



21世纪全国高校应用型人才培养土建物管类规划教材

土木工程施工

TUMU GONGCHENG SHIGONG

严心娥 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高校应用型人才培养土建物管类规划教材

土木工程施工

主 编 苏心敏

副主编 苏晓蓓 张大伟

参 编 李红侠 王彩雪 焦 娜
刘耀芳 杨小刚



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书按照我国现行业标准、施工规范,结合编者多年教学实践和企业生产实践编写而成,充分体现了岗位技能的要求。本书分为施工技术和施工组织两大部分,其中施工技术部分包括土方工程、桩基工程、砌筑工程、混凝土结构工程、预应力混凝土工程、结构安装工程、防水工程,共7章内容;施工组织部分包括建筑施工组织概论、流水施工原理、网络计划技术、单位工程施工组织设计、施工组织总设计,共5章内容。本书重点阐述施工工艺及工艺原理、施工方案及方法、施工组织及管理、保证工程质量和施工安全等有关技术措施,力求反映土木工程施工领域国内外的先进科学技术、先进工艺及管理水平。

本书可作为高等院校土木工程专业及其他相关专业的教学用书,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工 / 严心娥主编. —北京:北京大学出版社, 2010.9

(21世纪全国高校应用型人才培养土建物管类规划教材)

ISBN 978-7-301-17209-4

I. ①土… II. ①严… III. ①土木工程—工程施工—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TU7

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第092282号

书 名: 土木工程施工

著作责任者: 严心娥 主编

责任编辑: 桂 春

标准书号: ISBN 978-7-301-17209-4/TU·0122

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: zyjy@pup.cn

印 刷 者: 世界知识印刷厂

经 销 者: 新华书店

787毫米×980毫米 16开本 25.5印张 560千字

2010年9月第1版 2010年9月第1次印刷

定 价: 47.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书按照我国现行业标准、施工规范,结合编者多年教学实践和企业生产实践编写而成,充分体现了岗位技能的要求。本书分为施工技术和施工组织两大部分,其中施工技术部分包括土方工程、桩基工程、砌筑工程、混凝土结构工程、预应力混凝土工程、结构安装工程、防水工程,共7章内容;施工组织部分包括建筑施工组织概论、流水施工原理、网络计划技术、单位工程施工组织设计、施工组织总设计,共5章内容。本书重点阐述施工工艺及工艺原理、施工方案及方法、施工组织及管理、保证工程质量和施工安全等有关技术措施,力求反映土木工程施工领域国内外的先进科学技术、先进工艺及管理水平。

本书在内容组织上以必需、实用和够用为原则,简化理论推导,尽量体现“新”和“精”;重视具体知识的实践应用,使学生做到“学”“做”“用”合一。

本书由严心娥主编并担任统稿工作。参加本书编写的人员有:西安欧亚学院苏晓蓓、煤炭科学研究总院西安研究院杨小刚(编写第1章),西安欧亚学院张大伟(编写第2章),西安欧亚学院刘耀芳(编写第3章、第7章),西安建筑科技大学李红侠(编写第4章),西安欧亚学院严心娥(编写第5章、第6章),西安欧亚学院王彩雪(编写第8章、第9章、第12章),西安欧亚学院焦娜(编写第10章、第11章)。

本书在编写过程中参考了一些专家学者的研究成果及相关文献,得到了西安欧亚学院相关部门的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!由于编者水平有限,书中难免存在缺点和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2010年6月

目 录

第1章 土方工程	1
1.1 概述	1
1.2 土方工程量计算与土方调配	4
1.3 土方工程施工准备与辅助工作	11
1.4 土方机械化施工	31
1.5 土方填筑与压实	38
第2章 桩基工程	44
2.1 桩的作用和分类	44
2.2 混凝土预制桩工程	45
2.3 混凝土灌注桩工程	54
第3章 砌筑工程	70
3.1 砌筑用脚手架	70
3.2 砌筑材料	86
3.3 砖墙砌体施工	91
3.4 石砌体施工	102
3.5 砌块砌体施工	104
3.6 砌体工程的冬期施工	108
第4章 混凝土结构工程	113
4.1 概述	113
4.2 钢筋工程	115
4.3 模板工程	135
4.4 混凝土工程	142
4.5 混凝土冬期施工	157
第5章 预应力混凝土工程	162
5.1 概述	162
5.2 后张法	166

5.3	先张法预应力施工	181
5.4	无黏结预应力施工法	191
第6章	结构安装工程	199
6.1	建筑起重机具	199
6.2	单层工业厂房结构吊装	213
第7章	防水工程	232
7.1	屋面防水工程	232
7.2	地下防水工程	245
第8章	建筑施工组织概论	250
8.1	建筑施工组织的研究对象和任务	250
8.2	工程项目基本建设程序	251
8.3	施工组织设计的分类和内容	255
第9章	流水施工原理	259
9.1	流水施工的基本概念	259
9.2	流水施工的主要参数	264
9.3	流水施工的组织方式	270
第10章	网络计划技术	280
10.1	基本概念	280
10.2	网络计划的绘制	289
10.3	网络计划时间参数的计算	296
10.4	双代号时标网络图	306
10.5	网络计划优化	309
第11章	单位工程施工组织设计	320
11.1	概述	320
11.2	工程概况	322
11.3	单位工程施工方案	323
11.4	单位工程施工进度计划	333
11.5	单位工程施工平面图	341
11.6	单位工程技术组织措施	345
11.7	单位工程施工组织设计实例	348
第12章	施工组织总设计	368
12.1	施工组织设计的编制依据和程序	368
12.2	工程概况	370

12.3	施工部署	371
12.4	施工总进度计划	373
12.5	资源需要量计划	375
12.6	施工总平面图	377
12.7	大型临时设施的计算	381
12.8	施工组织总设计实例	389
参考文献		399

第1章 土方工程



主要内容

土方量的计算、基坑边坡与支护、排水和地下水的处理、土方机械化施工、土方填筑与压实。



学习重点

土方量的计算、基坑支护、降水法、土方填筑与压实。



学习要求

了解明排水法和管井井点降水的方法和施工要点；了解基坑支护的类型、原理和施工方法；了解土方机械的类型及施工特点；了解土方填筑与压实的施工要求；掌握平整场地的土方量计算方法；重点掌握轻型井点降水的设计计算。

1.1 概 述

建筑工程施工中，土方工程是主要工种之一，施工范围主要有场地平整、基坑（槽）开挖与回填、地基土的处理、土石方爆破、排水、降水及土壁支撑等。

1.1.1 土方工程施工特点

1. 土方量大，劳动繁重，工期长

如某中心大厦深基坑土方开挖面积为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，开挖深度达 25 m，土方开挖总量达 $4.2 \times 10^5 \text{ m}^3$ ，实际工期达到了 210 天。因此，为了减轻土方施工繁重的劳动，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施工方法。

2. 施工条件复杂

土方工程施工一般为露天作业，受地区、气候、水文地质等条件的影响大，同时，受

周围环境条件的制约也多。因此在组织土方施工前,必须根据施工现场具体施工条件、工期和质量要求、拟定切实可行的土方工程施工方案。

1.1.2 土的工程分类

土的分类方法很多。作为地基土,按《建筑地基基础设计规范》可划分为岩石、碎石土、沙土、粉土、黏性土和特殊土等,它们与土方边坡稳定和土壁支护有密切关系。按照土的开挖难易程度将土分为八类(见表1-1),这八类土决定了土方工程施工方法的选择和土方工程的费用。

表 1-1 土的工程分类与现场鉴别方法

类别	土的名称	开挖方式	可松性系数	
			K_s	K'_s
第一类 (松软土)	沙,粉土,冲积沙土层,种植土,泥炭(淤泥)	用锹、锄头挖掘	1.08~1.17	1.01~1.04
第二类 (普通土)	粉质黏土,潮湿的黄土,夹有碎石、卵石的沙,种植土,填筑土和粉土	用锹、锄头挖掘,少许用镐翻松	1.14~1.28	1.02~1.05
第三类 (坚土)	软及中等密实黏土,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	主要用镐,少许用锹、锄头,部分用撬棍	1.24~1.30	1.04~1.07
第四类 (砂砾坚土)	重黏土及含碎石、卵石的黏土,粗卵石,密实的黄土,天然级配沙石,软泥灰岩及蛋白石	先用镐、撬棍,然后用锹挖掘,部分用楔子及大锤	1.30~1.45	1.06~1.09
第五类 (软石)	硬质炭纪黏土,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	用镐或撬棍、大锤,部分用爆破方法	1.30~1.45	1.10~1.20
第六类 (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	用爆破方法,部分用风镐	1.30~1.45	1.10~1.20
第七类 (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,风化痕迹的安山岩、玄武岩	用爆破方法	1.30~1.45	1.10~1.20
第八类 (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	用爆破方法	1.45~1.50	1.20~1.30

1.1.3 土的工程性质

1. 土的可松性

自然状态下的土，经过开挖后，其体积因松散而增大，回填以后虽经压实，仍不能恢复到原来的体积，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。土经开挖后的松散体积与原自然状态下的体积之比，称为最初可松性系数；土经回填压实后的体积与原自然状态下的体积之比，称为最后可松性系数，即

$$K_s = \frac{V_2}{V_1}; K'_s = \frac{V_3}{V_1}$$

式中： K_s ——最初可松性系数（表 1-1）；

K'_s ——最后可松性系数（表 1-1）；

V_1 ——土在天然状态下的体积；

V_2 ——土在开挖后的松散体积；

V_3 ——土经回填压实后的体积。

由于土方工程量是以自然状态下的体积来计算的，所以土的可松性对场地平整，土方量的平衡调配，计算土方机械生产率，确定运土机具数量以及计算填方所需的挖方体积等均有很大影响。

【例题 1-1】现有一个体积为 400 m^3 的坑，坑内土为一类土，问 2 m^3 汽车需多少车次（ $K_s = 1.15$ ）能将其运完？

解： $V_2 = K_s \times V_1 = 1.15 \times 400 = 460 (\text{m}^3)$

故，需 $V_2/2 = 230$ 车次。

2. 土的渗透性

水流通过土中孔隙难易程度的性质，称为土的渗透性。土中水的渗流运动通常用达西定律来描述，即地下水在土中的渗流速度与水头差成正比，与渗流路径长度成反比。其表达方式为：

$$v = \frac{\Delta H}{L} \cdot K = K \cdot i$$

式中： v ——地下水渗流速度（ m/d ）；

ΔH ——渗流路程两端的水头差（ m ）；

i ——单位渗透路径长度的水头差，亦称为水力梯度（无量纲）；

K ——渗透系数 (m/d)。

渗透系数 K 是表示土的渗透性的重要参数, 由试验确定, K 值大小对施工降水方案与支护结构形式等的选择影响很大。表 1-2 为各种土的渗透系数参考值。

表 1-2 土的渗透系数 K 参考值

名称	渗透系数 K (m/d)	名称	渗透系数 K (m/d)
黏土	< 0.005	中沙	$5.0 \sim 25.0$
粉质黏土	$0.005 \sim 0.1$	均质中沙	$35 \sim 50$
粉土	$0.1 \sim 0.5$	粗沙	$20 \sim 50$
黄土	$0.25 \sim 0.5$	圆砾	$50 \sim 100$
粉沙	$0.5 \sim 5.0$	卵石	$100 \sim 500$
细沙	$1.0 \sim 10.0$	无填充物卵石	$500 \sim 1000$

1.2 土方工程量计算与土方调配

1.2.1 基坑与基槽土方量计算

基坑的土方量计算可近似地按拟柱体体积公式计算, 如图 1-1 (a) 所示。

$$V = \frac{1}{6}H(F_1 + 4F_0 + F_2)$$

式中: H ——基坑深度 (m);

F_1 、 F_2 ——基坑上下两底面积 (m^2);

F_0 ——基坑中截面的面积 (m^2)。

注意: F_0 一般情况下不等于 F_1 、 F_2 之和的一半, 而应该按侧面几何图形的边长计算出中位线的长度, 然后再计算中截面的面积 F_0 。

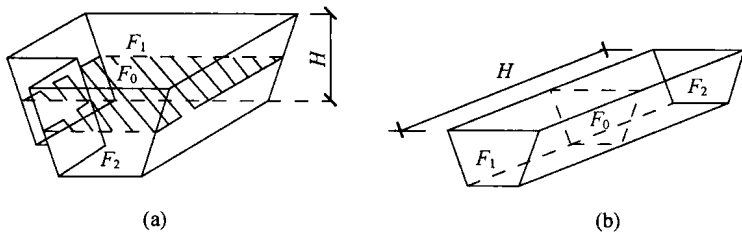


图 1-1 基坑、基槽土方量计算简图

(a) 基坑土方量计算; (b) 基槽土方量计算

基槽土方量计算可沿长度方向分段计算。当基槽某段内横截面尺寸不变时,其土方量即为该段横截面的面积乘以该基槽长度。如某段内横截面的形状、尺寸有变化时,也可近似按拟柱体体积公式计算(如图1-1(b)所示),各槽段土方量之和,即为基槽总土方量。

1.2.2 场地平整土方量计算

在丘陵和山区地带,建筑场地往往处在凹凸不平的自然地貌上,开工之前必须挖高填低将场地整平,场地整平是将现场平整成施工所要求的设计平面。场地平整前,要确定平整与基坑开挖的施工顺序,确定场地的设计标高,计算挖、填土方工程量,确定土方平衡调配方案,然后根据工程规模、施工期限、土的性质及现有机械设备条件,选择土方施工机械,拟定施工方案。

场地平整与基坑开挖的顺序,通常有3种不同情况。

(1) 对场地挖填土方量较大的工地,如地形起伏较大,可先整平场地,后开挖基坑。这样可为土方机械提供较大的工作面,使其充分发挥工作效能,减少与其他工作的相互干扰。但这样容易重复开挖。

(2) 对较平坦的场地,可先开挖基坑,待基础施工后再平整场地。这样可减少土方的重复开挖,加快建筑物的施工速度。

(3) 当工期紧迫或场地地形复杂时,可按照现场施工的具体条件和施工组织的要求,划分施工区,施工时,可平整某区场地后,随即开挖该区的基坑,或某区基坑,并做完基础后进行该区的场地平整。

1. 场地设计标高的确定与调整

场地设计标高是进行场地平整和土方量计算的依据,合理地确定场地设计标高对减少土方量的填挖,加快建设速度都具有重要的经济意义。在场地设计标高确定时,有时要考虑市政排水、道路和城市规划等因素,设计文件中明确规定了场地平整后的设计标高,施工单位只能依照设计文件施工。若无文件规定则可通过计算来确定设计标高。确定场地设计标高时应考虑以下因素:a) 满足生产工艺和运输的要求;b) 尽量利用地形,以减少挖方数量;c) 尽量使场地内挖填平衡,以降低土方运输费用;d) 有一定泄水坡度($\geq 2\text{‰}$),满足排水要求;e) 考虑最高洪水位的要求。考虑以上五点因素,可按照以下步骤和方法确定。

(1) 初步确定场地设计标高 H_0 。初步计算场地设计标高的原则是场地内挖填方平衡,即场地内挖方的体积等于填方的体积。首先将场地地形图划分为边长 $a = 10 \sim 40 \text{ m}$ 的若干个方格,如图1-2所示。每个方格角点的标高可根据地形图上相邻两等高线的高程用插入

法求得,但是当地形起伏较大时,此种方法误差较大,可在现场用木桩打好方格网,然后用测量的方法求得。

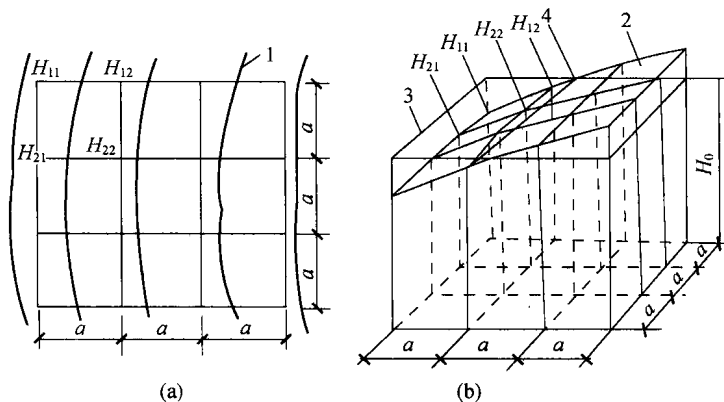


图 1-2 场地设计标高计算简图

(a) 地形图上划分方格 (10~40 m); (b) 设计标高示意图

1—等高线; 2—自然地面; 3—设计标高平面; 4—零线

按照挖填方平衡, 场地设计标高的计算式为:

$$na^2H_0 = \frac{1}{4}a^2(H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22}) + \frac{1}{4}a^2(H_{12} + H_{13} + H_{22} + H_{23}) + \dots$$

$$H_0 = \frac{\sum_i^n (H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22})}{4n}$$

式中: n ——方格数

也可写成:

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 3 \sum H_3 + 4 \sum H_4}{4n}$$

式中: H_1 ——一个方格独有的角点标高;

H_2 ——两个方格共有的角点标高;

H_3 ——三个方格共有的角点标高;

H_4 ——四个方格共有的角点标高。

(2) 场地设计标高的调整——考虑泄水坡度的影响。按上式计算的场地设计标高为一个理论值, 实际上还应该考虑场地的排水要求, 场地表面应有一定的泄水坡度。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的设计标高。

① 单向泄水 (见图 1-3 (a))。场地具有单向泄水坡度 i 时, 各方格角点设计标高的求法:

$$H_n = H_0 \pm Li$$

式中: H_n ——场地内任一点的设计标高;

L ——该点至场地中心线的距离;

i ——场地泄水坡度 ($\geq 2\text{‰}$)。

② 双向泄水 (见图 1-3 (b))。场地具有双向泄水坡度 i_x 和 i_y 时, 各方格角点设计标高的求法如下:

$$H_n = H_0 \pm L_x i_x \pm L_y i_y$$

式中: L_x 、 L_y ——某方格角点距场地中心线 X-X, Y-Y 的距离;

i_x 、 i_y ——X-X, Y-Y 方向的泄水坡度。

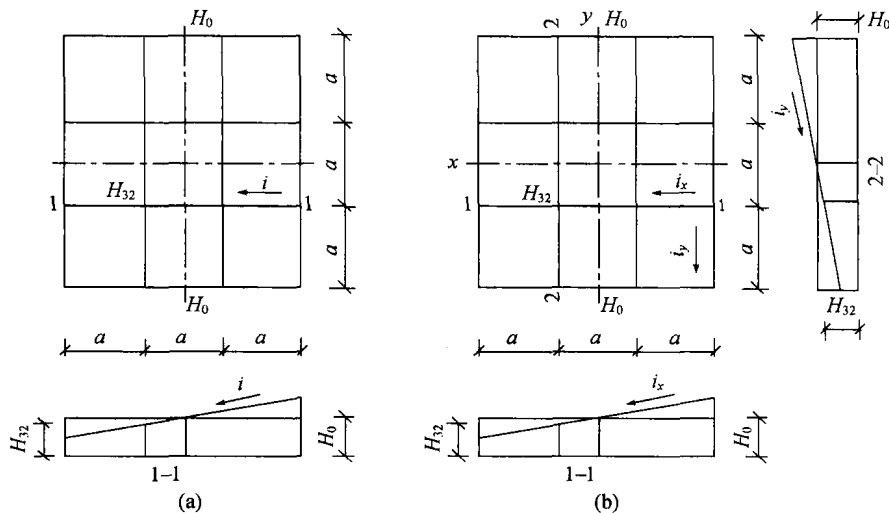


图 1-3 场地泄水坡度示意图

(a) 单向泄水; (b) 双向泄水

2. 场地土方量计算

一般采用方格网法和断面法来计算场地和边坡的土方量。大面积场地平整的土方量, 通常采用方格网法计算。方格网法是根据各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 (即施工高度), 然后计算每一方格的土方量, 并算出场地边坡的土方量。这样便可求得整个场地的填挖土方总量。步骤如下:

(1) 求各方格角点的施工高度 h_n :

$$h_n = H_n - H$$

式中: h_n ——各角点的施工高度, 即填挖高度。“+”为填, “-”为挖;

H_n ——角点的设计标高 (若无泄水坡度时, 即为 H_0);

H ——角点的自然地面标高。

(2) 绘出“零线”。如果一个方格中一部分角点的施工高度为正, 一部分角点的施工高度为负, 此格中的土方一部分为填方, 一部分则为挖方, 挖方和填方的分界线即为零线, 在该线上, 施工高度为零。在计算土方量之前, 必需先确定零线。

零线的确定方法是: 在相邻角点施工高度为一挖一填的方格边线上, 用插入法求出 (见如图 1-4) 方格边线上零点的位置, 再将各相邻的零点连接起来即得零线。

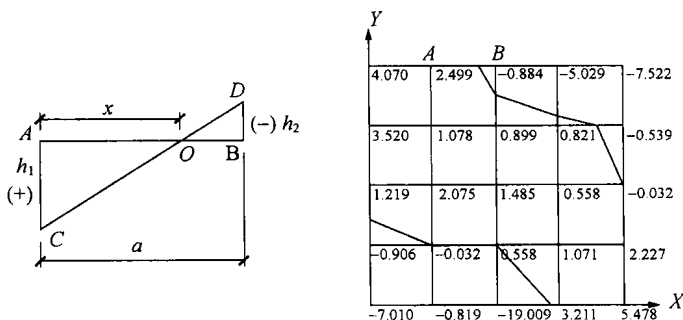


图 1-4 零线的图解法

其中:

$$x = \frac{ah_1}{h_1 + h_2}$$

(3) 计算场地挖、填土方量。场地的土方量计算可用四方棱柱体法和三角棱柱体法。四方棱柱体法计算比较简单, 根据方格角点的施工高度, 分为 3 种情况。

① 某个方格的四个角全部为填方或全部为挖方的土方量: (见图 1-5)。

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

式中: V ——挖方或填方的体积;

h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 ——方格角点的施工高度 (计算时取绝对值)。

② 相邻两角点为挖方, 另外两角点为填方 (见图 1-6)。

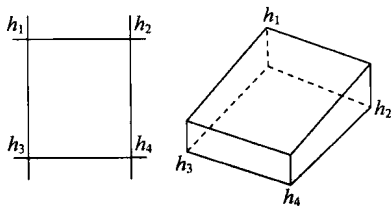


图 1-5 四角全挖或全填

$$\text{填方的土方量: } V_{1,3} = \frac{h_1 + h_3}{4} \times \frac{1}{2}(b+c)a$$

$$\text{挖方的土方量: } V_{2,4} = \frac{h_2 + h_4}{4} \times \frac{1}{2}(d+c)a$$

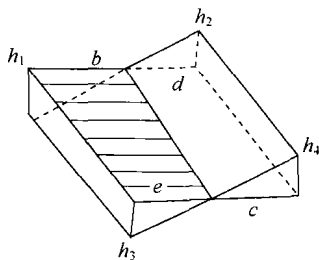


图 1-6 两角挖两角填

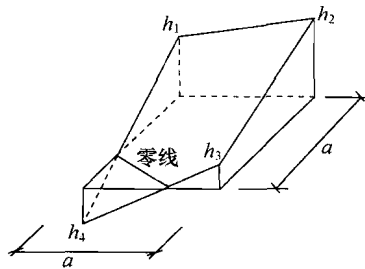


图 1-7 三点挖方或填方

③ 方格的三个角点为挖（填），另一个角点为填（挖），见图 1-7。

$$\text{挖方的土方量: } V_{1,2,3} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{5} \left(a^2 - \frac{1}{2}bc \right)$$

$$\text{填方的土方量: } V_4 = \frac{h_4}{3} \times \frac{1}{2}bc$$

当地势平坦时，可将方格划分得大些，可以减少计算工作量。当地形起伏变化较大时，则应将方格网划分的小一些，以使结果准确些。

【例题 1-2】某场地方格边长为 20 米。其中 $H_{11} = 45.82$, $H_{12} = 45.25$, $H_{13} = 44.06$, $H_{14} = 43.02$, $H_{21} = 44.81$, $H_{22} = 44.67$, $H_{23} = 43.75$, $H_{24} = 42.86$, $H_{31} = 44.12$, $H_{32} = 44.24$, $H_{33} = 43.05$, $H_{34} = 42.26$, $H_{41} = 48.08$, $H_{42} = 41.32$, $H_{43} = 38.39$, $H_{44} = 45.04$

试求：（1）场地的设计标高 H_0 ；

（2）当 $i_x = 3\text{‰}$, $i_y = 2\text{‰}$ 时根据以算的出各方格角点的施工高度，绘出零线，算出填、挖方量。

$$\begin{aligned} \text{解: 1) } H_0 &= \frac{(\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 3 \sum H_3 + 4 \sum H_4)}{4n} \\ &= (181.96 + 2 \times 343.07 + 0 + 4 \times 175.71) \div 36 \\ &= (181.96 + 686.14 + 0 + 702.84) \div 36 \\ &= 1570.94 \div 36 \\ &= 43.63722 \approx 43.64 \end{aligned}$$

2) 考虑泄水坡度后，各角点的设计标高为：（见图 1-8）

3) 各方格角点的施工高度 = 设计高度 - 自然高度

即 $h_n = H_n - H$, 则各角点的施工高度计算结果见图 1-9 中所示。

43.79	43.73	43.67	43.61
45.82	45.25	44.06	43.02
43.75	43.69	43.63	43.57
44.81	44.67	43.75	42.86
43.71	43.65	43.59	43.53
44.12	44.24	43.05	42.26
43.67	43.61	43.55	43.49
48.08	41.32	38.39	45.04

图 1-8 场地标高线

-2.03	-1.52	-0.39	0.59
1	2	3	
-1.06	-0.98	-0.12	0.71
4	5	6	
-0.41	-0.59	0.54	1.27
7	8	9	
-4.41	2.29	5.16	-1.55

图 1-9 场地标高线

4) 计算各方格的挖填土方量

$$V_1 \text{ 挖} = 5.59 \times 20^2 / 4 = 559 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_2 \text{ 挖} = 3.01 \times 20^2 / 4 = 301 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_3 \text{ 挖} = \frac{0.39 + 0.12}{4} \times \frac{1}{2} (8 + 2.9) \times 20 = 13.90 \text{ (m}^3\text{)} \quad (-0.39 \text{ 和 } 0.59 \text{ 之间的零点到}$$

-0.39 的距离为 8 m, -0.12 和 0.71 之间的零点到 -0.12 的距离为 2.9 m)

$$V_3 \text{ 填} = \frac{0.59 + 0.71}{4} \times \frac{1}{2} (12 + 17.1) \times 20 = 94.58 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_4 \text{ 挖} = (1.06 + 0.98 + 0.41 + 0.59) \times 20^2 / 4 = 304 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_5 \text{ 挖} = \frac{(0.59 + 0.98 + 0.12)}{5} \times \left(20^2 - \frac{1}{2} \times 9.6 \times 16.4 \right) = 108.6 \text{ (m}^3\text{)} \quad (-0.59 \text{ 和 } 0.54$$

之间的零点到 0.54 的距离为 9.6 m, -0.12 和 0.54 之间的零点到 0.54 的距离为 16.4 m)

$$V_5 \text{ 填} = \frac{1}{3} \times 0.54 \times \frac{1}{2} \times 9.6 \times 16.4 = 14.2 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_6 \text{ 挖} = \frac{1}{6} \times 3.6 \times 2.9 \times 0.12 = 0.21 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_6 \text{ 填} = \frac{0.54 + 1.27 + 0.71}{5} \times \left(20^2 - \frac{1}{2} \times 3.6 \times 2.9 \right) = 199.0 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_7 \text{ 挖} = \frac{4.41 + 0.41 + 0.59}{5} \times \left(20^2 - \frac{1}{2} \times 6.8 \times 15.9 \right) = 374.3 \text{ (m}^3\text{)} \quad (-4.41 \text{ 和 } 2.29 \text{ 之}$$

间的零点到 2.29 的距离为 6.8 m, -0.59 和 2.29 之间的零点到 2.29 的距离为 15.9 m)