



书名：建筑施工技术

ISBN：978-7-307-11456-2

作者：李海涛 李竞克 侯琳

出版社：武汉大学出版社

定价：49.80元

前 言

建筑施工技术是建筑工程技术、工程监理、工程造价等土建类相关专业的一门专业核心课程。建筑施工技术是一门研究建筑工程施工中主要分部、分项工程的施工工艺和具体施工方法(包括工艺原理、工艺要求、技术要点、施工准备工作内容、施工质量控制要求及检验方法等)及相应施工机具的技术性能和工作特点的学科。旨在培养学生根据工程特点选择合理的施工方法,采取有效的施工技术措施。同时,在培养学生独立分析和解决建筑工程施工中有关施工技术问题的职业能力方面起着重要的作用。

本书在编写时注重实践性、综合性,突出职业技能,引入较多的新技术和新方法,着眼于编写一本具有实用性、创新性、先进性的立体化教材,特别注重理论联系实际。本书的编写以新颁布的国家施工质量验收规范、规程为依据,体系完整、内容丰富、叙述简练、图文并茂、通俗易懂,着重培养学生综合运用建筑施工技术理论知识分析、解决工程实际问题的能力。

全书内容包括土方工程、地基处理与桩基础工程、砌体工程、钢筋混凝土工程、预应力混凝土工程、结构安装工程、防水工程、装饰工程、高层建筑施工和安全知识。每模块附有思考与练习题。

本书可作为各种层次高等院校土建类专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

本书在编写过程中引用了大量的规范、专业文献和资料,在本书中未一一注明出处,在此,特对编写过程中参考了书后所列参考文献中的部分内容相关作者表示衷心的感谢!并对为本书付出辛勤劳动的编辑同志表示衷心的感谢!

限于编者水平有限,加之时间仓促,疏漏之处在所难免,恳切地希望广大读者批评指正。

高等教育教材编审委员会

目 录

CONTENTS

模块 1

土方工程

◎ 项目一	土方工程概述	1
◎ 项目二	场地平整	9
◎ 项目三	基坑(槽)开挖	10
◎ 项目四	土方的回填与压实	26
◎ 项目五	土方工程冬、雨期施工	29
◎ 项目六	土方工程常见质量事故及处理	33
◎ 习 题		35

模块 2

地基处理与桩基础工程

◎ 项目一	地基处理及加固	38
◎ 项目二	桩基础工程	42
◎ 项目三	基础工程常见质量事故及处理	63
◎ 习 题		66

模块 3

砌体工程

◎ 项目一	砌体材料	68
◎ 项目二	砌体材料的运输	71
◎ 项目三	脚手架	76
◎ 项目四	砌体工程的施工	88
◎ 项目五	砌体工程冬期施工	109
◎ 习 题		110

模块 4

钢筋混凝土工程

◎ 项目一	模板工程	114
◎ 项目二	钢筋工程	125
◎ 项目三	混凝土工程	144
◎ 项目四	混凝土冬期施工	157
◎ 习 题		161

模块 5

预应力混凝土工程

◎ 项目一 先张法预应力混凝土工程	163
◎ 项目二 后张法有黏结预应力混凝土工程	170
◎ 项目三 后张法无黏结预应力混凝土工程	183
◎ 习 题	186

模块 6

结构安装工程

◎ 项目一 索具与锚碇	188
◎ 项目二 起重机械	191
◎ 项目三 单层工业厂房结构安装	197
◎ 项目四 多层工业厂房结构安装	211
◎ 项目五 钢结构和网架结构安装	217
◎ 习 题	222

模块 7

防水工程

◎ 项目一 防水材料	224
◎ 项目二 屋面工程防水施工	228
◎ 项目三 地下防水工程施工	235
◎ 项目四 厨房、卫生间防水工程	241
◎ 习 题	242

模块 8

装饰工程

◎ 项目一 楼地面工程	244
◎ 项目二 抹灰工程	248
◎ 项目三 饰面工程	253
◎ 项目四 门窗及玻璃工程	256
◎ 项目五 涂料、刷浆和裱糊工程	257
◎ 项目六 玻璃幕墙	260
◎ 项目七 冬雨期施工	263
◎ 习 题	264

模块 9

高层建筑施工

◎ 项目一 概 述	266
◎ 项目二 高层建筑及其施工特点	267
◎ 项目三 高层建筑运输设备和脚手架	269
◎ 项目四 高层建筑基础施工	274
◎ 项目五 高层建筑结构施工	276

模块 10

参考文献

◎ 项目六 高层建筑施工的安全措施 277

◎ 习 题 279

安全知识

◎ 项目一 安全生产基本常识 281

◎ 项目二 施工中伤害防护常识 286

◎ 项目三 安全标志 293

◎ 习 题 295

..... 296

土方工程



学习目标

知识点	项目学习重点	项目学习目标
◆土方工程特点	土方工程特点	了解土方工程的特点
◆土的工程分类及性质	1.土的工程分类 2.土的工程性质	1.能对土进行分类 2.能进行土的含水量的测定 3.会关于土的可松性土方量计算
◆土方工程常用机械	1.推土机 2.正铲挖土机 3.反铲挖土机	能正确选择施工机械
◆场地平整	场地平整方法及原则	了解场地平整土方调配的方法
◆基坑、基槽开挖	1.土方开挖方式 2.土方开挖支护 3.排水及降低地下水位	1.能正确确定土的开挖方式 2.能正确选择支护形式 3.能编制排水、降水方案
◆土方的回填与压实	1.填土压实的方法 2.土方回填工艺流程及施工要点 3.土方回填质量验收	1.能组织土方回填 2.能进行土方回填后质量检验
◆土方工程冬季、雨季施工	1.土方工程冬季施工 2.土方工程雨季施工	掌握冬季雨季施工注意事项
◆土方工程常见质量事故与处理	橡皮土的处理	能解决土方工程常见质量事故



项目一 土方工程概述

土方工程是建筑工程施工的主要工种工程之一，它主要包括场地平整，土方的开挖、运输和填筑，以及施工排水、降水和土壁支撑等准备和辅助工作。

土方工程的工程量大，施工工期长，劳动强度大，施工条件复杂，多为露天作业，受气候、水文、地质等影响较大，难以确定的因素较多，因此在组织土方工程施工前，应详细分析与核查各项技术资料（如地下管道、电缆和地下构筑物资料等），进行现场调查，并根据现场施工条件做好施工组织设计，选择好施工方法和机械设备，制定合理的调配方案，实行科学管理，以保证工程质量，缩短工期，并取得较好的经济效益。

一、土的工程分类

在土方工程施工中，按土的开挖难易程度分为八类，一至四类为土，五至八类为岩石。

土的工程分类与现场鉴别方法见表 1-1。

表 1-1 土的工程分类与现场鉴别方法

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, 亚砂土, 冲积砂土层, 种植土, 泥炭(淤泥)	1.08~1.17	1.01~1.03	能用锹、锄头挖掘
二类土 (普通土)	亚黏土, 潮湿的黄土, 夹有碎石、卵石的砂, 种植土, 填筑土及亚砂土	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)	软及中等密实黏土, 重亚黏土, 粗砾石, 干黄土及含碎石、卵石的黄土、亚黏土, 压实的填筑土	1.24~1.3	1.04~1.07	要用镐, 少许用锹、锄头挖掘, 部分用撬棍
四类土 (砂砾坚土)	重黏土及含碎石、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	整个用镐、撬棍挖掘, 然后用锹挖掘, 部分用楔子及大锤
五类土 (软石)	硬石炭纪黏土, 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	1.3~1.45	1.1~1.2	用镐或撬棍、大锤挖掘, 部分使用爆破方法
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	1.3~1.45	1.1~1.2	用爆破方法开挖, 部分用风镐
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, 风化痕迹的安山岩、玄武岩	1.3~1.45	1.1~1.2	用爆破方法开挖
八类土 (特坚硬石)	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	1.45~1.5	1.2~1.3	用爆破方法开挖

土的分类有多种方法, 如根据土的沉积年代分类, 根据土的工程特点分, 根据土的粒径级配及液塑性指标分类等。其中, 将土按粒径级配及液塑性进行分类是世界上许多国家采用的土分类方法, 中华人民共和国国家标准《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)即按此法分类, 是“从土的基本特性出发, 以土的颗粒尺寸、水理性质等为界定指标的分类体系”, 将土分为巨粒土、粗粒土、细粒土, 这是土的基本分类。在该标准中同时指出, “各行业在工程中对土的分类有各自的专业需要, 细节繁多, 难以统一规定, 故本标准只能从整体上建立共同遵守的体系, 较为原则与概括, 属通用分类范畴。各行业可据此延伸与充实, 编制符合需要的专门分类标准”。在土方工程施工中, 是按土的开挖难易程度进行分类的。

土的工程类别在选择土方施工机械和确定基坑边坡支护方式等方面都有重要影响。

二、土的工程性质

土的工程性质对土方工程的施工有直接影响, 在施工之前应详细了解, 以避免对工程的施工带来不必要的麻烦。其中基本的工程性质有: 土的密度、土的密实度、可松性、压缩性、含水量、渗透性等。

(一) 土的密度

土的密度分天然密度和干密度。

土的天然密度,指土在天然状态下单位体积的质量,它影响土的承载力、土压力及边坡的稳定性。

$$\rho = m/V \quad (1-1)$$

式中 ρ ——土的天然密度;

m ——土的总质量, kg;

V ——土的天然体积, m^3 。

土的干密度,指单位体积土中固体颗粒的质量;土的干密度越大,表示土越密实。工程上常把干密度用以检验填土压实质量的控制指标。

$$\rho_d = m_s/V \quad (1-2)$$

式中 ρ_d ——土的干密度;

m_s ——土中固体颗粒的质量, kg;

V ——土的天然体积, m^3 。

(二) 土的可松性

土的可松性是指在自然状态下的土经开挖后,其体积因松散而增大,以后虽经回填压实,也不能恢复其原来的体积。由于土方工程量是以自然状态的体积来计算的,所以在土方调配、计算土方机械生产率及运输工具数量等的时候,必须考虑土的可松性。

土的可松性程度用可松性系数表示,即

$$K_s = \frac{V_2}{V_1}, K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-3)$$

式中 K_s ——最初可松性系数;

K'_s ——最后可松性系数;

V_1 ——土在天然状态下的体积, m^3 ;

V_2 ——土经开挖后的松散体积, m^3 ;

V_3 ——土经回填压实后的体积, m^3 。

在土方工程中, K_s 是计算土方施工机械及运土车辆等的重要参数, K'_s 是计算场地平整标高及填方时所需挖土量等的重要参数。不同类型土的可松性系数可参照表 1-1。

【工程案例 1-1】 某基槽断面如图 1-1 所示,该基槽长为 150 m,该类土的 $K_s=1.2$, $K'_s=1.05$,假设槽内砖基础的体积为 1 000 m^3 ,待基槽回填土完成以后,余土全部外运,若用一辆可装 3 m^3 土的汽车,每天运输 8 趟,试计算需要几天可运完余土。

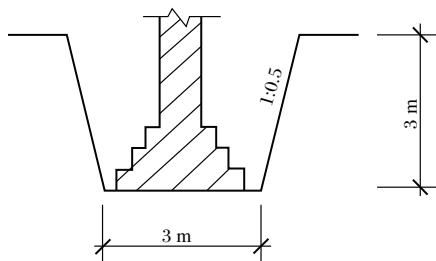


图 1-1 基槽断面示意图

【解】（1）该基槽自然状态下土的体积

$V_1 = [3 + (3 \times 0.5)] \times 3 \times 150 = 2\,025 \text{ (m}^3\text{)}$

（2）回填基槽所用自然状态下土的体积

$V_1' = \frac{2\,025 - 1\,000}{1.05} = 976.2 \text{ (m}^3\text{)}$

（3）剩余土方松散状态下土的体积

$V_2 = (V_1 - V_1') \times K_s = (2\,025 - 976.2) \times 1.20 = 1\,258.6 \text{ (m}^3\text{)}$

（4）所需时间

$t = \frac{1\,258.6}{3 \times 8} = 52.4 \text{ (天)}$

（三）土的含水量

土的含水量是指土中水的质量与固体颗粒质量之比的百分率。

$$W = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$$

式中 $m_{\text{湿}}$ ——含水状态土的质量，kg；

$m_{\text{干}}$ ——烘干后土的质量，kg；

m_w ——土中水的质量，kg；

m_s ——固体颗粒的质量，kg。

土的含水量影响土方施工方法的选择、边坡的稳定和回填土的夯实质量。如土的含水量超过 25%~30%，则机械化施工就困难，容易打滑、陷车；回填土则需有最佳含水量，方能夯压密实，获得最大干密度。土的最佳含水量和最大干密度参考值见表 1-2。

表 1-2 土的最佳含水量和最大干密度

土的种类	最佳含水量（质比）（%）	最大干密度（g/cm ³ ）
砂土	8~12	1.8~1.88
粉土	16~22	1.61~1.8
黏土	19~23	1.58~1.7
粉质黏土	12~15	1.85~1.95

（四）土的渗透性

土的渗透性是指水在土体中渗流的性能，一般以渗透系数 K 表示。渗透系数 K 值将直接影响降水方案的选择和涌水量计算的准确性，一般应通过扬水试验确定，表 1-3 所列数据仅供参考。

表 1-3 土的渗透系数参考值

土的种类	K （m/d）	土的种类	K （m/d）
黏土	<0.005	中砂	5~20
粉质黏土	0.005~0.1	均质中砂	35~50
粉土	0.1~0.5	粗砂	20~50
黄土	0.25~0.5	圆砾石	50~100
细砂	1.0~5	砾石	100~500

三、土方工程施工中常用的土方机械

当前,土方的开挖、运输、填筑、压实等施工过程均已采用机械化施工,常用的土方施工机械有推土机、铲运机、平土机、松土机、单斗挖土机和各种碾压、夯实机械。

(一) 推土机

推土机操作机动灵活,运转方便迅速,所需工作面小,易于转移,在建筑工程中应用最多。按行走的方式,推土机可分为履带式推土机和轮胎式推土机。履带式推土机附着力强,爬坡性能好,适应性强,其外形如图 1-2 所示。轮胎式推土机行驶速度快,灵活性好。



图 1-2 推土机

推土机适应于场地清理和平整,开挖深度 1.5 m 以内的基坑,填平沟坑,也可配合铲运机和挖土机工作。推土机可推挖一至三类土,经济运距在 100 m 以内,效率最高为 40~60 m。为提高生产率,推土机可采用下坡推土、并列推土、槽形推土和多铲集运四种推土方法。

1. 下坡推土

推土机顺地面坡度沿下坡方向切土和推土,以借助机械本身的重力作用,增加推土能力和缩短推土时间。一般可提高生产效率 30%~40%,但推土坡度应在 15% 以内。

2. 并列推土

平整场地面积较大时,可用 2~3 台推土机并列作业。铲刀相距 15~30 cm,一般两机并列推土可增大推土量 15%~30%,但平均运距不宜超过 50~70 m,也不宜小于 20 m。

3. 槽形推土

推土机重复多次在一条作业线上切土和推土,使地面逐渐形成一条浅槽,以减少土从铲刀两侧流散,可以增加推土量 10%~30%。

4. 多铲集运

在硬质土中,切土深度不大,可以采用多次铲土、分批集中、一次推送的方法,以便有效地利用推土机的功率,缩短运土时间。

(二) 铲运机

铲运机是一种能够独立完成铲土、运土、卸土、填筑、整平的土方机械。可在一至三类土中直接挖、运土,常用于坡度在 20° 以内的大面积土方挖、填、平整和压实,大型基坑、沟槽的开挖,路基和堤坝的填筑,不适于砾石层、冻土地带及沼泽地区使用。坚硬土开挖时要用推土机助铲或用松土机配合。

铲运机按行走方式分为自行式和拖式两种。如图 1-3、图 1-4 所示。自行式铲运机行走速度快,适用于运距 800~3 500 m 的大型土方,一般经济运距为 800~1 500 m,但开挖时必须用助铲。拖式铲运机适用于运距 80~800 m 的土方工程,而以运距在 600 m 以内较为适宜,当运距在 250~350 m 时效率最高。

铲运机运行路线应根据填方、挖方区的分布情况并结合当地具体条件进行合理选择,一般有以下两种形式:



图 1-3 自行式铲运机



图 1-4 拖式铲运机

1. 环形路线

当地形起伏不大，施工地段较短时，多采用环形路线。如图 1-5 (a)、(b) 所示。环形路线每一循环只完成一次铲土和卸土，挖土和填土交替；挖填之间距离较短时，则可采用大环形路线，如图 1-5 (c) 所示。一个循环能完成多次铲土和卸土，这样可减少铲运机的转弯次数，提高工作效率。采用环形路线时，为了防止机件单侧磨损，应每隔一定时间按顺、反时针方向交换行驶，避免仅向一侧转弯。

2. “8”字路线

施工地段较长或地形起伏较大时，多采用“8”字形运行路线，如图 1-5 (d) 所示。铲运机在上下坡时斜向行驶，每一循环完成两次作业，即两次铲土和卸土，比环形路线运行时间短，减少了转弯和空驶距离。

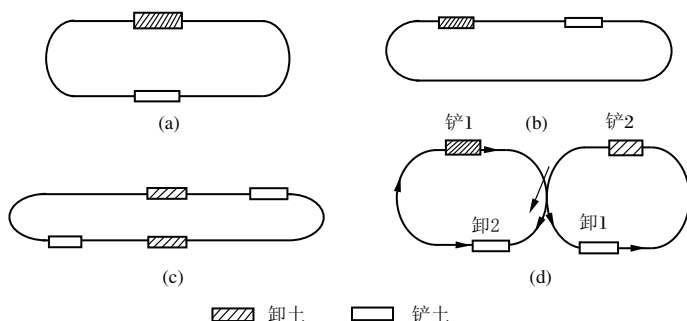


图 1-5 铲运机运行路线

(a)、(b) 环形路线；(c) 大环形路线；(d) “8”字路线

(三) 单斗挖土机

单斗挖土机按工作装置不同可分为正铲挖土机、反铲挖土机、拉铲挖土机、抓铲挖土机及装载机。按操纵机构不同可分为机械式和液压式两种，如图 1-6 所示。

1. 正铲挖土机

正铲挖土机的特点是：前进向上，强制切土，如图 1-7 所示。可以用于开挖停机面以上的一至三类土和爆破后的岩石、冻土等。需与相当数量的自卸运土汽车配合作业，其挖掘力大，生产率高，可以用于开挖大型干燥基坑以及土丘等。

正铲挖土机有两种挖土方式：一种是正向挖土，后方卸土，如图 1-7 (a) 所示，即挖土机沿前进方向挖土，运输车辆停在挖土机后方装土。此法挖土机卸土时动臂转角大、生产率低，运输车辆要倒车进入，一般在基坑窄而深的情况下采用。另一种是正向挖土，侧向卸土，如图 1-7 (b)、(c) 所示，即挖土机沿前进方向挖土，运输车辆停在侧面装土。

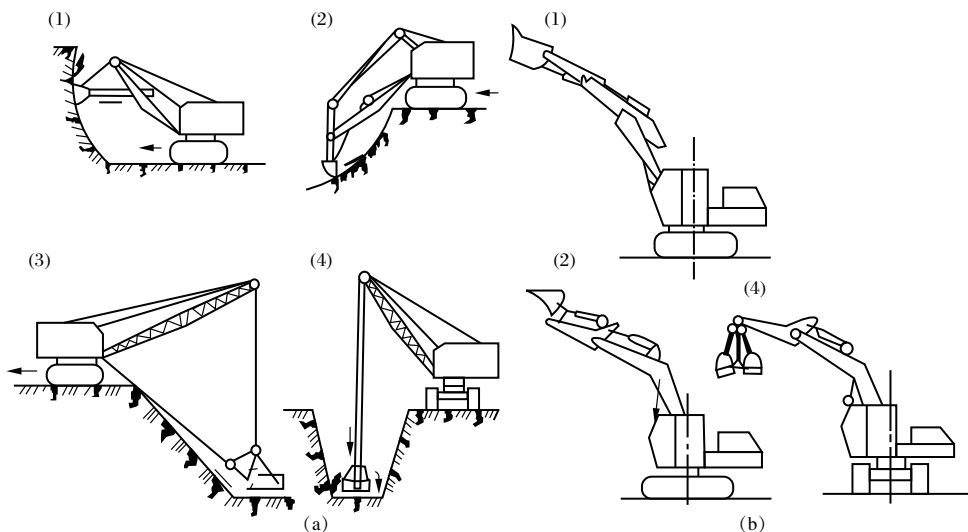


图 1-6 单斗挖土机

(a) 机械式；(b) 液压式

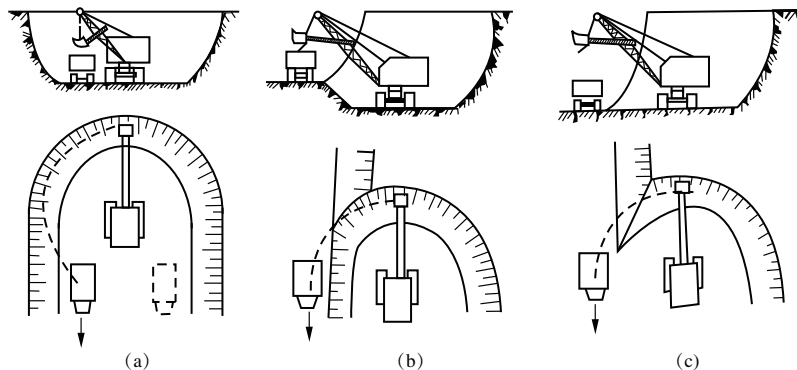


图 1-7 正铲挖土机开挖方式示意图

(a) 后方卸土装车；(b)、(c) 侧向卸土装车

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。其挖掘力比正铲小，能开挖停机面以下的一至三类土。适用于一次开挖深度在 4 m 左右的基坑、基槽、管沟，亦可用于地下水位较高的土方开挖，比较经济的挖土深度为 1.5~3.0 m。对于较大较深的基坑，可采用多层接力法开挖，可配备自卸汽车运土。

反铲挖土机的开挖方式有沟端开挖和沟侧开挖两种，如图 1-8 所示。沟端开挖，就是挖土机停在基坑（槽）的端部，向后倒退挖土，汽车停在基槽两侧装土；沟侧开挖，就是挖土机沿基槽的一侧直线移动，边走边挖土。

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，如图 1-9 所示。其挖土深度和挖土半径较大，由于铲斗是挂在钢丝绳上，可以甩得较远，挖得较深，但不如反铲灵活。适用于挖掘停机面以下的一至二类土，开挖较深较大的基坑（槽）、沟渠，挖取水中泥土以及填筑路基、修筑堤坝等。最大挖土深度 7.6 (W3-30)~16.3 m (W1-200)。拉铲挖土可将土直接甩在坑、槽、沟旁，或配备推土机将土推送到较远处堆放，或配备自卸汽车运土。

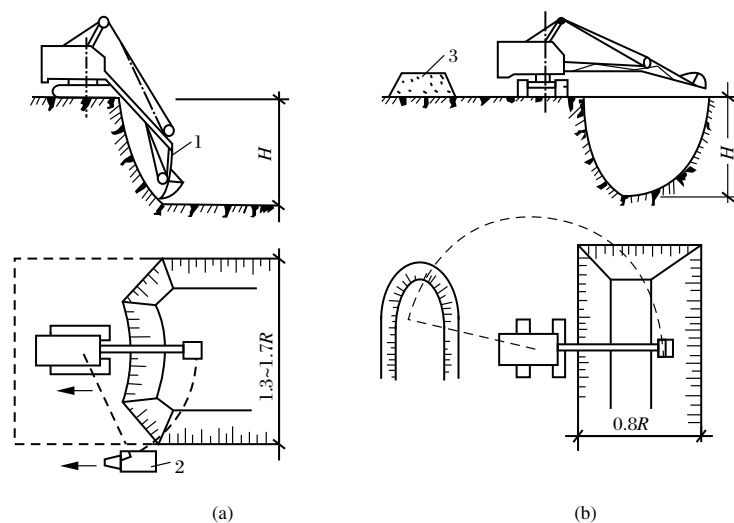


图 1-8 反铲挖土机开挖方式示意图

(a) 沟端开挖；(b) 沟侧开挖

1—反铲挖土机；2—自卸汽车；3—弃土堆

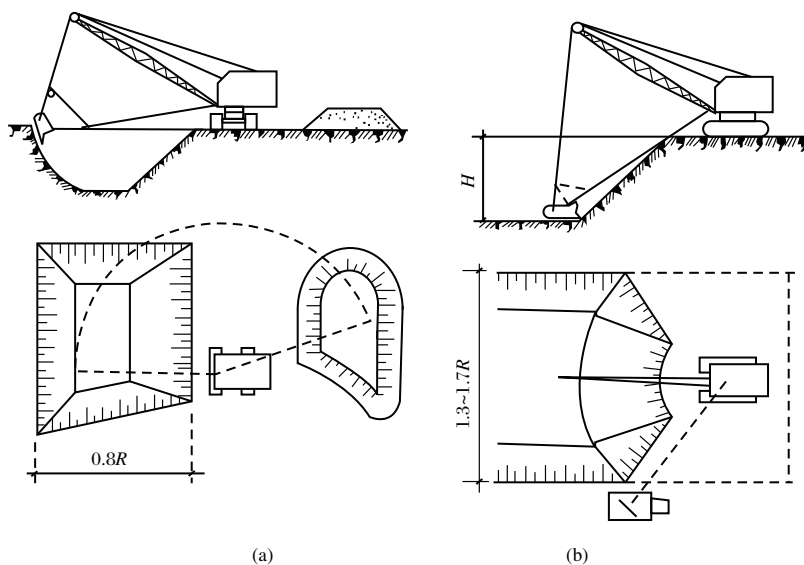


图 1-9 拉铲挖土机开挖方式示意图

(a) 侧弃土；(b) 汽车运土

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，如图 1-10 所示。只能开挖停机面以下的一至二类土。宜于挖窄而深的基坑，疏通旧有渠道以及挖取水中淤泥等，或用于装卸碎石、矿渣等松散材料，在软土地基的地区，常用于开挖基坑等，也可直接开挖直井或在开口沉井内挖土，可以装车也可以甩土。抓铲挖土机由于使用钢丝绳牵拉，工效不高，液压式的深度又受到限制，因此，除在面积小的深基础及深基坑槽之外，应用范围很小。

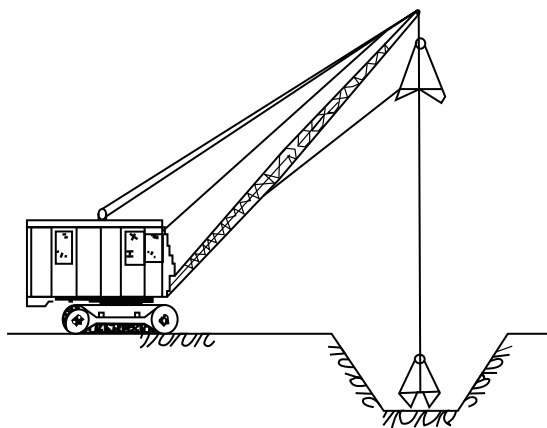


图 1-10 抓铲挖掘机



项目二 场地平整

一、土方工程施工前的准备工作

土方工程施工前应做好下述准备工作：

- ①场地清理：包括清理地面及地下各种障碍。在施工前应拆除旧房和古墓，拆除或改建通信、电力设备、地下管线及地下建筑物，迁移树木，去除耕植土及河塘淤泥等。
- ②排除地面水：场地内低洼地区的积水必须排除，同时应注意雨水的排除，使场地保持干燥，以利于土方施工。地面水的排除一般采用排水沟、截水沟、挡水土坝等措施。
- ③修筑好临时道路及供水、供电等临时设施。
- ④做好材料、机具及土方机械的进场工作。
- ⑤做好土方工程测量、放线工作。
- ⑥根据土方施工设计做好土方工程的辅助工作，如边坡稳定、基坑（槽）支护、降低地下水等。

二、场地平整的土方工程量计算

场地平整就是将天然地面改造成我们所要求的平面。首先应确定场地平整设计标高，场地平整设计标高的确定一般有两种情况。

一种情况是整体规划设计时确定场地设计标高，此时必须综合考虑的因素是：

- ①要与已有建筑标高相适应；
- ②要能满足生产工艺和运输的要求；
- ③要尽量利用地形，减少挖方数量；
- ④要求场地内的挖方和填方基本平衡，以降低土方运输的费用；
- ⑤要有一定的泄水坡度，以满足排水需要等。

另一种情况是总体规划没有确定场地设计标高时，按场地内挖填平衡，降低运输费用为原则，确定设计标高，由此可计算场地平整的土方量。

计算场地平整的土方量的步骤如下：

(1) 划分方格网。

①依据已有地形图（一般用 1：500 的地形图）划分成边长相等的若干个方格网，方格网一般采用 20 m×20 m~40 m×40 m。

②确定各角点的自然地面标高。

③确定各角点的设计地面标高。

④确定各个角点的施工高度（挖或填），挖方为（-），填方为（+）。

⑤确定零线。

⑥计算方格挖、填方量。

⑦计算土方量汇总。

(2) 分别将挖方区（或填方区）所有方格计算的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。

三、场地平整的施工方法

方案一：先平整场地后开挖基坑（槽）。

方案二：先开挖基坑（槽）后平整场地。

方案三：边开挖基坑（槽）边平整场地。

在实际施工过程中，具体采用何种方案，要根据施工现场的实际情况确定。



项目三 基坑（槽）开挖

一、建筑物的定位与放线

基坑（槽）的施工，首先应进行房屋定位和标高引测，然后根据基础的底面尺寸、埋置深度、土质好坏、地下水位的高低及季节性变化等不同情况，考虑施工需要，确定是否需要留工作面（施工人员操作、支模板等所需要的平面位置，例如混凝土基础施工时工作面一般留 300 mm）、放坡、增加排水设施和设置支撑，从而定出挖土边线和进行放灰线工作。

基槽放线：根据房屋主轴线控制点，首先将外墙轴线的交点用木桩测设在地面上，并在桩顶钉上铁钉作为标志。房屋外墙轴线测定以后，再根据建筑物平面图，将内部开间所有轴线都一一测出。最后根据边坡系数计算的开挖宽度，在中心轴线两侧用石灰在地面上撒出基槽开挖边线。同时，在房屋四周设置龙门板，以便于基础施工时复核轴线位置。

柱基放线：在基坑开挖前，从设计图上查对基础的纵横轴线编号和基础施工详图，根据柱子的纵横轴线，用经纬仪在矩形控制网上测定基础中心线的端点，同时，在每个柱基中心线上，测定基础定位桩，每个基础的中心线上设置四个定位木桩，其桩位离基础开挖线的距离为 0.5~1.0 m。若基础之间的距离不大，可每隔 1~2 个或几个基础打一个定位桩，但两个定位桩的间距以不超过 20 m 为宜，以便拉线恢复中间柱基的中线。桩顶上钉一钉子，标明中心线的位置。然后按施工图上柱基的尺寸和按边坡系数确定的挖土边线的尺寸，放出基坑上口挖土灰线，标出挖土范围。

大基坑开挖，应根据房屋的控制点，用经纬仪放出基坑四周的挖土边线。

二、土壁支护

(一) 土方边坡及其稳定

土方边坡坡度以其高度 H 与其底宽 B 之比表示。边坡可做成直线形、折线形或踏步形 (图 1-11)。

$$\text{土方边坡坡度} = \frac{H}{B} = \frac{1}{B/H} = \frac{1}{m} \quad (1-4)$$

式中 $m = \frac{B}{H}$, 称为坡度系数。

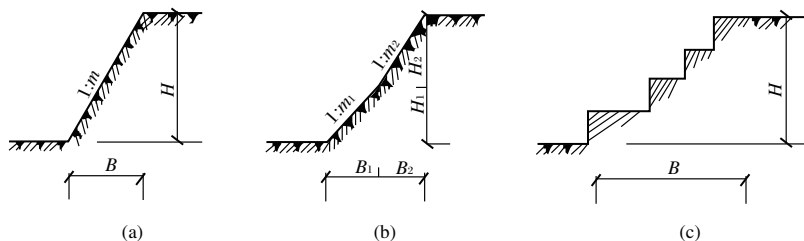


图 1-11 土方边坡

(a) 直线形; (b) 折线形; (c) 踏步形

施工中, 土方边坡坡度的留设应考虑土质、开挖深度、开挖方法、施工工期、地下水位、坡顶荷载及气候条件等因素。临时性挖方边坡值应符合表 1-4 的规定。

表 1-4 临时性挖方边坡值

土的种类		边坡值 (高: 宽)
砂土 (不包括细砂、粉砂)		1: 1.25~1: 1.5
一般性黏土	硬	1: 0.75~1: 1
	硬、塑	1: 1~1: 1.25
	软	1: 1.5 或更缓
碎石类土	充填坚硬、硬塑黏性土	1: 0.5~1: 1
	充填砂土	1: 1~1: 1.5

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。

当土的湿度、土质及其他地质条件较好且地下水位低于基底时, 深度超过上述规定但在 5 m 以内不加支撑的基坑或管沟, 其边坡的最大允许坡度不得超过表 1-5 的规定。

一般情况下, 应对土方边坡做稳定分析, 即在一定开挖深度及坡顶荷载下, 选择合适的边坡坡度, 使土体抗剪切破坏有足够的安全度, 而且其变形不应超过某一容许值。

边坡稳定的分析方法很多, 如摩擦圆法、条分法等。有关这方面的计算, 可参考有关资料。

表 1-5 深度在 5 m 的基坑（槽）、管沟边坡的最陡坡度（不加支撑）

土的类别	边坡坡度（高：宽）		
	坡顶无荷载	坡顶有静载	坡顶有动载
中密的砂土	1：1	1：1.25	1：1.5
中密的碎石类土（充填物为砂土）	1：0.75	1：1	1：1.25
硬塑的粉土	1：0.67	1：0.75	1：1
中密的碎石类土（充填物为黏性土）	1：0.5	1：0.67	1：0.75
硬塑的粉质黏土、黏土	1：0.33	1：0.5	1：0.67
老黄土	1：0.1	1：0.25	1：0.33
软土（经井点降水后）	1：1	—	—

注：①静载指堆土或材料等，动载指机械挖土或汽车运输作业等。静载或动载距挖方边缘的距离应保证边坡和直立壁的稳定，堆土或材料应距挖方边缘 0.8 m 以外，高度不超过 1.5 m。

②当有成熟施工经验时，可不受本表限制。

施工中，除应正确确定边坡，还要进行护坡，以防边坡发生滑动。土坡的滑动一般是指土方边坡在一定范围内整体地沿某一滑动面向下和向外移动而丧失其稳定性（图 1-12）。边坡失稳往往是在外界不利因素影响下触发和加剧的。这些外界不利因素往往导致土体剪应力的增加或抗剪强度的降低。

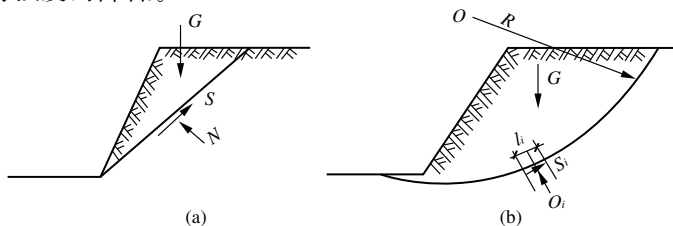


图 1-12 土坡的滑动

（a）直线滑动面；（b）圆弧滑动面

土体的下滑在土体中产生剪应力，引起下滑力增加的因素主要是：坡顶上堆物、行车等荷载；雨水或地面水渗入土中使土的含水量提高而使土的自重增加；地下水的渗流产生一定的动水压力；土体竖向裂缝中的积水产生侧向静水压力等。引起土壤抗剪强度降低的因素主要是：气候的影响使土质松软；土体内含水量增加而产生润滑作用；饱和的细砂、粗砂受振动而液化等。

因此，在土方施工中，要预估各种可能出现的情况，采取必要的措施护坡防坍，特别要注意及时排除雨水、地面水，防止坡顶集中堆荷及振动。必要时，可采用钢丝网细石混凝土（或砂浆）护坡面层。如是永久性土方边坡，则应做好永久性加固措施。

（二）基坑（槽）支护

开挖基坑（槽）时，如地质条件及周围环境许可，采用放坡开挖是较经济的。但在建筑稠密地区施工，或有地下水渗入基坑（槽）时，往往不可能按要求的坡度放坡开挖，需要进行基坑（槽）支护，以保证施工的顺利和安全，并减少对相邻建筑、管线等的不良影响。

基坑（槽）支护结构的主要作用是支撑土壁。此外，钢板桩、混凝土板桩及水泥土搅拌桩等围护结构还兼有不同程度的隔水作用。

基坑（槽）支护结构的形式有多种，根据受力状态可分为横撑式支撑、板桩式支护结

构、重力式支护结构，其中，板桩式支护结构又分为悬臂式和支撑式。

1. 横撑式支撑

开挖较窄的沟槽，多用横撑式土壁支撑。横撑式土壁支撑根据挡土板的不同，分为水平挡土板式和垂直挡土板式两类，水平挡土板的布置又分间断式和连续式两种，如图 1-13 所示。湿度小的黏性土挖土深度小于 3 m 时，可用间断式水平挡土板支撑；对松散、湿度大的土壤，可用连续式水平挡土板支撑，挖土深度可达 5 m。对松散和湿度很高的土可用垂直挡土板式支撑，挖土深度不受限制。

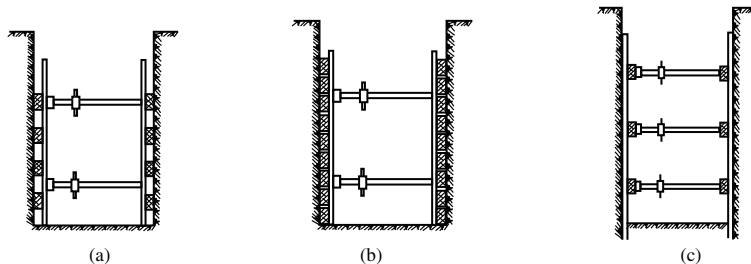


图 1-13 横撑式支撑

(a) 断续式水平挡土板支撑；(b) 连续式水平挡土板支撑；(c) 连续式垂直挡土板支撑

挡土板、立柱及横撑的强度、变形及稳定等，可根据实际布置情况进行结构计算。

2. 板桩式支护结构

板桩支护结构由两大系统组成：挡墙系统和支撑（或拉锚）系统（图 1-14）。悬臂式板桩支护结构则不设支撑（或拉锚）。

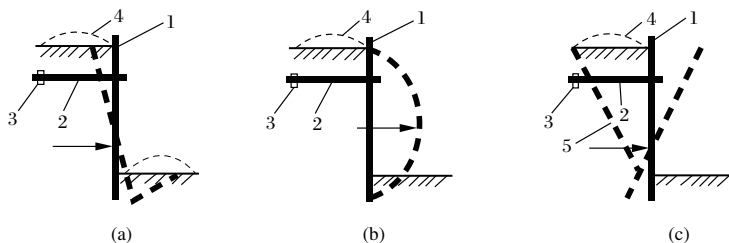


图 1-14 板桩破坏情况示意图

(a) 入土深度不够；(b) 截面尺寸过小；(c) 拉锚力不足

1—板桩；2—锚杆；3—锚锭；4—土堆；5—破坏面

1) 挡墙系统

挡墙系统常用的材料有型钢、钢板桩、钢筋混凝土板桩、钢筋混凝土灌注桩、地下连续墙，少量采用木材，下面介绍两种挡墙系统材料钢板桩和地下连续墙。

(1) 钢板桩。分为平板形和波浪形两种（图 1-15）。钢板桩通过锁口互相连接，形成一道连续的挡墙。由于锁口的连接，使钢板桩之间连接牢固，形成整体。同时，也具有较好的隔水能力。钢板桩截面积小，易于打入。U 形、Z 形等波浪式钢板桩截面抗弯能力较好，施工完毕后还可拔出重复使用。

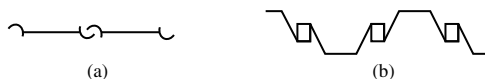


图 1-15 常用钢板桩

(a) 平板形；(b) 波浪形

对于钢板桩，通常有以下三种打桩方法：

①单独打入法。此法是从一角开始逐块插打，每块钢板桩自起打到结束中途不停顿。因此，桩机行走路线短，施工简便，打设速度快。但是，由于单块打入，易向一边倾斜，累计误差不易纠正，壁面平直度难以控制。一般在钢板桩长度不大（小于 10 m）、工程要求不高时宜采用此法。

②围檩插桩法。采用围檩支架作为板桩打设的导向装置（图 1-16）。围檩支架由围檩和围檩桩组成，在平面上分单面围檩和双面围檩，高度方向有单层和双层之分，在打设板桩时起导向作用。双面围檩之间的距离比两块板桩组合宽度大 8~15 mm。

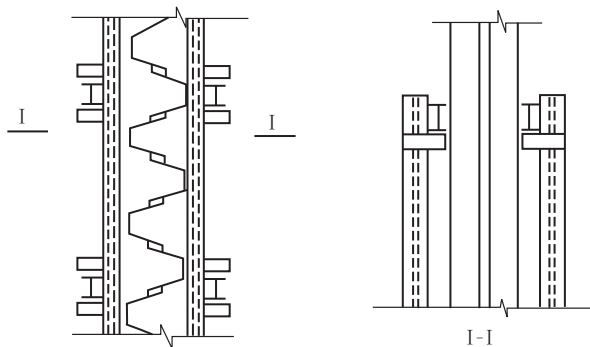


图 1-16 围檩插桩法

双层围檩插桩法是在地面上离板桩墙轴线一定距离处先筑起双层围檩支架，而后将钢板桩依次在双层围檩中全部插好，成为一个高大的钢板桩墙，待四角实现封闭合拢后，再按阶梯形逐渐将板桩一块块打入设计标高。此法优点是可以保证平面尺寸准确和钢板桩垂直度，但施工速度慢、不经济。

③分段复打桩。又称屏风法，是将 10~20 块钢板桩组成的施工段沿单层围檩插入土中一定深度而形成较短的屏风墙。方法是：先将其两端的两块打入，严格控制其垂直度，打好后用电焊固定在围檩上，然后将其他的板桩顺序以 1/2 或 1/3 板桩高度打入。此法可以防止板桩过大的倾斜和扭转，防止误差积累，有利于实现封闭合拢，且分段打设，不会影响邻近板桩施工。

打桩锤根据板桩打入阻力确定，该阻力包括板桩端部阻力、侧面摩阻力和锁口阻力。桩锤不宜过重，以防因过大锤击而产生板桩顶部纵向弯曲，一般情况下，桩锤重量约为钢板桩重量的两倍。此外，选择桩锤时，还应考虑锤体外形尺寸，其宽度不能大于组合打入板桩块数的宽度之和。

地下工程施工结束后，钢板桩一般都要拔出，以便重复使用。拔除时，要正确确定拔除方法与拔除顺序，由于钢板桩拔出时带土，会引起土体变形，对周围环境造成危害。必要时，应采取注浆填充等方法。

(2) 地下连续墙。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。随着基坑的分层向下开挖，在桩墙表面设置支点，支点型式可以采用内支撑，也可以采用锚杆。在桩墙结构侧壁上土压力的作用下，桩墙结构的受力形式相当于梁板结构，内支撑可根据具体结构型式进行结构设计计算，锚杆则单独进行承载力的设计计算。这种结构不设置支点时，为悬臂梁结构，但悬臂结构只适用于基坑深度较浅，同时周边环境对支护结构水平位移要求不高的情况下采用。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。

地下连续墙施工工艺：修筑导墙→挖槽→吊放接头管（箱）、吊放钢筋笼→浇注混凝土。

导墙的作用：护槽口，为槽定位（标高、水平位置、垂直），支撑（机械、钢筋笼等），存放泥浆（可保持泥浆面高度）。泥浆的作用：护壁，携碴，冷却润滑。

目前，在地下连续墙施工中，国内外常用的挖槽机械，按其工作机理可分为挖斗式、冲击式和回转式三大类，而每一类中又分为多种。

常用的方法有砂石吸力泵排泥、压缩空气升液排泥、潜水泥浆泵排泥。采取在钢筋笼内放桁架的方法防止钢筋笼起吊时变形。

常用的施工接头有以下几种：

①接头管（亦称锁口管）接头。这种接头应用最多。一个单元槽段土方挖好后，于槽段端部用吊车放入接头管，然后吊放钢筋笼并浇筑混凝土，待浇筑的混凝土强度达到 $0.05\sim 0.20\text{ MPa}$ 时（一般在混凝土浇筑后 $3\sim 5\text{ h}$ ，视气温而定），开始用吊车或液压顶升架上拔接头管，上拔速度应与混凝土浇筑速度、混凝土强度增长速度相适应，一般为 $2\sim 4\text{ m/h}$ ，应在混凝土浇筑结束后 8 h 以内将接头管全部拔出。接头管直径一般比墙厚小 50 mm ，可根据需要分段、接长。端部半圆形可以增强整体性和防水能力。

②接头箱接头。一个单元槽段挖土结束后，吊放接头箱，再吊放钢筋笼。钢筋笼端部的水平钢筋可插入接头箱内。接头箱的开口面被焊在钢筋笼端部的钢板封住，因而浇筑的混凝土不能进入接头箱。混凝土初凝后，与接头管一样逐步吊出接头箱。

③隔板式接头。隔板式接头按隔板的形状分为平隔板、榫形隔板和V形隔板。由于隔板与槽壁之间难免有缝隙，为防止新浇筑的混凝土渗入，要在钢筋笼的两边铺贴维尼龙等化纤布。化纤布可把单元槽段钢筋笼全部罩住，也可以只有 $2\sim 3\text{ m}$ 宽。要注意吊入钢筋笼时不要损坏化纤布。

带有接头钢筋的榫形隔板式接头，能使各单元墙段形成一个整体，是一种较好的接头方式。但插入钢筋笼较困难，且接头处混凝土的流动亦受到阻碍，施工时要特别加以注意。

地下连续墙与内部结构的楼板、柱、梁、底板等连接的结构接头，常用的有下列几种：

①预埋连接钢筋法。此法应用最多。连接钢筋弯折后预埋在地连续墙内，待内部土方开挖后露出墙体时，凿开预埋连接钢筋处的墙面，将露出的预埋连接钢筋弯成设计形状进行连接。考虑到连接处往往是结构的薄弱处，设计时一般使连接筋有 20% 的富余。

②预埋连接钢板法。这是一种钢筋间接连接的接头方式。预埋连接钢板放入并与钢筋笼固定。浇筑混凝土后，凿开墙面，使预埋连接钢板外露，用焊接方式将后浇结构中的受力钢筋与预埋连接钢板焊接。

③预埋剪力连接件法。剪力连接件的形式有多种。剪力连接件先预埋在地连续墙内，然后弯折出来与后浇结构连接。

地下连续墙规范要求：地下连续墙的常用厚度为 $600\sim 800\text{ mm}$ ，已建工程中最大厚度重 $1\,200\text{ mm}$ 。墙厚除满足设计要求外，还需结合成槽机械的规格决定，不宜小于 600 mm 。

地下连续墙单元墙段（槽段）的长度、形状，应根据整体平面布置、受力特性、槽壁稳定性、环境条件和施工要求等因素综合确定。当地下水位变动频繁或槽壁孔可能发生坍塌

塌时,应进行成槽试验及槽壁的稳定性验算。地下连续墙受力钢筋应采用Ⅱ级钢筋,直径不宜小于 20 mm;构造钢筋可采用Ⅰ级或Ⅱ级钢筋,直径不宜小于 14 mm;竖向钢筋的净距不宜小于 75 mm;构造钢筋的间距不应大于 300 mm。单元槽段的钢筋笼宜装配成一个整体;必须分段时,宜采用焊接或机械连接,应在结构内力较小处布置接头位置,接头应相互错开。地下连续墙钢筋的保护层厚度,对临时性支护结构不宜小于 50 mm,对永久性支护结构不宜小于 70 mm。竖向受力钢筋应有一半以上通长配置。当地下连续墙与主体结构连接时,预埋在墙内的受力钢筋、连接螺栓或连接钢板,均应满足受力计算要求,锚固长度满足现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)要求,预埋钢筋应采用Ⅰ级钢筋,直径不宜大于 20 mm。地下连续墙墙体混凝土的抗渗等级不得小于 0.6 MPa,二层以上地下室不宜小于 0.8 MPa。当墙段之间的接缝不设止水带时,应选用锁口圆弧形、槽形或 V 形等可靠的防渗止水接头,接头面应严格清刷,不得存有夹泥或沉渣。

地下室逆做法施工时,楼盖、梁和板整体浇筑作为水平支撑体系,应符合承载力、刚度及抗裂要求。在出土口处先施工板下梁形成水平支撑体时,应按平面框架方法计算内力和变形,其肋梁应按偏心受压杆件验算构件的承载力和稳定性。肋梁应留出插筋,以便与混凝土墙体的竖筋连接。当采用梁、板分次浇筑施工时,肋梁上应留出箍筋,以便与后浇的混凝土楼板结合形成整体。

地下连续墙与地下结构梁、板的连接,应通过墙体的预埋构件;与底板的连接,应采用整体连接;接头钢筋应采用焊接或机械连接。宜在墙内侧设置钢筋混凝土内衬墙,满足地下室使用要求。

地下主体结构的梁、板当施工期间有超载时(如走车、堆土等),应考虑其影响。在兼做施工平台和栈桥时,其构件的强度和刚度应按正常使用和施工两种工况分别进行验算。立柱和立柱桩的荷载应包括施工平台或栈桥所受的施工荷载。竖向立柱的沉降,应满足主体结构的受力和变形要求。

2) 支撑系统

支撑系统一般采用大型钢管、H 型钢或格构式钢支撑,也可采用现浇钢筋混凝土支撑。拉锚系统材料一般用钢筋、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撑(或拉锚)。基坑较浅,挡墙具有一定刚度时,可采用悬臂式挡墙,而不设支撑或拉锚。

支撑或拉锚与挡墙系统通过围檩、压顶梁等连接成整体。

板桩施工要正确选择打桩方法、打桩机械和流水段划分,以便使打设后的板桩墙有足够的刚度和防水作用,且板桩墙面平直,以满足墙内支撑安装精度的要求,对封闭式板桩墙还要求封闭合拢。

3. 重力式支护结构

重力式支护结构主要通过加固基坑周边土形成一定厚度的重力式墙,以达到挡土目的。

1) 水泥土搅拌桩

常用深层搅拌水泥桩支护墙,即在基坑四周用深层搅拌法将水泥与土拌和,形成块状连续壁或格状连续壁与壁间土组成复合重力式支护结构。这种支护墙具有防渗和挡土的双重功能,要求两桩间应搭接 200 mm。宜用于场地较开阔,挖深不大于 6 m,土质承载力标准值小于 150 kPa 的软土或较软土中。此外,尚有高压旋喷帷幕墙、水泥粉喷桩、化学注浆防渗挡土墙等形式的重力支护结构。

水泥土加固体的强度取决于水泥掺入比（水泥重量与加固土体重量的比值），围护墙常用的水泥掺入比为 12%~14%。常用的水泥品种是强度等级为 32.5 级的普通硅酸盐水泥。

2) 土钉墙结构

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。土钉的水平与竖向间距一般均在 1~2 m 之间。其受力特点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。

三、基坑（槽）土方量计算

（一）基坑土方工程量计算

基坑土方量可按几何中的拟柱体（由两个平行的平面做底的一种多面体）体积公式计算，如图 1-17 所示。即：

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

式中 H ——基坑深度，m；

A_1 、 A_2 ——基坑上、下底的面积， m^2 ；

A_0 ——基坑的中截面面积， m^2 。

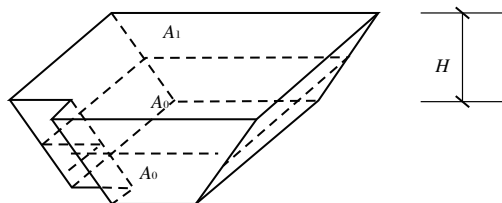


图 1-17 基坑土方量计算

（二）基槽土方工程量计算

1. 等截面基槽

$$V = AL \quad (1-6)$$

式中 V ——基槽的土方工程量， m^3 ；

A ——基槽横断面面积， m^2 。

L ——基槽的长度，m。即外墙中心线之间的长度，内墙净长线之间的长度。

2. 不等截面基槽

基槽和路堤的土方量可以沿长度方向分段后，再用同样的方法计算。如图 1-18 所示。即：

$$V_1 = \frac{L_1}{6} (A_1 + 4A_0 + A_2) \quad (1-7)$$

式中 V_1 ——第一段的土方量, m^3 ;

L_1 ——第一段的长度, m 。

将各段土方量相加, 即得总土方量:

$$V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n$$

式中 $V_1, V_2, \cdots, V_n$ ——格分段的土方量, m^3 。

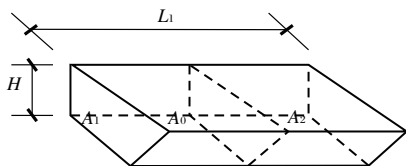


图 1-18 基槽土方量计算

四、施工排水与降低地下水位

基坑(槽)开挖、降排水措施和支护方案虽然属于施工期间的临时措施, 但对施工的安全、工期和经济效益有较大的影响, 特别是地下水位较高的软土地基, 往往是整个高层建筑关键技术之一, 投资达数千万元, 有的高层建筑这项费用甚至达到整个建筑工程费用的 20% 以上。因此, 除了精心设计外, 施工时应加强检测, 根据结构的应力、位移、坑底的隆起量和渗漏量等信息指导施工过程, 必要时, 应对原设计进行修改和完善。对可能出现的险情应有充分的估计, 设计时就应考虑到后备措施。

当基坑(槽)开挖和基础施工期间的最高地下水位高于坑底设计标高时, 应对地下水位进行处理, 以保证开挖期间获得干燥的作业面, 保证坑(槽)底、边坡和基础底板的稳定, 同时确保邻近基坑的建筑物和其他设施的正常运行。

根据基坑(槽)开挖深度、场地水文地质条件和周围环境, 可采用集水井降水法和井点降水法进行降水。

(一) 集水井排水法

在基坑或沟槽开挖时, 采用截、疏、抽的方法来进行排水。开挖时, 沿坑底周围或中央开挖排水沟, 再在沟底设集水井, 使基坑内的水经排水沟流向集水井, 然后用水泵抽走(图 1-19)。

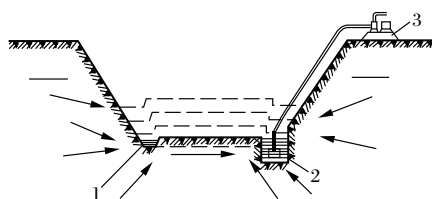


图 1-19 集水井降水

1—排水沟; 2—集水井; 3—水泵

基坑四周的排水沟及集水井应设置在基础范围以外, 地下水流的上游。明沟排水的纵坡宜控制在 $1\text{‰} \sim 2\text{‰}$; 集水井应根据地下水量、基坑平面形状及水泵能力, 每隔 20~40 m 设置一个。

集水井的直径或宽度一般为 0.7~0.8 m。其深度随着挖土的加深而加深, 要始终低于挖土面 0.8~1.0 m。井壁可用竹、木等材料进行简易加固。

当基坑挖至设计标高后, 井底应低于坑底 1~2 m, 并铺设 0.3 m 碎石滤水层, 以免在抽水时将泥砂抽出, 并防止井底的土被搅动。

明排水法由于设备简单和排水方便, 采用较为普通, 但当开挖深度大、地下水位较高而土质又不好时, 用明排水法降水。挖至地下水位以下时, 有时, 坑底下部的土会形成流

动状态,随地下水涌入基坑,这种现象称为流砂现象。发生流砂时,土完全丧失承载能力。使施工条件恶化,难以达到开挖设计深度。严重时,会造成边坡塌方及附近建筑物下沉、倾斜、倒塌等。总之,流砂现象对土方施工和附近建筑物有很大危害。

1.流砂现象形成的原因

流砂现象的形成有其内因和外因。内因取决于土壤的性质。当土的孔隙度大、含水量大、黏粒含量少、粉粒多、渗透系数小、排水性能差等均容易产生流砂现象。因此,流砂现象经常发生在细砂、粉砂和亚砂土中;但发生流砂现象,还应具备一定的外因条件,即地下水及其产生动水压力的方向和大小。当地下水位较高,基坑内排水所造成的水位差较大时,动水压力也愈大;当动水压力大于等于浮土重度时,就会推动土壤失去稳定,形成流砂现象。

2.防治流砂的方法

防治流砂总的原则是“治砂必治水”。其途径有三:一是减小或平衡动水压力;二是截住地下水流;三是改变动水压力的方向。具体措施有:

①枯水期施工。因地下水位低,坑内外水位差小,动水压力减小,从而可预防和减轻流砂现象。

②打板桩。将板桩沿基坑周围打入不透水层,便可起到截住水流的作用;或者打入坑底面一定深度,这样,将地下水引至坑底以下流入基坑,不仅增加了渗流长度,而且改变了动水压力的方向,从而达到减小动水压力的目的。

③水中挖土。即不排水施工,使坑内外的水压相平衡,不致形成动水压力。如沉井施工,不排水下沉,进行水中挖土,水下浇筑混凝土,这些都是防治流砂的有效措施。

④人工降低地下水位。这是截住水流,不让地下水流入基坑的方法,从而不仅可防治流砂和土壁塌方,还可改善施工条件。

⑤地下连续墙法。此法是沿基坑的周围先浇筑一道钢筋混凝土的地下连续墙,从而起到承重、截水和防流砂的作用,它又是深基础施工的可靠支护结构。

⑥抛大石块,抢速度施工。如在施工过程中发生局部或轻微的流砂现象,可组织人力分段抢挖,挖至标高后,立即铺设芦席,并抛大石块,增加土的压力,以平衡动水压力,力争在未产生流砂现象之前,将基础分段施工完毕。

此外,在含有大量地下水土层中或沼泽地区施工时,还可以采取土壤冻结法;对位于流砂地区的基础工程,应尽可能用桩基或沉井施工,以节约防治流砂所增加的费用。

(二) 井点降水法

井点降水法也称为人工降低地下水位法,是地下水位较高的地区施工中采取的重要措施之一。基坑开挖前,预先在基坑四周埋设一定的管(井),利用抽水设备,从井点管中将地下水不断抽出,使地下水位降低到拟开挖的基坑底面,因而能克服流沙现象,稳定边坡,降低地下水对支护结构的水平压力,防止坑底土的隆起,加快土的固结,提高地基土的承载能力,并能使位于天然地下水位以下的基础工程能在较干燥的施工环境中进行施工。采用人工降低地下水位,可适当改陡边坡,减少挖土方量,但在降水过程中,基坑附近的地基土壤会有一定的沉降,施工时要严加注意,防止地基沉降给周围建筑物带来不利影响。

井点降水法有轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井井点和深井井点等,可以根据土层的渗透系数、要求降低水位的深度、工程特点及设备情况,做技术经济比较后确定,各

种井点降水方法的适用范围可参见表 1-6。轻型井点应用较为广泛，本节将作主要介绍。

表 1-6 各种井点降水适用范围

项次	井点类别	土层渗透系数 (m/d)	降低水位深度 (m)	适用土质
1	单层轻型井点	0.1~50	3~6	黏质粉土、砂质粉土、粉砂、含薄层粉砂的粉质黏土
2	多层轻型井点	0.1~50	6~12	黏质粉土、砂质粉土、粉砂、含薄层粉砂的粉质黏土
3	喷射井点	0.1~2	8~20	黏质粉土、砂质粉土、粉砂、含薄层粉砂的粉质黏土
4	电渗井点	<0.1	5~6	黏土、粉质黏土
5	管井井点	20~200	根据选用的水泵而定	黏质粉土、粉砂、含薄层粉砂的粉质黏土、各类砂土、砾砂
6	深井井点	10~250	>15	黏质粉土、粉砂、含薄层粉砂的粉质黏土、各类砂土、砾砂

1. 轻型井点

轻型井点是沿基坑四周将许多根井点管沉入地下蓄水层内，井点管上端通过弯联管与集水总管相连接，并利用抽水设备将地下水从井点管内不断抽出，从而将地下水位降低至基底以下。

1) 轻型井点设备

轻型井点系统由滤管、井点管、弯联管、集水总管和抽水设备等组成，如图 1-20 所示。

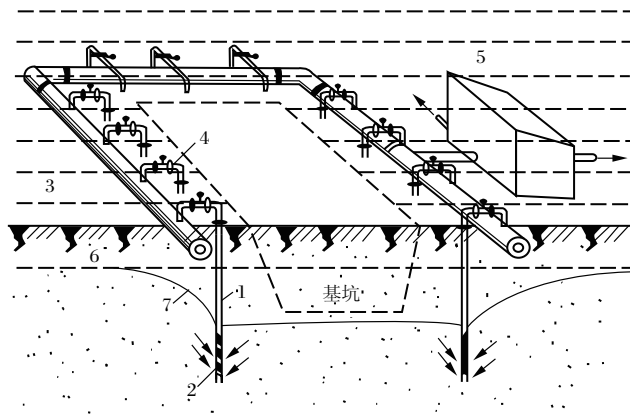


图 1-20 轻型井点降低地下水示意图

1—井点管；2—滤管；3—集水总管；4—弯联管；

5—水泵房；6—原有地下水位线；7—降水后地下水位线

滤管是进水设备（图 1-21），滤管用 $\Phi 38 \sim \Phi 55$ mm 钢管制成，长度一般为 1.0~1.7 m。滤管壁上钻有直径 12~18 mm 的呈梅花形布置的滤孔，滤孔面积占滤管表面积的 20%~30%。管壁外包有粗细两层滤网，为避免滤孔淤塞，在管壁与滤网间用小塑料管或铁丝绕成螺旋状隔开，并在滤网外再围一层粗铁丝保护层。滤管上端与井点管相连，下端有铸铁头，以便于沉入土中。

井点管的直径和滤管相同,长度为5~7 m,可整根或分节组成,井点上端用弯联管与总管相连。弯联管用塑料管、橡胶管或钢管制成,并且每根弯联管上均安装阀门以便检修井点。

集水总管一般用75~110 mm的钢管分节连接,每节管长4 m,上面装有与弯联管连接的短接头(三口),短接头间距为0.8~1.6 m,总管要设置一定的坡度坡向泵房。

轻型井点常用的抽水设备有真空泵和离心泵等,可根据不同的土壤渗透系数的大小来进行选择。

2) 轻型井点布置

轻型井点系统的布置,应根据基坑平面形状及尺寸、基坑的深度、土质、地下水位及流向、降水深度要求等确定。

(1) 平面布置:根据基坑(槽)形状,轻型井点可采用单排布置,如图1-22(a)所示;双排布置,如图1-22(b)所示;环形布置,如图1-22(c)所示,当土方施工机械需进出基坑时,也可采用U形布置,如图1-22(d)所示。

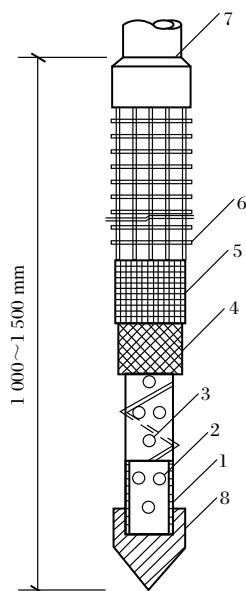


图 1-21 滤管构造

- 1—钢管; 2—管壁小孔; 3—缠绕的塑料管;
4—细网; 5—粗滤网; 6—粗铁丝保护网;
7—井点管; 8—铸铁头

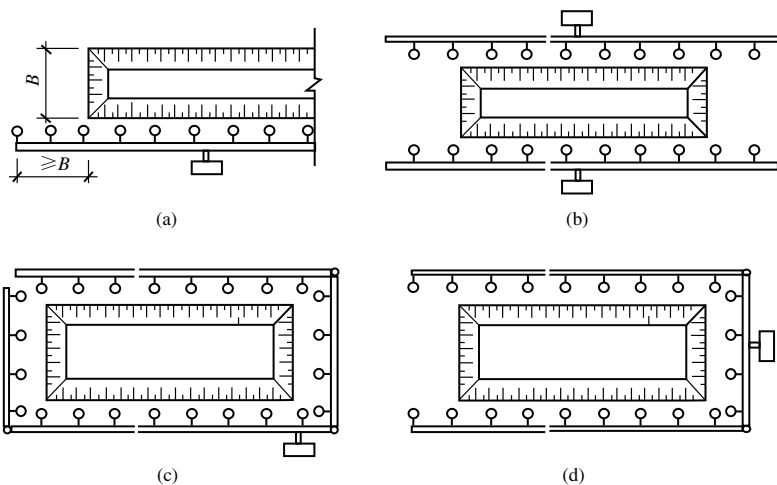


图 1-22 井点的平面布置

- (a) 单排布置; (b) 双排布置; (c) 环形布置; (d) U形布置

单排布置适用于基坑、槽宽度小于6 m,且降水深度不超过5 m的情况,井点管应布置在地下水的上游一侧,两端的延伸长度不宜小于坑槽的宽度。

双排布置适用于基坑宽度大于6 m或土质不良的情况。

环形布置适用于大面积基坑,如采用U形布置,则井点管不封闭的一段应在地下水的下游方向。

(2) 高程布置:确定井点管埋深,即滤管上口至总管理设面的距离 H ,主要考虑降低后的水位应控制在基坑底面标高以下,保证坑底干燥。可按下式计算(图1-23):

$$H \geq H_1 + h + iL \quad (1-8)$$

式中 H_1 ——井点管埋设面至坑底面的距离, m;

h ——降低后的地下水位至基坑中心底面的距离, 一般为 0.5~1 m;

i ——水力坡度, 双排和环形井点为 1/10, 单排井点为 1/4;

L ——井点管至基坑中心的水平距离; 在单排井点中为井点管至基坑另一侧的水平距离, m。

如 H 值小于降水深度 6 m, 则可用一级井点; 如 H 值稍大于 6 m, 如降低井点管的埋置面后, 可满足降水深度要求时, 仍可采用一级井点; 当一级井点达不到降水深度要求时, 则可采用二级井点 (图 1-24) 或喷射井点。

此外, 在确定井点管埋置深度时, 还要考虑井点管露出地面 0.2~0.3 m, 滤管必须埋在透水层内。

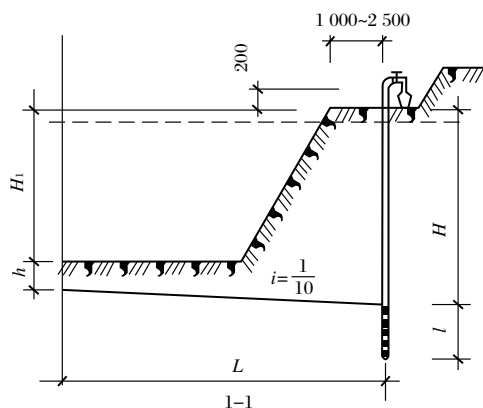


图 1-23 井点高程布置计算

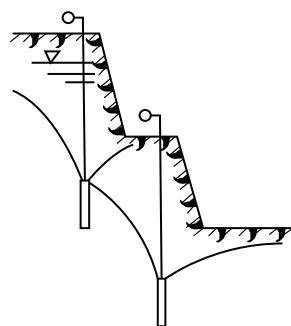


图 1-24 二级井点

3) 轻型井点计算

轻型井点计算的目的是求出在规定的水位降低深度时, 每昼夜抽取的地下水流量, 即涌水量; 确定井管数量和间距, 并选择设备。

井点系统的涌水量是以水井理论进行计算的。根据地下水有无压力, 水井分为无压井和承压井。当滤管处于两不透水层之间, 地下水表面有一定水压时, 称为承压井; 否则, 称为无压井。井底达到不透水层顶面时的井称为完整井; 否则, 称为不完整井 (图 1-25)。

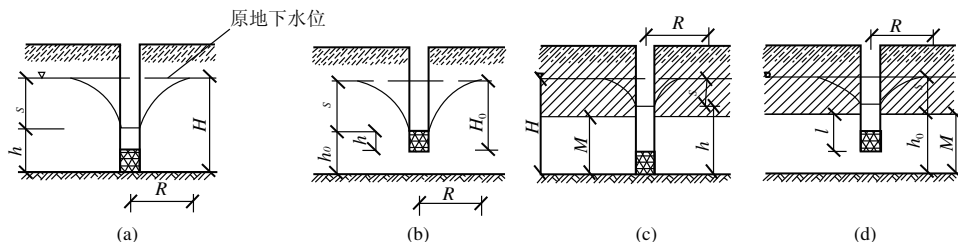


图 1-25 水井的分类

(a) 无压完整井; (b) 无压不完整井; (c) 承压完整井; (d) 承压不完整井

水井类型不同, 其涌水量的计算亦不相同, 而无压完整井的计算最为完善。完整井抽水时水位降落曲线如图 1-26 所示。经过一定时间的抽水后, 其水位降落曲线趋于稳定, 呈漏斗状曲面, 水井轴线距漏斗边缘的水平距离, 称之为抽水半径 R 。

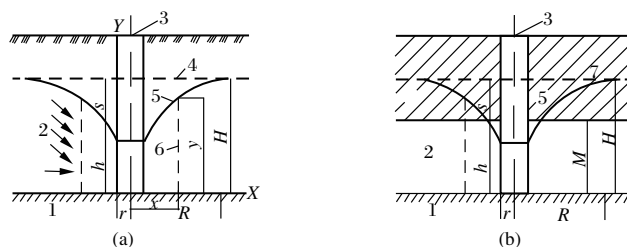


图 1-26 完整井水位降落曲线

(a) 无压完整井; (b) 承压完整井

1—不透水层; 2—透水层; 3—水井; 4—原地下水位线;

5—水位降落曲线; 6—距井轴 x 处的过水断面; 7—压力水位线

轻型井点系统中, 各井点布置在基坑四周同时抽水, 是由许多单井所组成, 而各个单井相互之间的距离都小于抽水影响半径, 各个单井水位降落漏斗彼此相互干扰。因此, 考虑井点系统 (称为群井) 的相互作用, 其总涌水量并不等于各个单井涌水量之和, 而是比单井涌水量小, 但总的水位降低要大于单井抽水时的水位降低值。对于无压不完整井的井点系统, 地下水不仅从井侧面进入, 还要从井底进入, 其涌水量较无压完整井大。

4) 轻型井点的施工

轻型井点的安装程序是: 挖井点沟槽, 敷设集水总管, 埋设井点管, 用弯联管将井点管与总管连接, 安装抽水设备。井管的埋设一般采用水冲法, 并根据现场条件以及土层情况选择冲水管冲孔后沉入井点管, 直接利用井点管水冲下沉、套管式冲枪水冲法或振动水冲法成孔后沉入井点管等方法。冲孔过程中孔洞必须保持垂直, 孔径不应小于 300 mm, 并应上下一致。冲孔深度应比滤管底深 0.5 m 以上。井孔成型后, 应立即拔出冲管, 插入井点管, 并填满砂滤层, 以防孔壁塌土。砂滤层的填灌质量是保证轻型井点顺利工作的关键, 一般要选择干净的粗砂, 以免堵塞滤管网眼, 填灌要均匀, 并填塞至滤管顶上 1.0~1.5 m。井点管与孔壁之间填砂滤料时, 管口应有泥浆水冒出, 或向管内灌水时, 能很快下渗为合格。砂滤层填灌好后, 距地面下的 0.5~1.0 m 深度内, 应用黏土封口, 以防漏气影响抽水效果。

井点系统全部安装完毕后, 需进行试抽, 以检查有无漏气现象。一旦试抽成功, 应连续抽水, 不得停止, 直至施工进行到地下水位以上方可停止。

2. 管井和深井井点

管井井点就是沿基坑每隔一定距离设置一个管井, 每个管井单独用一台水泵不断抽水来降低地下水位。主要适用于轻型井点不易解决的含水层颗粒较粗的粗砂或卵石地层, 以及渗透系数、水量均较大且降水深度较深的潜水或承压水地区。

管井井点的主要设备有管井、吸水管和水泵 (图 1-27)。管井由井壁管和过滤网两部分组成。井管可用钢管管井、混凝土管管井和塑料管管井。钢管管井采用直径为 200~300 mm 的钢管; 过滤部分采用焊接骨架外包孔眼为 1~2 mm 的滤网, 长度为 2~3 m, 也可采用在实管上穿孔用肋垫高后缠铅丝制成。混凝土管管井内径为 400 mm, 分实管和过滤管两种, 过滤管的孔隙率为 20%~30%, 吸水管可采用直径为 50~100 mm 的钢管或胶皮管, 其下端应沉入管井抽吸时的最低水位以下, 为了启动水泵和防止在水泵运转中突然停泵而产生水倒灌, 在吸水管底部应安装逆止阀。

管井的沉入, 可采用泥浆护壁钻孔法成孔, 成孔的直径应比井管直径大 200 mm, 管

井下沉时应清孔，并保证滤网畅通。为了保证管井的出水量，防止粉细砂涌入井内，在井管与土壁间应用粗砂或砾石作为过滤层。

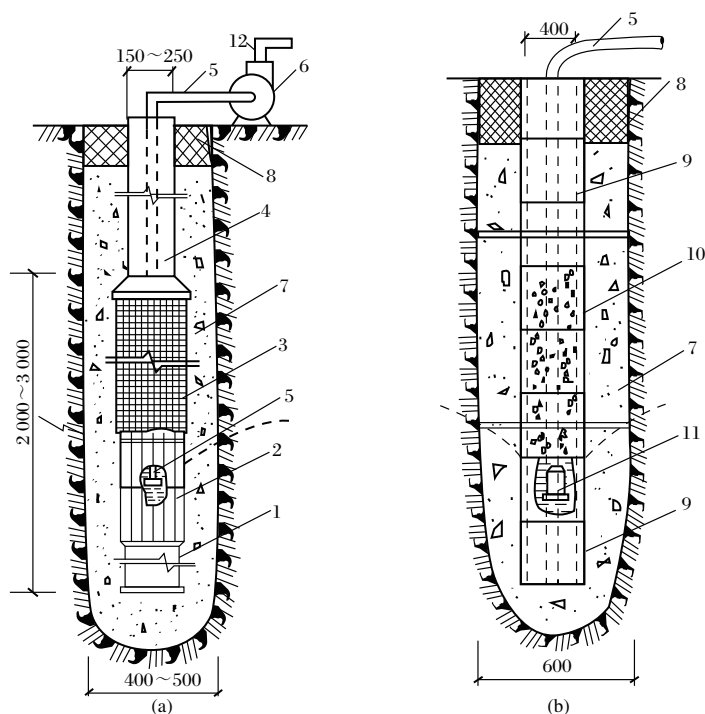


图 1-27 管井井点

(a) 钢管管井；(b) 混凝土管管井

1—沉砂管；2—钢筋焊接骨架；3—滤网；4—管身；5—吸管；6—离心泵；7—小砾石过滤层；
8—黏土封口；9—混凝土实管；10—混凝土过滤管；11—潜水泵；12—出水管

五、基坑（槽）开挖

基坑（槽）开挖有人工开挖和机械开挖，对于大型基坑，应优先考虑选用机械化施工，以加快施工进度。

土方开挖应遵循“开槽支撑，先撑后挖，分层开挖，严禁超挖”的原则。

基坑（槽）开挖时，可根据地质条件、地下水位、开挖深度、场地环境及地下管线的情况，有以下三种方式供选择：

（一）直立壁开挖

当地质条件良好、土质均匀且地下水低于基坑（槽）底面标高时，挖方边坡可以成直立壁开挖不加支撑，但深度不宜超过下列规定：

- (1) 密实、中密的砂土和碎石类土（充填物为砂土）——1.0 m；
- (2) 硬塑、可塑的粉土及粉质黏土——1.25 m；
- (3) 硬塑、可塑的黏土和碎石类土（充填物为粉黏土）——1.5 m；
- (4) 坚硬的黏土——2.0 m。

当挖方深度超过上述规定时，应考虑放坡开挖或做支护开挖。

（二）放坡开挖

放坡开挖适合于基坑四周空旷、有足够的放坡场地，以及周围没有建筑设施或地下管线的情况，在软弱地基条件下，不宜挖深过大，一般控制在6~7 m，在坚硬土中，则不受此限制。

施工中，土方放坡坡度的留设应考虑土质、开挖深度、施工工期、地下水水位、坡顶荷载及气候条件因素。当地下水水位低于基底，在湿度正常的土层中开挖基坑或管沟，如敞露时间不长，在一定限度内可挖成直壁不加支撑。土方开挖临时性挖方边坡值可参考表1-7。

表 1-7 临时性挖方边坡值

土的类别		边坡值（高：宽）
砂土（不包括细砂、粉砂）		1：1.25~1：1.5
一般性黏土	硬	1：0.75~1：1
	硬、塑	1：1~1：1.25
	软	1：1.5 或更缓
碎石类土	充填坚硬、硬塑黏性土	1：0.5~1：1
	充填砂土	1：1~1：1.5

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。

（三）基坑（槽）支护开挖

在建筑稠密地区施工，或有地下水渗入基坑（槽）时，往往不可能按要求的坡度放坡开挖，就需要进行基坑（槽）支护，以保证施工的顺利和安全，并减少对相邻建筑、管线等的不良影响。

开挖基坑（槽）时应按规定的尺寸合理确定开挖顺序和分层开挖深度，连续地进行施工，尽快地完成。因土方开挖施工要求标高、断面准确，土体应有足够的强度和稳定性，所以在开挖过程中要随时注意检查。挖出的土除预留一部分用做回填外，不得在场地内任意堆放，应把多余的土运到弃土地区，以免妨碍施工。为防止坑壁滑坡，根据土质情况及坑（槽）深度，在坑顶两边一定距离（一般为1.0 m）内不得堆放弃土，在此距离外堆土高度不得超过1.5 m；否则，应验算边坡的稳定性。在桩基周围、墙基或围墙一侧，不得堆土过高。在坑边放置有动载的机械设备时，也应根据验算结果，离开坑边较远距离，如地质条件不好，还应采取加固措施。为了防止基底土（特别是软土）受到浸水或其他原因的扰动，基坑（槽）挖好后，应立即做垫层或浇筑基础，否则，挖土时应在基底标高以上保留150~300 mm厚的土层，待基础施工时再行挖去。如用机械挖土，为防止基底土被扰动，结构被破坏，不应直接挖到坑（槽）底，应根据机械种类，在基底标高以上留出200~300 mm，待基础施工前，用人工铲平修整。挖土不得挖至基坑（槽）的设计标高以下，如个别处超挖，应用与基土相同的土料填补，并夯实到要求的密实度。如用原土填补不能达到要求的密实度时，应用碎石类土填补，并仔细夯实。重要部位如被超挖时，可用低强度等级的混凝土填补。

深基坑应采用“分层开挖，先撑后挖”的开挖方法。

深基坑开挖过程中,随着土的挖除,下层土因逐渐卸载而有可能回弹,尤其在基坑挖至设计标高后,如搁置时间过久,回弹更为显著。如弹性隆起在基坑开挖和基础工程初期发展很快,将加大建筑物的后期沉降。因此,对深基坑开挖后的土体回弹,应有适当的估计,如在勘察阶段,土样的压缩试验中应补充卸荷弹性试验等;还可以采取结构措施,在基底设置桩基等,或事先对结构下部土质进行深层地基加固。施工中减少基坑弹性隆起的一个有效方法是把土体中有效应力的改变降低到最少,具体方法有加速建造主体结构,或逐步利用基础的重量来代替被挖去土体的重量。



项目四 土方的回填与压实

一、填筑的要求

为了保证填方工程强度和稳定性方面的要求,必须正确选择填土的种类和填筑方法。填方土料应符合设计要求。碎石类土、砂土和爆破石渣,可用做表层以下的填料,当填方土料为黏土时,填筑前,应检查其含水量是否在控制范围内。含水量大的黏土不宜作为填土用。含有大量有机质的土,吸水后容易变形,承载能力降低;含水溶性硫酸盐大于5%的土,在地下水的作用下,硫酸盐会逐渐溶解消失,形成孔洞,影响土的密实性;这两种土以及淤泥、冻土、膨胀土等均不应作为填土。填土应分层进行,并尽量采用同类土填筑。如采用不同土填筑时,应将透水性较大的土层置于透水性较小的土层之下,不能将各种土混杂在一起使用,以免填方内形成水囊。

碎石类土或爆破石渣作为填料时,其最大粒径不得超过每层铺土厚度的 $2/3$,使用振动碾时,不得超过每层铺土厚度的 $3/4$,铺填时,大块料不应集中,且不得填在分段接头或填方与山坡连接处。

回填土应分层填筑,分层压实;应控制土的含水量处于最佳含水量范围之内。

二、填土压实方法

填土的压实方法一般有碾压法、夯实法和振动压实法,如图1-28所示。

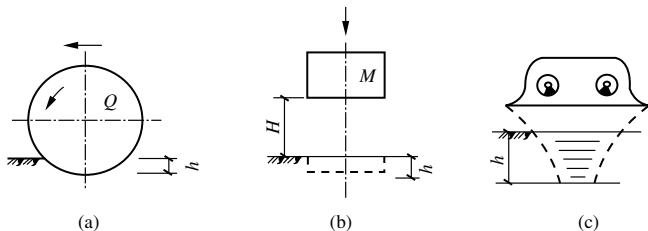


图 1-28 填土压实方法

(a) 碾压法; (b) 夯实法; (c) 振动压实法

(一) 碾压法

碾压法是利用机械滚轮的压力压实土壤,使之达到所需的密实度,此法多用于大面积填土工程。碾压机械有光面碾(压路机)、羊足碾和气胎碾。光面碾对砂土、黏性土均可压

实；羊足碾需要较大的牵引力，且只宜压实黏性土，因在砂土中使用羊足碾时土颗粒受到“羊足”较大的单位压力后会向四周移动，从而破坏土的结构；气胎碾在工作时是弹性体，其压力均匀，填土质量较好。还可利用运土机械进行碾压，也是较经济合理的压实方案，施工时，使运土机械行驶路线能大体均匀地分布在填土面积上，并达到一定重复行驶遍数，使其满足填土压实质量的要求。

碾压机械压实填方时，行驶速度不宜过快；一般平碾控制在 2 km/h，羊足碾控制在 3 km/h，否则会影响压实效果。

（二）夯实法

夯实法是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。夯实法分人工夯实和机械夯实两种。

夯实机械有夯锤、内燃夯土机和蛙式打夯机，人工夯土用的工具有木夯、石夯等。夯锤是借助起重机悬挂一重锤进行夯土的夯实机械，适用于夯实砂性土、湿陷性黄土、杂填土以及含有石块的填土。

（三）振动压实法

振动压实法是将振动压实机放在土层表面，借助振动机械使压实机械振动，土颗粒在振动力的作用下发生相对位移而达到紧密状态。这种方法用于振实非黏性土效果较好。

如果用振动碾进行碾压，可使土受振动和碾压两种作用，碾压效率高，适用于大面积填方工程。

三、填土压实的影响因素

填土压实的影响因素较多，主要有压实功、土的含水量以及每层铺土厚度。

（一）压实功的影响

填土压实后的密度与压实机械在其上所施加的功有一定的关系。当土的含水量一定，在开始压实时，土的密度急剧增加，待接近土的最大密度时，压实功虽然增加许多，而土的密度则变化甚小。实际施工中，对于砂土只需碾压或夯击 2~3 遍，对粉土只需 3~4 遍，对粉质黏土或黏土只需 5~6 遍。此外，松土不宜用重型碾压机械直接滚压，否则土层有强烈起伏现象，效率不高。如果先用轻碾压实，再用重碾压实，就会取得较好效果。

（二）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。较为干燥的土颗粒之间的摩阻力较大，因而不易压实。当含水量超过一定限度时，土颗粒之间孔隙由水填充而呈饱和状态，也不能压实。当土的含水量适当时，水起了润滑作用，土颗粒之间的摩阻力减少，压实效果好。每种土都有其最佳含水量。土在这种含水量的条件下，使用同样的压实功进行压实，所得到的密实度最大（图 1-29）。工地简单检验黏性

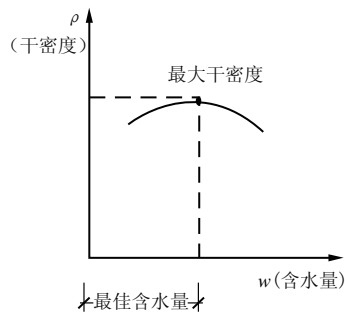


图 1-29 土的干密度与含水量关系

土含水量的方法一般是以手握成团，落地开花为适宜。为了保证填土在压实过程中处于最佳含水量状态，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。

(三) 铺土厚度的影响

土在同一压实功的作用下，其应力随深度增加而逐渐减小（图 1-30），其影响深度与压实机械、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，但其中还有最优土层厚度问题，铺得过厚，要压很多遍才能达到规定的密实度；铺得过薄，则也要增加机械的总压实遍数。最优的铺土厚度应能使土方压实而机械的功耗费最少。可按照表 1-8 选用。在表中规定压实遍数范围内，轻型压实机械取大值，重型的取小值。

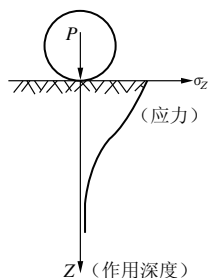


图 1-30 压实作用沿深度的变化

表 1-8 填方每层的铺土厚度和压实遍数

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

上述三方面因素之间是互相影响的。为了保证压实质量，提高压实机械的生产率，重要工程应根据土质和所选用的压实机械在施工现场进行压实试验，以确定达到规定密实度所需的压实遍数，铺土厚度及最优含水量。

四、压实质量的检验

填方应具有一定的密实度，以防建筑物不均匀沉陷。密实度的大小，常以干密度控制，填土压实后的干密度，应有 90% 以上符合设计要求，其余 10% 的最低值与设计值的差不得大于 0.08 g/cm^3 ，且应分散，不得集中于某一区域。因此，每层土压实后，必要时，均应取土检验其干密度。

检验方法常采用环刀法，取样测定土的实际干密度。其取样组数为：基坑回填每 $20 \sim 50 \text{ m}^3$ 取 1 组（每个基坑不小于 1 组），基槽或管沟回填每层按长度每 $20 \sim 50 \text{ m}$ 取 1 组；室内填土每层按 $100 \sim 500 \text{ m}^2$ 取 1 组；场地平整填土每层按 $400 \sim 900 \text{ m}^2$ 取 1 组。取样部位应在每层压实后的下半部。取样后，先称出土的湿密度并测定含水量，然后按下式计算土的实际干密度：

$$\rho_0 = \frac{\rho}{1 + 0.001W} \quad (1-9)$$

式中 ρ ——土的湿密度， g/cm^3 ；

W ——土的含水量，%。

填土密实度以设计规定的控制干密度 ρ_d 作为检验标准。即：

$$\rho_d = \lambda_c \cdot \rho_{d\max} \quad (1-10)$$

式中 λ_c ——填土的压实系数,一般场地平整为 0.9 左右,地基填土为 0.91~0.97;

ρ_d ——填土的最大干密度,可由实验室实测,或计算求得。

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 (mm)

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	场地平整		管沟	地(路)面基础层	
主控项目	1	标高	-50	±30	±50	-50	-50	水准仪
	2	分层压实系数	设计要求					按规定方法
一般项目	1	回填土料	设计要求					取样检查或直接鉴别
	2	分层厚度及含水量	设计要求					水准仪及抽样检查
	3	表面平整度	20	20	30	20	20	用靠尺或水准仪



项目五 土方工程冬、雨期施工

一、土方工程冬期施工

我国冻土的面积约占全国总面积的 68.6%。土的机械强度在冻结时大大提高,开挖冻土的费用和劳动量要比开挖一般非冻土高几倍。因此,土方工程应尽量安排在入冬之前施工,如必须进行冬期施工时,要因地制宜地制定经济和技术合理的施工方案。

(一) 冻土的概念、分类和特性

当温度低于 0℃ 且含水的各类土称为冻土。根据冻融时间的长短,可将冻土划分为以下两类:

(1) 季节性冻土:受季节影响冬天冻结,夏天融化,呈周期性冻结和融化的土。主要分布在东北和华北地区。

(2) 永冻土:冻结状态持续多年或永久不融的土。主要分布在大小兴安岭、青藏高原和西北高山地区。

冻结与融化是季节性冻土和永冻土地区的重要特征。在季节性冻土地区,一般将年复一年的冬天冻结,夏天融化的土层称为季节性冻结层。其土层的厚度叫冻结深度,一年中的最大值称为最大冻深。

地基土冻结后,体积比冻前增大的现象称为冻胀。通常用冻胀量、冻胀率表示冻胀的大小。

土的冻胀量反映了土冻结后平均体积的增量,用下式进行计算:

$$\Delta V = V_i - V_o \quad (1-11)$$

式中 ΔV ——冻胀量(平均体积增量, cm^3);

V_i ——冻后土的体积, cm^3 ;

V_o ——冻前土的体积, cm^3 。

土的冻胀率反映了土体冻胀后体积增大的百分率，用 K_a 表示：

$$K_a = \frac{(V_i - V_o)}{V_o} \times 100\% = \frac{\Delta V}{V_o} \times 100\% \quad (1-12)$$

按季节性冻土地基冻胀量的大小及其对建筑物的危害程度，将地基土的冻胀性分为以下四类：

- (1) I类不冻胀：一般冻胀率小于1%，对敏感的浅基础也无任何危害。
- (2) II类弱冻胀：一般冻胀率在1%~3.5%之间，对浅基础的建筑物无危害，在最不利的条件下可能产生细小的裂缝，但不影响建筑物使用的安全。
- (3) III类冻胀：一般冻胀率在3.5%~6%之间，浅埋基础的建筑物将产生裂缝。
- (4) IV类强冻胀：一般冻胀率大于6%，浅埋基础的建筑物将产生严重破坏。

在永冻土地区，冬天冻结，夏天融化的土层叫季节性融化层。季节性融化层的厚度叫融化深度。

(二) 土方的防冻

为了减少冬期挖土困难，如有大量土方开挖，则应在冬期前就采取措施进行防冻。土的防冻应尽量利用自然条件，以就地取材为原则，防冻的主要方法有：

(1) 翻松耙平防冻法。进入冬期施工前，在准备施工的部位将表层土翻松耙平，其深度宜为25~30 cm，宽度宜为开挖时间土冻结深度的两倍加基槽底宽之和。经翻松的土壤中，有许多充满空气的空隙，可降低土的导热性，起到保温作用，如图1-31所示。此方法适用于大面积的土方工程。

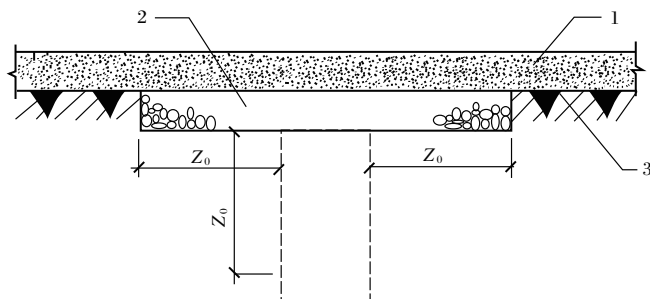


图 1-31 翻松耙平防冻法

1—覆雪厚度；2—翻松土层厚度；3—自然地面； Z_0 —最大冻结深度

(2) 雪覆盖防冻法。在初冬降雪量较大的土方工程施工地区，宜采用雪覆盖法，如场地面积较大，可在地面上设篱笆或雪堤，或用其他材料堆积成墙，高度宜为50~100 cm，间距宜为10~15 m，并应与主导风向垂直。对面积较小的基槽，可在预定的位置上挖积雪沟，深度宜为30~50 cm，宽度为基槽预计深度的两倍加基槽底宽之和，并随即用雪填满，如图1-32、图1-33所示。

(3) 保温材料防冻法。对于开挖面积较小的基槽，宜采用保温材料覆盖法，保温材料可用草帘、炉渣、膨胀珍珠岩（可装入袋内使用）等，再加盖一层塑料布。保温材料的铺设深度亦为待挖基坑宽度的两倍加基槽底宽之和，如图1-34、图1-35所示。

(4) 暖棚法。在已挖好的基槽上搭设骨架铺上基层，覆盖保温材料，也可搭设塑料大棚，在棚内采取供暖措施，主要适用于基础或地下工程，如图1-36所示。

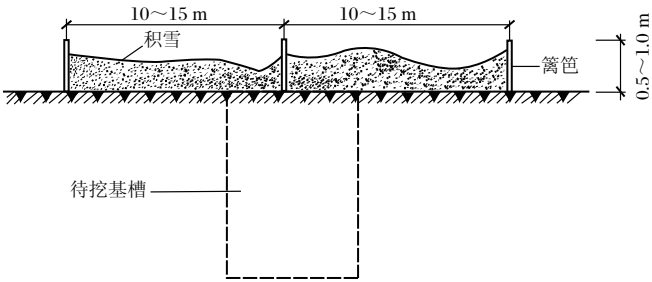


图 1-32 雪覆盖防冻法

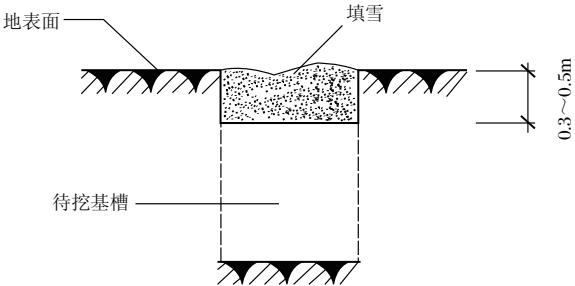


图 1-33 挖沟填雪防冻法

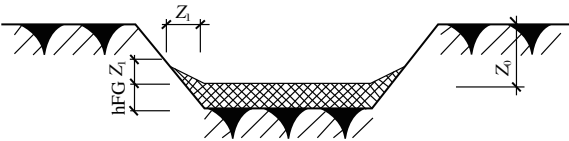


图 1-34 开挖基坑保温法

hFG — 覆盖材料； Z_0 —最大冻结深度； Z_1 —覆盖材料距边缘距离（取 $1/3 Z_0$ ）

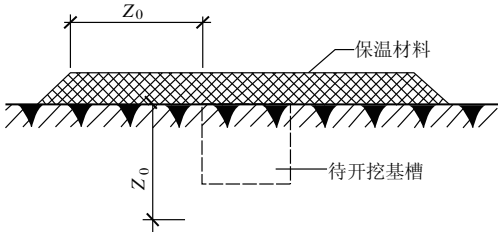


图 1-35 未挖基坑保温法

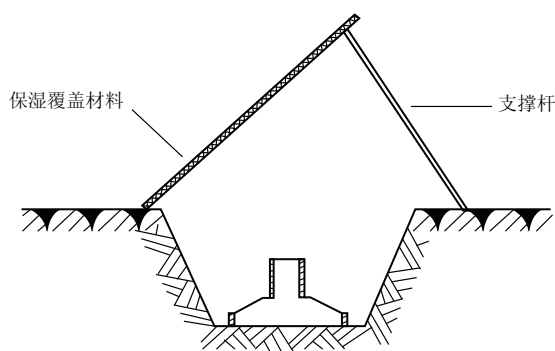


图 1-36 暖棚法

(三) 冻土的开挖

土已冻结时，比较经济的土方施工方法是先破碎冻土，然后挖掘，一般有人工法、机械法、爆破法三种。现主要介绍机械法，机械挖掘冻土可根据冻土的厚度选用推土机松动，挖掘机开挖或重锤冲击破碎冻土等方法，其设备可按表 1-10 选用。

表 1-10 冻土挖掘设备选用表

冻土厚度 (cm)	选用机械
<50	铲运机、推土机、挖掘机
50~100	推土机 (大功率)、挖掘机、松土机
100~150	重锤

当采用重锤冲击破碎冻土时，重锤可为铸铁楔形或球形，重量宜为 2~3 t。

土方开挖过程中应注意以下几点：

(1) 必须有周密计划，组织强有力的施工队伍，连续施工，尽可能减少继续加深冻结深度。

(2) 挖完一段，覆盖一段，以防已挖完的基土冻结。如果基坑开挖后需要停歇较长时间才能进行基础施工，则应注意基坑不要一次挖到设计标高，应在地基上留一层土（约 30 cm 厚）暂不铲除。

(3) 对各种管道、机械设备等，应采取保温措施。

(4) 如果相邻建筑物与基坑周边距离较近，应对地基土的冻胀性进行准确的评价，如果地基土不具有冻胀性，可按正常基坑进行支护；如果地基土冻胀性较强，且基坑开挖有可能造成相邻建筑物基底土冻结，则应在基坑开挖后采取可靠的保温防冻措施。

(四) 土方的回填

由于土冻结后即成为坚硬的土块，在回填过程中不能压实或夯实，土解冻后会造成下沉，所以，土方回填时，应严格按照规范要求施工。

冬期土方回填时，每层铺土厚度应比常温施工时减少 20%~25%，室内的基槽或管沟不得采用含有冻土块的土回填。回填土施工应连续进行并夯实，当采用人工夯实时，每层铺土厚度不得超过 20 cm，夯实厚度宜为 10~15 cm。

室外的基槽或管沟可采用含有冻土块的土回填，但冻土块粒径不得大于 15 cm，含量不得超过 15%，且应分布均匀，管沟底以上 50 cm 范围内不得用含有冻土块的土回填。

冬期填方的高度不宜超过表 1-11 的规定。

表 1-11 冬期填方的高度

室外日平均气温 (°C)	填方高度 (m)
-5~-10	4.5
-12~-15	3.5
-16~-20	2.5

土方回填时,应注意以下问题:

- (1) 在施工前,将未冻的土堆积在一起,覆盖 2~3 层草帘防止受冻,留做回填土用。
- (2) 土方回填时,要注意施工的连续性,加快回填速度,对已回填的土方采取防冻措施。
- (3) 土方回填前,应先将基底的冰雪和保温材料打扫干净,方可开始回填。
- (4) 冬期施工应尽量减少回填土方量,其余的土可待春暖解冻后再回填。
- (5) 为确保回填土质量,对重大工程项目,必要时,可用砂土进行回填。注意:不得将砂土回填在黏土等渗透性小的土层上,以免回填的砂土在一定条件下液化。

二、土方工程雨期施工

土方工程在雨季施工中一旦遇到大雨,基槽被雨水浸泡,不仅影响地基土质量,而且拖延工期,增加施工费用,还带来了很大的麻烦,因此,土方工程宜避开雨季。如果确实无法避开时,则应采取以下措施:

(一) 土方的开挖

(1) 基坑开挖前,首先在挖土范围外先挖好挡水沟,沟边做土堤,防止雨水流入坑内,如图 1-37 所示。

(2) 为防止基坑被雨水浸泡,开挖后应在坑内做好排水沟、集水井。

(3) 土方边坡坡度留设应适当缓一些,如果施工现场无法满足,则可设置支撑或采取边坡加固等措施。在施工中应随时注意边坡稳定,加强对边坡和支撑的检查。

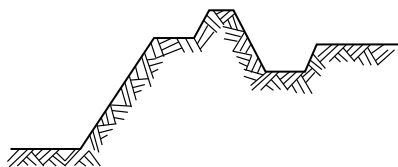


图 1-37 挡水沟

(4) 土方工程施工时,工作面不宜过大,宜分段作业。可先预留 20~30 cm 不挖,待大部分基槽已挖到距基底 20~30 cm 时,再采用人工挖土清槽。

(5) 土方施工过程中,应尽可能减小基坑边坡荷载,不得堆积过多的材料、土方,施工机械作业时尽量远离基坑的边缘。

(6) 土方开挖完后,应抓紧进行基础垫层的施工,基础施工完后,应立即进行土方回填。

(二) 土方的回填

(1) 雨季施工中,回填料应及时采取覆盖措施,保证土方的含水量符合要求。

(2) 若采取措施后,土方含水量仍偏大,应晾一段时间,待含水量符合要求后再进行回填,严格防止形成橡皮土。若工期很紧,要求必须立即回填,则应由建设单位、监理单位、

施工单位共同协商后进一步采取其他措施，如用灰土回填等。土的密实度必须满足要求。



项目六 土方工程常见质量事故及处理

一、场地积水

现象：当施工现场场地平整后，局部或大面积出现积水现象。

原因：

(1) 挖方时，由于测量错误，造成场地表面不平；未注意形成一定的排水坡度，或没有挖排水沟；

(2) 填方时，未分层回填压实，密实度不够，遇到雨水时产生不均匀下沉。

预防：平整场地前，采取先地下、后地上，做好排水设施，使平整的场地排水通畅；一定要压实回填土，务求密实度大于等于 85%，避免压而不实；做好测量工作，杜绝标高出现差错。

根治：立即疏通排水设施，将积水排除；加大排水坡度；对低洼部位，填土找平，夯实至不再积水为止。

二、填方出现翻浆

现象：翻浆，又叫橡皮土，特点是彼处受压，此处鼓起。填土受夯（压）时，基土出现受压处下陷而四周鼓起，形成软塑状态，而体积并没有压缩。这种地基土承载力低，变形大，长期不能稳定下来。

原因：

(1) 填土下面的腐殖土、淤泥等原状土未清除；

(2) 由于在填土时，扰动了原状土，使其土颗粒之间的毛细孔遭到破坏，土中的水分不易蒸发出去；

(3) 经过夯压之后，其表面形成一层硬壳，更加阻止其水分蒸发。

预防：

(1) 避免在腐殖土、淤泥等原状土上回填土；如果由于位置受控制而避不开时，也要将腐殖土、淤泥等软弱土层清除之后再回填土；

(2) 控制新的回填土的含水量；

(3) 做好填土范围的排水设施，以排除地表水。

根治：

(1) 用石灰渣和干土即 2：8 灰土或 3：7 灰土以及碎砖掺入翻浆土中，吸收土中的水分，以降低土中的含水量。

(2) 如基土翻浆严重，就将翻浆土挖除，换填 3：7 灰土，并级配砂、石夯（压）实。

三、边坡塌方

边坡塌方分两种情况：填方边坡塌方、挖方边坡塌方。

现象：填方边坡滑塌会造成坡脚处的土方堆积；挖方边坡塌方是由于基土受到扰动，

承载力降低,造成边坡土方局部或大面积滑塌,危及建筑物的安全或影响公路路基的稳定。

原因:

填方边坡塌方的原因:

- (1) 边坡基底的杂草、淤泥未清除干净;
- (2) 原陡坡与新填土未形成阶梯形搭接;
- (3) 边坡未分层夯实,密实度不够;
- (4) 护坡措施不力,未能阻止雨水的渗入和冲刷。

挖方边坡塌方的原因:

- (1) 放坡不够;
- (2) 未采取有效措施,及时排除地表水和地下水;
- (3) 边坡顶堆放重物或受外力振动的影响,增大了边坡土体的剪应力,使土体失去稳定。

预防:

- (1) 根据开挖深度和土的种类按规定进行放坡,一般为 $1:1 \sim 1:1.5$;
- (2) 若不允許放坡,则进行可靠的支护;
- (3) 坡顶堆物要离开边坡边缘 0.8 m 以外,堆物的高度也不能超过 1.5 m 。

根治方法:

(1) 对填方边坡塌方的根治方法有:清除塌方上部的松土,用 $3:7$ 灰土分层回填夯实修复;做好排水和表面防护。

(2) 对挖方边坡塌方的根治方法有:将坡度改缓;做好表面防护;如不能放坡,则加临时支护,如支撑、护墙、挡土墙等;清除塌方,用块石填砌或回填 $2:8$ 、 $3:7$ 灰土嵌补,并与原状土做阶梯形搭接。



习 题

一、单项选择题

1. 基坑周边严禁 ()。
A. 设排水沟 B. 超堆荷载 C. 放坡 D. 与已有建筑相邻
2. 以下土料不能用作填方的是 ()。
A. 碎石土 B. 耕土
C. 有机质含量小于 58% 的土 D. 膨胀土
3. 在填方工程中,以下说法正确的是 ()。
A. 必须采用同类土填筑 B. 应由下至上分层铺填一次碾压
C. 当天填土,当天压实 D. 基础墙两侧或四周应分别填筑
4. 土方的开挖顺序、方法必须与设计工况相一致,并遵循开槽支撑 (), 严禁超挖的原则。
A. 先撑后挖,分层开挖 B. 先挖后撑,分层开挖
C. 先撑后挖,分段开挖 D. 先挖后撑,分段开挖

- 5.正铲挖土机开挖特点为 ()。
 - A.前进向上,侧向切土
 - B.正向挖土,侧向卸土
 - C.前进向上,强制切土
 - D.正向挖土,强制卸土
- 6.正铲挖土机适用于开挖 ()。
 - A.停机面以下的一~三类土
 - B.停机面以上的一~四类土
 - C.较深,较大的基坑
 - D.含水率大或地下水位较高的土方
- 7.以下施工方法适合于反铲挖土机的是 ()。
 - A.分段开挖法
 - B.上下轮换开挖法
 - C.中心开挖法
 - D.多层接力开挖法
- 8.拉铲挖土机的挖土特点是 ()。
 - A.前进向上,强制切土
 - B.前进向上,自重切土
 - C.后退向下,自重切土
 - D.后退向下,强制切土
- 9.当沟槽宽大于 6 m 或土质不良时,轻型井点降水平面可采用 () 布置。
 - A.U 形
 - B.双形
 - C.环形
 - D.单形
- 10.以下挡土结构中,无止水作用的是 ()。
 - A.地下连续墙
 - B.H 型钢桩加横挡板
 - C.密排桩间注浆桩
 - D.深层搅拌水泥土墙

二、填空题

- 1.土的可松性系数均 _____,且可松性系数越 _____,土越硬。
- 2.在建筑施工中,根据土的 _____ 将土分为松软土等八类。
- 3.场地平整土方量计算通常采用 _____ 法。
- 4.人工降低地下水位一般有两种方法,即 _____ 和 _____。
- 5.轻型井点平面布置可采用 _____、_____ 和 _____ 三种方法。
- 6.土方边坡可以做成 _____ 形、_____ 形和 _____ 形。
- 7.在地下水位以下挖土,应将水位降至基底标高以下 _____ m 方可施工。
- 8.填土压实质量的主要影响因素为 _____、_____ 及 _____。
- 9.反铲挖土机有两种挖土方式,即 _____ 和 _____。
- 10.填土压实方法主要有 _____、_____ 和 _____ 三种。

三、简答题

- 1.试述土的可松性及其对土方施工的影响。
- 2.试述土的基本工程性质、土的工程分类及其对土方施工的影响。
- 3.土方调配应遵循哪些原则?调配区如何划分?
- 4.分析流砂形成的原因以及防治流砂的途径和方法。
- 5.试述选择土方机械的要点。如何确定土方机械和运输工具的数量?
- 6.填土压实有哪几种方法?各有什么特点?影响填土压实的主要因素有哪些?怎样检查填土压实的质量?
- 7.试述土的最佳含水量的概念。土的含水量和控制干密度对填土质量有何影响?

四、计算题

1.某基坑底长 85 m、宽 60 m、深 8 m，四边放坡，边坡坡度 1:0.5。

(1) 试计算土方开挖工程量。

(2) 若混凝土基础和地下室占有体积为 21 000 m³，则应预留多少回填土（以自然状态土体积计）？

(3) 若多余土方外运，则外运土方（以自然状态的土体积计）为多少？

(4) 如果用斗容量为 3.5 m³ 的汽车外运，需运多少车？（已知土的最初可松性系数 $K_s=1.14$ ，最终可松性系数 $K_s'=1.05$ ）。

2.某基坑底面积为 22×34 m，基坑深 4.8 m，地下水位在地面下 1.2 m，天然地面以下 1.0 m 为杂填土，不透水层在地面下 11 m，中间均为细砂土，地下水为无压水，渗透系数 $K=15$ m/d，四边放坡，基坑边坡坡度为 1:0.5。现有井点管长 6 m，直径 38 mm，滤管长 1.0 m，现准备采用环形轻型井点降低地下水位。

(1) 绘制轻型井点的平面和高程布置。

(2) 计算涌水量、井点管数量和间距。

(3) 若一车可以装 3 m³ 土，弃土用车运多少次运完？