

高等学校土木工程专业规划教材

▶▶ 最新版

(第二版)

# 土木工程施工

Tumu Gongcheng Shigong

(内附施工录像光盘)

孙震 穆静波 主编



光盘内容

教学幻灯片 施工现场录像

大量例题 习题 试题

课程设计任务书 指导书



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校土木工程专业规划教材

▶▶ 最新版

(第二版)

# 土木工程施工

Tumu Gongcheng Shigong

(内附施工录像光盘)

孙震 穆静波 主编



教学幻灯片 施工现场录像

大量例题 习题 试题

课程设计任务书 指导书



人民交通出版社  
China Communications Press

## 内 容 提 要

本书以最新施工及验收规范为依据,对土木工程各主要分部分项工程的施工方法、机械化施工原理以及单位工程施工组织设计、施工组织总设计,进行了全面的介绍。在内容上既吸收了传统的施工做法,也包括了最近几年土木工程施工发展的新技术、新工艺。

全书共 14 章,主要内容包括:土方工程、深基础工程、砌体工程、混凝土结构工程、预应力混凝土工程、结构安装工程、路桥施工、防水工程、装饰工程、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以及施工组织总设计等。

本书是按照高等学校土木工程专业指导委员会制定的《土木工程施工》课程教学大纲编写的。在内容的取舍上也考虑到电大、职大、夜大、函大等教育的教学、自学的需要。

本书通俗易懂,自学性强,可作为土木工程专业本、专科教材、自学考试有关专业的教科书,也可作为施工技术人员应试前的备考用书及岗位培训教材。

本书附有教学光盘一张。内容有教学幻灯片及 64 段施工现场录像,并附有大量例题、习题、试题及课程设计任务书、指导书。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工 / 孙震, 穆静波主编. — 2 版. — 北京: 人民交通出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-114-11396-3

I. ①土… II. ①孙… ②穆… III. ①土木工程—工程施工 IV. ①TU7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 086366 号

高等学校土木工程专业规划教材

书 名: 土木工程施工(第二版)

著 作 者: 孙 震 穆静波

责任编辑: 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 27.75

插 页: 1

字 数: 700 千

版 次: 2005 年 2 月第 1 版 2014 年 8 月第 2 版

印 次: 2014 年 8 月第 1 次 总第 18 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11396-3

印 数: 51001—55000 册

定 价: 58.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《土木工程施工》是土木工程专业学生的必修专业课之一。它是研究土木工程各主要工种工程施工技术和施工组织计划的一般规律,是一门实践性强、涉及面广、技术发展迅速的学科。

本教材是依据教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》及高等学校土木工程专业指导委员会制定的《土木工程施工》课程教学大纲编写的。编写中力求既适宜课堂教学,又满足在职人员的自学要求,并适应生产实践的需要。在全面系统地介绍土木工程施工的基本知识、基本理论和决策方法的基础上,力求科学地反映当前土木工程施工新工艺、新技术。培养学生解决土木工程施工技术和施工组织计划等问题的能力,以及运用国家现行施工规范、规程、标准的能力,加强对土木工程施工理论与应用的研究,以促进我国土木工程施工学科学技术的发展。

本书可作为土木工程专业本、专科教材、自学考试有关专业的教科书,也可作为施工技术人员的参考用书。

为方便教师的教学和学生的自学,本书附有教学光盘一张。盘中除教学幻灯片外,还有64段施工现场录像,以增加学生的感性认识。盘中附有大量例题、习题、试题及课程设计任务书、指导书。

本书由北京建筑大学孙震、穆静波教授任主编,各章编写人员如下:

第二、三、四、六章——北京建筑大学孙震教授;

第一、八、九、十、十一、十二、十三、十四章——北京建筑大学穆静波教授;

第七章——北京建筑大学张新天教授;

第五章——清华大学陈广峰教授。

本书自2004年出版以来,受到广大读者的青睐,经多次印刷而畅销不衰,为满足读者要求,此书于2014年改版,结合新规范和教学实践增删了部分内容。

限于时间和业务水平,书中难免有不足之处,恳切希望读者批评指正。

<b>第一章 土方工程</b> .....	1
第一节 概述 .....	1
第二节 土方计算与调配 .....	4
第三节 排水与降水 .....	13
第四节 土方边坡与土壁支护 .....	27
第五节 土方机械与施工 .....	38
第六节 土方填筑 .....	43
<b>第二章 深基础工程</b> .....	47
第一节 钢筋混凝土预制桩施工 .....	47
第二节 灌注桩施工 .....	57
第三节 地下连续墙施工 .....	63
第四节 人工挖孔灌注桩施工 .....	67
第五节 沉井基础施工 .....	69
<b>第三章 砌体工程</b> .....	71
第一节 砌体工程材料 .....	71
第二节 砌体工程机械与设施 .....	75
第三节 砖砌体施工 .....	81
第四节 混凝土小型空心砌块砌体工程 .....	86
第五节 石砌体施工 .....	89
第六节 砌体工程冬期施工 .....	90
<b>第四章 混凝土结构工程</b> .....	92
第一节 模板工程 .....	92
第二节 钢筋工程 .....	111
第三节 混凝土工程 .....	123
<b>第五章 预应力混凝土工程</b> .....	143
第一节 预应力筋品种与规格 .....	143

第二节	预应力筋锚固体系 .....	145
第三节	张拉设备 .....	148
第四节	预应力筋计算 .....	150
第五节	先张法预应力 .....	152
第六节	后张法预应力 .....	159
第七节	无粘结预应力 .....	167
<b>第六章</b>	<b>结构安装工程 .....</b>	<b>170</b>
第一节	起重机械 .....	170
第二节	钢筋混凝土单层工业厂房结构吊装 .....	179
第三节	多层装配式房屋结构安装 .....	201
第四节	空间网架结构吊装 .....	209
<b>第七章</b>	<b>路桥工程施工技术 .....</b>	<b>221</b>
第一节	路基工程施工技术 .....	221
第二节	路面工程施工技术 .....	226
第三节	桥梁工程施工技术 .....	241
<b>第八章</b>	<b>防水工程 .....</b>	<b>254</b>
第一节	地下防水工程 .....	254
第二节	屋面防水工程 .....	268
<b>第九章</b>	<b>装饰装修工程 .....</b>	<b>273</b>
第一节	概述 .....	273
第二节	抹灰工程 .....	273
第三节	饰面工程 .....	279
第四节	门窗与吊顶工程 .....	286
第五节	涂饰与裱糊工程 .....	292
<b>第十章</b>	<b>施工组织概论 .....</b>	<b>299</b>
第一节	概述 .....	299
第二节	施工准备工作 .....	303
第三节	施工组织设计 .....	308
<b>第十一章</b>	<b>流水施工方法 .....</b>	<b>313</b>
第一节	流水施工的基本概念 .....	313
第二节	流水施工的参数 .....	317
第三节	流水施工的组织方法 .....	322
第四节	应用示例 .....	333
<b>第十二章</b>	<b>网络计划技术 .....</b>	<b>335</b>
第一节	网络计划的一般概念 .....	335
第二节	双代号网络计划 .....	336
第三节	单代号网络计划 .....	348
第四节	双代号时标网络计划 .....	352
第五节	网络计划的优化 .....	355
<b>第十三章</b>	<b>单位工程施工组织设计 .....</b>	<b>369</b>

第一节	概述 .....	369
第二节	施工部署与施工方案 .....	372
第三节	施工计划的编制 .....	383
第四节	施工准备与施工平面布置 .....	389
第五节	施工管理计划与技术经济指标 .....	394
第六节	某综合楼工程施工组织设计实例 .....	397
<b>第十四章</b>	<b>施工组织总设计 .....</b>	<b>409</b>
第一节	概述 .....	409
第二节	施工部署与施工方案 .....	412
第三节	施工总进度计划 .....	414
第四节	资源配置计划与总体施工准备 .....	416
第五节	全场性暂设工程 .....	418
第六节	施工总平面布置 .....	427
第七节	目标管理计划及技术经济指标 .....	432
<b>参考文献</b>	.....	<b>434</b>

# 第一章

# 土方工程

## 第一节 概 述

土方工程是土木工程施工中首先进行的一项重要内容。它主要包括场地平整、基坑及钎槽开挖、路基填筑及基坑回填等工程,同时往往还需进行排水、降水、土壁支护等辅助性工程加以配合。

### 一、土方工程的特点与施工要求

#### 1. 土方工程施工的特点

(1)面广量大、劳动繁重。建筑工地的场地平整,面积往往很大,某些大型工矿企业工地,土方工程面积可达数平方公里,甚至数十平方公里。在场地平整、大型基坑开挖中,土方工程量可达几百万立方米以上;路基、堤坝施工中土方量更大,若采用人工开挖、运输、填筑压实时,劳动强度很大。

(2)施工条件复杂。土方工程施工多为露天作业,土又是一种天然物质,成分较为复杂,且地下情况难以确切掌握,因此,施工中直接受到地区、气候、水文和地质等条件及周围环境的影响。

#### 2. 组织土方工程施工的要求

(1)尽可能采用机械化或半机械化施工,以减轻体力劳动、缩短工期。

(2)要合理安排施工计划,尽量避开冬季、雨季施工,否则应做好相应的准备工作。

(3)统筹安排,合理调配土方,降低施工费用,减少运输量和占用农田。

(4)在施工前要做好调查研究,了解土的种类,施工地区的地形、地质、水文、气象资料及工程性质、工期和质量要求,拟定合理的施工方案和技术措施,以保证工程质量和安全,加快施工进度。

### 二、土的工程分类及性质

#### (一)土的工程分类

土的分类方法较多,在施工中按开挖的难易程度将土分为8类,如表1-1所示。



土的工程分类

表 1-1

类别	土的名称	开挖方法	密度 ( $t/m^3$ )	可松性系数	
				$K_s$	$K'_s$
一类 (松软土)	砂,粉土,冲积砂土层,种植土,泥炭(淤泥)	用锹、锄头挖掘	0.6~1.5	1.08~1.17	1.01~1.04
二类土 (普通土)	粉质黏土,潮湿的黄土,夹有碎石、卵石的砂,种植土,填筑土和粉土	用锹、锄头挖掘,少许用镐翻松	1.1~1.6	1.14~1.28	1.02~1.05
三类土 (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、压实的填土	主要用镐,少许用锹、锄,部分用撬棍	1.75~1.9	1.24~1.30	1.04~1.07
四类土 (砾砂坚土)	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	主要用镐、撬棍,部分用楔子及大锤	1.9	1.26~1.37	1.06~1.09
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	用镐或撬棍、大锤,部分用爆破方法	1.1~2.7	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	用爆破方法,部分用风镐	2.2~2.9	1.30~1.45	1.10~1.20
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,风化痕迹的安山岩、玄武岩	用爆破方法	2.5~3.1	1.30~1.45	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	用爆破方法	2.7~3.3	1.45~1.50	1.20~1.30

## (二) 土的工程性质

土有多种工程性质,其中对施工影响较大的有土的质量密度、含水率、渗透性和可松性等。

### 1. 土的质量密度

土的密度分天然密度和干密度。土的天然密度,是指土在天然状态下单位体积的质量,用  $\rho$  表示。土的干密度,是指单位体积土中固体颗粒的质量,用  $\rho_d$  表示,它是检验填土压实质量的控制指标。

### 2. 土的含水率

土的含水率  $w$  是土中水的质量与土粒质量之比,以百分数表示:

$$w = \frac{G_{湿} - G_{干}}{G_{干}} \times 100\% \quad (1-1)$$

土的含水率影响土方的施工方法选择、边坡的稳定和回填土的质量。如土的含水率超过 25%~30% 时,机械化施工就难以进行。在填土中需保持“最佳含水率”,方能在夯压时获得最大干密度。如砂土的最佳含水率为 8%~12%,而黏土则为 19%~23%。

### 3. 土的渗透性

土的渗透性是指土体中水可以渗流的性能,一般以渗透系数  $K$  表示。从达西地下水流动

速度公式  $v = KI$ , 可以看出渗透系数  $K$  的物理意义, 即: 当水力坡度  $I$  (图 1-1 中水头差  $\Delta h$  与渗流距离  $L$  之比) 为 1 时地下水的渗透速度。 $K$  值大小反映土渗透性的强弱。不同土质, 其渗透系数有较大的差异, 如黏土的渗透系数小于  $0.1\text{m/d}$ , 细砂为  $5 \sim 10\text{m/d}$ , 而砾石则为  $100 \sim 200\text{m/d}$ 。

在排水降低地下水时, 需根据土层的渗透系数确定降水方案和计算涌水量; 在土方填筑时, 也需根据不同土料的渗透系数确定铺填顺序。

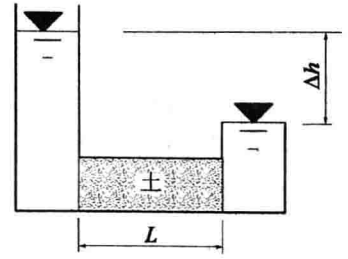


图 1-1 水力坡度示意图

#### 4. 土的可松性

土具有可松性, 即自然状态下的土经过开挖后, 其体积因松散而增加, 以后虽经回填压实, 仍不能恢复其原来的体积。土的可松性程度用可松性系数表示, 即:

$$\text{最初可松性系数 } K_s = \frac{\text{土经开挖后的松散体积 } V_1}{\text{土在天然状态下的体积 } V_2} \quad (1-2)$$

$$\text{最后可松性系数 } K'_s = \frac{\text{土经回填压实后的体积 } V_3}{\text{土在天然状态下的体积 } V_1} \quad (1-3)$$

土的可松性对土方量的平衡调配、确定运土机具的数量及弃土坑的容积, 以及计算填方所需的挖方体积、确定预留回填料土的体积和堆场面积等均有很大的影响。

土的可松性与土质及其密实程度有关, 其相应的可松性系数可参考表 1-1。

**【例 1-1】** 某建筑物外墙为条形毛石基础, 基础平均截面面积为  $2.5\text{m}^2$ 。基槽深  $1.5\text{m}$ , 底宽为  $2.0\text{m}$ , 边坡坡度为  $1:0.5$ 。地基为粉土,  $K_s = 1.25$ ,  $K'_s = 1.05$ 。计算  $100\text{m}$  长的基槽挖方量、需留填方用松土量和弃土量。

**【解】** 挖方量  $V_1 = \frac{2 + (2 + 2 \times 1.5 \times 0.5)}{2} \times 1.5 \times 100 = 412.5\text{m}^3$

填方量  $V_3 = 412.5 - 2.5 \times 100 = 162.5\text{m}^3$

填方需留松土体积  $V_{2\text{留}} = \frac{V_3}{K'_s} \cdot K_s = \frac{162.5 \times 1.25}{1.05} = 193.5\text{m}^3$

弃土量(松散)  $V_{2\text{弃}} = V_1 K_s - V_{2\text{留}} = 412.5 \times 1.25 - 193.5 = 322.1\text{m}^3$

### 三、土方边坡坡度

多数情况下, 土方开挖或填筑的边缘都要保留一定的斜面, 称土方边坡。边坡的形式如图 1-2 所示, 边坡坡度常用  $1:m$  表示, 即:

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

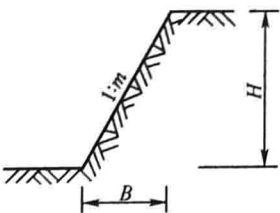


图 1-2 边坡坡度示意图

式中,  $m = B/H$ , 称坡度系数。其意义为: 当边坡高度已知为  $H$  时, 其边坡宽度  $B$  则等于  $mH$ 。

土方边坡坡度确定一定要合理, 以满足安全和经济方面的要求。土方开挖时, 若边坡太陡, 易造成土体失稳而发生塌方事故; 边坡太缓将占用较多场地且使土方量增加。

## 四、土方施工的准备工作

土方工程施工前应做好如下准备工作:

(1) 拟定施工方案。根据勘察文件、工程特点及现场条件等,确定场地平整、降水排水、土壁稳定与支护、开挖顺序与方法、土方调配与存放的方案,并绘制施工平面布置图,编制施工进度计划。

(2) 场地清理。包括清理地面及地下各种障碍,如拆除旧房,拆除或改建通信、电力设备,地下管线及构筑物,迁移树木,做好古墓及文物的保护或处理,清除耕植土及河塘淤泥等。

(3) 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,以利土方施工。一般采用排水沟排水,必要时还需设置截水沟、挡水土坝等防洪设施。

(4) 修筑好临时道路及供水、供电等临时设施。

(5) 做好材料、机具、物资及人员的准备工作。

(6) 设置测量控制网,打设方格网控制桩,进行建筑物、构筑物的定位放线等。

(7) 根据土方施工设计做好边坡稳定、基坑(槽)支护、降低地下水位等辅助工作。

## 第二节 土方计算与调配

土方工程施工前,需进行土方工程量计算。由于建筑体形复杂,常采用近似算法。

### 一、基坑、基槽和路堤的土方量计算

当基坑上口与下底两个面平行时(图 1-3),其土方量可按似柱体法计算,即:

$$V = \frac{H}{6}(F_1 + 4F_0 + F_2) \quad (1-5)$$

式中: $H$ ——基坑深度(m);

$F_1$ 、 $F_2$ ——基坑上下两底面积( $m^2$ );

$F_0$ —— $F_1$ 与 $F_2$ 之间的中截面面积( $m^2$ )。

当基槽和路堤沿长度方向断面呈连续性变化时(图 1-4),其土方量可以分段计算,即:

$$V_1 = \frac{L_1}{6}(F_1 + 4F_0 + F_2) \quad (1-6)$$

式中: $V_1$ ——第一段的土方量( $m^3$ );

$L_1$ ——第一段的长度(m)。

将各段土方量相加即得总土方量。

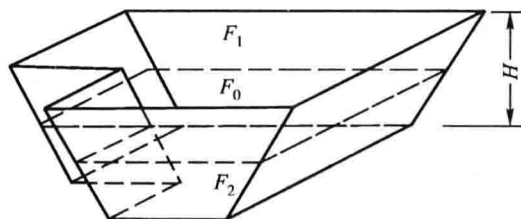


图 1-3 基坑土方量计算

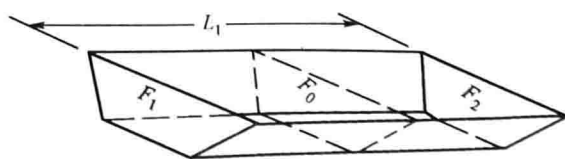


图 1-4 基槽土方量计算

## 二、场地平整标高与土方量

场地平整前,要确定场地的设计标高,计算挖方和填方的工程量,然后确定挖方和填方的平衡调配方案,再选择土方机械,拟定施工方案。

对较大面积的场地平整,选择设计标高具有重要意义。选择设计标高时应遵循以下原则:要满足生产工艺和运输的要求;尽量利用地形,以减少挖填方数量;争取场地内挖填方平衡,使土方运输费用最少;要有一定泄水坡度,满足排水要求。

场地设计标高一般应在设计文件上规定。若未规定时,对中小型场地可采用“挖填平衡法”确定;对大型场地宜作竖向规划设计,采用“最佳设计平面法”确定。下面主要介绍“挖填平衡法”的原理和步骤。

### (一) 确定场地设计标高

#### 1. 初步设计标高

本着场地内总挖方量等于总填方量的原则确定初步设计标高。

首先将场地划分成有若干个方格的方格网,其每格的大小依据场地平坦程度确定,一般边长为 10~40m,见图 1-5a),然后找出各方格角点的地面标高。当地形平坦时,可根据地形图上相邻两等高线的标高,用插入法求得。当地形起伏或无地形图时,可用仪器测出。

按照挖填方平衡的原则,如图 1-5b) 所示,场地设计标高即为各个方格平均标高的平均值,可按式计算:

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

式中:  $H_0$ ——所计算的场地设计标高(m);

$N$ ——方格数量;

$H_{11}, \dots, H_{22}$ ——任一方格的四个角点的标高(m)。

从图 1-5a) 可以看出,  $H_{11}$  系一个方格的角点标高,  $H_{12}$  及  $H_{21}$  系相邻两个方格的公共角点标高,  $H_{22}$  系相邻四个方格的公共角点标高。如果将所有方格的四个角点全部相加,则它们在上式中分别要加 1 次、2 次、4 次。

如令  $H_1$  表示 1 个方格仅有的角点标高,  $H_2$  表示 2 个方格共有的角点标高,  $H_3$  表示 3 个方格共有的角点标高,  $H_4$  表示 4 个方格共有的角点标高,则场地设计标高  $H_0$  可改写成:

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

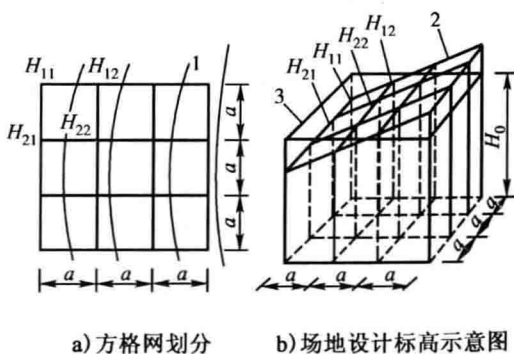
#### 2. 场地设计标高的调整

按公式(1-7)计算的场地设计标高  $H_0$  为一理论值,尚需考虑以下因素进行调整:

##### 1) 土的可松性影响

由于土具有可松性,一般填土会有剩余,需相应地提高设计标高。由图 1-6 可看出,考虑土的可松性引起设计标高的增加值  $\Delta h$ ,得:

$$\Delta h = \frac{V_w(K'_s - 1)}{F_T + F_w K'_s} \quad (1-8)$$



a) 方格网划分 b) 场地设计标高示意图  
图 1-5 场地设计标高  $H_0$  计算示意图

1-等高线;2-自然地面;3-场地设计标高平面

式中： $V_w$ ——按理论标高计算出的总挖方体积；

$F_w$ 、 $F_T$ ——按理论设计标高计算出的挖方区、填方区总面积；

$K'_s$ ——土的最后可松性系数。

调整后的设计标高值：

$$H'_0 = H_0 + \Delta h \quad (1-9)$$

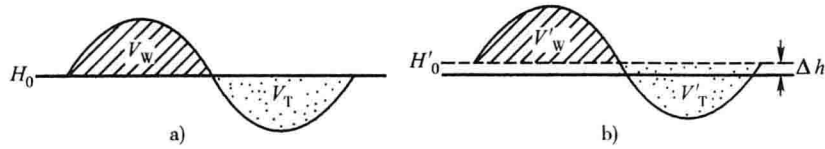


图 1-6 考虑土的可松性调整设计标高计算示意图

## 2) 场内挖方和填土的影响

由于场内大型基坑挖出的土方、修筑路基填高的土方、场地周围挖填放坡的土方，以及经过经济比较，而将部分挖方就近弃于场外或将部分填方就近从场外取土，均会引起场地挖或填方量的变化。必要时也需调整设计标高。

## 3) 场地泄水坡度的影响

按上述计算的标高进行场地平整时，场地将是一个水平面。但实际上场地均需有一定的泄水坡度，因此需根据排水要求，确定出各方格角点实际的设计标高。

(1) 单向泄水时各方格角点的设计标高。当地只向一个方向泄水时[图 1-7a)]，应以计算出的设计标高  $H_0$  (或调整后的设计标高  $H'_0$ ) 作为场地中心线的标高，场地内任一点的设计标高为：

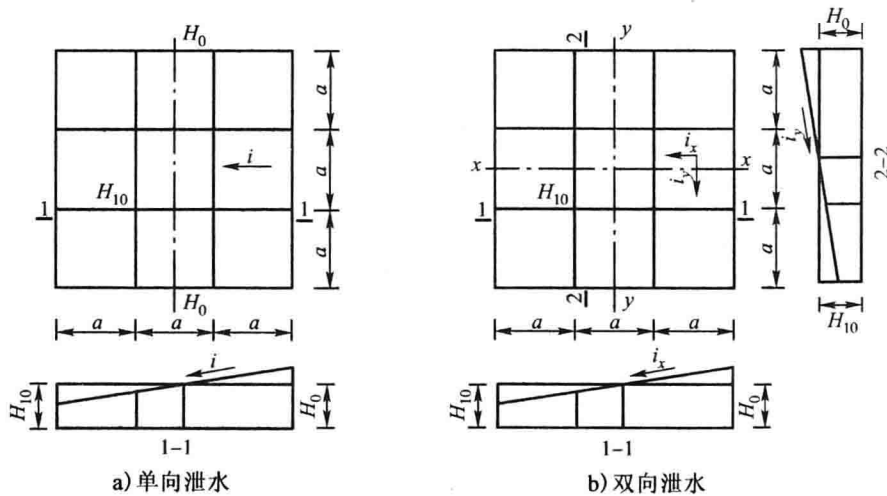


图 1-7 场地泄水坡度示意图

$$H_n = H_0 \pm li \quad (1-10)$$

式中： $H_n$ ——场地内任意一方格角点的设计标高(m)；

$l$ ——该方格角点至场地中心线的距离(m)；

$i$ ——场地泄水坡度(一般不小于0.2%)；

$\pm$ ——该点比  $H_0$  高则用“+”，反之用“-”。

例如图 1-7a) 中，角点 10 的设计标高为：

$$H_{10} = H_0 - 0.5ai$$

(2) 双向泄水时各方格角点的设计标高。当地地向两个方向泄水时[图 1-7b)]，应以计算出的设计标高  $H_0$  (或调整后的标高  $H'_0$ ) 作为场地中心点的标高，场地内任意一点的设计标高为：

$$H_n = H_0 \pm l_x i_x \pm l_y i_y \quad (1-11)$$

式中： $l_x, l_y$ ——该点于  $x-x, y-y$  方向上距场地中心点的距离；

$i_x, i_y$ ——场地在  $x-x, y-y$  方向上的泄水坡度。

例如图 1-7b) 中, 角点 10 的设计标高:

$$H_{10} = H_0 - 0.5 a i_x - 0.5 a i_y$$

【例 1-2】某建筑场地方格网、自然地面标高如图 1-8, 方格边长  $a = 20\text{m}$ , 泄水坡度  $i_x = 2\text{‰}, i_y = 3\text{‰}$ , 不考虑土的可松性及其他影响, 试确定方格各角点的设计标高。

【解】(1) 初算设计标高

$$\begin{aligned} H_0 &= (\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4) / 4M \\ &= [70.09 + 71.43 + 69.10 + 70.70 + 2 \times (70.40 + \\ &\quad 70.95 + 69.71 + 71.22 + 69.37 + 70.95 + \\ &\quad 69.62 + 70.20) + 4 \times (70.17 + 70.70 + 69.81 + \\ &\quad 70.38)] / (4 \times 9) = 70.29(\text{m}) \end{aligned}$$

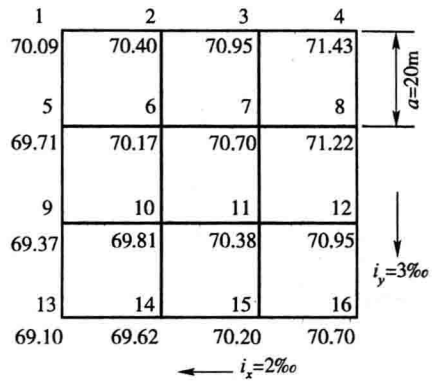


图 1-8 某场地方格网

(2) 调整设计标高

$$H_n = H_0 \pm l_x i_x \pm l_y i_y$$

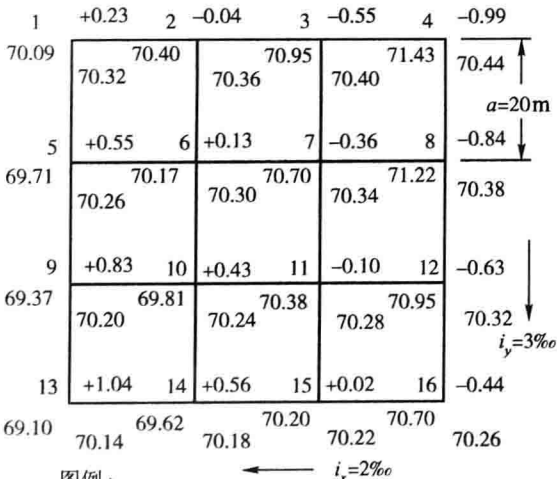
$$H_1 = 70.29 - 30 \times 2\text{‰} + 30 \times 3\text{‰} = 70.32(\text{m})$$

$$H_2 = 70.29 - 10 \times 2\text{‰} + 30 \times 3\text{‰} = 70.36(\text{m})$$

$$H_3 = 70.29 + 10 \times 2\text{‰} + 30 \times 3\text{‰} = 70.40(\text{m})$$

其他见图 1-9。

除考虑排水坡度外, 由于土具有可松性, 填土会有剩余, 也需相应地提高设计标高。场内挖方和填土以及就近借、弃土, 均会引起场地挖或填方量的变化, 必要时也需调整设计标高。



图例:

角点编号	施工高度
地面标高	设计标高

图 1-9 方格网角点设计标高及施工高度

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(即挖、填方高度) $h_n$

$$h_n = H_n - H'_n \quad (1-12)$$

式中： $h_n$ ——该角点的挖、填高度, 以“+”为填方高度, 以“-”为挖方高度(m);

$H_n$ ——该角点的设计标高(m);

$H'_n$ ——该角点的自然地面标高(m)。

## 2. 绘出“零线”

零线是场地平整时,施工高度为“0”的线,是挖、填的分界线。确定零线时,要先找到方格线上的零点。零点是在相邻两角点施工高度分别为“+”、“-”的格线上,是两角点之间挖填方的分界点。方格线上的零点位置见图 1-10,可按下式计算:

$$x = \frac{ah_1}{h_1 + h_2} \quad (1-13)$$

式中: $h_1$ 、 $h_2$ ——相邻两角点挖、填方施工高度(以绝对值代入);

$a$ ——方格边长;

$x$ ——零点距角点 A 的距离。

参考实际地形,将方格网中各相邻零点连接起来,即成为零线。零线绘出后,也就划分出了场地的挖方区和填方区。

## 3. 场地土方量计算

计算场地土方量时,先求出各方格的挖、填土方量和场地周围边坡的挖、填土方量,把挖、填土方量分别加起来,就得到场地挖方及填方的总土方量。

各方格土方量计算,常用“四方棱柱体法”和“三角棱柱体法”两种方法。下面仅介绍四方棱柱体法。

### 1) 全挖全填格

方格四个角点全部为挖方(或填方),如图 1-11 所示,其挖或填的土方量为:

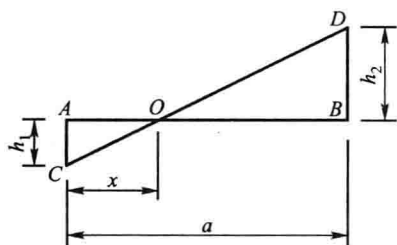


图 1-10 零点位置计算

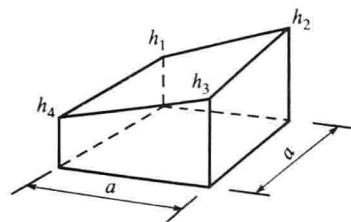


图 1-11 全挖(全填)格

$$V = \frac{a^2}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (1-14)$$

式中:  $V$ ——挖方或填方的土方量( $m^3$ );

$h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$ ——方格四个角点的挖填高度(m),以绝对值代入。

### 2) 部分挖部分填格

方格的四个角点中,有的为挖方,有的为填方(图 1-12、图 1-13)时,该格的挖方量或填方量为:

$$V_{挖} = \frac{a^2(\sum h_{挖})^2}{4 \sum h} \quad (1-15)$$

$$V_{填} = \frac{a^2(\sum h_{填})^2}{4 \sum h} \quad (1-16)$$

式中: $V_{挖}$ 、 $V_{填}$ ——挖方或填方的土方量( $m^3$ );

$\sum h_{挖}$ 、 $\sum h_{填}$ ——挖方或填方各角点的施工高度之和;

$\sum h$ ——方格四个角点的施工高度绝对值之和(m)。

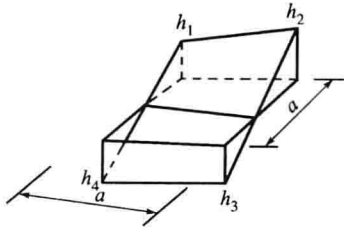


图 1-12 两挖两填格

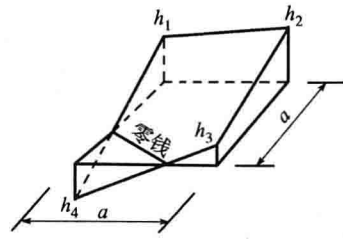


图 1-13 三挖一填格

### 三、土方调配与优化

土方调配是大型土方工程施工设计的一个重要内容,其目的是在使土方总运输量( $m^3 \cdot m$ )最小或土方运输成本最低的条件下,确定填挖方区土方的调配方向和数量,从而达到缩短工期和降低成本的目的。其步骤如下:

#### (一) 土方调配区划分及平均运距和土方施工单价的计算

##### 1. 调配区的划分

进行土方调配时,首先要划分调配区。划分调配区应注意下列几点:

- (1) 调配区的划分应该与工程建(构)筑物的平面位置相协调,并考虑它们的开工顺序、分期施工的要求,使近期施工与后期利用相协调;
- (2) 调配区的大小应该满足土方施工主导机械(如铲运机、推土机等)的技术要求;
- (3) 调配区的范围应该和方格网协调,通常可由若干个方格组成一个调配区;
- (4) 有就近取土或弃土时,则每个取土区或弃土区均作为一个独立的调配区;
- (5) 调配区划分还应尽量与大型地下建筑物的施工相结合,避免土方重复开挖。

某场地调配区划分如图 1-14 所示。

##### 2. 平均运距的确定

平均运距一般是指挖方区土方重心至填方区土方重心的距离。当填、挖方调配区之间距离较远,采用汽车等运土工具沿工地道路或规定线路运土时,其运距应按实际情况进行计算。

##### 3. 土方施工单价的确定

如果采用汽车或其他专用运土工具运土时,调配区之间的运土单价可根据预算定额确定。当采用多种机械施工时,需考虑运、填配套机械的施工单价,确定一个综合单价。

将上述平均运距或土方施工单价的计算结果填入土方平衡表内。

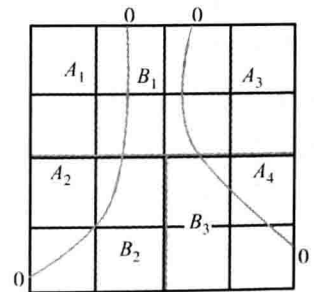


图 1-14 调配区划分示例

#### (二) 最优调配方案的确定

确定最优调配方案,是以线性规划为理论基础,常用“表上作业法”求解。现结合示例介绍。

已知某场地有四个挖方区和三个填方区,各区的挖填土方量和各调配区之间的运距如图 1-15 所示。以下是利用“表上作业法”进行调配的步骤。

##### 1. 编制初始调配方案

采用“最小元素法”进行就近调配,即先在运距表中找一个最小数值,如  $C_{22} = C_{43} = 40$  (任



取其中一个,现取  $C_{22}$ ),先确定  $X_{22}$  的值,使其尽可能的大,即将  $W_2$  挖方区的土方全部调到  $T_2$  填方区,所以  $X_{21}$  和  $X_{23}$  都等于零。此时,将 500 填入  $X_{22}$  格内,同时将  $X_{21}$ 、 $X_{23}$  格内画上一个“×”号。然后在没有填上数字和“×”号的方格内再选一个运距最小的方格,即  $C_{43} = 40$ ,便可确定  $X_{43} = 400$ ,同时使  $X_{41} = X_{42} = 0$ 。此时,又将 400 填入  $X_{43}$  格内,并在  $X_{41}$ 、 $X_{42}$  格内画上“×”号。重复上述步骤,依次确定其余  $X_{ij}$  的数值,最后得出表 1-2 所示的初始调配方案。

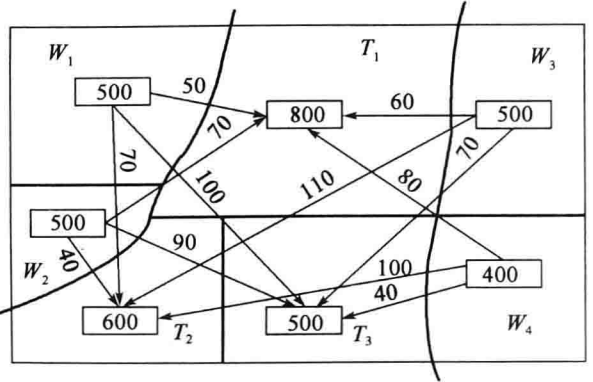


图 1-15 各调配区土方量和平均运距

土方初始调配方案

表 1-2

挖 \ 填	$T_1$	$T_2$	$T_3$	挖方量
$W_1$	500 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">50</span>	× <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">70</span>	× <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">100</span>	500
$W_2$	× <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">70</span>	500 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40</span>	× <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">90</span>	500
$W_3$	300 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">60</span>	100 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">110</span>	100 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">70</span>	500
$W_4$	× <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">80</span>	× <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">100</span>	400 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40</span>	400
填方量	800	600	500	1900

土方的总运输量为:

$$Z_0 = 500 \times 50 + 500 \times 40 + 300 \times 60 + 100 \times 110 + 100 \times 70 + 400 \times 40 = 97000 (\text{m}^3 \cdot \text{m})。$$

## 2. 最优方案判别

利用“最小元素法”编制初始调配方案,其总运输量是较小的,但不一定是总运输量最小,因此还需判别它是否为最优方案。判别的方法有“闭回路法”和“位势法”,其实质相同,都是用检验数  $\lambda_{ij}$  来判别。只要所有的检验数  $\lambda_{ij} \geq 0$ ,则该方案即为最优方案,否则,不是最优方案,尚需进行调整。

为了使线性方程有解,要求初始方案中调动的土方量要填够  $m + n - 1$  个格 ( $m$  为行数,  $n$  为列数),不足时可在任意格中补“0”。

如:表 1-2 中已填 6 个格,而  $m + n - 1 = 3 + 4 - 1 = 6$ ,满足要求。

下面介绍用“位势法”求检验数。

### 1) 求位势 $U_i$ 和 $V_j$

位势数就是在运距表的行或列中用运距(或单价)  $C_{ij}$  同时减去的数,目的是使有调配数字的格检验数  $\lambda_{ij}$  为零,而对调配方案的选取没有影响。

计算方法:将初始方案中有调配数方格的  $C_{ij}$  列出,然后按下式求出两组位势数  $U_i (i = 1, 2, \dots, m)$  和  $V_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 。

$$C_{ij} = U_i + V_j \quad (1-17)$$

式中:  $C_{ij}$ ——平均运距(或单位土方运价或施工费用);

$U_i, V_j$ ——位势数。

例如,本例两组位势数计算如下: