



普通高等教育“十二五”规划教材

电力工程施工技术

侯学良 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电力工程施工技术

侯学良 编
卢梅 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书是为电力系统高等院校工程管理专业的学生编写的一本专业教材。本书结合电力工程项目的特点,将电力工程项目中所涉及的常规性施工技术专业知识分为十三个章节,主要介绍了电力工程中的土方工程、爆破工程、地基工程、钢筋混凝土工程、钢结构工程、结构吊装工程、砌体工程、装饰工程及防水工程等实用性施工技术,以及电气工程中的电缆铺设工程、电缆接头、电力电缆试验及电气设备安装工程等方面的施工技术与工艺。这十三章知识既是学生今后从事电力工程项目管理需要掌握的专业基础知识,也是当前电气工程项目中最常用的施工技术。

本教材可作为电力类高等院校工程管理专业施工技术课程的专业教材,也可作为工程项目管理专业的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程施工技术 / 侯学良编. —北京: 中国电力出版社,
2011. 12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2458 - 9

I. ①电… II. ①侯… III. ①电力工程—工程施工—高等学校—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 258608 号

中国电力出版社出版、发行

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

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 2 月第一版 2012 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 327 千字

定价 24.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

电力工程施工技术是一门理论与实践紧密结合的专业课程，也是集材料、设备、机具、工艺、方法和管理为一体的综合性应用技术。该课程涉及内容多、应用范围广、实用性强，因而成为工程管理专业学生的必修课。学习本门课程的目的是使学生熟悉工程施工过程中所涉及的基本材料、工具、设备、管理手段和模式，了解和掌握现代工程项目实施过程中最主要、最基本的施工技术与方法，并在此基础上能够运用所学知识对工程项目进行组织与管理。

为达到这一目的，本教材基于电力工程施工技术教学大纲和学时的安排，将电力工程项目中所涉及的常规性施工技术专业知识分为十三个章节。第一章为土方工程，主要介绍了土方工程的开挖、回填与压实技术。第二章为爆破工程，简要介绍了一些常用的工程爆破方法与安全知识。第三章为地基工程，主要介绍了土基、岩基及若干特殊土质的处理方法。第四章为钢筋混凝土工程，详细介绍了钢筋混凝土施工中所涉及的模板架设、钢筋加工和混凝土浇筑等方面的施工技术。第五章为钢结构工程，主要介绍了钢结构构件的连接方法和施工技术。第六章为结构吊装工程，该章节以最常见的单层工业厂房为例，介绍了吊装工程中的常用吊装机具和若干构件的吊装方法。第七至九章分别为砌体工程、装饰工程与防水工程，简要介绍了砌体、抹灰、装饰、防水等常规实用技术在工程施工中的具体操作方法与工艺流程。第十章为电缆铺设工程，主要介绍了电气工程中的电缆铺设方法与施工技术；第十一和十二章为电缆接头与电力电缆试验，详细阐述了电缆的连接、绝缘、密封与试验方法；第十三章为电气设备安装工程，分别介绍了配电柜、变压器、熔断器、交流接触器、继电器等多种常用电器的安装方法。这十三章知识既是从事电力工程项目管理需要掌握的专业基础知识，也是当前电气工程项目中最常用的施工技术。因此，本书有助于电力工程管理专业的学生较为全面地了解 and 掌握电力工程的有关施工技术与方法。

在本书的编写过程中，作者参阅和借鉴了国内较多的相关教材与专著。更重要的是，本书的编写得到了华北电力大学工程管理专业在校学生的的大力支持，他们以极高的热情参与了本书的编写，并通过三届学生的反复使用与教师的不断交流，从学生如何更好地了解 and 掌握这一专业知识的角度提出了很多宝贵建议，因此，本书可以说是一部教师与学生共同编写的专业教材。从这一视角来看，本书为今后如何使教材更好地满足学生的学习需求、更好地为学生服务提供了一个良好的范例，也为编者今后编写出更符合学生学习需求的书籍提供了宝贵的经验。值此书出版之际，对这些教材和著作的作者及参编此书的学生表示衷心的感谢。本书由西安建筑科技大学卢梅教授主审并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。同时，鉴于本书作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者予以指正，以便在今后的再版中予以修正和完善。

编 者

2011年7月

目 录

前言

第一章 土方工程	1
第一节 土方的工程性质	1
第二节 土方工程量计算	3
第三节 土方工程开挖	4
第四节 土方边坡与土壁支撑	7
第五节 土方的回填与压实	12
第二章 爆破工程	17
第一节 爆破的概念与分类	17
第二节 爆破材料与起爆方法	22
第三节 控制爆破	26
第四节 爆破施工安全技术	29
第三章 地基工程	32
第一节 土基处理的方法	32
第二节 特殊土质的处理	44
第三节 岩基处理	47
第四节 地下水的排放	49
第四章 钢筋混凝土工程	53
第一节 模板工程	53
第二节 钢筋工程	63
第三节 混凝土工程	68
第五章 钢结构工程	81
第一节 钢结构及其材料特性	81
第二节 钢构件的连接方法	86
第三节 焊接连接	88
第四节 螺栓连接	97
第五节 混合连接	100
第六章 结构吊装工程	102
第一节 吊装机具	102
第二节 单层工业厂房结构安装工程	110
第七章 砌体工程	117
第一节 砌体材料	117
第二节 砌石工程	119
第三节 砖砌体工程	123

第四节	小型砌块砌体·····	128
第八章	装饰工程 ·····	131
第一节	抹灰工程·····	131
第二节	饰面板及幕墙工程·····	134
第三节	涂饰和裱糊工程·····	139
第四节	吊顶与隔墙·····	141
第九章	防水工程 ·····	145
第一节	屋面防水·····	145
第二节	地下防水·····	148
第三节	室内防水·····	154
第十章	电缆铺设工程 ·····	156
第一节	电缆型号及选用·····	156
第二节	电缆敷设的一般性要求·····	157
第三节	电缆的敷设方法·····	159
第十一章	电缆接头 ·····	169
第一节	电缆线芯连接·····	169
第二节	电缆接头的绝缘与密封·····	170
第三节	中间接头的制作·····	172
第四节	电缆终端头的制作·····	175
第十二章	电力电缆试验 ·····	181
第一节	绝缘电阻试验·····	181
第二节	直流耐压及泄漏电流试验·····	183
第三节	电缆线路核相与验收·····	185
第十三章	电气设备安装工程 ·····	188
第一节	配电柜及其安装·····	188
第二节	变压器及其安装·····	191
第三节	常用低压电器安装·····	193
第四节	室内配线及其安装·····	197
附录 A	建筑工程施工质量验收统一标准·····	201
附录 B	大型起重机械安全管理规定·····	206
参考文献	·····	209

第一章 土方工程

工程开始时,一般先进行施工现场的“三通一平”(通水、通电、通路、平整场地)或“五通一平”工作,因此,土方工程就成为工程项目施工中最先开始的项目,也是整个工程项目实施的前提和基础。一般来讲,土方工程主要包括开挖前的场地平整、土方开挖、填筑和压实,但由于在土方工程的施工中,可能会出现许多不可预见的特殊情况,因此,在土方工程实施前,还需要了解和掌握施工场地土的性质、场地地下设施布置和场地以前的用途等情况,并据此来确定挖土方式、开挖机械、土方运输方式和地下水的排放等施工技术措施。

第一节 土方的工程性质

土方工程施工与工程项目的其他内容相比,一般主要有以下几个方面的特点:

- (1) 施工面积和工程量相对较大,劳动繁重。
- (2) 大多为露天作业,施工过程中易受地区气候条件的影响。
- (3) 施工作业方法和效率与地质条件紧密相关。
- (4) 不可预见情况较多。
- (5) 所耗费用占工程的比例较大。
- (6) 施工用时相对较长。

因此,为了减轻劳动强度,提高生产效率,确保工程施工安全,加快工程进度和降低工程成本,在组织土方工程施工时,应根据工程特点和周边环境,制定合理的施工方案,并尽可能采用新技术和机械化施工,为其后续工作的尽快开展提供便利。

在土方工程施工中,根据土方开挖难度,将开挖的土方分为8类17级,见表1-1。

表 1-1 土 方 分 类

土的分类	土的级别	土的名称	土的可松性系数		开挖方法及工具
			K_p	K'_p	
一类土 (松软土)	I	砂土、粉土、冲积砂土层、疏松的种植土、淤泥(泥炭)	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)	II	粉质黏土、潮湿的黄土、夹有碎石卵石的砂、粉土混卵(碎)石、种植土、填土	1.20~1.30	1.03~1.04	用锹、锄头挖掘,少许用镐翻松
三类土 (坚土)	III	软及中等密实黏土、重粉质黏土、砾石土、干黄土、含有碎石卵石的黄土、粉质黏土、压实的填土	1.14~1.28	1.02~1.05	主要用镐,少许用锹、锄头挖掘,部分用撬棍

续表

土的分类	土的级别	土的名称	土的可松性系数		开挖方法及工具
			K_P	K'_P	
四类土 (砂砾坚土)	IV	坚硬密实的黏性土或黄土、含碎石、卵石 的中等密实的黏性土或黄土、粗卵石、 天然级配砂石、软泥灰岩	1.26~1.32 (除泥灰岩、 蛋白石外)	1.06~1.09 (除泥灰岩、 蛋白石外)	整个先用镐、撬棍、 后用锹挖掘、 部分用楔子及大锤
			1.33~1.37 (泥灰岩、蛋 白石)	1.11~1.15 (泥灰岩、蛋 白石)	
五类土 (软石)	V~VI	硬质黏土、中密的页岩、泥灰岩、白垩 土、胶结不紧的砾岩、软石灰岩及贝壳石 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
六类土 (次坚石)	VII~IX	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 及正长岩			用爆破方法开 挖，部分用风镐
七类土 (坚石)	X~XIII	大理石，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，微风化安山岩，玄武岩			用爆破方法开挖
八类土 (特坚石)	XIV~XVII	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、角闪岩	1.45~1.50	1.20~1.30	用爆破方法开挖

在土方工程施工中，土方的工程性质对土方工程的施工方法及工程进度影响很大，因此，了解和掌握土方的工程性质非常重要。一般来讲，土方的工程性质主要有含水率、渗透性、可松性、密度和边坡坡度，其含义分别如下：

(1) 土的含水率是指土中水的质量与固体颗粒质量之比，以百分率表示。土的含水率常随气候条件、季节和地下水的变化而变化，它与土方工程中的地下水降低、土方边坡的稳定性及填方的密实性直接相关。

(2) 土的渗透性是指土体被水浸透后的性质。由于土体孔隙水在重力作用下会发生流动，因此当基坑开挖至地下水位以下时，地下水就会不断流入基坑。土的渗透性常用渗透系数来表示，与土的颗粒级配、密实度等因素有关，一般由实验来确定。

(3) 土的可松性是指自然状态下的土经开挖后内部组织被破坏，其体积因松散而增加，以后虽经回填压实，仍不能恢复其原来的体积的性质。土的可松性可用可松性系数来表示，其值为开挖后松散状态下的体积与原来自然状态下的体积之比。

(4) 土的密度是其单位体积的质量。土的密度越大，土体就越密实。

(5) 边坡坡度是指土坑或土槽边坡高度与边坡宽度的比值，它可代表土体自由倾斜能力的大小。

第二节 土方工程量计算

土方工程量是土方工程施工组织设计的主要数据之一，也是采用人工挖掘时组织劳动力或采用机械施工时计算机械台班和工期的主要依据之一，因此，如何计算土方工程量就成为土方工程施工管理中的重要内容之一。

一、场地平整土方工程量计算

土方开挖前要进行必要的场地平整，是将施工现场平整为满足施工布置要求的施工场地。场地平整前，应确定场地的设计标高，计算挖填土方工程量，进行挖填土方的平衡调配。场地平整土方工程量的计算，一般采用方格网法，其计算步骤如下：

- (1) 在地形图上将需要平整的施工场地划分成边长为 10~40m 的方格网。
- (2) 计算各方格角点的自然地面标高。
- (3) 确定场地设计标高，并根据泄水坡度要求计算各方格角点的设计标高。
- (4) 确定各方格角点的挖填高度。
- (5) 确定零线，即挖填方的分界线。
- (6) 计算各方格内挖填土方工程量和场地边坡土方工程量，最后求出整个场地的挖填土方工程量。

二、基坑、基槽土方工程量计算

- (1) 基坑的土方工程量 V 可近似按台体体积公式计算（见图 1-1），即

$$V = (A_1 + 4A_0 + A_2) \times H / 6 \quad (1-1)$$

式中： H 为基坑深度； A_1 、 A_2 分别为基坑上下底面积； A_0 为基坑 1/2 深处的面积。

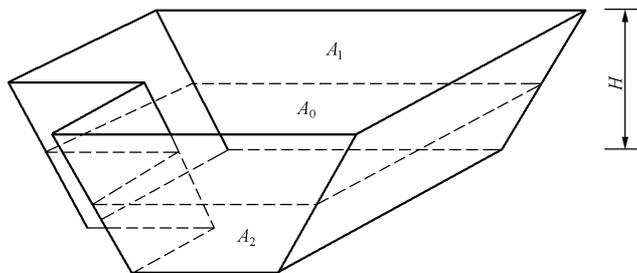


图 1-1 基坑的土方工程量计算

- (2) 基槽是一狭长沟槽，其土方工程量计算可沿其长度方向分段进行，然后相加求得总土方工程量。当基槽某段内横截面尺寸不变时，其土方工程量即为该段横截面的面积乘以该段基槽长度；当某段内横截面的尺寸、形状有变化时，可分段计算。

三、堤坝填筑土方工程量计算

堤坝工程为狭长形，工程中一般采用断面法计算，即每隔一定长度取一断面，每一段土方工程量用两端断面面积的平均值乘以段长即可，各段土方工程量之和即为总土方工程量。

在土方工程量的计算过程中，土方有自然方、松方、压实方等几种计量方法，其换算关系见表 1-2。

表 1-2

土方工程量换算关系

项 目	自然方	松 方	压实方	项 目	自然方	松 方	压实方
土方	1	1.33	0.85	砂	1	1.07	0.94
石方	1	1.53	1.31	混合料	1	1.19	0.88

第三节 土方工程开挖

一、土方工程施工前的准备

在土方工程施工前，应做好以下各项准备工作：

- (1) 场地清理。包括拆除施工区域内的房屋、树木、设备、管道和其他构筑物等。
- (2) 地面水排除。如果施工场地内有积水，则会给施工带来一定的影响，故地面水和雨水均应及时排走，使得场地内保持干燥。地面水一般多采用排水沟、截水沟和挡水坎等排除。临时排水设施应尽可能与永久性排水设施相结合。
- (3) 修好临时设施及供水、供电、供压缩空气等管线，并试水、试电、试气，搭设必要的临时工棚。
- (4) 修建运输道路。修筑场地内机械运行的道路，路面宜为双车道，宽度不小于 7m，道路两侧应设排水沟。

(5) 做好设备维修准备。对进场作业的土方机械、运输车辆及各种辅助设备应进行维修检查和试运转，确保工程的正常进行。

(6) 编制施工组织设计方案。主要是确定基坑（槽）的降水方案，确定挖、填土方工程量和基坑边坡处理方法，并进行土方开挖机械的选择及组织，选择回填土料和回填方法等。

二、土方开挖机械

土方开挖过程中，常用的机械一般有推土机、铲运机、装载机、挖掘机等机械。

(1) 推土机。推土机是一种挖运综合作业机械，是在拖拉机上装上推土铲刀后改装而成的，如图 1-2 所示。

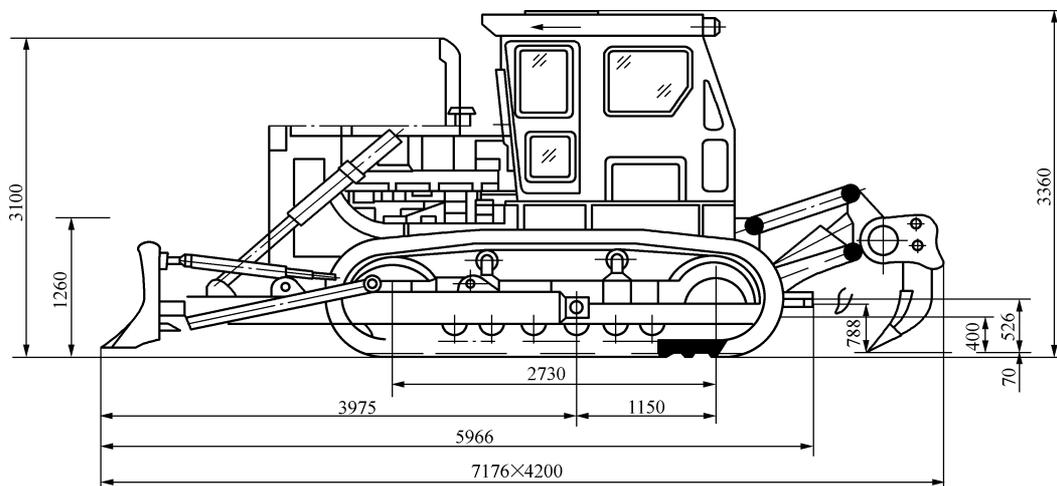


图 1-2 液压式推土机

推土机按推土板的操作方式不同,可分为索式和液压式两种。索式推土机的铲刀是借推土板自重切入土中的,切入的深度较小。液压式推土机能强制切土,推土板的切土角度可以调整,切入深度较大。因此,液压式推土机是目前工程中常用的一种推土机。

推土机构造简单,操作灵活,运转方便,所需作业面小,功率大,能爬 30° 左右的缓坡,适用于施工场地清理和平整,可开挖深度不超过1.5m的基坑及沟槽的回填,还可堆筑高度在1.5m以内的路基、堤坝等。若在推土机后面安装上松土装置,则可破松硬土和冻土,还可牵引无动力的土方机械(如拖式铲运机、羊脚碾等)进行其他土方作业。推土机的推运距离宜在100m以内,当推运距离在30~60m时,经济效益最好。一般来讲,提高推土机生产效率的方法有以下几种:

1) 下坡推土。借推土机自重,增大铲刀的切土深度和运土数量,以提高推土能力和缩短运土时间,这种方法一般可提高效率 $30\% \sim 40\%$ 。

2) 并列推土。对于大面积土方工程,可用2~3台推土机并列推土。推土时,两铲刀相距15~30cm,以减少土的侧向散失;倒车时,分别按先后顺序退回。平均运距不超过50~75m时,效率最高。

3) 沟槽推土。当运距较远、挖土层较厚时,利用前次推土形成的槽推土,可大大减少土方散失,从而提高效率。此外,还可在推土板两侧附加侧板,增大推土板前的推土体积,以提高推土效率。

(2) 铲运机。按行走机构不同,铲运机有拖式和自行式两种。拖式铲运机由拖拉机牵引,工作时靠拖拉机上的操作机构进行操作。根据操作机构不同,拖式铲运机又分为索式和液压式两种。自行式铲运机的行驶和工作都靠自身的动力设备,不需要其他机械的牵引和操作,如图1-3所示。

铲运机能独立完成铲土、运土、卸土和平土作业,对行驶道路要求低,操作灵活,运转方便,生产效率高。铲运机适用于大面积场地平整,开挖大型基坑、沟槽及填筑路基、堤坝等,最适合开挖含水量不大于27%的松土和普通土,不适合在砾石层和沼泽区工作。当铲运较坚硬的土壤时,宜用推土机先翻松0.2~0.4m,以减少机械磨损,提高效率。常用铲运机的铲斗容量为 $1.5 \sim 6\text{m}^3$,拖式铲运机的运距不宜超过800m,当运距在300m左右时,效率最高。自行式铲运机经济运距为800~1500m。

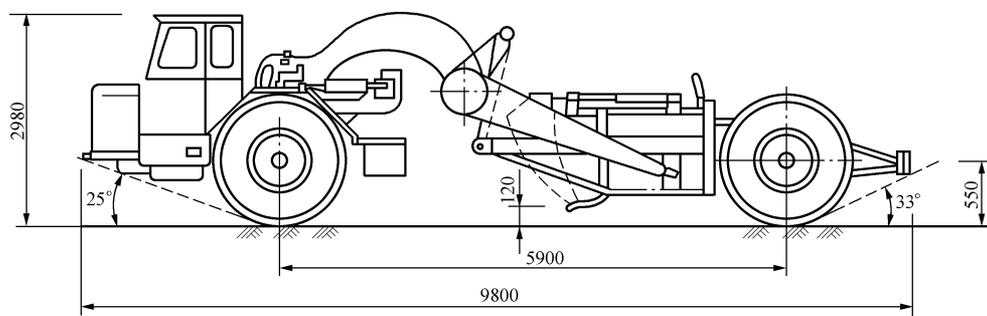


图1-3 自行式铲运机

(3) 装载机。装载机是一种高效的挖运综合作业机械,主要用途是铲取散粒材料并装上车辆,可用于装运、挖掘、平整场地和牵引车辆等;更换工作装置后,可用于抓举或起重等

作业，因此在工程中被广泛应用。

装载机按行走装置可分为轮胎式和履带式两种，按卸料方式可分为前卸式、后卸式和回转式三种，按载重量可分为小型（ $<1\text{t}$ ）、轻型（ $1\sim 3\text{t}$ ）、中型（ $4\sim 8\text{t}$ ）、重型（ $>10\text{t}$ ）四种。目前使用最多的是四轮驱动铰接转向的轮式装载机，其铲斗多为前卸式，有的兼可侧卸，如图 1-4 所示。

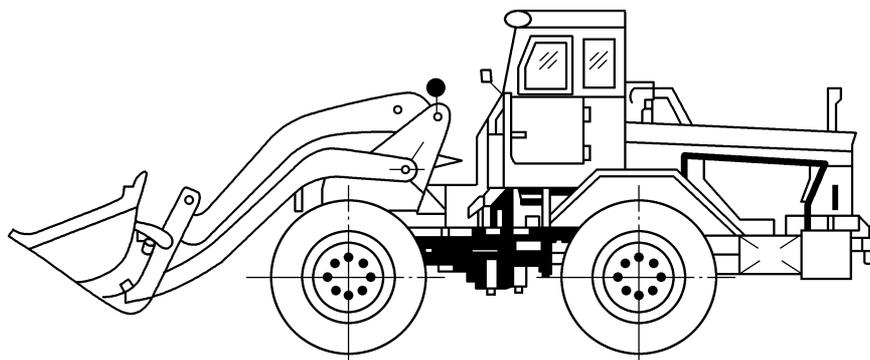


图 1-4 装载机

(4) 单斗挖掘机。单斗挖掘机是一种循环作业的施工机械，在土石方工程施工中最常见，按行走机构的不同可分为履带式和轮胎式；按传动方式不同可分为机械传动和液压传动；按工作装置不同分为正铲、反铲、拉铲和抓铲，如图 1-5 所示。

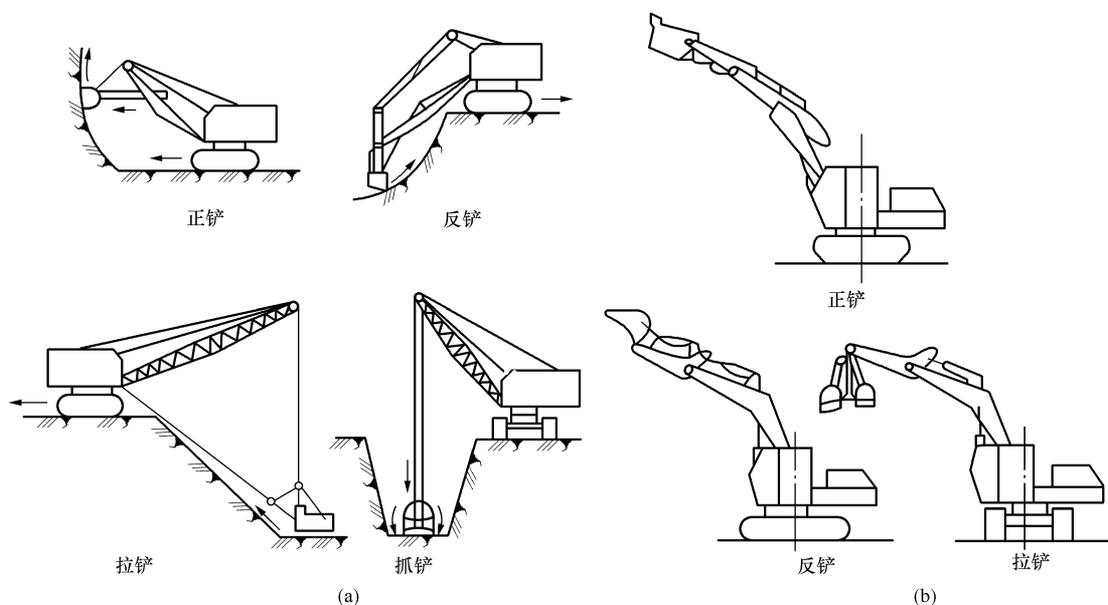


图 1-5 单斗挖掘机

(a) 机械式；(b) 液压式

三、土方运输

土方运输可分为有轨运输、无轨运输和皮带机运输。

(1) 有轨运输。有轨运输主要是通过预先铺设的轨道来输送土方。由于这种方法前期投资较多，因此仅用于土方工程量较大的场合，土方工程量一般不少于 30 万 m³，运距大于 1km；但由于其前期投资较多，有时有轨运输路基施工较难，效率较低，因此较少采用。

(2) 无轨运输。目前无轨运输多采用自卸汽车运输。这种方法机动灵活，运输线路布置受地形影响较小，但运输效率易受气候条件的影响，燃料消耗多，维修费用高。自卸汽车运输，运距一般不宜小于 300m，重车上坡最大允许坡度为 8%~10%，转弯半径不宜小于 20m。

(3) 皮带机运输。皮带机是一种连续式的运输设备。与车辆运输相比，皮带机运输具有结构简单、工作可靠、管理方便、易于实现自动控制、负荷均匀、动力装置的功率小、能耗低、运输连续、效率高等特点，如图 1-6 所示。

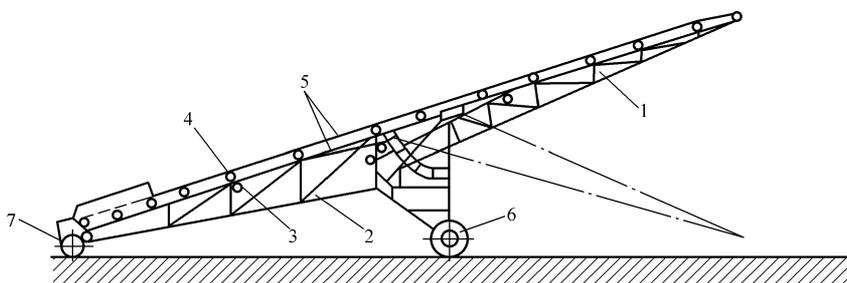
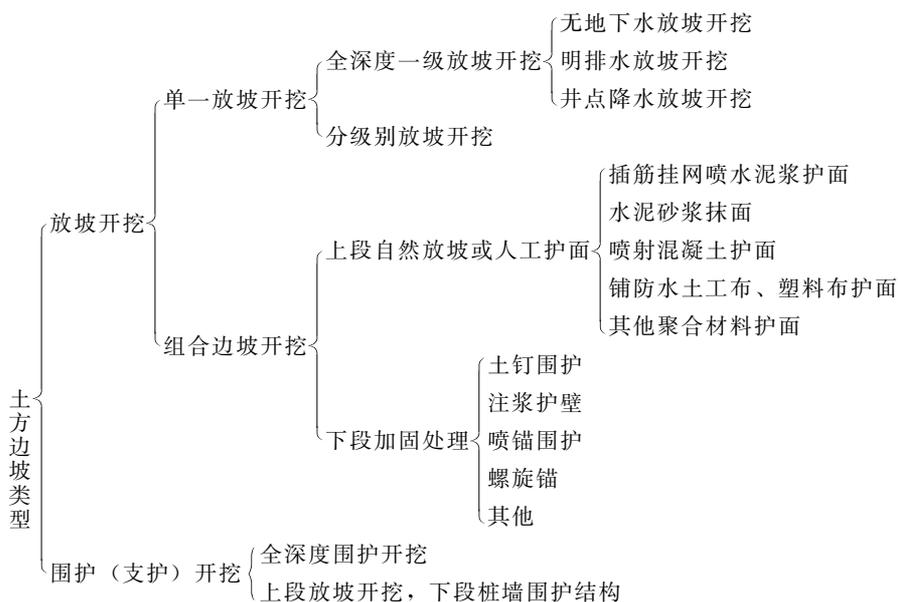


图 1-6 皮带机

1—前机架；2—后机架；3—下托辊；4—上托辊；5—皮带；6—行走轮；7—尾部导向轮

第四节 土方边坡与土壁支撑

土方开挖之前，应充分了解和掌握土体的性质，以便制定有效的开挖方式，确保开挖过程中和基础施工阶段土体的稳定。土方边坡的类型一般分为以下几种：



一、土方放坡形式

土方放坡的形式由场地土的类别、开挖深度、周围环境、技术经济的合理性等因素决定。常用的放坡形式有直线形、折线形、阶梯形和分级形，如图 1-7 所示。

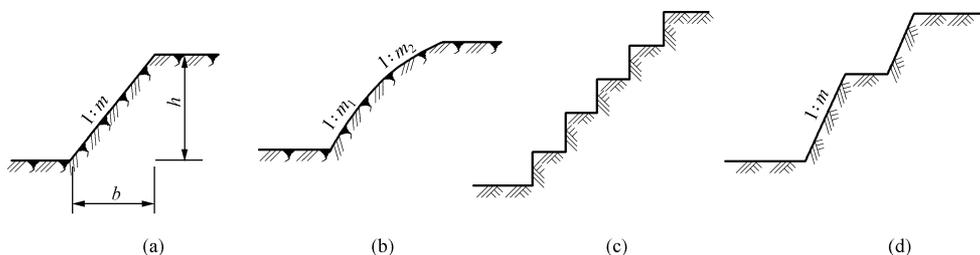


图 1-7 土方放坡形式

(a) 直线形；(b) 折线形；(c) 阶梯形；(d) 分级形

当场地为一般黏性土或粉土且基坑（槽）周围有存放土料和机具，或地下水位较低或降水、放坡不会对相邻建筑物产生不利影响且具有放坡开挖条件时，可采用局部或全深度的放坡开挖方法，开挖土质均匀可放成直线形；当土质多层且差异大时，可按各层土的性质放坡成折线形、阶梯形或分级形。

二、影响土方边坡稳定的因素

土方边坡的稳定性主要取决于土体抗剪强度的大小，而土体抗剪强度是由土体内土颗粒间的摩擦力和黏结力的大小决定的。因此，土体的抗剪强度越高，土体就越稳定。但当外界因素发生变化后，土体的抗剪强度就有可能受到影响而降低，这就有可能破坏土体原有的状态，导致土体失去稳定而塌方。造成土体抗剪强度降低的主要原因常有：雨水或施工用水使土的含水量增加，水的润滑作用使土颗粒之间的摩擦力和黏结力降低而使土体失稳；或是当土体周围堆积荷载太大时，也可能会由于荷载所产生的剪应力超过土体所能承受的抗剪强度时而产生塌方。所以，在土方施工过程中，土体的放坡不仅要考虑土体自身的性质，而且还要考虑内外因素和环境条件，以保证土方工程的施工安全。

三、放坡方法

土方工程施工过程中，放坡的方法有很多种，如有直壁支撑、土壁支撑等，但在确定具体的放坡方法时应结合实际情况确定。

1. 直壁开挖不加支撑

当土质为天然湿度、结构均匀、水文地质条件良好且无地下水时，开挖的基坑可采取不放坡、不加支撑的直壁方式。但开挖深度应满足下列规定：当土质为密实、中小密的砂土和碎石土时，开挖深度应小于 1m；当为硬塑、可塑的粉质黏土及粉土时，开挖深度应小于 1.25m；当为坚硬的黏土时开挖深度应小于 2m。对于使用时间较长的土方边坡坡度，应根据地质和山坡高度，结合当地实践经验和具体情况进行放坡，也可按表 1-3 选用。

2. 土壁支撑

在开挖沟槽时，为了减小土方量并保障施工安全或因受场地限制而不能放坡时，可设置土壁支撑体系来确保土方边坡的稳定。

土壁支撑体系由围护结构和撑锚结构组成。围护结构为垂直受力部分，主要承担土压力、水压力、边坡上的荷载，并将这些荷载传递到撑锚结构。撑锚结构为水平受力部分，除

承受围护结构传递来的荷载外，还要承受施工荷载（施工机具、堆放的材料、堆土等）和自重，所以，支撑结构是一种空间受力结构体系。

表 1-3 土方放坡参照系数

土的种类	密实度或状态	坡度容许值（高度比）	
		坡高在 5m 以下	坡高为 5~10m
碎石土	密实	1 : 0.50~1 : 0.35	1 : 0.75~1 : 0.50
	中密	1 : 0.75~1 : 0.50	1 : 1.00~1 : 0.75
	稍密	1 : 1.00~1 : 0.75	1 : 1.25~1 : 1.00
粉质黏土	坚硬	1 : 0.75	—
	硬塑	1 : 1.25~1 : 1.00	—
	可塑	1 : 1.50~1 : 1.25	—
黏性土	坚硬	1 : 1.00~1 : 0.75	1 : 1.25~1 : 1.00
	硬塑	1 : 1.25~1 : 1.00	1 : 1.50~1 : 1.25
花岗岩残积黏性土	硬塑	1 : 1.10~1 : 0.75	—
	可塑	1 : 1.25~1 : 0.85	—
杂填土	中密或密实的建筑垃圾	1 : 1.00~1 : 0.75	—
砂土	—	1 : 1.00（或自然休止角）	

(1) 围护结构的类别。围护结构根据所用材料分有木挡墙、钢板桩挡墙、钢筋混凝土板桩挡墙、H 型钢支柱挡墙、钢筋混凝土柱支柱挡墙、钻孔灌注桩挡墙、旋喷桩帷幕墙、深层搅拌水泥土挡墙和地下连续墙等，如图 1-8 所示。

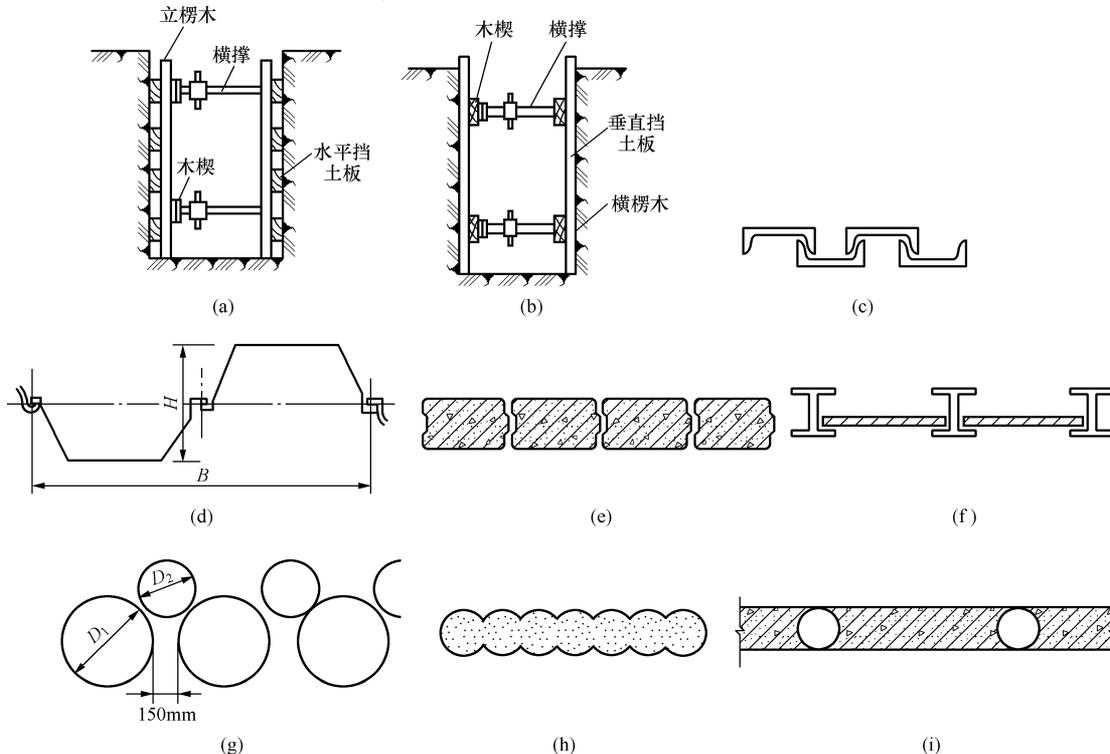


图 1-8 土壁支护体系

- (a) 水平挡墙；(b) 垂直挡墙；(c) 槽钢挡墙；(d) 锁口钢板桩挡墙；(e) 钢筋混凝土板桩挡墙；
 (f) 钢板挡墙；(g) 灌注桩挡墙；(h) 旋喷桩帷幕墙；(i) 地下连续墙

土方围护结构一般为临时结构，待建筑物或构筑物的基础施工完毕或管道埋设完后，可拆除回收，所以常采用可回收再利用的材料如木桩、钢板桩等做防护支撑体系，也使用永久埋在地下材料。但在确定时，尽可能采用费用较低的方法，如钢筋混凝土板桩挡墙、灌注桩挡墙、放喷桩帷幕墙、深层搅拌水泥土墙和地下连续墙。在较深的基坑中，也可采用地下连续墙或灌注桩挡墙，但由于其所受土压力、水压力较大，配筋较多，因此费用较高。为了充分发挥地下连续墙的强度、刚度、整体性与抗渗性，可将其作为地下结构的一部分，按永久构件进行设计。其他方法及围护结构类别的选取可参考表 1-4。

表 1-4 土方围护结构类别

支挡结构形式		截面 抗弯刚度	墙的整体性	防渗性能	施工速度	造价	适用条件
木板桩		差	差	差	快	省	沟槽开挖深度小于 5m，墙后地下无水
钢板桩	槽钢	差	差	差	快	省	开挖深度小于 4m，基坑面积不大，墙后无地下水
	锁口钢板	较好	好	好	快	较贵	开挖深度可达 8~10m，可适用多层支撑，适应性强，板桩可回收
钢筋混凝土板桩		较差	较差	较差	较快	省	开挖深度 3~5m，土质不宜太硬，配合井点降水使用
H 型钢桩（或钢筋混凝土）、木挡板墙		较差	差	差	较快	较省	适用于地下水渗流小（或井点降水疏干）较坚硬的土层
钻孔灌注桩挡墙		较好	较差	较差	较慢	较省	开挖深度 6~8m，可根据计算确定桩径（墙厚）和间距，适应性强
旋喷桩帷幕墙		较好	较好	较好	较慢	较省	适用于地下水渗流较大的场合，按计算确定桩径，并可加筋
深层搅拌水泥土挡墙		较好	较好	较好	较慢	较省	适用于软黏土，淤泥质土层，按计算确定墙厚，墙内可加筋
地下连续墙		好	好	好	慢	贵	按计算确定墙厚，适应性强

(2) 支撑体系类型。根据基坑或沟槽的开挖深度、宽度、施工方法和场地条件及有无支撑，围护结构的支撑体系可分为下列几种形式：

1) 悬臂式支撑结构 [见图 1-9 (a)]。当基坑（槽）或管沟的开挖深度不大或邻近基坑（槽）无建筑物及地下管线时，可选用此结构。但悬臂式支撑结构易产生侧向变形或稳定性破坏，所以板墙（桩）的入土深度既要满足悬臂结构的强度、抗滑移和抗倾覆的要求，又要满足构造深度的要求。一般为了增加其整体强度和稳定性，可在围护结构（挡墙）顶部增设一道梁，以增强其整体性。

2) 拉锚式支撑体系 [见图 1-9 (b)]。为减少护墙（桩）的侧向位移，增加支撑刚度和稳定性，可采用拉杆式挡墙，即当土方挖到一定深度时，用锚杆钻机在要求位置钻孔，放入锚杆，进行灌浆，待浆液达到设计强度后，装上锚具继续挖土。拉锚有单层和多层之分，这种支撑方法可使基坑（槽）或管沟的挖土深度达 6m 以上。但锚杆仅适宜在黏土层中使用，

在砂土、淤泥质土中，其锚固力不易得到保证，因而会发生围护结构倾斜破坏。

3) 内撑式支撑体系 [见图 1-9 (c)、(d)]。当围护结构为木板桩、钢板桩、钢筋混凝土板桩等各种形式时，均可通过增加内部支撑来增加开挖深度。这种方法适用于开挖深度为 3~15m 的土方工程。内撑多采用钢结构形式，形成整体空间刚度。内撑根据开挖深度可设计成单层或多层。这种有内撑的支护体系，土方开挖难度较大，特别是多层支撑时，机械挖土运土都很困难。

4) 简易式支撑 [见图 1-9 (e)、(f)]。对于较浅的基坑(槽)或管沟，可采用先挖土后支撑的方法，对不稳定土体(易滑动部分)进行支护，可大大减少支护费用，但土方开挖量有所增加。

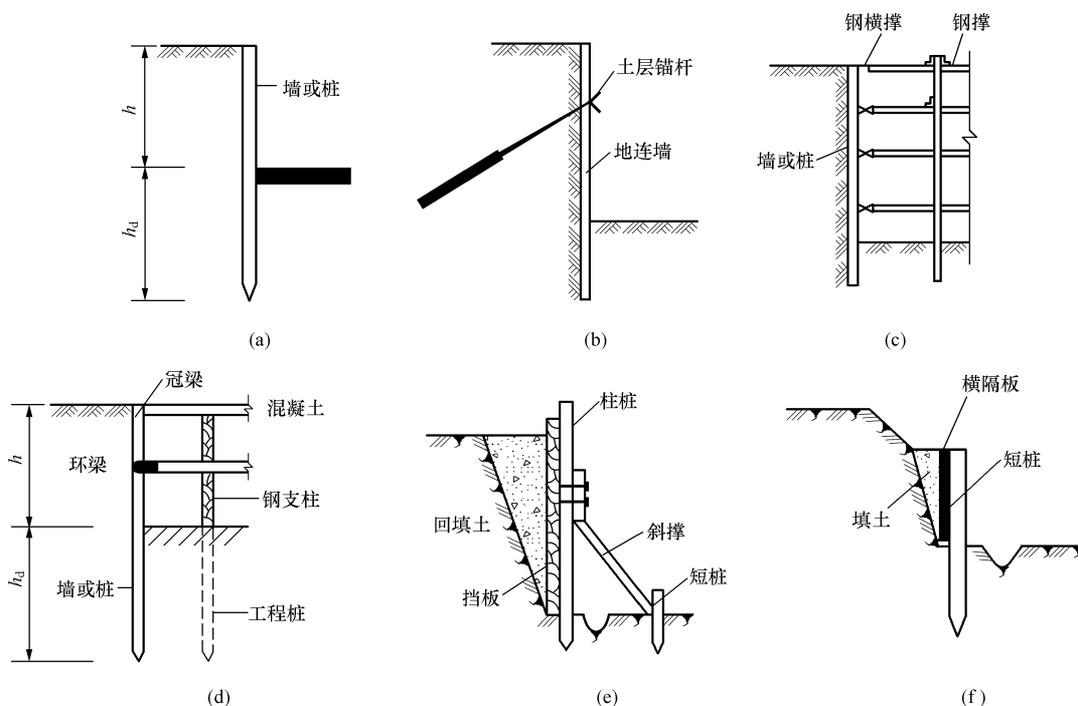


图 1-9 围护结构的支撑体系

(a) 悬臂式支撑结构；(b) 拉锚式支撑体系；(c) 内撑式支撑体系；
(d) 内撑式支撑体系；(e) 简易式支撑；(f) 简易式支撑

四、深坑支护技术

深坑支护是为了保障地下结构施工及基坑周围安全，对基坑侧壁采取的挡护措施，常用的施工方法有墙体保护、土钉支护、放坡卸载等。

1. 墙体保护

这种方法又分很多种，如桩墙支护、重墙支护、拱墙支护等。

桩墙支护是在基坑开挖前沿基坑边缘打下成排的桩柱或地下连续墙，并使其底端嵌入到基坑底面以下。若开挖深度较大，有时还需在桩柱身上增加支柱，以确保结构的稳定。此时，结构受力为梁板状态，无支柱则为悬臂状态。悬臂结构一般应小于 5m。

重墙支护是在基坑侧壁砌筑较为厚实的墙体，以抵抗土体的侧压力，但这种墙体需满足