

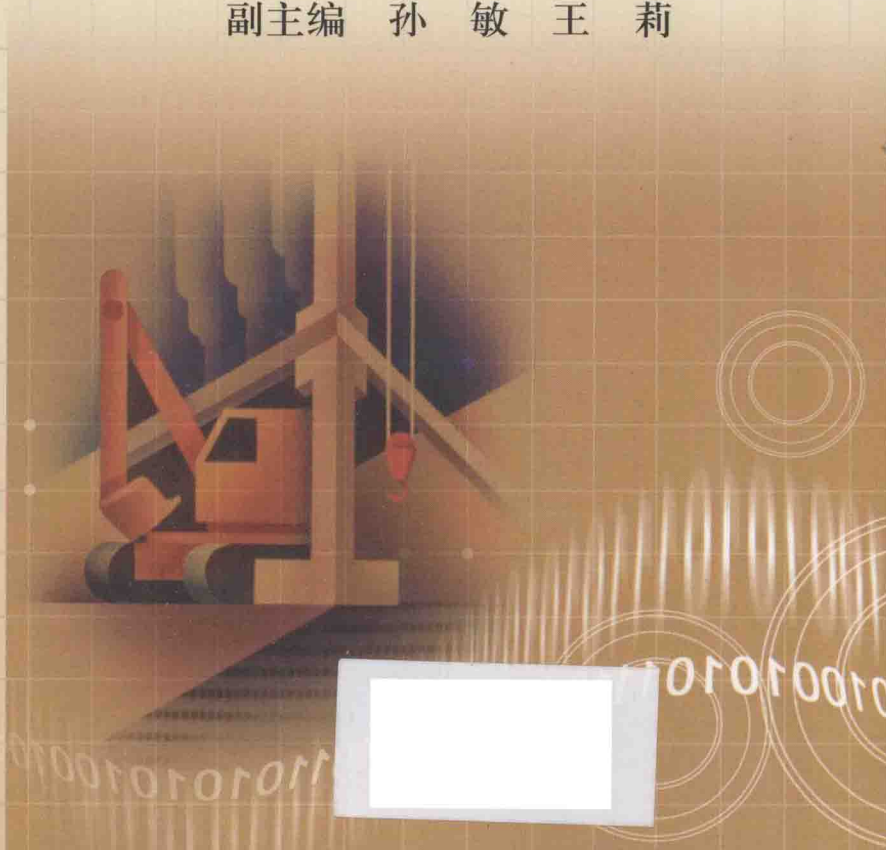
普通高等学校“十二五”省部级重点规划教材

TUMU GONGCHENG SHIGONG

土木工程施工

主 编 祝彦知 续晓春

副主编 孙 敏 王 莉



黄河水利出版社

普通高等学校“十二五”省部级重点规划教材

土木工程施工

主 编 祝彦知 续晓春
副主编 孙 敏 王 莉

黄河水利出版社
· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书主要根据高等学校土木工程专业本科教育中的“土木工程施工”课程教学大纲编写,重点阐述了各专业工程的施工工艺及工艺原理,施工方案及施工方法,施工组织及管理,流水理论及网络技术,施工组织设计的内容及编制,论述了各专业工程的质量控制及施工安全措施,概述了具有国内外先进水平的特殊工艺施工。

本书可作为土木工程专业及相关专业各层次的教材,亦可供土木类工程技术人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工/祝彦知,续晓春主编. —郑州:黄河水利出版社,2013. 1

普通高等学校“十二五”省部级重点规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0047 - 9

I. ①土… II. ①祝… ②续… 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(2013)第 006249 号

策划编辑:李洪良 电话:0371-66024331 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

网址:www.yrcp.com

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:郑州海华印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:32

字数:740 千字

印数:1—3 100

版次:2013 年 1 月第 1 版

印次:2013 年 1 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

前 言

为了满足国家建设形势的发展需要,我国高等教育进行了专业结构调整,1998 年国家教育部颁布了新的专业目录,将建筑工程专业拓宽为土木工程专业,涵盖了原有的交通土建、城镇建设、桥梁工程等 8 个专业的内容。近几年来土木工程专业所使用的教材大都是在原建筑工程专业教材的基础上扩展的,虽满足了土木工程专业的教学需求,但存在着涉及各专业知识面窄、系统性差等缺点,不能真正体现“厚基础,宽专业”的办学思想。为此,特集中一批有土木工程教学经验的专家学者,本着探索、科学、先进、适用的原则编写了这本教材。

土木工程施工是土木工程专业的一门主要专业课,它在培养学生独立分析和解决土木工程施工中的有关施工技术与组织计划的基本能力方面,起着重要的作用。本课程是研究土木工程施工中主要工种工程的施工技术与组织计划的基本规律,以及各专业方向(建筑工程、桥梁工程、道路工程等)的专业施工技术的学科,它具有涉及面广、综合性大、实践性强、社会性广、发展迅速的特点。工程施工中许多技术问题的解决和管理系统的建立,均要涉及有关学科的综合运用。因此,本书在编写过程中,结合工程实际,力求专业面宽、知识面广、适用面大、系统性强,同时也力求符合新规范、新标准和有关技术规程,并着眼于解决土木工程施工的关键和施工组织的主要矛盾,综合论述了施工工艺管理和工艺操作要点,阐明了各工种工程的施工方法和特殊工艺施工的技术。本书取材上力图反映国内外先进技术水平和管理水平,文字上深入浅出,图文并茂,通俗易懂,在保证全面、系统的同时,体现适用性、完整性和时代特征。

本书为普通高等学校“十二五”省部级重点规划教材(豫新出版[2012]46 号和 99 号文件)。

本书由中原工学院祝彦知和太原理工大学续晓春任主编,中原工学院孙敏和黄河科技学院王莉任副主编。参与编写工作的人员有:祝彦知(第一章),中原工学院马骁(第二章、第三章),郑州航空工业管理学院李福恩(第四章),河南工业大学杨海鹰(第五章、第六章),孙敏(第七章、第八章),中原工学院杨子胜(第九章),华北水利水电学院李辉(第十章),中原工学院李晓芬(第十一章、第十二章),续晓春(第十三章、第十四章),河南新田置业有限公司牛勇(第十五章),王莉(例题验算和其余内容)。

本书在编写过程中,参考了近几年来出版的土木工程施工教材、施工手册和论著,在此对这些书的作者表示诚挚的谢意!

由于时间仓促,涉及的专业多,虽经编者努力,但书中内容难免有不妥之处,敬请各位读者批评指正,不胜感激!

编 者

2012 年 8 月

目 录

前 言

第一章 土方工程	(1)
第一节 土的工程分类和基本性质	(1)
第二节 土方量计算与调配	(5)
第三节 土方工程的准备工作	(19)
第四节 土方工程施工	(36)
思考题	(49)
习 题	(49)
第二章 地基处理与基础工程	(50)
第一节 软土地基加固	(50)
第二节 浅埋式钢筋混凝土基础施工	(54)
第三节 桩基础施工	(59)
第四节 沉井施工	(81)
第五节 墩式基础	(85)
思考题	(88)
第三章 砌体工程	(89)
第一节 概 述	(89)
第二节 砌筑材料	(89)
第三节 砖砌体施工	(96)
第四节 砌块砌体	(107)
第五节 石砌体施工	(111)
第六节 砌体的冬期施工	(114)
思考题	(115)
第四章 混凝土结构工程	(117)
第一节 钢筋工程	(117)
第二节 模板工程	(138)
第三节 混凝土工程	(153)
第四节 混凝土的冬期施工	(171)
思考题	(174)
习 题	(175)
第五章 预应力混凝土工程	(176)
第一节 预应力混凝土工程概述	(176)
第二节 预应力筋	(178)

第三节	先张法施工	(180)
第四节	后张法施工	(189)
第五节	无黏结预应力混凝土施工	(197)
第六节	预应力混凝土工程的质量保证及安全措施	(198)
	思考题	(200)
第六章	结构安装工程	(201)
第一节	运输机械及起重机械	(201)
第二节	单层工业厂房结构安装	(216)
第三节	装配式结构吊装	(235)
第四节	大跨度结构吊装	(238)
	思考题	(242)
第七章	脚手架工程	(244)
第一节	概 述	(244)
第二节	扣件式钢管脚手架	(245)
第三节	碗扣式钢管脚手架	(252)
第四节	门式钢管脚手架	(254)
第五节	升降式脚手架	(258)
第六节	里脚手架	(262)
	思考题	(263)
第八章	防水工程	(264)
第一节	地下防水工程	(264)
第二节	屋面防水工程	(273)
	思考题	(288)
第九章	装饰工程	(289)
第一节	概 述	(289)
第二节	抹灰工程	(290)
第三节	饰面板(砖)工程	(298)
第四节	裱糊工程	(308)
第五节	涂饰工程	(312)
第六节	外墙保温工程	(318)
	思考题	(329)
第十章	路桥工程	(330)
第一节	路基工程施工	(330)
第二节	路面基层(底基层)施工	(335)
第三节	水泥混凝土路面施工	(342)
第四节	沥青路面施工	(348)
第五节	墩台施工	(351)
第六节	桥梁施工	(357)
	思考题	(365)

第十一章 施工组织概论	(367)
第一节 土木工程施工的特点	(367)
第二节 施工组织的基本原则	(369)
第三节 施工准备工作	(371)
第四节 施工组织设计	(381)
思考题	(386)
第十二章 流水施工基本原理	(387)
第一节 概 述	(387)
第二节 流水施工的基本参数	(393)
第三节 流水施工的分类	(399)
第四节 流水施工的组织形式	(401)
第五节 流水施工组织应用示例	(409)
思考题	(413)
习 题	(413)
第十三章 网络计划技术	(414)
第一节 双代号网络计划	(414)
第二节 单代号网络计划	(430)
第三节 双代号时标网络计划	(437)
第四节 单代号搭接网络计划	(442)
第五节 网络计划的优化	(445)
第六节 网络计划的检查与调整	(455)
思考题	(456)
习 题	(457)
第十四章 施工组织总设计	(459)
第一节 施工组织总设计概述	(459)
第二节 施工组织总设计的基本内容	(460)
思考题	(477)
第十五章 单位工程施工组织设计	(478)
第一节 单位工程施工组织设计的概述	(478)
第二节 工程概况及施工条件	(481)
第三节 施工方案	(481)
第四节 单位工程施工进度计划	(487)
第五节 资源需要量计划	(490)
第六节 单位工程施工平面图	(491)
第七节 施工组织设计的技术经济分析	(494)
第八节 施工组织设计的贯彻、检查与调整	(497)
思考题	(498)
参考文献	(499)

第一章 土方工程

在土木工程施工过程中,首先遇到的工作就是场地平整和基坑开挖。在实际工程施工过程中,将一切土的开挖、填筑、运输等过程统称为土方工程,它包括开挖过程中的基坑降水、排水、坑壁支护等辅助过程。

土方工程具有如下施工特点:①工程量,劳动力或机械设备用量大,且施工工期较长;②由于受地质、水文、气候、地下障碍物等因素影响,施工难度较大;③工程事故多。

第一节 土的工程分类和基本性质

一、土的工程分类

土的工程分类方法有很多,如按土的沉积年代、颗粒级配、密实度、液性指数等进行分类。不同的分类目的和依据会得出不同的类别名称。

(1)根据土体颗粒级配或塑性指数,可将土体分为碎石类土、砂土和黏性土。而碎石类土根据其颗粒形状与级配又可分为漂石土、块石土、卵石土、碎石土、圆砾土、角砾土;砂土根据其颗粒级配又分为砾砂、粗砂、中砂、细砂、粉砂;黏性土根据塑性指数 I_p 又分为黏土、亚黏土和轻亚黏土。

(2)根据土的沉积年代,黏性土分为老黏土、一般黏性土和新近沉积的黏性土。

(3)根据土所具有的特殊性质还可分出特殊性土,如软土、人工填土、黄土、膨胀土、红黏土、盐渍土和冻土等具有特殊性质的土。

(4)新的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)将地基土分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土。其中黏性土根据塑性指数 I_p 又分为黏土和粉质黏土。天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于 1.5 的黏性土称为淤泥。天然孔隙比小于 1.5 但大于或等于 1.0 的土称为淤泥质土。

根据土体开挖的难易程度将土体分为 8 类,如表 1-1 所示。

二、土的基本性质

与土方工程施工密切联系的土体的主要工程性质有土的密度(重度)、含水量、渗透性和土的可松性。

(一)土的密度

与土方工程施工有关的主要是土的天然密度 ρ 、干密度 ρ_d 以及最大干密度。天然密度是指土在天然状态下单位体积的质量,它与土的密实程度和含水量有关。

土的干密度是指单位体积土中固体颗粒的质量,即土体孔隙内无水时的单位土重。

表 1-1 土的工程分类

土的分类	土的类别	土的名称	密度 (kg/m ³)	开挖方法及工具
一类土 (松软土)	I	砂土;亚砂土;冲积砂土层、种植土泥炭(淤泥)	600 ~ 1 500	用锹、锄头挖掘
二类土 (普通土)	II	亚黏土;潮湿的黄土;夹有碎石、卵石的砂;种植土、填筑土及亚砂土	1 100 ~ 1 600	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;重亚黏土;干黄土及含碎石、卵石的黄土;亚黏土;压实的填筑土	1 750 ~ 1 900	主要用镐,少许用锹、锄头挖掘,部分用撬棍
四类土 (砂砾坚土)	IV	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;软泥炭岩及蛋白石	1 900	先用镐、撬棍,然后用锹挖掘,部分用楔子及大锤
五类土 (软石)	V ~ VI	硬石炭纪黏土;中等密实的页岩、泥炭岩、密实的石灰岩;风化花岗岩、片麻岩	1 100 ~ 2 700	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	泥灰岩;砂岩;砾岩;坚实的页岩、泥炭岩、密实的石灰岩;风化花岗岩、片麻岩	2 200 ~ 2 900	用爆破方法开挖,部分用镐
七类土 (坚石)	X ~ XII	大理岩、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;风化痕迹的安山岩、玄武岩	2 500 ~ 3 100	用爆破方法开挖
八类土 (特坚石)	XIV ~ XVI	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	2 700 ~ 3 300	用爆破方法开挖

(二) 土的含水量

土的含水量 w 是指土中水的质量与土的固体颗粒之间的质量比,以百分数表示,如式(1-1)所示

$$w = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 G_1 ——含水状态土的质量;

G_2 ——烘干后土的质量(土经 105 ℃ 烘干后的质量)。

土的含水量表示土的干湿程度,土的含水量在 5% 以内称为干土,在 5% ~ 30% 以内称为潮湿土,大于 30% 称为湿土。

(三) 土的渗透性

由于土体本身具有连续的孔隙,当任意两点之间存在水头差的作用时,水就会透过土

体孔隙在两点之间发生孔隙内的流动,这一流动过程称为渗透。土的渗透性是指土体被水透过的性质,水流通过土中孔隙的难易程度。土的渗透性用渗透系数 k 表示。

早在 1856 年,法国学者达西(Darcy)进行了一项经典试验,利用图 1-1 所示的试验装置,对砂土的渗透性进行了研究,发现在层流状态下,水的渗透速度与试样两端水面间的水位差成正比,而与渗径长度成反比。于是,他把渗透速度表示为

$$v = k \frac{h}{L} = ki \quad (1-2)$$

或渗流量为

$$q = vA = kiA \quad (1-3)$$

这就是著名的达西渗透定律。

式中 v ——假想渗透速度,cm/s 或 m/s,其过水面积是土样的整个断面面积,并包括土颗粒骨架所占的部分面积;

q ——渗流量,cm³/s 或 m³/s;

$i = \frac{h}{L}$ ——水力梯度,它是沿渗流方向单位距离的水头损失;

h ——试样两端的水位差,cm 或 m,即水头损失, $h = h_1 - h_2$, h_1 和 h_2 分别为土样上、下游面的水头;

L ——渗径长度,cm 或 m;

k ——土的渗透系数,cm/s 或 m/s,其物理意义是当水力坡降 i 等于 1 时的渗透速度;

A ——试样截面面积,cm² 或 m²。

从式(1-2)可知,砂土的渗透速度与水力梯度呈线性关系,但是,对于密实的黏土,由于吸着水具有较大的黏滞阻力,因此只有当水力坡降达到某一数值时,克服了吸着水的黏滞阻力以后,才能发生渗透。我们将这一开始发生渗透时的水力坡降称为黏性土的起始水力坡降。试验资料表明,黏性土不但存在起始水力坡降,而且当水力坡降超过起始水力坡降后,渗透速度与水力坡降的规律还偏离达西定律而呈非线性关系。由表 1-2 可以看出,对于不同种类的土体,渗透系数的差别很大。

表 1-2 各类土的渗透系数 k 值

土体类别	k (cm/s)	土体类别	k (cm/s)
粗砾	$10 \sim 5 \times 10^{-1}$	沙壤土	$10^{-3} \sim 10^{-4}$
砂质砾	$10^{-1} \sim 10^{-2}$	黄土(砂质)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$
河砂	$10^{-1} \sim 10^{-2}$	黄土(泥质)	$10^{-5} \sim 10^{-6}$
粗砂	$5 \times 10^{-2} \sim 10^{-2}$	黏壤土	$10^{-4} \sim 10^{-6}$

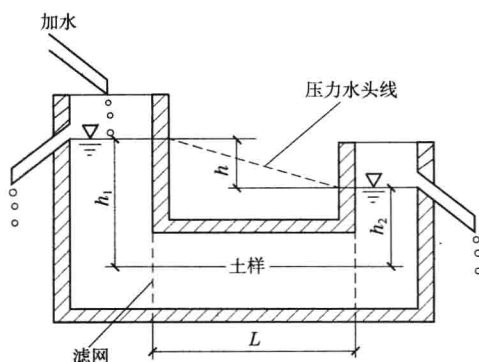


图 1-1 土体渗透速度与水力坡降的关系

续表 1-2

土体类别	$k(\text{cm/s})$	土体类别	$k(\text{cm/s})$
海边砂	2×10^{-2}	淤泥土	$10^{-6} \sim 10^{-7}$
细砂	$5 \times 10^{-3} \sim 10^{-3}$	黏土	$10^{-6} \sim 10^{-8}$
粉质砂	$2 \times 10^{-3} \sim 10^{-4}$	均匀肥黏土	$10^{-8} \sim 10^{-10}$

(四) 土的可松性

在自然状态下的土体经开挖后,其体积因松散而增加,以后虽经回填压实,仍不能恢复成原来的体积,土体的这种性质称为土的可松性。

土的可松性的大小用可松性系数表示,分为最初可松性系数 K_s 和最终可松性系数 K'_s 。

1. 最初可松性系数 K_s

在自然状态下的土,经开挖成松散状态后,其体积的增加,用最初可松性系数表示为

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-4)$$

式中 V_1 ——土在自然状态下的体积;

V_2 ——土经开挖成松散状态下的体积。

2. 最终可松性系数 K'_s

在自然状态下的土,经开挖成松散状态,回填夯实后,仍不能恢复到原自然状态下的体积,夯实后的体积与原自然状态下的体积之比,用最终可松性系数表示为

$$K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-5)$$

式中 V_1 ——土在自然状态下的体积;

V_3 ——土经回填压实后的体积。

各类土的可松性系数参见表 1-3。

表 1-3 各类土的可松性系数

土的类别	K_s	K'_s	土的类别	K_s	K'_s
一类土	1.08 ~ 1.17	1.01 ~ 1.03	四类土	1.26 ~ 1.45	1.06 ~ 1.20
二类土	1.14 ~ 1.24	1.02 ~ 1.05	五类土	1.30 ~ 1.50	1.10 ~ 1.30
三类土	1.24 ~ 1.30	1.04 ~ 1.07	六类土	1.45 ~ 1.50	1.28 ~ 1.30

【例 1-1】某住宅楼外墙下基础采用砖砌条形基础,基础平均截面面积为 2.8 m^2 。基坑深度为 2.0 m ,底面宽度为 1.5 m ,地基土为亚黏土,外墙基础总长为 190 m 。计算基槽土的挖、填方量和弃土量(基槽边坡 $1:m=1:0.5$, $K_s=1.30$, $K'_s=1.05$)。

解 挖方量为

$$V_1 = \frac{1.5 + (1.5 + 2 \times 2 \times 0.5)}{2} \times 2 \times 190 = 950(\text{m}^3)$$

填方量为

$$V_2 = \frac{950 - 2.8 \times 190}{1.05} = 398.10(\text{m}^3)$$

弃土量为

$$V_3 = (950 - 398.10) \times 1.30 = 717.47(\text{m}^3)$$

第二节 土方量计算与调配

一、土方量计算的基本方法

场地设计标高的确定一般有两种方法:

(1)按挖填方平衡原则确定设计标高。适用于拟建场地的高差起伏不大,对场地设计标高无特殊要求的小型场地平整情况。

(2)用最小二乘法原理求最佳设计平面。应用最小二乘法原理,不仅可满足土方挖填平衡的要求,还可做到土方的总工程量最小。

(一)按挖填方平衡原则确定设计标高

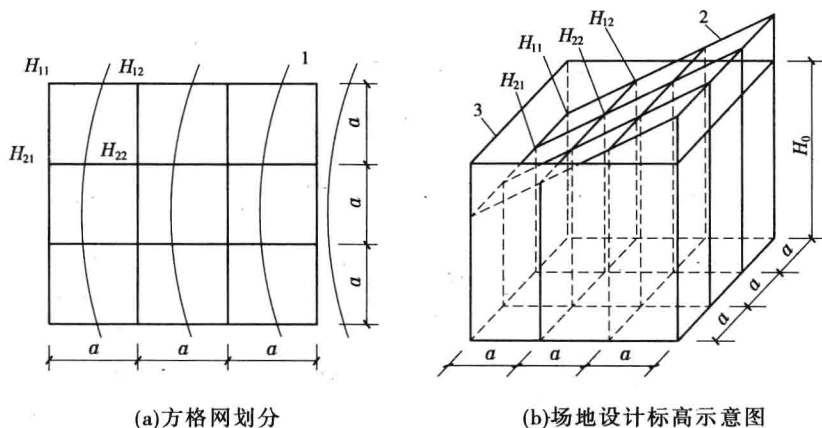
1. 初步确定场地设计标高

场地设计标高的确定可按如下步骤进行:

- (1)划分场地方格网;
- (2)计算或实测各角点的原地形标高;
- (3)计算场地设计标高;
- (4)泄水坡度调整。

首先将拟平整场地划分成边长为 a 的若干方格网,并根据地形图将每个方格的角点原地形标高标于图上。原地形标高可利用等高线用插入法求得或在实地测量得到。

按照挖填方土方量相等的原则(见图 1-2),场地的设计标高可按式计算



1—等高线; 2—自然平面; 3—设计平面

图 1-2 场地设计标高计算示意图

$$H_0 M a^2 = \sum \left(a^2 \frac{H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22}}{4} \right) \quad (1-6)$$

则有

$$H_0 = \sum \left(\frac{H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22}}{4M} \right) \quad (1-7)$$

式中 H_0 ——所计算场地的设计标高, m;

a ——方格网边长, m;

M ——方格网数;

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

由于相邻方格具有公共的角点标高, 在一个方格网中, 一些角点是四个相邻方格的公共角点, 其标高需要累加四次, 一些角点则是三个相邻方格的公共角点, 其标高需要累加三次, 而某些角点标高仅需要累加两次, 又如方格网四角的角点标高仅需要加一次。因此, 式(1-7)可以改写成

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 3 \sum H_3 + 4 \sum H_4}{4M} \quad (1-8)$$

式中 H_1 ——一个方格仅有的角点标高, m;

H_2 ——二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. 场地设计标高的调整

按式(1-8)计算的场地设计标高 H_0 仅是一理论值, 还需要考虑以下因素进行调整。

(1) 土的可松性影响计算。由于土体具有可松性, 按理论计算的 H_0 施工, 填土会有剩余, 为此需要适当提高设计标高。

由图 1-3 可以看出, 设 Δh 为考虑土的可松性而引起的设计标高的增加值, 则总挖方体积 V_w 应减少 $F_w \Delta h$, 设计标高调整后的总挖方体积 V'_w 应为

$$V'_w = V_w - F_w \Delta h \quad (1-9)$$

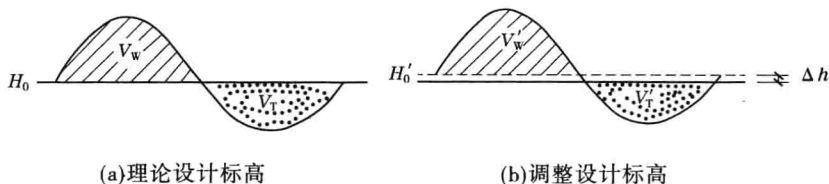


图 1-3 设计标高调整计算示意图

式中 V'_w ——设计标高调整后的总挖方体积;

V_w ——设计标高调整前的总挖方体积;

F_w ——设计标高调整前的挖方区总面积。

设计标高调整后, 总填方体积则变为

$$V'_T = V'_w K'_s = (V_w - F_w \Delta h) K'_s \quad (1-10)$$

式中 V'_T ——设计标高调整后的总填方体积；

K'_s ——土的最终可松性系数。

此时,由于填方区的标高也应当与挖方区的标高一样提高 Δh ,则有

$$\Delta h = \frac{V'_T - V_T}{F_T} = \frac{(V_W - F_W \Delta h) K'_s - V_T}{F_T} \quad (1-11)$$

式中 V_T ——调整前的总填方体积；

F_T ——调整前的填方区总面积。

移项并化简式(1-11)可得

$$\Delta h = \frac{V_W (K'_s - 1)}{F_T + F_W K'_s} \quad (1-12)$$

因此,在考虑土的可松性的情况下,场地设计标高应调整为

$$H'_0 = H_0 + \Delta h \quad (1-13)$$

(2) 由于设计标高以上的各种填方工程的用量而引起的设计标高的降低,或者由于设计标高以下的各种挖方工程的挖土量而引起的设计标高的提高。

(3) 根据经济比较结果,如采用场外取土或弃土施工方案,则应当考虑因此而引起的土方量的变化,需将设计标高进行调整。

3. 最终确定场地各方格角点的设计标高

按上述调整后的设计标高进行场地平整,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,因此还要根据场地泄水坡度要求,计算出场地内实际施工的设计标高。

平整场地坡度,一般标明在图纸上,如设计无要求,一般取不小于 2‰ 的坡度,根据设计图纸或现场情况,泄水坡度分单向泄水和双向泄水。

1) 单向泄水

当场地向一个方向排水时,称为单向泄水(见图 1-4(a))。单向泄水时场地设计标高计算,是将已调整的设计标高 H_0 作为场地中心线的标高,场地内任一点设计标高为

$$H_n = H_0 \pm li \quad (1-14)$$

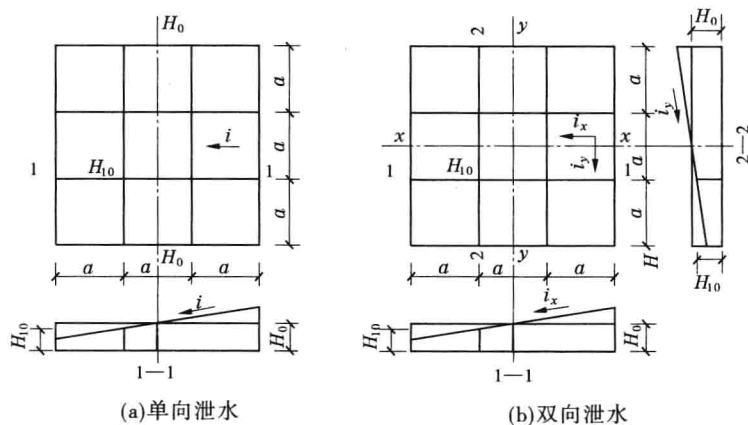


图 1-4 场地泄水坡度示意图

式中 H_n ——场地内任意一方格点的设计标高;
 l ——该方格角点至场地中心线 H_0-H_0 的距离;
 i ——场地泄水坡度(一般不小于 2‰);
 $\pm$ ——该点比 H_0-H_0 线高则取“+”号,反之取“-”号。

2) 双向泄水

场地向两个方向排水,称为双向泄水(见图 1-4(b))。双向泄水时设计标高的计算,是将已调整的设计标高 H_0 作为场地的中心线,场地内任意一个方向角点的设计标高 H_n 为

$$H_n = H_0 \pm l_x i_x \pm l_y i_y \quad (1-15)$$

式中 l_x, l_y ——该点在 $x-x, y-y$ 方向上距场地中心点的距离, m;
 i_x, i_y ——场地在 $x-x, y-y$ 方向的泄水坡度;
 $\pm$ ——该点比 H_0-H_0 线高则取“+”号,反之取“-”号。

(二) 用最小二乘法原理求最佳设计平面

如图 1-5 所示,任何一个平面在平面直角坐标系中都可以用三个参数 c, i_x, i_y 来确定。在这个平面上任何一点 i 的标高 H'_i 可根据下式求出

$$H'_i = c + x_i i_x + y_i i_y \quad (1-16)$$

式中 x_i —— i 点在 x 方向的坐标;
 y_i —— i 点在 y 方向的坐标;
 i_x, i_y ——设计平面沿坐标 x, y 的坡度。

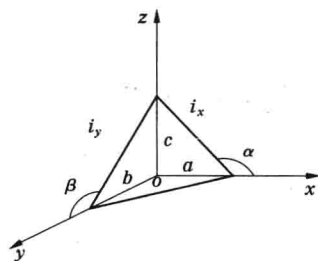


图 1-5 一个平面的空间位置

与前述方法类似,首先将施工场地划分成若干方格网,并将原地形标高 H_i 标于图上,设最佳设计平面的方程为式(1-16)的形式,则该场地方格网角点的施工高度为

$$h_i = H'_i - H_i = c + x_i i_x + y_i i_y - H_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1-17)$$

式中 h_i ——方格网各角点的施工高度;
 H'_i ——方格网各角点的设计平面标高;
 H_i ——方格网各角点的原地形标高;
 n ——方格网角点总数。

满足土方挖填平衡且土方量最少即是要同时满足施工高度之和为零和施工高度平方和最小两个条件。由于施工高度有正有负,当施工高度之和为零时,则表明该场地土方填挖达到平衡,但它不能反映出填方和挖方的绝对值之和为多少。为了不使施工高度互相抵消,若把施工高度平方后再相加,则其总和能反映土方工程填挖方绝对值之和的大小。但要注意的是,在计算施工高度总和时,应考虑方格网各点施工高度在计算土方量时被应用的次数 P_i 。

若令 σ 为土方施工高度的平方和,则有

$$\sigma = \sum_{i=1}^n P_i h_i^2 = P_1 h_1^2 + P_2 h_2^2 + \dots + P_n h_n^2 \quad (1-18)$$

将式(1-17)代入式(1-18),则有

$$\sigma = P_1 (c + x_1 i_x + y_1 i_y - H_1)^2 + P_2 (c + x_2 i_x + y_2 i_y - H_2)^2 + \dots + P_n (c + x_n i_x + y_n i_y - H_n)^2 \quad (1-19)$$

当 σ 为最小时,该设计平面既能使土方工程量最小,又能保证填挖方量相等(填挖方不平衡时,式(1-19)所得数值不可能最小),这就是用最小二乘法求最佳设计平面的方法。

为使 σ 最小,将式(1-19)分别对参数 c, i_x, i_y 求偏导数,并令其为零,可获得最佳设计平面参数 c, i_x, i_y

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma}{\partial c} &= \sum_{i=1}^n P_i (c + x_i i_x + y_i i_y - H_i) = 0 \\ \frac{\partial \sigma}{\partial i_x} &= \sum_{i=1}^n P_i x_i (c + x_i i_x + y_i i_y - H_i) = 0 \\ \frac{\partial \sigma}{\partial i_y} &= \sum_{i=1}^n P_i y_i (c + x_i i_x + y_i i_y - H_i) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-20)$$

整理后,可得如下的准则方程

$$\left. \begin{aligned} [P]c + [Px]i_x + [Py]i_y - [Pz] &= 0 \\ [Px]c + [Pxx]i_x + [Pxy]i_y - [Pxz] &= 0 \\ [Py]c + [Pxy]i_x + [Py y]i_y - [Pyz] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-21)$$

式中 $[P] = P_1 + P_2 + \cdots + P_n$;

$[Px] = P_1 x_1 + P_2 x_2 + \cdots + P_n x_n$;

$[Pxx] = P_1 x_1 x_1 + P_2 x_2 x_2 + \cdots + P_n x_n x_n$;

$[Pxy] = P_1 x_1 y_1 + P_2 x_2 y_2 + \cdots + P_n x_n y_n$;

其余类推。

联立求解方程组(1-21),可求得最佳设计平面(此时尚未考虑工艺、运输等要求)的三个参数 c, i_x, i_y ,然后即可根据式(1-17)算出各角点的施工高度 h_i 。

在实际计算时,可采用列表法进行计算(见表1-4)。最后一列和 $[PH]$ 可用于检验计算结果,当 $[PH] = 0$ 时,则表明计算无误。

表 1-4 最佳设计平面计算表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
点号	x	y	z	P	Px	Py	Pz	Pxx	Pxy	$Py y$	Pxz	Pyz	H	PH
①	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
②	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
③	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
				$[P]$	$[Px]$	$[Py]$	$[Pz]$	$[Pxx]$	$[Pxy]$	$[Py y]$	$[Pxz]$	$[Pyz]$		$[PH]$

在场区设计平面计算时,常有如下几种情况:

- (1) 当已知 c 时, 用式(1-21)的第二、第三式联立求解, 即可求得坡度 i_x, i_y ;
 (2) 当已知 i_x (或 i_y) 时, 用式(1-21)的第一、第三 (或第二) 式联立求解, 可得坡度 c 和 i_y (或 i_x);
 (3) 若要求场区为水平面 (即 $i_x = i_y = 0$), 则由式(1-21)中的第一式, 可得

$$c = \frac{[Pz]}{[P]} \quad (1-22)$$

若用四方棱柱体法计算土方量, 则有

$$[Pz] = P_1z_1 + P_2z_2 + \cdots + P_nz_n = \sum H_1 + 2 \sum H_2 + 3 \sum H_3 + 4 \sum H_4$$

$$[P] = 4M$$

从而有

$$H_0 = c = \frac{[Pz]}{[P]} = \frac{\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 3 \sum H_3 + 4 \sum H_4}{4M} \quad (1-23)$$

如用三角棱柱体法计算土方量, 则有

$$[Pz] = P_1z_1 + P_2z_2 + \cdots + P_nz_n = \sum H_1 + 2 \sum H_2 + \cdots + 8 \sum H_8$$

$$[P] = 6M$$

所以有

$$H_0 = c = \frac{[Pz]}{[P]} = \frac{\sum H_1 + 2 \sum H_2 + \cdots + 8 \sum H_8}{6M} \quad (1-24)$$

式中 H_0 ——水平面时场地的设计标高;

H_1 ——一个方格共有的角点标高;

其余类推;

M ——方格数。

- (4) 当已知 i_x 和 i_y 时 (即必须保持 x, y 轴两个方向规定的坡度), 由式(1-21)中的第一式即可求得

$$c = \frac{[Pz] - [Px]i_x - [Py]i_y}{[P]} \quad (1-25)$$

由之即可求出各点的施工高度。

二、场地平整土方量的计算

场地平整土方量的计算方法通常有方格网法和横断面法等。

(一) 方格网法

方格网法即是根据方格网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 (施工高度), 然后计算每一方格的土方量, 并计算出场地边坡的土方量。这样即可求得整个场地的填、挖土方总量。其具体步骤如下。

1. 划分方格网, 计算各方格角点的施工高度

根据已有的地形图 (一般用 1:500 的地形图), 将欲计算的场地划分为若干个方格网, 可根据地形变化程度确定方格边长, 一般为 10 m × 10 m、20 m × 20 m、30 m × 30 m 或