



建筑 施工 教程

JIANZHU SHIGONG JIAOCHENG

贾晓弟 王文秋 等编著

中国建材工业出版社

建 筑 施 工 教 程

贾晓弟 王文秋 等编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑施工教程/贾晓弟, 王文秋等编著. —北京: 中国建材工业出版社, 2004, 2
ISBN 7-80159-556-4

I. 建... II. ①贾...②王... III. 建筑工程-工程施工 IV. TU7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 124946 号

内 容 提 要

本书主要讲述: 土石方工程, 桩基础工程, 砌体工程, 钢筋混凝土工程, 预应力混凝土工程, 结构安装工程, 屋面及地下防水工程, 装饰工程, 流水施工原理, 网络技术, 单位工程施工组织等内容。同时新增加了浅地基处理, 土层锚杆施工, 深基坑支护, 板桩施工, 地下连续墙, 墩基础施工, 高强度混凝土施工, 钢结构施工, 空间结构施工, 硬架模板工艺等新型模板技术, 粗直钢筋连接技术, 新型装饰材料, 新型防水材料施工, 冬季施工, 施工项目进度控制、质量控制、成本控制等内容。本书适合作为普通高校及专科教育的教学用书, 同时对于从事土木工程施工的技术与管理人员也有较好的参考价值。

建筑施工教程

贾晓弟 王文秋 等编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 30

字 数: 700 千字

版 次: 2004 年 2 月第 1 版

印 次: 2004 年 2 月第 1 次

印 数: 1~4000 册

书 号: ISBN 7-80159-556-4/TU·288

定 价: 48.00 元

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010)68345931

前 言

根据全国高等教育学校工作会议精神,为适应正在进行的高等教育学校专业调整的形势,本着“厚基础、宽专业”的精神,我们编写了《建筑施工教程》这本教材。

由于近年来,建筑施工技术有了很大的发展,同时取得了许多新的突破,考虑到建筑施工的特点,本教程根据国家颁布的规范标准,重点介绍了建筑施工的基础理论、基础知识和基本施工方法,同时也增加了国内外在建筑施工方面的新工艺、新材料、新技术,力求反映建筑施工的先进水平。另外,为适应市场经济发展的需要,本教程在施工组织部分,按现行市场经济规律,体现了相关法律法规的要求和先进的管理理念、手段和方法。

本教程力求体现:

1. 创新性:吸收近年来教学改革成果,基础理论的教学以应用为目的,以必须够用为度,专业教学加强针对性和实用性,力求编出新意。

2. 普遍适用性:本教程以培养高等工程技术人才为目标,适用于普通高等学校,也适用于函授大学及专科教育。同时对于从事土木工程施工建设的技术与管理人员也应有较好的参考价值。

3. 实用性:加强针对性,考虑到近年来建筑工程的施工发展方向及新修订的规范,增加了相应的内容。

本书由河北理工学院贾晓弟、王文秋、刘岩峰、刘英利、刘志杰编著。在编写出版过程中得到了苏幼坡教授,刘廷权、徐建新副教授的大力支持,他们为本书的编写并提出了许多宝贵意见。在出版过程中还得到了唐山学院安树一教授的大力支持,在此表示感谢。

由于时间仓促加之编者水平有限,错误和缺点在所难免,恳请同行读者批评指正。

编 者
2003 年 12 月

目 录

第一章 土方工程	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 场地平整与土方量计算	(2)
第三节 基坑开挖	(14)
第四节 土方的填筑与压实	(35)
第二章 基础工程	(40)
第一节 浅基础的施工	(40)
第二节 地基处理	(42)
第三节 桩基础	(51)
第四节 地下连续墙	(64)
第五节 墩基础	(66)
第六节 沉井基础	(66)
第三章 砌筑工程	(68)
第一节 脚手架工程	(68)
第二节 砌体结构的材料	(79)
第三节 砌体施工工艺	(81)
第四节 砌体工程冬季施工	(94)
第四章 混凝土结构工程	(100)
第一节 混凝土结构工程施工概述	(100)
第二节 钢筋工程	(101)
第三节 模板工程	(130)
第四节 混凝土工程	(153)
第五节 液压滑升模板施工	(190)
第六节 高强混凝土施工	(200)
第五章 预应力混凝土工程	(207)
第一节 先张法	(207)
第二节 后张法	(216)
第六章 结构安装工程	(235)
第一节 起重机械	(235)
第二节 索具和设备	(245)

第三节	单层工业厂房结构安装	(250)
第四节	多层装配式结构安装	(268)
第五节	钢结构及空间结构吊装	(274)
第七章	防水工程	(292)
第一节	屋面防水工程	(293)
第二节	地下防水工程	(300)
第八章	装饰工程	(304)
第一节	门窗工程	(305)
第二节	吊顶、隔墙工程	(305)
第三节	抹灰工程	(308)
第四节	饰面工程	(310)
第五节	楼地面工程	(316)
第六节	涂料、刷浆、裱糊工程	(317)
第九章	施工组织概论	(320)
第一节	工程项目施工程序和施工组织原则	(320)
第二节	施工准备工作	(321)
第三节	施工组织设计	(326)
第四节	施工组织设计的内容和编制程序	(327)
第十章	流水施工	(332)
第一节	流水施工的基本概念	(332)
第二节	流水施工参数	(334)
第三节	流水施工的组织方法	(340)
第十一章	网络计划技术	(352)
第一节	概 述	(352)
第二节	双代号网络图	(353)
第三节	双代号时标网络计划	(365)
第四节	单代号网络图	(368)
第五节	网络计划的优化	(371)
第十二章	施工组织总设计	(382)
第一节	施工组织总设计概述	(382)
第二节	施工部署	(383)
第三节	施工总进度计划	(384)
第四节	资源需要量计划	(387)
第五节	施工总平面图	(388)
第六节	全场性暂设工程	(392)
第十三章	单位工程施工组织设计	(398)
第一节	单位工程施工组织设计的依据、内容和程序	(398)
第二节	工程概况与特点分析	(400)

第三节	施工方案与施工方法	(400)
第四节	施工进度计划	(412)
第五节	施工中的各项资源计划	(418)
第六节	单位工程施工平面图设计	(421)
第七节	单位工程施工组织设计实例	(425)
第十四章	工程项目管理与施工项目管理	(433)
第一节	工程项目管理概述	(433)
第二节	施工项目管理组织	(438)
第三节	施工项目进度控制	(448)
第四节	施工项目质量与安全控制	(452)
第五节	施工项目成本控制	(459)
第六节	竣工验收	(463)

第一章 土方工程

第一节 概 述

在建筑工程的施工过程中,首先遇到的就是土方工程,对具有较深基坑的工程,其施工的成败与否对整个建筑工程的影响甚大,有时甚至是关键性的。

土方工程主要包括两类:一类是场地的平整,完成“三通一平”。包括设计标高确定,土方量计算,土方调配以及挖、运、填的机械化施工。另一类是建(构)筑物和其他地下工程的开挖与回填。包括支护结构的设计施工,开挖前的降水或开挖后的排水,土方机械化开挖以及回填土的压实或夯实等。

土方工程量大,有时达数十或数百万立方米,而且施工条件复杂,受地质、水文、气候的影响大,不确定因素多,需周密地进行组织安排,以便经济快速地完成施工,为后续工程创造有利的条件。

土的种类繁多,其工程性质直接影响支护结构设计、施工方法、劳动量消耗和工程费用。在土方工程施工中,正确识别土壤并掌握其有关的物理力学特性十分重要。

在《土方与爆破工程施工及验收规范》中,土的三种分类方法如下:

(1)根据土的颗粒级配或塑性指数,分为碎石类土、砂土和黏性土。碎石类土根据颗粒形状和级配又分为漂石土、块石土、卵石土、碎石土、圆砾土、角砾土;砂土根据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、轻亚黏土。

(2)根据土的沉积年代,黏性土分为老黏性土、一般黏性土和新近沉积黏性土。不同的黏性土,其强度和压缩性也不同。

(3)根据土的工程特性,还可分特殊性土,如软土、人工填土、黄土、膨胀土、红黏土、盐渍土和冻土。

《建筑地基基础设计规范》中,对土又有另外的划分方法,如将地基土分为岩石、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。对于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。当天然孔隙比小于 1.5 但大于或等于 1.0 的土称为淤泥质土。

土的各种工程性质,影响土方施工。如土的含水量影响土方施工的方法选择和填土的质量,当土的含水量超过 25% ~ 30%,则机械下坑施工就困难,容易陷车。回填土则要求土具有最佳含水量。

土的渗透性则与降水方法选择有关,土的渗透性一般以渗透系数 K 表示。

土的可松性则与土方调配、计算土方机械生产率及运输工具数量有关。自然状态下的土经过开挖,其体积因松散而增大,以后虽经回填压实仍不能恢复。土的可松性以可松性系数表示,即

$$k_s = \frac{V_2}{V_1}$$

$$k_s' = \frac{V_3}{V_1}$$

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 。

第二节 场地平整与土方量计算

一、场区竖向设计标高的确定

(一) 场地初步设计标高的确定

对较大面积的场地进行平整,正确地选择设计标高是十分重要的,设计标高的选择应考虑以下因素:

- (1) 满足生产工艺和运输的要求;
- (2) 尽量利用地形,以减少挖方数量;
- (3) 尽量使场地内的挖方量与填方量达到平衡,以降低土方运输费用;
- (4) 需有一定的泄水坡度 ($> 2‰$), 使其能满足排水要求;
- (5) 考虑最高洪水位的要求。

当场地平整对场地标高无特定要求时,一般可以根据平整前后土方量相等的原则求得设计标高。但这仅意味着把场地推平,使挖方量和填方量平衡,并不能保证总土方量最小。

计算前先将场地平面划成方格网(图 1-1),并根据地形图将每方格的角点标高标于图上。若平整前后的土方量相等,则

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

所以

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

式中 H_0 ——场地设计标高的初步计算值, m ;

a ——方格边长, m ;

N ——方格个数;

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

由于相邻方格具有公共的角点标高,在一个方格网中,某些角点系 4 个相邻方格的公共角点,其标高需加 4 次,某些角点系 3 个相邻方格的公共角点,其标高需加 3 次;而某些角点

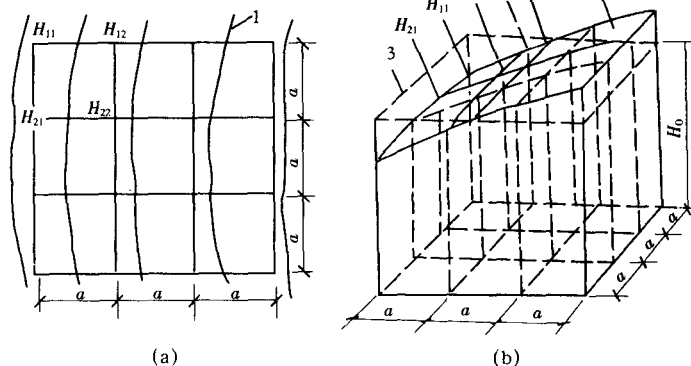


图 1-1 场地设计标高计算简图

(a)地形图上划分方格;(b)设计标高示意图

1—等高线;2—自然地面;3—设计标高平面;4—自然地面与设计标高平面的交线(零线)

标高仅需加 2 次,又如方格网四角的角点标高仅需加 1 次,因此上式可改写成下列形式:

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

式中 H_1 ——1 个方格仅有的角点标高, m;

H_2 ——2 个方格共有的角点标高, m;

H_3 ——3 个方格共有的角点标高, m;

H_4 ——4 个方格共有的角点标高, m。

当进行大型场区竖向标高设计时,要把天然地面改造成工程所要求的设计平面,就应该满足建筑规划和生产工艺方面的要求,并尽量使填挖方平衡和总的土方量最小。因此,正确地选择设计标高需考虑以下因素:

- (1)与已有建筑物的标高相适应,满足生产工艺和运输的要求;
- (2)尽量利用地形,以减少填、挖土方的数量;
- (3)根据具体条件,争取场区以内的挖方同填方相互平衡,以降低土方运输费用;
- (4)要有一定的泄水坡度,以满足排水要求。

当地形比较复杂时,场区一般需设计成不同高度的平面,此时可根据工艺要求和地形情况,预先把场区划分成几个平面,分别计算出各最佳设计平面的各个参数,然后适当修正各设计平面交界处的标高,使场区平面的变化缓和且连续。

(二)设计标高的调整

上述公式算出的设计标高乃一理论值,实际上还需要考虑下述因素进行调整。

(1)由于土壤具有可松性,即一定体积的土方开挖后,土的体积会增大,为此需相应地提高设计标高,以达到土方量的实际平衡;

(2)由于设计标高以上的各种填方工程(如场区回填、修筑路堤)而影响设计标高的降低,或者由于设计标高以下的各种挖方工程而影响设计标高的提高(如开挖河道、水池、基坑等);

(3)根据经济比较的结果,将部分挖方就近弃于场外,或部分填方就近取于场外而引起

挖、填土方量的变化后,需增、减设计标高。

上述(2)、(3)两项,可根据具体情况计算后加以调整,而(1)项则按下述方法计算:

如图 1-2 所示,设 Δh 为因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 $F_W \Delta h$,即

$$V_W' = V_W - F_W \Delta h$$

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。

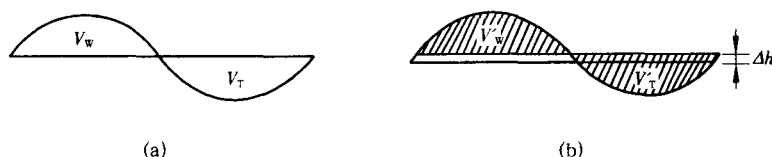


图 1-2 设计标高的调整计算示意图

(a)理论设计标高;(b)调整设计标高

设计标高调整后,总填方体积则变为

$$V_T' = V_W' K_S' = (V_W - F_W \Delta h) K_S'$$

式中 V_T' ——设计标高调整后的总填方体积;

K_S' ——土的最后可松性系数。

此时,填方区的标高也与挖方区的标高一样提高 Δh ,即

$$\Delta h = \frac{V_T' - V_T}{F_T} = \frac{(V_W - F_W \Delta h) K_S' - V_T}{F_T'}$$

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。

移项并简化之:

$$\Delta h = \frac{V_W (K_S' - 1)}{F_T + F_W K_S'} \quad (1-2)$$

故考虑土的可松性后,场区的设计标高经调整后改为

$$H_0' = H_0 + \Delta h \quad (1-3)$$

(4)考虑泄水坡度对设计标高的影响。

如果按照式(1-1)计算出的设计标高进行场地平整,那么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,场地表面应有一定的泄水坡度。因此,还需根据场地泄水坡度(单面泄水或双面泄水)的要求,计算出场地内各方格角点实际施工时所采用的设计标高。

①单向泄水时,场地各点设计标高的求法:在考虑场地内挖填平衡的情况下,用式(1-1)计算出的设计标高 H_0 作为场地中心线的标高,场地内任意一点的设计标高则为:

$$H_n = H_0 \pm l \cdot i$$

式中 H_n ——场内任意一点的设计标高;

l ——该点至 H_0 点的距离;

i ——场地泄水坡度(不小于 2‰);

②双向泄水时,场地各点设计标高的求法:场地中心点标高,场地内任意一点的设计标高为

$$H_n = H_0 \pm l_x \cdot i_x \pm l_y \cdot i_y \quad (1-4)$$

其原理与前相同。

式中 l_x, l_y ——该点在 x, y 方向距场地中心线的距离;

i_x, i_y ——该点于 x, y 方向的泄水坡度。

其余符号表示的内容同前。

二、场区土方工程量计算

场区土方量的计算方法,有“四角棱柱体法”和“三角棱柱体法”。

(一)四角棱柱体法

方格为全填或全挖时(图 1-3),其体积公式是根据中断面法的近似公式推导出来的:

$$V = \frac{a^2}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (1-5)$$

式中 V ——挖方或填方体积;

h_1, h_2, h_3, h_4 ——方格四个角点的施工高度;

a ——方格边长。

如方格中部分是挖方、部分是填方(图 1-4),则其体积公式为公式(1-6)所示。

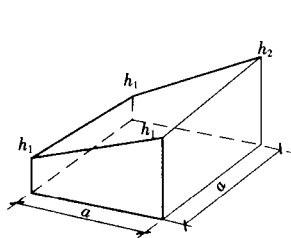


图 1-3 方格为全填或全挖

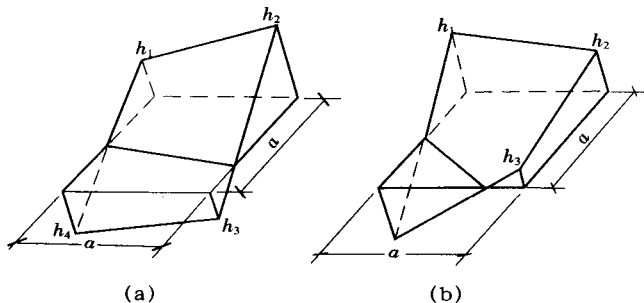


图 1-4 方格中部分为挖方、部分为填方

$$V_{\text{挖(填)}} = \frac{a^2 [\sum h_{\text{挖(填)}}]^2}{4 \sum h} \quad (1-6)$$

式中 $V_{\text{挖(填)}}$ ——挖方(或填方)的体积;

$\sum h_{\text{挖(填)}}$ ——方格角点中挖方(或填方)施工高度总和(均用绝对值相加);

$\sum h$ ——方格四个角点施工高度总和(均用绝对值相加);

a ——方格边长。

四角棱柱体法计算方法简便,但当方格中地形不太平整时误差较大。

(二)三角棱柱体法

系沿地形等高线再将每个方格的对角点连接起来划分为两个等腰直角三角形。根据各角点施工高度符号的不同,零线(即方格边上施工高度为零、不填不挖的点的连线)可能将三角形划分为两种情况;三角形全部为挖方或全部为填方如图 1-5,以及部分挖方和部分填方

如图 1-6 所示。

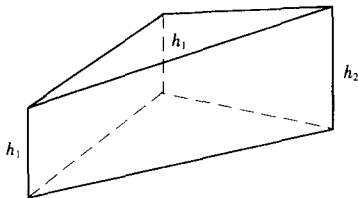


图 1-5 三角棱形体法全填或全挖

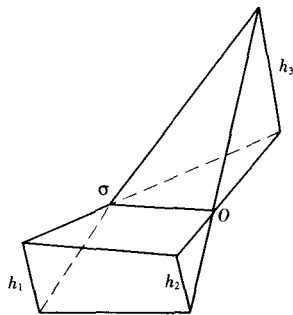


图 1-6 三角棱柱体法部分填方,部分挖方

三角棱柱体法的计算公式是根据立体几何体积计算公式推导出来的,比较精确。其计算方法如下:全填或全挖的体积公式:

$$V = \frac{a^2}{6}(h_1 + h_2 + h_3) \quad (1-7)$$

式中 a ——方格的边长;

h_1, h_2, h_3 ——三角形各角点的施工高度。

部分挖方和部分填方的体积公式,由于零线将三角形划分成底面为三角形的锥体和底面为四边形的楔体。

锥体的体积为:

$$V_{\text{锥}} = \frac{a^2}{6} \frac{h_3^3}{(h_1 + h_3)(h_2 + h_3)} \quad (1-8)$$

楔体的体积为:

$$V_{\text{楔}} = \frac{a^2}{6} \left[\frac{h_3^3}{(h_1 + h_3)(h_2 + h_3)} - h_3 + h_2 + h_1 \right] \quad (1-9)$$

式中 $V_{\text{锥}}$ ——锥体的体积(挖方或填方);

$V_{\text{楔}}$ ——楔体的体积(填方或挖方);

h_1, h_2, h_3 ——三角形各角点的施工高度(均用绝对值代入),但 h_3 恒指锥体顶点的施工高度。

用四角棱柱体法和三角棱柱体法计算所得土方体积是不相同的,根据理论分析,有时相对误差可达 33%或更大。因此,在场区竖向规划中应该用三角棱柱体法,虽然计算比较繁杂,但目前我国已有相应的电算程序,可以应用电子计算机进行计算,既快速又准确。

三、土方调配

土方调配工作是土方规划设计的一个重要内容。土方调配的目的是使土方总运输量($\text{m}^3\cdot\text{m}$)或土方施工成本(元)为最小的条件下,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。

进行土方调配,必须综合考虑工程和现场情况、有关技术资料、进度要求和土方施工方法。特别是当工程为分批分期施工时,先期工程与后期工程之间的土方堆放和调运问题应

当全面考虑,力求避免重复挖运和场地混乱。经过全面研究,确定调配原则之后,即可着手进行土方调配工作:划分土方调配区、计算土方的平均运距(或单位土方的施工费用)、确定土方的最优调配方案。当用同类机械进行土方施工时,可以用总的土方运输量最小作为土方调配的目标;当使用多种机械进行土方施工时,由于各种机械的使用费及生产率都不一样,最好以土方施工总费用最小作为土方调配的目标,因为它可以比较正确地反映土方调配的综合效果。

(一)土方调配区的划分、平均运距和土方施工单价的确定

进行土方调配时首先要划分调配区,划分土方调配区应注意下列几点:

(1)调配区的划分应该与建筑物和构筑物的平面位置相协调,并考虑它们的开工顺序、工程的分期施工顺序;

(2)调配区的大小应该满足土方施工主导机械(铲运机、挖土机等)的技术要求,例如调配区的范围应该大于或等于机械的铲土长度,调配区的面积最好和施工段的大小相适应等;

(3)调配区的范围应该和土方的工程量计算用的方格网协调,通常可由若干个方格组成一个调配区;

(4)当土方运距较大或场区范围内土方不平衡时,可考虑就近借土或弃土,这时一个借土区或一个弃土区都可作为一个独立的调配区。

调配区的大小及位置确定之后,便可计算各填、挖方调配区之间的平均运距。挖方调配区和填方调配区土方重心之间的距离,通常就是该填、挖方调配区之间的平均运距。在一般情况下,为便于计算,假定调配区平面的几何中心即为其体积的重心,这样计算的结果是近似的。当填、挖方调配区之间的距离较远,采用汽车、自行式铲运机或其他运土工具沿工地道路或规定路线运土时,其运距应按实际情况进行计算。

当采用多种机械施工时,土方施工单价的确定就比较复杂。不仅是单机核算问题,还要考虑挖、运、填配套机械施工单价。为了简化计算,先将影响不大的因素予以剔除,然后可以根据土壤的工程性质,调配区之间的运土距离和土方机械的技术性能等,从现有机械中选择每个调配区之间最合适的施工机械(包括挖、运、填整套作业机械)。这套机械施工时的生产率由其中最小的生产率确定(综合施工过程中,配套机械的生产率应尽量协调)。用简略方法计算土方施工单价时可用下式计算:

$$c_{ij} = \frac{\sum_{s=1}^n E_s}{P} + \frac{E_0}{V} \quad (1-10)$$

式中 c_{ij} ——由挖方区 i 到填方区 j 的土方施工单价,元/ m^3 ;

E_s ——参加综合施工过程的各土方施工机械的台班费用,元/台班;

n ——参加 i 挖方区到 j 填方区的土方综合施工过程的所有机械台数,台;

P ——由 i 挖方区到 j 填方区的综合施工过程的生产率, m^3 /班;

E_0 ——参加综合施工过程的所有机械的一次性费用,包括机械进出场运输费、安装拆除费、临时设施费等,元;

V ——该套机械在施工期内应完成的土方量, m^3 。

(二)用“线性规划”方法进行土方调配

1. 方法简介

表 1-1 是土方平衡与施工单价表。

表 1-1 土方平衡与施工单价表

填方区 挖方区	B_1	B_2	...	B_j	...	B_n	挖方区
A_1	x_{11} c_{11}	x_{12} c_{12}	...	x_{1j} c_{1j}	...	x_{1n} c_{1n}	a_1
A_2	x_{21} c_{21}	x_{22} c_{22}	...	x_{2j} c_{2j}	...	x_{2n} c_{2n}	a_2
...	...	...	...	...	...	...	...
A_i	x_{i1} c_{i1}	x_{i2} c_{i2}	...	x_{ij} c_{ij}	...	x_{in} c_{in}	a_i
...	...	...	...	...	...	...	...
A_m	x_{m1} c_{m1}	x_{m2} c_{m2}	...	x_{mj} c_{mj}	...	x_{mn} c_{mn}	a_m
填方量	b_1	b_2	...	b_j	...	b_n	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$

表 1-1 说明了整个场地划分为 m 个挖方区 $A_1, A_2, \dots, A_m$, 其挖方量相应为 $a_1, a_2, \dots, a_m$, 并有 n 个填方区 $B_1, B_2, \dots, B_n$, 其填方量相应为 $b_1, b_2, \dots, b_n$ 。并假定填挖平衡, 即

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (1-11)$$

从 A_i 到 B_1 的单位土方施工费或运距为 c_{11} , 调配的土方量为 x_{11} , 故一般地说从 A_i 到 B_j 的单位土方施工费或运距为 c_{ij} , 调配的土方量为 x_{ij} , 则土方调配问题就化做为这样一个数学模型, 即求得一组 x_{ij} 的值, 使得目标函数 $Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$ 为最小值, 而且 x_{ij} 满足下列约束条件:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (1-12)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (1-13)$$

$$x_{ij} \geq 0$$

根据约束条件知道, 变量有 $m \times n$ 个, 而方程数有 $m + n$ 个。由于填挖平衡, 前 m 个方程之和减后面 $n - 1$ 个方程之和得第 n 个方程, 因此独立方程的数量实际上只有 $m + n - 1$ 个。

由于变量个数多于独立方程个数。因此方程组有无穷多的解, 每一个组都能得到 $m + n - 1$ 个变量的值。而我们的目的是要求得出一组最优解。显然, 这是“线性规划”中的“运输问题”, 可以用“表上作业法”来求解较方便。

2. 用“表上作业法”进行土方调配

初始调配方案的编制采用“最小元素法”。即根据对应于 c_{ij} (平均运距) 最小的 x_{ij} 取最大值的原則进行调配。

下面用例子说明编制初始方案的方法。

【例 1-1】 图 1-7 为一矩形广场, 现已知各调配区的土方量和相互之间的平均运距, 试求最优土方调配方案。

【解】 将图 1-7 中的数值填入填挖土方平衡及运距表(表 1-2)中。

(1) 首先在运距表(小方格)中找一个最小数值, 表 1-1 中 $C_{22} = C_{43} = 40$ (任取其中一个, 如 C_{43})。于是先确定 x_{43} 的值, 使其尽可能的大, 即 $x_{43} = \min(400, 500) = 400$ 。由于 A_4 挖方区的土方全部调到 B_3 填方区, 所以 $x_{41} = x_{42} = 0$, 将 400 填入表 1-2 中的 x_{43} 格内, 画一个括号。同时在 x_{41} 、 x_{42} 格内画上一个“×”号, 然后在没有括号和“×”号的方格内, 再选一个运距最小的方格, 即 $C_{22} = 40$, 故我们让 x_{22} 值尽量大, 即 $x_{22} = \min(500, 600) = 500$ 。同时使 $x_{21} = x_{23} = 0$ 。同样将 500 画上一个括号, 填入表 1-3 中 x_{22} 格内, 并且在 x_{21} 、 x_{23} 格内画上“×”号(表 1-3)。

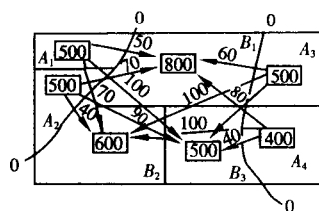


图 1-7 各调配区的土方量和平均运距

表 1-2 填挖方平衡及运距表(一)

填方区 挖方区	B_1	B_2	B_3	挖方量 (m^3)
A_1	50	70	100	500
A_2	70	40	90	500
A_3	60	110	70	500
A_4	80	100	40	400
填方量(m^3)	800	600	500	1900

表 1-3 填挖方平衡及运距表(二)

填方区 挖方区	B_1	B_2	B_3	挖方量 (m^3)
A_1	50	70	100	500
A_2	×	(500)	×	500
A_3	60	110	70	500
A_4	×	×	(400)	400
填方量(m^3)	800	600	500	

重复上面步骤, 依次地确定其余 x_{ij} 数值, 最后可以得出表 1-4, 表 1-4 中所求得的一组 x_{ij} 的数值, 便是本例的初始调配方案。由于利用“最小元素法”确定的初始方案是让 C_{ij} 最小的那些格内的 x_{ij} 值取尽可能大的值, 也就是优先考虑“就近调配”, 因此所求的总运输量是较小的。但是这并不能保证其总运输量是最小, 因此还需要进行判别, 看它是否是最优方案。

(2) 最优方案的判别法只要所有检验数 $\lambda_{ij} \geq 0$, 则初始方案即为最优解。“表上作业法”中求检验数 λ_{ij} 的方法有“闭回路法”与“位势法”。“位势法”较“闭回路法”简便, 因此这里只介绍用“位势法”求检验数。

检验时, 首先将初始方案中有调配数方格的平均运距列出来, 然后根据这些数字的方格, 按下式求出两组位势数 $u_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 和 $v_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 。

$$C_{ij} = u_i + v_j \quad (1-14)$$

式中 C_{ij} ——本例中为平均运距;

u_i, v_j ——位势数。

位势数求出后, 便可根据下式计算各空格的检验数:

$$\lambda_{ij} = C_{ij} - u_i - v_j \quad (1-15)$$

如果所求得的检验数均为正数,则说明该方案是最优方案,否则该方案就不是最优方案,需进一步调整。

现在用“位势法”来判断表 1-4 中求得的初始方案是否是最优方案。首先把表 1-4 中有调配数方格的平均运距列成表 1-5。

表 1-4 填挖方平衡及运距表(三)

填方区 挖方区	B ₁	B ₂	B ₃	挖方量 (m ³)
A ₁	(500)	× 70	× 100	500
A ₂	× 70	(500)	× 90	500
A ₃	(300) 60	(100) 110	(100) 70	500
A ₄	× 80	× 100	(400) 40	400
填方量 (m ³)	800	600	500	

表 1-5 填挖方平衡及运距表(四)

填方区 挖方区	B ₁	B ₂	B ₃
A ₁	50		
A ₂		40	
A ₃	60	110	70
A ₄			40

然后根据表 1-5 的数字,依照公式(1-14)求出位势数。为了便于填写位势数 u_i 和 v_j ,在表 1-5 的基础上再增加一行和一列,构成表 1-6 的位势表。

先让 $u_1 = 0$, 则

$$v_1 = C_{11} - u_1 = 50 - 0 = 50$$

$$u_3 = 60 - 50 = 10$$

$$v_2 = 110 - 10 = 100$$

$$v_3 = 70 - 10 = 60$$

$$u_2 = 40 - 100 = -60$$

$$u_4 = 40 - 60 = -20$$

位势数求出后,再根据公式(1-15),依次求出各空格的检验数。如: $\lambda_{21} = 70 - (-60) - 50 = +80$ (在表 1-9 中只写“+”或“-”,可不必填入数字),将求得的各个检验数填入表 1-7。

表 1-7 中出现了负的检验数,这说明初始方案不是最优方案,需要进一步进行调整。

表 1-6 平均运距和位势表

填方区 挖方区	位势	B ₁	B ₂	B ₃
	v_j	$v_1=50$	$v_2=100$	$v_3=60$
	u_i			
A ₁	$u_1=0$	0 50		
A ₂	$u_2=-60$		0 40	
A ₃	$u_3=10$	0 60	0 110	0 70
A ₄	$u_4=-20$			0 40

表 1-7 位势、运距和检验数表

填方区 挖方区	位势	B ₁	B ₂	B ₃
	v_j	$v_1=50$	$v_2=100$	$v_3=60$
	u_i			
A ₁	$u_1=0$	0	70	100
A ₂	$u_2=-60$	70	0	90
A ₃	$u_3=10$	0	0	0
A ₄	$u_4=-20$	80	100	0

(3)方案调整第一步:在所有负检验数中挑选一个(一般可选最小一个),本例中便是 C_{12} ,把它所对应的变量 x_{12} 作为调整对象。