

土木工程系列丛书

土木工程施工(上册)

应惠清 主编

同济大学出版社

前 言

“土木工程施工”是土木工程专业的一门主要的专业课。它在培养学生独立分析和解决土木工程施工中有关施工技术与组织计划的基本能力方面,起着重要作用。

“土木工程施工”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基本规律,以及各专业方向(包括建筑工程、桥梁工程、地下工程、道路工程、水利工程、井港工程等)的专业施工技术的学科。它具有涉及面广、实践性强、发展迅速等特点,因此,在教学时间有限的条件下,为提高本课程的教学质量,必须结合工程实践,综合运用本专业的基础理论,有重点地讲述基本的重要内容,对一些操作性较强的内容,则主要通过生产实习、现场教学、参观等教学环节进行,有关现代施工技术和特殊的施工技术则可通过开设选修课进行教学。

本教材是在土木类专业调整及课程体系改革的基础上,根据 21 世纪土木工程专业人才培养目标、专业指导委员会对课程设置的意见以及本课程教学大纲的要求组织编写的。本教材分为上、下两册。上册主要研究土木工程施工中的具有共性的基本理论与规律;下册主要研究土木工程各专业方向上具有个性的施工技术及其原理。

《土木工程施工》上册继承了同济大学江景波教授、赵志缙教授主编的《建筑施工》教材的传统与风格,吸取了原教材的精华,同时又根据“大土木”专业的教学特点,补充、增加了有关内容,以适应新的教学要求。原《建筑施工》出版以来,一直被许多兄弟院校作为教材,反映较好。第一版于 1987 年获得国家教委优秀教材奖,第三版于 2000 年获上海市普通高校优秀教材奖。在本教材问世之际,我们由衷地感谢前辈们为土木工程施工学科的发展所作出的贡献。

本教材在编写过程中力求综合运用有关学科的基本理论与知识,做到理论联系实际,反映当前土木工程施工的先进水平。编写内容符合现行设计施工的规范、规程与标准要求,以利培养学生的综合能力和加强工程概念。本教材努力做到图文并茂、深入浅出、通俗易懂,并在每章后面附有思考题和习题,便于组织教学和自学。但限于编者的水平有限,不足之处难免,诚挚地希望读者提出宝贵意见。

本书上册的绪论、第一章、第十一章、第十三章由应惠清编写；第十二章、第十四章由徐伟编写；第二章、第三章由赵帆编写；第四章、第九章、第十章由韩兵康编写；第五章、第八章由吴水根编写；第六章由刘匀编写；第七章由金瑞□编写。周太震、葛鹏、顾浩声为本书绘制了插图。全书最后由应惠清进行了审校和统一加工。

编者

2000.11

目 录

绪论.....	1
第一章 土方工程.....	4
第一节 概 述.....	4
一、土的工程分类.....	4
二、土的工程性质.....	5
第二节 场地设计标高的确定.....	6
一、场地设计标高确定的一般方法.....	6
二、用最小二乘法原理求最佳设计平面.....	7
三、设计标高的调整.....	9
第三节 土方工程量的计算与调配.....	9
一、土方工程量计算.....	9
二、土方调配.....	12
第四节 土方工程的准备与辅助工作.....	19
一、土方工程施工前的准备工作.....	20
二、土方边坡及其稳定.....	20
三、土壁支护.....	21
四、降水.....	32
第五节 土方工程的机械化施工.....	43
一、主要挖土机械的性能.....	43
二、土方机械的选择.....	47
第六节 土方的填筑与压实.....	48
一、土料的选用与处理.....	48
二、填土的方法.....	49
三、压实方法.....	49
四、影响填土压实的因素.....	49
五、填土压实的质量检查.....	50
思考题.....	51
习题.....	52
第二章 桩基础工程.....	55
第一节 混凝土预制桩施工.....	55
一、混凝土预制桩的制作、起吊、运输和堆放.....	55
二、预制桩的沉桩.....	56

第二节 灌注桩施工	63
一、干作业成孔灌注桩	63
二、泥浆护壁成孔灌注桩	64
三、套管成孔灌注桩	66
思考题	68
第三章 混凝土结构工程	69
第一节 钢筋工程	69
一、钢筋冷加工	70
二、钢筋连接	73
第二节 模板工程	79
一、模板形式	79
二、模板设计	89
三、模板拆除	92
第三节 混凝土工程	92
一、混凝土的制备	93
二、混凝土的运输	96
三、混凝土的浇捣和养护	99
思考题	116
习题	117
第四章 预应力混凝土工程.....	118
第一节 概述.....	118
一、预应力混凝土的特点	118
二、预应力钢筋的种类	118
三、对混凝土的要求	120
四、预应力的施加方法	120
第二节 先张法.....	120
一、先张法施工设备	120
二、先张法施工工艺	125
第三节 后张法.....	129
一、锚具和预应力筋制作	129
二、张拉机具设备	137
三、后张法施工工艺	140
第四节 无粘结预应力混凝土.....	143
一、无粘结预应力束的制作	143
二、无粘结预应力施工工艺	144
思考题	146
习题	146

第五章 砌筑工程.....	148
第一节 砌筑材料.....	148
第二节 砌筑施工工艺.....	148
一、砌砖施工	148
二、砌石施工	151
三、中小型砌块的施工	152
第三节 砌体的冬期施工.....	153
思考题	154
第六章 钢结构工程.....	155
第一节 钢结构加工工艺.....	155
一、钢结构的放样、号料与下料	155
二、构件加工	156
第二节 钢结构的拼装与连接.....	159
一、工厂拼装	159
二、焊接施工方法	160
三、螺栓连接施工	164
思考题	168
第七章 脚手架工程.....	169
第一节 扣件式钢管脚手架.....	169
一、基本构造	170
二、搭设要求	171
第二节 碗扣式钢管脚手架.....	171
一、基本构造	172
二、搭设要求	172
第三节 门式钢管脚手架.....	172
一、基本构造	173
二、搭设要求	173
第四节 升降式脚手架.....	174
一、自升降式脚手架	174
二、互升降式脚手架	176
三、整体升降式脚手架	177
第五节 里脚手架.....	179
第六节 桥梁工程的脚手架.....	180
第七节 脚手架工程的安全技术要求.....	181
一、一般要求	181
二、脚手架的搭设	182

三、防电、避雷	182
思考题	182
第八章 结构吊装工程	183
第一节 起重机具	183
一、索具设备	183
二、起重机械	186
第二节 构件吊装工艺	197
一、预制构件的制作、运输和堆放	197
二、构件的绑扎和吊升	199
三、构件的就位与临时固定	201
四、构件的校正与最后固定	202
五、小型构件的吊装	204
思考题	204
习题	205
第九章 防水工程	206
第一节 地下防水工程	206
一、结构自防水	206
二、表面防水层防水	208
三、止水带防水	209
第二节 屋面防水工程	210
一、卷材防水材料及其构造	210
二、卷材防水施工的基本要求	211
三、高分子卷材防水屋面的施工	213
四、涂膜防水屋面	214
思考题	218
第十章 装饰工程	219
第一节 装饰工程分类	219
一、装饰工程施工的范围	219
二、建筑装饰及装饰施工的标准	219
三、建筑装饰工程施工特点	220
第二节 抹灰工程	221
一、抹灰的分类和组成	221
二、一般抹灰施工	221
三、装饰抹灰施工	223
第三节 饰面工程	225
一、饰面砖镶贴	226

二、石材饰面施工	227
三、金属饰面施工	227
思考题	227
第十一章 流水施工原理	229
第一节 基本概念	229
一、流水施工	229
二、流水施工参数	230
第二节 节奏流水施工	234
一、固定节拍流水	234
二、成倍节拍流水	235
第三节 非节奏流水	237
思考题	240
习题	240
第十二章 网络计划技术	242
第一节 双代号网络图	242
一、基本概念	242
二、网络图的绘制	244
三、网络图的时间参数计算	251
第二节 单代号网络图	258
一、单代号网络图的绘制	258
二、单代号网络图的计算	262
第三节 时间坐标网络计划	266
第四节 网络图的优化	268
一、工期优化	268
二、资源优化	269
三、以成本最低为前提的最优工期	270
第五节 土木工程施工网络计划的计算机管理	276
一、网络计划计算机应用现状	277
二、网络计划软件的系统模块设计	278
思考题	281
习题	281
第十三章 施工组织总设计	285
第一节 概述	285
一、基本建设程序	285
二、建设项目的划分	285
三、施工组织设计的类型	286

四、施工组织设计的内容	287
第二节 施工组织总设计	287
一、施工组织总设计编制程序和依据	287
二、施工准备	289
三、施工部署和施工方案	296
四、施工总进度计划	297
五、施工资源总需要量计划	298
六、施工总平面图	299
思考题	301
第十四章 单位工程施工组织设计	302
第一节 概述	302
第二节 单位工程施工组织设计的编制依据和程序	302
第三节 选择施工方案	304
一、熟悉、审查施工图纸,研究施工条件	304
二、划分施工过程	304
三、计算工程量	305
四、确定施工顺序	305
五、选择施工方法和施工机械	308
六、施工方案的比较	308
第四节 编制施工进度计划	309
一、确定施工过程	309
二、确定各施工过程的工程量	310
三、确定劳动量和机械台班数	310
四、确定各施工过程的作业天数	311
五、编制施工进度计划	311
六、编制资源计划	311
七、进度计划的评价指标	313
第五节 施工平面图设计	314
一、设计内容和依据	314
二、设计步骤和要求	317
第六节 制定施工措施	321
一、技术组织措施	321
二、降低成本措施	322
三、保证工程质量与施工安全的措施	322
思考题	323

绪 论

一、土木工程施工课程的研究对象、任务与学习方法

土木工程包括房屋建筑工程、桥梁工程、地下工程、道路工程、水利工程等,“土木工程施工”课程是土木工程专业的一门主要的专业课,它分为两个方面的内容,即:土木工程施工中主要工种工程的施工技术和施工组织计划。

土木工程施工是将设计者的思想、意图及构思转化为现实的过程。从古代穴居巢处到今天的摩天大楼;从农村的乡间小道到都市的高架道路;从穿越地下的隧道到飞架江海的大桥,凡要将人们的设想(设计)变为现实,都需要通过“施工”的手段来实现。

一个工程的施工,包括许多工种工程,诸如土方工程、桩基础工程、混凝土结构工程、钢结构工程、结构吊装工程、防水工程等,各个工种工程的施工都有其自身的规律,都需要根据不同的施工对象及自然与环境条件采取相应的施工技术,选择不同的施工机械,本课程研究的对象之一就是各工种工程的施工规律,并提出各自的施工方案设计原理。土木工程施工是多专业、多工种协同工作的一个系统工程。在土建施工的同时,需要与有关的水、电、风、暖及其他设备专业的施工组成一个整体,各工种工程之间也需合理的组织与协调,并需要做好进度计划及劳动力、材料、机械设备等安排,以便保质、按期完成工程建设,更好地发挥投资效益。因此,土木工程各工种工程之间的组织与管理的规律也是本课程研究的对象。土木工程各专业方向如建筑工程、桥梁工程、地下工程、道路工程、水利工程的施工,有其共同的规律,但它们也各有其自身的特点,这也是本课程所要研究的内容。上述内容分别在本教材的上、下册中讲述。

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。它涉及到测量、材料、力学、结构、机械、经济、管理、法律等多个学科的知识,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。随着科学技术的进步,土木工程在技术与组织管理两方面都在日新月异地发展,新技术、新工艺、新材料、新设备不断涌现,作为研究土木工程施工的课程,其内容与教学方法也在不断地发展与更新。

根据本课程的任务及其特点,在教学过程中首先应坚持理论联系实际的学习方法,加强实践环节(如现场教学、参观、实习、课程设计等);其次,应注意与基础课、专业基础课及有关专业课知识的衔接与贯通,更好地理解与掌握本课程内容;最后,在学习中除了学习本教材之外,还应尽量阅读参考书籍与科技文献、专业杂志,吸取新的知识、了解新的发展动向、扩大视野,为进一步的发展打好基础。

二、土木工程施工的发展

土木工程是一个古老的专业,人类从进入文明社会以来,建筑业不仅为人们提供“衣、食、住、行”中的住、行两大需求,也推动着其他产业的发展与社会进步。在社会进步的同时,

土木工程施工也在不断地发展。

我国是一个历史悠久和文化发达的国家,在世界科学文化的发展史上,我国人民有过极为卓越的贡献,在施工技术方面,同样有巨大的功绩。在殷代,我国已开始用水测定水平,用夯实的土壤作地基,并开始在墙壁上进行涂饰。战国、秦、汉时期,砌筑技术有很大发展,已有方砖、空心砖和装饰性条砖,还用特制的形砖和企口砖砌拱券和穹窿。此时已有精巧的榫卯,表明木结构的施工技术已经达到一定的水平。在两晋、南北朝,木塔的建造显示木结构技术有了进步。云冈石窟的开凿等表明了石工技术的水平。砖石结构开始大规模运用于地面上建筑,如河南登封嵩岳寺塔等建造表明这方面有很大进步。隋、唐、五代时期,土、石、砖、瓦、石灰、钢铁、矿物颜料和油漆的应用技术已渐趋成熟。唐代大规模城市的建造,表明施工技术已达到了相当高的水平。宋、辽、金时,开始在基础下打桩。从砖塔和拱桥(如芦沟桥)可看出砖石结构的施工技术水平。同时在室内装饰方面亦十分秀丽绚烂。至元、明、清,已能用夯土墙建造三四层楼房,内加竹筋。砖圈结构的普及说明了砌砖技术的进步。此外,木构架的整体性加强了,镏金、玻璃等用于建筑,丰富了装饰手法。现存的北京故宫等建筑,表明了我国的施工技术已经达到了较高的水平。

鸦片战争以后,在我国的高等学校开始建立土建类的系科,有了较正规的土木工程的专业教育。在沿海一些大城市也出现了一些用钢铁和混凝土建造的现代化建筑工程,但多数由外国公司承建。此时,由我国私人创办的营造厂虽然也有所发展,并承建了一些工程,但由于规模小,技术装备较差,技术进步较慢。因此,从整体来看,解放前我国的施工技术和组织管理水平是较低的。

新中国建立后,我国的建设事业起了根本的变化,我国的施工力量就由 1949 年初的 20 万人左右,发展到 1952 年的 140 万人,至 1958 年更发展到 533 万人。到 1977 年,施工企业的职工已发展到占全国职工总数的 5.9%,成为一支力量雄厚的建设队伍,到 1985 年底,从事建筑事业的人数已达到 1 700 万。近年来又有很大发展,已达 3 000 万以上。

进入 80 年代,我国的基本建设规模进一步扩大,1981~1990 年十年间全社会固定资产投资完成 2.77 万亿元,超过前 30 年的总和,其中基本建设投资为 1.08 万亿元,建成大中型项目 1 000 多个。投入更新改造资金 5 470 亿元,完成技术改造项目 40.9 万项,使我国国力得到进一步增强,人民生活得到明显提高。

进入 90 年代,由于改革开放的深入,基本建设规模更加扩大,1994 年固定资产投资达 1.3 万亿元,1995 年固定资产投资达 1.7 万亿元,1996 全社会固定资产投资更达 2.36 万亿元,每年万亿元以上的投资,使建筑业蓬勃发展,并成为我国的支柱产业。近十几年,我国已建高层建筑 7 000 多幢,建筑面积达 1.3 亿 m^2 。具有代表性的建设工程有上海金茂大厦 88 层、420.5 m 高,居世界第三;上海的杨浦大桥 602 m 一跨过江,在叠合斜拉桥中为世界第三;江阴长江大桥为世界特大跨度的悬索桥,其锚墩沉井长 70 m、宽 50m、深 58m,为世界之最;上海东方明珠电视塔高 468m,为世界第三;水利工程的长江三峡、黄河小浪底工程;新建铁路 3 000km、高等级公路 8 000km;北京、上海等城市的地铁,等等。工程数量之多、施工技术难度之大都是空前的。正是工程建设的推进,我国在土木工程施工技术已有部分项目赶上或超过了发达国家,在总体上正接近发达国家的水平。在土木工程施工技术方面,我国不但掌握了施工大型工程项目的成套技术,而且在地基处理和基础工程方面推广了如大直径钻孔灌注桩、深基础支护技术、人工地基、地下连续墙和“逆作法”等新技术;在现浇混凝土工程

中应用了滑升模板、爬升模板、大模板等工业化模板体系以及组合钢模板、模板早拆技术等；在泵送混凝土、预拌混凝土、大体积混凝土浇筑等技术方面已达到国际先进水平；另外，在预应力混凝土技术、墙体改革、以及大跨度结构、钢结构等方面都掌握和发展了许多新的施工技术，有力地推动了我国土木工程的发展。

经过 40 多年的大规模的经济建设，也促使我国施工组织计划及管理水平的提高。我国在第一个五年计划期间，在一些重点工程上已开始编制施工组织设计，后来相继有所发展；到 60 年代中期处于停顿；但进入 70 年代中期以后，又在一些重要工程上得到恢复和发展。近年来，随着网络计划技术和电子计算机等新技术的应用，更进一步提高了我国的施工组织与企业管理的水平。同时在工程管理上也不断学习国外的先进经验，在我国已实行工程招投标制度、工程监理制度；实行工程总承包与项目管理法等一系列国际通行的管理模式，逐步向国际接轨。

三、土木工程施工规范、规程与规定

土木工程施工必须严格按照国家颁发的有关施工规范，它是国家在土木工程施工方面的重要的法规，其目的是为了加强对土木工程施工的技术管理及统一验收标准，以达到进一步提高我国的施工水平、保证施工质量、降低工程成本的目的。它是从事土木工程设计、施工、监理与管理的所有人员都必须遵照执行的。

工程施工及验收规范的内容一般包括材料、半成品、成品等的质量标准和技术条件；施工准备工作；施工质量要求；质量控制方法与检查方法；施工技术要点以及其他技术规定等。

施工规程、规定等也是属于国家（行业、地方）标准，但它是比施工规范低一个等级的施工技术文件，通常是及时推广新技术、新结构、新材料、新工艺而制定的有关标准。施工规程、规定中的内容如与施工规范内容有抵触时，应以施工规范为准。

凡新建、改建、修复等工程，在设计、施工和竣工验收时均应遵守相应的施工及验收规范（规程、规定）。隐蔽工程还应根据相应的要求进行施工期间的隐蔽工程检查与验收工作。

土木工程不同专业方向的规范（规程、规定）其适用范围不尽相同，在使用时应注意其适用范围。有关地下工程的规范，如桩基础工程、地基处理工程、基坑支护工程等，因我国幅员广阔，各地的水文地质条件差异很大，在使用有关规范时应结合工程所在地的地方规范（规程、规定）以及当地的具体条件。

土木工程施工规范（规程、规定）随着工程技术的发展也在不断地补充、完善与更新，因此，在使用规范（规程、规定）时，还应关注规范的调整，并积极地进行科学研究，进行工程试验，开发新技术，为规范的修订提供理论与试验依据，更好地推进新技术的应用，更好地指导工程施工。

第一章 土方工程

第一节 概 述

土方工程包括一切土的挖掘、填筑和运输等过程以及排水、降水、土壁支撑等准备工作和辅助工程。在土木工程中,最常见的土方工程有:场地平整、基坑(槽)开挖、地坪填土、路基填筑及基坑回填土等。

土方工程施工往往具有工程量大、劳动繁重和施工条件复杂等特点;土方工程施工又受气候、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,有时施工条件极为复杂。因此,在组织土方工程施工前,应详细分析与核对各项技术资料(如地形图、工程地质和水文地质勘察资料、地下管道、电缆和地下构筑物资料及土方工程施工图等),进行现场调查并根据现有施工条件,制订出技术可行经济合理的施工设计方案。

土方工程顺利施工,不但能提高土方施工的劳动生产率,而且为其他工程的施工创造有利条件,对加快基本建设速度有很大意义。

一、土的工程分类

土的分类繁多,其分类法也很多,如按土的沉积年代、颗粒级配、密实度、液性指数分类等。在土木工程施工中,按土的开挖难易程度将土分为八类(表1-1),这也是确定土木工程劳动定额的依据。

表 1-1 土的工程分类

类别	土的名称	开挖方法	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)	粉质粘土,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)	软及中等密实粘土,重粉质粘土,粗砾石,干黄土及含碎石、卵石的黄土、粉质粘土、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 (砾砂坚土)	重粘土及含碎石、卵石的粘土,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	1.26~1.37	1.06~1.09
第五类 (软石)	硬页岩纪粘土,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

二、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。土的工程性质如下:

(一) 土的可松性

土具有可松性。即自然状态下的土,经过开挖后,其体积因松散而增大,以后虽经回填压实,仍不能恢复。由于土方工程量是以自然状态的体积来计算的,所以在土方调配、计算土方机械生产率及运输工具数量等的时候,必须考虑土的可松性。土的可松性程度用可松性系数表示,即

$$K_s = \frac{V_2}{V_1}; K_s' = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-1)$$

式中 K_s ——最初可松性系数;

K_s' ——最后可松性系数;

V_1 ——土在天然状态下的体积(m^3);

V_2 ——土经开挖后的松散体积(m^3);

V_3 ——土经回填压实后的体积(m^3)。

在土方工程中, K_s 是计算土方施工机械及运土车辆等的重要参数, K_s' 是计算场地平整标高及填方时所需挖土量等的重要参数。

(二) 原状土经机械压实后的沉降量

原状土经机械往返压实或经其他压实措施后,会产生一定的沉陷,根据不同土质,其沉降量一般在 3~30 cm 之间。可按下述经验公式计算:

$$S = \frac{P}{C} \quad (1-2)$$

式中 S ——原状土经机械压实后的沉降量(cm);

P ——机械压实的有效作用力(MPa);

C ——原状土的抗陷系数(MPa),可按表 1-2 取值。

表 1-2 不同土的 C 值参考表

原状土质	C (MPa)	原状土质	C (MPa)
沼泽土	0.01~0.015	大块胶结的砂、潮湿粘土	0.035~0.06
凝滞的土、细粒砂	0.018~0.025	坚实的粘土	0.1~0.125
松砂、松湿粘土、耕土	0.025~0.035	泥灰石	0.13~0.18

此外,土的工程性质还有:渗透性、密实度、抗剪强度、土压力等,这些内容在土力学中有详细分析,在此不再赘述。

第二节 场地设计标高的确定

大型工程项目通常都要确定场地设计平面,进行场地平整。场地平整就是将自然地面改造成人们所要求的平面。场地设计标高应满足规划、生产工艺及运输、排水及最高洪水位等要求,并力求使场地内土方挖填平衡且土方量最小。

一、场地设计标高确定的一般方法

如场地比较平缓,对场地设计标高无特殊要求,可按下述方法确定:

将场地划分成边长为 a 的若干方格,并将方格网角点的原地形标高标在图上(图 1-1)。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。

按照挖填土方量相等的原则(图 1-2),场地设计标高可按式计算:

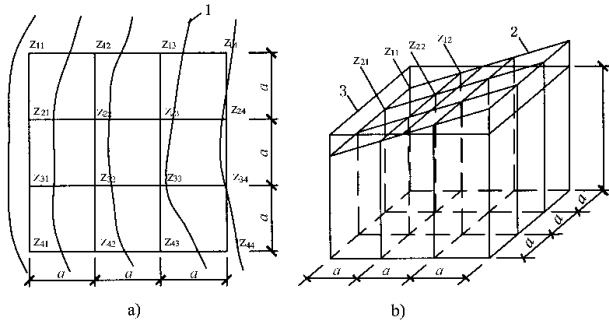
$$na^2z_0 = \sum_{i=1}^n \left(a^2 \frac{z_{i1} + z_{i2} + z_{i3} + z_{i4}}{4} \right)$$

即
$$z_0 = \frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n (z_{i1} + z_{i2} + z_{i3} + z_{i4}) \quad (1-3)$$

式中 z_0 ——所计算场地的设计标高(m);

n ——方格数;

$z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4}$ ——第 i 个方格四个角点的原地形标高(m)。



a) 地形图方格网; b) 设计标高示意图

图 1-1 场地设计标高计算示意图

1—等高线; 2—自然地面; 3—设计平面

由图 1-1 可见,11 号角点为一个方格独有,而 12,13,21,24 号角点为两个方格共有,22,23,32,33 号角点则为四个方格所共有,在用式(1-3)计算 z_0 的过程中,类似 11 号角点的标高仅加一次,类似 12 号角点的标高加两次,类似 22 号角点的标高则加四次,这种在计算过程中被应用的次数 P_i ,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”。考虑各角点标高的“权”,式(1-3)可改写成更便于计算的形式:

$$z_0 = \frac{1}{4n} (\sum z_1 + 2 \sum z_2 + 3 \sum z_3 + 4 \sum z_4) \quad (1-4)$$

式中 z_1 ——一个方格独有的角点标高；

z_2, z_3, z_4 ——分别为二、三、四个方格所共有的角点标高。

按式(1-4)得到的设计平面为一水平的挖填方相等的场地,实际场地均应有一定的泄水坡度。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。

以 z_0 作为场地中心的标高(图 1-2),则场地任意点的设计标高为

$$z'_i = z_0 \pm l_x i_x \pm l_y i_y \quad (1-5)$$

式中, z'_i 是考虑泄水坡度的角点设计标高。

求得 z'_i 后,即可按下式计算各角点的施工高度 H_i :

$$H_i = z'_i - z_i \quad (1-6)$$

式中, z_i 是 i 角点的原地形标高。

若 H_i 为正值,则该点为填方, H_i 为负值则为挖方。

二、用最小二乘法原理求最佳设计平面

按上述方法得到的设计平面,能使挖方量与填方量平衡,但不能保证总的土方量最小。应用最小二乘法的原理,可求得满足上述两个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缓和且连续。因此,确定单平面的最佳设计平面是竖向规划设计的基础。

我们知道,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(图 1-3)。在这个平面上任何一点 i 的标高 z'_i ,可以根据下式求出:

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

其中 x_i —— i 点在 x 方向的坐标;

y_i —— i 点在 y 方向的坐标。

与前述方法类似,将场地划分成方格网,并将原地形标高 z_i 标于图上,设最佳设计平面的方程为式(1-7)形式,则该场地方格网

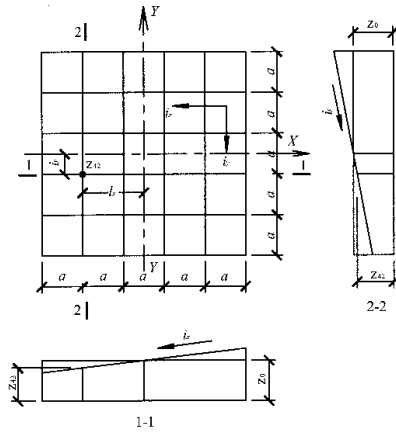


图 1-2 场地泄水坡度

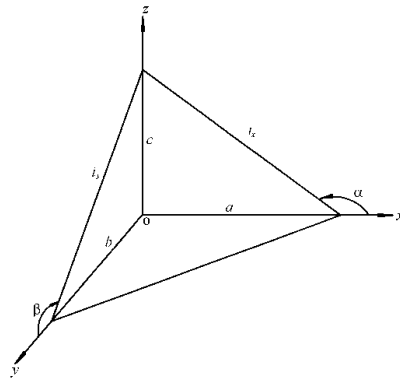


图 1-3 一个平面的空间位置

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

$i_y = \tan \beta = -\frac{c}{b}$, y 方向的坡度

角点的施工高度为

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

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

由土方量计算公式(式(1-14)到式(1-19))可知,施工高度之和与土方工程量成正比。由于施工高度有正有负,当施工高度之和为零时,则表明该场地土方的填挖平衡,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,若把施工高度平方之后再相加,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,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 ,令 σ 为土方施工高度之平方和,则

$$\sigma = \sum_{i=1}^n P_i H_i^2 = P_1 H_1^2 + P_2 H_2^2 + \dots + P_n H_n^2 \quad (1-9)$$

将公式(1-8)代入上式,得

$$\sigma = P_1(c + x_1 i_x + y_1 i_y - z_1)^2 + P_2(c + x_2 i_x + y_2 i_y - z_2)^2 + \dots + P_n(c + x_n i_x + y_n i_y - z_n)^2$$

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

为了求得 σ 最小时的设计平面参数 c, i_x, i_y ,可以对上式的 c, i_x, i_y 分别求偏导数,并令其为 0,于是得

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

经过整理,可得下列准则方程:

$$\left. \begin{aligned} [P]c + [Px]i_x + [Py]i_y - [Pz] &= 0 \\ [Px]c + [Pxx]i_x + [Pxy]i_y - [Pxz] &= 0 \\ [Py]c + [Pxy]i_x + [Pyy]i_y - [Pyz] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

式中 $[P] = P_1 + P_2 + \dots + P_n$
 $[Px] = P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_n x_n$
 $[Pxx] = P_1 x_1 x_1 + P_2 x_2 x_2 + \dots + P_n x_n x_n$
 $[Pxy] = P_1 x_1 y_1 + P_2 x_2 y_2 + \dots + P_n x_n y_n$