



全国高等院校土建类专业实用型规划教材

土木工程施工

TUMU GONGCHENG SHIGONG 杨国立 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

课件索取方式

QQ:2329981782

全国高等院校土建类专业实用型规划教材

土木工程施工

主 编 杨国立

副主编 邢世海 汪留松 熊辉霞

参 编 董 颇 裴剑平 肖 磊



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是全国高等院校土建类专业实用型规划教材之一。包括土木工程施工技术与施工组织管理两方面内容。结合现行规范和作者的工程实践经验,并增添当前土建专业一些新的施工技术并吸取同类出版教材的精华编写而成。本教材内容既重视学科基础理论知识的阐述,又注重结合工程实例,力求把知识的传授与能力的培养结合起来。本书共分13章,包括土方工程、地基处理与基础工程、砌筑工程、混凝土结构工程、预应力混凝土工程、混凝土结构安装工程、钢结构工程、脚手架工程、防水工程以及装饰工程等;施工组织方面有流水施工的基本原理、网络计划技术、施工组织设计等,每章后均附有相应的思考题与习题。

教材可供土建类专业的师生作为教学用书,亦可供土建类施工技术、监理人员等学习、参考。

本教材配有PPT格式的教学课件,方便广大师生学习应用。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工/杨国立主编. —北京:中国电力出版社,2012.12

全国高等院校土建类专业实用型规划教材

ISBN 978-7-5123-3887-6

I. ①土… II. ①杨… III. ①土木工程—工程施工—高等学校—教材 IV. ①TU7

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第315616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>

责任编辑:未翠霞 关 童

责任印制:蔺义舟 责任校对:郝军燕

汇鑫印务有限公司印刷·各地新华书店经售

2013年3月第1版·第1次印刷

印数:0000~3000册

787mm×1092mm 1/16·31.5印张·752千字

定价:58.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

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

响应教育部培养“卓越工程师”的号召，很多本科院校土建类专业调整了教学计划，加强了施工教学环节，分两个层次开设施工课程，第一阶段开设《土木工程施工》，第二阶段开设《高层建筑施工》。本书作为第一阶段的开设课程，编写定位在满足普通高等学校土木工程、工程管理等专业本科教学的要求上，力求综合运用有关学科的基本理论和知识，以解决一般工程施工的实践问题。

本书理论联系实际，以实用为主，力求符合新规范、新标准和有关技术法规，着眼于解决土木工程施工的关键和施工组织的主要矛盾，着重方案性问题的探讨和技术经济比较，重点剖析影响工程质量的因素及对策，综合论述施工工艺管理和工序操作要点，阐明先进技术和科学管理对发展生产、保证质量、加速工程建设、提高综合经济效益的重要意义，努力做到深入浅出、通俗易懂。

本书包括土木工程施工技术与组织管理两方面的内容。结合《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666—2011)等最新规范、结合作者的工程实践经验、增添当前土建专业一些新的施工技术并吸取同类出版教材的精华编写而成。共分13章，包括土方工程、地基处理与基础工程、砌筑工程、混凝土结构工程、预应力混凝土工程、混凝土结构安装工程、钢结构工程、脚手架工程、防水工程以及装饰工程等；施工组织方面有流水施工的基本原理、网络计划技术、施工组织设计等。每章编写格式基本遵从先是理论讲述，后是实例讲解，使学生学习有一个从理性认识到感性认识的过程。

本教材由杨国立担任主编并负责通稿工作；由华中科技大学李惠强教授主审。全书编写分工如下：河南城建学院董颇编写第1、6章；许昌学院汪留松编写第2、3章；台州学院核国立编写第4、5章；黑龙江科技学院邢世海编写第7、8章；南阳理工学院熊辉霞编写第9、10章；河南城建学院裴剑平编写第11~13章。本教材的配套课件由台州学院的肖磊老师负责编制。

本书的编写，参考并引用了一些公开出版和发行的文献，谨向这些文献作者致以衷心的感谢。限于编者水平有限，书中的疏漏错误之处在所难免，敬请广大的读者批评指正，以便日后修订和改进。

编 者

目 录

前言

第 1 章 土方工程	1
1.1 概述	1
1.2 土方工程量的计算	4
1.3 土方施工机械化	19
1.4 土方工程施工准备与辅助工作	27
1.5 基槽（坑）施工工艺	42
1.6 土方填筑施工	46
1.7 土石方爆破施工	49
思考题与习题	54
第 2 章 地基处理与基础工程	56
2.1 地基处理	56
2.2 桩基础施工	64
思考题与习题	80
第 3 章 砌筑工程	81
3.1 砌筑砂浆	81
3.2 砖砌体施工	81
3.3 石砌体施工	92
3.4 砌块砌体施工	95
3.5 砌体冬期施工	102
思考题与习题	103
第 4 章 混凝土结构工程	104
4.1 钢筋工程	104
4.2 模板工程	126
4.3 混凝土工程	151
思考题与习题	180
第 5 章 预应力混凝土工程	182
5.1 材料要求	182
5.2 预应力不同施工工艺的基本要求	183
5.3 先张法施工	184
5.4 后张法施工	192
5.5 无粘结预应力施工	206
思考题与习题	209

第 6 章 混凝土结构安装工程	210
6.1 起重机具	210
6.2 单层工业厂房结构安装	218
6.3 多层框架结构的安装	240
6.4 结构安装质量通病与防治	247
思考题与习题	250
第 7 章 钢结构工程	251
7.1 结构钢用钢材	251
7.2 钢结构的连接技术	254
7.3 钢结构的制作和安装	260
7.4 轻型门式刚架结构工程	270
7.5 多高层钢结构的安装焊接工艺	277
7.6 钢结构的涂装施工技术	283
7.7 钢结构工程安全技术	288
思考题与习题	290
第 8 章 脚手架工程	291
8.1 扣件式钢管脚手架	291
8.2 碗扣式钢管脚手架	295
8.3 门式脚手架	296
8.4 砌筑工程里脚手架	297
8.5 其他几种脚手架	298
8.6 脚手板	302
8.7 脚手架质量要求及安全技术	303
思考题与习题	305
第 9 章 防水工程	306
9.1 屋面防水工程	306
9.2 地下防水工程	330
思考题与习题	347
第 10 章 装饰工程	349
10.1 抹灰工程	349
10.2 饰面板(砖)工程	357
10.3 涂饰工程	364
10.4 刷浆工程	369
10.5 裱糊工程	369
10.6 幕墙工程	372
10.7 吊顶工程	374
10.8 外墙保温工程	379
思考题与习题	388

第 11 章 流水施工的基本原理	390
11.1 流水施工的基本概念	390
11.2 流水施工的主要参数	396
11.3 流水施工的组织方法	402
11.4 流水施工的应用	408
思考题与习题	417
第 12 章 网络计划技术	418
12.1 网络计划概述	418
12.2 双代号网络图	422
12.3 双代号时标网络计划	434
12.4 单代号网络图	437
12.5 网络计划优化	444
思考题与习题	451
第 13 章 施工组织设计	453
13.1 基本规定	453
13.2 施工组织总设计的内容	455
13.3 单位工程施工组织设计的内容	457
13.4 施工方案的内容	459
13.5 主要施工管理计划的内容	460
13.6 单位工程施工组织设计编制依据及程序	462
13.7 施工方案的选择	463
13.8 单位工程施工进度计划	477
13.9 单位工程施工平面图	486
13.10 施工技术组织措施	491
思考题与习题	493
参考文献	494

第 1 章

土 方 工 程

土方工程是各类土木工程施工中主要分部工程之一，它包括土方的开挖、运输、填筑与弃土、平整与压实等主要施工过程，以及场地清理、测量放线、施工排水、降水和土壁支护等准备工作与辅助工作。土方工程具有工程量大、劳动强度大，施工条件复杂等特点，在土木工程施工中占有重要地位。

1.1 概述

1.1.1 土方工程的种类与特点

1. 场地平整

场地平整是将天然地面改造成所要求的设计平面时所进行的土方施工全程。它往往具有工程量大、劳动繁重和施工条件复杂等特点。如大型建设项目的场地平整，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。土方工程施工又受气候、水文、地质等影响，难以确定的因素多，有时施工条件极为复杂。因此，在组织场地平整施工前，应详细分析、核对各项技术资料（如实测地形图、工程地质、水文地质勘察资料；原有地下管道、电缆和地下构筑物资料；土方施工图等），进行现场调查并根据现有施工条件，制订出以经济分析为依据的施工设计。

2. 基坑（槽）及管沟开挖

基坑（槽）及管沟开挖指开挖宽度在 3m 以内的基槽或开挖底面积在 20m^2 以内的土方工程，是为浅基础、桩承台及管沟等施工而进行的土方开挖。其特点是：要求开挖的标高、断面、轴线准确；土方量少；受气候影响较大（如冰冻、下雨等影响）。因此，施工前必须做好各项准备工作，制定合理的施工方案，以达到减轻劳动量、加快施工进度和节省工程费用的目的。

3. 地下工程大型土方工程

对人防工程、大型建筑物的地下室、深基础施工等而进行的地下大型土方开挖。它涉及降低地下水位、边坡稳定与支护、地面沉降与位移、邻近建筑物、构筑物、道路和各种管线等的安全与防护等一系列问题，因此，在土方开挖前，应详细研究各项技术资料，进行专门的施工组织设计。

4. 土方填筑

土方填筑是对低洼处用土方分层进行填平。建筑工程上有大型土方填筑和小型场地、基坑、基槽、管沟的回填，前者一般与场地平整施工同时进行，交叉施工；后者除小型场地回填外，一

一般在地下工程施工完毕后再进行。对填筑的土方,要求严格选择土质,分层回填压实。

土方工程施工要求:标高、断面尺寸准确,土体有足够的强度和稳定性。

1.1.2 土的分类与现场鉴别方法

在土方工程施工中,土按开挖的难易程度分为八类(表1-1),以便选择施工方法和确定劳动量,为计算劳动力、确定施工机具及计算工程费用提供依据。

表 1-1 土的工程分类及可松性系数表

类别	土的名称	土的密度 (t/m^3)	开挖难易 鉴定方法	可松性系数	
				K_s	K'_s
一类土 (松软土)	略有黏性的砂性土、腐殖土及疏松的种植土、堆积土(新弃土)、泥炭,含有土质的砂、炉渣	0.5~1.5	能用锹、 锄头挖掘	1.08~1.17	1.01~1.03
二类土 (普通土)	潮湿的黏性土和黄土、含有建筑材料碎屑或碎石、卵石的堆积土和种植土、已经夯实的松软土	0.11~6	能用锹、 锄、二齿镐 挖掘	1.14~1.28	1.02~1.05
三类土 (坚土)	压路机械或羊足碾等机械压实的普通土、中等密实的黏性土和黄土、无名土、坚隔土、白膏泥,含有碎石、卵石或建筑材料碎屑的潮湿的黏土或黄土	1.75~1.9	主要用二 齿,少许用 锹、锄挖掘	1.24~1.30	1.04~1.07
四类土 (砂砾坚土)	坚硬密实的黏性土和黄土,有用撬棍撬成块状的砂土,含有碎石、卵石(体积占10%~30%)的中等密实的黏土和黄土、铁夹土	1.9	主要用镐, 少许用锄头、 撬棍挖掘	1.26~1.37	1.06~1.15
五类土 (软石)	成块状的土质风化岩、含有碎石、卵石(体积在30%以上)的密实砂砾坚土、不能撬成块状的砂土、未风化而坚硬的冶金砂渣	1.1~2.7	用镐、撬 棍挖掘	1.30~1.45	1.10~1.20
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、片麻岩及正长岩	2.2~2.9	用爆破 方法	1.33~1.45	1.10~1.20
七类土 (坚石)	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	2.5~3.1		14.30~1.45	1.10~1.20
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、角闪岩	2.7~3.3		1.45~1.50	1.20~1.30

注:1. K_s 为最初可松性系数,供计算装运车辆和挖土机械用。

2. K'_s 为最终可松性系数,供计算填方所需挖土工程量用。

1.1.3 土的基本性质

土的物理性质包括密度、含水量、孔隙比、透水性、摩擦系数、粘结力以及土的可松性等。这些性质是确定地基处理方案和制订土方工程施工方案的重要依据，对土方工程的稳定性、施工方法、工程量、劳动量和工程造价都有影响。

1. 土的可松性

天然土经开挖后，其体积因松散而增加，虽经振动夯实，仍不能恢复原来的体积，这种性质称为土的可松性。土的可松性程度用可松性系数表示，即

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \tag{1 - 1}$$

$$K'_s = \frac{V_3}{V_1} \tag{1 - 2}$$

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 ——土被挖出后在松散状态下的体积；
 V_3 ——土经压（夯）实后的体积。

可松性系数对土方的调配、计算土方运输量、计算填方量和运土工具等都有较大的影响。各类土的可松性系数见表 1 - 1。

2. 土的透水性

土的透水性是指水流通过土中孔隙的难易程度。地下水的流动以及在土中的渗透速度都与土的透水性有关。在计算地下水源水量时，也涉及土的透水性指标。

地下水在土中渗流速度一般可按达西定律计算，其公式如下：

$$v = K \cdot I \tag{1 - 3}$$
$$I = h/L$$

式中 v ——水在土中的渗流速度（m/d）；
 I ——水力梯度，即两点水头差（ h ）与其水平距离（ L ）之比；
 K ——土的渗透系数（m/d）。

K 值的大小反映了土透水性的强弱。土的渗透系数可以通过室内渗透试验或现场抽水试验测定。一般土的渗透系数见表 1 - 2。

表 1 - 2 土的渗透系数

土的种类	土的渗透系数 K (m/d)	土的种类	土的渗透系数 K (m/d)
黏土	<0.005	粗砂	20~50
粉质黏土	0.005~0.1	均质粗砂	60~75
粉土	0.1~0.5	圆砾	50~100
黄土	0.25~0.5	卵石	100~500
粉砂	0.5~1.0	无充填无卵石	500~1000
细砂	1.0~5	稍有裂隙岩石	20~60
中砂	5~20	裂隙多的岩石	>60
均质中砂	35~50		

1.2 土方工程量的计算

1.2.1 基坑、基槽土方量计算

基坑土方量可按立体几何中的拟柱体（由两个平行的平面做底的一种多面体）体积公式计算（图 1-1），即

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

式中 H ——基坑深度（m）；

A_1 、 A_2 ——基坑上、下两底面积（ m^2 ）；

A_0 ——基坑中截面面积（ m^2 ）。

基槽、管沟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（图 1-2）：

$$V_1 = \frac{L_1}{6}(A_1 + 4A_0 + A_2) \quad (1-5)$$

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 ——各分段的土方量（ m^3 ）。

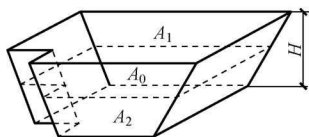


图 1-1 基坑土方量计算

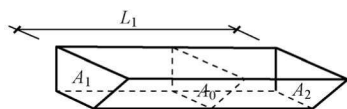


图 1-2 基槽土方量计算

1.2.2 场地平整土石方工程量计算

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布置图竖向设计中确定。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，由设计标高和地面天然标高之差，可以得到场地各点的施工高度（即填挖高度），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，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,选择其中的最优方案。

(1) 场地设计标高的影响因素。

- 1) 应满足生产工艺和运输的要求;
- 2) 充分利用地形(如分区或分台阶布置),尽量使挖填方平衡,以减少土方量,使运费最少;
- 3) 要有一定泄水坡度($\geq 0.2\%$),使之能满足排水要求;
- 4) 要考虑最高洪水位的影响。

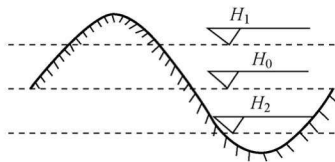


图 1-3 场地不同设计标高的比较

(2) 场地设计标高的确定。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时,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($\sum V_{挖} = \sum V_{填}$)。

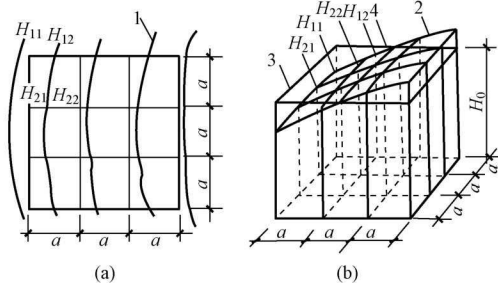


图 1-4 场地设计标高简图

- (a) 地形图上划分方格; (b) 设计标高示意
1—等高线; 2—自然地坪; 3—设计标高平面;
4—自然地面与设计标高平面的交线(零线)

在具有等高线的地形图上,将施工区域划分为边长 $a=10\sim 50\text{m}$ 的若干方格(图 1-4)。

① 确定各小方格的角点高程。

a. 当地形平坦时,根据地形图上相邻两等高线的高程,用插入法计算求得;也可用一张透明纸,上面画 6 根等距离的平行线,将该透明纸放到标有方格网的地形图上,将 6 根平行线的最外两根分别对准 A、B 两点,这时 6 根等距离的平行线将 A、B 之间的高差分成 5 等份,于是便可直接读得 4 点的地面标高(图 1-5)。

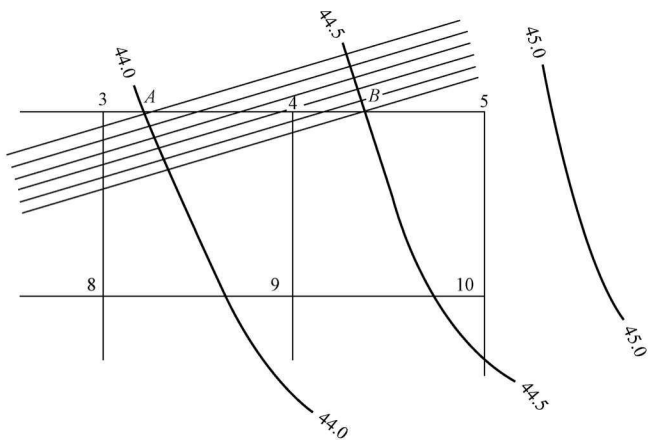


图 1-5 图解法确定角点高程

b. 在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。

②按填挖方平衡确定设计标高 H_0 。

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

$$H_0 = \frac{\sum (H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22})}{4N} \quad (1-6)$$

式中 H_0 ——所计算场地的设计标高 (m);

a ——方格边长 (m);

N ——方格数;

H_{11} 、 H_{12} 、 H_{21} 、 H_{22} ——某一方格的 4 个角点标高 (m)。

由图 1-4 可知, 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} 则是四个方格公共的角点标高, 它们分别在上式中要加一次、两次、四次。此外, 当实际地形在规划的方格网上缺角或内凹时, 还可能出现需要加 3 次的角点标高, 因此, 设计标高 H_0 的计算式可改写为

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

式中 H_1 ——一个方格仅有的角点标高 (m);

H_2 、 H_3 、 H_4 ——分别为两个方格、三个方格和四个方格共有的角点标高 (m);

N ——方格数。

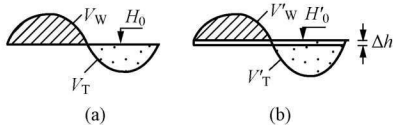


图 1-6 设计标高调整计算示意
(a) 理论设计标高; (b) 调整设计标高

2) 调整场地设计标高 (H'_{ij})。初步确定场地设计标高 (H_0) 仅为—理论值, 实际上, 还需要考虑以下因素对初步场地设计标高 (H_0) 值进行调整 (图1-6)。

①土的可松性影响。由于土具有可松性, 会造成填土的多余, 需相应地提高设计标高。

设 Δh 为土的可松性引起的增长值, 则设计标高调整后的总挖方体积 V'_w 应为

$$V'_w = V_w - F_w \cdot \Delta h \quad (1-8)$$

$$\text{总填方体积为} \quad V'_T = V'_w \cdot K'_s = (V_w - F_w \Delta h) K'_s \quad (1-9)$$

此时, 填方区的标高也应与挖方区一样, 提高 Δh , 即

$$\Delta h = \frac{V'_T - V_T}{F_T} = \frac{(V_w - F_w \Delta h) K'_s - V_T}{F_T} \quad (1-10)$$

经移项整理简化得 (当 $V_T = V_w$):

$$\Delta h = \frac{V_w \cdot (K'_s - 1)}{F_T + F_w \cdot K'_s} \quad (1-11)$$

故考虑土的可松性后, 场地设计标高应调整为

$$H'_0 = H_0 + \Delta h \quad (1-12)$$

式中 V_w 、 V_T ——按初定场地设计标高计算得出的总挖方、总填方体积 (m^3);

F_w 、 F_T ——按初定场地设计标高计算得出的挖方区、填方区总面积 (m^2);

K'_s ——土的最后可松性系数。

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土于场外(简称借土)等,均会引起挖填土方量的变化。必要时,亦需重新调整设计标高。

为简化计算,场地设计标高的调整可按下列近似公式确定,即

$$H''_0 = H'_0 \pm \frac{Q}{N \cdot a^2} \quad (1-13)$$

式中 Q ——假定按初定场地设计标高(H'_0)平整后多余或不足的土方量;

N ——场地方格数;

a ——方格边长。

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,整个场地表面均处同一水平面,但实际上由于排水的要求,场地表面需有一定的泄水坡度。平整场地的表面坡度应符合设计要求,如无设计要求时,排水沟方向的坡度不应小于0.2%。因此,还需根据场地的泄水坡度的要求(单向泄水或双向泄水),计算出场内各方格角点实际施工所用的设计标高。

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(图1-7),场地内任意一点的设计标高则为

$$H_{ij} = H''_0 \pm L \cdot i \quad (1-14)$$

式中 H_{ij} ——场地内任一点的设计标高;

L ——该点至 H''_0 — H''_0 中心线的距离;

i ——场地单向泄水坡度(不小于0.2%)。

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(图1-8),场地内任一点的设计标高为

$$H_{ij} = H''_0 \pm L_x i_x \pm L_y i_y \quad (1-15)$$

式中 L_x 、 L_y ——该点沿 x — x 、 y — y 方向距场地的中心线的距离;

i_x 、 i_y ——该点沿 x — x 、 y — y 方向的泄水坡度。

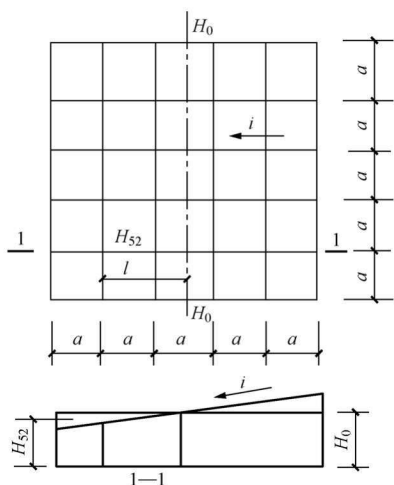


图 1-7 场地具有单向泄水坡度

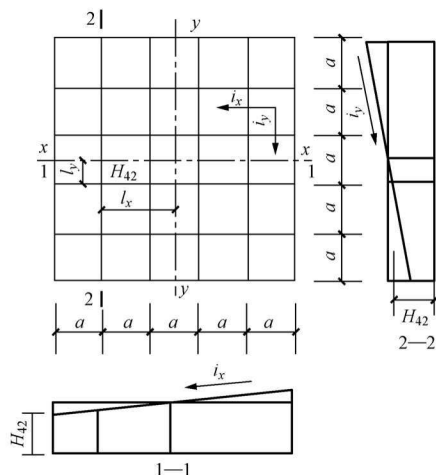


图 1-8 场地具有双向泄水坡度

2. 场地土方量计算

场地土方量计算方法常见的有方格网法、断面法及边坡计算法。

(1) 方格网法。

1) 计算场地各方格角点的施工高度。各方格角点的施工高度按下式计算：

$$h_n = H_n - H \quad (1-16)$$

式中 h_n ——角点施工高度，即填挖高度。以“+”为填，“-”为挖；

H_n ——角点的设计标高（若无泄水坡度时，即为场地的设计标高）；

H ——角点的自然地面标高。

2) 确定“零线”。如果一个方格中一部分角点的施工高度为“+”，而另一部分为“-”时，此方格中的土方一部分为填方，一部分为挖方。计算此类方格的土方量需先确定填方与挖方的分界线，即“零线”。“零线”位置的确定方法有解析法和图解法。

①解析法。先求出有关方格边线（此边线一端为挖，一端为填）上的“零点”（即不挖不填的点），然后将相邻的两个“零点”相连即为“零线”。如图 1-9 所示，设 h_1 为填方角点的填方高度， h_2 为挖方角点的挖方高度，0 为零点位置。则可求得：

$$x = \frac{ah_1}{h_1 + h_2} \quad (1-17)$$

②图解法。以有零点的方格边为纵轴，以有零点方格边两端的方格边为横轴（为折线），然后用直尺将有零点的方格边两端的施工高度按比例标于纵轴两侧的横轴上。若角点的施工高度为“+”时，其比例长度在纵轴的右侧量取；若角点的施工高度为“-”时，则比例长度应在纵轴的左侧量取。然后，用直尺将两个比例长度的终点相连，直尺与纵轴的交点，即为该方格边上的零点（图 1-10）。用此法将方格网中所有零点找出，依次将相邻的零点连接起来，即得到零线。

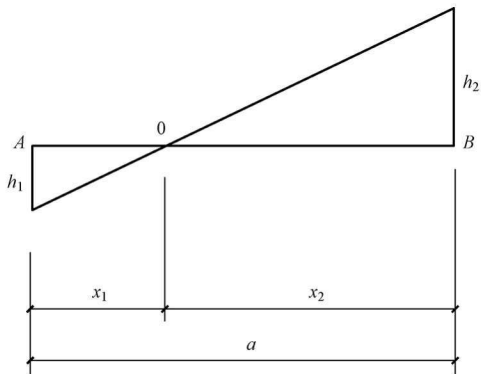


图 1-9 用解析法求解零点

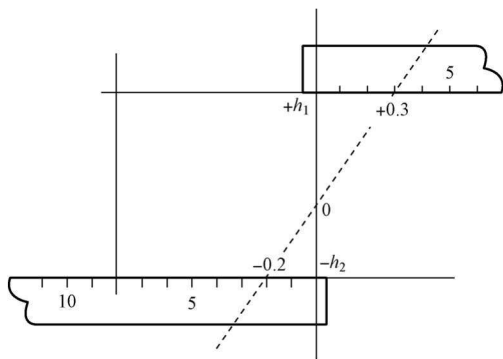


图 1-10 零点位置计算示意

用图解法确定零点比较快捷，可避免计算或查表不慎而出错，故在实际工作中常用此法求解零点和零线。

3) 计算场地填挖土方量。场地土方量计算可采用四方棱柱体法或三角棱柱体法。

①用四方棱柱体法计算时，依据方格角点的施工高度，分为三种类型。

a. 方格四个角点全部为填（或挖）（图 1-11），其土方量为

$$V = \frac{a^2}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (1-18)$$

式中 V ——挖方或填方的体积 (m^3);
 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 ——方格角点的施工高度,以绝对值代入 (m)。

b. 方格的相邻两角点为挖,另两角点为填 (图 1-12),其挖方部分土方量为

$$V_{1,2} = \frac{a^2}{4} \left(\frac{h_1^2}{h_1 + h_4} + \frac{h_2^2}{h_2 + h_3} \right) \quad (1-19)$$

填方部分的土方量为

$$V_{3,4} = \frac{a^2}{4} \left(\frac{h_3^2}{h_2 + h_3} + \frac{h_4^2}{h_1 + h_4} \right) \quad (1-20)$$

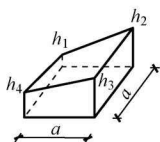


图 1-11 全挖或全填的方格

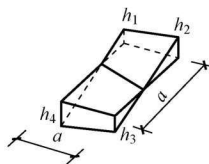


图 1-12 两挖和两填的方格

c. 方格的三个角点为挖,另一角点为填 (或相反) (图 1-13),其填方部分的土方量为

$$V_4 = \frac{a^2}{6} \times \frac{h_4^3}{(h_1 + h_4)(h_3 + h_4)} \quad (1-21)$$

挖方部分土方量为

$$V_{1,2,3} = \frac{a^2}{6} (2h_1 + h_2 + 2h_3 - h_4) + V_4 \quad (1-22)$$

使用上面各式时,注意 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 是顺时针连续排列,第二种类型中 h_1 、 h_2 同号, h_3 、 h_4 同号,第三种类型中 h_1 、 h_2 、 h_3 同号, h_4 与 h_1 、 h_2 、 h_3 异号。

②用三角棱柱体法计算场地土方量,是将每一方格顺地形的等高线沿对角线划分为两个三角形,然后分别计算每一三角棱柱 (锥) 体的土方量。

a. 三角形为全挖或全填时 (图 1-14):

$$V = \frac{a^2}{6} (h_1 + h_2 + h_3) \quad (1-23)$$

b. 三角形有挖有填时 (图 1-14) 则其零线将三角形分为两部分:一个是底面为三角形的锥体 (V_3),另一个是底面为四边形的楔体 ($V_{1,2}$)。其土方量分别为

$$V_3 = \frac{a^2}{6} \times \frac{h_3^3}{(h_1 + h_3)(h_2 + h_3)} \quad (1-24)$$

$$V_{1,2} = \frac{a^2}{6} \left[\frac{h_3^3}{(h_1 + h_3)(h_2 + h_3)} - h_3 + h_2 + h_1 \right] \quad (1-25)$$

计算场地土方量的公式不同,计算结果精度亦不尽相同。当地形平坦时,采用四棱柱体,并将方格划分得大些,可以减少计算工作量。当地形起伏变化较大时,则应将方格网划分得小一些,或采用三角棱柱体法计算,以使结果准确些。

(2) 断面法。断面法是沿场地取若干个相互平行的断面 (当精度要求不高时可利用

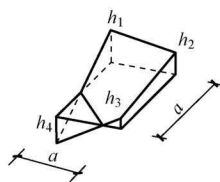


图 1-13 三挖一填
(或相反)的方格

地形图定出,若精度要求较高时,应实地测量定出),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1-15所示。对于任一断面,其三角形或梯形的面积计算为

$$f_1 = \frac{1}{2} h_1 d_1$$

$$f_2 = \frac{1}{2} (h_1 + h_2) d_2$$

...

$$f_n = \frac{1}{2} h_n d_n$$

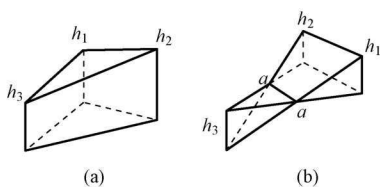


图 1-14 三角棱柱体法

(a) 全挖或全填; (b) 有挖有填

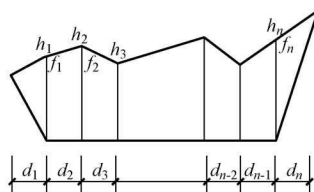


图 1-15 断面法示意

断面面积为

$$F_i = f_1 + f_2 + \cdots + f_n$$

各个断面面积求出后,设各断面面积分别为 F_1 、 F_2 、 $\cdots$ 、 F_n , 相邻两断面间的距离依次为 l_1 、 l_2 、 $\cdots$ 、 l_n , 则所求的土方体积为

$$V = \frac{1}{2} (F_1 + F_2) l_1 + \frac{1}{2} (F_2 + F_3) l_2 + \cdots + \frac{1}{2} (F_{n-1} + F_n) l_n \quad (1-26)$$

(3) 边坡计算法(图1-16)。

1) 三角棱锥体(图1-16中①~③部分, ⑤~⑩部分)的计算:

$$V_1 = \frac{1}{3} A_1 l_1 \quad (1-27)$$

2) 三角棱柱体(图1-16中④部分)的计算:

$$V_4 = \frac{1}{2} (A_1 + A_2) l_4 \quad (1-28)$$

当三角棱柱体两端横断面面积相差较大时, 则

$$V_4 = \frac{1}{6} (A_1 + 4A_0 + A_2) l_4 \quad (1-29)$$

场地平整土方量计算示例

某建筑场地地形图和方格网($a=40\text{m}$)如图1-17所示。土质为粉质黏土, 场地设计泄水坡度 $i_x=0.3\%$, $i_y=0.2\%$, 泄水方向根据地形确定, 试确定场地设计标高(不考虑土的可松性影响, 如有余土, 可用以加宽边坡), 并计算填、挖土方量(不考虑边坡土方量)。