

项目 1 土方工程

【学习目标】

1. 了解土方工程的施工特点，土的分类与工程性质；熟悉土方工程的分类及特征以及土的工程性质对土方施工的影响；掌握土方工程量的计算方法。
2. 了解土方边坡和土壁支护的基本形式以及排水与降水的基本类型；熟悉土方边坡的确定方法及影响因素，能够对造成边坡塌方和产生流砂的原因进行分析，并采取有效的防治措施；重点掌握土壁支护的构造要求和施工方法，轻型井点降水的设计与施工方法。
3. 熟悉土方施工机械的性能、适用范围、作业方法，能够根据工程情况初步选择施工机械；掌握土方填土土料的选用要求、填土与压实方法及质量检查方法。

【工程导入】

小张是一家工程建筑公司的施工工程师，日前，他所在的工地采用轻型井点法进行降水施工，井点平面尺寸为 $10\text{ m}\times 14\text{ m}$ ，基坑深 4.0 m 。地下水位距地面 1.5 m ，自然地面向下有 2.0 m 厚的黏质砂土，再往下有 5.3 m 厚的细砂，再往下则为不透水层。土层渗透系数为 5.8 m/d ，选用直径为 50 mm 长 6 m 的井点管和长 1.5 m 的滤管，试确定该轻型井点的井点管间距。

1.1 土方工程概述

1.1.1 土方工程施工特点

土方工程是一切建筑物施工的先行，也是建筑工程施工中的重要环节之一。包括场地平整、基坑和基槽的开挖、地下建筑物的开挖、回填工程等，也包括施工排水、降水、土壁支撑等辅助施工过程，土方工程施工的特点如下。

1. 工程量大，劳动强度高

大型工业企业的场地平整、房屋及设备基础、厂区道路及管线的土方工程量往往可以达到几十万至数百万立方米以上，施工面积达数平方千米。大型基坑的开挖，有的甚至达 20 多米。

且工期长、任务重、劳动强度高。因此在施工时，为了减轻繁重的体力劳动，提高生产效率，加快施工进度，降低工程成本，尽可能地采用机械化施工。合理地选择土方机械，组织机械化施工，对于缩短工期，降低工程成本具有很重要的意义。

2. 施工条件复杂

土方工程多为露天作业，土、石又是天然物质，种类繁多，施工受到地区、气候、水文地质和工程地质等条件的影响，在地面建筑物稠密的城市中进行土方工程施工，还会受到施工环境的影响。因此，在施工前应做好调查研究，并根据本地区的工程及水文地质情况以及气候、环境等特点，制定合理的施工方案组织施工。

3. 受场地影响大

任何建筑物基础都有一定的埋置深度，基坑（槽）的开挖、土方的留置和存放都会受到施工场地的影响，特别是城市的施工，场地狭窄，往往由于施工方案不妥，导致周围建筑物与道路等出现安全问题。因此施工前必须充分熟悉场地情况，了解周围建筑结构形式和地质技术资料，科学规划，制定切实可行的施工方案以确保周围建筑物和场地道路安全。

1.1.2 土的分类与鉴别方法

土的分类法很多，在土方工程施工中，常根据土体开挖的难易程度将土划分为松软土、普通土、坚土、砂砾坚土、软石、次坚石、坚石、特坚石八类。前四类属于一般土，后四类属于岩石，土的分类和鉴别方法见表 1.1。

表 1.1 土的工程分类与现场鉴别方法

土的分类	土的级别	土的名称	开挖方法及工具
一类土 (松软土)		砂；粉土；冲积砂土层；疏松的种植土；淤泥 (泥炭)	用锹、锄头挖掘，少许用脚蹬
二类土 (普通土)		粉质黏土；潮湿的黄土；夹有碎石、卵石的砂； 种植土、填土	用锹、锄头挖掘，少许用镐翻松
三类土 (坚土)		软及中等密实黏土；重粉质黏土；干黄土及含碎 石、卵石的黄土；粉质黏土；压实的填土	主要用镐，少许用锹、锄头挖掘，部分用撬棍
四类土 (砂砾坚土)		坚硬密实的黏土或黄土；含碎石、卵石的中等密实 的黏土或黄土；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
五类土 (软石)	~	硬质黏土；中等密实的页岩、泥灰岩；白垩土； 胶结不紧的砾岩；软的石灰岩及贝壳石灰岩	用镐或撬棍、大锤挖掘，部分使用爆破方法

六类土 (次坚石)	~	泥灰岩；砂岩；砾岩；坚实的页岩、泥炭岩、密实的石灰岩；风化花岗岩、片麻岩及正长岩	用爆破方法开挖，部分用镐
--------------	---	--	--------------

续表

土的分类	土的级别	土的名称	开挖方法及工具
七类土 (坚石)	~	大理岩；辉绿岩；玢岩；粗、中粒花岗岩；坚实的白云岩、砂岩、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	用爆破方法开挖

1.1.3 土的工程性质

土的工程性质对土方工程施工有着直接影响，也是进行土方工程施工方案确定所必需的基本资料。土的常见工程性质有：土的密度、土的含水量、土的渗透性、土的可松性等。

1. 土的密度

土的密度中与土方工程施工有关的是土的天然密度 ρ 和土的干密度 ρ_d ，表示土体的密实程度。

1) 土的天然密度

土的天然密度指土在天然状态下单位体积的质量，它与土的密实程度和含水量有关。在选择运土汽车时，往往要将载重量折算成体积，此时必须用到天然密度。土的天然密度公式如式 (1-1) 所示：

$$\rho = m/V \quad (1-1)$$

式中 ρ ——土的天然密度， kg/m^3 ；

m ——土的总质量， kg ；

V ——土的体积， m^3 。

土的天然密度随着土颗粒的组成孔隙的多少和含水量的变化而变化，一般黏土的天然密度为 $1\ 600 \sim 2\ 200\ \text{kg}/\text{m}^3$ ，密度越大，土体越硬，挖掘越困难。

2) 土的干密度

土的干密度指单位体积土中固体颗粒的质量，即土体孔隙内无水时的单位土重。计算公式如式 (1-2) 所示：

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-2)$$

式中 ρ_d ——土的干密度， kg/m^3 ；

m_s ——土的固体颗粒质量， kg ；

V ——土的总体积， m^3 。

干密度在一定程度上反映了土颗粒排列的紧密程度，土的干密度越大，表示土体越密实。在填土压实时，土经过碾压，质量不变，体积变小，干密度增加。通过测定土的干密度，从而判断土是否达到要求的密实度，可用来作为填土压实质量的控制指标。

2. 土的含水量

土的含水量 ω 是土中所含的水与土的固体颗粒的质量比，见公式 (1-3)。

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 m_1 ——含水状态时土的质量，kg；

m_2 ——土经温度 105 °C 烘干的质量，kg。

含水量表示土体的干湿程度。含水量在 5% 以下为干土；5% ~ 30% 为潮湿土；大于 30% 为湿土。土的含水量随外界雨雪、地下水的影响而变化。当土的含水量超过 25%，采用机械施工就很困难。一般土含水量超过 20% 时就会使运土汽车打滑或陷入泥坑。回填土夯实时若含水量过大则会产生橡皮土现象，无法夯实。土的含水量对土方边坡稳定性也有直接影响。

3. 土的渗透性

土的渗透性是指土透过水的性能。土的渗透性用渗透系数 K 表示。渗透系数表示单位时间内水穿透土层的量，以 m/d 表示。土体空隙中的自由水在重力作用下会发生流动，当基坑开挖至地下水位以下，地下水的平衡被破坏后，地下水会不断流入基坑。地下水在土中渗流时受到土颗粒的阻力，其大小与土的渗透性及地下水渗流路程长短有关。土的渗透系数见表 1.2。

表 1.2 土的渗透系数参考表

土的种类	$K/ (m/d)$	土的种类	$K/ (m/d)$
亚黏土、黏土	<0.1	含黏土的中砂及纯细砂	20 ~ 25
亚黏土	0.1 ~ 0.5	含黏土的细砂及纯中砂	35 ~ 50
含亚黏土的粉砂	0.5 ~ 1.0	纯粗砂	50 ~ 75
纯粉砂	1.5 ~ 5.0	粗砂夹砾石	50 ~ 100
含黏土的细砂	10 ~ 15	砾石	100 ~ 200

4. 土的可松性

自然状态下的土，经开挖后，其体积因松散而增加，以后虽经回填压实，但仍不能恢复成原来的体积，土的这种性质称为土的可松性。

土的可松性程度用可松性系数表示，见公式 (1-4)。

$$\left. \begin{aligned} K_s &= \frac{V_2}{V_1} \\ K'_s &= \frac{V_3}{V_1} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中： K_s ——最初可松性系数；

K'_s ——最终可松性系数；

V_1 ——土在自然状态下的体积， m^3 ；

V_2 ——土经开挖后松散状态下的体积， m^3 ；

V_3 ——土经回填压实后压实状态下的体积， m^3 。

土的最初可松性系数及最终可松性系数见表 1.3。土的可松性对土方的平衡调配、基坑开挖时留弃土量及运输工具数量的计算均有直接影响。

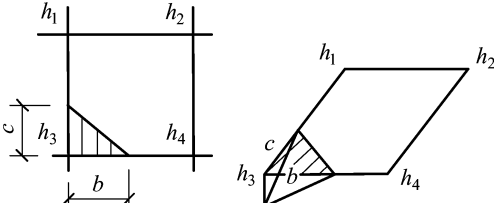
表 1.3 土的可松性系数

土的类别	K_s	K'_s
一类土	1.08 ~ 1.17	1.01 ~ 1.03
二类土	1.14 ~ 1.24	1.02 ~ 1.05
三类土	1.24 ~ 1.30	1.04 ~ 1.07
四类土	1.26 ~ 1.45	1.06 ~ 1.20
五类土	1.30 ~ 1.50	1.10 ~ 1.30
六类土	1.45 ~ 1.50	1.28 ~ 1.30

1.2 计算方格土方工程量

按方格网底面积图形和表 1.4 所列公式，计算每个方格内的挖方和填方量。此表公式是按照各计算图形底面积乘以平均高度而得出的，即平均高度法。

表 1.4 常用方格网点计算公式

项 目	图 式	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 $b=c=a$ 时，$V = \frac{a^2h_3}{6}$</p>

两点填方或挖方 (梯形)		$V_+ = \frac{b+c}{2} a \frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8} (b+c)(h_1+h_3)$ $V_- = \frac{d+e}{2} a \frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8} (d+e)(h_2+h_4)$
--------------	--	---

续表

项目	图式	计算公式
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： a ——方格网的边长，m； b 、 c ——零点到一角的边长，m； h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 ——方格网四角点的施工高度，m；用绝对值代入； h ——填方或挖方施工高度的综合（m），用绝对值代入； V ——挖方或填方体积， m^3 。

本表公式是按各计算图形底面积乘以平均施工高度而得出的。

1.3 土方边坡与土壁支护

土方工程施工过程中，土壁的稳定，主要是依靠土体的内聚力和摩阻力（黏结力）来保持平衡，一旦土体在外力作用下失去平衡，就会出现土壁坍塌，即塌方事故，不仅妨碍土方工程施工，造成人员伤亡事故，还会危及附近建筑物、道路及地下管线的安全，后果严重。

造成土壁塌方的原因有如下情况：

(1) 边坡过陡。这使得土体本身稳定性不够，尤其是土质差、开挖深度大的坑槽中，常发生塌方。

(2) 雨水、地下水渗入基坑。这使得土体重力增大及抗剪能力降低，是造成塌方的主要原因。

(3) 坑槽边缘附近大量堆土或者停放机具、材料或者由于动荷载的作用，使得土体产生

的剪应力超过土体的抗剪强度。

为了防止土壁坍塌，保持土体稳定，保证施工安全，在土方工程施工中，对挖方或填方的边缘，均做成一定坡度的边坡。由于条件限制不能放坡或为了减少土方工程量而不放坡时，可设置土壁支护结构，以确保施工安全。

1.3.1 土方边坡

土方边坡坡度用挖方深度（或填方高度） H 与其边坡底宽 B 之比来表示。边坡可以做成直线形边坡、阶梯形边坡及折线形边坡（见图 1-1）。

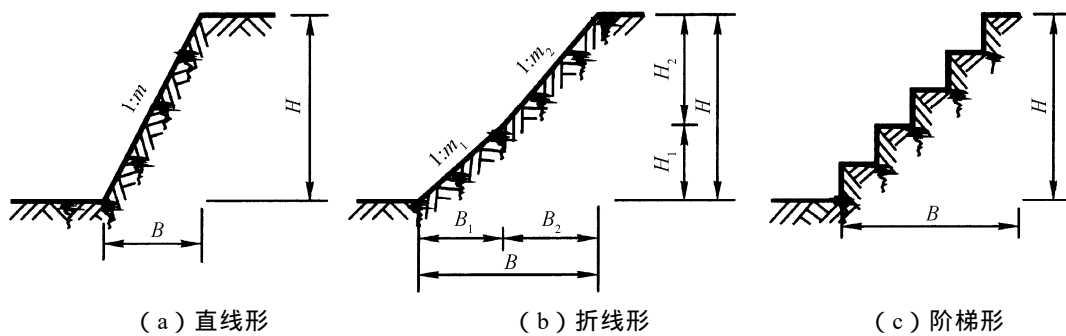


图 1-1 土方边坡

土方边坡坡度 = $1/m = H/B$ ， m 称为坡度系数， $m = B/H$ 。

土方边坡的稳定，主要是由于土体内土颗粒间的摩擦力和内聚力，从而使土体具有一定的抗剪强度。土体抗剪强度的大小与土质有关。黏性土土颗粒之间除具有摩擦阻力外还具有内聚力（黏结力），土体失稳而发生滑动时，滑动的土体将沿着滑动面整个滑动；砂性土土颗粒之间无内聚力，主要靠摩擦阻力保持平衡。所以黏性土的边坡可陡些，砂性土的边坡则应平缓些。

土方边坡大小除土质外，还与挖方深度（或填方高度）有关，此外亦受外界因素的影响。由于外界的原因使土体内抗剪强度降低或剪应力增加达到一定程度时，土方边坡也会失去稳定而造成塌方。如雨水、施工用水使土的含水量增加，从而使土体自重增加，抗剪强度降低；有地下水时，地下水在水中渗流产生一定的动水压力导致剪应力增加；边坡上部荷载增加（如大量堆土或停放机具）使剪应力增加等，都直接影响土体的稳定性，从而影响土方边坡的取值。

确定土方边坡的大小时应考虑土质、挖方深度（填方高度）、边坡留置时间、排水情况、边坡上部荷载情况及土方施工方法等因素。

(1) 当土质均匀且地下水位低于基坑（槽）或管沟底面标高，其挖土深度不超过表 1.5 规定时，挖方边坡可做直壁而不加支撑的直臂。

表 1.5 直壁不加支撑挖方深度

土的类别	挖方深度/m
------	--------