

免费提供

★★★ 精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com



建筑施工技术

主编 ● 杨亚琴 乔丽

西北工业大学出版社

建筑施工技术



中等职业教育课程改革创新教材

主编 ● 杨亚琴 乔丽

建筑施工技术



西北工业大学出版社

中等职业教育课程改革创新教材

主 编 ● 杨亚琴 乔 丽

副主编 ● 王 萌

建筑施工技术



西北工业大学出版社
西 安

【内容简介】 本书根据中等职业教育人才的培养目标及最新的技术标准或行业标准,结合建筑施工技术课程的教学要求和岗位要求编写而成。本书共分八个模块,内容包括土方工程、地基处理与桩基础工程、钢筋混凝土工程、预应力混凝土工程、砌体工程、结构安装工程、防水工程和装饰工程。

本书可作为中等职业院校土建类相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工技术/杨亚琴,乔丽主编. —西安:西北工业大学出版社,2023.12

ISBN 978-7-5612-9112-2

I. ①建… II. ①杨… ②乔… III. ①建筑施工-中等专业学校-教材 IV. ①TU7

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 238120 号

JIANZHU SHIGONG JISHU

建 筑 施 工 技 术

杨亚琴 乔丽 主编

责任编辑:王梦妮

装帧设计:张瑞阳

责任校对:黄 佩

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号

邮编:710072

电 话:(029)88491757, 88493844

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:三河市骏杰印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm

1/16

印 张:13.5

字 数:235 千字

版 次:2023 年 12 月第 1 版

2023 年 12 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5612-9112-2

定 价:39.80 元

如有印装问题请与出版社联系调换

建筑施工技术是中等职业教育土建类专业的一门专业基础课程,主要以建筑工程施工过程中不同工种的施工为研究对象,根据其特点和规模,结合施工地点的水文地质条件、气候条件,以及施工的机械设备和材料供应等客观条件,运用先进的技术,研究建筑工程不同工种的施工工艺原理与施工方法、施工质量验收标准与安全技术措施等,通过对这些内容的研究,最终选择经济、合理的施工方案,保证建筑工程能够按时按质完成,做到技术与经济的统一。

党的二十大报告指出:“培养造就大批德才兼备的高素质人才,是国家和民族长远发展大计。”本书结合中等职业教育的特点,依据最新的技术规范和行业标准,围绕培养能从事工业与民用建筑的施工操作和基层技术管理的高素质劳动者及中级专门人才的目标,本着少而精、够用即可的原则,组织了八个模块的内容,包括土方工程、地基处理与桩基础工程、钢筋混凝土工程、预应力混凝土工程、砌体工程、结构安装工程、防水工程和装饰工程。在内容的编排上,以培养综合素质为基础,以提高职业技能为本位,密切结合工程实际,注重培养学生的创新思维和实际动手能力。

本书主要特色如下。

1. 体现职业特点,紧扣实践要求

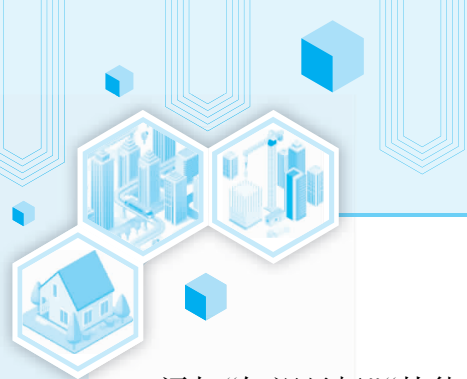
本书结合我国建筑工程施工的实际情况和岗位要求精选教材内容,符合理论联系实际、注重实践能力培养的整体要求,突出针对性和实用性,便于学生学习。

2. 兼顾地区施工特点,紧跟工程发展新趋势

本书适当兼顾不同地区的施工特点和要求,紧跟工程发展的新趋势,力求反映国内外建筑工程施工的先进经验和技術成果,如介绍建筑信息模型(Building Information Model, BIM)运用于施工过程的内容。

3. 内容设计科学,数字资源丰富

本书在编写时注重系统性和逻辑性,符合学生的认知规律,如在每个模块前



添加“知识目标”“技能目标”“素质目标”板块,从三个不同方面帮助学生明确学习目标;以二维码链接“导入案例”,结合工程实际引导学生感受分析问题、解决问题的过程。同时,依托互联网技术开发丰富的数字资源,包括微课视频、图文资料、工程实例等,一方面强调重点内容和学习要点,拓宽学生的知识面,另一方面打破教与学的课堂限制,帮助学生即时学习和自主学习。

本书由江西省建设工程学校杨亚琴、乔丽任主编,王萌任副主编。具体编写分工如下:杨亚琴编写模块一至模块三,乔丽编写模块四至模块六,王萌编写模块七和模块八。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2023 年 4 月

模块一 土方工程

任务一	土方工程概述	2
任务二	土方量的计算	5
任务三	土方的开挖与填筑	12
任务四	土方工程的机械化施工	25

模块二 地基处理与桩基础工程

任务一	地基处理	33
任务二	桩基础工程施工	34

模块三 钢筋混凝土工程

任务一	模板工程	49
任务二	钢筋工程	55
任务三	混凝土工程	71

模块四 预应力混凝土工程

任务一	预应力混凝土概述	88
任务二	先张法施工	89
任务三	后张法施工	96



模块五 砌体工程

任务一	脚手架及施工电梯	115
任务二	砖砌体施工	127
任务三	砌块砌体施工	131

模块六 结构安装工程

任务一	起重设备和索具设备	138
任务二	单层工业厂房安装	145

模块七 防水工程

任务一	屋面防水工程	160
任务二	地下防水工程	171
任务三	厕浴间防水工程	182

模块八 装饰工程

任务一	抹灰工程	187
任务二	饰面板(砖)工程	193
任务三	地面施工	199
任务四	门窗工程	204
参考文献		209



模块一 土方工程



知识目标

1. 掌握土的工程分类和鉴别方法。
2. 掌握土方量的计算方法。
3. 掌握土方工程的施工过程。
4. 掌握常用的土方施工机械的性能、特点和适用范围。



技能目标

1. 能够根据工程情况计算土方量。
2. 能够正确选择基坑回填的填土及填筑压实方法。
3. 能够根据工程情况初步选择施工机械。



素质目标

1. 培养严谨、细致、耐心、专注的工作素质。
2. 培养安全意识和质量意识。



土方工程
导入案例



任务一 土方工程概述

土方工程是建筑工程施工中的主要工程之一。常见的土方工程有场地平整、基坑(基槽)与管沟开挖、地坪填土、路基填筑及基坑回填等。土方工程施工包括土(石)的挖掘、运输、填筑、平整和压实等主要施工过程,以及排水、降水和土壁支撑等准备工作与辅助工作。

一、土的工程分类

土的分类方法有很多,在土方工程施工中,常根据土体开挖的难易程度将土划分为松软土、普通土、坚土、砂砾坚土、软石、次坚石、坚石、特坚石八类。前四类属于一般土,后四类属于岩石。土的工程分类和鉴别方法见表 1-1。

表 1-1 土的工程分类和鉴别方法

土的分类	土的名称	可松性系数		现场鉴别方法
		K_s	K'_s	
一类土 (松软土)	砂土,粉土,冲积砂土层,种植土,泥炭(淤泥)	1.08~1.17	1.01~1.03	用锹、锄头挖掘,少许用脚蹬
二类土 (普通土)	粉质黏土,潮湿的黄土,夹有碎石、卵石的砂,填筑土及粉土混卵(碎)石	1.14~1.28	1.02~1.05	用锹、锄头挖掘,少许用镐翻松
三类土 (坚土)	中等密实黏土,重粉质黏土,粗砾石,干黄土及含碎石、卵石的黄土、粉质黏土,压实的填筑土	1.24~1.30	1.04~1.07	用镐翻松,少许用锹、锄头挖掘,部分用撬棍撬
四类土 (砂砾坚土)	坚硬密实的黏土及含碎石、卵石的黏土,粗卵石,密实的黄土,天然级配砂石,软泥灰岩及蛋白石	1.26~1.32	1.06~1.09	先用镐翻、撬棍撬,后用锹挖掘,部分用楔子及大锤挖掘
五类土 (软石)	硬质黏土,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	1.30~1.45	1.10~1.20	用镐或撬棍、大锤挖掘,部分使用爆破方法开挖

续表

土的分类	土的名称	可松性系数		现场鉴别方法
		K_s	K'_s	
六类土 (次坚石)	泥岩,砂岩,砾岩,坚实的页岩,泥灰岩,密实的石灰岩,风化花岗岩,片麻岩	1.30~1.45	1.10~1.20	用爆破方法开挖,部分用风镐开挖
七类土 (坚石)	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,微风化的安山岩、玄武岩	1.30~1.45	1.10~1.20	用爆破方法开挖
八类土 (特坚石)	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	1.45~1.50	1.20~1.30	用爆破方法开挖

注: K_s 为最初可松性系数, K'_s 为最后可松性系数。

土的开挖难易程度直接影响土方工程的施工方案、劳动量的消耗和工程费用。土体越硬,劳动消耗量越大,工程成本越高。正确地区分和鉴别土的种类,有助于合理地选择施工方法,准确套用定额,计算出土方工程的相关费用。

二、土的工程性质

1. 土的质量密度

土的质量密度分为天然密度和干密度,表示土体的密实程度。

(1) 土的天然密度。土的天然密度是指在天然状态下单位体积土的质量。它与土的密实程度和含水量有关。土的天然密度的计算公式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中: ρ 为土的天然密度(kg/m^3); m 为土的总质量(kg); V 为土的体积(m^3)。

土的天然密度与土颗粒的组成、孔隙数量和含水量有关。一般黏土的天然密度为 $1\,600 \sim 2\,200 \text{ kg}/\text{m}^3$, 密度越大,土体越硬,挖掘越困难。

(2) 土的干密度。土的干密度是指单位体积土中固体颗粒的质量,计算公式为

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-2)$$

式中: ρ_d 为土的干密度(kg/m^3); m_s 为土的固体颗粒质量(kg); V 为土的总体积(m^3)。

在一定程度上,土的干密度反映了土体颗粒排列的紧密程度。土的干密度越大,土体越密实。在填土压实的过程中,土经过碾压,质量不变,体积变小,干密度增加。通过测定土的干密度可判断土是否达到要求的密实度。

2. 土的可松性

土的可松性是指自然状态的土经开挖后因松散而体积增大,虽经回填并按现行施工规范夯实,但仍不能恢复到原体积时的性质。土的可松性常用可松性系数表示,即

$$\left. \begin{aligned} K_s &= \frac{V_2}{V_1} \\ K'_s &= \frac{V_3}{V_1} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中: V_1 为土在自然状态下的体积(m^3); V_2 为土在开挖后的松散体积(m^3); V_3 为土经回填夯实后的体积(m^3)。

土的可松性系数一般通过实验取得,若当地有丰富的经验,则可取经验值。各类土的可松性系数参考值见表 1-1。

3. 土的含水量

土中水的质量 W_w 与土的固体颗粒质量 W_s 之比称为土的含水量 w ,计算公式为

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1-4)$$

4. 土的渗透性

土体孔隙中的自由水在重力的作用下会透过土体而运动,土体的这种被水透过的性质称为土的渗透性,常用渗透系数 K 表示。各类土的渗透系数一般通过实验取得。在工程实践中,如当地有充足的经验,可直接取经验值。常见的各类土的渗透系数见表 1-2。



学习提示:土的可松性在土方施工中的应用



学习提示:土的含水量对土方施工的影响



学习提示:土的渗透性在土方施工中的应用

表 1-2 常见的各类土的渗透系数

土的种类	渗透系数 $K/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	土的种类	渗透系数 $K/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
粉质黏土、黏土	<0.1	含黏土的中砂及细砂	20~25
粉质黏土	0.1~0.5	含黏土的细砂及中砂	35~50

续表

土的种类	渗透系数 $K/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	土的种类	渗透系数 $K/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
含粉质黏土的粉砂	0.5~1.0	粗砂	50~75
粉砂	1.5~5.0	粗砂夹卵石	50~100
含黏土的粉砂	10~15	卵石	100~200

任务二 土方量的计算

土方量是土方施工设计和预算的重要依据,因此在施工前必须进行土方量计算。但由于土方工程往往地形复杂,几何形状不规则,要精确计算土方量比较困难。一般是将其假设或划分为一定的几何形体,并采用既能达到一定精度又与实际土方量相近的方法进行计算。

一、基坑与基槽土方量的计算

1. 基坑土方量的计算

基坑土方量可按立体几何中拟柱体体积(由两个平行的平面作为底的一种多面体)公式计算,如图 1-1 所示,计算公式为

$$V = \frac{H}{6} (A_1 + 4A_0 + A_2) \quad (1-5)$$

式中: H 为基坑深度(m); A_1, A_2 分别为基坑上、下底的面积(m^2); A_0 为基坑中截面的面积(m^2)。

2. 基槽土方量的计算

基槽土方量可沿长度方向分段后,按照基坑土方量的计算方法计算,如图 1-2 所示,计算公式为

$$V_1 = \frac{L_1}{6} (A_1 + 4A_0 + A_2) \quad (1-6)$$

式中: V_1 为第一段的土方量(m^3); L_1 为第一段的长度(m)。

将各段土方量相加,即得总土方量

$$V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n \quad (1-7)$$

式中: $V_1, V_2, \cdots, V_n$ 为各段的土方量(m^3)。

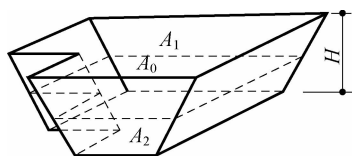


图 1-1 基坑土方量计算

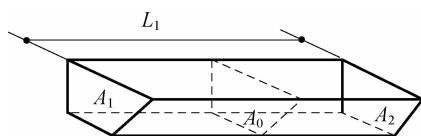


图 1-2 基槽土方量计算

二、场地设计标高的确定和场地平整土方量的计算

建筑场地平整的平面位置和标高通常由设计单位在总平面图的竖向设计中确定。场地平整通常是挖高填低。计算场地挖方量和填方量，首先要确定场地设计标高。根据设计平面的标高和地面的自然标高可以得到场地各点的施工高度(填、挖高度)，由此可计算场地平整的挖方和填方的工程量。

1. 场地设计标高的确定

场地设计标高是进行场地平整和土方量计算的依据，也是总图规划和竖向设计的依据。合理地确定场地的设计标高，对减少土方量、加快工程施工速度都有重要的经济意义。如图 1-3 所示，当场地设计标高为 H_0 时，填挖方基本平衡，

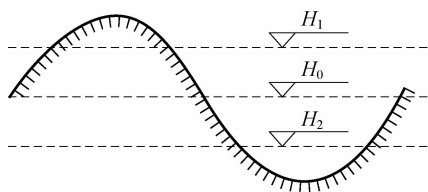


图 1-3 场地不同设计标高的比较

可将土方移挖作填，就地处理。当设计标高为 H_1 时，填方大大超过挖方，则需从场地外大量取土回填。当设计标高为 H_2 时，挖方大大超过填方，则要向场外大量弃土。因此，在确定场地设计标高时，应结合现场的具体条件，反复进行技术经济比较，选择最优方案。

场地设计标高一般应在设计文件上规定。若设计文件对场地设计标高没有规定，可按下述步骤来确定场地设计标高。

(1)初步计算场地设计标高(H_0)。初步计算场地设计标高的原则是场内挖填方平衡，即场内挖方总量等于填方总量 ($\sum V_{挖} = \sum V_{填}$)。

1)在具有等高线的地形图上将施工区域划分为边长 $a=10\sim40$ m 的若干方格，如图 1-4 所示。

2)确定各小方格的角点高程。其方法是根据地形图上相邻两等高线的高程，用插入法计算求得。也可取一张透明纸，在上面画 6 条等距离的平行线，然后把该透明纸放到标有方格网的地形图上，将 6 条平行线的最外 2 条分别对准 A、

B 两点,这时 6 条等距离的平行线将 A、B 之间的高差分成 5 等份,于是便可直接读得 C 点的地面标高,如图 1-5 所示。

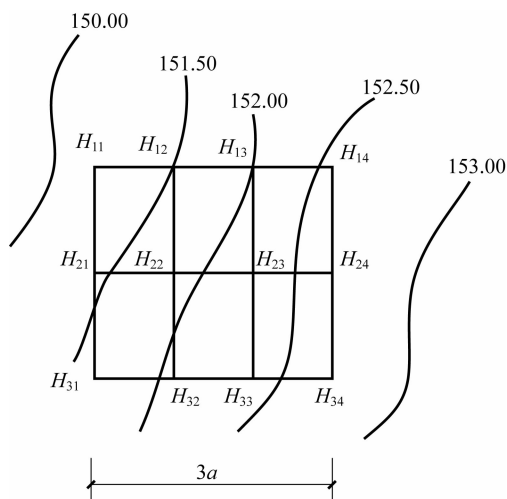


图 1-4 场地设计标高计算图

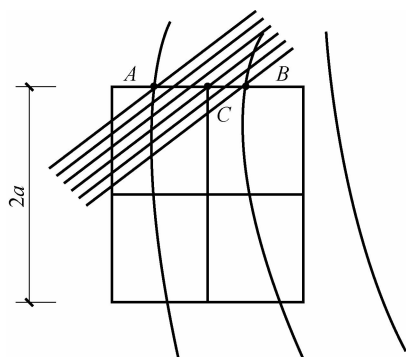


图 1-5 图解法

此外,当无地形图或地形不平坦时,可以在地面用木桩打好方格网,然后用仪器直接测出方格网角点标高。

3)按填挖方平衡确定场地设计标高 H_0 ,计算公式为

$$Na^2 H_0 = \sum_{i=1}^N \left(a^2 \frac{H_{i1} + H_{i2} + H_{i3} + H_{i4}}{4} \right)$$

即

$$H_0 = \frac{1}{4N} \sum_{i=1}^N (H_{i1} + H_{i2} + H_{i3} + H_{i4}) \quad (1-8)$$

由图 1-4 可知, H_{11} 为 1 个方格的角点标高, H_{12} 和 H_{21} 均为 2 个方格公共的角点标高, H_{22} 则是 4 个方格公共的角点标高,它们要分别在式(1-8)中加 1 次、2 次、4 次。因此,式(1-8)可改写为

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 3 \sum H_3 + 4 \sum H_4}{4N} \quad (1-9)$$

式中: N 为方格数目; H_1 为 1 个方格独有的角点标高; H_2 为 2 个方格共有的角点标高; H_3 为 3 个方格共有的角点标高; H_4 为 4 个方格共有的角点标高。

(2)调整场地设计标高。初步确定的场地设计标高(H_0)仅为—理论值,实际上还需要考虑以下因素并对初步确定的场地设计标高(H_0)值进行调整:

1)土的可松性影响。由于土具有可松性,会造成填土的多余,必要时需相应

地提高设计标高。

2)场内挖方和填方的影响。由于场地内大型基坑挖出的土方、修筑路堤填高的土方,以及从经济角度比较,将部分挖方就近弃于场外(简称“弃土”)或将部分填方就近取于场外(简称“借土”)等,均会引起挖填土方量的变化,因此必要时需重新调整设计标高。

3)考虑泄水坡度对设计标高的影响。按调整后的同一设计标高进行场地平整时,整个场地表面处于同一水平面,但实际上由于排水的要求,场地需有一定的泄水坡度。场地的表面坡度应符合设计要求,如无设计要求,排水沟方向的坡度不应小于 0.2%。因此,还需要根据场地的泄水坡度的要求(单向泄水或双向泄水)计算出场地内各方格角点实际施工所用的设计标高。

A. 单向泄水时,设计标高计算是将已调整的设计标高(H_0')作为场地中心线的标高,如图 1-6 所示,场地内任意一点的设计标高则为

$$H_{ij} = H_0' \pm Li \quad (1-10)$$

式中: H_{ij} 为场地内任意一点的设计标高; L 为该点至 $H_0' - H_0'$ 中心线的距离; i 为场地单向泄水坡度(不小于 0.2%)。

B. 双向泄水时,设计标高计算是将已调整的设计标高(H_0')作为场地方向的中心点的标高,如图 1-7 所示,场地内任意一点的设计标高为

$$H_{ij} = H_0' \pm L_x i_x \pm L_y i_y \quad (1-11)$$

式中: L_x, L_y 为该点沿 $x-x, y-y$ 方向距场地中心线的距离; i_x, i_y 为该点沿 $x-x, y-y$ 方向的泄水坡度。

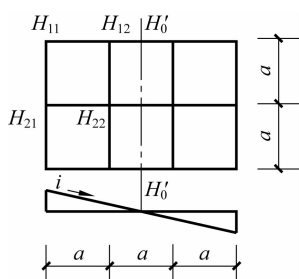


图 1-6 单向泄水坡度场地

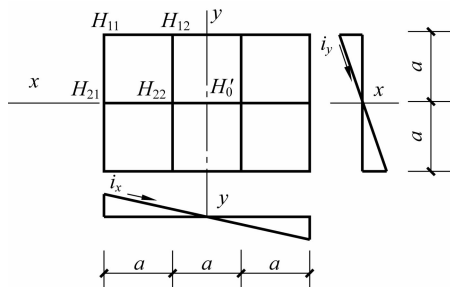


图 1-7 双向泄水坡度场地

2. 场地平整土方量的计算

(1)场地平整土方量的计算方法。场地平整土方量的计算方法有横截面法和方格网法两种。

1)横截面法。横截面法是将要计算的建筑场地划分成若干横截面后,用横截面计算公式逐段计算,最后将逐段计算的结果汇总。横截面法的计算精度较低,可用于地形起伏变化较大地区的场地平整土方量的计算。

2)方格网法。方格网法是先将要计算的建筑场地划分为若干个方格网,再利用方格网方格角点的自然地面标高和实际采用的设计标高计算出相应的角点填挖高度(施工高度),然后计算出每一方格的土方量,并计算出场地边坡的土方量,最后将所有方格的计算结果汇总。方格网法的计算精度较高,适用于地形较平坦的地区,大面积场地的土方量计算通常采用方格网法。这里主要介绍方格网法。

(2)用方格网法计算场地平整土方量的步骤。

1)绘制方格网图。根据地形图(一般用 1 : 500 的地形图),将建筑场地划分为若干个方格网,方格边长主要取决于地形变化复杂程度,一般取 $a = 10\text{ m}$, 20 m , 30 m , 40 m 等,通常采用 20 m 。方格网与测量的纵、横坐标网相对应,在各方格角点规定的位置上标注角点的自然地面标高(H)和设计标高(H_n),如图 1-8 所示。

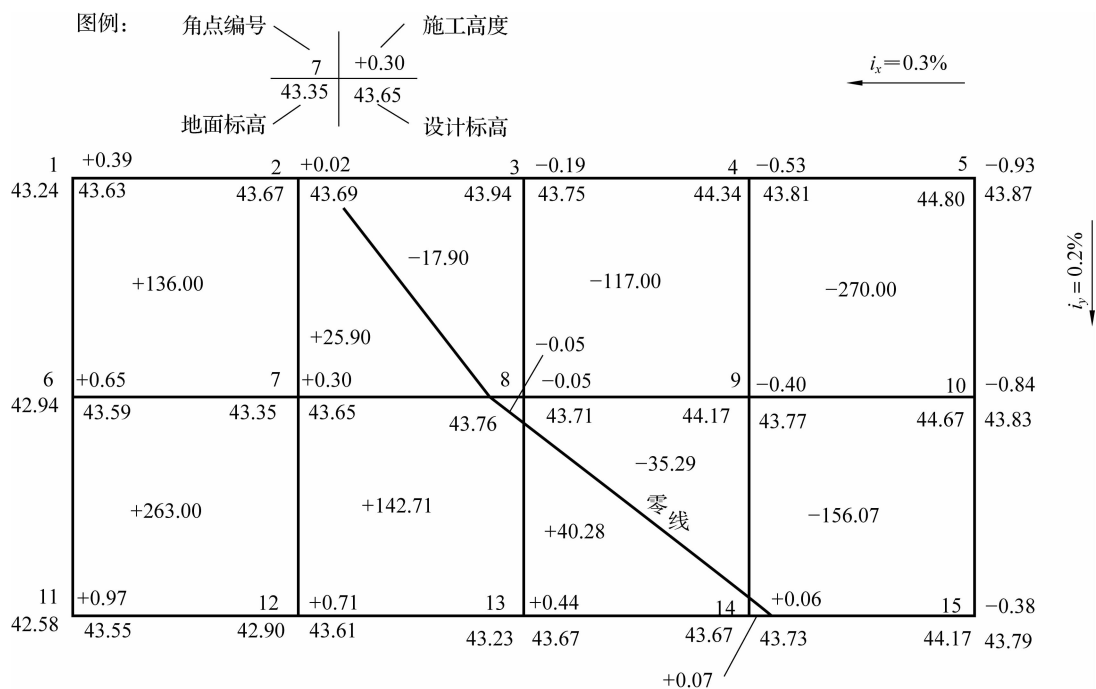


图 1-8 方格网法计算施工高度(单位:m)

2)计算各方格角点的施工高度。各方格角点的施工高度为角点的设计标高与自然地面标高之差,是以角点设计标高为基准的挖方或填方的施工高度。各

方格角点的施工高度按下式计算:

$$h_n = H_n - H \quad (1-12)$$

式中: h_n 为角点的施工高度, 即填挖高度, 以“+”为填(m), “-”为挖(m); H_n 为角点的设计标高(m); H 为角点的自然地面标高(m); n 为方格的角点编号(自然数列 1, 2, 3, ..., n)。

3) 计算零点, 确定零线。当同一方格的 4 个角点的施工高度均为“+”或均为“-”时, 该方格内的土方则全部为填方或挖方; 如果同一方格中一部分角点的施工高度为“+”, 而另一部分为“-”, 则此方格中的土方一部分为填方, 另一部分为挖方。沿其边线必然有不挖不填的点, 即零点。



图文: 图解法
确定零点

零点位置按下式计算:

$$x_1 = \frac{ah_1}{h_1 + h_2}, x_2 = \frac{ah_2}{h_1 + h_2} \quad (1-13)$$

式中: x_1, x_2 为角点至零点的距离(m); h_1, h_2 为相邻两角点的施工高度, 均用绝对值表示(m); a 为方格网的边长(m)。

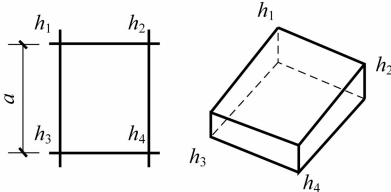
4) 计算方格内土方工程量。按方格底面积图形和表 1-3 所列计算公式计算每个方格内的挖方量或填方量。

表 1-3 常用方格网土方量计算公式

项 目	图 示	计算公式
一点填方或挖方 (三角形)		$V = \frac{1}{2}bc \frac{\sum h}{3} = \frac{bch_3}{6}$ 当 $b=a=c$ 时, $V = \frac{a^2h_3}{6}$
两点填方或挖方 (梯形)		$V_+ = \frac{b+c}{2}a \frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8}(b+c)(h_1+h_3)$ $V_- = \frac{d+e}{2}a \frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8}(d+e)(h_2+h_4)$
三点填方或挖方 (五角形)		$V = \left(a^2 - \frac{bc}{2}\right) \frac{\sum h}{5}$ $= \left(a^2 - \frac{bc}{2}\right) \frac{h_1+h_2+h_3+h_4}{5}$



续表

项 目	图 示	计算公式
四点填方或挖方 (正方形)		$V = a^2 \frac{\sum h}{4} = \frac{a^2}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$

注: 1. a 为方格网的边长(m); b, c 为零点到一角的边长(m); h_1, h_2, h_3, h_4 为方格网四角点的施工高度, 用绝对值代入(m); $\sum h$ 为填方或挖方施工高度总和, 用绝对值代入(m); V 为填方或挖方的体积(m^3)。

2. 本表计算公式是按各计算图形底面积乘以平均施工高度得出的。

5) 边坡土方量的计算。场地的挖方区和填方区的边沿都需要做成边坡, 以保证挖方土壁和填方区的稳定。边坡的土方量可以划分成两种近似的几何形体进行计算, 一种为三棱锥体, 另一种为三棱柱体。

A. 三棱锥体边坡体积计算。三棱锥体边坡体积如图 1-9 中①~③、⑤~⑦所示, 计算公式为

$$V_1 = \frac{1}{3} A_1 l_1 \quad (1-14)$$

式中: l_1 为三棱锥体边坡的长度(m); A_1 为三棱锥体边坡的端面积(m^2), $A_1 = \frac{1}{2} m h_2^2$, 其中 h_2 为角点的挖土高度(m), m 为边坡的坡度系数($m = \text{宽}/\text{高}$)。

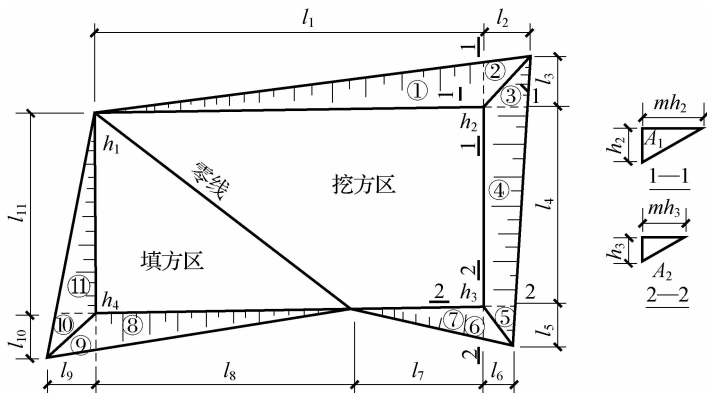


图 1-9 场地边坡平面图

B. 三棱柱体边坡体积计算。三棱柱体边坡体积如图 1-9 中④所示, 计算公式为

$$V_4 = \frac{A_1 + A_2}{2} l_4 \quad (1-15)$$

在两端横断面面积相差很大的情况下,边坡体积按下式计算:

$$V_4 = \frac{l_4}{6} (A_1 + 4A_0 + A_2) \quad (1-16)$$

式中: l_4 为三棱柱体边坡的长度(m); A_1, A_2, A_0 为三棱柱体边坡两端及中部横断面面积。

6) 计算土方总量。将计算的挖方区和填方区所有方格土方量和边坡土方量汇总,即得该场地挖方和填方的总土方量。

任务三 土方的开挖与填筑

一、土方边坡与稳定

土体内摩阻力和黏结力使土方保持平衡,土方一旦失去平衡,土壁就会塌方。土壁塌方不仅会造成人身安全事故,还会影响基坑、基槽的开挖和基础的施工。



图文:土方施工

准备工作

1. 土方边坡

土方边坡的坡度以挖方深度(或填方深度) h 与底宽 b 之比表示,如图 1-10 所示,即

$$\text{土方边坡坡度} = h/b = 1/(b/h) = 1:m \quad (1-17)$$

式中: m 为边坡系数, $m=b/h$ 。

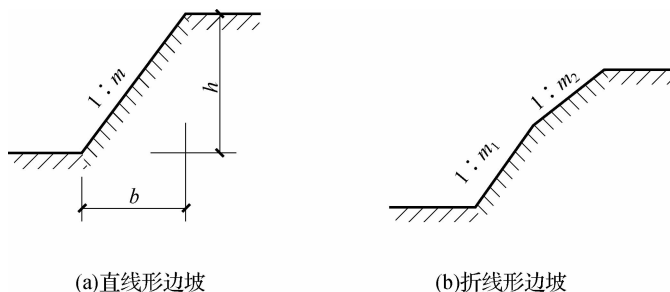


图 1-10 土方边坡

土方边坡坡度的大小应根据土质条件、开挖深度、施工方法、边坡留置时间、地下水位及排水情况、边坡上部的各种荷载情况、相邻建筑物的情况等因素综合

考虑确定。

(1)当地质条件良好,土质均匀且地下水位低于基坑(槽)或管沟底面标高,敞露时间不长且挖方深度不超过表 1-4 所列的深度时,挖方边坡可做成不加支撑的直壁。

表 1-4 直壁挖方的容许深度(不加支撑)

土的类别	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、可塑的粉土及粉质黏土	1.25
硬塑、可塑的黏土和碎石类土(充填物为黏性土)	1.50
坚硬的黏土	2.00

(2)对超过表 1-4 中规定深度的基坑(槽)开挖时,根据《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(GB 50202—2018)的规定,其临时性边坡坡率允许值应符合表 1-5 的规定。

表 1-5 临时性挖方工程的边坡坡率允许值

土的类别		边坡坡率(高:宽)
砂土	不包括细砂、粉砂	1:1.25~1:1.50
	坚硬	1:0.75~1:1.00
黏性土	硬塑、可塑	1:1.00~1:1.25
	软塑	1:1.50 或更缓
碎石土	充填坚硬黏土、硬塑黏土	1:0.50~1:1.00
	充填砂土	1:1.00~1:1.50

注:1. 本表适用于无支护措施的临时性挖方工程的边坡坡率。

2. 设计有要求时,应符合设计标准。

3. 本表适用于地下水位以上的土层。采用降水或其他加固措施时,可不受本表限制,但应计算复核。

4. 一次开挖深度,软土不应超过 4 m,硬土不应超过 8 m。

(3)当无经验且土质均匀良好、地下水贫乏、无不良地质作用和地质环境条件简单时,边坡坡率允许值可按表 1-6 确定。若实际工程中出现岩质边坡,其坡率允许值可按《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)的规定取值。

表 1-6 土质边坡坡率允许值

土的类别	密实度或状态	坡率允许值(高:宽)	
		坡高小于 5 m	坡高为 5~10 m
碎石土	密实	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
	中密	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00
	稍密	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
黏性土	坚硬	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
	硬塑	1:1.00~1:1.25	1:1.25~1:1.50

注:1.表中碎石土的充填物为坚硬或硬塑状态的黏性土。

2.对于砂土或充填物为砂土的碎石土,其边坡坡率允许值应按砂土或碎石土的自然休止角(土的自然休止角是指在某一状态下的土体可以稳定的坡度)确定。

(4)永久性土工构筑物挖方边坡坡率应按设计要求确定,如设计无规定,可按表 1-7 确定。

表 1-7 永久性土工构筑物挖方边坡坡率

挖土性质	边坡坡率(高:宽)
在天然湿度及层理均匀、不易膨胀的黏土、粉质黏土和砂土(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挖方	直立的

2. 防止边坡塌方的主要措施

(1)严格按规范的要求正确留置边坡,放足边坡。在土方开挖过程中,应随时观察边坡土体的变化情况,边挖边检查,每挖 3 m 左右修坡一次。对于较深、较大的基坑,开挖时应设置观察点,并对土体的平面位移和沉降变化做好记录,以便及时与设计单位联



图文:造成土壁塌方的原因

系,研究相应的补救措施,确保边坡的稳定。

(2)基坑(槽)边缘堆置土方、建筑材料,以及有运输工具和机械通过时,土方、建筑材料运输工具和机械应与基坑(槽)边缘保持一定距离,一般距基坑(槽)上边缘不少于2 m,土方堆置高度不应超过1.5 m。在垂直的坑壁上,此安全距离还应适当加大。在软土地区不宜在基坑边上堆置弃土。

(3)做好基坑(槽)周围的地面排水和防水工作,严防雨水、施工用水等地面水渗入边坡土体。在雨期施工时,应更加注意检查边坡的稳定性,必要时可加设支撑。

(4)基坑(槽)开挖后,可采用塑料薄膜覆盖、水泥砂浆抹面、挂网抹面、喷浆、砌石压坡等方法进行边坡坡面防护,防止边坡失稳。



土方工程
讨论案例

二、基坑(槽)施工

1. 定位与放线

土方开挖以前,要做好建筑物定位与放线工作。

(1)定位。建筑物定位是将建筑物外轮廓的轴线交点测定到地面上,用木桩(角桩)标定出来,在桩顶上钉小钉作为指示点位,然后根据角桩进行细部测设,如图1-11所示。

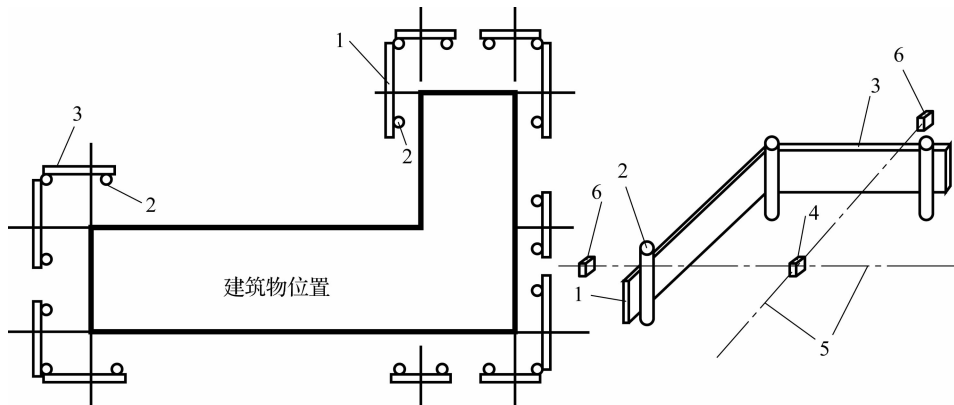


图 1-11 建筑物定位

1,3—龙门板;2—轴线钉;4—角桩;5—轴线;6—控制桩

为了方便地恢复各轴线位置,要把主要轴线延长到安全地点并做好标志,此标志称为控制桩。为便于开槽后在施工各阶段确定轴线位置,应把轴线引测到

龙门板上,用轴线钉标定。龙门板顶部标高一般定为 $\pm 0.00\text{ m}$,主要为了便于施工时控制标高。

(2)放线。放线是指根据定位确定的轴线位置,用石灰画出开挖的边线。开挖上口的尺寸应根据基础的设计尺寸和埋置深度、土的类别及地下水情况,以及是否留工作面和放坡等确定。

2. 土方开挖

基坑(槽)开挖时,严禁扰动基层土层,破坏土层结构,降低承载力。在开挖过程中要加强测量,以防超挖,其控制方法为:在距设计基底标高 $300\sim 500\text{ mm}$ 时,及时用水准仪抄平,打上水平控制桩,以此作为挖坑(槽)时控制深度的依据。在开挖不深的基坑(槽)时,可在龙门板顶面拉上线,用尺子直接量开挖深度。在开挖较深的基坑(槽)时,可用水准仪引测坑(槽)壁水平桩,一般距坑(槽)底 300 mm ,沿基坑(槽)每 $3\sim 4\text{ m}$ 钉设一个。当使用机械挖土时,为防止超挖,可在设计标高以上保留 $200\sim 300\text{ mm}$ 土层不挖,而改用人工挖土。

基础土方的开挖方法有人工开挖和机械开挖两种,应根据基础的特点、规模、形式、深度以及土质情况和地下水位,结合施工场地条件选用。一般大中型工程基坑土方量大,宜使用机械施工,配合少量人工清槽。小型工程基坑(槽)窄,土方量小,宜采用人工或人工配合小型挖土机施工。这里主要介绍机械开挖的方法。

(1)点式开挖。厂房的柱基或中小型设备的基础坑,因挖土量不大、基坑坡度小,机械只能在地面上作业,一般多采用抓铲挖土机和反铲挖土机。抓铲挖土机能挖一、二类土和较深的基坑(槽)。反铲挖土机适合挖四类以下的土和深度在 4 m 以内的基坑(槽)。

(2)线式开挖。大型厂房的柱列基础和管沟基槽等截面宽度较小,有一定的长度,适合用机械在地面上作业,一般多采用反铲挖土机。若基槽较浅,又有一定的宽度且土质干燥,也可采用推土机直接下到基槽中作业,但基槽需有一定长度并设上下坡道。

(3)面式开挖。有地下室的房屋基础、箱形和筏形基础,设备与柱基础密集,可采取整片开挖方式,即面式开挖。除可用推土机、铲运机进行场地平整和表层开挖外,多采用正铲挖土机、反铲挖土机或拉铲挖土机开挖。用正铲挖土机开挖,工作效率高,但要求基坑土质干燥,需有上下坡道,以便运输工具驶入坑内。

反铲挖土机和拉铲挖土机可在基坑上开挖,运输工具可不驶入坑内,坑内土潮湿也可以作业,但工作效率比正铲挖土机低。

三、基坑支护

基坑支护是指为保护地下主体结构施工和基坑周边环境的安全,对基坑采取临时性支挡、加固、保护与地下水控制等措施,其中,支挡或加固基坑侧壁的结构称为支护结构。基坑支护结构的类型较多,《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)将基坑支护结构分为支挡式结构、土钉墙、重力式水泥土墙支护结构和放坡。选用支护结构时,需根据基坑周边环境、工程地质条件、水文地质条件、开挖深度、施工作业设备和施工季节等条件确定。在支护结构设计中首先要考虑对周边环境进行保护,其次要满足地下结构施工的要求,此外,还应尽可能降低造价和方便施工。

1. 支挡式结构

支挡式结构(见图 1-12)主要有锚拉式结构、支撑式结构、悬臂式结构、双排桩结构等。锚拉式结构由围护结构和锚固体系两部分组成。支撑式结构一般由围护结构、内支撑和竖向支撑三部分组成,其中内支撑和竖向支撑两部分组成内支撑体系。悬臂式结构不设内支撑(或锚固)体系,仅采用具有一定刚度的围护结构将基坑支护起来。双排桩为双排门架式挡土结构,其前后两排支护桩的桩顶上设置有冠梁,通过连梁将两排支护桩桩顶冠梁连接起来。

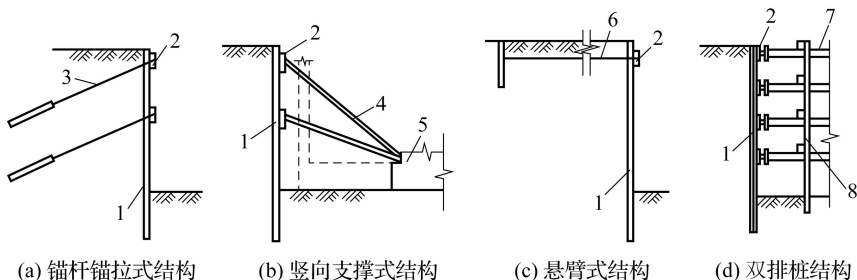


图 1-12 支挡式结构

1—板桩墙; 2—围檩; 3—土锚杆; 4—斜撑; 5—先施工的基础; 6—拉锚; 7—钢支撑; 8—竖撑

围护结构的形式主要包括地下连续墙、一字形排列的灌注桩、型钢水泥土搅拌墙、钢板桩及钢筋混凝土板桩等。其中,钢板桩有平板形钢板桩和波浪形钢板桩两种,如图 1-13 所示。

钢板桩之间通过锁口互相连接,形成一道连续的挡墙。锁口连接使钢板桩

连接牢固,形成一个整体,同时具有较好的隔水能力。钢板桩的截面积小,易于打入。U形、Z形等波浪形钢板桩截面的抗弯能力较强。钢板桩在基础施工完毕后还可拔出重复使用。

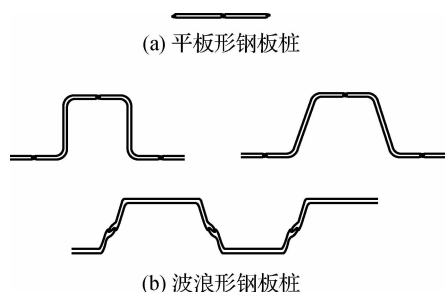


图 1-13 钢板桩

内支撑(锚固)体系一般采用大型钢管、H型钢或格构式钢支撑,也可采用现浇钢筋混凝土支撑。锚固体系的材料一般为钢筋、钢索、型钢或土锚杆。根据基坑开挖的深度及挡墙系统的截面性能可设置一道或多道支点。当基坑较浅,挡墙具有一定刚度时,可采用悬臂式挡墙而不设支点。内支撑(锚固)体系与挡墙系统通过围檩、冠梁等连接而成为一体。

2. 土钉墙支护结构

天然土体通过土钉墙就地加固并与喷射混凝土面板相结合,形成一个类似重力式水泥土墙的结构来抵抗墙后的土压力,从而保持开挖面的稳定。通过钻孔、插筋、注浆设置的土钉一般称为砂浆锚杆。直接打入角钢、粗钢筋形成的称为土钉。土钉墙的做法与矿山加固坑道用的喷锚网加固岩体的做法类似,故也称为喷锚网加固边坡或喷锚网挡墙,《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)将其正式定名为土钉墙。

一般的护坡措施基于支挡护坡的被动制约机制,以挡土结构承受其后的土体侧压力,防止土体发生整体稳定性破坏。土钉墙技术则是通过在土体内放置具有一定长度和分布密度的土钉与土共同作用,来弥补土体自身强度的不足。

土钉墙由土钉和混凝土喷射层组成,如图 1-14 所示。单个土钉的构造如图 1-15 所示。

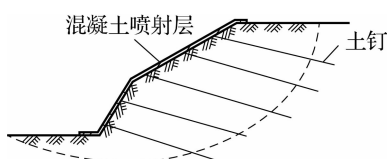


图 1-14 土钉墙的构造

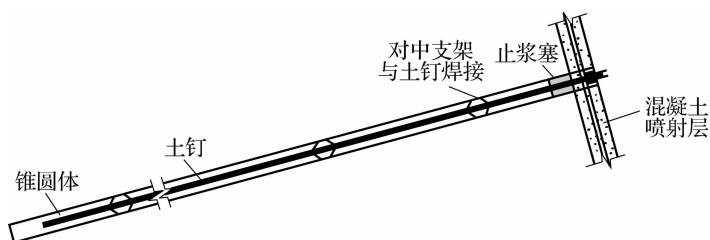


图 1-15 单个土钉的构造

土钉墙设计的主要参数有土钉长度、土钉截面积、土钉间距、喷射混凝土的强度等级及厚度。这些参数通过整体稳定性验算和土钉的抗拔性验算获得,与重力式水泥土墙类似,也可根据经验取值对整体稳定性系数和土钉的抗拔系数进行验算。

土钉可以直接打入,也可以采用水平钻机或洛阳铲成孔施工。土钉墙的施工工艺分为先喷后锚和先锚后喷两种,一般采用先锚后喷的施工工艺,即边坡开挖—人工修整边坡—定位放线—成孔—制作及安放土钉主筋—搅浆及注浆—挂网—喷射混凝土。

3. 重力式水泥土墙支护结构

水泥土搅拌桩(深层搅拌桩)支护结构是近年来发展起来的一种重力式支护结构。它是通过搅拌桩机对水泥与土进行搅拌,形成柱状水泥加固土(搅拌桩)。用于支护结构的水泥土的水泥掺量(单位土体的水泥掺量与土的重力密度之比)通常为 12%~15%,其强度可达 0.8~1.2 MPa。其渗透系数很小,一般不大于 1×10^{-6} cm/s。由水泥土搅拌桩搭接而成的水泥土墙具有挡土作用和隔水作用,适用于 4~6 m 深的基坑,最大基坑深度可达 8 m。

水泥土搅拌桩具有结构简单,施工方便,施工噪声低、振动小、速度快,止水效果好,造价低等优点,其缺点是宽度大,需占用场地红线内一定面积,墙身位移较大,仅适用于淤泥质土、黏性土等软土地区的基坑工程。

水泥土墙通常布置成格栅式(见图 1-16),格栅的置换率(加固土的面积:水泥土墙的总面积)为 0.6~0.8,墙体的宽度 $b = (0.6 \sim 0.8)h$,插入深度 $h_d = (0.8 \sim 1.2)h$, h 为基坑开挖深度。

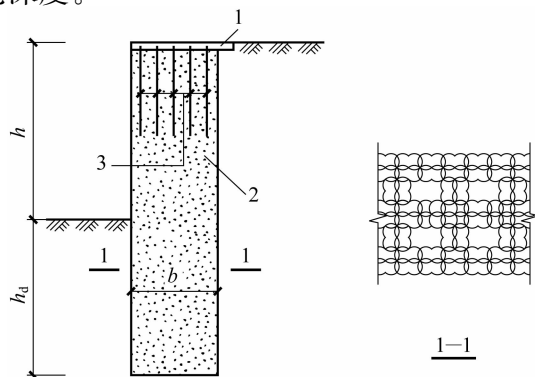


图 1-16 格栅式水泥土墙

1—面板; 2—搅拌桩; 3—插筋

4. 放坡

放坡一般适用于土层条件较好的浅基坑,基坑敞开施工,具有工艺简单、节约造价、施工速度快等优点。但这种施工方式要求具有足够的施工场地,否则放坡范围将受到限制。另外,采用大放坡后,会明显增加土方开挖量,需要提供开挖土方的堆放、运输和回填等处理方案。

四、土方填筑与压实

在土方填筑前应对基底进行处理,如清除基底的垃圾、草皮、树根等杂物,排除坑穴中的积水、淤泥等。若填方基底为耕植土或松土,应先将基底压实后再进行填土。



微课:填土与

压实

1. 填土的要求

填土土料应符合设计要求,保证填方的强度和稳定性。通常应选择强度高、压缩性小、水稳定性好的土料。如设计无要求,填土应符合以下规定:

(1)碎石类土、砂土和爆破石渣(粒径小于等于每层铺土厚度的 $2/3$)可作为表层下的填料。

(2)含水量符合压实要求的黏性土可作为各层填料。

(3)淤泥和淤泥质土一般不能用作填料,但在软土地区,经过处理后含水量符合要求的,可用于填方中的次要部分。

(4)有机物含量大于 8% 或水溶性硫酸盐含量大于 5% 的土,以及耕植土、冻土、杂填土等均不能作为填土使用,但当无压实要求时,则使用不受限制。

2. 填土的方法

填土可采用人工填土和机械填土两种方法。其一般要求如下:

(1)应尽量采用同类土填筑,并将土的含水量严格控制在最优含水量范围内,以提高压实效果。

(2)应从场地最低处开始分层填筑,每层铺土厚度应根据压实机具及土的种类而定。当采用不同类土填筑时,应将透水性较大的土层置于透水性较小的土层之下,以避免在填方区形成水囊。

(3)在坡地填土时应做好接槎,挖成 $1:2$ 阶梯形(一般阶高为 0.5 m ,阶宽为 1.0 m)分层填筑,分段填筑时在每层接缝处均应做成大于 $1:1.5$ 的斜坡,以防

填土横移。

3. 填土的压实

填土的压实方法一般有碾压法、夯实法、振动压实法。对面积较大的填土工程,多采用碾压法进行压实;对面积较小的填土工程,则宜用夯实机具进行压实。

(1)碾压法。碾压法是指利用机械滚轮的压力压实土壤,使其达到所需的密实度。碾压机械有平碾、羊足碾和气胎碾。

1)平碾又称光碾压路机,如图 1-17 所示,是一种以内燃机为动力的自行式压路机。其按质量等级分为轻型(30~50 kN)、中型(60~90 kN)和重型(100~140 kN)三种,适用于压实砂类土和黏性土,适用土类范围较广。轻型平碾压实土层的厚度不大,但会使土层上部变得较密实。用轻型平碾初碾后,再用重型平碾碾压松土,就会取得较好的效果。如直接用重型平碾碾压松土,则会因强烈的起伏而使碾压效果较差。

2)羊足碾一般无动力,靠拖拉机牵引,有单筒、双筒两种,单筒羊足碾如图 1-18 所示。按碾压要求,羊足碾有空筒、装砂及注水三种状态。羊足碾虽然与土接触面积小,但对单位面积的压力比较大,对土的压实效果好。羊足碾只能用来压实黏性土。



学习提示:碾压法的注意事项

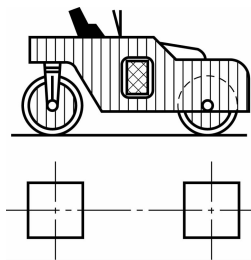


图 1-17 光碾压路机

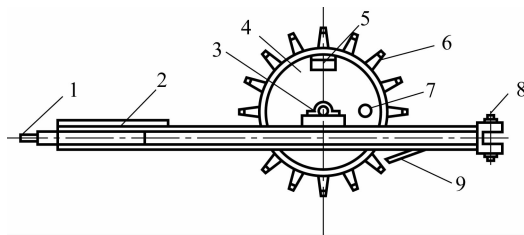


图 1-18 单筒羊足碾

1—前拉头; 2—机架; 3—轴承座; 4—碾筒; 5—装砂口;

6—羊足头; 7—水口; 8—后拉头; 9—铲刀

3)气胎碾又称轮胎压路机,如图 1-19 所示,它的前面装 3~5 个轮胎,后面装 4~6 个轮胎,这些轮胎既是行驶轮,又是碾压轮。由于其轮胎弹性大,在压实过程中,土与轮胎都会发生变形,而经过几遍碾压后,随着铺土密实度的提高,铺土的沉陷量逐渐减少,轮胎与土的接触面积逐渐缩小,接触应力逐渐增大,最后使土料得到压实。由于气胎碾在工作时是弹性体,压力均匀,因而填土压实质量较好。

(2) 夯实法。夯实法是指利用夯锤自由下落的冲击力来夯实土壤,主要用于小面积回填土的夯实或作业面受到限制环境下的填土夯实。夯实法分为人工夯实和机械夯实两种。人工夯实所用的工具有木夯、石夯等。常用的夯实机械有夯锤、内燃夯土机、蛙式打夯机和挖土机或起重机装上夯板组成的夯土机等。其中,蛙式打夯机构造简单、轻巧灵活,在小型土方工程中应用最广,如图 1-20 所示。

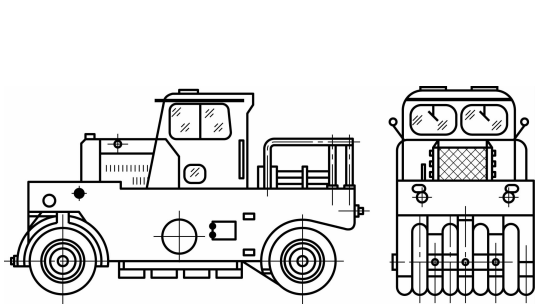


图 1-19 轮胎压路机

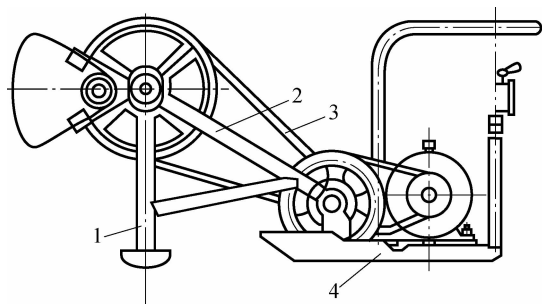


图 1-20 蛙式打夯机

1—夯头; 2—夯架; 3—三角胶带; 4—底盘

(3) 振动压实法。振动压实法是指将振动压实机放在土层表面,用振动压实机振动土颗粒,使土颗粒发生相对位移而达到紧密状态。用这种方法振实非黏性土的效果较好。

近年来,人们又将碾压法和振动法结合起来设计和制造了振动平碾、振动凸块碾等新型压实机械。振动平碾适用于填料为爆破碎石渣、碎石类土、杂填土或轻亚黏土的大型填方;振动凸块碾则适用于填料为亚黏土或黏土的大型填方。当压实爆破碎石渣或碎石类土时,可选用重 8~15 t 的振动平碾,铺土厚度为 0.6~1.5 m,先静压后振动碾压,碾压遍数由现场试验确定,一般为 6~8 遍。

4. 填土压实的影响因素

填土压实的质量与许多因素有关,其中主要的影响因素有压实功、土的含水量及铺土厚度。

(1) 压实功的影响。填土压实后土的密实度与压实机械对其所做的功有一定的关系。土的密度与压实功的关系如图 1-21 所示。当土的含水量一定,在开始压实时,土的密度急剧增大,待接近土的最大密实度时,虽然压实功增加许多,但土的密度变化甚小。在实际施工中,对砂土只需碾压或夯击 2~3 遍,对粉土需碾压或夯击 3~4 遍,对粉质黏土或黏土需碾压或夯击 5~6 遍。此外,对松土不

宜用重型碾压机直接滚压,否则土层会出现强烈起伏现象,效率不高。

(2)土的含水量的影响。在同一压实功条件下,填土的含水量对压实质量有直接影响。较为干燥的土,由于其颗粒之间的摩阻力较大,因而不易压实。当土的含水量

超过一定限度时,土颗粒之间的孔隙被水填充而呈饱和状态,也不能被压实。当土的含水量适当时,水起润滑作用,土颗粒之间的摩阻力减小,压实效果好。不同的土有不同的最佳含水量,如砂土为 $8\% \sim 12\%$,黏土为 $19\% \sim 23\%$,粉质黏土为 $12\% \sim 15\%$,粉土为 $15\% \sim 22\%$ 。土在最佳含水量条件下,使用同样的压实功进行压实,所得到的密度最大,如图 1-22 所示。简单检验黏性土含水量的方法为用手抓,一般以“手握成团,落地开花”为适宜。

为了保证填土在压实过程中含水量最佳,当土过湿时,应予翻松晾干,也可掺入同类干土或吸水性土料;当土过干时,则应预先洒水润湿。

(3)铺土厚度的影响。在压实功的作用下,土的应力随作用深度增加而逐渐减小,如图 1-23 所示。铺土厚度的影响与压实机械、土的性质和含水量等有关。铺土厚度应小于压实机械压土时的作用深度,其中还有最优土层厚度的问题。土铺得过厚,要压很多遍才能达到规定的密实度;土铺得过薄,则要增加机械的总压实遍数。最优的铺土厚度应能使土方被压实且机械的功耗最少。不同铺土厚度对应的机具的选择与压实遍数见表 1-8。

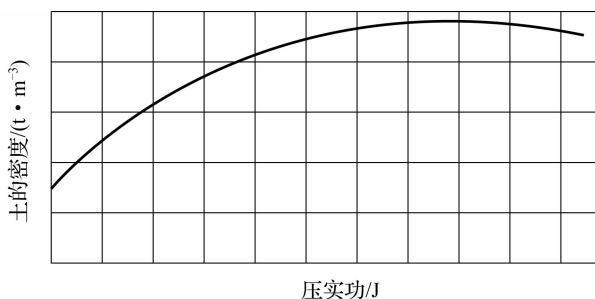


图 1-21 土的密度与压实功的关系

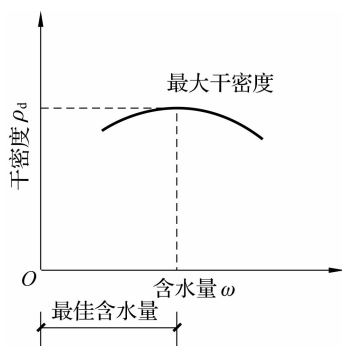


图 1-22 土的干密度与含水量的关系

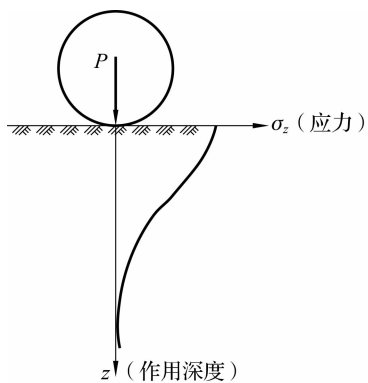


图 1-23 压实作用随深度变化的变化

表 1-8 不同铺土厚度对应的机具的选择与压实遍数

压实机具	每层铺土厚度/mm	每层压实遍数/遍
平碾	250~300	6~8
振动压实机	250~350	3~4
柴油打夯机	200~250	3~4
人工打夯	<200	3~4

上述三个因素相互影响。为了保证压实质量,提高压实机械的生产效率,应在施工现场进行压实试验,以确定达到规定密实度所需压实遍数、铺土厚度及最优含水量。

5. 填土质量检查

填土在压实后必须具有一定的密实度,以避免建筑物的不均匀沉陷。填土密实度以设计规定的控制干密度 ρ_d 或规定压实系数 λ_c 作为检查标准。

土的最大干密度 ρ_{dmax} 通过实验室击实试验或计算求得, 再根据相关规范规定的压实系数 λ_c 算出填土控制干密度 ρ_{d} 的值。填土压实后的实际干密度应有 90% 以上符合设计要求, 其余不到 10% 的最低值与设计值的差不得大于 0.08 g/cm^3 , 且应分散, 不得集中。

检查压实后填土的实际干密度时,通常采用环刀法取样。填土工程质量检验标准见表 1-9。

表 1-9 填土工程质量检验标准

项目	序号	检查项目	允许偏差或允许值				检查方法	
			柱基、 基坑、 基槽	管沟	地面 基础层	场地平整		
						人工		机械
主控	1	标高	—50 mm		±30 mm	±50 mm	水准测量	
项目	2	分层压实系数	不小于设计值				环刀法、灌水法、灌砂法	
一般项目	1	回填土料	设计要求				取样检查或直接鉴别	
	2	分层厚度	设计值				水准测量及抽样检查	
	3	含水量	最优含水量±2%		最优含水量 ±4%		烘干法	
	4	表面平整度	±20 mm		±20 mm	±30 mm	用 2 m 靠尺	
	5	有机质含量	≤5%				灼烧减量法	
	6	碾迹重叠长度	500~1 000 mm				用钢尺量	

任务四 土方工程的机械化施工

土方工程的施工过程主要包括土方开挖、运输、填筑与压实等。在施工中,除不适宜采用机械施工的土方工程或小型基坑(槽)土方工程外,应尽量采用机械施工,以减轻劳动强度,加快施工进度,缩短工期。

一、常用的土方工程施工机械

常用的土方工程施工机械有推土机、铲运机、单斗挖土机、装载机及压实机械等。

1. 推土机

推土机是在拖拉机上安装推土铲刀等工作装置的机械。按照铲刀的操纵机构不同,推土机可分为索式和油压式两种。图 1-24 所示为油压式 T_2-100 型推土机外形。油压式推土机除了可升降推土铲刀外,还可调整铲刀的角度,因此具有较大的灵活性。

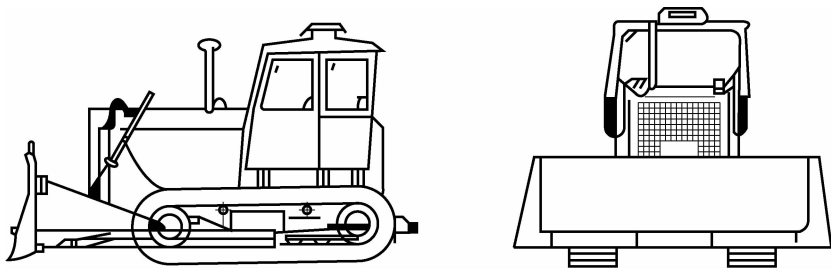


图 1-24 油压式 T_2-100 型推土机外形

(1)推土机的特点及适用范围。推土机能够独立完成推土、运土和卸土工作,具有操纵灵活、运转方便、所需工作面较小、行驶速度快、易于转移、能爬 30° 左右的缓坡以及配合铲运机、挖土机工作等特点。推土机能够推挖一至四类土,多用于场地清理与整平,开挖深度或堆筑高度不超过 1.5 m 的基坑(槽)、路基、堤坝等。推土机的经济运距宜在 100 m 以内,效率最高的运距为 60 m。

(2)推土机的作业方法。推土机的生产率主要取决于每次推土的体积以及铲土、运土、卸土和回转等工作循环时间。铲土时应根据土质情况,尽量以最大切土深度在最短距离(6~10 m)内完成,上下坡坡度不得超过 35° ,横坡不得超过

10°。为了提高生产率,可采用下坡推土、槽形推土、并列推土、多铲集运、铲刀附加侧板等方法。

2. 铲运机

铲运机由牵引机械和铲斗组成,按行走方式分为自行式铲运机和拖式铲运机两种,分别如图 1-25 和图 1-26 所示。

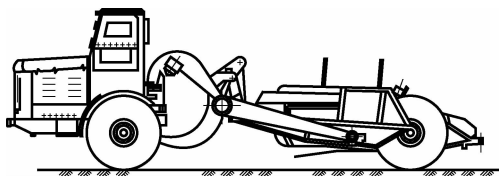


图 1-25 自行式铲运机

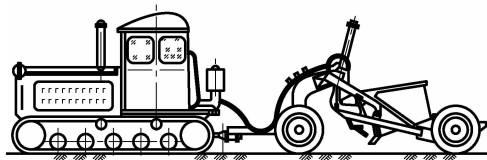


图 1-26 拖式铲运机

(1) 铲运机的特点及适用范围。铲运机是一种能够独立完成铲土、运土、卸土、填筑和整平等全部土方工程施工工序的机械,具有操纵灵活、行驶速度快、对道路要求低、生产率高等特点。其适用于铲运含水量在 27% 以下的一、二类土,但不适合在砾石层、冻土地带及沼泽地区工作。当铲运三、四类较坚硬的土时,宜用推土机助铲或用松土机配合松土 0.2~0.4 m。铲运机常用于坡度不超过 20° 的大面积场地的平整、大型基坑(槽)的开挖,以及路基、堤坝的填筑等。铲运机的适用运距在 800 m 以内,且运距在 200~350 m 时效率最高。

(2) 铲运机的作业方法。铲运机的基本作业程序是铲土、运土、卸土三个工作行程和一个回转行程。在施工中,选定铲斗容量后,应根据工程规模大小、运距长短、土的性质和地形条件等,选择合理的开行路线和施工方法,以提高生产率。

铲运机的开行路线主要有三种,即环形路线、大环形路线和“8”字形路线,如图 1-27 所示。

1) 环形路线。如图 1-27(a) 和图 1-27(b) 所示,环形路线是从挖方到填方按环形路线回转,每一循环完成一次铲土和卸土。该路线适用于长度在 100 m 以内,填土高不超过 1.5 m 的路堤(堑)及基坑开挖、场地平整等工程。

2) 大环形路线。如图 1-27(c) 所示,当挖土和填土交替、挖填方工作面狭窄、填方不高且填土区在挖土区的两端时,采用此开行路线可在一个循环内完成两次铲土和卸土。

3) “8”字形路线。如图 1-27(d) 所示,当地段较长或地形起伏较大时,采用此开行路线可在一个循环内完成两次铲土和卸土。此方法可减少转弯次数和空载

行程,且在运行中转弯方向不同,可避免机械单侧磨损。该路线多用于开挖管沟、沟边卸土及运距较长(300~500 m)的侧向取土、填筑路基、场地平整等工程。

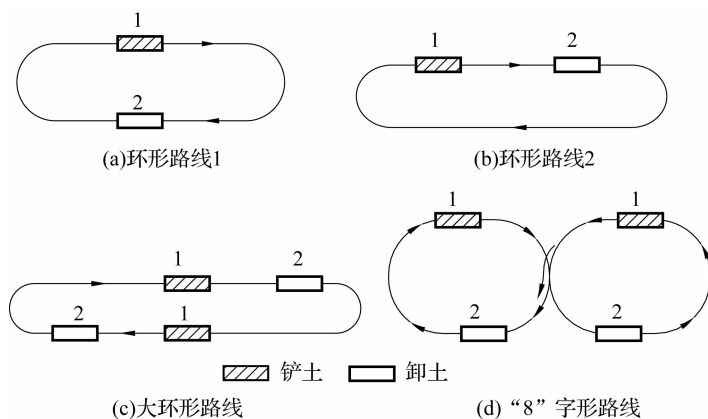


图 1-27 铲运机的开行路线

为了提高铲运机的生产率,除了确定合理的开行路线外,还应根据施工条件选择合理的施工方法。铲运机常用的施工方法有下坡铲土法、跨铲法、助铲法、交错铲土法等。

3. 单斗挖土机

单斗挖土机是土方开挖中常用的一种机械。其按行走装置不同分为履带式 and 轮胎式两类;按动力装置不同分为机械传动式和液压传动式两类;按工作装置不同分为正铲、反铲、拉铲和抓铲四种,如图 1-28 所示。

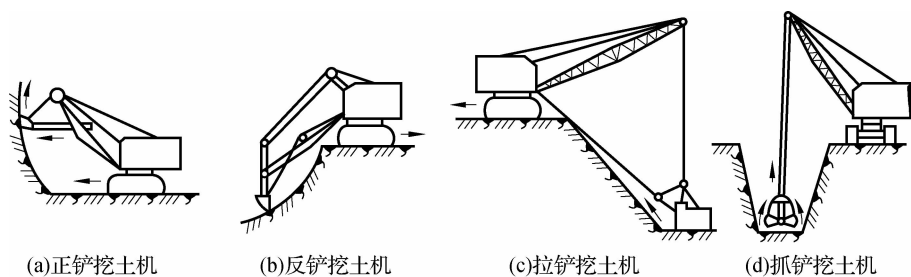


图 1-28 单斗挖土机

(1)正铲挖土机。正铲挖土机的工作特点是“前进向上,强制切土”。其挖土能力强,生产率高,适用于开挖停机面以上的一至四类土(含水量不大于 27%),一般工作面高度应在 1.5 m 以上,它与运输汽车配合可开挖大型干燥基坑及土丘等。

根据挖土机的开挖路线与运输汽车的相对位置不同,正铲挖



动画:正铲挖土

土机的作业方法分为正向开挖、侧向卸土和正向开挖、后方卸土两种。

1)正向开挖、侧向卸土。正向开挖、侧向卸土即挖土机沿前进方向挖土,运输汽车停在挖土机侧面装土,如图 1-29(a)所示。这种情况下,挖土机铲臂卸土时回转角度最小(小于 90°),运输汽车行驶方便,生产率高。这种作业方法多用于开挖工作面较大且深度不大的基坑或边坡。

2)正向开挖、后方卸土。正向开挖、后方卸土即挖土机沿前进方向挖土,运输汽车停在挖土机后面装土,如图 1-29(b)所示。这种情况下,挖土机铲臂卸土时回转角度较大(在 180° 左右),生产率低。这种作业方法一般用于开挖工作面较小且较深的基坑。

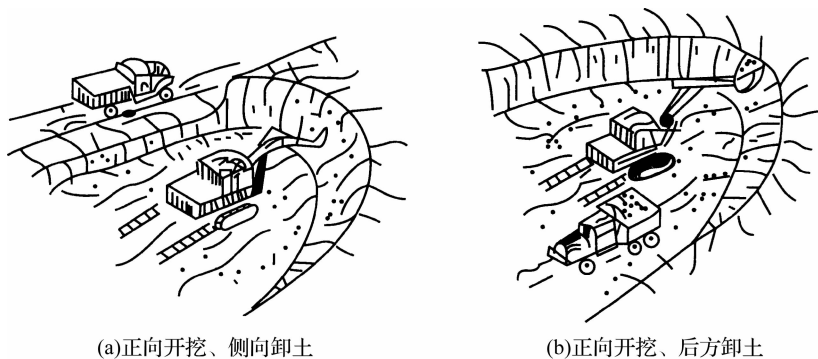


图 1-29 正铲挖土机的作业方法

(2)反铲挖土机。反铲挖土机的工作特点是“后退向下,强制切土”。其挖土能力比正铲挖土机小,适用于开挖停机面以下含水量较大的一至三类土,最大挖土深度为 $4\sim 6\text{ m}$ (经济合理深度为 $1.5\sim 3\text{ m}$)。反铲挖土机可与运输汽车配合施工,也可弃土于坑槽附近。



动画:反铲挖土

反铲挖土机的作业方法有沟端开挖、沟侧开挖、沟角开挖和多层接力开挖等,一般多采用沟端开挖和沟侧开挖。

1)沟端开挖。沟端开挖即挖土机停在基坑(槽)的端部,后退挖土,向沟一侧弃土或装车运走,如图 1-30(a)所示。沟端开挖的挖土宽度和深度较大,一般开挖工作面宽度为:单面装土时为 $1.3R$ (R 为挖土机的回转半径),双面装土时为 $1.7R$ 。当基坑(槽)宽度超过 $1.7R$ 时,可多次开行开挖或按“Z”形路线开挖。

2)沟侧开挖。沟侧开挖即挖土机停在基坑(槽)的一侧,沿坑槽边移动挖土,如图 1-30(b)所示。沟侧开挖的挖土宽度较小(一般为 $0.8R$),边坡不易控制,机身稳定性较差,能够弃土于距坑槽较远的地方。沟侧开挖多用于土方不需外运的情况。

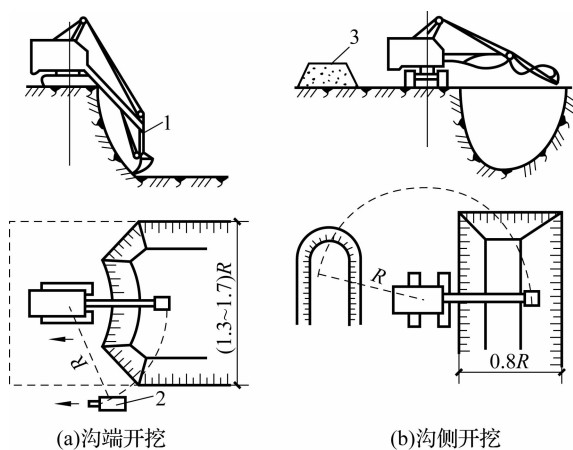


图 1-30 反铲挖土机的作业方法

1—反铲挖土机；2—自卸汽车；3—弃土堆

(3)拉铲挖土机。拉铲挖土机的工作特点是“后退向下，自重切土”。其挖土半径和挖土深度较大，但操纵性较差，适用于开挖停机面以下的一至三类土，也可进行水下挖土，常用于开挖大型基坑、沟槽，以及大型场地平整，填筑路基、堤坝等。其作业方法与反铲挖土机相似，可采用沟端开挖或沟侧开挖。

动画：拉铲挖土
流程

(4)抓铲挖土机。抓铲挖土机的工作特点是“直上直下，自重切土”。其挖土能力较小，操纵性较差，适用于开挖停机面以下的一、二类土，常用于开挖土质松软且作业面较窄的深基坑、沟槽、沉井等，特别适用于水下开挖。

动画：抓铲
挖土流程

4. 装载机

装载机按行走方式分为履带式装载机和轮胎式装载机两种，按工作方式分为单斗式装载机、链式装载机和轮斗式装载机。土方工程施工主要使用单斗式装载机，它具有操纵灵活、轻便和快速等特点。装载机主要适用于装卸土方和散料，也可用于松软土的表层剥离、地面整平和场地清理等工作。

5. 压实机械

压实机械的相关内容参见本模块任务三。

二、土方工程施工中的机械选择

在土方工程施工中合理选择土方机械，充分发挥机械性能，

微课：土方开挖
方式与机械选择

并将各种机械相互配合使用,以加快施工进度,提高施工质量,降低工程成本,具有十分重要的意义。

1. 场地平整的机械选择

场地平整由土方的开挖、运输、填筑和压实等工序组成。地势较平坦、土的含水量适中的大面积场地平整适宜选用铲运机;地形起伏较大,挖方、填方量大且集中的场地平整,运距在 1 000 m 以上时,可选择正铲挖土机配合自卸车进行挖土、运土,在填方区配备推土机平整及压路机碾压施工;挖填方深度不大,运距在 100 m 以内时,采用推土机施工,灵活且经济。

2. 基坑开挖的机械选择

单个基坑和中小型基础基坑多采用抓铲挖土机和反铲挖土机开挖。

3. 基槽、管沟开挖的机械选择

在地面上开挖具有一定截面、长度的基槽或沟槽,挖大型厂房的柱列基础和管沟,宜采用反铲挖土机。如果水中取土或开挖土质为淤泥且坑底较深,则可选择抓铲挖土机。如果土质干燥,槽底开挖不深,基槽长 30 m 以上,则可采用推土机或铲运机施工。

4. 整片开挖的机械选择

若基坑较浅,开挖面积大且基坑土干燥,则可采用正铲挖土机开挖;若基坑内土体潮湿且含水量较大,则采用拉铲挖土机或反铲挖土机作业。

5. 柱基础基坑、条形基础基槽开挖的机械选择

对于独立柱基础的基坑及小截面条形基础基槽,可采用小型液压轮胎式反铲挖土机配翻斗车进行挖掘和运土。



知识拓展: BIM
技术在土方工程
中的应用



思考与练习

SIKAO YU LIANXI

1. 土方工程施工中,土体根据开挖的难易程度可分为哪几类?
2. 基坑及基槽土方量如何计算?
3. 试述采用方格网法计算场地平整土方量的步骤。

4. 试述采用横截面法计算场地平整土方量的步骤。
5. 什么是边坡系数？影响边坡稳定性的因素有哪些？
6. 填土压实有哪几种方法？其各有什么特点？影响填土压实的主要因素有哪些？
7. 什么是土的最佳含水量？土的含水量和控制干密度对填土压实质量有何影响？
8. 单斗挖土机有哪几种类型？其工作特点和适用范围是什么？正铲、反铲挖土机开挖方式各有哪几种？如何选择？
9. 某建筑场地方格网示意图如图 1-31 所示，方格网边长为 40 m，试用方格网法计算场地总挖方量和填方量。如填方区和挖方区的边坡系数均为 0.5，试计算场地边坡挖填土方量。

角点编号	设计地面标高	1	70.30	2	70.36	3	70.40	4	70.44
			70.09		70.40		70.95		71.43
施工高度	自然地面标高	5	70.26	6	70.30	7	70.34	8	70.38
			69.71		70.17		70.70		71.22
		9	70.20	10	70.24	11	70.28	12	70.32
			69.37		69.81		70.38		70.95
		13	70.14	14	70.18	15	70.22	16	70.26
			69.10		69.81		70.20		70.70

图 1-31 建筑场地方格网示意图(单位:m)