岗片麻岩;坚实的细粒花岗岩、闪长岩、石英岩、辉长岩、辉绿岩、玢岩	用爆破方法开挖

## 1.2 土方边坡与土壁支护

土方工程施工过程中,土壁的稳定,主要是依靠土体的内摩擦力和内聚力(粘结力)来保持平衡,一旦土体在外力作用下失去平衡,就会出现土壁坍塌,即塌方事故,不仅妨碍土方工程施工,造成人员伤亡事故,还会危及附近建筑物、道路及地下管线的安全,后果严重。

为了防止土壁坍塌,保持土体稳定,保证施工安全,在土方工程施工中,对挖方或填方的边缘,均应做成一定坡度的边坡。由于条件限制不能放坡或为了减少土方工程量而不放坡时,可设置土壁支护结构,以确保施工安全。

### 1.2.1 土方边坡

土方边坡的大小,应根据土质条件、挖方深度或填方高度、地下水位、排水情况、施工方法、边坡留置时间、边坡上部荷载情况、相邻建筑的情况等因素综合考虑确定。

土质均匀且地下水位低于基坑(槽)或管沟底面标高,其挖土深度不超过表 1-3 规定时,挖方边坡可做直壁而不加支撑。

表 1-3 直壁不加支撑挖方深度

土的种类	挖方深度/m
密实、中密的砂土和碎石类土(充填物为砂土)	1.00
硬塑、可塑的轻亚粘土及亚粘土	1.25
硬塑、可塑的粘土和碎石类土(充填物为粘性土)	1.50
坚硬的粘土	2.00

地质条件好、土质均匀且地下水位低于基坑(槽)或管沟底面标高,挖方深度在 5 m 以内时,不加支撑的边坡最陡坡度应符合表 1-4 规定。

表 1-4 深度在 5 m 内的基坑(槽)、管沟边坡的最陡坡度

土的种类	边坡坡度(1:m)		
	坡顶无荷载	坡顶有静载	坡顶有动载
中密的砂土	1:1.00	1:1.25	1:1.50
中密的碎石土(充填物为砂土)	1:0.75	1:1.00	1:1.25
硬塑的轻亚粘土	1:0.67	1:0.75	1:1.00
中密的碎石类土(充填物为粘性土)	1:0.50	1:0.67	1:0.75
硬塑的亚粘土、粘土	1:0.33	1:0.50	1:0.67
老黄土	1:0.10	1:0.25	1:0.33
软土(经井点降水后)	1:1.00		

使用时间较长的临时性挖方边坡坡度应符合表 1-5 规定。

表 1-5 临时性挖方边坡坡度值

土的种类		边坡坡度(1:m)
砂土(不包括细砂、粉砂)		1:1.25~1:1.50
一般性粘土	硬	1:0.75~1:1.00
	硬、塑	1:1.00~1:1.25
	软	1:1.50 或更缓
碎石类土	充填坚硬、硬塑粘性土	1:0.50~1:1.00
	充填砂土	1:1.00~1:1.50

注:1. 设计有要求时,应符合设计标准。

2. 如采用降水或其他加固措施,可不受本表限制,但应计算复核。

3. 开挖深度,对软土不应超过 4 m,对硬土不应超过 8 m。

永久性土工构筑物挖方的边坡坡度应符合表 1-6 的规定。

表 1-6 永久性土工构筑物挖方的边坡坡度

挖土性质	边坡坡度(1:m)
在天然湿度及层理均匀、不易膨胀的粘土、粉质粘土和砂土(不包括细砂、粉砂)内挖方,深度不超过 3 m	1:1.00~1:1.25
土质同上,深度为 3~12 m	1:1.25~1:1.50
干燥地区内土质结构未经破坏的干燥黄土及类黄土,深度不超过 12 m	1:0.10~1:1.25
在碎石土和泥灰岩土内的挖方,深度不超过 12 m,根据土的性质、层理特性和挖方深度确定	1:0.50~1:1.50
在风化岩内的挖方,根据岩石性质、风化程度、层理特性和挖方深度确定	1:0.20~1:1.50
在微风化岩石内的挖方,岩石无裂缝且无倾向挖方坡脚的岩层	1:0.10
在未风化的完整岩石内的挖方	直立的

土方边坡的稳定,主要是由于土体内土颗粒间存在摩阻力和内聚力,从而使土体具有一定的抗剪强度。土体抗剪强度的大小与土质有关。粘性土土颗粒之间除具有摩阻力外还具有内聚力,土体失稳而发生滑动时,滑动的土体将沿着滑动面整体滑动;砂性土土颗粒之间无内聚力,主要靠摩阻力保持平衡。所以粘性土的边坡可陡些,砂性土的边坡则应平缓些。

土方边坡坡度的大小除与土质有关外,还与挖方深度(或填方高度)有关,此外亦受外界因素的影响。由于外界的原因使土体的抗剪强度降低或土体内的切应力增加达到一定程度时,土方边坡也会因失去稳定而塌方。如雨水、施工用水使土的含水量增加,从而使土体自重增加,抗剪强度降低;有地下水时,地下水在土中渗流产生一定的动水压力导致土体内的切应力增加;边坡上部荷载增加(如大量堆土或停放机具)使切应力增加等,都直接影响土体的稳定性,从而影响土方边坡坡度大小的取值。所以,确定土方边坡坡度的大小时应考虑土质、挖方深度(填方高度)、边坡留置时间、排水情况、边坡上部荷载情况及土方施工方法等因素。

土方边坡坡度用挖方深度(或填方高度) $H$ 与其边坡宽度 $B$ 之比来表示。边坡可以做成直线形边坡、阶梯边坡及折线边坡(图 1-1)。

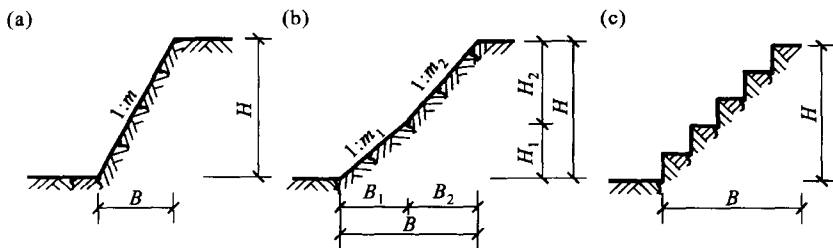


图 1-1 土方边坡

(a) 直线形;(b) 折线形;(c) 阶梯形

土方边坡坡度 =  $\frac{1}{m} = \frac{H}{B}$ ,  $m$  称为坡度系数,  $m = \frac{B}{H}$ 。

土方开挖时如果边坡太陡, 容易造成土体失稳, 发生塌方事故; 如果边坡太平缓, 不仅会增加土方量, 而且可能影响邻近建筑的使用和安全, 因此必须合理地确定边坡坡度, 以满足安全和经济方面的要求。

### 1.2.2 土壁支护

开挖基坑(槽)或管沟, 如果土质与周围场地条件允许, 采用放坡开挖, 往往比较经济。但有时受环境限制不能按要求放坡或放坡开挖所增加的土方量太大, 此时可采用直立边坡加支撑的施工方法。

土壁的支护方法应根据工程特点、土质条件、地下水位、开挖深度、施工方法及相邻建筑等情况, 经技术经济比较后选定。

基坑坑壁支护有三种类型: 加固型支护、支挡型支护以及两种类型支护结合使用的混合型支护。

#### 1. 加固型支护

加固型支护是对基坑边坡滑动棱体范围及其附近土体进行加固, 改善其物理力学性能, 使其成为具有一定强度和稳定性的土体结构, 从而保证边坡稳定, 并兼有抗渗作用。

##### (1) 深层搅拌水泥土桩墙支护

深层搅拌法是利用深层搅拌机在边坡土体需要加固的范围内, 将软土与固化剂强制拌和, 使软土硬结成具有整体性、水稳性和足够强度的水泥加固土, 称为水泥土搅拌桩。

深层搅拌法由于将固化剂和原地基土搅拌混合, 不存在水对周围地基的影响, 不会使地基侧向挤出, 故对临近已有的建筑影响较小, 施工时无振动和噪声, 不污染环境; 加固后土体重量不变, 使软弱下卧层不产生附加沉降。它适用于淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高且地基承载力标准不大于 120 kPa 粘性土等软土地基加固。

深层搅拌法利用的固化剂为水泥, 掺入量为加固土体重的 7%~15%。

##### ① 深层搅拌法加固机理

深层搅拌法加固软土地基的过程, 是水泥加固土的物理化学反应过程。由于水泥掺量仅占加固土重的 7%~15%, 水泥的水解和水化反应是在具有一定活性的土层中进行, 其硬化速度缓慢而且复杂。水泥水解和水化反应生成不溶的呈细分散状态的凝胶体; 发生离子交换和团粒作用, 使大量土颗粒形成较大的土团粒, 又由于凝胶体的强烈的吸附活性, 将土团粒进一步结合起来, 形成坚固的连接, 发生硬凝反应生成不溶于水的稳定结晶矿物, 增大了土的强度和稳定性。

土中拌入水泥使土粒间的孔隙大量为水泥和水化物填充, 并不断向周围伸长, 相互连接, 从而形成具有一定强度的空间蜂窝结构。

##### ② 深层搅拌法的计算

由水泥土搅拌桩和软土组成的地基称为复合地基, 其承载力由桩和桩间土共同承受。

水泥搅拌桩单桩竖向承载力标准值  $R_k^d$  的计算, 见公式(1-3)和(1-4)。

$$R_k^d = \eta f_{cuk} A_p \quad (1-3)$$

$$R_k^d = \bar{q}_s U_p l + \alpha A_p q_p \quad (1-4)$$

式中:  $\eta$  ——强度折减系数,取 0.35~0.50;

$f_{\text{cu}k}$  ——与搅拌桩桩身加固土配比相同的室内加固土试块的无侧限抗压强度平均值, kPa;

$A_p$  ——桩的截面积,  $\text{m}^2$ ;

$\bar{q}_s$  ——桩周土的平均摩阻力,淤泥取 5~8 kPa,淤泥质土取 8~12 kPa,粘性土取 12~15 kPa;

$U_p$  ——桩周长, m;

$l$  ——桩长, m;

$\alpha$  ——桩端天然地基土的承载力折减系数,取 0.4~0.6;

$q_{pk}$  ——桩端天然地基土的承载力标准值, kPa。

水泥土搅拌复合地基承载力标准值  $f_{\text{sp}k}$  的计算,见公式(1-5)

$$f_{\text{sp}k} = m \frac{R_k^d}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (1-5)$$

式中:  $m$  ——面积置换率;

$R_k^d$  ——单桩竖向承载力标准值, kN;

$A_r$  ——桩的截面积,  $\text{m}^2$ ;

$\beta$  ——桩间土承载力折减系数,桩端土为软土时取 0.5~1.0,桩端土为硬土时取 0.1~0.4。

$f_{sk}$  ——桩间天然地基土承载力标准值, kPa。

水泥土搅拌桩桩数  $n$  的计算,见公式(1-6)。

$$n = \frac{mA}{A_p} \quad (1-6)$$

式中:  $m$  ——面积置换率;

$A$  ——基础底面积,  $\text{m}^2$ ;

$A_p$  ——桩的截面积,  $\text{m}^2$ 。

### ③ 深层搅拌法施工

深层搅拌法的施工工艺:深层搅拌机械就位—预搅下沉—喷浆搅拌提升—重复搅拌下沉—重复搅拌提升直至孔口。

深层搅拌法当深层搅拌机下沉到设计深度后,开始将水泥浆压入土中,边喷浆边搅拌,并按设计确定的提升速度提升搅拌机,重复上下搅拌,使土体完全破碎与水泥浆均匀拌和。

为确保加固强度和加固体的均匀性,压浆阶段不允许出现断浆现象,深层搅拌机喷浆提升速度和次数必须符合施工工艺要求,每 m 下沉深度误差不得大于 50 mm,时间误差不得大于 5 s。

深层搅拌法施工使用的固化剂和外掺剂必须通过加固土室内试验检验方能使用,固化剂浆液应严格按预定的配比拌制。

深层拌法应严格控制深层搅拌机的提升速度  $v$ ,见公式(1-7)。

$$v = \frac{Q\gamma_d}{F\gamma_w(1+a_c)} \quad (1-7)$$

式中:  $Q$  ——灰浆泵排浆量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$\gamma_d$  ——水泥浆重力密度,  $\text{kN}/\text{m}^3$ ;



- $F$  ——一次加固面积,  $\text{m}^2$ ;  
 $\gamma$  ——土的重力密度,  $\text{kN}/\text{m}^3$ ;  
 $\alpha_w$  ——水泥掺入比;  
 $a_c$  ——水灰比, 一般取 0.4。

深层搅拌法水泥土搅拌桩施工应连续进行, 其垂直度偏差不得超过 1.5%, 桩位偏差不得大于 50 mm。成桩后 7 d 内用轻便触探器钻取桩身加固土样, 观察搅拌均匀程度, 根据轻便触探击数用对比法判断桩身强度。检验桩数不少于成桩数的 2%。

## (2) 高压喷射旋喷桩支护

高压喷射注浆法是利用工程钻机钻孔至设计处理的深度, 采用高压发生装置, 通过安装在钻杆端部的特殊喷嘴, 向周围土体喷射固化剂, 将软土与固化剂强制混合, 使其胶结硬化后在地基中形成直径均匀的圆柱体。固化后的圆柱体称为旋喷桩。

高压喷射注浆法分为旋转喷射注浆法(施喷法)和定向喷射注浆法(定喷法), 主要用于加固地基, 提高地基承载力, 改善土的物理力学性能, 组成防水帷幕。适用于处理淤泥、淤泥质土、砂土、粘性土、黄土和碎石土等地基。

高压喷射注浆法利用的固化剂为水泥。

### ① 高压喷射注浆法加固机理

高压喷射加固的固化剂浆液通过装在钻杆侧面的喷嘴喷出后, 具有很大的动能, 形成高速高压的射流, 冲击破坏土体, 使土与固化剂浆液搅拌混合, 凝固成圆柱状的固结体。喷射加固的有效喷射长度愈长, 搅拌土的距离就愈大, 可形成较大直径的喷射加固体。

### ② 高压喷射注浆法设计计算

高压喷射旋喷桩单桩竖向承载力标准值  $R_k^d$  的计算, 见公式(1-8)和(1-9)。

$$R_k^d = \eta f_{\text{cuk}} A_p \quad (1-8)$$

$$R_k^d = \pi \bar{d} \sum_{i=1}^n h_i q_{si} + A_p q_p \quad (1-9)$$

式中:  $\eta$  ——强度折减系数, 取 0.35~0.50;

$f_{\text{cuk}}$  ——桩身试块的无侧限抗压强度平均值,  $\text{kPa}$ ;

$A_p$  ——桩的平均截面积,  $\text{m}^2$ ;

$\bar{d}$  ——桩的平均直径,  $\text{m}$ ;

$n$  ——桩长范围内所划分的土层数;

$h_i$  ——桩周第  $i$  层土的厚度,  $\text{m}$ ;

$q_{si}$  ——桩周第  $i$  层土的摩擦力标准值,  $\text{kPa}$ ;

$q_p$  ——桩端天然地基土的承载力标准值,  $\text{kPa}$ 。

高压喷射旋喷桩复合地基承载力标准值  $f_{\text{spk}}$  的计算, 见公式(1-10)。

$$f_{\text{spk}} = \frac{1}{A_c} [R_k^d + \beta f_{\text{sk}} (A_c - A_p)] \quad (1-10)$$

式中:  $A_c$  ——1根桩承担的处理面积,  $\text{m}^2$ ;

$R_k^d$  ——单桩竖向承载力标准值,  $\text{kN}$ ;

$\beta$  ——桩间天然地基土承载力折减系数, 取 0.2~0.6;