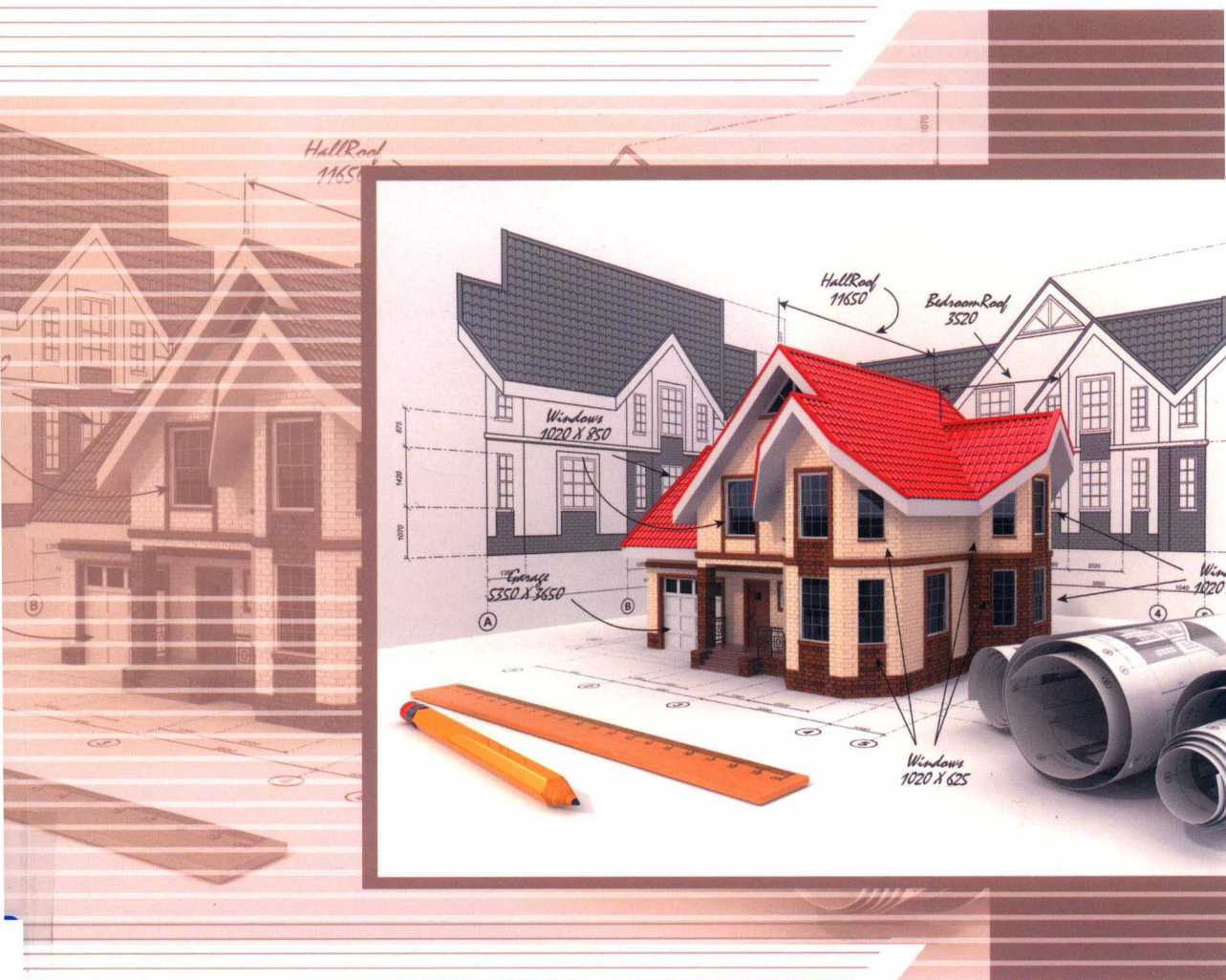


普通高等学校土木工程专业实用型教材

# 土木工程施工

张文江 编著

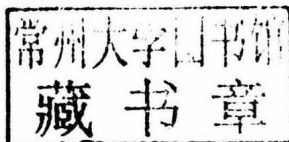


地震出版社

木工程专业实用型教材

# 土木工程施工

张文江 编著



地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程施工/张文江编著. —北京:地震出版社, 2019. 2

ISBN 978-7-5028-5015-9

I. ①土… II. ①张… 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 (2018) 第 285120 号

地震版 XM4314

## 土木工程施工

张文江 编著

责任编辑:张平

责任校对:凌樱

---

出版发行:地震出版社

北京市海淀区民族大学南路9号

发行部:68423031 68467993

门市部:68467991

总编室:68462709 68423029

市场图书事业部:68721982

E-mail: seis@mailbox.rol.cn.net

<http://seismologicalpress.com>

邮编:100081

传真:88421706

传真:68467991

传真:68455221

经销:全国各地新书书店

印刷:北京鑫丰华彩印有限公司

---

版(印)次:2019年2月第一版 2019年2月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:830千字

印张:33.25

书号:ISBN 978-7-5028-5015-9/TU7(5730)

定价:80.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

# 前 言

“土木工程施工”是土木工程专业的一门主要的专业课程，特别是在强调“工匠精神”的当代，更加体现出其在工程实践与工程技术理论紧密结合方面所发挥的重要作用。此外，时代的发展也要求“工科”教育不断推陈出新。一方面，“四新”技术方面的成果层出不穷，新规范和新标准也在不断更新，教材内容的适时调整成为必然。另一方面，随着信息时代的发展，BIM技术在工程领域推广应用并逐步深入，也是推动施工技术改革创新的一个重要因素。在这个大的背景下，高等学校土木工程施工课程的教学需要在内容、方法及要求方面逐步调整以适应新时代的发展。

本教材是教学改革探索过程中做出的一步尝试，着眼于“跟得上、用得上”的中心思想。一方面，跟得上行业发展的步伐；另一方面，重点解决实用性强的基本技术问题。教材内容编排的思路主要侧重于以下几个方面：

1. 强调基础实用知识和技能，不盲目追求深度和难度，淡化与其他课程重叠的内容，重点放在与实践应用关系密切的知识内容上。比如，将“混凝土工程”作为重点内容进行了编排和组织；基础工程增加了浅基础的施工内容；土方工程删除了“土方调配”和“深基坑支护设计”方面的内容，增加了深基坑开挖和施工机械组织计算的内容；装饰部分充实了“幕墙”“吊顶”“隔断”等常用构造方面的内容；防水部分充实了防水节点构造方面的内容。

2. 适应行业发展需求。一方面，增加了新规范的相关内容，强化读者对规范的认识，提高从业技能；另一方面，充实了“结构安装工程”章节中的“装配式施工”部分和“组合结构施工”方面的内容。

3. 在教材内容组织和编排上尝试施工技术的工艺流程、施工方法、质量控制措施和质量检验标准四个模块的知识架构，使思路更清晰、条理更分明，从而方便读者对学习内容的梳理和掌握。尤其强调工艺流程知识的巩固，为施工组织学习打好基础。

4. 在内容的表达方式上更多地采用了图形和“三维可视化”技术。不仅方便读者对教材内容准确、迅速的理解和掌握，也使读者对“三维可视化”技术在施工领域的应用有所了解。

由于作者水平所限，书中的不足和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者  
2018年

# 目 录

第 1 章 土方工程	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 土的工程分类及性质	(1)
1.3 施工场地平整及其土方量计算	(3)
1.4 土方边坡与支护	(11)
1.5 施工排水与降水	(28)
1.6 基槽、基坑开挖施工	(36)
1.7 土方的填筑与压实	(43)
第 2 章 基础工程	(50)
2.1 概述	(50)
2.2 预制桩施工	(53)
2.3 灌注桩施工	(63)
2.4 桩基检测与验收	(74)
第 3 章 砌筑工程	(81)
3.1 砌筑材料及使用	(81)
3.2 砖砌体施工	(83)
3.3 砌块砌体施工	(90)
3.4 冬雨季施工	(93)
第 4 章 混凝土工程	(97)
4.1 概述	(97)
4.2 模板工程	(97)
4.3 钢筋工程	(118)
4.4 混凝土工程	(148)
第 5 章 预应力混凝土工程	(192)
5.1 预应力筋	(192)
5.2 张拉设备	(196)
5.3 锚固系统	(200)
5.4 预应力混凝土施工——先张法	(206)
5.5 预应力混凝土施工——后张法	(211)
5.6 施工方案编制	(224)

<b>第 6 章 脚手架工程</b> .....	(226)
6.1 概述 .....	(226)
6.2 扣件式钢管脚手架 .....	(227)
6.3 碗扣式钢管脚手架 .....	(233)
6.4 悬挑式脚手架 .....	(239)
6.5 满堂脚手架 .....	(241)
6.6 脚手架施工的质量与安全 .....	(243)
6.7 脚手架拆除 .....	(246)
6.8 脚手架设计 .....	(247)
<b>第 7 章 高层结构模板工程</b> .....	(261)
7.1 大模板 .....	(261)
7.2 爬升模板 .....	(269)
7.3 台模 .....	(270)
7.4 隧道模 .....	(271)
7.5 滑升模板 .....	(272)
<b>第 8 章 结构安装工程</b> .....	(283)
8.1 钢筋混凝土单层厂房结构吊装施工 .....	(283)
8.2 多层装配式混凝土框架结构吊装施工 .....	(300)
8.3 钢结构吊装 .....	(306)
8.4 组合结构 .....	(328)
8.5 装配式预制隔墙板 .....	(337)
<b>第 9 章 防水工程</b> .....	(343)
9.1 防水材料 .....	(343)
9.2 防水层施工 .....	(346)
9.3 地下防水工程 .....	(353)
<b>第 10 章 装饰工程</b> .....	(362)
10.1 抹灰工程 .....	(362)
10.2 饰面工程 .....	(371)
10.3 幕墙工程 .....	(376)
10.4 涂饰工程 .....	(383)
10.5 裱糊工程 .....	(388)
10.6 吊顶工程 .....	(390)
10.7 装饰隔断工程 .....	(393)
<b>第 11 章 流水施工基本原理</b> .....	(399)
11.1 流水施工概述 .....	(399)

---

11.2	流水施工参数	(402)
11.3	流水施工的组织方法	(409)
<b>第12章</b>	<b>网络计划技术</b>	<b>(419)</b>
12.1	概述	(419)
12.2	双代号网络图	(420)
12.3	双代号时标网络计划	(432)
12.4	网络计划的优化	(435)
12.5	单代号网络计划	(443)
<b>第13章</b>	<b>施工组织总设计</b>	<b>(452)</b>
13.1	概述	(452)
13.2	施工组织总设计概述	(454)
13.3	工程概况及特点分析	(456)
13.4	施工部署和施工方案	(458)
13.5	各项资源需要量与施工准备工作计划	(462)
13.6	临时设施设计	(464)
13.7	施工总平面图	(477)
<b>第14章</b>	<b>单位工程施工组织设计</b>	<b>(482)</b>
14.1	概述	(482)
14.2	工程概况分析	(483)
14.3	施工方案设计	(490)
14.4	单位工程施工进度计划和资源需要量计划编制	(506)
14.5	单位工程施工现场平面布置图设计	(509)
14.6	主要技术经济指标	(517)
<b>参考文献</b>		<b>(521)</b>

## 第1章 土方工程

知识点提示:

- 了解与施工相关的土的性质,了解影响土方边坡稳定的因素,了解边坡支护的形式和适用范围。
- 了解基坑降排水方法及技术要求,熟悉轻型井点平面布置和高程布置的技术要求。了解轻型井点涌水量计算方法。
- 了解土方施工的机械种类、施工特点和适用范围;掌握土方工程量计算方法,了解土方施工机械的组织与调配设计;了解深基坑开挖的方式及原则。
- 熟悉土方回填的方法和适用范围;熟悉回填质量的影响因素及其与施工方法的关系;熟悉回填质量验收的技术指标及要求。

### 1.1 概述

在土木工程施工中,无论是建筑物还是构筑物都需要建立在坚实的地基之上,因而地基施工是土木工程施工中非常重要的环节,其施工质量对后期的整体工程质量影响显著。

#### 【土方工程包含的内容】

土石方工程主要的施工内容有:场地平整、基坑降排水、基坑支护、基坑(槽)开挖、土方回填几个部分。

#### 【土方工程的特点】

土方工程施工一般具有以下特点:

(1) 工程量大,施工过程繁重。

土方工程的占地面积要大大超出建筑的占地面积。此外,土方的开挖和运输的工程也很大,往往需要大量开挖和运输的机械设备,工期也较长。

(2) 施工条件复杂。

土方工程施工受气候、水文、地质、场地限制、地下障碍等因素的影响,施工的难度和安全风险都很大。在土方工程施工前,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、电缆和地下地上构筑物情况及土方工程施工图等),进行现场调查并根据现有施工条件,制定出技术可行、经济合理的施工方案。

### 1.2 土的工程分类及性质

#### 1.2.1 土的工程分类

根据不同的技术要求、评价角度和应用目的,土壤的种类繁多,分类方法各异。由于土的开挖难易程度直接影响土方工程的过程和结果,比如土方开挖施工方法、开挖机械的

选择、劳动力和机械台班的消耗量及最后的施工成本。在土木工程施工中，按土的开挖难易程度将其分为八类，建筑工程中常见的有4类，见表1.2.1。

表 1.2.1 土壤的工程分类

土壤分类	土壤名称	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、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，加有碎石、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、砾石土；干黄土、含有碎石卵石的黄土、粉质粘土、压实的填土	主要用镐，少许用锹、锄头挖掘、部分用撬棍	1.24 ~ 1.30	1.04 ~ 1.07
第四类 (砂砾坚土)	坚硬密实的粘性土或黄土；含碎石卵石的中等密实的粘性土或黄土；粗卵石；天然级配砂石；软泥炭岩	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

### 1.2.2 工程性质

土的性质有很多，与施工过程密切相关的土的性质通常称为工程性质，主要有：土的可松性和渗透性。这些性质对土方开挖和回填、基坑降排水施工过程的施工方法、挖填工程量估算、降排水设计及施工都有影响。

#### 1. 可松性

自然状态下的土经开挖后，其体积因松散而增加，称为土的最初可松性，以后虽经回填压实，仍不能恢复到原来的体积，称为土的最终可松性。土的这两方面性质用两个系数来描述：最初可松性系数，用  $K_s$  表示；最终可松性系数，用  $K'_s$  表示，即

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-2-1)$$

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

式中： $K_s$ ——土的最初可松性系数；

$K'_s$ ——土的最终可松性系数；

$V_1$ ——原土的体积 ( $m^3$ )；

$V_2$ ——原土开挖后的松散体积 ( $m^3$ )；

$V_3$ ——松散后经压实后的体积 ( $m^3$ )。

与建筑工程相关的各类土的可松性系数见表1.2.1。

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，必须要考虑土的可松性，才能制订出比较准确的方案。

## 2. 渗透性

土的渗透性是指土被水透过的性质。土体空隙中的自由水在重力作用下会发生流动,当基坑(槽)开挖至地下水位以下,地下水会不断流入基坑(槽),当由水力梯度产生的动水压力超过土粒之间的粘结力时,则会产生管涌或流砂。同样,地下水在渗透流动中会受到土颗粒的阻力,其大小与土的渗透性及地下水渗流的路程长短有关。土的渗透性用单位时间内水穿透土层距离来表示,单位为 m/d。法国学者达西根据砂土渗透实验,发现如下关系(达西定律),即用来描述土的渗透性的达西公式:

$$V = K \cdot i \quad (1-2-3)$$

$$i = h/l \quad (1-2-4)$$

式中:  $V$ ——渗透水流的速度 (m/d);

$K$ ——渗透系数 (m/d);

$i$ ——水力坡度;

$l$ ——渗流路程水平投影长度 (m);

$h$ ——渗流路程垂直高差 (m)。

土方施工中,经常需要采取降低地下水位的措施,渗透系数是降低地下水方案设计中计算涌水量的重要参数。常见的土渗透系数见表 1.2.2。

表 1.2.2 土的渗透系数表

土的种类	$K/(\text{m/d})$	土的种类	$K/(\text{m/d})$
亚粘土、粘土	<0.1	含粘土的中砂及纯细砂	20 ~ 25
亚粘土	0.1 ~ 0.5	含粘土的细砂及纯中砂	30 ~ 50
含亚粘土的粉砂	0.5 ~ 1.0	纯粗砂	50 ~ 75
纯粉砂	1.5 ~ 5.0	粗砂夹砾石	50 ~ 100
含粘土的细砂	10 ~ 15	砾石	100 ~ 200

## 1.3 施工场地平整及其土方量计算

场地平整就是为了便于后续施工,根据建筑设计及施工作业要求,对天然场地地面进行清理和改造的准备工作。由设计地面标高和天然地面标高之差,可以得到场地各点的施工高度,由此可计算场地平整的土方量。场地设计标高确定和土方工程量计算是场地平整工作的两个重要环节。场地平整土方量的计算方法通常有方格网法和断面法。方格网法适用于地形较为平坦的地区,断面法则多用于地形起伏变化较大的地区。

在土方工程施工之前,应先计算场地的设计标高和土方工程量。一方面,后续土方施工在进行计划和准备时需要这方面的数据支撑;另一方面,在对土方施工方案进行评价时,是影响工程进度和造价的重要指标。一般情况下,需要将土方划分成一定的几何形状,采用一定精度的方法进行近似计算。场地平整施工的基本流程如图 1.3.1 所示。

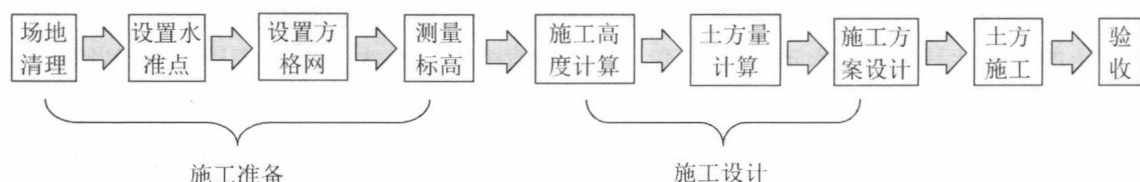


图 1.3.1 场地平整施工流程

### 1.3.1 施工准备

(1) 场地清理。在施工区域内，对已有房屋、道路、河渠、通信和电力设备、上下水道以及其他建筑物，均需事先进行拆迁或改建。留用的原有建筑应进行检查和性能评估，必要时采取加固等安全措施。

(2) 铺设临时道路。修筑好临时道路以供机械进场和土方运输用。

(3) 还需作好供电供水、机具进场、临时停机棚与修理间搭设等准备工作。

(4) 根据建筑总平面图，场区平面控制点测设，确定场区的范围；完成高程控制点测设，查清场区内地形分布情况，必要时绘制地形图。根据场区地形特征确定方格网的布置，并在场区内测设控制桩。

(5) 地面水排除。场地内的原有积水必须排除，同时需注意雨水的排除，使场地保持干燥，以利土方施工。应尽量利用自然地形来设置排水沟，以便将水直接排至场外，或流至低洼处再用水泵抽走。主排水沟最好设置在施工区域的边缘或道路的两旁，其横断面和纵向坡度应根据最大流量确定。一般排水沟的横断面不小于  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ，纵向坡度不小于  $2\text{‰}$ 。山区的场地平整施工中，应在较高一面的山坡上开挖截水沟。截水沟至挖方边坡上缘的距离为  $5 \sim 6\text{m}$ 。如在较低一面的山坡处设置弃土堆时，应在弃土堆的靠挖方一面的边坡下设置小截水沟。低洼地区施工时，除开挖排水沟外，有时还应在场地四周或需要的地段修筑挡水土堤，以阻挡雨水的流入。

### 1.3.2 场地设计标高的确定

在场地平整施工中，场地设计标高的正确选定是重要的一个环节。对平整场地施工的工程量、工期和造价具有直接影响，也决定着后期施工过程能否顺利进行，比如施工现场在雨季是否按预期解决地表水排泄问题，而不影响施工的正常进程。

#### 1. 场地设计标高确定的原则

- (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) 场地以内的挖方与填方能达到相互平衡以降低土方运输费用；
- (4) 要有一定的泄水坡度 ( $\geq 2\text{‰}$ )，使其满足排水要求；
- (5) 考虑最高洪水位的要求，防止地表水内灌。

#### 2. 计算场地设计标高

当设计文件上对场地标高无特定要求时，场地的设计标高可按照下述步骤和方法确定。

场地设计标高的确定要通过“方格网”法。具体方法根据有无地形图资料分为“图上作业”和“现场作业”两种方式。

【方法一】有地形图

在地形图上将场区范围划分方格网。根据地形起伏的复杂程度，方格一般采用  $20\text{m} \times 20\text{m} \sim 40\text{m} \times 40\text{m}$ ，如图 1.3.2 (a) 所示。一般情况下，方格的角点不在等高线上，因而其标高需要根据相邻两等高线的标高，用“插值法”计算得到。

【方法二】无地形图

在场区范围内利用全站仪或经纬仪按照一定的测量方法测设方格网，在方格网交叉点的地面位置钉木桩，然后用水准仪测出每个桩位的标高。

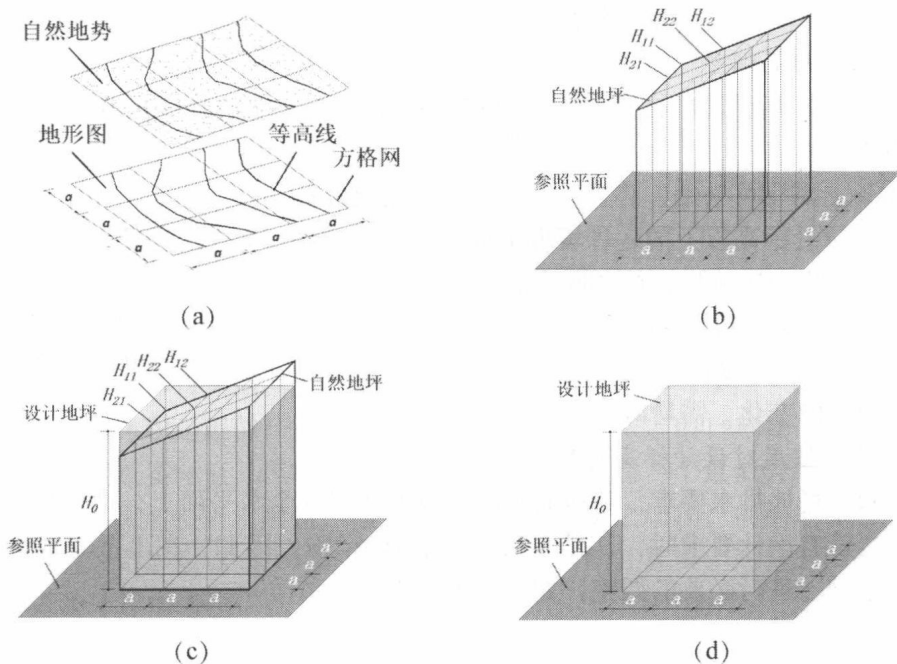


图 1.3.2 场地平整设计标高计算示意图

(a) 地形图与方格网；(b) 标高计算示意图；(c) 平整前土方；(d) 平整后土方

按照“场地内的土方达到挖方和填方平衡”的原则，场地内平整前和平整后的土方体积（图 1.3.2 (c) 和 (d)）的相互关系可以表达为如图 1.3.2 (b) 所示，即

$$H_0 N a^2 = \sum a^2 \left( \frac{H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22}}{4} \right) \quad (1-3-1)$$

$$H_0 = \sum \left( \frac{H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22}}{4N} \right) \quad (1-3-2)$$

式中： $H_0$ ——计算的场地设计标高 (m)

$a$ ——方格边长 (m)；

$N$ ——方格个数；

$H_{11}, \dots, H_{22}$ ——任意一个方格的 4 个角点的标高 (m)。

注意：图 1.3.2 中土方底部参照平面的选取位置对挖填平衡没有影响。

从图 1.3.2 中不难发现，方格网中的一些角点被 4 个方格（如角点标高  $H_{22}$ ）、3 个方格（本网格没有三个方格共享的角点）、2 个方格（如角点标高  $H_{12}$  和  $H_{21}$ ）和 1 个方格（如角点标高  $H_{11}$ ）所共享。也就是说：

角点  $H_{22}$  的标高值在公式中累加 4 次；  
 角点  $H_{12}$  和  $H_{21}$  的标高值在公式中累加 2 次；  
 角点  $H_{11}$  的标高值在公式中累加 1 次。  
 因此,式(1-3-2) 可改写成下列的形式:

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

式中:  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ ——分别为一个方格、两个方格、三个方格、四个方格所共有的角点标高 (m)。

### 3. 场地设计标高调整

由式 (1-3-3) 所计算的标高并不能直接应用于施工场地的最终标高, 还需考虑以下因素进行调整:

- (1) 由于土具有可松性, 必要时相应地提高设计标高。
- (2) 由于设计标高以上的各种填方工程用土量影响设计标高的降低, 或者设计标高以下的各种挖方工程而影响设计标高的提高。
- (3) 由于边坡填挖土方量不等 (特别是坡度变化大时) 而影响设计标高的增减。
- (4) 根据经济比较结果, 而将部分挖方就近弃土于场外, 或将部分填方就近取土于场外而引起挖填土的变化, 需增减设计标高。

### 4. 考虑泄水坡度对设计标高的影响

考虑到施工场地排水要求, 其地面标高一般不在同一个水平面上, 地面应具有一定的排水坡度。当没有设计要求时, 其排水坡度一般宜  $\geq 2\text{‰}$ 。因此, 在上面完成的施工平面设计标高的基础上进行必要的调整, 如图 1.3.3 所示。

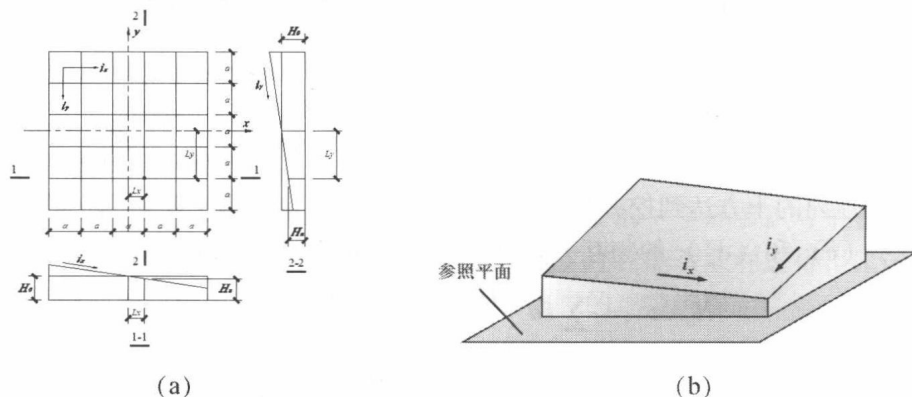


图 1.3.3 场地泄水坡度  
 (a) 标高调整计算示意图; (b) 三维示意图

当考虑场地内挖填平衡的情况下, 将已经算出的场地设计标高  $H_0$  作为场地中心的设计标高, 场地内任意一点调整后的设计标高则为:

$$H_n = H_0 \pm L_x \cdot i_x \pm L_y \cdot i_y \quad (1-3-4)$$

式中:  $H_n$ ——场内任意一点的设计标高 (m);

$L_x$ 、 $L_y$ ——该点至场地中心点沿  $x$  方向、 $y$  方向的距离 (m);

$i_x$ 、 $i_y$ ——场地在  $x$  方向上、 $y$  方向上的泄水坡度 (一般不小于  $2\text{‰}$ ); 当  $i_x$ 、 $i_y$  中有一

个为零时，则为单向坡度；

$\pm$ ——该点比  $H_0$  高则取“+”号，反之取“-”号。

**想一想：**

1. 将一个处于水平面的场地沿  $x$ 、 $y$  两个方向进行排水坡度调整。如果两个方向的排水坡度相同的话，调整后的场地仍然是一个平面。请找出以下网格点的位置：①标高最高点；②标高最低点；③标高不变的点。
2. 实际工程中很难将整个场地按一个平面进行标高调整，那么调整后的场地表面会是什么样子？

**1.3.3 土方量计算**

土方量计算的步骤如图 1.3.4 所示。

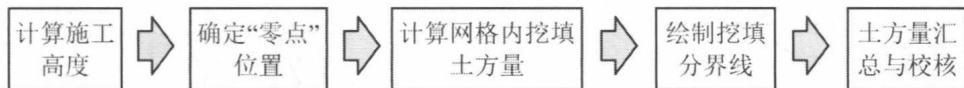


图 1.3.4 土方量计算工作流程

采用“方格网”法计算平整场地的土方量，就是将整块土方分隔成一定数量的四棱柱体进行计算。四棱柱体自然顶面为起伏的表面，利用每个网格内参照平面以上的四棱柱体积代表实际的土体体积是近似计算；用众多四棱柱体顶面来近似自然地面的起伏变化，可以使计算结果更接近实际值。因此，此种土方量计算方法是一个近似计算方法，当网格划分越密集，计算结果越接近实际值，但是计算工作量会随之增加。根据地面起伏变化的复杂程度，网格边长可以取 20m、40m 甚至更长，以产生的计算误差对施工没有关键性影响为准则。具体的计算步骤包括以下几个工作：

**1. 计算施工高度**

各网格点的【施工高度】（挖或填）就是设计地面标高与自然地面标高的差值，挖方为“-”，填方为“+”。图上作业时，可以将施工高度数值填写在方格网点的右上角，将设计坐标和自然地面标高分别标注在方格网点的右下角和左下角。如图 1.3.5 所示。

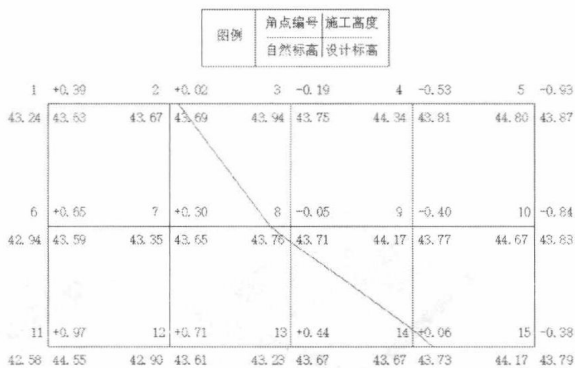


图 1.3.5 方格网法图例与标注方法

各方格网点的挖填高度  $h_n$  计算公式：

$$h_n = H_n - H \tag{1-3-5}$$

式中： $h_n$ ——各角点的挖填高度，即施工高度（m），以“+”为填，以“-”为挖；  
 $H_n$ ——角点的设计标高（m），若无泄水坡时，即为场地的设计标高  $H_0$ ；  
 $H$ ——角点的自然地面标高（m）。

### 2. 确定零点位置

计算一个方格内的土方工程量，一般包括填方和挖方两个部分，挖方、填方应分别计算。首先，要确定这两个部分的分界线。实际的挖填分界线为曲线，一般简化为直线，由其与方格的两个交点确定。分界线与方格边的交点就是零点，要先确定出方格边的零点位置，连接零点就得零线，即挖方区域与填方区域的分界线。零点位置可采用图解法按比例绘制在地形图上，或用计算公式确定，如图 1.3.6 和图 1.3.7 所示。

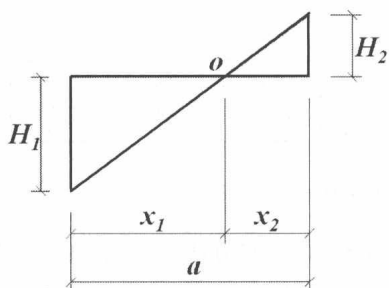


图 1.3.6 零点位置图解法示意图

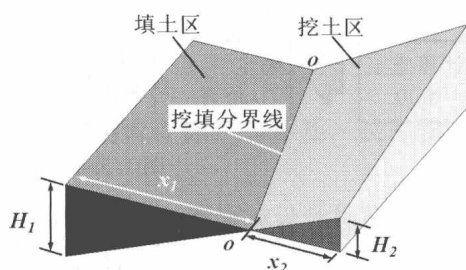


图 1.3.7 方格网挖填分界线位置示意图

### 3. 计算网格内土方工程量

无论方格内挖填区域如何分布，计算方格内土方量之前，先将方格网分为两个三角形，随即方格网内的四棱柱土体变为两个三棱柱土体。根据设计标高（ $H_0$ ）平面的位置，再依据网格四角点的施工高度的分布特征，方格内土体分割状态可以概括为三种状态：①全挖或者全填，如图 1.3.8（a）所示，适用于方格完全位于挖方区域或填方区域内的情况；②一个角点挖（或填）其余角点填（或挖），如图 1.3.8（b）所示；③两个角点挖（或填）其余角点填（或挖），如图 1.3.8（c）所示。后两种状态适用于挖填分界线贯穿网格的情况。

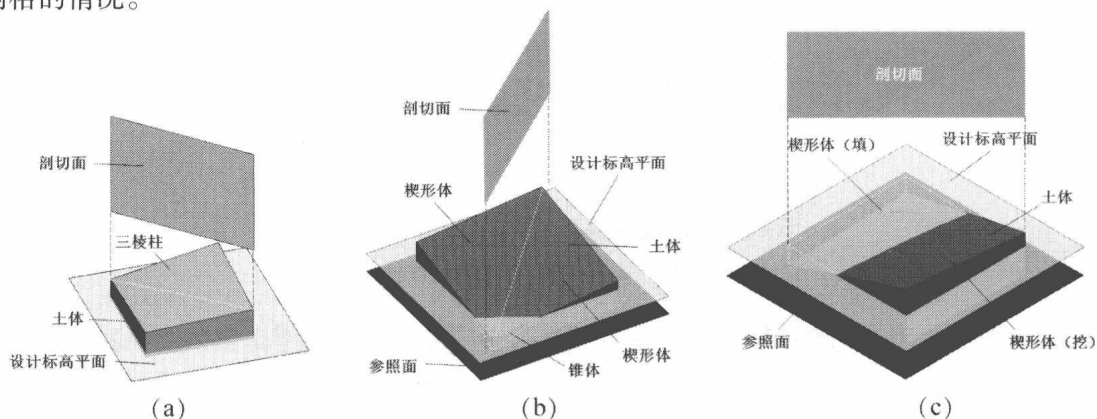


图 1.3.8 方格内土体分割形态

(a) 全挖（全填）网格土体；(b) 一角点填（挖）、三角点挖（填）网格土体；

(c) 两角点填（挖）、两角点挖（填）网格土体

按照方格对角分割的方式,方格内土方几何体(挖或填)的体积计算完全可以用公式(1-3-6)、(1-3-7)和(1-3-8)三个公式概括,即用两种几何体形式(图1.3.9)或者3个体积计算公式表达。

(1) 全为填方或挖方,如图1.3.9(a)所示,方格内土方量的计算公式:

$$V_{挖(或V_{填})} = \frac{a^2}{6}(h_1 + h_2 + h_3) \quad (1-3-6)$$

(2) 一个角点填(挖)两个角点挖(填)方,如图1.3.9(b)所示。

$$V_{锥} = \frac{a^2}{6} \frac{h_3^3}{(h_1 + h_3)(h_2 + h_3)} \quad (1-3-7)$$

$$V_{楔} = \frac{a^2}{6} [-h_3 + h_2 + h_1] + V_{锥}(1 - 12) \quad (1-3-8)$$

式中:  $a$ ——方格的边长(m);

$h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ ——方格网四角点的施工高度(m),用绝对值代入;

$V_{挖}$ 、 $V_{填}$ ——挖方或填方体积( $m^3$ );

$V_{锥}$ 、 $V_{楔}$ ——锥体、楔形体体积( $m^3$ )。

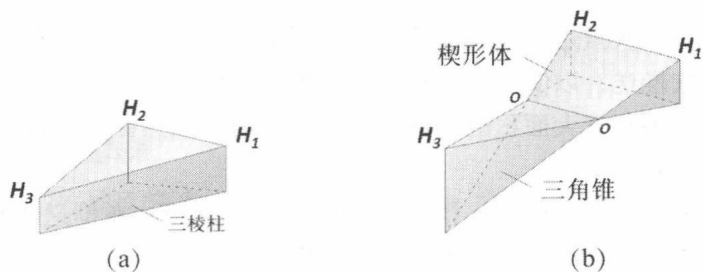


图1.3.9 三角棱柱体的体积计算几何体种类  
(a) 全挖(全填)分割几何体; (b) 部分挖填分割几何体

#### 4. 土方量汇总与校核

将挖方区或填方区所有方格计算的土方量和边坡土方量汇总,即得该场地挖方和填方的总土方量。根据挖填平衡的原则,挖方和填方的土方量应该非常接近,以此方法可以对土方工程量的计算结果进行初步校核。

想一想:

1. 实际上,每个方格内土体顶面是平面、折面还是任意曲面?公式计算时是将其假定为哪种?
2. 三个公式、两个几何体如何能够涵盖所有的土体分割形态?

#### 1.3.4 场地平整施工

大面积场地平整施工采用的施工机械一般有推土机、铲运机等大型机械。有时也采用少量挖掘机配合施工(图1.3.10,图1.3.11)。

##### 1. 推土机施工

【特点】

操纵灵活,运转方便,所需工作面较小,行驶速度较快,易于转移,能爬 $30^\circ$ 左右的缓坡。

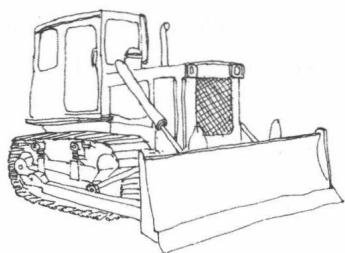


图 1.3.10 推土机

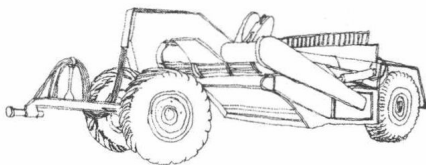


图 1.3.11 拖式铲运机

### 【适用性】

(1) 可以铲除一类至三类土，也可以清除石块或树木等障碍物，或者作为牵引机械使用。

(2) 适用于 100m 距离以内的土方平整或推运，尤其在 30 ~ 60m 之间效率较高。

### 【施工方法】

(1) 下坡铲土。即借助于机械本身的重力作用以增加推土能力和缩短推土时间。下坡铲土的最大坡度，以控制在  $15^\circ$  以内为宜。

(2) 分批集中，一次推送。在较硬的土中，因推土机的切土深度较小，应采取多次铲土，分批集中，一次推送，以便有效地利用推土机的功率，缩短运土时间。

(3) 并列推土。平整较大面积的场地时，可采用两台或三台推土机并列推土，以减少土的散失，提高生产效率。

(4) 跨铲法推土。推送土体时，推土机间保留一定间距，在推送线路两侧形成土埂，从而减少了推送土方过程中土体的散失，提供工作效率。

## 2. 铲运机施工

### 【分类】

按行走机构可分为拖式（由拖拉机牵引和操纵）和自行式两种。

### 【特点】

铲运机是一种能综合完成挖土、装土、运土、卸土、平整一系列工作的土方施工机械，其斗容量一般为  $3 \sim 12\text{m}^3$ ，其铲土厚度一般不大于 150mm。

### 【适应性】

(1) 适于地形起伏不大、坡度在  $20^\circ$  以内、大面积的场地平整；

(2) 运距在 200m - 300m 时，效率较高。

(3) 宜开挖含水量  $\leq 27\%$  的普通土和松土。硬土则需要辅助机械松土后施工。

### 【开行线路】

由于挖填区的分布不同，合理分配施工机械的作业区和开行路线，对于施工效率影响很大，也是施工方案的重要技术环节。铲运机的开行路线主要包括以下几种：

(1) 环形路线。是一种常用的开行路线，技术要求比较简单。路线布置简单，每一循环只完成一次铲土与卸土，如图 1.3.12 (a)、(b) 所示。当挖填交替而挖填之间的距离又较短时，则可采用大环形路线，-如图 1.3.12 (c) 所示。其优点是一个循环能完成多次铲土和卸土，从而减少铲运机的转弯次数，提高工作效率。

(2) “8”字形路线。这种开行路线的铲土与卸土，轮流在两个工作面上进行，如图