



新世纪网络课程建设工程

# 土木工程施工

■ 应惠清 主 编



高等教育出版社

新世纪网络课程建设工程

# 土木工程施工

应惠清 主 编



高等教育出版社

## 内容提要

本书包括土木工程施工技术与组织管理两方面的内容。施工技术方面有土方工程、桩基础工程、混凝土工程、预应力混凝土工程、砌筑工程、钢结构工程、脚手架工程、结构安装工程、防水工程以及装饰工程等；施工组织方面有流水施工原理、网络计划技术、施工组织设计等。

本书作为新世纪网络课程《土木工程施工》的配套文字教材，将网络课程课件与文字教材两者有机地结合在一起，是一种全新尝试。本教材根据 21 世纪土木类人才培养目标和土木工程专业调整纲要，在教材的结构体系、内容及表达方式等方面均作了重大改革，结合网络课程的课件，综合运用文字、图、表、照片、动画、视频等多媒体手段，能给读者提供更多的信息及教学手段，更便于组织教学与自学。

本书反映了土木工程技术飞速发展，按照 2002 年最新国家规范、规程进行编写。教材可供工科类土木工程专业、工程管理专业、房地产专业及其他相关专业的师生作为教学用书，亦可供土木类科研、设计、工程施工、监理等技术人员学习、参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程施工/应惠清主编. —北京：高等教育出版社，2004.1

ISBN 7-04-013092-0

I. 土... II. 应... III. 土木工程-工程施工-高等学校-教材 IV. TU74

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 105275 号

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16  
印 张 24.75  
字 数 460 000

版 次 2004 年 1 月第 1 版  
印 次 2004 年 1 月第 1 次印刷  
定 价 28.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

# 前 言

土木工程施工是土木工程专业的一门必修的专业基础课程,它在培养学生具有独立分析与解决土木工程施工中有关施工技术与组织管理的基本知识与基本能力方面起着重要的作用。

本书是在土木工程专业调整与课程体系改革的基础上,根据面向 21 世纪土木类人才培养目标及专业指导委员会对课程设置及教学大纲的要求组织编写的,作为教育部新世纪网络课程《土木工程施工》的配套文字教材,供广大读者学习参考。

土木工程施工课程研究土木工程施工中各主要工种工程的施工技术、工艺原理和组织管理的一般规律。该课程具有涉及面广、实践性强、发展迅速的特点。土木工程包括建筑工程、桥梁工程、地下工程、道路工程、水利工程、井港工程等等,对其施工规律的研究需要综合运用数学、力学、材料、测量、结构、机电、运筹学及有关管理方面的基础理论。作为应用性的专业基础课,其研究内容均来源于丰富的工程实践,随着我国建设事业与科学技术的不断发展,土木工程施工的新技术、新工艺、新材料、新方法层出不穷;现代化管理方面也硕果累累。因此,为提高本课程的教学质量,在课程学习的基础上,除应掌握有关土木工程施工的基础知识外,还必须密切联系工程实际,进行现场教学、参观实习等。我们在设计、编制新世纪网络课程《土木工程施工》时,充分利用了现代网络信息技术与多媒体技术,将大量工程实际用图画、照片反映在网络课件中,并考虑学生自主学习的特点,对部分工艺过程及原理等学习难点,运用动画等方式表达,使读者在学习教材的同时,可得到大量辅助学习的手段与信息。此外,作为配套的文字教材,还增加了许多例题。

本书由同济大学土木工程学院组织编写。第六章“钢结构工程”由刘匀编写,第七章“脚手架工程”由金瑞珺编写,第八章“结构吊装工程”由李辉编写,第九章“防水工程”及第十二章“网路计划技术”由俞国风编写,其余八章均由应惠清编写。本教材的插图由周太震负责,袁强、邓辉等做了大量工作。书稿由应惠清进行了审校、统编与定稿。

华中科技大学李惠强教授审阅了全书,并提出宝贵意见,在此表示感谢。

本书在编写中力求做到理论联系实际,反映当前土木工程施工的先进水平,并根据我国现行规范、规程与标准,努力做到深入浅出、通俗易懂。但由

## II 前言

---

于作者的水平有限，不足之处难免，也由于工程技术的发展日新月异，教材内容仍显滞后，诚挚地希望广大读者提出宝贵意见，不吝赐教。

编 者

2003.10

# 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 第1章 土方工程 .....           | (1)  |
| 1.1 概述 .....             | (1)  |
| 1.2 场地标高设计与场地平整 .....    | (2)  |
| 1.2.1 场地设计标高的确定 .....    | (2)  |
| 1.2.2 土方工程量计算 .....      | (10) |
| 1.2.3 场地平整土方机械及其施工 ..... | (14) |
| 1.3 基坑(槽)土方工程施工 .....    | (19) |
| 1.3.1 基坑(槽)土方工程量计算 ..... | (19) |
| 1.3.2 边坡稳定与基坑(槽)支护 ..... | (19) |
| 1.3.3 基坑(槽)土方开挖 .....    | (39) |
| 1.4 降水 .....             | (46) |
| 1.4.1 集水井降水 .....        | (47) |
| 1.4.2 井点降水 .....         | (48) |
| 1.5 土方的填筑 .....          | (62) |
| 1.5.1 土料的选用与处理 .....     | (62) |
| 1.5.2 填土及压实的方法 .....     | (63) |
| 1.5.3 影响填土压实的因素 .....    | (64) |
| 1.5.4 填土压实的质量检查 .....    | (66) |
| 第2章 桩基础工程 .....          | (68) |
| 2.1 概述 .....             | (68) |
| 2.2 预制桩施工 .....          | (69) |
| 2.2.1 混凝土预制桩 .....       | (69) |
| 2.2.2 钢桩 .....           | (78) |
| 2.3 灌注桩施工 .....          | (80) |
| 2.3.1 灌注桩成孔方法 .....      | (80) |
| 2.3.2 灌注桩钢筋笼与混凝土施工 ..... | (88) |
| 2.3.3 灌注桩施工质量控制 .....    | (90) |
| 2.4 承台施工 .....           | (91) |
| 第3章 混凝土结构工程 .....        | (92) |
| 3.1 钢筋工程 .....           | (92) |

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| 3.1.1 钢筋的绑扎 .....             | (93)         |
| 3.1.2 钢筋的焊接 .....             | (93)         |
| 3.1.3 钢筋的机械连接 .....           | (103)        |
| 3.2 模板工程 .....                | (105)        |
| 3.2.1 模板的形式与构造 .....          | (106)        |
| 3.2.2 模板设计 .....              | (122)        |
| 3.2.3 模板的安装与拆除 .....          | (128)        |
| 3.3 混凝土工程 .....               | (130)        |
| 3.3.1 混凝土质量的初步控制 .....        | (130)        |
| 3.3.2 混凝土施工 .....             | (132)        |
| <b>第4章 预应力混凝土工程 .....</b>     | <b>(150)</b> |
| 4.1 概述 .....                  | (150)        |
| 4.2 预应力钢筋、锚(夹)具、张拉机械 .....    | (151)        |
| 4.2.1 预应力钢筋 .....             | (151)        |
| 4.2.2 预应力筋用锚具、夹具及连接器 .....    | (155)        |
| 4.2.3 张拉机械 .....              | (165)        |
| 4.2.4 预应力筋、锚具、张拉机具的配套使用 ..... | (169)        |
| 4.3 先张法施工 .....               | (170)        |
| 4.3.1 先张法施工工艺流程 .....         | (170)        |
| 4.3.2 先张法施工设备 .....           | (171)        |
| 4.3.3 先张法施工工艺 .....           | (173)        |
| 4.4 后张法施工 .....               | (175)        |
| 4.4.1 后张法施工工艺流程 .....         | (175)        |
| 4.4.2 后张法施工工艺 .....           | (177)        |
| <b>第5章 砌筑工程 .....</b>         | <b>(184)</b> |
| 5.1 砌体材料 .....                | (184)        |
| 5.1.1 块材 .....                | (184)        |
| 5.1.2 砂浆 .....                | (185)        |
| 5.2 砌砖施工 .....                | (185)        |
| 5.2.1 砖墙的砌筑工艺 .....           | (185)        |
| 5.2.2 砌筑质量要求 .....            | (188)        |
| 5.3 砌块施工 .....                | (190)        |
| 5.3.1 砌块的施工机械 .....           | (190)        |
| 5.3.2 砌块排列图 .....             | (190)        |
| 5.3.3 砌块施工工艺与质量要求 .....       | (191)        |
| 5.4 砌石施工 .....                | (192)        |
| 5.4.1 毛石砌体 .....              | (193)        |

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 5.4.2 料石砌体        | (193) |
| 5.5 砌体的冬期施工       | (194) |
| <b>第6章 钢结构工程</b>  | (196) |
| 6.1 钢结构的加工        | (196) |
| 6.1.1 放样与样板       | (196) |
| 6.1.2 号料          | (197) |
| 6.1.3 切割          | (198) |
| 6.1.4 边缘与端部加工     | (198) |
| 6.1.5 弯制成型        | (198) |
| 6.1.6 折边          | (203) |
| 6.1.7 制孔          | (203) |
| 6.1.8 矫正          | (204) |
| 6.1.9 组装          | (205) |
| 6.2 钢结构的连接        | (206) |
| 6.2.1 焊接施工        | (206) |
| 6.2.2 螺栓施工        | (210) |
| 6.3 钢结构的预拼装       | (218) |
| <b>第7章 脚手架工程</b>  | (219) |
| 7.1 扣件式钢管脚手架      | (219) |
| 7.1.1 构配件         | (219) |
| 7.1.2 扣件式脚手架的设计   | (221) |
| 7.1.3 搭设要求        | (223) |
| 7.2 碗扣式钢管脚手架      | (224) |
| 7.2.1 基本构造        | (225) |
| 7.2.2 搭设要求        | (226) |
| 7.3 门式钢管脚手架的构造    | (226) |
| 7.3.1 基本构造        | (227) |
| 7.3.2 搭设要求        | (227) |
| 7.4 升降式脚手架        | (229) |
| 7.4.1 自升降式脚手架     | (229) |
| 7.4.2 互升降式脚手架     | (230) |
| 7.4.3 整体升降式脚手架    | (231) |
| 7.5 里脚手架          | (233) |
| <b>第8章 结构吊装工程</b> | (235) |
| 8.1 起重机具          | (235) |
| 8.1.1 卷扬机         | (235) |
| 8.1.2 钢丝绳         | (236) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 8.1.3 锚碇·····            | (237) |
| 8.1.4 其他机具·····          | (240) |
| 8.2 起重机械·····            | (242) |
| 8.2.1 桅杆式起重机·····        | (242) |
| 8.2.2 履带式起重机·····        | (243) |
| 8.2.3 汽车起重机·····         | (245) |
| 8.2.4 塔式起重机·····         | (246) |
| 8.3 构件吊装工艺·····          | (251) |
| 8.3.1 预制构件的制作、运输和堆放····· | (251) |
| 8.3.2 构件的绑扎·····         | (253) |
| 8.3.3 构件的吊升·····         | (254) |
| 8.3.4 构件的对位和临时固定·····    | (257) |
| 8.3.5 构件的校正和最后固定·····    | (258) |
| <b>第9章 防水工程</b> ·····    | (261) |
| 9.1 地下防水工程·····          | (261) |
| 9.1.1 防水混凝土·····         | (261) |
| 9.1.2 表面防水层防水·····       | (264) |
| 9.1.3 涂料防水层·····         | (266) |
| 9.1.4 止水带防水·····         | (267) |
| 9.2 屋面防水工程·····          | (268) |
| 9.2.1 普通卷材屋面防水·····      | (268) |
| 9.2.2 高分子卷材防水·····       | (271) |
| 9.2.3 涂膜防水屋面施工·····      | (273) |
| <b>第10章 装饰工程</b> ·····   | (279) |
| 10.1 抹灰工程·····           | (279) |
| 10.1.1 一般抹灰·····         | (279) |
| 10.1.2 装饰抹灰·····         | (282) |
| 10.2 饰面板(砖)工程·····       | (283) |
| 10.2.1 材料及施工基本要求·····    | (283) |
| 10.2.2 饰面板(砖)工程施工·····   | (283) |
| 10.3 涂饰工程·····           | (285) |
| 10.3.1 基层处理·····         | (285) |
| 10.3.2 水溶型涂料涂饰施工·····    | (286) |
| 10.3.3 溶剂型涂料涂饰施工·····    | (287) |
| 10.3.4 美术涂饰·····         | (288) |
| <b>第11章 流水施工原理</b> ····· | (289) |
| 11.1 基本概念·····           | (289) |

|               |                      |              |
|---------------|----------------------|--------------|
| 11.1.1        | 流水施工概念 .....         | (290)        |
| 11.1.2        | 流水施工的特点 .....        | (291)        |
| 11.1.3        | 流水施工组织的条件 .....      | (291)        |
| 11.2          | 流水施工参数 .....         | (292)        |
| 11.2.1        | 工艺参数 .....           | (293)        |
| 11.2.2        | 时间参数 .....           | (294)        |
| 11.2.3        | 空间参数 .....           | (295)        |
| 11.3          | 节奏流水施工 .....         | (297)        |
| 11.3.1        | 固定节拍流水 .....         | (297)        |
| 11.3.2        | 成倍节拍流水 .....         | (300)        |
| 11.4          | 非节奏流水 .....          | (303)        |
| <b>第 12 章</b> | <b>网络计划技术 .....</b>  | <b>(307)</b> |
| 12.1          | 双代号网络计划 .....        | (307)        |
| 12.1.1        | 双代号网络图的概念 .....      | (307)        |
| 12.1.2        | 双代号网络图的绘制 .....      | (309)        |
| 12.1.3        | 双代号网络图的时间参数计算 .....  | (317)        |
| 12.2          | 单代号网络图 .....         | (327)        |
| 12.2.1        | 单代号网络图的绘制 .....      | (327)        |
| 12.2.2        | 单代号网络图的计算 .....      | (331)        |
| 12.3          | 网络计划优化 .....         | (336)        |
| 12.3.1        | 工期优化 .....           | (336)        |
| 12.3.2        | 资源优化 .....           | (337)        |
| 12.3.3        | 费用优化 .....           | (338)        |
| <b>第 13 章</b> | <b>施工组织设计 .....</b>  | <b>(346)</b> |
| 13.1          | 概述 .....             | (346)        |
| 13.1.1        | 工程建设项目 .....         | (346)        |
| 13.1.2        | 工程项目的建设程序 .....      | (348)        |
| 13.2          | 施工组织设计的分类与内容 .....   | (349)        |
| 13.2.1        | 施工组织设计的分类 .....      | (349)        |
| 13.2.2        | 施工组织设计的内容 .....      | (351)        |
| 13.3          | 施工组织设计编制的依据与程序 ..... | (353)        |
| 13.3.1        | 施工组织设计编制的依据 .....    | (353)        |
| 13.3.2        | 施工组织设计的编制程序 .....    | (353)        |
| 13.4          | 施工组织设计的编制 .....      | (355)        |
| 13.4.1        | 施工准备工作 .....         | (355)        |
| 13.4.2        | 工程施工部署与施工方案 .....    | (365)        |
| 13.4.3        | 编制施工计划 .....         | (370)        |

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 13.4.4 设计施工平面图 .....     | (374)        |
| 13.5 施工组织设计的评价 .....     | (378)        |
| 13.5.1 施工方案的技术经济评价 ..... | (378)        |
| 13.5.2 进度计划技术经济评价 .....  | (379)        |
| 13.5.3 施工平面图的评价 .....    | (380)        |
| <b>主要参考文献</b> .....      | <b>(384)</b> |

# 第1章 土方工程

## 1.1 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。

土的种类繁多，其分类方法也很多。如按土的沉积年代、颗粒级配、密实度、液性指数等分类。在土木工程施工中，按土的开挖难易程度将土分为八类，它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。这八类土的划分是：第一类为松软土，其开挖方法为用锹、锄头挖掘；第二类为普通土，一般用锹、锄头挖掘，少许用镐翻松后开挖；第三类为坚土，主要用镐，少许用锹、锄头开挖，部分须用撬棍；第四类为砂砾坚土，其开挖一般先用镐、撬棍，然后用锹挖掘，部分须用钎子及大锤；第五类为软石，须用镐或撬棍、大锤，部分用爆破方法开挖；第六类为次坚石，须用爆破方法开挖，部分用风镐；第七类为坚石，第八类为特坚石，这两类土均须用爆破方法进行开挖。

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、密实度、抗剪强度、土压力等，部分内容在土力学中有详细分析，在此不再赘述。

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。土的可松性程度用可松性系数表示，即

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

式中  $K_s$ ——最初可松性系数；

$K'_s$ ——最终可松性系数；

$V_1$ ——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， $m^3$ 。

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。如：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。

各类土的可松性系数见表1-1。

表1-1 土的可松性系数

| 土的类别      | 可松性系数     |           |
|-----------|-----------|-----------|
|           | $K_s$     | $K'_s$    |
| 第一类（松软土）  | 1.08~1.17 | 1.01~1.04 |
| 第二类（普通土）  | 1.14~1.28 | 1.02~1.05 |
| 第三类（坚土）   | 1.24~1.30 | 1.04~1.07 |
| 第四类（砂砾坚土） | 1.26~1.37 | 1.06~1.09 |
| 第五类（软石）   | 1.30~1.45 | 1.10~1.20 |
| 第六类（次坚石）  | 1.30~1.45 | 1.10~1.20 |
| 第七类（坚石）   | 1.30~1.45 | 1.10~1.20 |
| 第八类（特坚石）  | 1.45~1.50 | 1.20~1.30 |

## 1.2 场地标高设计与场地平整

### 1.2.1 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、排水及最高洪水水位等要求，并力求使场地内土方挖填平衡且土方量

最小。

场地设计标高确定一般有两种方法：

- 按挖填平衡原则确定设计标高。如场地高差起伏不大，对场地设计标高无特殊要求，可按照挖填土方量相等的原则确定场地设计标高；

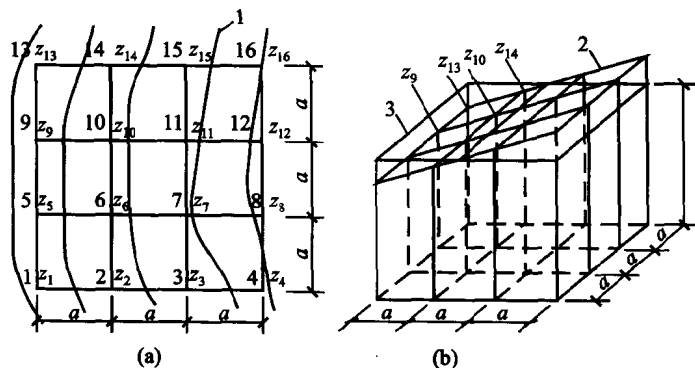
- 用最小二乘法原理求最佳设计平面。应用最小二乘法的原理，不仅可满足土方挖填平衡的要求，还可做到土方的总工程量最小，实现场地设计平面的最优化。

### 1.2.1.1 按挖填平衡原则确定设计标高

场地设计标高确定的一般方法是按如下步骤计算的：

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

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。



(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

按照挖填土方量相等的原则（图 1-1），场地设计标高可按下式计算：

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

即

$$z_0 = \frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n (z_{i1} + z_{i2} + z_{i3} + z_{i4}) \quad (1-2)$$

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。

由图 1-1 可见, 1, 4, 13, 16 号角点为一个方格独有, 而 2, 3, 5, 8, 9, 12, 14, 15 号角点为两个方格共有, 6, 7, 10, 11 号角点则为四个方格所共有, 在用式 (1-2) 计算  $z_0$  的过程中类似 1 号角点的标高仅加一次, 类似 2 号角点的标高加两次, 类似 6 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 (1-2) 可改写成更便于计算的形式:

$$z_0 = \frac{1}{4n} (\sum z_{p1} + 2\sum z_{p2} + 3\sum z_{p3} + 4\sum z_{p4}) \quad (1-3)$$

式中  $z_{p1}$ ——为一个方格独有的角点标高;

$z_{p2}, z_{p3}, z_{p4}$ ——分别为二、三、四个方格所共有的角点标高。

设计标高的调整主要是泄水坡度的调整, 由于按式 (1-3) 得到的设计平面为一水平的、挖填平衡的场地, 而实际场地往往需有一定的泄水坡度。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  $z_0$  作为场地中心的设计标高 (图 1-2), 则场地任意点的设计标高为

$$z'_i = z_0 \pm l_x i_x \pm l_y i_y \quad (1-4)$$

式中  $z'_i$  是考虑泄水坡度的角点设计标高,  $i_x, i_y$  分别为  $x$  方向和  $y$  方向的泄水坡度。该点标高  $z_0$ 。取“+”号, 反之取“-”号。

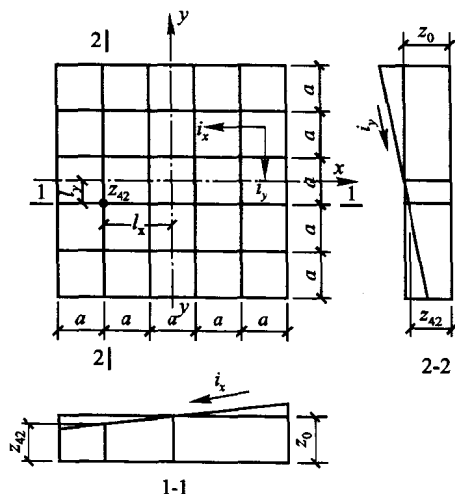


图 1-2 场地泄水坡度

求得  $z'_i$  后, 即可按下式计算各角点的施工高度  $H_i$ , 施工高度的含义是该角点的设计标高与原地形标高的差值:

$$H_i = z'_i - z_i \quad (1-5)$$

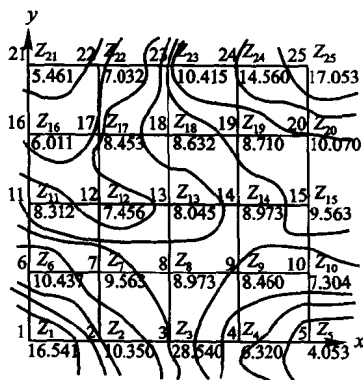
式中的  $z_i$  是  $i$  角点的原地形标高。

若  $H_i$  为正值, 则该点为填方,  $H_i$  为负值则为挖方。

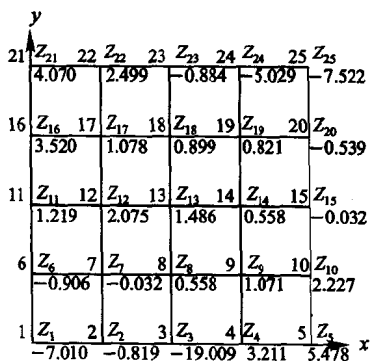
例 1-1 如图所示场地为  $40\text{ m} \times 40\text{ m}$  的矩形广场, 方格边长为  $10\text{ m}$ , 试按挖填平衡原则确定场地平整 (水平面) 的设计标高  $z'$ , 并计算各角点的施工高度。

$$\begin{aligned}
 \text{解: } z' &= \frac{1}{4n} (\sum z_{p1} + 2\sum z_{p2} + 3\sum z_{p3} + 4\sum z_{p4}) \\
 &= \frac{1}{4n} [ (z_1 + z_5 + z_{21} + z_{25}) + 2 \times (z_2 + z_3 + z_4 + z_6 + z_{10} + \\
 &\quad z_{11} + z_{15} + z_{16} + z_{20} + z_{22} + z_{23} + z_{24}) + 3 \times 0 + 4 \times \\
 &\quad (z_7 + z_8 + z_9 + z_{12} + z_{13} + z_{14} + z_{17} + z_{18} + z_{19}) ] \\
 &= \frac{1}{4 \times 16} [ (16.541 + 4.053 + 5.461 + 17.053) + 2 \times \\
 &\quad (10.350 + 28.540 + 6.320 + 10.437 + 7.304 + 8.312 + 9.563 + \\
 &\quad 6.011 + 10.070 + 7.032 + 10.415 + 14.560) + 3 \times 0 + 4 \times \\
 &\quad (9.563 + 8.973 + 8.460 + 7.456 + \\
 &\quad 8.045 + 8.973 + 8.453 + 8.632 + 8.710) ] \text{ m} \\
 &= \frac{1}{4 \times 16} (43.108 + 2 \times 128.914 + 4 \times 77.265) \text{ m} \\
 &= 9.531 \text{ m} \\
 H_1 &= z' - z_1 = 9.531 \text{ m} - 16.541 \text{ m} = -7.01 \text{ m} \\
 H_2 &= z' - z_2 = 9.531 \text{ m} - 10.350 \text{ m} = -0.819 \text{ m} \\
 H_3 &= z' - z_3 = 9.531 \text{ m} - 28.540 \text{ m} = -19.009 \text{ m}
 \end{aligned}$$

其余各角点施工高度见例 1-1 图 2。



例 1-1 图 1



例 1-1 图 2

## 1.2.1.2 最佳设计平面

最佳设计平面即设计标高满足规划、生产工艺及运输、排水及最高洪水水位等要求,并做到场地内土方挖填平衡,且挖填的总土方工程量最小。

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,预先将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。

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:

$$z'_i = c + x_i i_x + y_i i_y \quad (1-6)$$

式中  $x_i$ —— $i$  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(1-6)形式,则该场地方格网角点的施工高度为

$$H_i = z'_i - z_i = c + x_i i_x + y_i i_y - z_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1-7)$$

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。

由后面讲到的土方量计算公式(1-12)到式(1-17)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  $\sigma$  为土方施工高度之平方和,则:

$$\sigma = \sum_{i=1}^n P_i H_i^2 = P_1 H_1^2 + P_2 H_2^2 + \dots + P_n H_n^2 \quad (1-8)$$

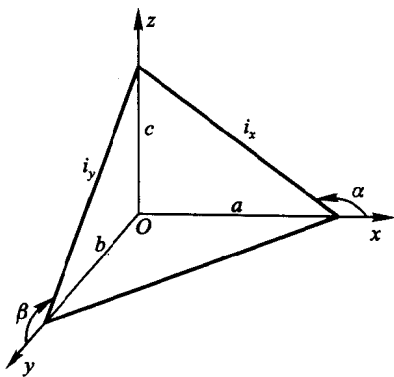


图 1-3 一个平面的空间位置

$c$ —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