

# 项目一 土方工程施工

## 教学目标

1. 了解土的工程性质。
2. 能看懂土方施工方案。
3. 能识读基础施工图。
4. 能依据地质勘察报告选择土方开挖方式。
5. 会计算基槽（坑）开挖土方量。
6. 知道土方基槽（坑）的开挖工艺流程和施工要点。
7. 了解常用土方施工机械的作用特点，合理选择施工机械。
8. 能进行土方工程的质量检查。
9. 能完成隐蔽工程验收的资料收集与归档工作。

## 任务引导

某办公楼为三层框架结构，独立钢筋混凝土基础，基础持力层为粉质黏土层，基础底面进入持力层 0.2 m 深，建筑面积为 2 400 m<sup>2</sup>。拟建办公楼南面临近道路，距离 3 m。现自然地面标高为 12.8 m（相对标高 - 0.6 m）。根据地质资料，从 - 2.1 m 至 - 0.6 m 标高范围为碎砖等杂填土，- 3.41 m 至 - 2.11 m 为耕植土，- 5.2 m 至 - 3.41 m 为黏土。试编写该基坑开挖施工方案。

## 任务分析

土方工程是建筑工程施工的主要环节之一。常见的土方工程有场地平整、基坑（槽）开挖、回填等，要考虑到诸如地下水位高时应采取什么降低水位措施、基坑开挖如何支护、土方开挖运输使用什么机械等一系列问题。土方工程量大，施工条件复杂，施工中受气候条件、工程地质条件和水文地质条件影响较大，因此施工前，需要针对工程特点制订合理的施工方案。

## 知识链接

### 1.1 明确土方工程的特点与施工内容

#### 1.1.1 土方工程的特点

土方工程是建筑工程施工的主要工种工程之一。土方工程施工具有如下特点：

（1）土方量大，劳动繁重，工期长。因此，为了减轻土方施工繁重的劳动、提高劳动生产率、缩短工期、降低工程成本，在组织土方工程施工时，应尽可能采用机械化施工的方法。

（2）施工条件复杂。一般为露天作业，受地区、气候、水文地质条件的影响大，同时，受周围环境条件的制约也很多。因此，在组织土方施工前，必须根据施工现场的具体施工条件、工期和质量要求，拟订切实可行的土方工程施工方案。

#### 1.1.2 土方工程的施工内容

（1）场地平整：场地平整是将施工现场平整成设计所要求的平面。进行场地平整时，应

详细分析、核对各项技术资料，进行现场调查，尽量满足挖填平衡要求，降低施工费用。

(2) 基坑(槽)及管沟开挖：基坑是指基底面积在 20 m<sup>2</sup> 以内的土方工程；基槽是指宽度在 3 m 以内，长度是宽度的 3 倍以上的土方工程。

(3) 大型土方工程：主要对人防工程、大型建筑物的地下室、深基础施工等而进行的大型土方开挖。它涉及降低地下水位、边坡稳定与支护、邻近建筑物的安全与防护等一系列问题。因此，在土方开挖前，应详细研究各项技术资料，进行专项施工设计。

(4) 土方的填筑与压实：对填筑的土方，要求严格选择土料，分层回填压实。

## 1.2 土的工程分类与施工性质

### 1.2.1 土的分类

土层是地球表面各种不同的物质组成的，是地壳的主要组成部分。在工程上对土是以其软硬程度、强度、含水量等大致分为：松软土、普通土、坚土、砂砾坚土、软石、次坚石、坚石、特坚硬石八类。认识土的分类，明确施工开挖难易程度，以便选择施工方法和确定劳动量，为计算劳动力、机具及工程费用提供依据。

表 1.1 土的工程分类

土的分类	土的级别	土(岩)的名称	开挖方法及工具
一类土(松软土)	I	砂；粉土；冲击砂土层；种植土；泥炭(淤泥)	用锹、板锄挖掘
二类土(普通土)	II	粉质黏土；潮湿的黄土；夹有碎石、卵石的砂；种植土；填筑土	用锹、条锄挖掘，少许用镐
三类土(坚土)	III	软及中等密实黏土；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、条锄，少许用锹

四类土 (砂砾坚土)	IV	坚硬密实的黏性土及含碎石、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	全部用镐、条锄挖掘，少许用撬棍挖掘
------------	----	--	-------------------

续表

土的分类	土的级别	土(岩)的名称	开挖方法及工具
五类土(软石)	V~VI	硬质黏土；中等密实的页岩、泥灰岩、白垩土；胶结不紧的砾岩；软石灰岩	用镐或撬棍、大锤挖掘，部分使用爆破
六类土(次坚石)	VII~IX	泥岩；砂石；砾岩；坚实的页岩；泥灰岩；密实的石灰石；风化花岗岩；片麻岩	用爆破方法开挖，部分用风镐
七类土(坚石)	X~XII	大理石；辉绿岩；玢岩；粗、中粒花岗岩；坚实的白云岩、砂石、砾岩、片麻岩、石灰岩；微风化的安山岩、玄武岩	用爆破方法开挖
八类土(特坚硬石)	XIV~XVI	安山岩；玄武岩；花岗片麻岩、坚实的细粒花岗石、闪长岩、石英岩、辉长岩、辉绿岩、玢岩	用爆破方法开挖

### 1.2.2 土的野外鉴别方法

在野外及工地，按地基土的分类，粗略地鉴别各类土的方法，可采用按开挖方法及工具的不同，以及参照表 1.2 的方法进行。

表 1.2 土的野外鉴别方法

土的名称	湿润时用刀切	湿土用手捻摸时的感觉	土的状态		湿土搓条情况
			干土	湿土	
黏土	切面光滑、有粘刀阻力	有滑腻感，感觉不到有砂粒，水分较大时很粘手	土块坚硬，用锤才能打碎	易粘着物体，干燥后不易剥去	塑性大，能搓成直径小于 0.5 mm 的长条(长度不短于手掌)，手持一端不易断裂
粉质黏土	稍有光滑面，切面平整	稍有滑腻感，有黏滞感，感觉到有少量砂粒	土块用力可压碎	能粘着物体，干燥后较易剥去	有塑性，能搓成直径为 0.5~2 mm 的土条
粉土	无光滑面，切面稍粗糙	有轻微黏滞感或无黏滞感，感觉到砂粒较多、粗糙	土块用手捏或抛扔时易碎	不易粘着物体，干燥后一碰就碎	塑性小，能搓成直径为 1~3 mm 的短条

砂土	无光滑面,切面粗糙	无黏滞感,感觉到全是砂粒、粗糙	松散	不能粘着物体	无塑性,不能搓成土条
----	-----------	-----------------	----	--------	------------

### 1.2.3 土的工程性质

任何物质都具有其固有的物理性能,土类亦不例外。为对土石方进行施工,对其基本性能应做一些了解。

#### 1. 土的组成

土一般由土颗粒(固相)、水(液相)和空气(气相)3部分组成,这三部分之间的比例关系随着周围环境条件的变化而变化。

#### 2. 土的可松性

天然土经开挖后,其体积因松散而增加,虽经振动夯实,仍然不能完全复原,土的这种性质称为土的可松性。

土的可松性用可松性系数表示,即:

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad (1.1)$$

$$K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1.2)$$

式中  $K_s, K'_s$ ——土的最初、最终可松性系数;

$V_1$ ——土在天然状态下的体积 ( $m^3$ );

$V_2$ ——土挖出后在松散状态下的体积 ( $m^3$ );

$V_3$ ——土经压(夯)实后的体积 ( $m^3$ )。

可松性系数对土方的调配、计算土方运输量都有影响。各类土的可松性系数见表 1.3 所

列。

【例 1.1】 要将  $1\,000\text{ m}^3$  普通土运走，考虑到该土的最初可松性系数  $K_s$  (取 1.19)，所需运走的土方量不是  $1\,000\text{ m}^3$ ，而是  $1\,000\text{ m}^3 \times 1.19 = 1190\text{ m}^3$ 。又如，需要回填  $1\,000\text{ m}^3$  普通土，考虑到最终可松性系数  $K'_s$  (取 1.035) 的影响，所需挖方的体积  $1\,000\text{ m}^3 \div 1.035 = 966\text{ m}^3$  就够了。

表 1.3 土的可松性系数

土的类别	最初可松性系数 $K_s$	最终可松性系数 $K'_s$
特 坚 石	1.45 ~ 1.50	1.20 ~ 1.30
坚 石	1.30 ~ 1.45	1.10 ~ 1.20
次 坚 石	1.33 ~ 1.37	1.11 ~ 1.15
软 石	1.26 ~ 1.32	1.06 ~ 1.09
砂砾坚土	1.24 ~ 1.30	1.04 ~ 1.07
坚 土	1.14 ~ 1.28	1.02 ~ 1.05
普 通 土	1.20 ~ 1.30	1.03 ~ 1.04
松 软 土	1.08 ~ 1.17	1.01 ~ 1.03

### 3. 土的天然密度和干密度

在天然状态下，单位体积土的质量称为土的天然密度。它与土的密实程度和含水量有关。

土的天然密度可按下式计算：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.3)$$

式中  $\rho$ ——土的天然密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$m$ ——土的总质量 ( $\text{kg}$ )；

$V$ ——土的体积 (  $m^3$  )。

土的固体颗粒质量与总体积的比值称为土的干密度。用下式表示：

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1.4)$$

式中  $\rho_d$ ——土的干密度 (  $kg/m^3$  )；

$m_s$ ——固体的颗粒质量 (  $kg$  )；

$V$ ——土的体积 (  $m^3$  )。

在一定程度上，土的干密度反映了土的颗粒排列紧密程度。土的干密度越大，表示土越密实。土的密实程度主要通过检验填方土的干密度和含水量来控制。

#### 4. 土的含水量

土中水的质量与固体颗粒质量之比的百分率称为土的含水量，用下式计算：

$$W = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1.5)$$

土的含水量对土方开挖的难易程度、边坡留置的大小、回填土的夯实有一定程度的影响。

#### 5. 土的渗透系数

土的渗透系数表示单位时间内水穿透土层的能力，以  $m/d$  表示。根据土的渗透系数不同，可分为透水性土（如砂土）和不透水性土（如黏土）。它主要影响施工降水与排水速度。

表 1.4 土的渗透系数

土的名称	渗透系数/ ( $m/d$ )	土的名称	渗透系数/ ( $m/d$ )
黏土	<0.005	中砂	5.0 ~ 20.0
轻质黏土	0.005 ~ 0.10	匀质中砂	25.0 ~ 50.0
粉土	0.1 ~ 0.5	粗砂	20.0 ~ 50.0

黄土	0.25 ~ 0.5	圆砾	50.0 ~ 100.0
粉砂	0.5 ~ 1.0	卵石	100.0 ~ 500.0
细砂	1.0 ~ 5.0		

## 1.3 土方量计算

### 1.3.1 基坑、基槽土方量的计算

#### 1. 土方边坡

基坑、沟槽开挖过程中，土壁的稳定，主要是由土体内土颗粒间存在的内摩擦力和黏结力来保持平衡的。一旦土体在外力作用下失去平衡而发生滑移时，土壁就会塌方。土壁塌方不仅会妨碍基坑开挖，有时还会危及附近建筑物，严重的会造成人员伤亡事故。为防止土壁塌方，确保施工安全，当挖方超过一定深度或填方超过一定高度时，其边沿应放出足够的边坡。

边坡坡度应根据土质、开挖深度、开挖方法、施工工期、地下水位、坡顶荷载等因素确定。边坡形式有多种，见图 1.1。

土方边坡坡度  $i = \frac{h}{b} = 1:m$ ，土方边坡系数  $m = \frac{b}{h}$

$i$ 、 $m$  可以根据图纸查规范确定，也可由施工经验确定；在保证质量、安全的前提下， $i$  尽可能大， $m$  尽可能小。

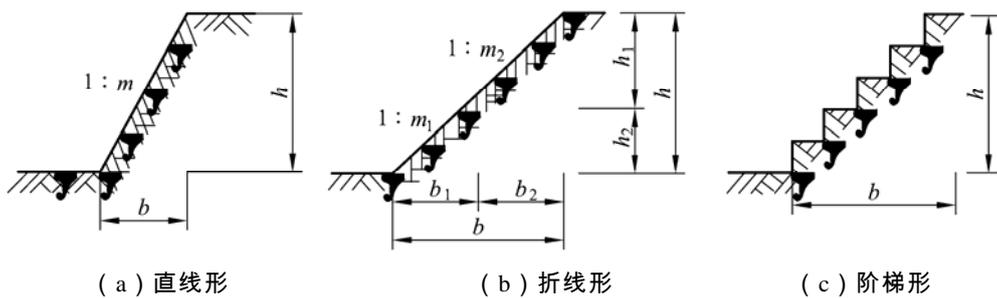


图 1.1 边坡形式

## 2. 基槽土方量计算

当基槽不放坡时：

$$V = h(a + 2c) \cdot L \quad (1.6)$$

当基槽放坡时：

$$V = h(a + 2c + mh) \cdot L \quad (1.7)$$

式中  $V$  ——基槽土方量 (  $\text{m}^3$  )；

$h$  ——基槽开挖深度 (  $\text{m}$  )；

$a$  ——基槽底宽 (  $\text{m}$  )；

$c$  ——工作面宽 (  $\text{m}$  )；

$m$  ——坡度系数；

$L$  ——基槽长度 ( 外墙按中心线计算，内墙按净长计算 )。

如果基槽沿长度方向，断面变化较大，即可分段计算，然后将各段土方量相加即得总土方量，即：

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n \quad (1.8)$$

式中  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$  ——各段土方量 (  $\text{m}^3$  )。

## 3. 基坑土方量计算

当基坑不放坡时：

$$V = h(a + 2c)(b + 2c) \quad (1.9)$$

当基坑放坡时：

$$V = h(a + 2c + mh)(b + 2c + mh) + \frac{1}{3}m^2h^3 \quad (1.10)$$

式中  $V$  ——基坑土方量 (  $m^3$  );

$h$  ——基坑开挖深度 (  $m$  );

$a$  ——基坑长边边长 (  $m$  );

$b$  ——基坑短边边长 (  $m$  )。

其余符号同前。

【例 1.2】 已知某基坑坑底长度 40 m，宽度 20 m，基坑深 3 m，基坑的边坡坡度为 1:0.5，试计算该基坑的土方量。

$$\text{解：} V = 3 \times (40 + 0.5 \times 3) \times (20 + 0.5 \times 3) + \frac{1}{3} \times 0.5^2 \times 3^3 = 2679 \text{ m}^3$$

### 1.3.2 场地平整土方量计算

#### 1. 场地平整

场地平整是将施工现场平整成设计所要求的平面。场地平整需做的工作包括：① 确定场地设计标高；② 计算挖、填土方工程量；③ 确定土方平衡调配方案；④ 根据工程规模、施工期限、土的性质及现有机械设备条件，选择土方机械，拟订施工方案。场地平整施工有以下三种做法：

(1) 先平整整个场地，后开挖建筑物基坑(槽)。这种做法可使大型土方机械有较大的工作面，能充分发挥其工作效能，亦可减少与其他工作的相互干扰，但工期较长。此法适用于场地挖填土方量较大的工地。

(2) 先开挖建筑物基坑(槽)，后平整场地。此法适用于地形平坦的场地。这样可以加快

建筑物的施工速度，也可减少重复挖填土方的数量。

(3) 边平整场地，边开挖基坑(槽)。这种做法是按照现场施工的具体条件，划分施工区，有的区先平整场地，有的区则先开挖基坑(槽)。

## 2. 土方量的计算

其计算方法一般采用方格网法，计算步骤如下：

(1) 划分方格网并计算场地各方格角点的施工高度。

根据已有地形图(一般用 1:500 的地形图)划分成若干个方格网，尽量与测量的纵横坐标网对应，方格一般采用  $10\text{ m} \times 10\text{ m} \sim 40\text{ m} \times 40\text{ m}$ ，将角点自然地面标高和设计标高分别标注在方格网点的左下角和右下角(见图 1.2)。

角点设计标高与自然地面标高的差值即各角点的施工高度，表示为：

$$h_n = H_{dn} - H_n \quad (1.11)$$

式中  $h_n$ ——角点的施工高度，以“+”为填，以“-”为挖，标注在方格网点的右上角；

$H_{dn}$ ——角点的设计标高(若无泄水坡度时，即为场地设计标高)；

$H_n$ ——角点的自然地面标高。

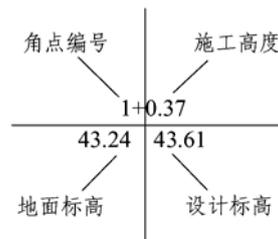


图 1.2 方格网各角点标高

(2) 计算零点位置。

在一个方格网内同时有填方或挖方时，要先算出方格网边的零点位置即不挖不填点，并标注

于方格网上,由于地形是连续的,连接零点得到的零线即成为填方区与挖方区的分界线(图 1.3)。

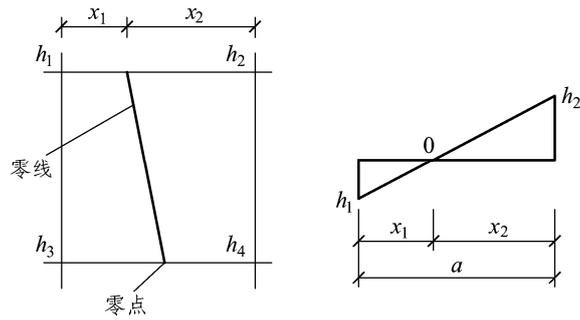


图 1.3 零点位置

零点的位置按相似三角形原理(图 1.3)得下式计算:

$$x_1 = \frac{h_2}{h_2 + h_3} \cdot a \quad (1.12)$$

$$x_2 = \frac{h_3}{h_2 + h_3} \cdot a \quad (1.13)$$

式中  $x_1, x_2$ ——角点至零点的距离 (m);

$h_1, h_2$ ——相邻两角点的施工高度 (m), 均用绝对值;

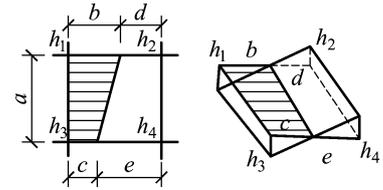
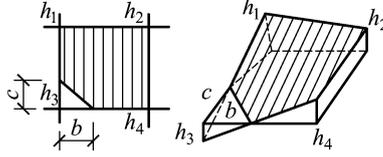
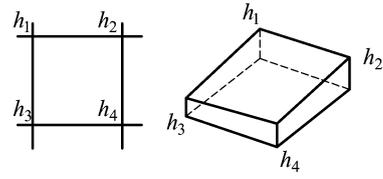
$a$ ——方格网的边长 (m)。

按方格网底面积图形和表 1.5 所列公式, 计算每个方格内的挖方或填方量。

(3) 计算方格土方工程量。

表 1.5 常用方格网计算公式

项 目	图 示	计算公式
一点填方或挖方 (三角形)		$V = \frac{1}{2}bc \frac{\sum h}{3} = \frac{bch_3}{6}$ <p>当 <math>b = c = a</math> 时, <math>V = \frac{a^2 h_3}{6}</math></p>

二点填方或挖方 (梯形)		$V_+ = \frac{b+c}{2} a \frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8} (b+c)(h_1+h_3)$ $V_- = \frac{b+c}{2} a \frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8} (b+c)(h_2+h_4)$
三点填方或挖方 (五角形)		$V = \left( a^2 - \frac{bc}{2} \right) \frac{\sum h}{5} = \left( a^2 - \frac{bc}{2} \right) \frac{h_1+h_2+h_4}{5}$
四点填方或挖方 (正方形)		$V = \frac{a^2}{4} \sum h = \frac{a^2}{4} (h_1-h_2+h_3+h_4)$

注：1.  $a$  为方格网的边长 (m)。

2.  $b$ 、 $c$  为零点到一角的边长 (m)。

3.  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$  为方格网四角点的施工高度 (m)，用绝对值代入。

4.  $\sum h$  为填方或挖方施工高程的总和 (m)，用绝对值代入。

#### (4) 边坡土方量计算。

为了维持土体的稳定，场地的边沿不管是挖方区还是填方区均需做成相应的边坡，因此

在实际工程中还需要计算边坡的土方量。图 1.4 所示是场地边坡的平面示意图。

**【例 1.3】** 某建筑场地方格网如图 1.3 所示，方格边长为 20 m×20 m，试用公式计算挖方和填方的总土方量。

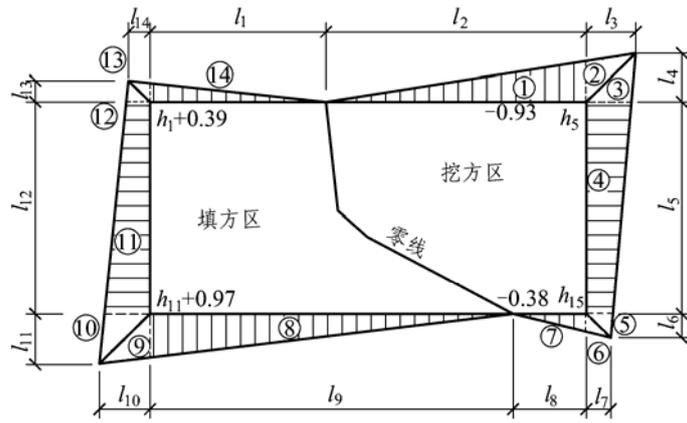


图 1.4 场地边坡平面图

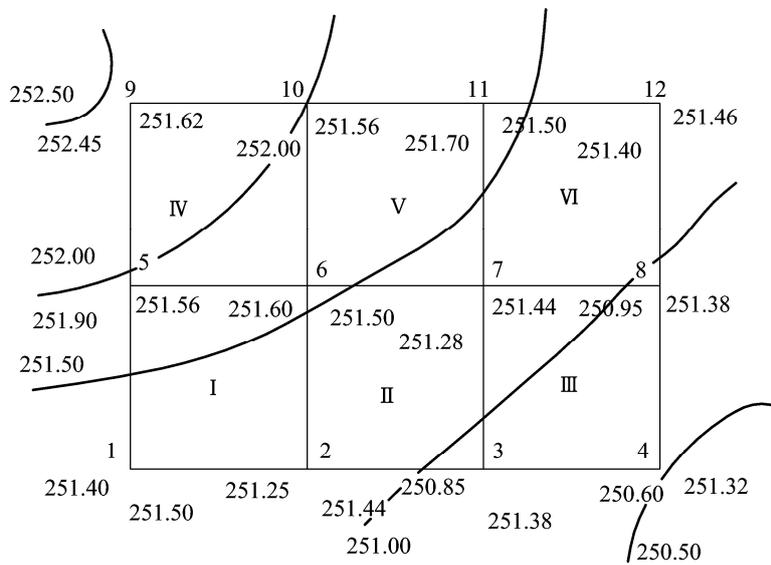


图 1.5 某建筑场地方格网布置图

解：(1) 根据所给方格网各角点的地面设计标高和自然标高，计算结果列于图 1.5 中。

由公式 (1.11) 得：

$$h_1 = 251.50 - 251.40 = 0.10 \text{ m} ; h_2 = 251.44 - 251.25 = 0.19 \text{ m}$$

$$h_3 = 251.38 - 250.85 = 0.53 \text{ m} ; h_4 = 251.32 - 250.60 = 0.72 \text{ m}$$

$$h_5 = 251.56 - 251.90 = -0.34 \text{ m} ; h_6 = 251.50 - 251.60 = -0.10 \text{ m}$$

$$h_7 = 251.44 - 251.28 = 0.16 \text{ m} ; h_8 = 251.38 - 250.95 = 0.43 \text{ m}$$

$$h_9 = 251.62 - 252.45 = -0.83 \text{ m} ; h_{10} = 251.56 - 252.00 = -0.44 \text{ m}$$

$$h_{11} = 251.50 - 251.70 = -0.20 \text{ m} ; h_{12} = 251.46 - 251.40 = 0.06 \text{ m}$$

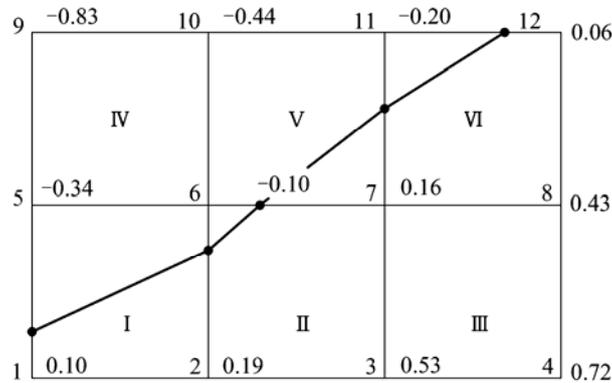


图 1.6 施工高度及零线位置

(2) 计算零点位置。从图 1.6 中可知，1—5、2—6、6—7、7—11、11—12 五条方格边

两端的施工高度符号不同，说明此方格边上有零点存在。

$$1—5 \text{ 线} \quad x_1 = 4.55 \text{ ( m )}$$

$$2—6 \text{ 线} \quad x_1 = 13.10 \text{ ( m )}$$

$$6—7 \text{ 线} \quad x_1 = 7.69 \text{ ( m )}$$

$$7—11 \text{ 线} \quad x_1 = 8.89 \text{ ( m )}$$

$$11—12 \text{ 线} \quad x_1 = 15.38 \text{ ( m )}$$

将各零点标于图上，并将相邻的零点连接起来，即得零线位置，如图 1.6 所示。

(3) 计算方格土方量。方格 III、IV 底面为正方形，土方量为：

$$V_{\text{III}} ( + ) = 202/4 \times ( 0.53 + 0.72 + 0.16 + 0.43 ) = 184 \text{ ( m}^3 \text{ )}$$

$$V_{\text{IV}} ( - ) = 202/4 \times ( 0.34 + 0.10 + 0.83 + 0.44 ) = 171 \text{ ( m}^3 \text{ )}$$

方格I底面为两个梯形，土方量为：

$$V_I(+)=20/8 \times (4.55+13.10) \times (0.10+0.19) = 12.80 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_I(-)=20/8 \times (15.45+6.90) \times (0.34+0.10) = 24.59 \text{ (m}^3\text{)}$$

方格II、V、VI底面为三边形和五边形，土方量为：

$$V_{II}(+) = 65.73 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{II}(-) = 0.88 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_V(+)=2.92 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_V(-)=51.10 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{VI}(+) = 40.89 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{VI}(-) = 5.70 \text{ (m}^3\text{)}$$

方格网总填方量：

$$\sum V(+)=184+12.80+65.73+2.92+40.89=306.34 \text{ (m}^3\text{)}$$

方格网总挖方量：

$$\sum V(-)=171+24.59+0.88+51.10+5.70=253.26 \text{ (m}^3\text{)}$$

### 1.3.3 土方调配

土方工程量计算完成后，即可着手进行土方的调配，目的是在土方运输总量或土方施工成本最小的条件下，确定挖填方区的调配方向和数量，从而达到缩短工期和降低成本的目的。

进行土方调配时，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。特别是当工程为分期分批施工时，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，包括划分土方调配区、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，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。