



水工程施工

张欣桐

课程性质

一、课程特点及学习方法

- 1、涉及面广、内容多
- 2、实践性强

二、课程情况

专业课，24学时，课堂讲授。

三、成绩评定

平时成绩占**50%**，包括出勤、作业、阶段性测试。

期末考试成绩占**50%**，开卷考试。



水工程施工

水
工
程
构
筑
物
施
工

第1章 土石方工程与地基处理

第2章 施工排水

第3章 钢筋混凝土工程

第4章 水工程构筑物施工

第5章 砌体工程

水
与
常
用
工
程
管
道
设
备
施
工
安
装

第6章 室外管道工程施工

第7章 管道的特殊施工

第8章 室内管道施工

第9章 常用设备及自控系统安装

水
组
工
织
程
与
施
管
工
理

第11章 工程施工组织与概预算

第12章 施工组织计划技术

第13章 施工组织设计的编制



四、参考书

- 1.张勤，李俊奇主编. 水工程施工.北京：中国建筑工业出版社，2005
- 2.郑达谦主编. 给水排水工程施工（第三版）. 北京：中国建筑工业出版社，1998
- 3.孙连溪主编. 实用给水排水工程施工手册.北京：中国建筑工业出版社，1998
- 4.刘灿生译著. 给水排水工程施工手册.北京：中国建筑工业出版社，2002
- 5.给水排水管道工程施工及验收规范，钢筋混凝土工程施工及验收规范，混凝土结构工程施工质量验收规范。



第一篇

水工程构筑物施工技术



辐流式沉淀池



取水构筑物



二泵站



第一章 土石方工程与地基处理





虎丘塔位于苏州市西北虎丘公园山顶，原名云岩寺塔，落成于宋太祖建隆二年（公元961年），距今已有1000多年悠久历史。1980年6月虎丘塔现场调查，当时由于全塔向东北方向严重倾斜，不仅塔顶离中心线已达2.31m，而且底层塔身发生不少裂缝，成为危险建筑而封闭、停止开放。虎丘塔地基为人工地基，由大块石组成，块石最大粒径达1000mm。人工块石填土层厚1—2m，西南薄，东北厚。下为粉质粘土，呈可塑至软塑状态，也是西南薄，东北厚。塔倾斜后，使东北部位应力集中，超过砖体抗压强度而压裂。



1954年兴建的上海工业展览馆中央大厅，因地基约有14m厚的淤泥质软粘土，尽管采用了7.27m的箱形基础，建成后当年就下沉600mm。1957年6月展览馆中央大厅四角的沉降最大达1465.5mm，最小沉降量为1228mm。1957年7月，经苏联专家及清华大学陈希哲教授、陈梁生教授的观察、分析，认为对裂缝修补后可以继续使用(均匀沉降)。

▲土石方工程是水工程施工中的主要项目之一，土方开挖、填筑、运输等工作所需的劳动量和机械动力消耗均很大，往往是影响施工进度、成本及工程质量的主要因素。

▲土石方工程施工具有如下特点

➤ 影响因素多

- a. 土石方的种类多：大小不同；承载力不同；密实度不同；开挖难度不同
- b. 土石方成分复杂：有机物不同；无机物组成不同；含水量不同
- c. 人类活动

▲土石方工程施工具有如下特点

➤ 施工条件复杂

- a. 地形：平地；低坡度地；高坡度地；河道；水库、湖泊、海洋
- b. 地物：建筑物、构筑物；各类管线；人行道、公路、铁路
- c. 水文：地下水
- d. 地质：不同类型
- e. 气候：雨季；旱季；夏季；冬季

➤ 量大、面广

管沟槽开挖；基坑开挖；人防工程；水下开挖

▲土石方工程施工具有如下特点

➤ 劳动强度大、费时多

人工开挖；机械开挖；爆破开挖

➤ 质量要求高

断面形式；开挖的长、宽、高；开挖的位置；开挖的高程；土方的稳定性；槽、坑底的承载力



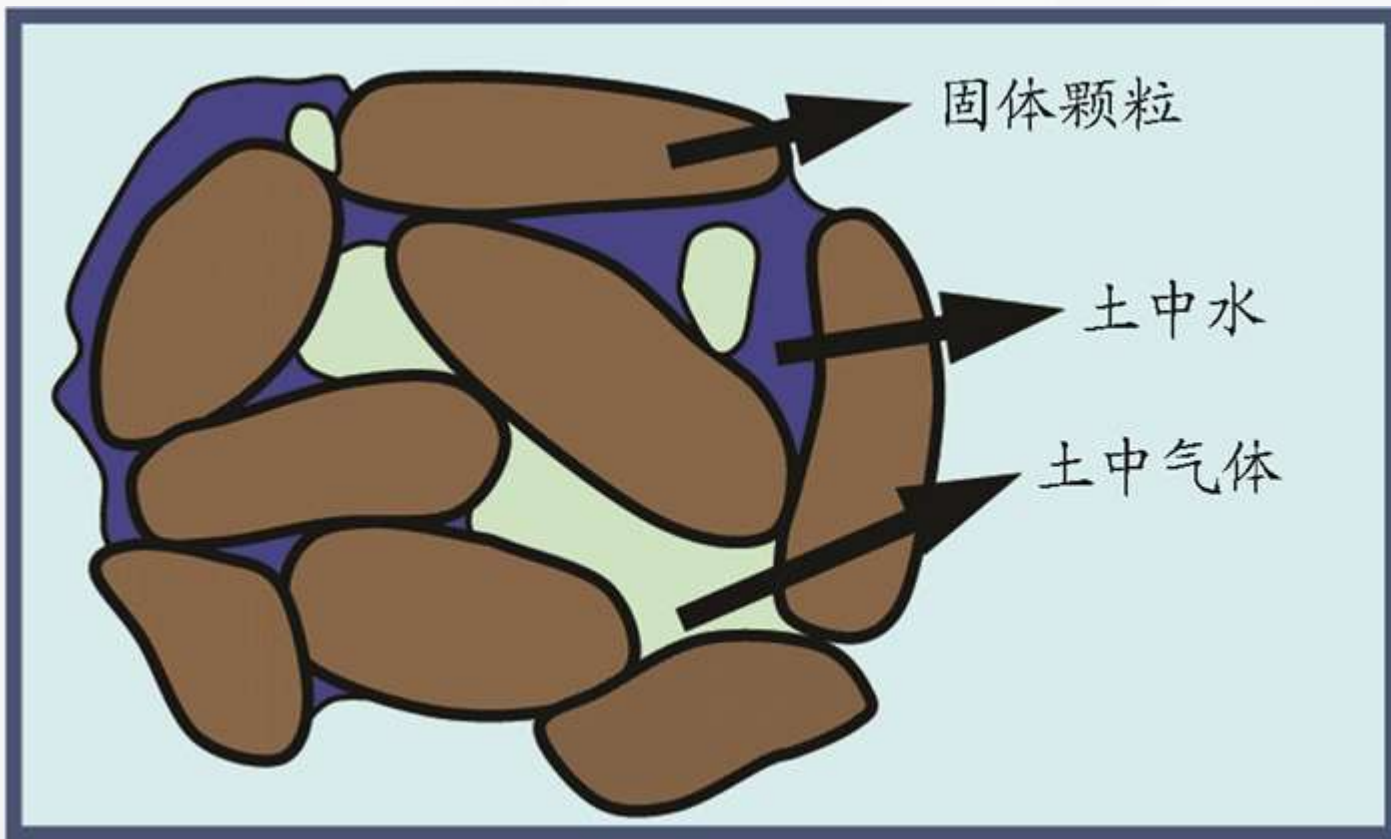
▲土石方工程施工前期要求

1. 施工前要作好调查研究，收集必要的资料，充分了解施工区域地形、地物、水文地质和气象资料；
2. 掌握土的种类和工程性质；
3. 明确土石方施工质量要求、工程成本、施工工期等施工条件，并据此做好施工方案；
4. 做好劳动力、机械准备；
5. 做好可能出现的各种不利施工条件下预防措施——人、财、物。

1.1 土的工程性质与分类

1. 土的组成

土是由岩石风化生成的松散沉积物。是由**颗粒**（固相）、**水**（液相）和**气**（气相）所组成的三相体系。





1.1 土的工程性质与分类

□ 土的固体颗粒

- 天然土是由大小不同的土粒所组成，通常把大小相近的土粒合并为一组，称为**粒组**。
- 不同的粒组具有不同的性质，工程上采用的粒组为六大粒组，即：漂石、卵石、圆砾、砂粒、粉粒及黏粒。

土粒粒组的划分

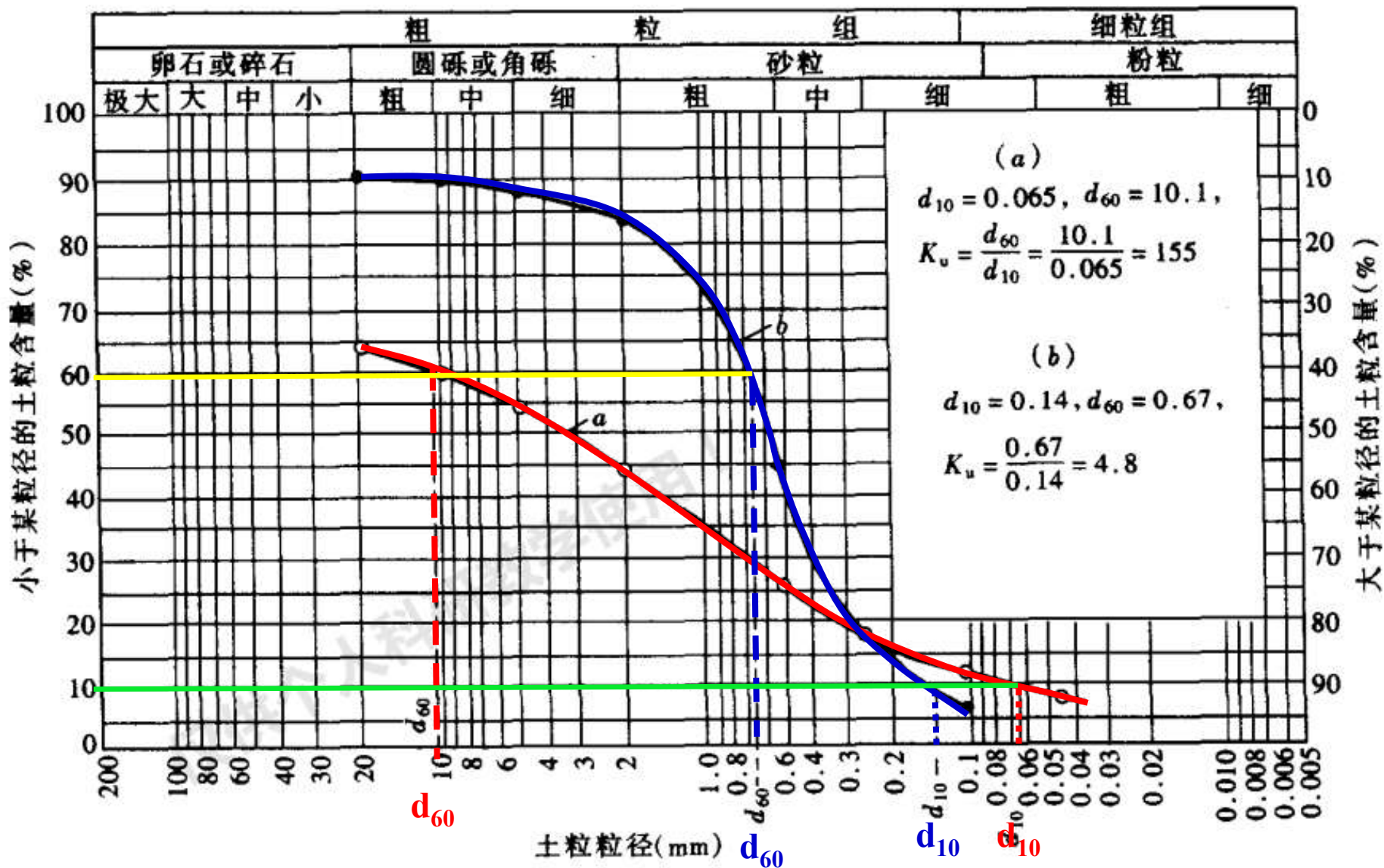
粒组名称	粒径范围 (mm)	一般特征
漂石或块石颗粒	>200	透水性大，无粘性，无毛细水
卵石或碎石颗粒	200~20	透水性大，无粘性，无毛细水
圆砾或角砾颗粒	20~2	透水性大，无粘性，毛细水上升高度不超过粒径大小
砂 粒	2~0.05 ^①	易透水，当混入云母等杂物时透水性减小，而压缩性增加；无粘性遇水不膨胀，干燥时松散；毛细水上升高度不大，随粒径变小而增大
粉 粒	0.05 ^① ~0.005	透水性小；湿时稍有粘性，遇水膨胀小，干时稍有收缩；毛细水上升高度较大较快，极易出现冻胀现象
黏 粒	<0.005	透水性很小；湿时有粘性和可塑性，遇水膨胀大，干时收缩显著；毛细水上升高度大，且速度较慢

①砂粒和粉粒的界限粒径，规范GBJ7-89采用0.075mm。



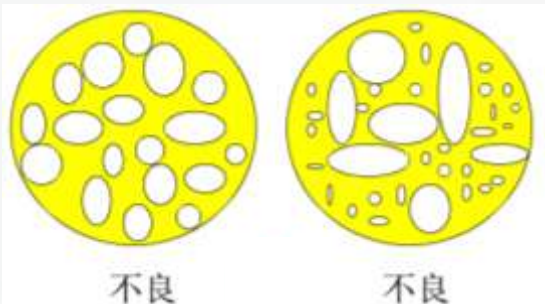
1.1 土的工程性质与分类

- 土中某粒组的土粒含量为该粒组中土粒质量与干土总质量之比，常以百分数表示。
- 土中各粒组相对含量百分比称为颗粒级配。
 - 颗粒级配表示土粒的大小及其组成情况。
- 测定方法
 - 筛分法：适用于粒径大于0.075mm的土。
 - 比重计法（阿基米德定律）：适于粒径小于0.075mm的土。



1.1 土的工程性质与分类

- 颗粒级配曲线的连续性特征及走势的陡缓可以直接判断颗粒粗细、颗粒分布的均匀程度及颗粒级配的优劣。
- 曲线陡，表示粒径大小相差不多，土颗粒比较均匀；曲线缓，表示粒径大小相差悬殊，土颗粒不均匀，级配良好。



粗颗粒的空隙恰好由中颗粒填充，中颗粒的空隙恰好由细颗粒填充，如此逐级填充使砂形成最致密的堆积状态，空隙率达到最小值，堆积密度达最大值。

1.1 土的工程性质与分类

➤ 颗粒级配的工程评价

- 限定粒径 (d_{60}) : 颗粒级配曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的60%的粒径。
- 有效粒径 (d_{10}) : 颗粒级配曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的10%的粒径。

$$\text{不均匀系数 } K_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

- 良好: $K_u > 5$, 级配连续不均匀, 曲线平缓、粒径范围广
- 不良: $K_u < 5$, 级配均匀或不连续, 曲线陡直、粒径范围窄



1.1 土的工程性质与分类

➤ 土粒的矿物成分

- 土的固体颗粒构成土的骨架，是由矿物所组成的。组成固体颗粒的矿物有**原生矿物**、**次生矿物**和**有机化合物**。
- 碎石土和砂土颗粒由原生矿物所组成，即由石英、长石和云母等组成，即大颗粒变为小颗粒的简单机械破碎。
- 粉粒的矿物成分是不同的，主要是石英和难溶的盐类颗粒。
- 黏粒的矿物成分主要有黏土矿物、氧化物、氢氧化物和各种难溶盐类。此外还有腐殖质等胶态物质，它的颗粒很微小，能吸附大量水分子。

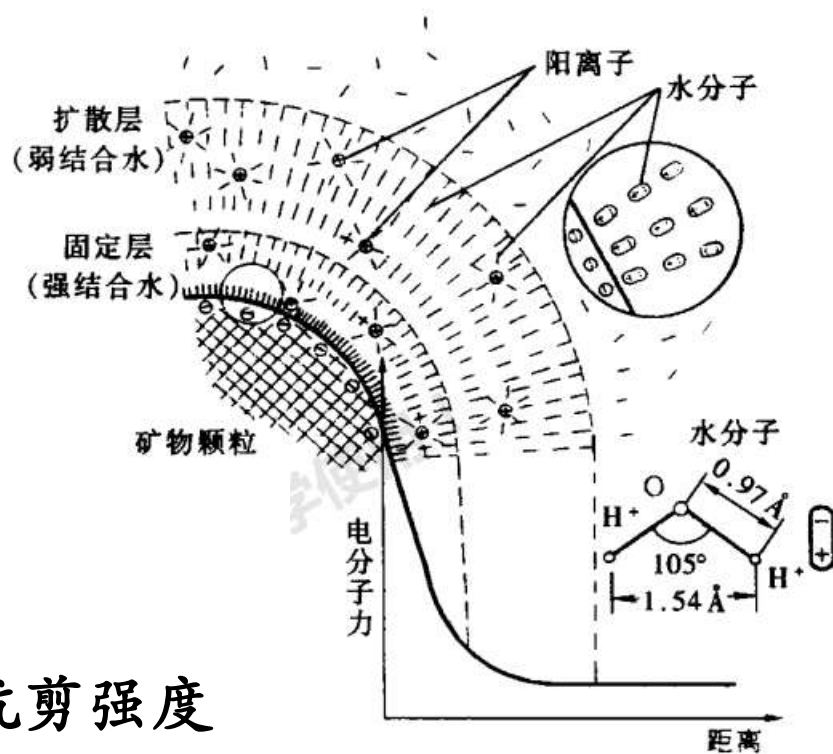
1.1 土的工程性质与分类

□ 土中水和气体

- 土中水：可以处于固、液、气三态。
 - 土中液态水可以分为**结合水**和**自由水**。
 - 结合水：是指受电分子吸引力吸附于土粒表面的土中水。土中黏粒一般带负电荷，使土粒周围形成电场，在电场范围内的水分子和阳离子被吸附在土粒表面。
 - 结合水分为**强结合水**和**弱结合水**。

1.1 土的工程性质与分类

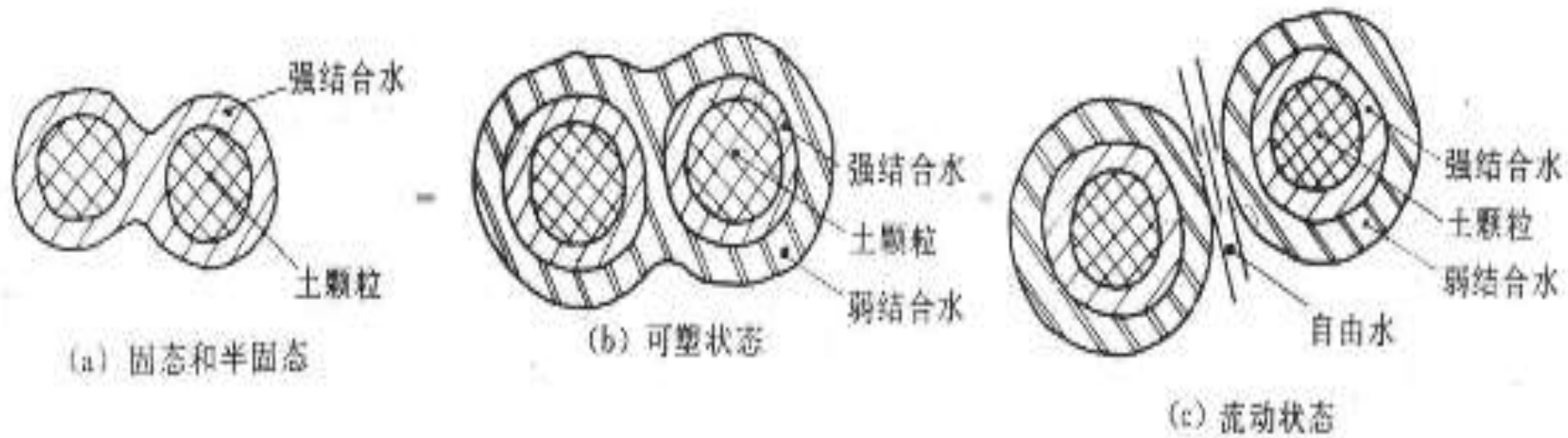
- **强结合水**：紧靠土粒表面的结合水。
 - 没有溶解能力
 - 不能传递静水压力
 - 只有在 105°C 时才蒸发，冰点为 -78°C 。
 - 性质接近固体
 - 具有极大的黏滞度、弹性和抗剪强度
- **弱结合水**：指存在强结合水外围的一层结合水。
 - 不能传递静水压力
 - 水膜较厚的弱结合水能向邻近较薄水膜缓慢转移。
 - 黏性土中含有较多的弱结合水时，土具有一定的可塑性。





1.1 土的工程性质与分类

- **自由水**：存在于土粒表面电场范围以外的水。
 - 性质与普通水一样，服从重力定律，能传递静水压力，有溶解能力。
 - 按其移动所受作用力的不同，可分为**重力水**和**毛细水**。
 - **重力水**：指受重力作用而移动的自由水。存在于地下水位以下的透水层中。
 - **毛细水**：受到它与空气交界面处表面张力的作用，存在于潜水位以上的透水土层中。
 - 毛细水的弯液面和土粒接触处的表面张力反作用于土粒，使土粒之间由于这种毛细力而挤紧，土因而具有微弱的黏聚力，称为**毛细黏聚力**。



土中水示意图



1.1 土的工程性质与分类

- 土中气体：与大气连通的和封闭的两种。
- 在粗粒土中常见到与大气相联通的空气，对土的力学性质影响不大。
- 在细粒土中则常存在与大气隔绝的封闭气泡，在外力作用下具有弹性，并使土的透水性减小。

1.1 土的工程性质与分类

2. 土的工程分类

《建筑地基基础设计规范》规定：**粗粒土**按颗粒级配分类，**细粒土**按塑性指数分类。

◆ 粗粒土

- 碎石土：粒径大于2mm的颗粒超过总重50%的土。
- 砂土：指粒径大于2mm的颗粒含量不超过全重50%、粒径大于0.075mm的颗粒超过全重50%的土。

按颗粒级配分类

碎石土的分类

土的名称	颗粒形状	粒组含量
漂石 块石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于200mm的颗粒超过全重的50%
卵石 碎石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于20mm的颗粒超过全重的50%
圆砾 角砾	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于2mm的颗粒超过全重的50%

砂土分类

土的名称	颗粒级配
砾砂	粒径大于2 mm的颗粒超过全重25%~50%
粗砂	粒径大于0.5 mm的颗粒超过全重50%
中砂	粒径大于0.25 mm的颗粒超过全重50%
细砂	粒径大于0.075 mm的颗粒超过全重85%
粉砂	粒径大于0.075 mm的颗粒超过全重50%

1.1 土的工程性质与分类

◆ 细粒土

- 粉土：塑性指数 $I_p \leq 10$ ，粒径 $> 0.075\text{mm}$ 的颗粒含量不超过全重50%的土。
 - 粉土含有较多粒径为 $0.05 \sim 0.005\text{mm}$ 的粉粒
 - 工程性质介乎黏性土和砂土之间。
- 黏性土：塑性指数 $I_p > 10$ 的土，包括粉质黏土和黏土。
 - 含有大量的黏粒（ $< 0.005\text{mm}$ 颗粒）。
 - 工程性质不仅与粒度成分和黏土矿物的亲水性等有关，还与成因类型及沉积环境等因素有关。

黏性土按塑性指数分类

土的名称	粉质黏土	黏土
塑性指数	$10 < I_p \leq 17$	$I_p > 17$

1.1 土的工程性质与分类

- ◆ 人工填土：是人类活动而形成的堆积物，成分杂乱，均匀性差。

人工填土按组成物质分类

土的名称	组成物质
素填土	由碎石土、砂土、粉土、黏性土等组成的填土
杂填土	含有建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物的填土
冲填土	由水力冲填泥砂形成的填土

- 人工填土是一种特殊土，特殊土还有红粘土（以贵州、云南、广西等省区最为典型）、软土（福州、天津塘沽）、多年冻土等。

粘土



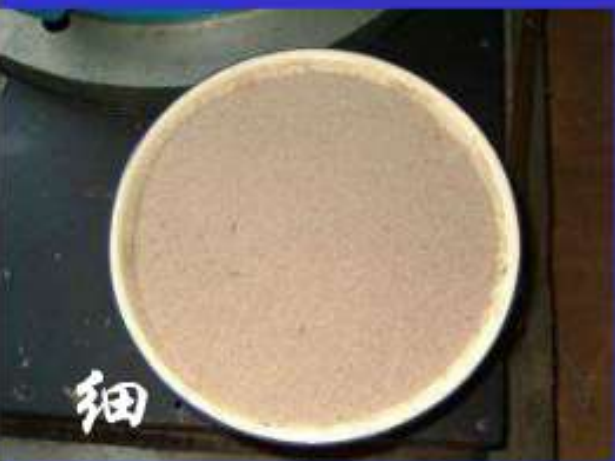
粘土



碎石 碎石



细砂



粗砂



卵石

按土的坚硬程度、开挖难易，将土分为8类16级。

土的 工 程 分 类

土 的 类 别	土 的 级 别	土 的 名 称	坚 实 系 数 (f)	密 度 (kg/m^3)	开 挖 方 法 及 使 用 工 具
一类土 (松软土)	I	砂土；粉土；疏松的种植土；淤泥 (泥炭)	0.5~0.6	600~1500	用锄头、用锹（少数用脚蹬）开挖
二类土 (普通土)	II	粉质粘土，潮湿的黄土，含有草根 的种植土；含有碎石、卵石的砂；填 土	0.6~0.8	1100~1600	用锄头、锹开挖、少 许用镐
三类土 (坚土)	III	中等密实的粘土或黄土，重粉质粘 土；含有碎石、卵石或建筑材料碎屑 的粘土或黄土；压实的填土	0.8~1.0	1750~1900	主要用镐，少许用锄 头、锹开挖，部分用 撬棍
四类土 (砂砾坚土)	IV	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、天然级配的砂石；软泥灰岩	1.0~1.5	1900	整个用镐、撬棍开 挖，部分用楔子和大 锤
五类土 (软石)	V~VI	硬质粘土；中密的页岩、泥炭石；坚 实的白垩土；胶结不紧的砾岩；软石 灰岩及贝壳石灰岩	1.5~4.0	1100~2700	用镐、撬棍或大锤 开挖，部分使用爆破 方法



六类土 (次坚石)	VI ~ IX	泥岩; 砂岩; 砾岩; 坚实的页岩、泥灰岩; 密实的石灰岩; 风化的花岗岩、片麻岩及正长岩; 滑石质的蛇纹岩	4~10.0	2200~2900	用爆破方法开挖, 部分用风镐
七类土 (坚石)	X ~ XII	白云石; 大理石; 辉绿岩; 玢岩; 坚实的石灰岩、砂质页岩; 蛇纹岩; 片麻岩; 中粗花岗岩; 微风化的安山岩、玄武岩	10~18	2500~3100	用爆破方法开挖
八类土 (特坚石)	XIV ~ XVI	闪长岩; 安山岩、玄武岩; 坚实的细粒花岗岩; 花岗片麻岩、坚实的玢岩、角闪岩、辉长岩、石英岩;	18~25 及以上	2700~3300	用爆破方法开挖

- 注: 1. 土的级别系指按 16 级土石分类级别;
2. 坚实系数 f 相当于普氏岩石强度系数。

1.1 土的工程性质与分类

3. 土石的工程性质

□ 土的密度

- 土的天然密度 ρ

土在天然状态下单位体积的密度。

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ ——土的天然密度 (t/m³) ；

m ——土的总质量， $m=m_s+m_w$ (t) ；

V ——土的体积， $V=V_s+V_w+V_a$ (m³) ；

m_s ——土粒的质量 (t) ；

m_w ——土中水的质量 (t) ；

V_s ——土粒的体积 (m³) ；

V_w ——土中水的体积 (m³) ；

V_a ——土中气的体积 (m³) 。

1.1 土的工程性质与分类

- 土的干密度 ρ_d

单位体积内土的固体颗粒质量与总体积之比。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V}$$

ρ_d ——土的干密度（t/m³）；

m_s ——土的固体颗粒的质量（105°C，烘干3~4h）（t）；

V ——土的体积（m³）。

- 干密度越大，表面土越坚实。
- 在土方填筑时，常以干密度来控制土的夯实标准。

1.1 土的工程性质与分类

- 土的相对密度 d_s

土粒密度（单位体积土粒的质量）与4°C时纯水密度 ρ_{wl} 之比。

$$d_s = \frac{m_s}{V_s} \cdot \frac{1}{\rho_{wl}}$$

d_s ——土的相对密度（t/m³）；

m_s ——土的固体颗粒的质量（105°C，烘干3~4h）（t）；

ρ_{wl} ——4°C时纯水密度（t/m³），实际计算中，可取 $\rho_{wl} \approx \rho_w$ ；

V_s ——土粒的体积（m³）。

1.1 土的工程性质与分类

- 土的饱和密度 ρ_{sat}

土的孔隙中充满水时单位体积的质量。

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \cdot \rho_w}{V}$$

ρ_{sat} ——土的饱和密度 (t/m³) ；

m_s ——土的固体颗粒的质量 (105°C, 烘干3~4h) (t) ；

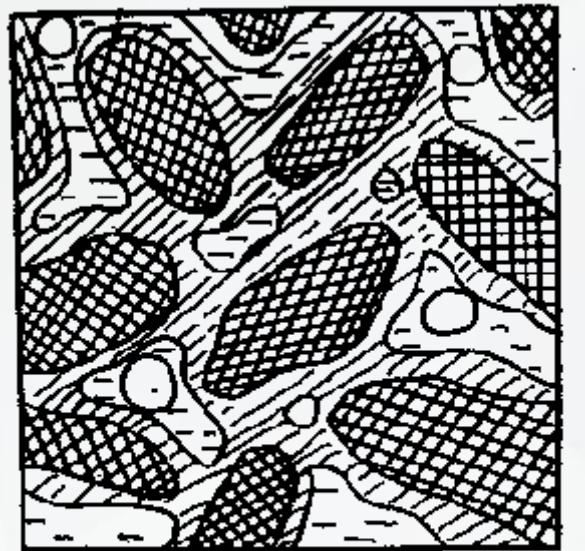
V_v ——土的孔隙体积 (m³) ， $V_v = V_w + V_a$ ；

ρ_w ——水的密度 (t/m³) ；

V ——土的体积， $V = V_s + V_w + V_a$ (m³) ；

V_w ——土中水的体积 (m³) ；

V_a ——土中气的体积 (m³) 。



固体颗粒

自由水

吸着水
和薄膜水

气泡

1.1 土的工程性质与分类

- 土的有效密度 ρ'
 - 在地下水位以下，单位土体积中土粒的质量扣除同体积水的质量后的土粒的有效质量。
 - 即：在地下水位以下，土体受水的浮力作用时，单位体积的质量，其有效密度等于土的质量减去与土相同体积水的质量除以体积。

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} = \rho_{\text{sat}} - \rho_w$$

1.1 土的工程性质与分类

□ 土的含水量 ω

- 土中水的质量与土粒质量之比（用百分数表示）称为**土的含水量**。

$$\omega(\%) = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$$

- 含水量的数值和土中水的重力与土粒重力之比（用百分数表示）相同：

$$\omega(\%) = \frac{G_w}{G_s} \times 100\%$$

- 含水量是表示**土的湿度**的一个指标。
- **土的含水量对黏性土、粉土的性质影响较大**，对粉砂、细砂稍有影响，而对碎石土等没有影响。

1.1 土的工程性质与分类

□ 土的孔隙度 n 和孔隙比 e

- 孔隙度（又称孔隙率）表示土内孔隙所占的体积，用百分数表示。
- 孔隙比为土内孔隙体积与土粒体积之比值。

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$$

n ——土的孔隙度；

e ——土的孔隙比；

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

V_v ——土的孔隙体积（ m^3 ）；

V ——土的体积， $V=V_s+V_w+V_a$ （ m^3 ）。

- 孔隙度和孔隙比是表明土密实程度的指标。
- 孔隙比和孔隙率越小土越密实。
- 一般孔隙比小于0.6的是密实的低压缩性土，大于1.0的土是高压缩性土。

1.1 土的工程性质与分类

- 孔隙度无法表示压缩量多少，因为土被压缩后，土的总体积改变了，土的孔隙体积也改变了。

$$\text{压缩量: } \Delta h = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} h$$

h ——压缩前土层厚度；

Δh ——压缩量；

e_1 ——压缩前土的孔隙比；

e_2 ——压缩后土的孔隙比。

- 孔隙度和孔隙比是根据密度、含水量和相对密度试验的结果，经计算求得。

1.1 土的工程性质与分类

□ 土的可松性

- 土的可松性为土经挖掘以后，组织破坏，体积增加的性质。
- 在自然状态下的土经过开挖后，土的体积因松散而增加，称为**最初可松性**；
- 以后经过压实，仍不能恢复原来的体积，称为**最终可松性**。
- 松散土的体积与天然状态下原土的体积之比称为土的**可松性系数**。

$$K_1 = \frac{V_2}{V_1}$$

$$K_2 = \frac{V_3}{V_1}$$

K_1 ——最初可松性系数；

K_2 ——最终可松性系数；

V_1 ——开挖前土的自然体积（ m^3 ）；

V_2 ——开挖后土的松散体积（ m^3 ）；

V_3 ——运至填方处压实后的体积（ m^3 ）。

- K_1 是计算开挖土方装运车辆及挖土机械的重要参数；
- K_2 是计算填方时所需挖土方量的重要参数。

1.1 土的工程性质与分类

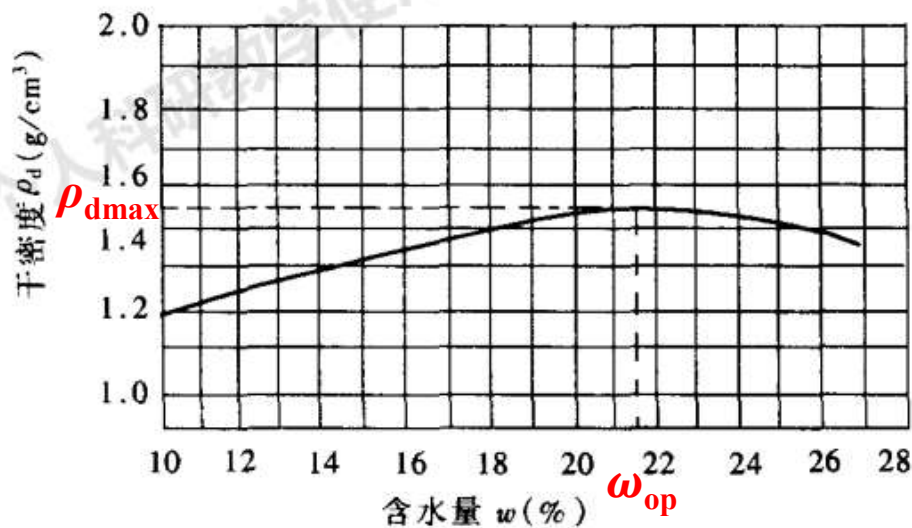
□ 土的压实性与压缩性

- **压实**是指用机械的方法使土密实。
 - 目的是**使地基密实，提高承载力，减少土的压缩性。**
- **压缩**是指地基土在压力作用下体积减小的性质。
 - 压缩会引起地基变形，从而使建筑物等产生一定的沉降量和沉降差，对建筑物等的使用和安全**造成危害。**
- 压实与压缩都可以认为是土的孔隙减少和固体颗粒变形的结果。

1.1 土的工程性质与分类

- 土的压实
 - 当所施加的能量一定时，**压实效果取决于含水量**。
 - 在一定的压实能量下使土最容易密实，并能达到最大密实度时的含水量称为**最优含水量 (ω_{op})**，相对应的干密度称**最大干密度 (ρ_{dmax})**。
 - **最优含水量可用室内击实试验确定**。

在标准击实方法的条件下，不同含水量的土样，可得到不同的干密度，从而可绘制干密度 ρ_d 和含水量 ω 的关系曲线，称为**击实曲线**，图上最大干密度相对应的含水量即最优含水量 ω_{op} 。



1.1 土的工程性质与分类

- 对同一种土，若改变击实能量，则曲线的基本形态不变，但位置却发生移动，随着击实能量的增大，曲线向斜上方移动，即：
加大击实能量，最大干密度增大，最优含水量却减少。

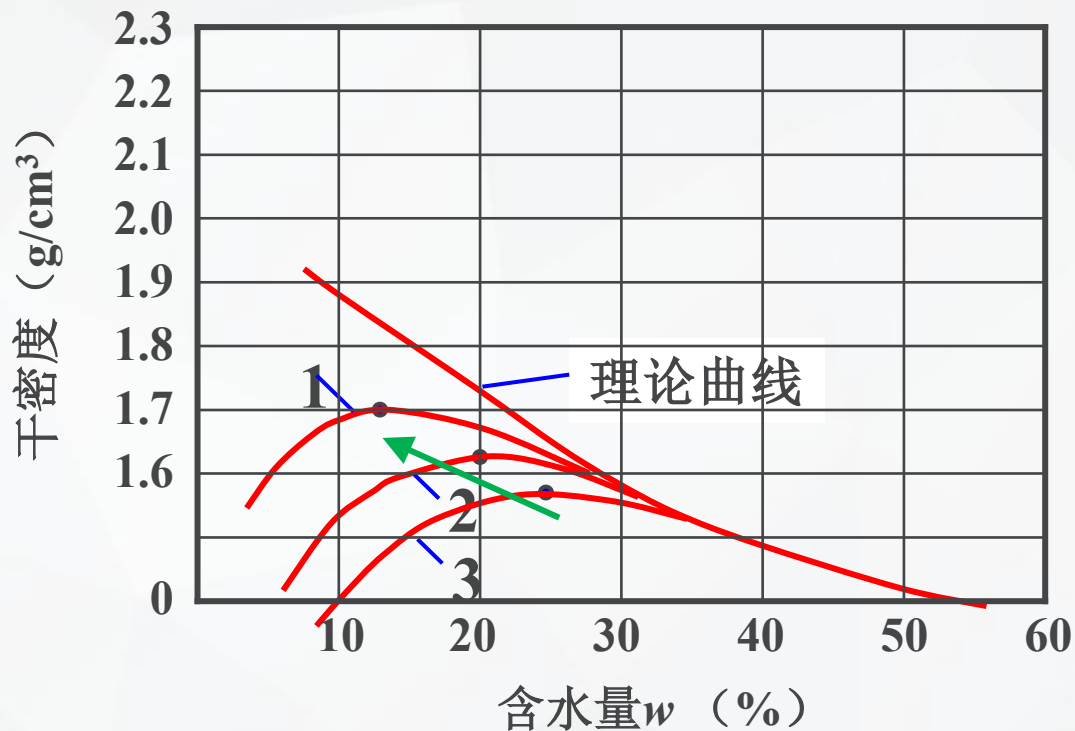


图1-6 压实能量对压实效果的影响

1, 2-机械压实, 3-人力压实

1.1 土的工程性质与分类

- 无击实试验资料时，经验公式求最大干密度 ρ_{dmax}
- 施工时所控制的土的干密度 ρ_d 与最大干密度 ρ_{dmax} 之比称为
压实系数 λ_c 。
 - 在地基主要受力层范围内，按不同结构类型，要求压实系数达到0.94~0.96以上。

1.1 土的工程性质与分类

- 土的压缩
 - 土的压缩性可用土的压缩系数 a (MPa^{-1}) 表示。
 - a 可用压缩试验来计算：

$$a = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}$$

e_1 ——压力 p_1 下土的孔隙比；

e_2 ——压力 p_2 下土的孔隙比；

p_1 —— e_1 下土的压缩试验压力，工程实践中取 100kPa；

p_2 —— e_2 下土的压缩试验压力，工程实践中取 200kPa。

$a_{1-2} < 0.1\text{MPa}^{-1}$ 时，属低压缩性土；

$0.1\text{MPa}^{-1} \leq a_{1-2} < 0.5\text{MPa}^{-1}$ 时，属中压缩性土；

$0.5\text{MPa}^{-1} \leq a_{1-2}$ 时，属高压缩性土。

1.1 土的工程性质与分类

- 土的压缩性还可用土的压缩模量 E_s (MPa) 表示。
- E_s 亦可用压缩试验来计算：

$$E_s = \frac{1 + e_1}{a}$$

- E_s 值越小，土的压缩性越高。
- 为便于应用，工程上用压力 100kPa 至 200kPa 间的压缩模量区分土的压缩性：

$E_{s1-2} < 4\text{MPa}$ ，属高压缩性土；

$4\text{MPa} \leq E_{s1-2} < 15\text{MPa}$ ，属中压缩性土；

$15\text{MPa} \leq E_{s1-2} < 40\text{MPa}$ ，属低压缩性土。

1.1 土的工程性质与分类

□ 土的渗透性

- 土的渗透性是指土体被水透过的性能，它与土的密实程度有关，土的孔隙比越大，则土的渗透系数越大。

达西定律：

$$V = K \cdot I$$

V ——渗透水流的速度 (m/d)；

K ——渗透系数 (m/d)；

I ——水力坡度。

- 渗透水流在碎石土、砂土和粉土中多呈层流状态，其运动速度服从达西定律。一般用渗透系数 K 作为衡量土的透水性指标，渗透系数 K 就是在水力坡度 $I=1$ 的土中的渗透速度。
- 土的渗透性，取决于土的形成条件、颗粒级配、胶体颗粒含量和土的结构等因素。

1.1 土的工程性质与分类

□ 土的状态指标

土的状态指标就是土的松密程度和软硬程度的指标。

- 无黏性土的松密程度指标

砂土、碎石土统称为无黏性土。

标准贯入实验锤击数是非粘性土（砂、卵石等）的松密程度指标。

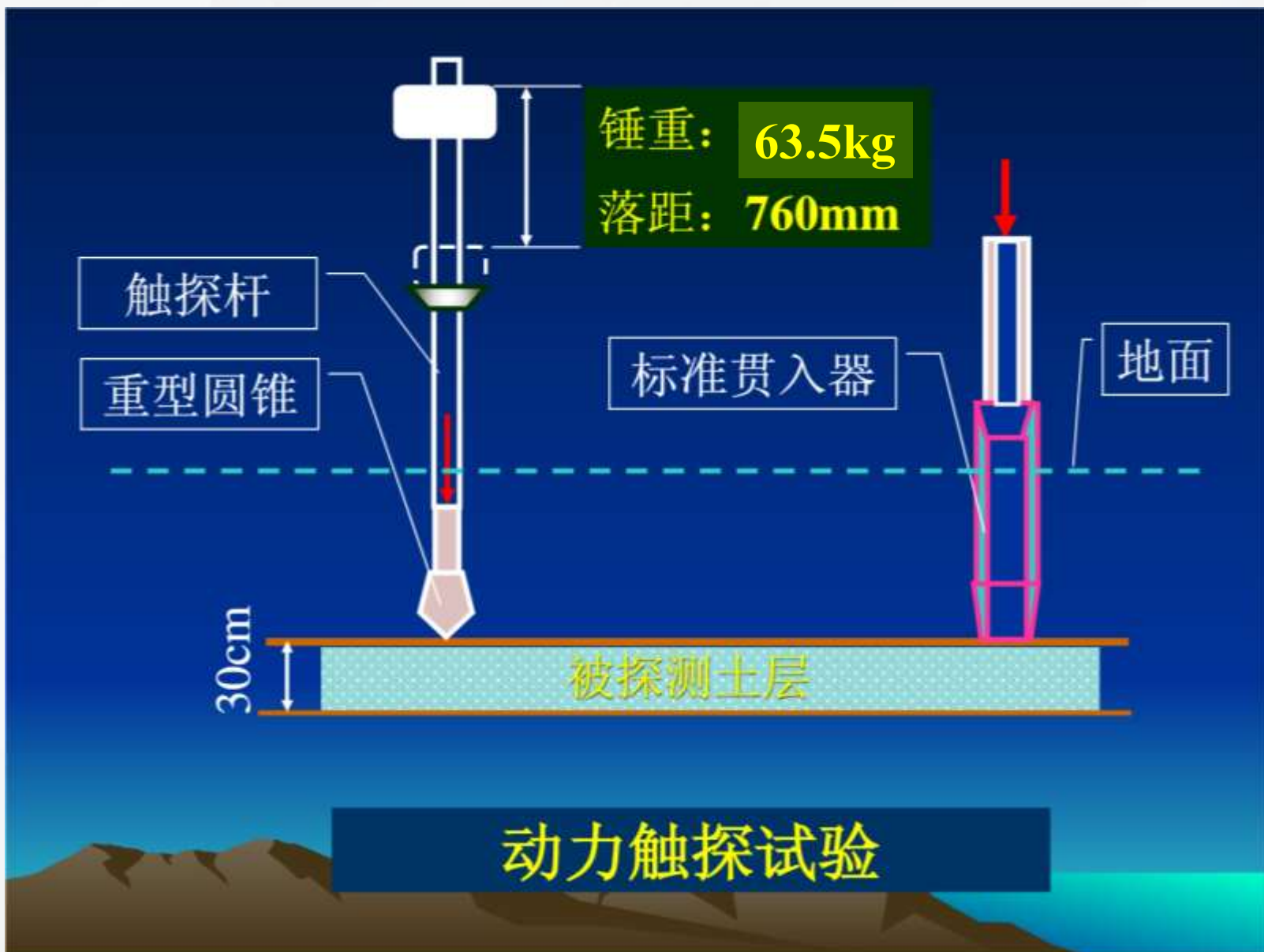
砂土的密实度

表 1-4

密 实 度	松 散	稍 密	中 密	密 实
标准贯入试验锤击数 N	$N \leq 10$	$10 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	$30 < N$

这种分类方法简便。但是没有考虑砂土颗粒级配对砂土状态可能产生的影响。

利用质量为63.5kg的穿芯锤，从76cm的高度自由落下，将长度为51cm、外径为5.1cm、内径为3.49cm的标准贯入器打入土中30cm所需的锤击数。



1.1 土的工程性质与分类

实践证明，有时较疏松的级配良好砂土孔隙比，比较密的颗粒均匀的砂土孔隙比还小。因此，国内外不少单位都用**砂土相对密度 D_r** 作为**砂土密实度分类指标**。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

D_r —砂土的相对密度；
 e —砂土的天然孔隙比；
 e_{\max} —砂土的最大孔隙比；
 e_{\min} —砂土的最小孔隙比。

$0 < D_r \leq 0.33$ 松散

$0.33 < D_r \leq 0.67$ 中密实

$0.67 \leq D_r \leq 1$ 密实

这种方法要在现场采取原状砂样以求得土的天然孔隙比，而取原状砂样常较困难。

碎石土可以根据野外鉴别方法分为**密实**、**中密**、**稍密**三种。

1.1 土的工程性质与分类

- 黏性土的软硬程度指标

天然状态下黏性土的软硬程度取决于含水量多少：

- ✓ 干燥时呈密实**固体状态**；
- ✓ 在一定含水量时具有塑性，称**塑性状态**，在外力作用下能沿力的作用方向变形，但不断裂也不改变体积；
- ✓ 含水量继续增加，大多数土颗粒被自由水隔开，颗粒间摩擦力减小，土具有流动性，力学强度急剧下降，称**流动状态**。

1.1 土的工程性质与分类

- 根据含水量的变化，粘性土可呈4种状态：**流态**、**塑态**、**半固态**和**固态**。
- 流态、塑态、半固态和固态之间分界的含水量，分别称为**流性界限**（又称液界 ω_L ）、**塑性界限**（又称塑界 ω_p ）和**收缩界限** ω_s 。



1.1 土的工程性质与分类

- 土的组成不同，塑限和液限也不同，应用液性指数 I_L 表示土的软硬程度。

$$I_L = \frac{\omega - \omega_P}{\omega_L - \omega_P}$$

I_L ——土的液性指数；

ω ——土的天然含水量；

ω_P ——土的塑限含水量；

ω_L ——土的液限含水量。

当 $I_L \leq 0$ 时，土处于固态或半固态；

当 $0 \leq I_L \leq 1$ 时，土处于塑态；

当 $I_L \geq 1$ 时，土处于流态。

黏性土状态的划分

状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液性指数	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	$I_L > 1.0$

1.1 土的工程性质与分类

- 在土的流限和塑限之间，土呈塑态。流限与塑限之差称为**塑性指数** I_P ：

$$I_P = \omega_L - \omega_P$$

I_P ——塑性指数；
 ω_P ——土的塑限含水量；
 ω_L ——土的液限含水量。

- 塑性指数是反应土的粒径级配、矿物成分和溶解于水中盐分等土组成情况的一个指标。
- I_P 值越大，土的可塑范围越宽，表明土吸附的水量越多、土的颗粒越细、矿物成分的吸水能力越强。
- 塑性指数全面反映了影响黏性土特征的各种因素，故规范按塑性指数对黏性土进行分类。

黏性土分类

轻亚黏土

亚黏土

黏土

塑性指数 I_P

$3 < I_P \leq 10$

$10 < I_P < 17$

$I_P \geq 17$

1.1 土的工程性质与分类

□ 土的饱和度 S_r

土中水的体积与孔隙体积之比称为土的饱和度。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

S_r ——土的饱和度；

V_w ——土中水的体积（ m^3 ）；

V_v ——土的孔隙体积（ m^3 ）。

砂土湿度状态的划分

湿 度	稍 湿	很 湿	饱 和
饱和度 S_r (%)	$S_r \leq 50$	$50 < S_r \leq 80$	$S_r > 80$

1.1 土的工程性质与分类

□ 土中应力及分布

土体中应力的产生原因：

- 由土体本身重量引起的**自重应力**；
- 由**外荷载引起的附加应力**（（建）筑物等荷载及因地震等引起的惯性力）；
- 渗流引起的**渗透力**。

如果地面下土质均匀，**土自重应力**沿水平面均匀分布，与深度成正比，即**随深度按直线规律分布**。

附加应力是引起地基沉降的主要因素，应力分布与荷载的形状有关，应力分布一般为**轴对称空间分布**。一般地，

- **作用点下，应力值随深度增加而减少**；
- **在同一深度下，距作用点越远应力值越小**；
- **作用点以外，应力最大值出现在附加荷载影响线处，随深度的增加而减少**。

1.1 土的工程性质与分类

□ 土的抗剪强度

- 土的抗剪强度是土抵抗剪切破坏的性能。其大小可由剪切试验求得。
- 砂土的抗剪强度：

$$\tau = \sigma \cdot \tan\varphi$$

τ ——剪切面上产生的剪应力(MPa)；

σ ——剪切试验中土的法向应力值(MPa)；

$\tan\varphi$ ——土的内摩擦角。

- 砂是散粒体，颗粒间没有相互的黏聚作用，砂的抗剪强度来源于颗粒间摩擦力。由于摩擦力来源于土内部，称内摩擦力。

1.1 土的工程性质与分类

- 黏性土的抗剪强度：

$$\tau = \sigma \cdot \tan\varphi + c$$

c ——黏性土的黏聚力(MPa)。

颗粒间内
摩擦力

土的黏
聚力

- ◆ 内摩擦力 $\sigma \cdot \tan\varphi$ 来源于两个方面：

- 土剪切面上颗粒与颗粒粗糙面产生的滑动摩擦阻力；
- 颗粒间的相互嵌入和联锁作用而产生的咬合力。

- ◆ 黏聚力 c 是由于土颗粒之间的胶结作用、结合水膜以及分子引力等作用而形成的，土颗粒越细，塑性愈大，其黏聚力也愈大。

1.1 土的工程性质与分类

□ 土压力

- 各种用途的挡土墙以及其他各种挡土结构，都受到土从侧向施加的压力。这种压力称**土压力**，又称**挡土墙土压力**，或称**侧土压力**。
- 挡土结构在土压力作用下，会产生位移。根据位移的性质不同，土压力可分为：**主动土压力**、**被动土压力**和**静止土压力**。

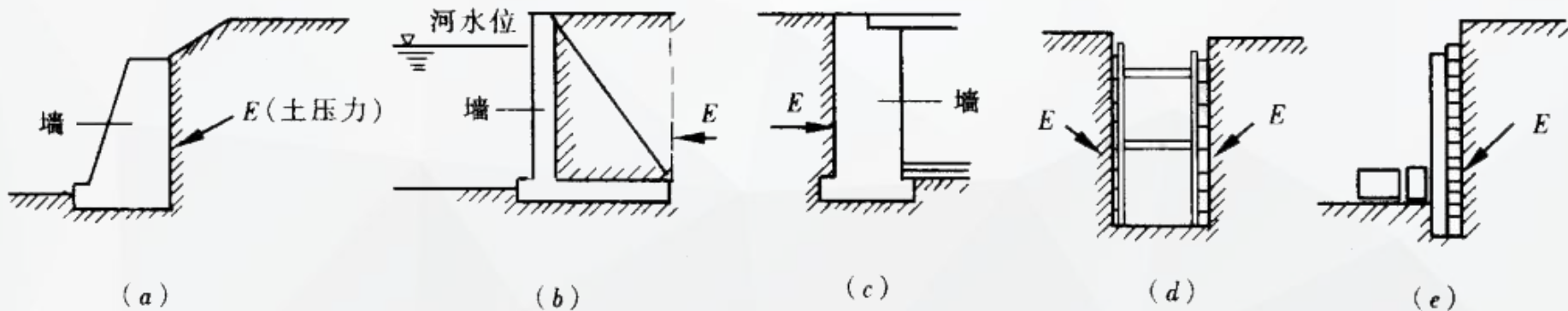


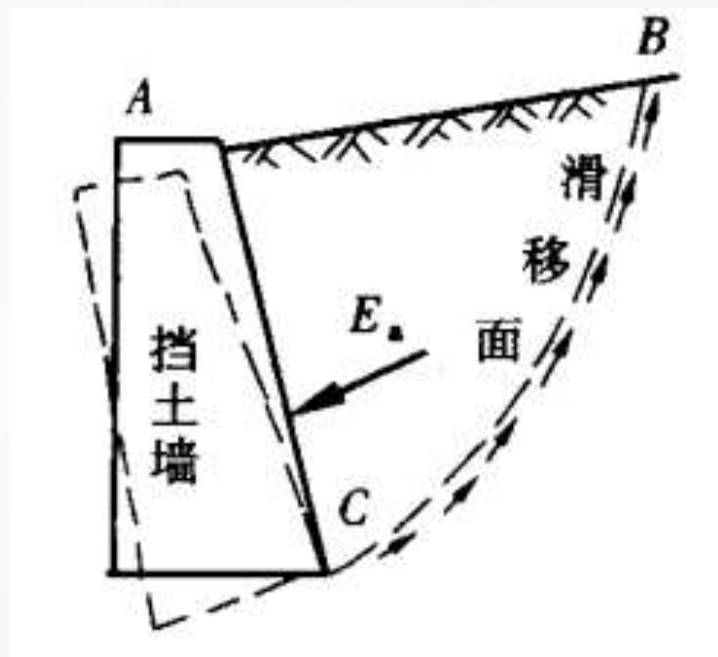
图 1-7 各种挡土结构示意图

(a) 挡土墙；(b) 河堤；(c) 池壁；(d) 支撑；(e) 顶管工作坑后背⁶⁵

1.1 土的工程性质与分类

- 主动土压力

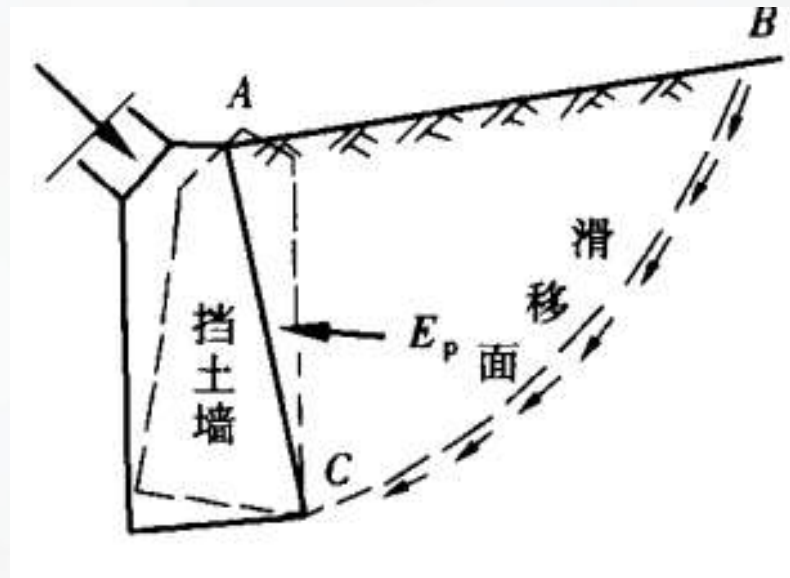
在土推力作用下，挡土结构可能稍微向前移动，并绕墙角C转动。当位移量导致土体ABC有沿潜在滑移面BC向下滑移的趋势，此时在滑移面上产生抗剪强度，而抗剪强度有助于减弱土体对挡土结构的推力，达到极限平衡状态。在这种情况下，产生的位移称**正位移**，产生的极限平衡状态称**主动极限状态**，产生的土压力 E_a 称为**主动土压力**。



1.1 土的工程性质与分类

- 被动土压力

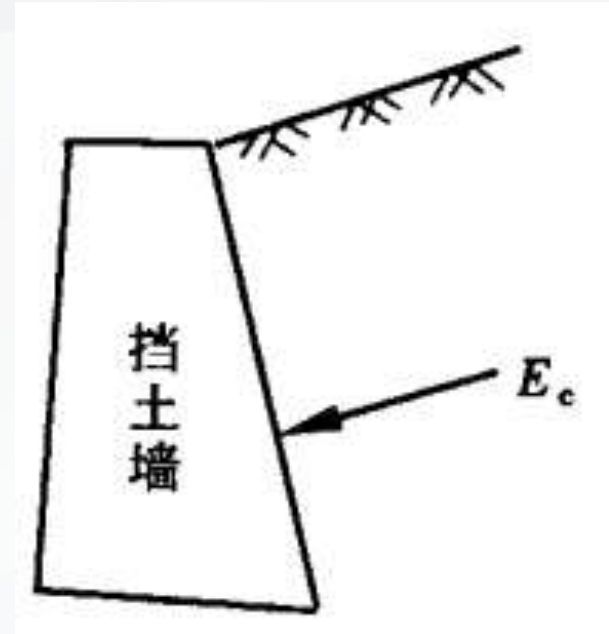
若挡土结构在荷载作用下，推向土体ABC，使土体产生负位移。挡土结构稍微向土体移动，当位移量导致土体ABC有沿潜在滑动面BC向上滑移的趋势，在滑动面上产生抗剪强度。此时，土体对挡土结构的作用方向和BC面上剪应力的方向一致，抗剪强度有助于土体对挡土结构的推力增加，达到极限平衡状态。在这种情况下，土压力 E_p 称为被动土压力。



1.1 土的工程性质与分类

- 静止土压力

挡土墙的刚度很大，在土压力作用下不产生移动或转动，墙后土体处于静止状态，此时作用在墙背上的土压力 E_c 称为静止土压力。



1.2 土石方平衡与调配

- 常见的土石方工程有：

场地平整、基坑(槽)与管沟开挖、路基开挖、人防工程开挖、地坪填土、路基填筑以及基坑回填。

- **场地平整施工**是指对建设场地按设计的要求、并结合当时的地形地貌，进行场区的**土石方平衡**施工。



挖掘机开挖管沟



挖掘机下管



场地平整



1.2 土石方平衡与调配

■ 场地平整的宏观工序

- ① 先平整、后开挖。适于：场地高低不平，挖填方量大的施工现场。
- ② 先开挖、后平整。适于：场地较平坦的施工现场。
- ③ 平整与开挖相结合。适于：分段、区施工的施工现场。

■ 场地平整施工的前期工作

- ① 原建筑物、构筑物、管线等的拆迁、改建。
- ② 种植土、淤泥、树木等的清理。
- ③ 防洪建设、排出积水。
- ④ 五通建设。道路、水（给排水）、电（强电、通讯）、燃气、暖气。
- ⑤ 人员、机械以及施工措施。

1.2 土石方平衡与调配

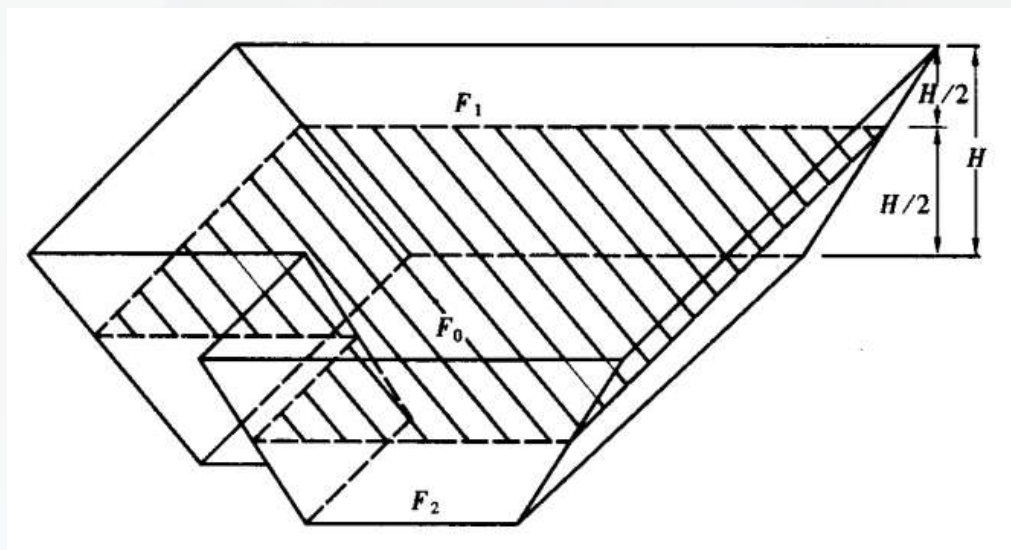
1. 土石方工程量的计算

- 在土石方工程施工之前，通常要计算土石方的工程量。一般情况下，都将其假设划分为一定的几何形状近似计算。
- 在水工程施工中，常用的计算主要有：基坑沟槽土石方计算、场地平整土方量的计算与平衡调配等。

□ 基坑的土方量计算

- **基坑**是在基础设计位置按基底标高和基础平面尺寸所开挖的土坑。
- 基坑是为建筑基础开挖的**临时性**坑井。基坑属于临时性工程，其作用是提供一个空间，使基础的砌筑作业得以按照设计所指定的位置进行。

1.2 土石方平衡与调配



基坑的土方量可以按似柱体积的公式计算：

$$V = \frac{H}{6} (F_1 + 4F_0 + F_2)$$

V ——土方工程量 (m^3) ；

H ——基坑深度 (m) ；

F_1 、 F_2 ——基坑的上、下底面积 (m^2) ；

F_0 ——基坑的中截面面积 (m^2) 。 72

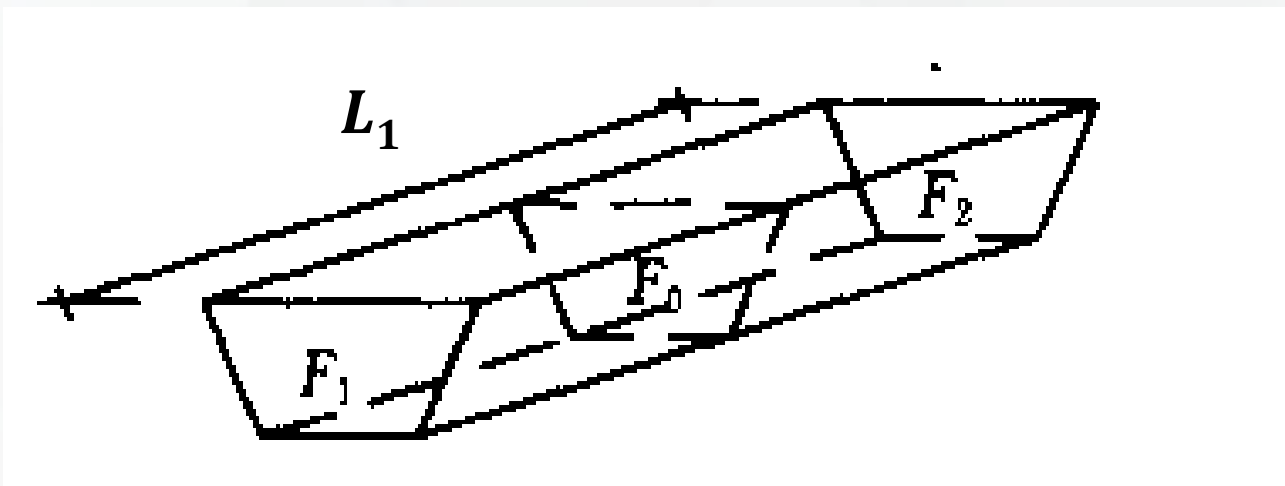
1.2 土石方平衡与调配

□ 基槽土方量计算

基槽：土建工程中沿条形基础开挖的带有一定坡度的形状的沟，或安装工程中土方开挖之后的管沟。



1.2 土石方平衡与调配



基槽（沟槽）土方量计算可沿长度方向分段计算：

$$V_1 = \frac{L_1}{6} (F_1 + 4F_0 + F_2)$$

V_1 ——第一段土方量 (m^3) ；

L_1 ——第一段的长度 (m) ；

F_1 、 F_2 ——基槽两端截面面积 (m^2) ；

F_0 ——基槽中段截面面积 (m^2) 。



1.2 土石方平衡与调配

各土方量为各段土方量之和：

$$V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n$$

V_1 、 V_2 、 \dots 、 V_n ——各分段的土方量 (m^3) 。

该段内基坑（槽）横截面形状、尺寸不变时：

$$V = FL$$

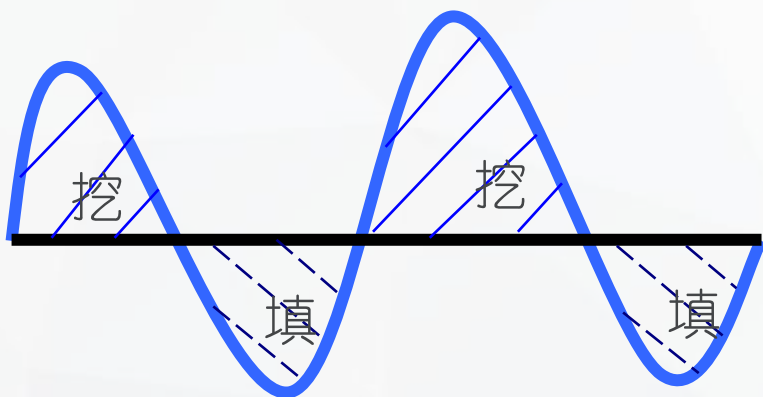
L ——该段基坑（槽）的高（长）度 (m) ；

F ——该段基坑（槽）横截面面积 (m^2)

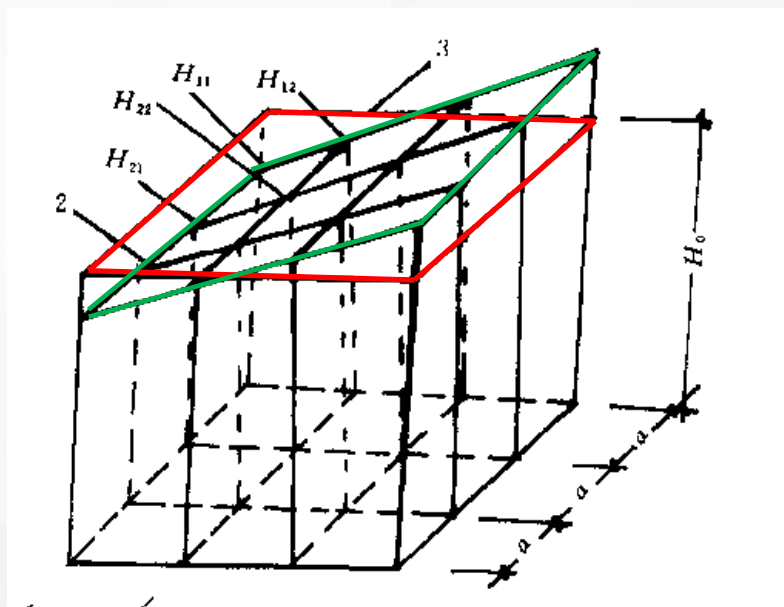
1.2 土石方平衡与调配

□ 场地土方量计算

- 场地平整土方量计算是为了制定施工方案，对填挖方进行合理调配，同时也是检查和验收实际土方数量的依据。



场地平整示意图



2-自然地面 (绿线),
3-场地设计标高示意图 (红线)

1.2 土石方平衡与调配

- 计算方法：方格网法、断面法、三棱柱法。

① 方格网法

- 适用于：场地平缓或在台阶宽度较大的场地采用。
- 计算步骤：
 - a. 根据地形图（一般1/500）将整个场地划分成若干方格网（ $20\text{m} \times 20\text{m}$ 或 $40\text{m} \times 40\text{m}$ ），尽量与测量的纵、横坐标网对应，将设计标高和自然地面标高分别标注在方格点的右上角和右下角。将设计标高与自然地面标高的差值即各角点的施工高度（挖或填），写在方格网的左上角，挖方为“-”，填方为“+”；

1.2 土石方平衡与调配

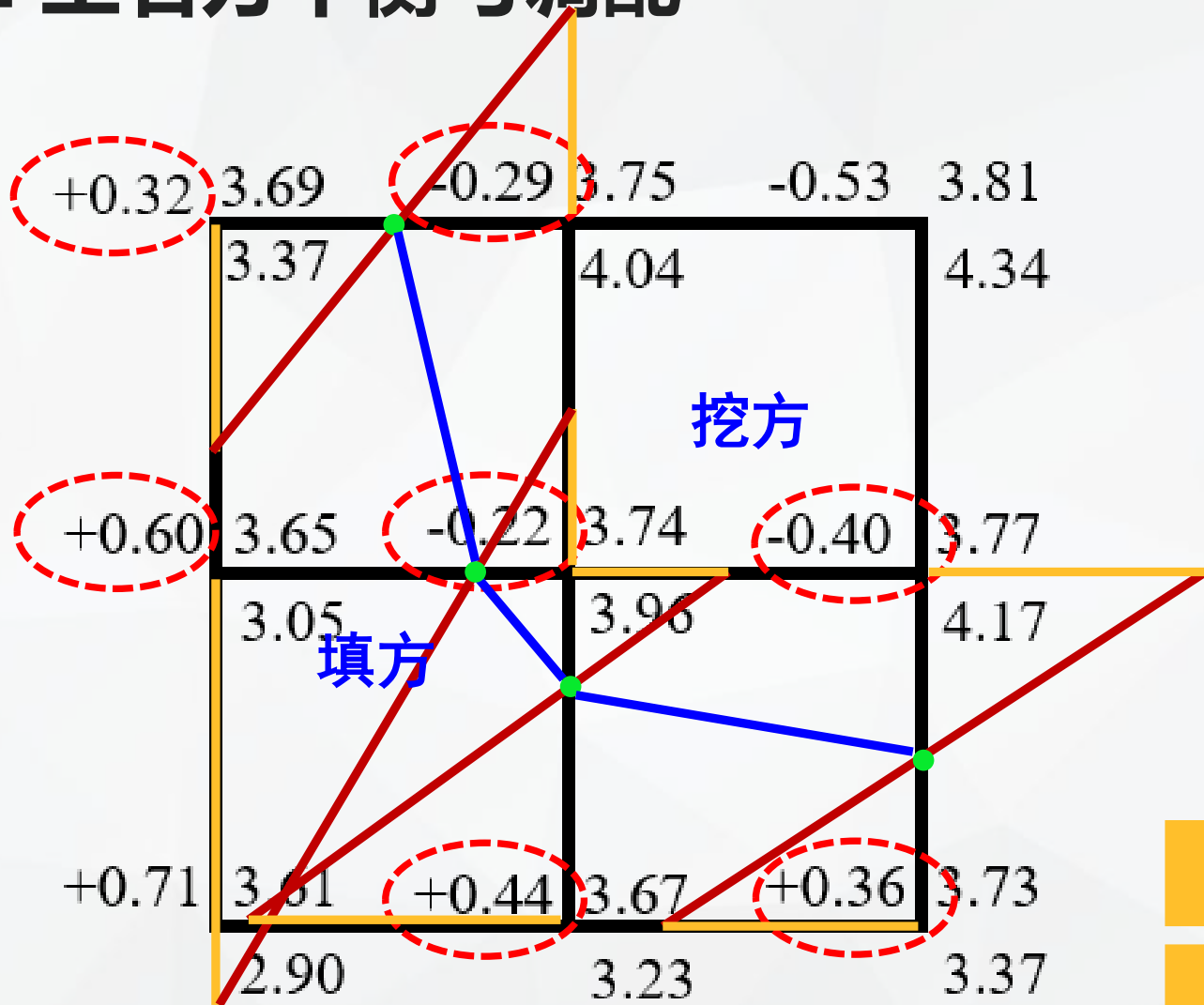
施工高度	设计标高
-0.10	20.62
	20.72
	自然地面标高

$$\text{施工高度} = \text{设计标高} - \text{自然地面标高}$$

- b. 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，并标注于方格网上，连接零点就得零线，它是填方区与挖方区的分界线；



1.2 土石方平衡与调配



80

89

1.2 土石方平衡与调配

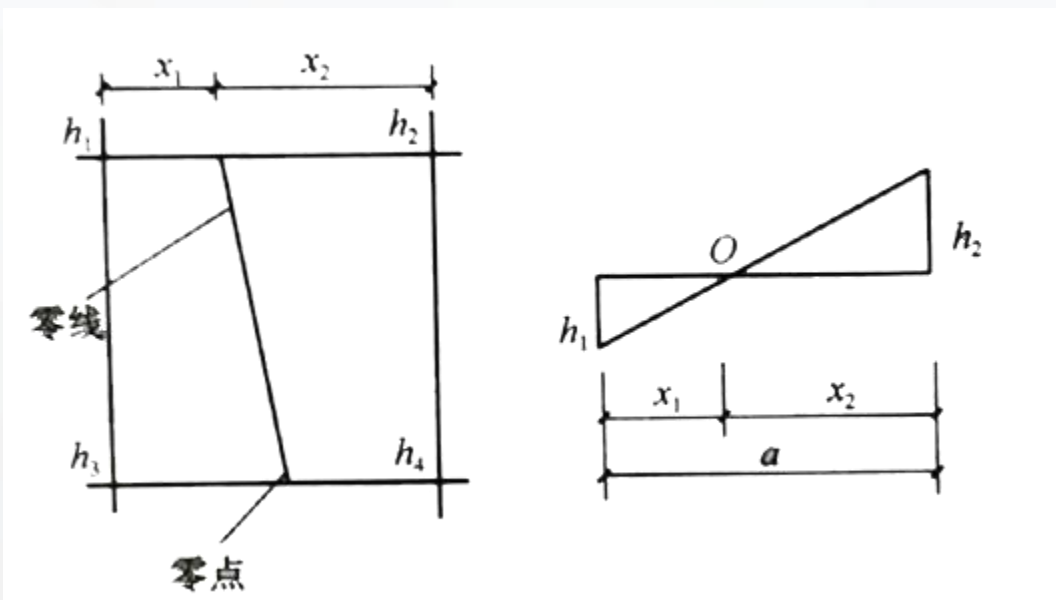
零点位置计算：

$$x_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \times a \quad x_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \times a$$

x_1 , x_2 ——角点至零点的距离 (m) ;

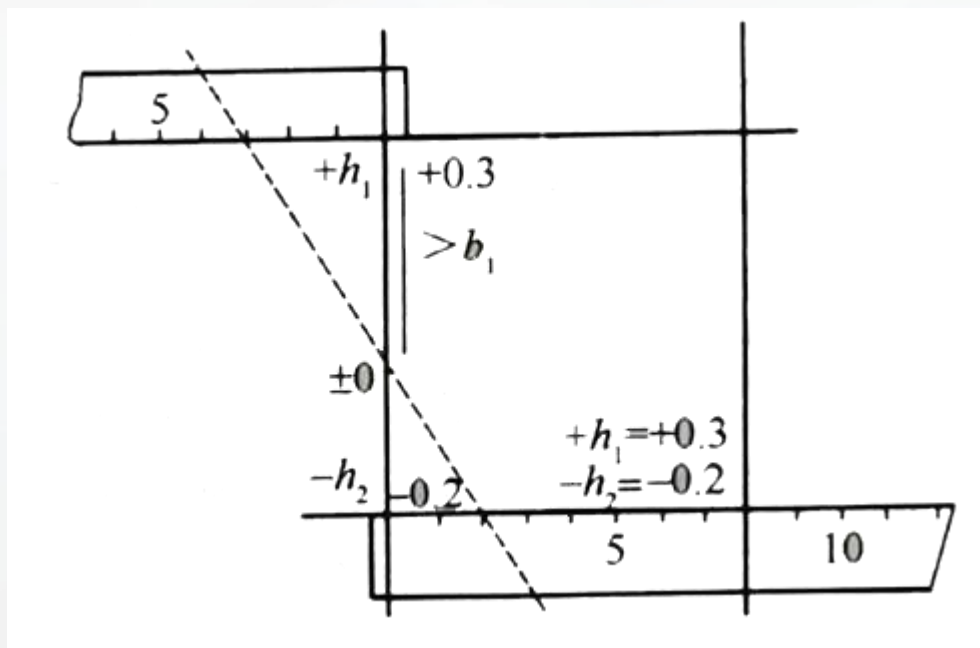
a ——方格网的边长 (m) ;

h_1 , h_2 ——相邻两角点的施工高度 (m) , 均用绝对值。



1.2 土石方平衡与调配

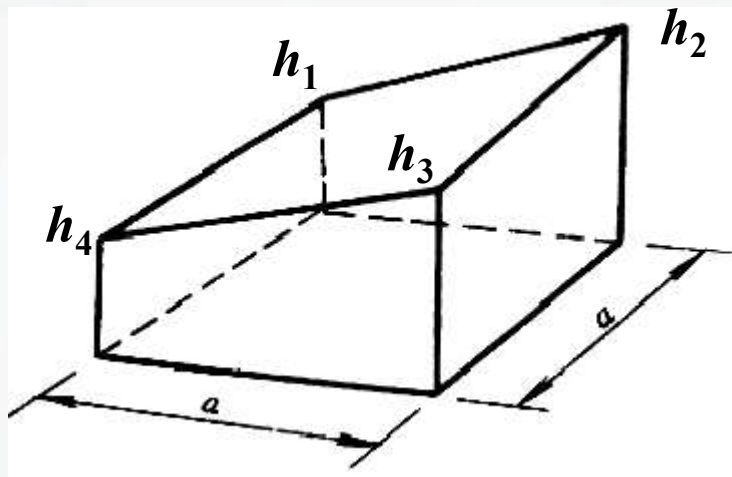
在实际工作中，为省略计算，常用图解法直接求出零点：用尺在各角上标出相应的比例，用尺连接，与方格交点即为零点位置，同时可避免计算或查表出错。



1.2 土石方平衡与调配

c. 计算土方工程量

- 方格四个角点全部为填或挖时，其土方量计算式为：



全挖或全填的方格

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

V ——挖或填方体积 (m^3);

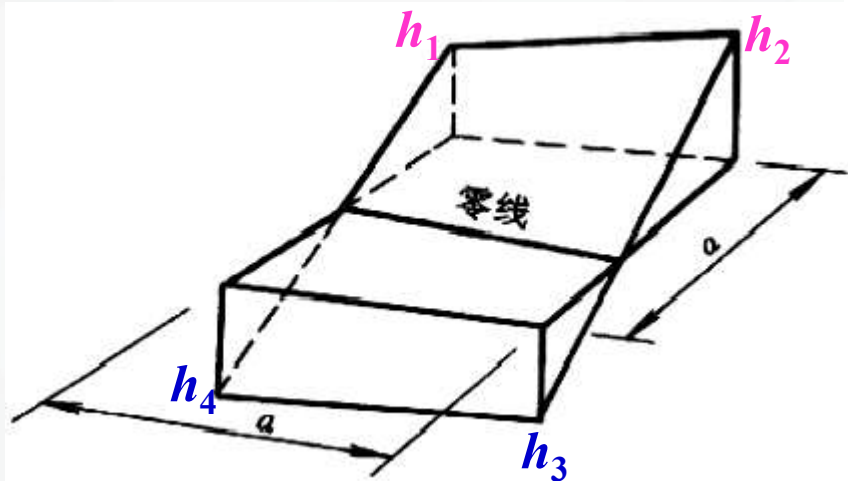
a ——方格边长 (m);

h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 ——方格角点填挖高度 (m)。

1.2 土石方平衡与调配

c. 计算土方工程量

- 方格的相邻两角点为挖方，另两角点为填方：



挖方部分的土方量为：

$$V_{1,2} = \frac{a^2}{4} \left(\frac{h_1^2}{h_1 + h_4} + \frac{h_2^2}{h_2 + h_3} \right)$$

填方部分的土方量为：

$$V_{3,4} = \frac{a^2}{4} \left(\frac{h_3^2}{h_2 + h_3} + \frac{h_4^2}{h_1 + h_4} \right)$$

h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 ——方格四个角点挖或填的施工高度，以绝对值带入 (m)

1.2 土石方平衡与调配

c. 计算土方工程量

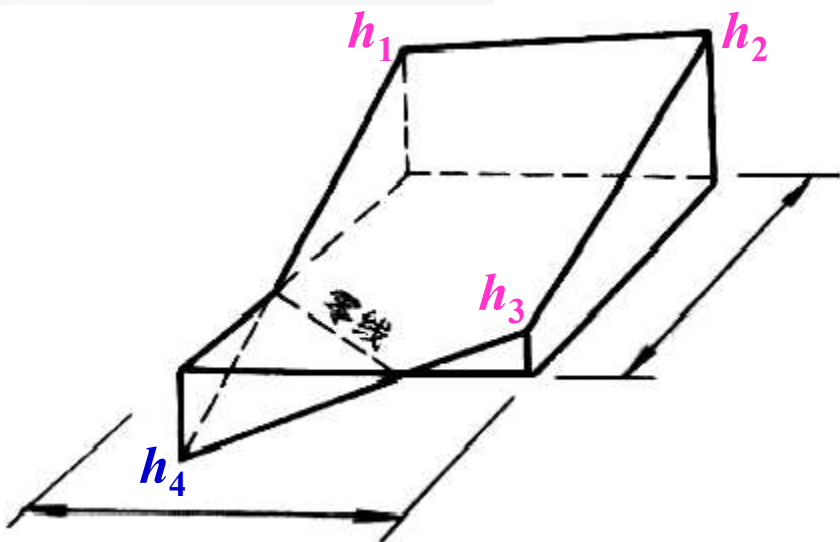
- 方格的三个角点为挖(填)方, 另一角点为填(挖)方时

填方部分的土方量为:

$$V_4 = \frac{a^2}{6} \frac{h_4^3}{(h_1 + h_4)(h_3 + h_4)}$$

挖方部分的土方量为:

$$V_{1,2,3} = \frac{a^2}{6} (2h_1 + h_2 + 2h_3 - h_4) + V_4$$



1.2 土石方平衡与调配

② 横断面法

- **适用于：**地形起伏变化较大的地区，或挖填深度较大又不规则的地区，对于长条形的挖方或填方更为方便。

- **计算方法：**

沿场地取若干个相互平行的断面（可利用地形图或实测定出），将所取的每个断面（包括边坡断面）划分为若干三角形和梯形，计算断面面积和土方体积。

具体方法（自学，P23-24）

③ 三棱柱法（自学，P25）



1.2 土石方平衡与调配

□ 边坡土方量计算

- 为了保持土体的稳定和施工安全，挖填方的边沿，都应作成一定坡度的边坡。场地边坡的土方量，一般可根据近似的几何形体进行计算（如三角棱锥体，三角棱柱体等）。
- 具体方法（自学P25-26）

1.2 土石方平衡与调配

2. 土方的平衡调配

- **土方调配**是对挖土的利用、堆弃和填土三者之间的关系进行综合协调处理。
- 通过土方调配计算确定施工区域中的填挖方区土方的**调配方向和数量**，以达到缩短工期和降低成本，提高经济效益的目的。

□ 土方平衡调配的主要工作

- a. 划分土方调配区；
- b. 计算土方的平均运距和单位土方的运价；
- c. 编制土方调配图表，确定最优调配方案。

1.2 土石方平衡与调配

□ 土方的调配原则

- ① 力求达到挖填基本平衡；
- ② 近期施工与后期利用相结合，尽可能与地下建筑、构筑物的施工相结合；
- ③ 挖（填）方量与运距乘积之和尽可能最小，节约运输成本；
- ④ 好土要用在回填质量要求较高的地区；
- ⑤ 取土或弃土应尽量少占或不占农田；
- ⑥ 合理布置挖填方分区线，选择恰当的调配方向、运输路线，无对流和乱流现象，便于机具调配，机械化施工。

1.2 土石方平衡与调配

□ 土方的调配编制

① 划分调配区

在场地平面图上划出挖填区的分界线（零线），按照方格网法，在挖方区和填方区分别划出若干个调配区。调配区划定后，计算其土方量并标明在图上。

- 调配区的大小应使土方机械和运输车辆的功效得到充分发挥。
- 满足工程施工顺序和分期分批施工的要求，使近期施工和后期施工相协调。
- 如场地范围内土方不平衡时，可考虑就近借土或弃土，此时每个借土区或弃土区可作为独立的调配区。

1.2 土石方平衡与调配

② 计算各挖、填方调配区之间的平均运距

- **平均运距**：挖方区土方重心至填方区土方重心的距离。
- **求调配区重心的方法**：取场地方格网中的纵横两边为坐标轴，以一个角作为坐标原点，按下式求得各调配区土方的重心位置。

$$\bar{X} = \frac{\sum vx}{\sum v} \qquad \bar{Y} = \frac{\sum vy}{\sum v}$$

\bar{X} 、 \bar{Y} ——挖方调配区或填方调配区的重心坐标；

v ——每个方格的土方量；

x 、 y ——每个方格的重心坐标。



1.2 土石方平衡与调配

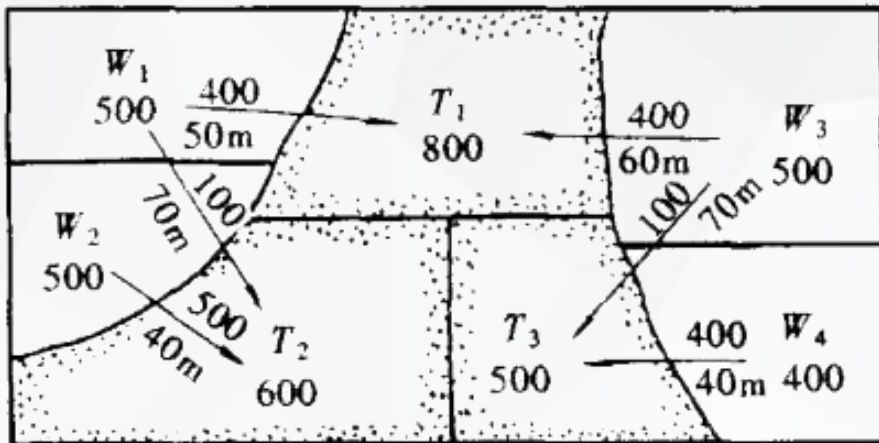
③ 绘出土方调配图，确定最优调配方案

比较各方案的总运输量（即各调配区土方量与运距乘积的总和），其最小值方案即为最优调配方案。将这个方案的调配方向、土方数量及平均运距标在土方调配图上。

④ 列出土方量平衡表

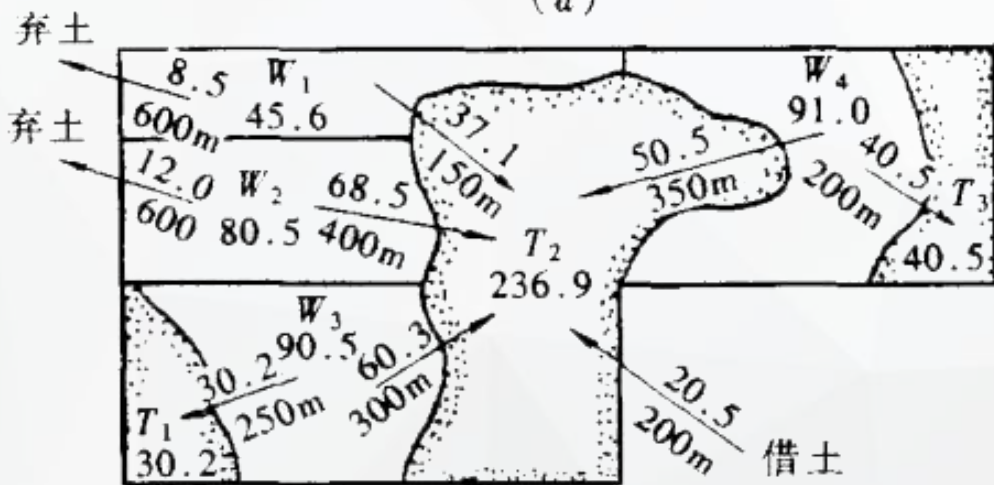
为便于安排作业计划和统筹工作等，将土方调配计算结果列入土方量平衡表。

1.2 土石方平衡与调配



(a)

(a) 场地内挖、填平衡的调配图。
 箭头上方的数字表示土方量(m³)
 箭头下方的数字表示运距(m)



(b)

(b) 有弃土和借土的调配图
 箭头上方的数字表示土方量(100m³)
 箭头下方的数字表示运距(m)。

土方调配图



1.2 土石方平衡与调配

土方量平衡表

挖方区 编号	挖方数量 (m ³)	填方区编号、填方数量 (m ³)			
		<i>T</i> ₁	<i>T</i> ₂	<i>T</i> ₃	合计
		800	600	500	1900
<i>W</i> ₁	500	400 <small>50</small>	100 <small>70</small>		
<i>W</i> ₂	500		500 <small>40</small>		
<i>W</i> ₃	500	400 <small>60</small>		100 <small>70</small>	
<i>W</i> ₄	400			400 <small>40</small>	
合计	1900				

注：表中土方数量栏右上角小方格的数字系平均运距（有时可为土方的单位运价）



1.3 土石方开挖与机械化施工

1. 准备工作

土石方开挖前的准备工作主要包括：

- 拆除或搬迁施工区域内有碍施工的障碍物；
- 修建排水防洪措施，在有地下水的区域，应有妥善的排水措施；
- 修建运输道路和土方机械的运行道路；
- 修建临时水、电、气等管线设施；
- 作好挖土、运输车辆及各种辅助设备的维修检查、试运转和进场工作等。

1.3 土石方开挖与机械化施工

2. 基坑（沟槽）边坡坡度与开挖断面

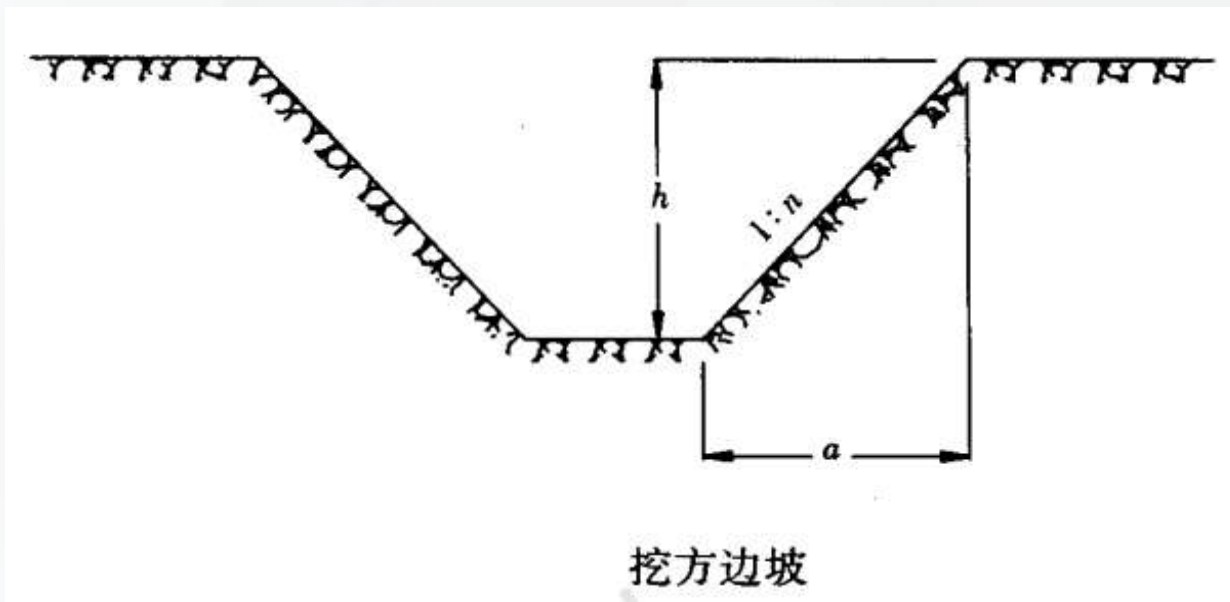
- 散料在堆放时能够保持自然稳定状态的最大角度（单边对水平面的角度），称为“安息角”或“休止角”。



土的自然休止角

- 在土方开挖时，为了保持土壁的稳定性的，人为地近似形成土的“安息角”或“自然休止角”，必须要挖成一定的斜坡，这个斜坡叫做**边坡**。

1.3 土石方开挖与机械化施工



沟槽开挖的边坡常以1:n表示

$$n = \frac{a}{h}$$

n —边坡率;

a —边坡水平长度(m);

h —边坡垂直高度(m)。

n 值愈小，边坡愈陡，土体的下滑力大，一旦下滑力大于该土体的抗剪强度，土体会下滑引起边坡坍塌。



1.3 土石方开挖与机械化施工

□ 基坑（沟槽）边坡坡度与开挖断面选择依据

- 土的种类及其物理力学性质（内摩擦角、粘聚力、湿度、密度等）
- 地下水情况
- 开挖深度、断面尺寸
- 施工方法、晾槽时间
- 周边的环境条件等

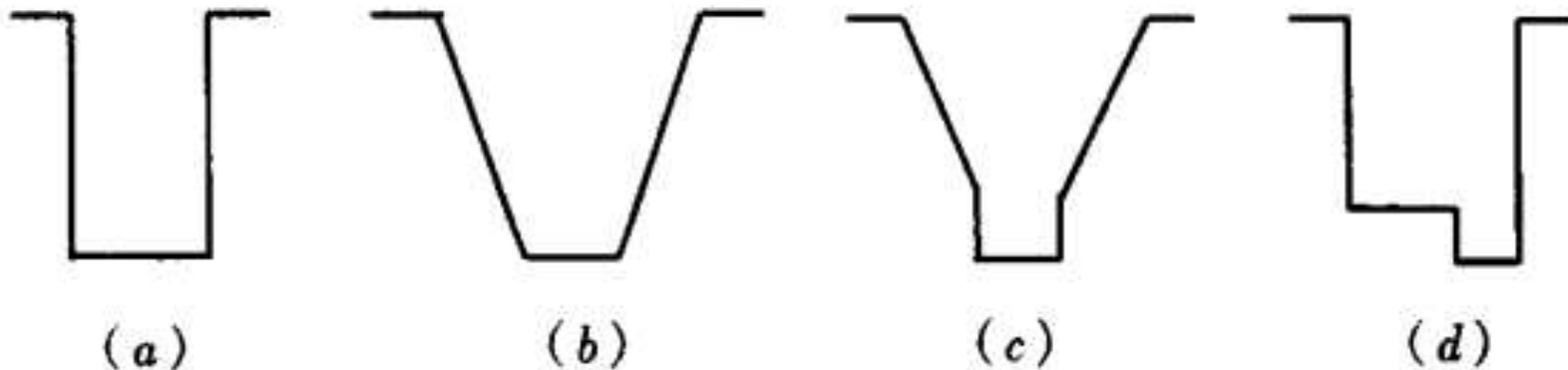


1.3 土石方开挖与机械化施工

- a. 砂土的边坡缓， n 值大；
黏性土的边坡陡， n 值小。
- b. 含水量较大的土，应留有较缓的边坡， n 值大。
- c. 槽上有附加荷载（堆土、其他荷载），应留有较缓的边坡， n 值大或加支撑。
- d. 临时性土方工程，可留较陡的边坡， n 值小。
- e. 沟槽越深，边坡应缓， n 值大，特别是沟槽上部。
- f. 雨季进行土方开挖，应留有较缓的边坡， n 值大或加支撑。

1.3 土石方开挖与机械化施工

- 给水排水管道施工中的沟槽常用断面形式
- 有直槽、梯形槽、混合槽等，当有两条或多条管道共同埋设时，还需采用联合槽。



沟槽断面形式

(a) 直槽；(b) 梯形槽；(c) 混合槽；(d) 联合槽



1.3 土石方开挖与机械化施工

- 直槽——开挖量少、易塌方。适合于：开挖深度在**1m以内**的密实砂土或含水量少于 ω_p （塑限含水量）的粘土。
- 梯形槽——开挖量大，不易塌方。适合于：各类土质的开挖。
- 混合槽——开挖量适中，不易塌方。适合于：开挖深度在**5m以外**的各类土质。
- 联合槽——开挖量视联合形式而定。适合于：**两条及以上**管道同时埋设时的沟槽开挖。

1.3 土石方开挖与机械化施工

- 当采用梯形槽，地质条件良好，且地下水位低于基坑（槽）底面标高时，其最陡坡度应符合下表的规定。
- 设支撑的直槽边坡一般采用1:0.05。

梯形槽的边坡允许值

土的种类	密实度或状态	坡度允许值（高宽比）	
		深度在 5m 以内	深度 5 ~ 10m
碎石土	密 实	1:0.35 ~ 1:0.50	1:0.50 ~ 1:0.75
	中 实	1:0.50 ~ 1:0.75	1:0.75 ~ 1:1.00
	稍 实	1:0.75 ~ 1:1.00	1:1.00 ~ 1:1.25
粉 土	$S_r \leq 0.5$	1:1.00 ~ 1:1.25	1:1.25 ~ 1:1.50
黏性土	坚 硬	1:0.75 ~ 1:1.00	1:1.00 ~ 1:1.25
	硬 塑	1:1.00 ~ 1:1.25	1:1.25 ~ 1:1.50

1.3 土石方开挖与机械化施工

3. 场地平整施工方法

- 场地平整施工过程包括：土方开挖、运输、填筑与压实等，当遇有坚硬土层、岩石或障碍物时，还常需爆破。
- 场地平整的施工方法：在大面积平整时，通常采用机械施工。常用的机械有推土机、铲运机和挖土机等。

□ 推土机施工

□ 铲运机的施工

□ 挖土机施工

} 自学

1.3 土石方开挖与机械化施工

4. 沟槽与基坑开挖施工

- 沟槽、基坑土方的开挖，除工程量不大而又分散时可采用人工或小型机械施工外，应尽量采用机械化施工，以减轻繁重的体力劳动并加快施工速度。
- 沟槽与基坑机械开挖，应依施工具体条件，选择单斗挖土机和多斗挖土机。

□ 单斗挖土机

□ 多斗挖土机

5. 土方机械与运输车辆的配合

自学

1.3 土石方开挖与机械化施工

6. 土方施工发生塌方与流砂的处理

□ 边坡塌方

- 沟槽、基坑边坡的稳定，主要是由土体的内摩阻力和黏结力来保持平衡的，当土地失去平衡，边坡就会塌方。
- 边坡塌方的原因：
 - 边坡过陡：边坡放坡不足，使土体本身的稳定性不够；
 - 边坡土体含水量太大：降雨、地下水或施工用水渗入边坡，土体抗剪能力降低，这是造成塌方的主要原因；
 - 边坡处有附加荷载：基坑、沟槽上边缘附近大量堆土或停放机具；或因不合理的开挖坡脚及受地表水、地下水冲蚀等，增加了土体负担，降低了土体的抗剪强度而引起滑坡和塌方等。

1.3 土石方开挖与机械化施工

□ 边坡塌方

➤ 边坡塌方防治方法：

- 放足边坡；
- 注意排水；
- 减轻附加荷载，放缓边坡；
- 设置支撑。

1.3 土石方开挖与机械化施工

□ 流砂的防治

- **产生原因**：在沟槽、基坑开挖低于地下水位，且采用坑（槽）内抽水时，有时发生坑底及侧壁的土形成流动状态，随地下水涌进坑内而产生流砂。
- **危害**：引起沟槽、基坑边坡塌方、滑坡，如附近有建筑物，会因地基被掏空而使建筑物下沉、倾斜，甚至倒塌。
- **流砂的防治途径**：
 - ① 减小或平衡动水压力；
 - ② 设法使动水压力向下；
 - ③ 截断地下水流。

1.3 土石方开挖与机械化施工

□ 流砂的防治

① 水下挖土法

沉井不排水挖土下沉施工中常用，通过不排水的水下挖土，使坑内外水压相平衡，使其无发生流砂的条件。



沉井施工 看视频

1.3 土石方开挖与机械化施工

② 打钢板桩法

- 将板桩沿基坑周围打入不透水层，便可起到截住水流的作用；
- 或者打入坑底面一定深度这样可将地下水引至坑底以下，不仅增加了渗流长度，而且改变了动水压力方向，从而可减少动水压力。



打钢板桩

1.3 土石方开挖与机械化施工

③ 地下连续墙法

- 利用各种挖槽机械，借助于泥浆的护壁作用，在地下挖出窄而深的沟槽，并在其内浇注适当的材料而形成一道具有**防渗（水）、挡土和承重**功能的连续的地下墙体。
- 施工工艺复杂，成本高，给排水工程中多用于深基础、市政管沟和涵洞、泵站和水池。



地下连续墙

1.3 土石方开挖与机械化施工

④ 人工降低地下水法

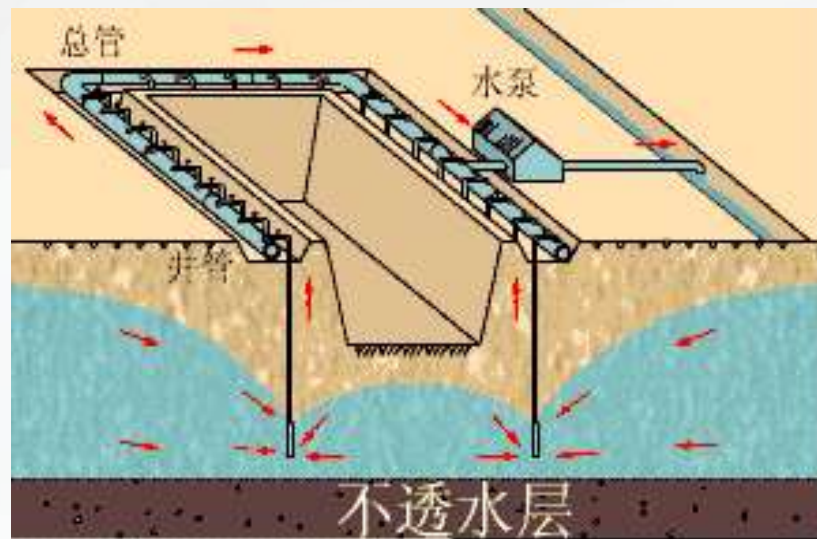
- 常采用的是井点降水法截住水流，不让地下水流入基坑，不仅可防治流砂和土壁塌方，还可改善施工条件。
- 采用较广并较可靠。

⑤ 枯水季节施工

- 地下水位低，坑内外水位差小，动水压力减小，不易产生流砂。

⑥ 抛大石块法

- 基坑开挖中出现流砂现象，抢挖至标高后，立即铺设芦席并抛大石块，增加土的压重，以平衡动水压力。
- 此法对于解决局部或轻微流砂现象是有效的。



轻型井点法人工降低水位

1.3 土石方开挖与机械化施工

□ 滑坡

滑坡是指斜坡上的土体或者岩体，受河流冲刷、地下水活动、雨水浸泡、地震及人工切坡等因素影响，在重力作用下，沿着一定的软弱面或者软弱带，整体地或者分散地顺坡向下滑动的自然现象。

➤ 滑坡体施工中的作业方法：

- 首先应对滑坡区的地质资料作好调查研究。
- 据此正确选择施工程序，并拟定合理的施工方法，确定保持滑坡体稳定的边坡坡度，预防滑坡发生。

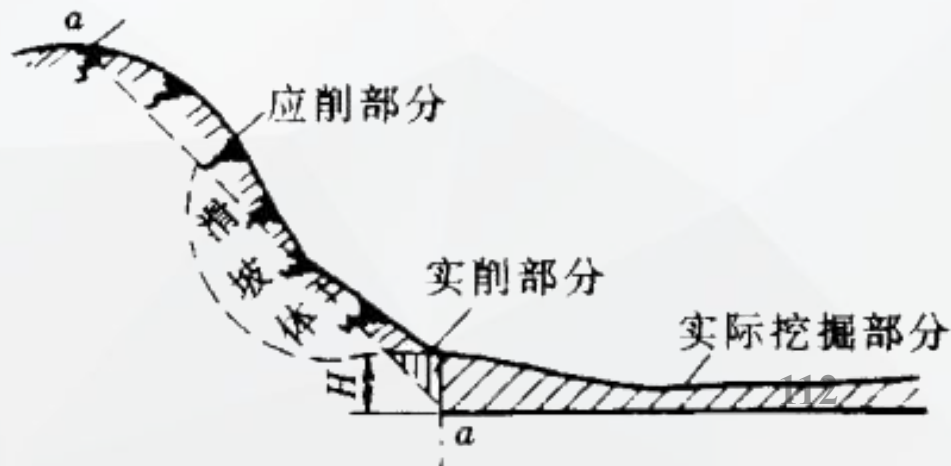
1.3 土石方开挖与机械化施工

□ 滑坡

➤ 在进行开挖和填方时，应注意以下几点：

① 在靠近滑坡边沿处开挖土方——削坡法

- 一般不应切割滑坡体的坡脚；
- 当必须切割坡脚时，应按切割深度，将坡脚随原自然坡度由上向下削坡，逐渐挖至要求的坡脚深度。
- 在正式开挖土方前，应先按确定保持滑坡体稳定的边坡坡度，将应削部分由上而下削除。



1.3 土石方开挖与机械化施工

□ 滑坡

② 在滑坡体上挖填土方

- 当需要在滑坡体内挖方时，应遵守由上至下的开挖程序。若滑坡土方量不大，滑坡体应全部挖除；
- 在滑坡体上进行填方时，应遵守由下至上的施工顺序。此外，尚须在滑坡体的坡脚处，填筑能抵抗滑坡体下滑的土体。



1.3 土石方开挖与机械化施工


7. 土石方爆破施工

- 在土石方施工中，爆破技术常用于地下和水下工程、基坑、管沟开挖、坚硬土层或岩石的破除。此外，在场地平整、施工现场障碍物的清除以及开掘冻土等，也常要采用爆破施工。
- 常用的爆破方法有炮眼爆破、药壶爆破、深孔爆破、小洞室爆破、二次爆破、定向爆破及微差爆破等方法。在水工程中，通常为小面积爆破，一般多采用炮眼爆破法。

——具体方法自学

1.4 沟槽及基坑支撑

- ◆ 定义：支撑是防止沟槽土壁坍塌的一种临时性挡土结构，由木材或钢材做成。支撑的荷载就是原土和地面荷载所产生的侧土压力。
- ◆ 沟槽支撑设置与否应根据土质、地下水情况、槽深、槽宽、开挖方法、排水方法、地面荷载等因素确定。
- 一般情况下，沟槽土质较差、深度较大而又挖成直槽时，或高地下水位砂性土质并采用表面排水措施时，均应支设支撑。



1.4 沟槽及基坑支撑

◆ 支撑结构应满足的要求：

① 牢固可靠、稳定性好


- 材料应坚实、有足够的强度，必要时应计算；
- 支撑各部分连接应牢固、稳定。

② 保证安全、节约用料

- 支撑的目的就是为了安全，因此，支撑本身也应安全；
- 采用可回收、复用材料。

③ 便于支拆和后续施工

- 支拆方便；
- 便于后续工序施工。



1.4 沟槽及基坑支撑

1. 支撑种类及适用条件

- 按支撑形式：横撑、竖撑、板桩撑和锚碇式支撑等。
- 按材质分：木支撑、钢支撑、钢木混合支撑。
- 按撑板间距分：疏撑（断续式），撑板间有间距；
密撑（连续式），撑板间无间距。

1.4 沟槽及基坑支撑

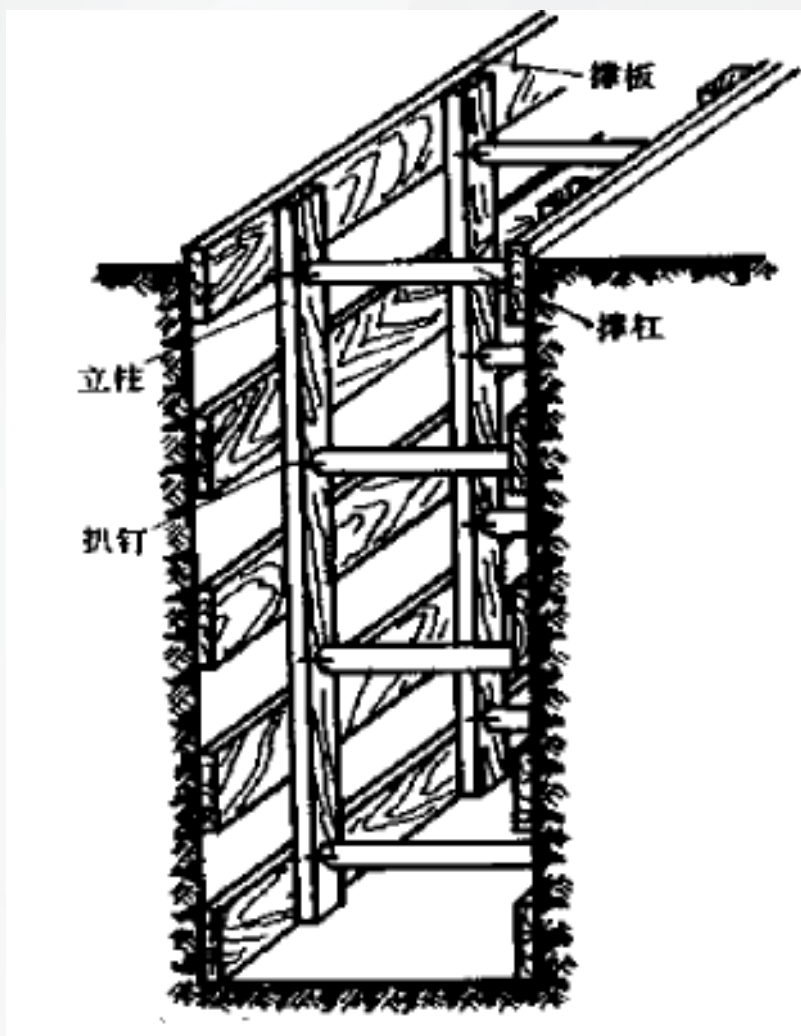
□ 横撑

- 挡土板水平放置。
- 由撑板（挡土板）、立柱和撑杠组成。

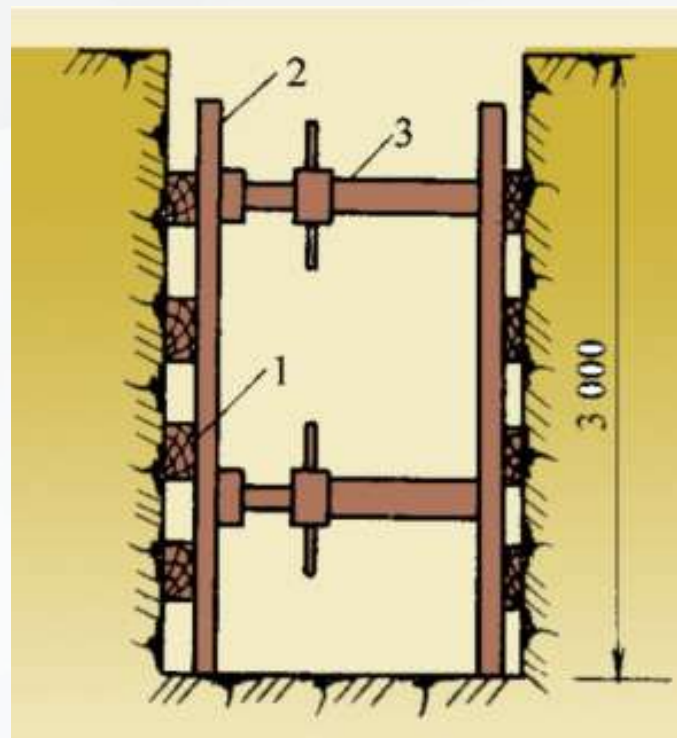


1.4 沟槽及基坑支撑

- 横撑分为断续式横撑和连续式横撑。
 - 断续式横撑是撑板之间有间距。
适用场合：湿度小的粘性土及挖土深度小于3m时。
 - 连续式横撑是各撑板之间密接铺设。
适用场合：较潮湿的或散粒土及挖土深度不大于5m的沟槽。
 - 横撑优缺点：支设容易；拆除较难、安全性差。



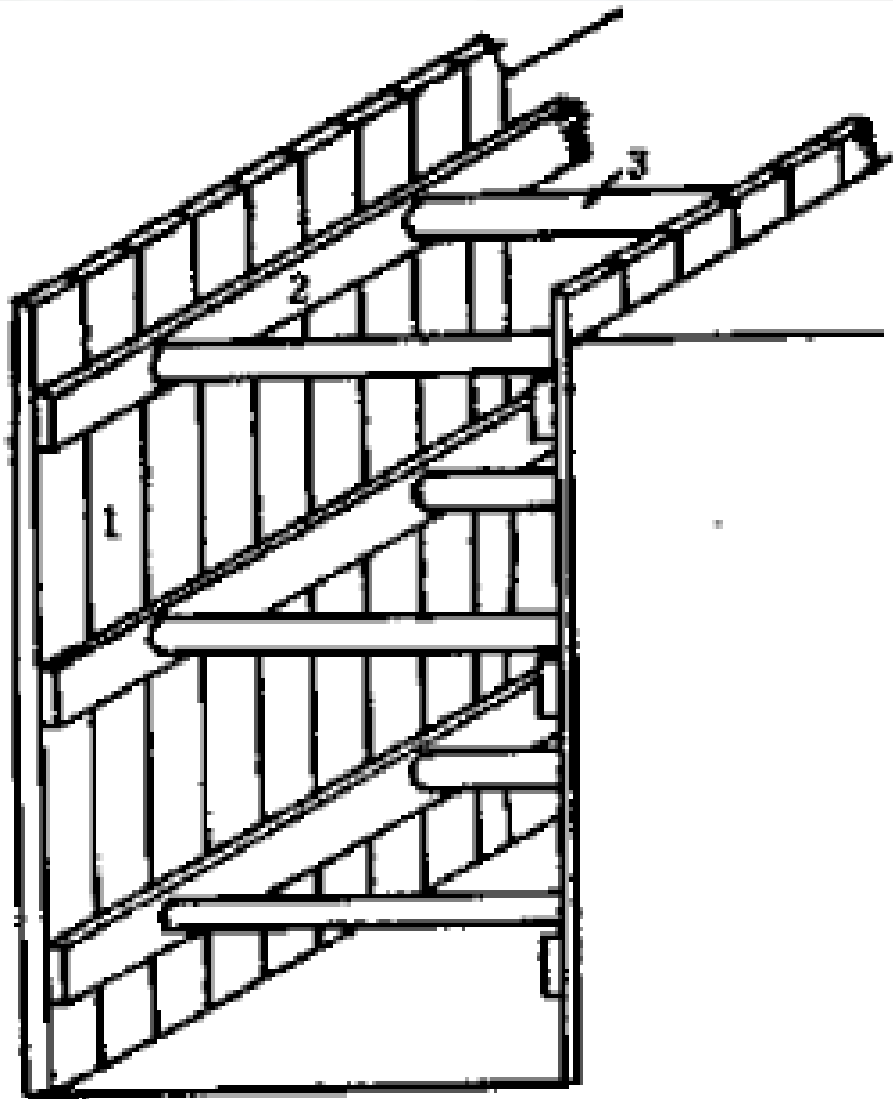
断续式横撑



断续式横撑

- 1—水平撑板
- 2—立柱(竖楞木)
- 3—工具式撑杠

1.4 沟槽及基坑支撑



1—撑板；2—横木；3—撑杠

□ 竖撑

- 竖撑是挡土板垂直连续放置。
- 由撑板（挡土板）、横杠（横木）和撑杠组成。
- 适用场合：松散的和湿度高的土，挖土深度可不限。
- 优缺点：支设困难；拆除较易、安全性好。

1.4 沟槽及基坑支撑

组成——自学

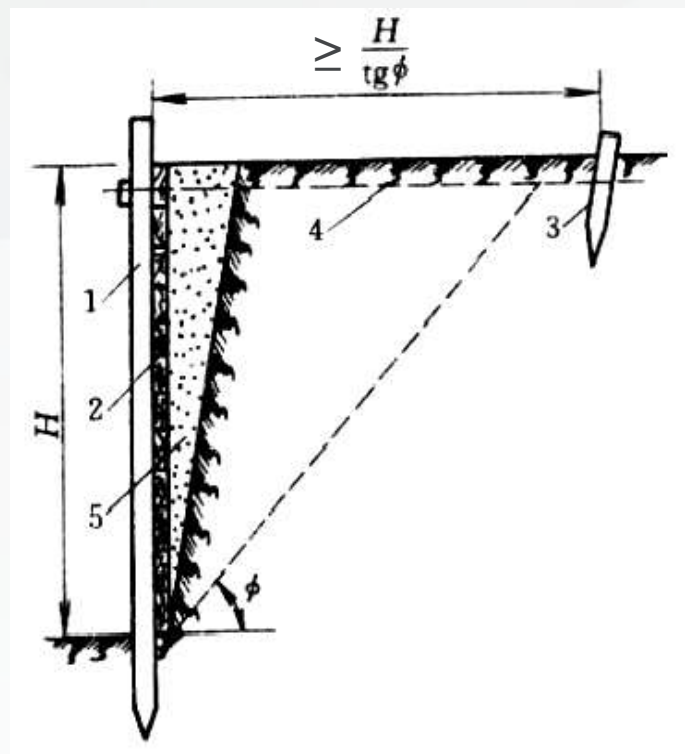
锚碇式支撑

适用场合：

开挖较大**基坑**或使用机械挖土，而不能安装撑杠时。

组成：挡土板、柱桩、锚桩、拉杆等。

- 锚桩必须设置在**土的破坏范围以外**，挡土板水平钉在柱桩的内侧，柱桩一端打入土内，上端用拉杆与锚桩拉紧，挡土板内侧回填土。



1-柱桩；2-挡土板；3-锚桩；4-拉杆；
5-回填土； ϕ -土的内摩擦角

- 优缺点：支设困难；拆除亦难、安全性差。

1.4 沟槽及基坑支撑

□ 其他支撑方法

① 短桩横隔板支撑和草袋等临时挡土墙

- 适用场合：开挖较大基坑，有部分地段下部放坡不足。

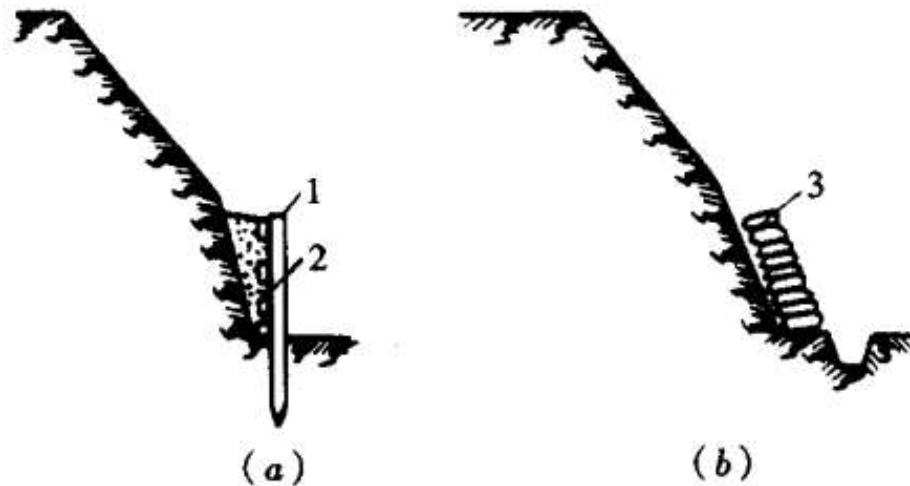


图 1-46 加固土壁措施

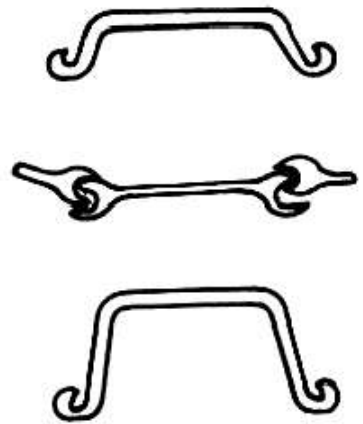
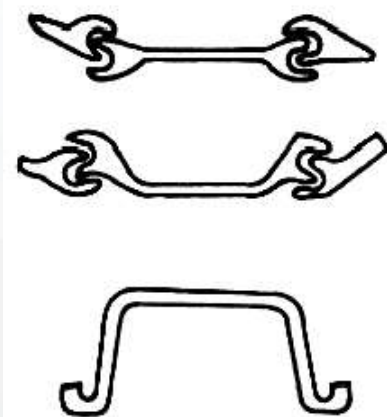
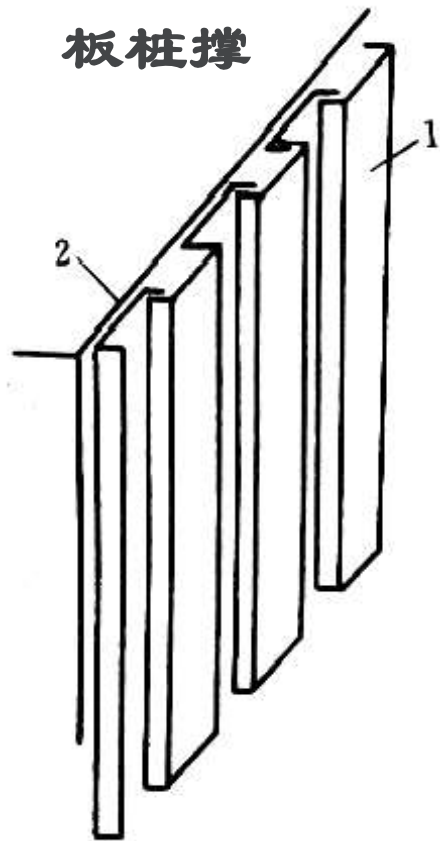
(a) 短桩横隔板支撑；(b) 临时挡土墙

1—短桩；2—横隔板；3—装土草袋

1.4 沟槽及基坑支撑

② 打设钢板桩支撑法（安全可靠性能最高）

- **适用场合：**开挖深度较大的沟槽和基坑，当地下水很多且有带走土粒的危险时，若不采用人工降低地下水位法，可采用打设钢板桩支撑法。
- 使板桩打入坑底以下一定深度，增加地下水从坑外流入坑内的渗流路径，减少水力坡度，降低动水压力，以防止流砂发生。





钢板桩支撑

1.4 沟槽及基坑支撑

2. 支撑的计算

- 支撑的计算就是计算**撑板、立柱、横木以及撑杠抵抗土的侧土压力的能力**。
- 利用结构力学、材料力学的知识进行：
 - ① 新做支撑构件尺寸设计计算
 - ② 现有支撑构件尺寸复核计算（**撑板的最大弯曲应力应小于材料容许弯曲应力**），调整立柱和横撑的间距，以确定支撑的形式。

具体计算——自学

1.4 沟槽及基坑支撑

3. 支撑的设置和拆除

□ 支撑的设置

➤ 支设程序一般为：

• 支设撑板并要求紧贴槽壁

• 安设立柱（或横木）和撑杠，必须横平竖直、支设牢固

➤ 竖撑支设过程为：

• 将撑板密排立贴在槽壁，再将横木在撑板上下两端支设并加撑杠固定


• 然后随着挖土，撑板底端高于槽底，再逐块将撑板锤打到槽底

注意：

（1）撑板平整、紧贴土壁；

（2）横平竖直、支设牢固；

（3）逐层开挖、逐层支设。



1.4 沟槽及基坑支撑

□ 倒撑

更换立柱和撑杠位置的操作，叫做**倒撑**；

- 施工时，需进行倒撑的情况：
 - 当原支撑妨碍下一工序进行；
 - 原支撑不稳定；
 - 一次拆撑有危险等。
- 注意：
 - (1) 精心设计、确定倒撑位置；
 - (2) 注意安全、保证倒撑成功。



1.4 沟槽及基坑支撑

□ 加撑

- 当支撑系统受到外界因素影响而破坏，有可能出现塌方等危险时，应加撑。
- 及时加撑、拆换受损部件。

□ 拆除

- 拆除与回填同时进行、**边填边拆**；
- 拆撑时注意安全，**继续排除地下水**，避免材料损耗。
- 撑板和立木较长时可在还土后或倒撑后拆除。



1.5 土方回填

◆ 回填的目的：

- ① 保护管道、构筑物不受破坏，位置不会改变；
- ② 避免土方坍塌；
- ③ 及早恢复并平整地面。



1.5 土方回填

1. 场地平整回填

□ 回填土料选择与填筑

➤ 回填用的土料，应符合如下规定：

- 含水量大的黏土，不宜作回填土用；
 - 碎石类土、砂土和爆破石碴等，可用于表层以下的填料；
 - 对碎块草皮和有机质含量大于8%的土，仅用于无压实要求的填方区。
- 填土应**分层进行**，每层厚度应根据土的种类及选用的压实机具确定。

1.5 土方回填

□ 回填土料选择与填筑

- 同一填方工程应尽量采用同类土填筑；
如采用不同土料时，应按土类分层铺填，并应将透水性较大的土层置于透水性较小的土层之下。
- 当填土区位于倾斜的地面时，应先将斜坡挖成阶梯状，然后分层填土，防止填土滑动。
- 填方边坡的坡度应根据土的种类、填方高度及其重要性确定：
 - 通常对于永久性填方边坡应按设计规定或查阅有关资料选用。
 - 对使用时间较长的临时性填方边坡坡度，当填土高度在10m以内，可采用1:1.5，高度超过10m可作成折线形，上部为1:1.5，下部采用1:1.75。

1.5 土方回填

□ 填土压实方法

填土压实一般有：**碾压**、**夯实**、**振动压实**及**利用运土工具压实**等方法。

- 碾压法主要用于**大面积的填土**，如场地平整、大型车间地坪填土等。碾压机械一般有平碾压路机和羊足碾两种。碾压方向**应从填土两侧逐渐压向中心**。
- 对于密实度要求不高的大面积填方，可利用运土工具压实法。





1.5 土方回填

2. 沟槽、基坑土方回填

- 沟槽回填应在管道验收后进行，基坑要在构筑物达到足够强度再进行回填土方。
- 回填的施工过程包括还土、摊平、夯实、检查等工序。其中关键的工序是夯实，应符合设计所规定的压实度要求（回填土压实度要求和质量指标通常以压实系数 λ_c 表示）。

1.5 土方回填

□ 回填土方的压实方法

沟槽和基坑回填压实方法有**夯实**和**振动**。

- **振动法**：将重锤放在土层表面或内部，借助振动设备使重锤振动，土壤颗粒即发生相对位移达到紧密状态。**适用于非黏性土壤**。
- **夯实法**：利用夯锤自由下落的冲力来夯实土壤，**是沟槽、基坑回填常用的方法**。
- 常用的夯实机具有：蛙式夯、内燃打夯机、履带式打夯机及压路机等。

1.5 土方回填

① 蛙式夯

➤ 优点：构造简单、轻便，使用广泛。

➤ 施工参数：

采用功率2.8kW蛙式夯，在最佳含水量条件下，铺土厚20cm，夯击3~4遍，可达到回填土密实度要求的压实系数 $\lambda_c=0.95$ 。





1.5 土方回填

② 内燃打夯机(火力夯)

➤ 适用场合：

夯实沟槽、基坑、墙边墙角还土较为方便。

③ 履带式打夯机

➤ 利用挖土机或履带式起重机改装重锤后而成。

➤ 适用场合：

沟槽上部夯实或大面积回填土方夯实。



履带式打夯机







1.5 土方回填

□ 土方回填的施工要点

- ① 还土一般用沟槽或基坑**原土**，回填土土质应保证回填密实。
- ② 回填土应具有**最佳含水量**。高含水量原土可采用晾晒，或加白灰使其达到最佳含水量。低含水量原土则应洒水。
- ③ 还土时沟槽或基坑应**继续排水**，防止槽壁坍塌和管道或构筑物漂浮事故。
- ④ 根据构筑物和管道的不同特点，确定回填和夯实顺序。
- ⑤ 回填前应建立回填制度（压实工具、还土含水量和铺设厚度、压实后厚度、夯击遍数、走夯形式等）。

1.5 土方回填

- ⑥ 沟槽回填，应在管座混凝土强度达到5MPa后进行。回填时，两侧胸腔应同时分层还土摊平，夯实也应同时以同一速度进行。
- ⑦ 管子上方土的回填，从纵断面上看，在厚土层和薄土层之间，均应有一较长的过渡地段，以免管子受压不均发生开裂。相邻两层回填土的分段位置应错开。夯间应有一定量的搭接。
- ⑧ 应根据管子和管沟的强度确定回填方法。
- ⑨ 每层土夯实后，应检测密实度。
- ⑩ 回填应是槽上土面略呈拱形，防止地面日久下凹。拱高一般取1/20槽宽或15cm。



1.6 地基处理

- ◆ 软弱土：土质松散、压缩性高、抗剪强度低的软土，松散砂土和未经处理的填土。
- ◆ 地基处理的目的：提高地基允许承载力，满足荷载的要求。
 1. 改善土的剪切性能，提高抗剪强度；
 2. 降低软弱土的压缩性，减少基础的沉降或不均匀沉降；
 3. 改善土的透水性，起着截水、防渗的作用；
 4. 改善土的动力特性，防止砂土液化；
 5. 改善特殊土的不良地基特性（主要是指消除或减少湿陷性黄土的湿陷性和膨胀土的胀缩性等）。

1.6 地基处理

- ◆ 地基处理的方法：换土垫层、挤密与振密、压实与夯实、排水固结和浆液加固等几类。
- ◆ [各类方法及其原理与作用见表。](#)
- 各种方法的具体采用，应从当地地基条件、目的要求、工程费用、施工进度、材料来源、可能达到的效果以及环境影响等方面进行综合考虑。
- 并通过试验和比较，采用合理、有效和经济的地基处理方案，必要时还需要在构筑物整体性方面采用相应的措施。
- ◆ 地基处理具体方法——自学

地基处理方法分类

分类	处理方法	原理及应用	适用范围
换土 垫层	素土垫层 砂垫层 碎石垫层	挖除浅层软土，用砂、石等强度较高的土料代替，以提高持力层土的承载力，减少部分沉降量；消除或部分消除土的湿陷性、胀缩性及防止土的冻胀作用；改善土的抗液化性能	适用于处理浅层软弱土地基、湿陷性黄土地基（只能用灰土垫层）、膨胀土地基、季节性冻土地基
挤密 振实	砂桩挤密法 灰土桩挤密法 石灰桩挤密法 强夯法	通过挤密或振动使深层土密实，并在振动挤压过程中，回填砂、砾石等材料，形成砂桩或碎石桩，与桩周土一起组成复合地基，从而提高地基承载力，减少沉降量	适用于处理砂土、粉土或部分黏土颗粒含量不高的黏性土
碾压 夯实	机械碾压法 振动压实法 重锤夯实法 强夯法	通过机械碾压或夯压实土的表层，强夯法则利用强大的夯击，能迫使深层土液化和动力固结而密实，从而提高地基土强度，减少部分沉降量，消除或部分消除黄土的湿陷性，改善土的抗液化性能	一般适用于砂土、含水量不高的黏性土及填土地基。强夯法应注意其振动对附近（约 30m 范围内）建筑物的影响
排水 固结	堆载预压法 砂井堆载预压法 排水纸板法 井点降水预压法	通过改善地基的排水条件和施加预压荷载，加速地基的固结和强度增长，提高地基的强度和稳定性，并使基础沉降提前完成	适用于处理厚度较大的饱和软土层，但需要具有预压的荷载和时间，对于厚的泥炭层则要慎重对待
浆液 加固	硅化法 旋喷法 碱液加固法 水泥灌浆法 深层搅拌法	通过注入水泥、化学浆液、将土粒粘结；或通过化学作用机械拌和等方法，改善土的性质，提高地基承载力	适用于处理砂土、黏性土、粉土、湿陷性黄土等地基，特别适用于对已建成的工程地基事故处理