

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TUMU GONGCHENG SHIGONG JISHU

土木工程施工技术

张长友 主 编
周兆银 周志军 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TUMU GONGCHENG SHIGONG JISHU
土木工程施工技术

主 编 张长友
副主编 周兆银 周志军
编 写 李强年 贾顺莲 胡江春 胡莉萍
主 审 李英民 李永毅



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材,是根据高等院校“土木工程施工课程教学大纲”及本课程的教学基本要求,并参照国家现行施工及验收规范编写而成的。全书共分13章,主要内容包括土方工程、地基处理与桩基础工程、砌体工程、钢筋混凝土结构工程、预应力混凝土工程、结构安装工程、高层建筑主体结构工程施工、防水工程、装饰工程、道路工程、桥梁结构工程、隧道工程、冬雨期施工等。每章末均附有工程应用案例、复习思考题和习题,以巩固所学知识。全书体系完整,内容精练,图文并茂,阐述了土木工程施工技术的基本规律、施工工艺、施工方法,反映当前先进成熟的施工技术方法。

本书可作为普通高等院校土木工程、工程管理专业及其他相关专业教材,也可作为相关工程技术及管理人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工技术/张长友主编. —北京:中国电力出版社,2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8938-7

I. 土… II. 张… III. 土木工程—工程施工—施工技术—高等学校—教材 IV. TU74

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第120392号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2009年8月第一版 2009年8月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 31.5印张 770千字
定价 49.80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

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书是普通高等教育“十一五”规划教材,是根据“土木工程施工课程教学大纲”及全国土木工程专业和工程管理专业课程的教学基本要求编写的一门主要专业课程。它主要研究土木工程中的施工技术的基本规律,其目的是综合运用土木工程施工的基本理论和知识,培养学生独立分析和解决土木工程施工中有关施工技术问题的能力。

“土木工程施工技术”在课程内容上涉及面广,实践性强,发展迅速,需要综合运用土木工程专业的基本理论。本书在编写上遵循体现时代特征,突出实用性、创新性的教材编写指导思想,综合土木工程施工的特点,将基本理论与工程实践,基本原理与新技术、新方法紧密结合。鉴于我国基本建设快速发展的需要,工程建设越来越需要宽口径、厚基础的专业人才。因此,本书在内容上涵盖了建筑工程、道路工程、桥梁工程等专业领域,力求构建大土木的知识体系。适应大土木专业的教学要求,以工程施工为基础,主要反映土木工程各主要专业方向都必须掌握的施工基础知识,并吸收现已成熟的新技术和新方法。在保证知识体系完整的基础上,教材内容具有一定的弹性,以便教师在教学上的取舍和学生扩大知识面。

本书图文并茂、层次分明、条理清楚、结构合理,文字规范,图表清晰,符号、计量单位符合国家标准,密切结合现行施工及验收规范。每章后附有工程应用案例、思考题、习题,便于教师更好地组织教学和方便学生自学。

本书由重庆科技学院张长友主编,周兆银、周志军副主编。第一、五、十一、十二章由重庆科技学院张长友编写,第二、十、十三章由重庆科技学院周兆银编写,第四、八章由兰州理工大学李强年编写,第三章由陕西理工学院周志军编写,第六章由重庆科技学院胡莉萍编写,第七章由中原工学院胡江春编写,第九章由重庆科技学院贾顺莲编写,每章的工程应用案例由重庆科技学院周兆银、胡莉萍、张长友编写。

本书由张长友统稿,重庆大学博士生导师李英民和重庆建工集团教授级高工李永毅对本书进行了全面的审阅,提出了不少宝贵意见,特此表示深切的谢意。在编写过程中参考了许多文献资料和有关施工技术及管理经验,得到了土木工程界专业人士的大力支持和热情帮助。谨此对文献资料的作者和有关经验的创造者表示诚挚的感谢。

由于编写时间仓促和水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2009年6月

目 录

前言

第一章 土方工程	1
第一节 土方工程概述	1
第二节 土方工程量计算与土方调配	5
第三节 土方工程施工	12
第四节 土方工程机械化施工	24
第五节 爆破工程	30
工程应用案例	34
复习思考题	38
习题	39
第二章 地基处理与桩基础工程	41
第一节 地基加固处理	41
第二节 深基坑支护技术	45
第三节 浅基础工程施工	52
第四节 桩基础工程施工	58
工程应用案例	71
复习思考题	75
第三章 砌体工程	76
第一节 砌筑用脚手架	76
第二节 砖砌体施工	87
第三节 砌块和框架填充墙的施工	94
第四节 配筋砌体工程施工	98
第五节 砌筑工程的安全技术	101
工程应用案例	102
复习思考题	104
第四章 混凝土结构工程	105
第一节 模板工程	106
第二节 钢筋工程	124
第三节 混凝土工程	144
工程应用案例	170
复习思考题	173
习题	174

第五章 预应力混凝土工程	176
第一节 概述.....	176
第二节 先张法施工.....	180
第三节 后张法施工.....	184
第四节 无粘结预应力混凝土结构施工.....	200
工程应用案例.....	206
复习思考题.....	208
习题.....	208
第六章 结构安装工程	210
第一节 起重机具设备.....	210
第二节 单层工业厂房结构安装.....	225
第三节 钢结构工程安装.....	243
第四节 结构安装工程的安全技术.....	254
工程应用案例.....	255
复习思考题.....	259
习题.....	260
第七章 高层建筑主体结构工程施工	261
第一节 概述.....	261
第二节 高层建筑主体结构施工用机械设备.....	265
第三节 高层建筑主体结构的施工.....	271
第四节 高层建筑转换层结构施工.....	283
第五节 高层建筑施工的安全技术.....	289
工程应用案例.....	290
复习思考题.....	293
第八章 防水工程	295
第一节 防水工程的分类与等级.....	295
第二节 屋面防水工程.....	297
第三节 地下室防水施工.....	306
第四节 卫生间防水施工.....	313
第五节 防水工程质量控制.....	316
工程应用案例.....	318
复习思考题.....	321
第九章 装饰工程	322
第一节 抹灰工程.....	322
第二节 饰面工程.....	326
第三节 楼地面工程.....	336
第四节 顶棚工程施工.....	340

第五节 建筑幕墙工程	344
工程应用案例	351
复习思考题	353
第十章 道路工程	355
第一节 路基工程施工	355
第二节 路面基层（底基层）施工	366
第三节 水泥混凝土路面施工	373
第四节 沥青路面施工	378
第五节 道路工程施工中的质量通病与防治	381
工程应用案例	384
复习思考题	386
第十一章 桥梁结构工程	388
第一节 概述	388
第二节 桥梁基础施工	393
第三节 桥梁墩台施工	402
第四节 桥梁结构施工	410
工程应用案例	435
复习思考题	438
第十二章 隧道工程	439
第一节 矿山法隧道施工	439
第二节 盾构法隧道施工	448
第三节 顶管法施工	452
第四节 沉管法隧道施工	457
工程应用案例	462
复习思考题	464
第十三章 冬雨期施工	466
第一节 冬期施工方法	466
第二节 雨期施工方法	483
第三节 冬期与雨期施工的安全技术	488
工程应用案例	488
复习思考题	491
参考文献	493

第一章 土方工程

内容提要

本章主要包括土方工程概述,土方工程量计算及调配,土方工程施工的要点,土方工程机械化施工和爆破施工。在土方工程概述中,主要介绍土方工程的分类及特点、土的现场鉴别方法、土的工程性质、土方边坡等内容。在土方工程量计算及调配中,主要包括基坑(槽)土方量计算、场地平整土方量计算及调配等。土方工程施工要点包括土方工程施工准备、基坑(槽)施工、土方填筑与压实。在土方工程机械化施工中,着重阐述常用土方机械的类型、性能及提高生产率的措施。在爆破施工中主要介绍爆破基本知识、炸药和药量计算、起爆技术和爆破方法。

学习要求

- (1) 掌握土的工程性质、边坡留设和土方调配的原则。
- (2) 熟悉土方工程量的计算,能分析土壁失稳和产生流砂、管涌的原因,并能提出相应的防治措施。
- (3) 熟悉轻型井点的设计和回填土的质量要求及检验标准,常用土方机械的性能及适用范围,能正确合理地选用。
- (4) 了解爆破原理、引爆技术、爆破方法和安全技术。

第一节 土方工程概述

在土木工程施工中最常见的土方工程施工包括场地平整、地下室和基坑(槽)及管沟开挖、土壁支撑、施工排水、降水、路基填筑及基坑(槽)的回填土、爆破技术等。土方工程是土木工程施工中主要的分部工程之一,在大型工程中由于土方工程量大、施工条件复杂、施工中受气候条件、工程地质和水文地质条件的影响很大,因此施工前应针对土方工程的施工特点,制订合理的施工方案。

一、土方工程的分类及特点

(一) 土方工程分类

根据土方工程的施工内容与方法不同,土方工程分类有以下几种:

1. 场地平整

场地平整是指将天然地面改造成设计要求的平面所进行的土方施工过程,主要包括确定场地设计标高,计算挖、填土方量,合理地进行土方调配等。这类土方工程施工面积大,土方工程量大,应采用机械化作业。

2. 土方开挖

土方开挖主要包括沟槽、基坑、竖井、隧道、修筑路基、堤坝等的开挖,其中还涉及施工排水、降水、土壁边坡和支护结构等。这类土方开挖时,要求开挖的标高、断面、轴线准确,因此施工时,应制订合理的施工方案,尽量采用中小型施工机械,以提高生产率,加快

施工进度和降低工程成本。

3. 土方回填与压实

土方开挖完成后的基槽、房心土、路基、堤坝应回填压实，为确保填方的强度和稳定性，必须正确选择填方土料与填筑方法。填筑应分层进行，并尽量采用同类土填筑。填土必须具有一定的压实密度，以避免产生不均匀沉陷。

(二) 土方施工特点

1. 工程量大，劳动强度高

大型项目的场地平整，土方量可达数百万立方米以上，面积达数十平方公里，工期长。因此，为了减轻繁重的体力劳动，提高劳动生产率，缩短工期，降低工程成本，在组织土方工程施工时，应尽可能采用机械化或综合机械化的方法进行施工。

2. 施工条件复杂

土方工程施工，一般为露天作业，施工时受地下水文、地质、气候和施工地区的地形等因素的影响较大，不可确定的因素也较多。因此，施工前必须做好各项准备工作，进行充分的调查研究，详细研究各种技术资料，制订合理的施工方案进行施工。

3. 受场地限制

任何建筑物的基础都需要有一定埋置深度，土方的开挖与土方的留置存放都受到施工场地的限制，特别是城市内施工，场地狭窄，周围建筑较多，往往由于施工方案不当，导致周围建筑设施出现安全与稳定的问题。因此，施工前必须详细了解周围建筑的结构形式、熟悉地质技术资料，制订切实可行的施工方案，充分利用施工场地。

二、土的分类与现场鉴别方法

土的种类繁多，其分类方法也很多，在工程上，土方根据开挖难易程度分为八类，见表1-1。其中一~四类土为一般土，五~八类土为岩石。表中列出了土的工程分类直观的鉴别方法，是根据开挖的难易程度和开挖中使用不同的工具和方法来进行分类的。土的开挖难易程度直接影响土方工程的施工方案、劳动量消耗和工程费用。土越硬，劳动量消耗越多，工程成本越高。

表 1-1 土 的 工 程 分 类

土的分类	土 的 名 称	开挖方法及工具	可松性系数	
			K_s	K'_s
一类土 (松软土)	砂；粉土；冲积砂土层种植土；泥炭（淤泥）	用锹、锄头可挖掘	1.08~1.17	1.01~1.03
二类土 (普通土)	粉质粘土；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、锄头可挖掘，少许需用镐翻松	1.14~1.28	1.02~1.05
三类土 (坚土)	软及中等密实粘土；重亚粘土；粗砾石；干黄土及含碎石的黄土、亚粘土；压实的填土	主要用镐，少许用锹、锄头，部分用撬棍	1.24~1.30	1.04~1.07
四类土 (砂砾坚土)	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	1.26~1.32	1.06~1.09
五类土 (软石)	硬石碳纪粘土；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，部分用爆破方法	1.30~1.40	1.10~1.15

续表

土的分类	土的名称	开挖方法及工具	可松性系数	
			K_s	K'_s
六类土 (次坚石)	泥岩; 砂岩; 砾岩; 坚硬的页岩、泥灰岩; 坚实的石灰岩; 风化花岗岩、片麻岩	用爆破方法, 部分用风镐	1.35~1.45	1.11~1.20
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、砾岩、砂岩、片麻岩、石灰岩; 风化痕迹的安山石、玄武石	用爆破方法	1.40~1.45	1.15~1.20
八类土 (特坚石)	安山石; 玄武石; 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	1.45~1.50	1.20~1.30

三、土的工程性质

土的工程性质对土方工程施工有直接影响, 也是进行土方施工设计必须掌握的基本资料。土的主要工程性质有: 土的可松性、土的含水量和土的渗透性。

(一) 土的可松性

土的可松性是指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, 仍不能恢复成原来体积的性质。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, 应考虑土的可松性影响。土的可松性程度可用可松性系数表示, 即

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-1)$$

$$K'_s = \frac{V_3}{V'_1} \quad (1-2)$$

式中 K_s ——土的最初可松性系数;
 K'_s ——土的最终可松性系数;
 V_1 ——土在天然状态下的体积;
 V_2 ——土经开挖后的松散体积;
 V'_1 ——回填所需的天然状态下的土体积;
 V_3 ——土经回填压实后的体积。

在土方施工中, K_s 是计算开挖工程量、施工机械及运土车辆等的主要参数, K'_s 是计算土方调配、回填料量等的参数。

(二) 土的天然含水量

土的天然含水量是指土中水的质量与土颗粒质量的百分比。表达式为

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 ω ——土的天然含水量, %;
 m_w ——土中水的质量, kg;
 m_s ——土中固体颗粒的质量, kg。

土的含水量大小会影响土方的开挖及填筑压实等施工, 当土的含水量超过 25%~30% 时, 就不能使用机械施工; 当含水量超过 20% 时, 会造成运土车的打滑或陷车, 甚至影响挖土机的使用; 回填土含水量过大, 压实时会产生橡皮土。因此, 对含水量过大的土, 施工

时应采取有效的排水、降水措施。

(三) 土的渗透性

土的渗透性是指土体被水透过的性质。土的渗透性用渗透性系数表示，即单位时间内水穿透土层的能力，一般由实验确定，常见土的渗透性系数见表 1-2。渗透性系数是计算降低地下水时涌水量的主要参数。根据土的渗透性不同，可分为透水性土（如砂土）和不透水性土（如粘土）。

表 1-2 土的渗透性系数

土的种类	K (m/d)	土的种类	K (m/d)
亚粘土、粘土	<0.1	含粘土的中砂及纯细砂	20~25
亚粘土	0.1~0.5	含粘土的细砂纯中砂	35~50
含亚粘土的粉砂	0.5~10	纯粗砂	50~75
纯粉砂	1.5~5.0	粗砂夹卵石	50~100
含粘土的细砂	10~15	卵石	100~200

四、土方边坡

为保证土方工程施工时土体的稳定，防止塌方，保证施工安全，当挖土超过一定的深度时，应留置一定的坡度。

土方边坡的坡度以其高度 h 与底宽度 b 之比来表示。如图 1-1 所示，边坡可以做成直线形边坡、阶梯形边坡或折线形边坡。

$$\text{土方边坡坡度} = \frac{h}{b} = \frac{1}{b/h} = 1 : m$$

$$m = \frac{b}{h} \quad (1-4)$$

式中 m ——坡度系数。

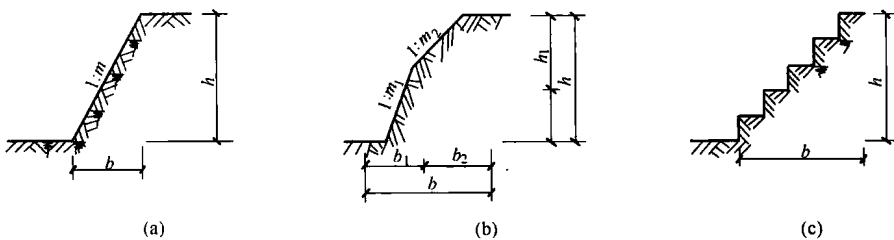


图 1-1 土方放坡形式

(a) 直线形；(b) 折线形；(c) 阶梯形

当土质均匀且地下水位低于基坑（槽）或管沟底标高时，挖方边坡可做成直立土壁而不加支撑，但深度不宜超过下列规定：密实、中密的砂土和碎石类土为 1.0m；硬塑、可塑的粉土及粉质粘土为 1.25m；硬塑、可塑的粘土和碎石类土（填充物为粘性土）为 1.5m；坚硬的粘土为 2.0m。

当地质条件良好，土质均匀且地下水位低于基坑（槽）或管沟底标高时，挖土深度在 5m 以内不加支撑的边坡最陡坡度应符合表 1-3 的规定，即使按规定放坡，施工中也要随时检查边坡的稳定情况。

表 1-3 深度在 5m 内的基坑 (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	坡顶有静荷载	坡顶有动荷载
中密的砂土	1:1.00	1:1.25	1:1.50
中密的碎石类土 (填充物为砂土)	1:0.75	1:1.00	1:1.25
硬塑的粉土	1:0.67	1:0.75	1:1.00
中密的碎石类土 (填充物为粘性土)	1:0.50	1:0.67	1:0.75
硬塑的粉质粘土、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	—	—

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直立壁的稳定, 堆土或材料应距挖方边缘 0.8m 以外, 高度不超过 1.5m。
2. 当有成熟的施工经验时, 可不受本表限制。

第二节 土方工程量计算与土方调配

在土方工程施工前, 通常要计算土方的工程量, 根据土方工程量的大小拟定土方施工的方案, 组织土方工程的施工。但土方工程的地形往往复杂, 不规则, 要进行精确计算比较困难。通常都是将其假设或划分成为一定的几何形状, 并采用具有一定精度又与实际情况相近似的方法进行计算。

一、基坑 (槽) 土方量的计算

(一) 基坑土方量计算

所谓基坑是指长宽比 ≤ 3 的矩形土体, 其土方量可按立体几何中棱柱体 (由两个平行的平面作底的一种多面体) 的体积公式计算, 如图 1-2 所示, 即

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

式中 V ——土方工程量, m^3 ;

H ——基坑深度, m ;

A_1 、 A_2 ——基坑上、下底面积, m^2 ;

A_0 ——基坑中截面的面积, m^2 。

(二) 基槽土方量计算

基槽的土方量可以沿长度方向分段后, 再用同样方法计算, 如图 1-3 所示。

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

式中 V_1 ——第一段的土方量, m^3 ;

L_1 ——第一段的长度, m 。

则总土方量为各段的和, 即

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

式中 V_1, V_2, \dots, V_n ——各段的土方量, m^3 。

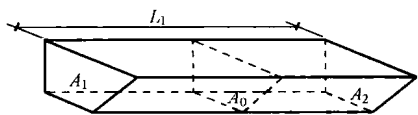


图 1-3 基槽土方量计算

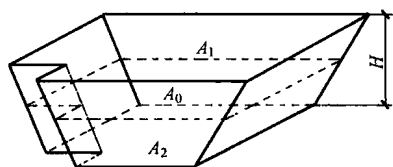


图 1-2 基坑土方量计算

二、场地平整土方施工方案确定

场地平整工作中通常有三种施工方案供选择：

1. 先平整整个场地，后开挖基坑（槽）

这种方案能使大型土方机械的工作面较大，能充分发挥机械的工作效能，也可以减少与其他工作的相互干扰，但工期较长。此方案适用于场地挖填土方量较大的工程。

2. 先开挖基坑（槽），后平整场地

该方案可以加快施工速度，还能够减少重复挖填土方的数量，适用于地形平坦的场地。

3. 边平整场地，边开挖基坑（槽）

这种方案是按照施工现场的具体条件，划分施工区段，在互不干扰的情况下采用。

在场地平整前，必须确定场地的设计标高（一般均在设计文件上有规定）、计算挖填方的工程量、确定挖方和填方的平衡调配，并合理选择土方机械，拟定施工方案。

三、场地平整土方量计算

（一）场地平整土方量的计算方法与步骤

场地平整时土方量计算，一般采用方格网法，其计算步骤如下：

（1）在具有等高线的地形图上，根据现场地形和要求的精度，将整个施工场地划分成边长为 10~40m 的正方格网；

（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，即地面标高与设计标高之差；

（5）确定零线，即挖填方的分界线；

（6）计算各方格内挖填土方量、场地边坡土方量，最后求得整个场地挖填方总量。

（二）场地设计标高确定

较大面积的场地平整，正确选择设计标高十分重要。选择设计标高时应考虑以下因素：满足生产工艺和运输的要求；尽量利用地形，以减少挖方数量；场地以内的挖方与填方能达到相互平衡（面积大、地形又复杂时例外），以降低土方运输费用；要有一定的泄水坡度（ $\geq 2\%$ ，能满足排水要求）；考虑最高洪水位的要求。

当设计文件上对场地标高无特定要求时，场地的设计标高，可按下述步骤和方法确定。

1. 初步计算场地设计标高

如图 1-4 (a) 所示，将地形图划分方格。每个方格的角点标高，一般根据地形图上相邻两等高线的标高，用插入法求得；在无地形图的情况下，也可在地面上用木桩打好方格网，然后用仪器直接测出。

一般说来，理想的设计标高，应该使场地内的土方在平整前和平整后相等而达到挖方和填方的平衡，如图 1-4 (b) 所示，即

$$H_0 Na^2 = \sum \left(a^2 \frac{H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22}}{4} \right)$$

所以
$$H_0 = \frac{\sum (H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22})}{4N}$$

式中 H_0 ——所计算的场地设计标高，m；

a ——方格边长；

N ——方格数；

H_{11} 、 H_{12} 、 H_{21} 、 H_{22} ——任一方格的四个角点的标高。

从图 1-4 所示可看出, H_{11} 系一个方格的角点标高, H_{12} 和 H_{21} 均系两个方格公共的角点标高, H_{22} 则系四个方格公共的角点标高。如果将所有方格的四个角点标高相加, 那么类似 H_{11} 这样的角点标高加到一次, 类似 H_{12} 的标高加到两次, 而类似 H_{22} 的标高则要加到四次。因此, 上式可改写成下列的形式:

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4N} \quad (1-7)$$

式中 H_1 ——一个方格仅有的角点标高, m;

H_2 ——两个方格共有的角点标高, m;

H_3 ——三个方格共有的角点标高, m;

H_4 ——四个方格共有的角点标高, m。

2. 计算设计标高的调整值

式 (1-7) 所计算的设计标高纯系理论值, 实际上还需考虑以下因素进行调整。

(1) 由于土具有可松性, 必要时相应地提高设计标高;

(2) 由于设计标高以上的各种土方工程用土量而影响设计标高的降低, 或者由于设计标高以下的各种挖方工程的挖土量而影响设计标高的提高;

(3) 由于边坡填挖土方量不等 (特别是坡度变化大时) 而影响设计标高的增减;

(4) 根据经济比较结果, 将部分挖方就近弃土于场外, 或将部分填方就近取土于场外而引起挖填土方量的变化后需增减设计标高。

3. 考虑泄水坡度对设计标高的影响

如果按照式 (1-7) 计算出的设计标高进行场地平整, 那么整个场地表面将处于同一个水平面; 但实际上由于排水要求, 场地表面均有一定的泄水坡度。因此, 还需根据场地泄水坡度的要求 (单面泄水或双面泄水), 计算出场地内各方格角点实际施工时所采用的设计标高。

(1) 单向泄水时, 场地各点设计标高的求法。在考虑场内挖填平衡的情况下, 将式 (1-7) 计算出的设计标高 H_0 , 作为场地中心线的标高, 如图 1-5 所示。场地内任一点的设计标高为

$$H_n = H_0 \pm li \quad (1-8)$$

式中 H_n ——任意一点的设计标高, m;

l ——该点至 H_0 的距离, m;

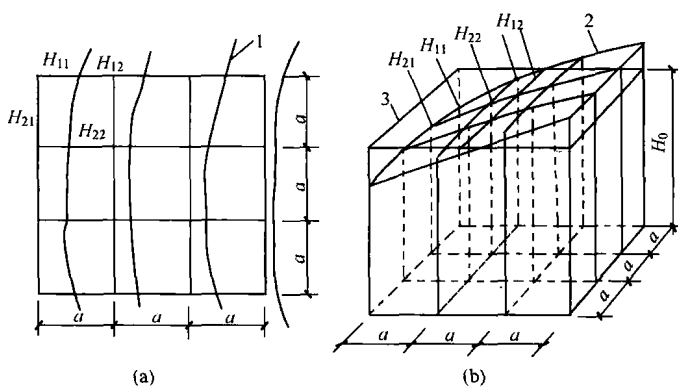


图 1-4 场地设计标高计算简图

(a) 地形图上划分方格; (b) 设计标高示意图

1—等高线; 2—自然地面; 3—设计标高平面

i ——场地泄水坡度，不小于2‰；

±——该点比 H_0 点高则取“+”号，反之取“-”号。

例如欲求 H_{52} 角点的设计标高，则

$$H_{52} = H_0 - li = H_0 - 1.5ai$$

(2) 双向泄水时，场地各点设计标高的求法。其原理与前相同，如图 1-6 所示。 H_0 为场地中心点标高，场地内任意一点的设计标高为

$$H_n = H_0 \pm l_x i_x \pm l_y i_y \quad (1-9)$$

式中 l_x 、 l_y ——该点于 $x-x$ 、 $y-y$ 方向距场地中心线的距离；

i_x 、 i_y ——该点于 $x-x$ 、 $y-y$ 方向的泄水坡度。

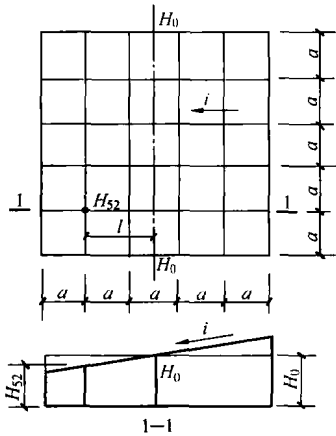


图 1-5 单向泄水坡度的场地

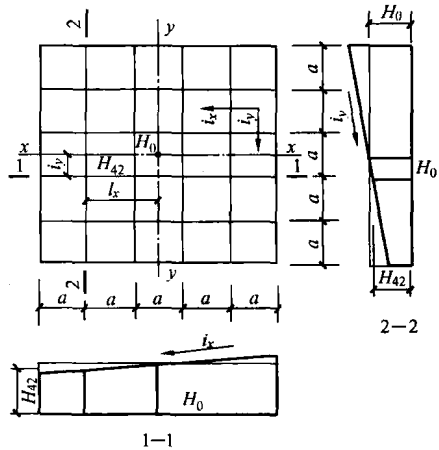


图 1-6 双向泄水坡度的场地

其余符号表示的内容同前。

例如 H_{42} 角点的设计标高为

$$H_{42} = H_0 - l_x i_x - l_y i_y = H_0 - 1.5a i_x - 0.5a i_y$$

(三) 场地土方量计算

编制土方工程施工方案，以及检查、验收实际土方工程数量等，都需要进行土方量的计算。场地土方量的计算方法，通常有方格网法和断面法两种。方格网法适用于地形较为平坦的地区，断面法则多用于地形起伏变化较大的地区。

1. 方格网法

方格网法用方格网控制整个场地。方格边长主要取决于地形变化的复杂程度，一般为 10~40m，通常采用 20m。根据每个方格角点的自然地面标高和实际采用的设计标高，算出相应的角点填挖高度，然后计算每一个方格的土方量（大规模场地土方量的计算可使用专门的土方工程量计算表），这样即可得到整个场地的挖、填土方总量。

场地各方格的土方量，一般可分为下述三种不同类型进行计算：

(1) 方格四个角点全部为填或全部为挖。如图 1-7 所示，其土方量为

$$V = \frac{a^2}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (1-10a)$$

式中 V ——挖方或填方体积， m^3 ；

h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 ——方格角点填挖高度，均用绝对值， m 。

若 $a=20\text{m}$, h 用 cm 表示, 则上式可写为

$$V = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad (\text{m}^3) \quad (1-10\text{b})$$

(2) 方格的相邻两角点为挖方, 另两角点为填方。如图 1-8 所示, 其挖方部分的土方量为

$$V_{1,2} = \frac{a^2}{4} \left(\frac{h_1^2}{h_1 + h_4} + \frac{h_2^2}{h_2 + h_3} \right) \quad (1-11\text{a})$$

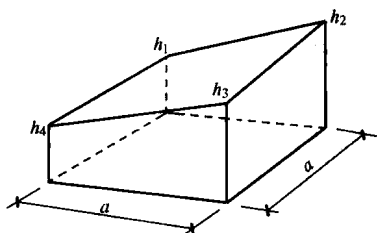


图 1-7 全挖或全填的方格

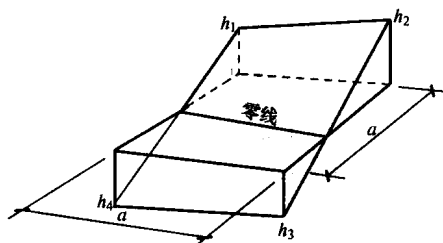


图 1-8 两挖和两填的方格

填方部分的土方量为

$$V_{3,4} = \frac{a^2}{4} \left(\frac{h_3^2}{h_2 + h_3} + \frac{h_4^2}{h_1 + h_4} \right) \quad (1-11\text{b})$$

(3) 方格的三个角点为挖方 (或填方), 另一个角点为填方 (或挖方)。如图 1-9 所示, 其填方部分的土方量为

$$V_4 = \frac{a^2}{6} \frac{h_4^3}{(h_1 + h_4)(h_3 + h_4)} \quad (1-12\text{a})$$

挖方部分的土方量为

$$V_{1,2,3} = \frac{a^2}{6} (2h_1 + h_2 + 2h_3 - h_4) + V_4 \quad (1-12\text{b})$$

2. 断面法

沿场地取若干个相互平行的断面 (可利用地形图定出或实地测量定出), 将所取的每个断面 (包括边坡断面) 划分为若干个三角形和梯形, 如图 1-10 所示, 则面积为

$$A'_1 = \frac{h_1}{2} d_1, A'_2 = \frac{h_1 + h_2}{2} d_2, \dots$$

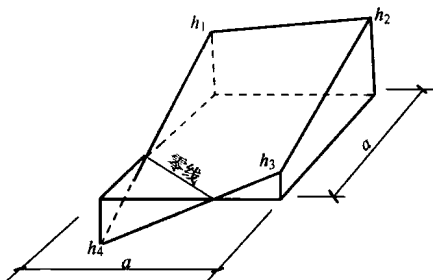


图 1-9 三挖一填 (或一挖三填) 的方格

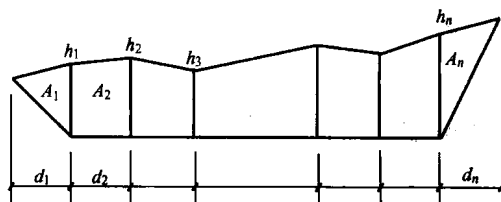


图 1-10 断面法

而某一断面面积为

$$A_i = A'_1 + A'_2 + \dots + A'_n$$

若 $d_1 = d_2 = \dots = d_n = d$, 则

$$A_i = d(h_1 + h_2 + \dots + h_n)$$

断面面积求出后, 即可计算土方体积。设各断面面积分别为 A_1, A_2, \dots, A_n , 相邻两

断面间的距离依次为 l_1, l_2, \dots, l_n , 则所求土方体积为

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} l_1 + \frac{A_2 + A_3}{2} l_2 + \dots + \frac{A_{n-1} + A_n}{2} l_n \quad (1-13)$$

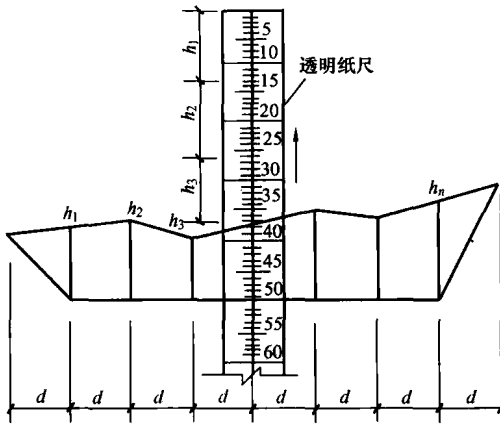


图 1-11 用累高法求断面面积

断面法求面积的一种简便方法是累高法, 如图 1-11 所示。此法不需用公式计算, 只要将所取的断面绘于普通方格坐标纸上 (d 取值相等), 用透明纸尺从 h_1 开始, 依次量出 (用大头针向上拨动尺子) 各点标高 (h_1, h_2, \dots), 累计得各点标高之和, 然后将此值与 d 相乘, 即为所求断面面积。

(四) 场地平整边坡土方量计算

如图 1-12 所示是一场地边坡的平面示意图。从图中可看出: 边坡的土方量可以划分为两种近似的几何形体进行计算, 一种为三角棱锥体 (如体积①~③, ⑤~⑩), 另一种为三角棱柱体 (如体积④)。

1. 三角棱锥体边坡体积

例如图 1-12 中的①, 其体积为

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

式中 l_1 ——边坡 l 的长度, m;

A_1 ——边坡 l 的端面积, m^2 , 即

$$A_1 = \frac{h_2(mh_2)}{2} = \frac{mh_2^2}{2}$$

式中 h_2 ——角点的挖土高度, m;

m ——边坡的坡度系数。

2. 三角棱柱体边坡体积

例如图 1-12 中的④, 其体积为

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

当两端横断面面积相差很大的情况下, 则

$$V_4 = \frac{l_4}{6} (A_1 + 4A_0 + A_2) \quad (1-15b)$$

式中 l_4 ——边坡 4 的长度;

A_1, A_2, A_0 ——边坡 4 两端及中部的横断面面积, 算法同上 (如图 1-12 所示剖面系近似表示。实际上, 地表面不完全是水平的)。

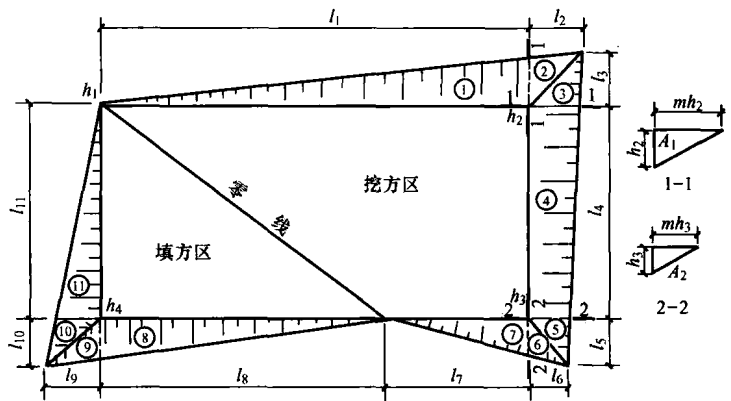


图 1-12 场地边坡平面图