



应用型本科规划教材

CIVIL ENGINEERING
CONSTRUCTION

土木工程 施工

主 编 石晓娟 李金云
副主编 李瑾杨 高国芳 田芳芳



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

应用型本科规划教材

土木工程施

主 编 石晓娟 李金云
副主编 李瑾杨 高国芳 田芳芳



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工 / 石晓娟, 李金云主编. —杭州:

浙江大学出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-308-16279-1

I. ①土… II. ①石… ②李… III. ①土木工程—工程施工—教材 IV. ①TU7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 240871 号

土木工程施工

石晓娟 李金云 主编

责任编辑 王 波

文字编辑 陈静毅

责任校对 余梦洁 丁佳雯

封面设计 周 灵

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 25.75

字 数 627 千

版 印 次 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-16279-1

定 价 49.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行中心联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxbs.tmall.com>

前 言

土木工程施工是土木工程专业必修的专业课程之一,本课程主要研究土木工程施工技术和管理方面的基本理论、方法和相关施工规律。通过本课程的学习,学生可以了解土木工程施工领域国内外的新技术和发展动态,掌握土木工程施工中常用的施工技术和施工方法,掌握单位工程施工组织设计及施工组织总设计的编制步骤、方法,具有初步解决土木工程施工技术和施工组织设计问题的能力。

本书系浙江大学出版社组织出版的应用型本科院校土木工程专业规划教材之一,是按照教育部关于土木工程专业本科生的培养目标和土木工程专业指导委员会制定的课程教学大纲编写的。本书按照国家新颁布的土木工程技术规范进行编写,删除了规范中已经废除和已经过时的施工技术与施工方法,力求反映国内外的新技术、新工艺和新方法,扩大学生的知识面和专业面,以满足土木工程专业培养目标的要求。

本书可作为土木工程专业或工程管理专业的本科生教材,也可作为相关专业的教学用书,同时还可作为土木工程技术人員解决施工技术和施工管理方面问题的参考用书。

本书由北京科技大学天津学院石晓娟、李金云担任主编,李瑾杨、高国芳、田芳芳担任副主编,北京科技大学刘胜富教授主审。全书共分13章,由石晓娟统稿,具体编写分工如下:李瑾杨第1章、第5章;田芳芳第2章、第3章;李金云第4章、第8章、第9章;高国芳第10章、第11章、第12章;石晓娟绪论、第6章、第7章、第13章。

本书在编写的过程中参考了相关书籍及资料,其中主要资料已列入本书参考文献,在此谨向各位作者表示衷心的感谢!同时感谢北京科技大学天津学院土木工程系和浙江大学出版社对本书的大力支持与帮助!

由于作者水平有限,书中的错误和不足之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2016年4月

目 录

绪 论	1
第 1 章 土方工程	3
1.1 概 述	3
1.2 场地平整	6
1.3 基坑工程	17
1.4 土方的填筑与压实	57
1.5 土方施工异常情况处理措施与方法	63
第 2 章 桩基础	68
2.1 概 述	68
2.2 预制桩施工	69
2.3 灌注桩施工	80
第 3 章 混凝土结构工程	95
3.1 钢筋工程	96
3.2 混凝土工程	113
3.3 模板工程	133
第 4 章 预应力混凝土工程	154
4.1 概 述	154
4.2 预应力钢筋、锚(夹)具、张拉机械	156
4.3 先张法施工	168
4.4 后张法施工	173
4.5 体外预应力混凝土	184
第 5 章 砌筑工程	187
5.1 砌筑材料	187
5.2 砌筑施工工艺	190
5.3 砌体的冬季施工	196

第 6 章 钢结构工程	199
6.1 钢结构的加工	201
6.2 钢结构的连接	204
6.3 钢结构的预拼装	216
第 7 章 脚手架工程	218
7.1 外脚手架	219
7.2 里脚手架	229
7.3 脚手架工程的安全要求	230
第 8 章 结构吊装工程	233
8.1 起重索具及起重机械	233
8.2 结构吊装方案	245
8.3 单层厂房的构件安装	250
第 9 章 防水工程	259
9.1 地下防水工程	259
9.2 屋面防水工程	267
第 10 章 装饰工程	276
10.1 抹灰工程	276
10.2 饰面板(砖)工程	282
10.3 涂饰工程	291
第 11 章 流水施工原理	295
11.1 概 述	295
11.2 流水参数	300
11.3 流水施工的组织方法	305
第 12 章 网络计划技术	314
12.1 系统管理的网络计划技术概述	314
12.2 关键线路法时间参数的计算方法	321
12.3 时标网络计划	334
12.4 网络计划的优化	339
第 13 章 施工组织设计	359
13.1 施工组织概论	359
13.2 单位工程施工组织设计	364
13.3 施工组织总设计	386
参考文献	403

绪 论

1. 我国土木工程施工技术的发展

土木工程是一门古老的学科,我国古代土木工程施工技术就有着辉煌的成就。早在公元前 2000 年,我国就已掌握了夯填、砌筑、营造、铺瓦和油漆等方面的施工技术。

新中国成立后,我国的施工技术得到不断的发展和提高。在施工技术方面,不仅掌握了大型工业建筑,多层、高层、超高层民用建筑与公共建筑施工的成套技术,而且在地基处理和基础工程施工中推广了大直径钻孔灌注桩、旋喷桩、挖孔桩,掌握了振冲法、深层搅拌法、强夯法、地下连续墙、土层锚杆、“逆作法”施工等新技术。在现浇钢筋混凝土模板工程中推广应用了爬模、滑模、台模、筒模、隧道模、组合钢模板、大模板、清水混凝土模板、早拆模板体系。混凝土工程采用了泵送混凝土、喷射混凝土、高强混凝土以及混凝土制备和运输的机械化、自动化设备。在预制构件方面,不断完善了挤压成型、热拌热模、立窑和折线形隧道窑养护等技术。在预应力混凝土方面,采用了无黏结工艺和整体预应力结构,推广了高效预应力混凝土技术,使我国预应力混凝土的发展从构件生产阶段进入预应力结构生产阶段。在钢结构方面,采用了高层钢结构技术、空间钢结构技术、轻钢结构技术、钢-混凝土组合结构技术、高强螺栓连接与焊接技术和钢结构防护技术。在大型结构吊装方面,随着大跨度结构与高耸结构的发展,创造了一系列具有我国特色的整体吊装技术。在墙体改革方面,利用各种工业废料制成了粉煤灰矿渣混凝土大板、膨胀珍珠岩混凝土大板、煤渣混凝土大板、粉煤灰陶粒混凝土大板等各种大型墙板,同时发展了混凝土小型空心砌块建筑体系、框架轻墙建筑体系、外墙保温隔热技术等,使墙体改革有了新的突破。

特别是近一二十年,随着我国基本建设投资规模的扩大,建筑业更加蓬勃发展,成为我国的支柱产业。工程数量之多、施工技术难度之大都是空前的。继北京奥运会、上海世博会后,一批运用世界先进施工技术的超级工程像国家大剧院、鸟巢等相继建成,还有正在建设中的天津 117 大厦和港珠澳大桥。

2011 年 12 月 26 日,天津 117 大厦大底板混凝土开始浇筑,82h 内 6.5 万 m^2 混凝土一气呵成,创造了世界民用建筑底板混凝土体量之最,其施工组织难度之大、技术创新要求之高,均开创国内先河。2015 年 9 月 7 日,117 大厦 621m 的泵送高度一举超越了哈利法塔 601m 的“净身高”,同时也超越了上海中心大厦 606m 的混凝土泵送高度,缔造了世界混凝土泵送新高度。天津 117 大厦建成后将成为中国乃至世界的又一标志性建筑。

2009 年开工建设的港珠澳大桥,全长约 50km,跨海逾 35km,建成后将成为世界上最长

的跨海大桥。大桥将建约 6km 长的海底隧道,施工难度世界第一;大桥建成后,使用寿命长达 120 年,可以抗击八级地震。正是由于工程建设的推进,我国土木工程施工技术已有部分项目赶上或超过了发达国家,在总体上已正接近发达国家的水平。

随着施工技术的进步,我国施工组织计划及管理水平也不断提高。近年来,随着网络计划技术和计算机等新技术的应用,我国的施工组织与企业管理水平进一步提高,并逐步与国际接轨。自 2002 年建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术引入我国,国内已经有不少建设项目在项目建设的各个阶段不同程度地运用了 BIM 技术,其中上海中心大厦是全生命周期应用 BIM 的典型示例。上海中心大厦目前是中国第一高楼,整个项目运用 BIM 对设计、施工、运营进行全方位规划。BIM 在该项目中的全程应用尚属首次,为以后 BIM 更广泛的应用奠定了基础,进一步推动了 BIM 在中国的发展势头。

2. 土木工程施工课程的性质、任务和学习方法

土木工程施工课程是土木工程专业的一门主要的专业课,它分为主要工种工程的施工技术和组织计划两个方面的内容。本课程是一门应用性学科,具有涉及面广、实践性强、发展迅速等特点,涉及测量、材料、力学、结构、机械、经济、管理、法律等多学科的知识,并需要运用这些知识解决实际的工程问题;本课程又是以工程实际为背景的,其内容均与工程有着直接联系,需要有一定的工程概念。

根据本课程的任务及其特点,学生首先要坚持理论联系实际,加强实践环节(现场参观、实习、课程设计);其次,要注意与基础课、专业基础课及有关专业课知识的衔接和贯通;最后,除了学习本教材外,还应尽量阅读参考书籍与科技文献、专业杂志,汲取新的知识,了解发展动向,扩大视野,为今后发展打好基础。

第1章 土方工程

【内容提要】

本章主要介绍土的工程分类、土的工程性质,以及土方工程量的计算,具体包括基坑(槽)土方量计算、场地平整土方量计算等。重点论述基坑边坡稳定、支护措施和基坑降水等内容。在土方机械化施工中,着重阐述常用土方机械的类型、性能及提高生产率的措施,最后介绍土方填筑与压实方法。

【学习要求】

通过本章学习,掌握土的工程性质,并能熟练应用土的可松性解决实际问题;熟悉土的渗透性及土方边坡的概念;了解土方工程施工的内容和土方工程分类。掌握基坑(槽、沟)土方量计算,了解场地平整土方量的计算方法。掌握基坑降水方法和流砂产生的原因与防治;掌握土方边坡的留设原则和稳定分析;掌握挖掘机的土方开挖方式和一般要求。熟悉人工降低地下水位方法的适用范围和轻型井点设计计算思路;熟悉土壁支护形式和适用范围;了解土方施工前的准备工作和轻型井点的设计计算。掌握填土压实的方法和影响填土压实的因素,熟悉土料选择及填土压实的一般要求,了解填土压实的质量要求。熟悉钢板桩和深层搅拌法的施工工艺及施工要点。

1.1 概 述

在土木工程施工中,常见的土方工程内容包括场地平整、基坑(槽)开挖、地坪填土、路基填筑以及基坑回填等,以及排水、降水、坑壁支撑等准备工作和辅助工程。土方工程具有施工面积和工程量大,劳动繁重,大多为露天作业,施工条件复杂,施工易受地区气候条件影响等特点。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 25m,土方开挖总量达 $4.2 \times 10^5 \text{ m}^3$,实际工期达到 210d。

土方工程施工过程受气候、水文、地质、地下障碍等因素的影响较大,不可确定的因素也较多,有时施工条件也极为复杂。因此,为了减轻劳动强度,提高劳动生产效率,确保土方工程顺利施工的同时,加快施工进度,降低工程成本,在组织施工时,应根据工程特点和周边环境,详细分析和核对各项技术资料(地形图、工程地质条件、水文地质勘查资料、地下管道、电缆和地下构筑物资料及土方工程施工图等),根据现场踏勘和现有的施工条件,拟订经济合理的施工方案,应尽可能采用新技术和机械化施工,为后续工作做好准备。

1.1.1 土的工程分类

土的种类繁多,分类方法各异。地基土按《建筑地基基础设计规范》可划分为岩石、碎石土、砂土、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。按施工时开挖的难易程度土可分为八类,如表 1-1 所示。该分类是施工中选择合适的机械与开挖方法的依据,也是确定土木工程劳动定额的依据。前四类为一般土,后四类为岩石。土的开挖难易程度直接影响土方工程的施工方案、施工机械、劳动量消耗和土方工程劳动定额。

表 1-1 土的工程分类

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)	砂,粉土,冲积砂土层,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、卵石的砂,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,天然级配砂石,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	1.30~1.45	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

1.1.2 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、渗透性、原状土经机械压实后的沉降量、压缩性等,此外还有密实度、抗剪强度、土压力等。这里主要介绍土的可松性和渗透性。

1. 土的可松性

土的可松性程度用可松性系数表示。自然状态下的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,称为最终可松性系数。

最初可松性系数的计算公式为

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

最终可松性系数的计算公式为

$$K_s' = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-2)$$

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 ——土在自然状态下的体积(m^3);

V_2 ——土在松散态下的体积(m^3);

V_3 ——土经压实后的体积(m^3)。

由此可知,土的最初可松性系数 K_s 是计算车辆装运土方体积及选择挖掘机械的主要参数,土的最终可松性系数 K_s' 是计算填方所需土方量的主要参数。

土方工程量是以自然状态下土的体积来计算的,所以土的可松性对场地平整开挖土方量的计算与调配、计算土方挖掘机械生产率与运输工具数量以及计算填方所需的挖方体积等均有很大影响,在施工中不可忽视。根据各类土的工程分类,相应的可松性系数如表 1-1 所示。

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。其公式表达为

$$v = \frac{\Delta H}{L} \cdot K = K \cdot i \quad (1-3)$$

式中: v ——地下水渗流速度(m/d);

ΔH ——渗流路径两端的水头差(m);

L ——渗流路径长度(m);

i ——单位渗透路径长度的水头差,亦称为水力坡度(无量纲);

K ——渗透系数(m/d)。

渗透系数 K 的物理意义为当水力坡度 i 等于 1 时,水在土中的渗透速度,单位为 m/d ,是表示土的渗透性的重要参数。由室内渗透试验或现场抽水试验测定, K 值大小反映土的渗透性的强弱,影响施工降水与排水的速度,也对施工降水方案与支护结构形式等的选择影响很大。土的渗透系数 K 的参考值如表 1-2 所示。

表 1-2 土的渗透系数 K 的参考值

名称	渗透系数 $K / (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	名称	渗透系数 $K / (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
黏土	<0.005	中砂	5~25
粉质黏土	0.005~0.1	均质中砂	35~50
粉土	0.1~0.5	粗砂	20~50
黄土	0.25~0.5	圆砾	50~100
粉砂	0.5~5.0	卵石	100~500
细砂	1.0~10.0	无填充物卵石	500~1000

1.2 场地平整

场地平整一般是在基坑(槽)、管沟开挖之前进行的施工过程,满足将自然地面改造成人们生产、生活所要求的平面。如大型工程场地平整前,应首先确定建筑场地设计标高,然后计算挖、填方的工程量,进行土方平衡调配,并力求使场地内土方挖填平衡且土方量最小,因此,必须针对具体情况拟订科学合理的土方施工方案,土方量的计算要尽量准确。

1.2.1 场地设计标高的确定

场地设计标高是进行场地平整和土方量计算的依据,一般由设计单位确定。合理确定场地的设计标高,对于减少土方总量,节约土方运输费用,加快建设进度等都具有重要的经济意义。因此,必须结合现场实际情况,选择最优方案。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。确定场地设计标高一般应考虑以下因素:

- (1)满足生产工艺和运输的要求;
- (2)尽量利用地形,减少挖方、填方数量;
- (3)场地内挖方、填方平衡(面积大、地形复杂时例外),土方运输总费用最少;
- (4)有一定的表面泄水坡度($\geq 2\%$),满足排水要求;
- (5)考虑最高洪水位的要求。

场地设计标高确定一般有两种方法:挖、填土方量平衡法和最佳设计平面法。挖、填土方量平衡法计算简便,对场地设计标高无特殊要求,适用于小型场地平整,精度能满足施工要求,但此法不能保证总土方量最小。最佳设计平面法应用最小二乘法的原理,求得最佳设计平面,使场地内方格网各角点施工高度的平方和为最小,既能保证挖、填土方量平衡,又能保证土方工程量最小,实现场地设计平面最优化。

1. 挖、填土方量平衡法

挖、填土方量平衡法确定场地设计标高的计算步骤为:

- (1)划分场地方格网。将场地划分为边长为 a 的方格网,并将方格网角点的原地形标高

标在图上(如图 1-1 所示),原地形场地标高用实测法或利用原地形图的等高线进行内插可以得到。

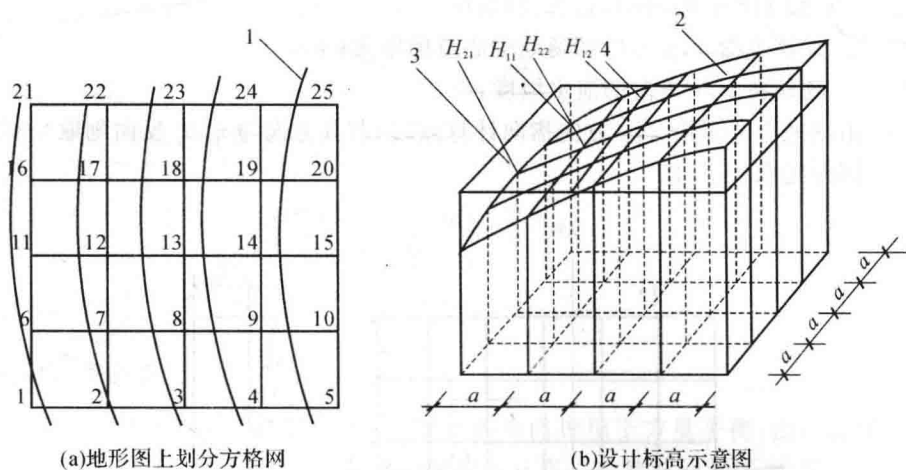


图 1-1 场地设计标高计算简图

1—等高线;2—自然地面;3—设计平面;4—零线

(2)计算或根据实际测量得出各角点的原地形标高。按照场地内挖方、填方平衡的原则,场地设计标高的计算公式为

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

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

式中: H_0 ——所计算的场地设计标高(m);

a ——方格边长(m);

N ——方格数;

$H_{11}, H_{12}, H_{21}, H_{22}$ ——任一方格四个角点标高(m)。

(3)计算场地设计标高。由图 1-1 可见,由于相邻方格具有公共角点,在一个方格网中,某些角点为两个相邻方格共有,比如 2,3,4,6,⋯角点,其角点标高要加两次;某些角点为四个相邻方格共有,比如 7,8,9,⋯角点,在计算场地设计标高时,其角点标高要加四次;某些角点,比如 1,5,21,25 角点,其角点标高仅加一次。这些计算过程中被加的次数反映了各角点标高对计算结果的影响程度,测量上的术语称为“权”。因此,式(1-4)可改写成

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 3 \sum H_3 + 4 \sum H_4}{4N} \quad (1-5)$$

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)。

(4)泄水坡度调整。设计标高的调整主要是泄水坡度的调整,若按式(1-5)计算得到的设计平面为一水平的、挖填平衡的场地,但由于实际场地具有排水的要求,场地表面往往需有一定的泄水坡度(如图 1-2 所示)。因此,应根据泄水要求计算出实际施工时所采用的设计标高。

设场地中心点的标高为 H_0 ,则场地任意点的设计标高为

$$H_n = H_0 \pm l_x i_x \pm l_y i_y \quad (1-6)$$

式中: H_n ——场地内任一角点的设计标高(m);

l_x, l_y ——计算点沿 x, y 方向距场地中心点的距离(m);

i_x, i_y ——场地在 x, y 方向的泄水坡度;

±——由场地中心点沿 x, y 方向指向计算点时,若其方向与 i_x, i_y 反向则取“+”号,若同向则取“-”号。

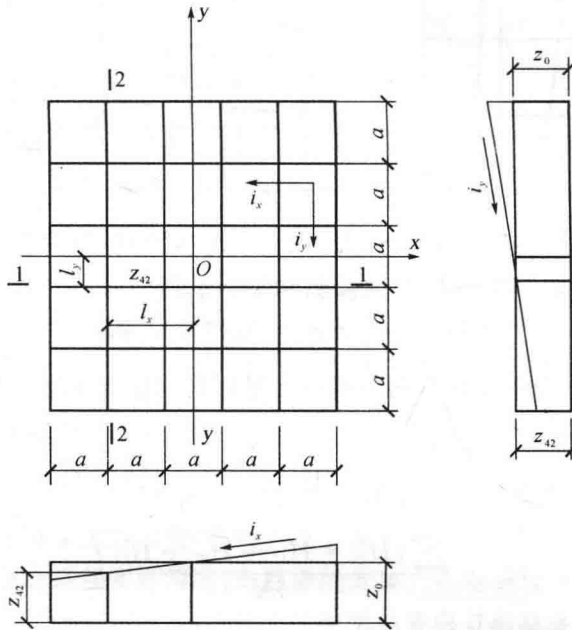


图 1-2 场地泄水坡度

【例 1-1】 某建筑场地方格网的地面标高如图 1-3 所示,方格边长 $a=20\text{m}$,泄水坡度 $i_x=2\text{‰}$, $i_y=3\text{‰}$,不考虑土的可松性的影响,确定方格各角点的设计标高。

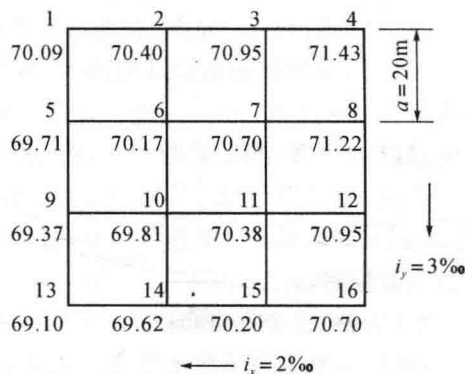


图 1-3 例 1-1 图

解 (1)初步设计标高(场地平均标高)

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

(2) 按泄水坡度调整设计标高

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

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

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

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

2. 最佳设计平面法

按挖、填土方量平衡法得到的设计平面,能使场地内挖填土方量平衡,但不能保证总的土方量最小。应用最小二乘法的原理,可求得满足上述条件的最佳设计平面。

当地形比较复杂时,一般需设计成多平面场地,此时可根据工艺要求和地形特点,预先把场地划分成几个平面,分别计算出最佳设计单平面的各个参数。然后适当修正各设计单平面交界处的标高,使场地各单平面之间的变化平缓且连续。因此,确定单平面的最佳设计平面是竖向规划设计的基础。

如图 1-4 所示,任何一个平面在直角坐标体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' 可表示为

$$H_i' = c + x_i i_x + y_i i_y \quad (1-7)$$

式中: x_i —— i 点在 x 方向的坐标;

y_i —— i 点在 y 方向的坐标。

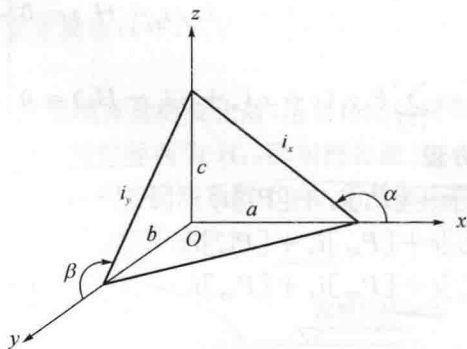


图 1-4 一个平面的空间位置

O —原点标高; $i_x = \tan \alpha = -c/a$, x 方向的坡度;

$i_y = \tan \beta = -c/b$, y 方向的坡度

与挖、填土方量平衡法类似,将场地划分成方格网,并将原地形标高 H_i 标于图上,设最佳设计平面的方程式为式(1-7)的形式,则该场地方格网角点的施工高度为

$$h_i = H_i' - H_i = c + x_i i_x + y_i i_y - H_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1-8)$$

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 ——方格角点总数。

施工高度之和与土方工程量成正比,这一点可从后续的土方量计算式获得认识。因为施工高度有正有负,当施工高度之和为零时,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。为了不使施工高度正负相互抵消,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绝对值之和的大小。因此,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。但要注意,计算土方工程量绝对值之和时,还要考虑方格网各点施工高度在计算土方量时被应用过的次数 P_i 。

若令 σ 为土方施工高度的平方和,则

$$\sigma = \sum_{i=1}^n P_i h_i^2 = P_1 h_1^2 + P_2 h_2^2 + \cdots + P_n h_n^2 \quad (1-9)$$

将式(1-8)代入式(1-9),可得

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

当 σ 的值最小时,该设计平面既能使土方工程量最小,又能保证填挖土方量相等(填挖方不平衡时,式(1-9)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。

为了求得 σ 最小时的设计平面参数 c, i_x, i_y , 可以对式(1-7)的 c, i_x, i_y 分别求偏导数,并令其为 0, 可获得最佳设计平面参数 c, i_x, i_y , 于是得

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma}{\partial c} &= \sum_{i=1}^n P_i (c + x_i i_x + y_i i_y - H_i) = 0 \\ \frac{\partial \sigma}{\partial i_x} &= \sum_{i=1}^n P_i x_i (c + x_i i_x + y_i i_y - H_i) = 0 \\ \frac{\partial \sigma}{\partial i_y} &= \sum_{i=1}^n P_i y_i (c + x_i i_x + y_i i_y - H_i) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

经过整理,可得到准则方程

$$\left. \begin{aligned} [P]c + [P_x]i_x + [P_y]i_y - [P_z] &= 0 \\ [P_x]c + [P_{xx}]i_x + [P_{xy}]i_y - [P_{xz}] &= 0 \\ [P_y]c + [P_{xy}]i_x + [P_{yy}]i_y - [P_{yz}] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

式中

$$\begin{aligned} [P] &= P_1 + P_2 + \cdots + P_n \\ [P_x] &= P_1 x_1 + P_2 x_2 + \cdots + P_n x_n \\ [P_{xx}] &= P_1 x_1 x_1 + P_2 x_2 x_2 + \cdots + P_n x_n x_n \\ [P_{xy}] &= P_1 x_1 y_1 + P_2 x_2 y_2 + \cdots + P_n x_n y_n \end{aligned}$$

以此类推。

解联立方程组(1-11),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(1-5)算出各角点的施工高度。

在实际计算时,可采用列表方法(如表 1-3 所示)。最后一列和 $[PH]$ 可用于检验计算结果,若 $[PH]=0$,则计算无误。

表 1-3 最佳设计平面计算

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
点号	y	x	z	P	P_x	P_y	P_z	P_{xx}	P_{xy}	P_{yy}	P_{xz}	P_{yz}	H	PH
0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
				$[P]$	$[P_x]$	$[P_y]$	$[P_z]$	$[P_{xx}]$	$[P_{xy}]$	$[P_{yy}]$	$[P_{xz}]$	$[P_{yz}]$		$[PH]$

应用上述准则方程时,若已知 c , i_x 或 i_y ,只要把这些已知值作为常数代入,即可求得该条件下的最佳设计平面,但它与无任何限制条件下求得的最佳设计平面相比,其总土方量一般要比后者大。

3. 场地设计标高的调整

根据式(1-5)得出的设计标高乃一理论值,实际上,还需要考虑以下几方面因素对其进行调整:

- (1)考虑土的最终可松性,需相应地提高设计标高,从而得到实际挖、填的土方量平衡;
- (2)设计标高以下各种填方工程用土量(如场区上填筑路堤而影响设计标高使其降低),或设计标高以上的各种挖方工程量(如开挖河道、水池等影响设计标高使其提高);
- (3)边坡填、挖土方量不等;
- (4)部分挖方就近弃土于场地以外,或部分填方就近从场外取土等因素,需将设计标高进行调整。

考虑这些因素所引起的挖填方量的变化后,适当提高或降低设计标高。

【例 1-2】如图 1-5 所示,场地标高为 H_0 ,已知挖方量 V_w ,挖方区面积 F_w ,填方区面积 F_T ,土的最初可松性系数 K_s ,最终可松性系数 K_s' 。如考虑土的可松性(不计设计标高调整后 F_w, F_T 的变化),该设计标高应提高多少?

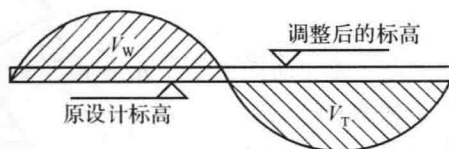


图 1-5 场地平整示意图

解 设计标高提高后,仍应使土方挖填平衡,根据图 1-5,设计标高应提高 ΔH ,故可得到

$$K_s(V_w - \Delta H F_w) = V_T + \Delta H F_T$$

因为最佳设计平面的土方挖填平衡,因此有 $V_w = V_T$,则