



水利造价信息网

2021

全国一级造价工程师职业资格考试
《建设工程技术与计量》

——（水利工程）考点精讲

主讲老师：吕桂军

第一章

工程地质

工程地质学在水利水电工程建设中的主要任务是：

- (1) 选择工程地质条件最优良的建筑地址。
- (2) 查明建筑地区的工程地质条件和可能发生的不良工程地质作用。
- (3) 根据选定地址的工程地质条件，提出枢纽布置、建筑物结构类型、施工方法及运营使用中应注意的事项。

第一节 岩（土）体的工程特性

第一节 岩（土）体的工程特性

（一）土的组成和结构。土是由不同成因的岩石，在长期的自然历史进程中，经各种风化（包括物理风化、化学风化与生物风化）作用后，以不同的搬运方式，在不同的地点沉积下来的由矿物颗粒、流体水和气体三相组成的松散集合体。其形成历史在地质年代中相对较短，因此也称为第四纪沉积物。

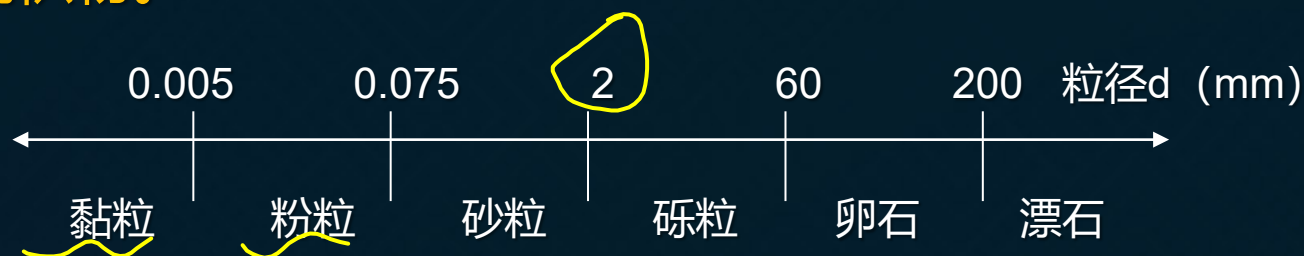


图1-1-1 土的粒径分组

1.土的固相

土的固体颗粒是三相中的主体，是决定土的工程性质的主要成分。

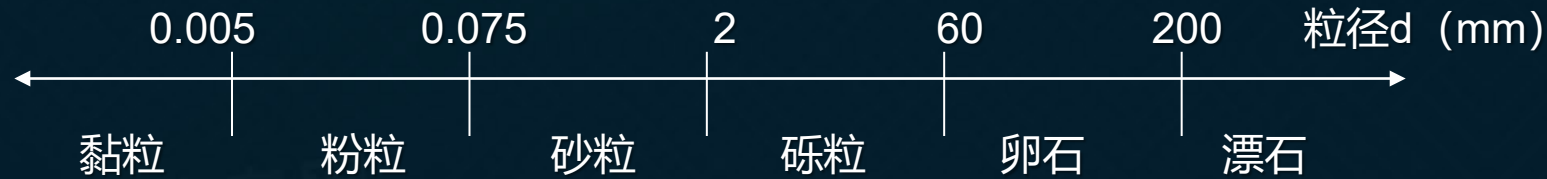


图1-1-1 土的粒径分组

2.土的液相。

指固体颗粒之间的水，分为结合水和自由水两大类。结合水是附着于土粒表面，受土粒表面电分子引力作用而不服从水力学规律的土中水，有强结合水和弱结合水两种。自由水是处于土粒表面引力作用范围以外的土中水，与普通水无异，包括重力水和毛细管水两种。

【例-单选题】常见的黏土矿物（ ）。

- A.高岭石
- B.伊利石
- C.石英
- D.蒙脱石
- E.金刚石

【参考答案】 ABD

【解析】 常见的黏土矿物有高岭石、伊利石和蒙脱石等。

【例-单选题】自由水可分为重力水和（ ）。

- A.吸着水
- B.毛细水
- C.薄膜水
- D.结合水

【参考答案】 B

【解析】土的液相可分为:①结合水,是指附着于土粒表面,受土粒表面电分子引力作用而不服从水力学规律的土中水。②自由水,是指处于土粒表面引力作用范围以外的土中水,包括重力水和毛细水。

【例-单选题】不能传递静水压力的土中水是（ ）。

- A.结合水 B.自由水 C.重力水 D.毛细水

【参考答案】A

【解析】土中水分分为结合水和自由水两大类。结合水是附着于土粒表面，受土粒表面电分子引力作用而不服从水力学规律的土中水，有强结合水和弱结合水两种。结合水流动性相对较差，不能传递静水压力。自由水是处于土粒表面引力作用范围以外的土中水，与普通水无异，包括重力水和毛细管水两种。自由水是处于土粒表面引力作用范围以外的土中水，与普通水无异，包括重力水和毛细管水两种，可以传递静水压力。



3.土的气相。在非饱和土的孔隙中，除水外还存在着气体。土中气体主要是空气，有时也可能存在二氧化碳、沼气及硫化氢等。存在于土中的气体可分为两种基本类型：一种是与大气连通的气体；另一种是与大气不连通的以气泡形式存在的封闭气体。

4.土的结构可归纳为三种基本类型，即单粒结构⁽¹⁾、蜂窝结构⁽²⁾和絮凝结构⁽³⁾。

(二)土的物理力学性质指标

1.试验测定指标及换算指标

指标分类	指标名称	计算公式	备注
试验测定指标	天然密度	$\rho = m/V$	总质量比体积
	天然重度	$\gamma = W/V$	总重量比体积
	含水率	$\omega = m_w/m_s \times 100\%$	水比干土
	比重	$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w}$	相当于土的密度
换算指标	孔隙比	$e = V_v/V_s$	孔隙体积比土粒体积
	孔隙率	$n = V_v/V \times 100\%$	孔隙体积比总体积
	饱和度	$S_r = V_w/V_v \times 100\%$	水体积比孔隙体积
	饱和重度	$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V}$	水土重量之和比总体积
	饱和密度	$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	水土质量之和比总体积
	有效重量	$\gamma' = \frac{W_s - V_s \gamma_w}{V} = \gamma_{sat} - \gamma_w$	有效重力比总体积
	有效密度	$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} = \rho_{sat} - \rho_w$	有效质量比总体积
	干重度	$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$	干土总量比总体积
	干密度	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	干土质量比总体积

【例-单选题】土的物理力学性质指标中，通过试验测定指标换算获得的是（ ）。

- A.土的天然密度
- B.含水率
- C.土的容重
- D.干密度

【参考答案】 D

【解析】 试验测定指标:土的天然密度(重度)、土的含水率、土粒比重；换算指标:孔隙比和孔隙率、饱和度、饱和重度和饱和密度、有效重度（浮重度）与有效密度、干重度与干密度。

3.土的物理状态

1)砂土的密实状态

孔隙比越大则土体中的孔隙体积越大，土体越松。但根据孔隙比评定土体的密实度没有考虑级配的影响，同样密实度当土体颗粒均匀时 e 值较大，而当颗粒大小混杂时 e 值较小；级配不同的土体， e 值相同，它们变密的趋势却不相同。因此，常用相对密度 D_r 判定砂土的密实度：

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



式中, $e_{\max}$ 为砂土在最疏松状态的孔隙比, 即最大孔隙比; $e_{\min}$ 为砂土在最紧密状态的孔隙比, 即最小孔隙比; e 为砂土在天然状态的孔隙比。 $((D_r < 0.33$ 时, 疏松; $D_r = 0.33 \sim 0.67$ 时, 中密; $D_r > 0.67$ 时, 密实。))

常采用现场标准贯入试验(SPT)所获得的标准贯入击数 $N_{63.5}$ 来判定砂土的密实度。标准贯入试验是常用的一种原位试验方法，测得的标准贯入击数是采用标准质量为63.5kg的击锤，落距为76cm，击入土层中的深度为30cm时所需的锤击数量，很明显，击数越大，土层越密实。

表1-1-2 砂土的密实度 ✕

标准贯入试验锤击数	密实度
$N_{63.5} \leq 10$	松散 ✓
$10 < N_{63.5} \leq 15$	稍密 ✓
$15 < N_{63.5} \leq 30$	中密 ✓
$N_{63.5} > 30$	密实 ✓

【例-单选题】 工程现场用标准贯入试验测砂土密实度，标准锤击数为13，砂土的密实度为（ ）。

- A.松散 B.稍密 C.中密 D.密实

【参考答案】 B

【解析】

标准贯入试验锤击数	密实度
$N_{63.5} \leq 10$	松散
$10 < N_{63.5} \leq 15$	<u>稍密</u>
$15 < N_{63.5} \leq 30$	中密
$N_{63.5} > 30$	密实

2)黏性土的稠度状态

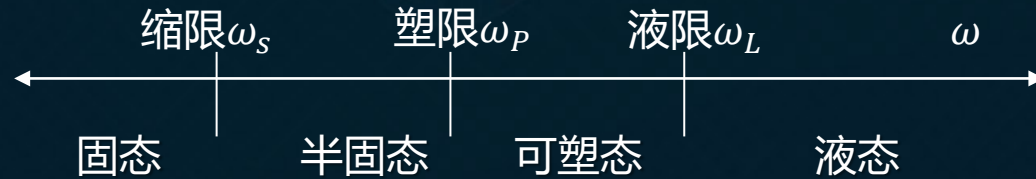


图1-1-2 土的稠度状态及界限含水率

将土体从一种状态过渡到另一种状态的分界含水率称为界限含水率。土体液态和可塑态的界限含水率称为液限，以 ω_L 表示；土体的可塑态与半固态的分界含水率称为塑限，以 ω_P 表示；土体的固态与半固态的分界含水率称为缩限，以 ω_S 表示。黏性土处于可塑状态时，土具有可塑性，是区别黏性土和无黏性土的重要特征之一。可塑性是土体在外力作用下形状可以发生变化而不产生裂缝，外力移去后形状仍能保持不变的特性。

(2) 塑性指数和液性指数。

土体液限和塑限的差值称为塑性指数，以 I_p 表示：

$$I_p = \omega_L - \omega_p$$

液性指数是判别黏性土的软硬程度，即稠度状态的指标，也称

稠度，以 I_L 表示： $I_L = \frac{(\omega - \omega_p)}{(\omega_L - \omega_p)}$ 。

表 1-1-3 黏性土的状态

状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液态指数	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

粒径大于2mm的颗粒质量超过总质量的50%，则该土属于碎石土。粒径大于0.075mm的颗粒质量不超过总质量的50%，且土的塑性指数小于或等于10，则该土属于粉土。塑性指数大于10的土属于黏性土。 $I_p > 10$

【例-单选题】一黏性土样的液性指数为0.55，土样状态为（ ）。

- A.坚硬
- B.硬塑
- C.可塑
- D.软塑

$$I_p = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$$

【参考答案】C

【解析】

状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液性指数	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

【例-单选题】碎石土为粒径大于（ ）的颗粒质量超过总质（ ）的土。

A.1mm, 50%

B.2mm, 50%

C.2mm, 40%

D.1mm, 40%

【参考答案】 B

【例-单选题】砂土是粒径大于（ ）的颗粒含量不超过全重50%，且粒径大于0.075mm的颗粒含量超过全重50%的土。

A.0.5mm

B.1mm

C.1.5mm

D.2mm

【参考答案】 D

【例-单选题】粉土是粒径大于0.075的颗粒不超过全重50%，且塑性指数小于或等于（ ）的土。

A.7

B.8

C.9

D.10

$$I_p \leq 10$$

【参考答案】 D

二、岩体的工程特性

(一) 造岩矿物

矿物的物理性质是鉴定矿物的主要依据。矿物的物理性质主要有以下几个方面。

(1)形态。

(2)颜色。

(3)条痕。

(4)光泽。

(5)解理。矿物晶体或晶粒在外力打击下，能沿一定方向发生破裂并产生光滑平面的性质叫解理，开裂平面称为解理面。解理可能有一个或几个方向。

(6)断口。

(7)硬度。矿物抵抗外力作用(如刻划、压入、研磨)的能力称为硬度。常用摩氏硬度计来表示矿物的相对硬度，见表1-1-7。

表1-1-7 摩氏硬度计

硬度等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准矿物	滑石 ✓	石膏 ✓	方解石 ✓	萤石 ✓	磷灰石	长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石 ✓

(8)其他。

(二) 岩石的基本类型

1. 岩浆岩（火成岩）

(1) **深成岩**：如花岗岩、正长岩、闪长岩、辉长岩等；

(2) **浅成岩**：如花岗斑岩、闪长玢岩、辉绿岩、脉岩等。

(3) **喷出岩**：常见流纹岩、粗面岩、**安山岩**、玄武岩、火山碎屑岩等。

2. 沉积岩（水成岩）

常见沉积岩结构类型有碎屑结构、泥质结构、结晶状结构和生物结构。可分为碎屑岩（如砾岩、砂岩、粉砂岩）、黏土岩（如泥岩、页岩）、化学岩及生物化学岩（如石灰岩、白云岩、泥灰岩等）。

3. 变质岩

变质岩的结构主要有变余结构、变晶结构、碎裂结构。

常见变质岩有大理岩、石英岩等。

【例-多选题】下列岩石属于岩浆岩（火成岩）的有（ ）。

- A.花岗岩 ✓
- B.玄武岩 ✓
- C.安山岩 ✓
- D.片麻岩
- E.闪长岩 ✓

【参考答案】 ABCE

【例-单选题】 下列不属于岩浆岩的（ ）。

- A.花岗岩
- B.玄武岩
- C.安山岩
- D.片麻岩

【参考答案】 D

【解析】 常用的变质岩：大理岩、片麻岩、石英岩。
故D选项不符合。

5. 岩石的工程地质评述

1) 岩浆岩

岩浆岩的力学强度较高，可作为各类建筑物良好地基及天然建筑材料。但这类岩石抗风化能力较弱，易风化破碎形成风化层带而影响岩石工程性能。

2) 沉积岩

沉积岩具有成层分布规律，存在着各向异性特征，且层的厚度变化大，在水工建设中应注重其成层构造的研究。碎屑岩工程地质性质一般较好，但其胶结物的成分和胶结类型影响显著。

黏土岩和页岩的性质相近，抗压强度和抗剪强度低，浸水后易软化和泥化。不适合作为大型水工建筑物的地基。化学岩和生物化学岩抗水性弱，常表现出不同程度的可溶性。

碳酸盐类岩石具有中等强度，一般能满足水工设计的要求，但其中存在着各种的喀斯特现象，如溶蚀裂隙、洞穴、地下暗河等，往往成为集中渗漏通道。



石膏、岩盐等化学岩，往往以夹层形式存在于其他沉积岩中，质软，浸水易溶解，常导致地基和边坡失稳。影响水工建筑物安全的主要工程地质问题有渗漏、塌陷等。

3) 变质岩

变质岩的工程地质与原岩密切相关，往往与原岩的性质相似或相近。变质岩的结构主要有^①变余结构、^②变晶结构、^③碎裂结构。常见变质岩有大理岩、石英岩等。

片麻岩

【多选题】沉积岩的形成是一个长期而复杂的地质作用过程，一般可分为（ ）。

- A.风化、侵蚀阶段 ✓
- B.搬运阶段 ✓
- C.沉积阶段 ✓
- D.分层阶段
- E.硬结成岩阶段 ✓

【参考答案】 ABCE

【解析】沉积岩的形成是一个长期而复杂的地质作用过程，一般可分为风化、侵蚀阶段、搬运阶段、沉积阶段、硬结成岩阶段。

【例-单选题】岩石的基本类型可分为岩浆岩(火成岩)。

沉积岩、变质岩,下列属于变质岩的是()。

- A.流纹岩
- B.大理岩
- C.石灰岩
- D.玄武岩

【参考答案】 B

【解析】 常见变质岩有大理岩、石英岩等。



(三)岩石的物理力学性质指标

分类	指标名称	计算公式	备注
物理性质指标	岩石块体密度	$\rho = m/V$	
	岩石块体重度	$\gamma = \rho g$	
	岩石颗粒密度	$\rho_{\rho} = \frac{m_s}{V_s}$	
	孔隙率	$n = \frac{V_s}{V} \times 100\%$	
	岩石的吸水性	$\omega_a = \frac{m_a - m_d}{V_d} \times 100\%$	
	饱和吸水率	$\omega_s = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100\%$	
物理性质指标	饱和系数	$k_{\omega} = \frac{\omega_a}{\omega_s}$	
	冻融质量损失率	$L_f = \frac{m_s - m_f}{m_s} \times 100\%$	
	冻融系数	$K_f = \frac{\overline{R_f}}{\overline{R_s}}$	
力学性质指标	单轴抗压系数	$R = \frac{p}{A}$	
	软化系数	$\mu = \frac{\overline{R_s}}{\overline{R_d}}$	

软化系数小于0.75的岩石，被认为是强软化岩石，其抗水、抗风化、抗冻性差。

(四) 工程岩体分级

渗透性等级	标准	
	渗透系数K(cm/s)	透水率q (Lu)
极微透水	$K < 10^{-6}$	$q < 0.1$
微透水	$10^{-6} \leq K < 10^{-5}$	$0.1 \leq q < 1$
弱透水	$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	$1 \leq q < 10$
中等透水	$10^{-4} \leq K < 10^{-2}$	$10 \leq q < 100$
强透水	$10^{-2} \leq K < 1$	$q \geq 100$
极强透水	$K \leq 1$	

透水率q(Lu)称为吕荣值，1吕荣为1MPa作用下1m试段内每分钟注入1L水量(在100m的水柱压力下，每米长度标准钻孔内，历时10min，平均每分钟压入岩石裂隙中的水量)。作为近似关系，1Lu相当于渗透系数 10^{-5} cm/s。

【例-单选题】 透水率是以吕荣值(Lu)为单位表示岩体渗透性的指标，表示使用灌浆材料作为试验流体时地层的渗透系数，1Lu相当于渗透系数()。

- A. $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$
- B. $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$
- C. $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$
- D. $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$

【参考答案】 C

【解析】 1Lu相当于渗透系数 10^{-5}cm/s 。

表1-1-10 围岩稳定性评价

围岩类型	围岩稳定性评价	支护类型
I	稳定。围岩可长期稳定，一般无不稳定块体	不支护或者局部锚杆或喷薄层混凝土。大跨度时，喷混凝土、系统锚杆加钢筋网
II	基本稳定。围岩整体稳定，不会产生塑性变形，局部可能产生掉块	
III	局部稳定性差。围岩强度不足，局部产生塑性变形，不支护可能产生塌方或变形破坏。完整的较软岩，可能暂时稳定	喷混凝土，系统锚杆加钢筋网。采用TBM掘进时，需及时支护。跨度 > 20m时，宜采用锚索或刚性支护
IV	不稳定。围岩自稳时间很短，规模较大的各种变形和破坏都可能发生	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网，刚性支护，并浇筑混凝土衬砌。不适宜于开敞式TBM施工
V	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	

【例-单选题】自稳时间很短，规模较大的各种变形和破坏都可能发生的水工隧洞围岩类型是()。

A.II

B.II

C.IV

D.V

【参考答案】 C

【解析】

围岩类型	围岩稳定性评价	支护类型
I	稳定。围岩可长期稳定，一般无不稳定块体	不支护或者局部锚杆或喷薄层混凝土。大跨度时，喷混凝土、系统锚杆加钢筋网
II	基本稳定。围岩整体稳定，不会产生塑性变形，局部可能产生掉块	
III	局部稳定性差。围岩强度不足，局部产生塑性变形，不支护可能产生塌方或变形破坏。完整的较软岩，可能暂时稳定	喷混凝土，系统锚杆加钢筋网。采用TBM掘进时，需及时支护。跨度>20m时，宜采用锚索或刚性支护
IV	不稳定。围岩自稳时间很短，规模较大的各种变形和破坏都可能发生	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网，刚性支护，并浇筑混凝土衬砌。不宜于开敞式TBM施工
V	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	

【例-单选题】某引水隧洞直径6m,采用钻爆法施工,经施工地质判别围岩为Ⅲ类,支护类型选择()是合适的。

- A.不支护
- B.局部杆或喷薄层混凝土
- C.喷混凝土,系统锚杆加钢筋网
- D.系统锚杆加钢筋网, 浇筑混凝土衬砌

【参考答案】C

【解析】局部稳定性差, 喷混凝土,系统锚杆加钢筋网。

岩石饱和单轴抗压强度 R_C 与岩石坚硬程度的对应关系见表1-1-15

表1-1-15 R_C 与岩石坚硬程度的对应关系

R_C (MPa)	> 60	60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	≤5
坚硬程度	硬质岩		软质岩		
	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	较软岩

岩体完整性指数 K_v 与岩体完整程度的对应关系，可按表1-1-16确定。

表1-1-16 k_v 与岩体完整程度的对应关系

K_v	> 0.75	0.75 ~ 0.55	0.55 ~ 0.35	0.35 ~ 0.15	≤0.15
完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎

【例-单选题】经室内试验测定，一岩块的饱和单轴抗压强度为65MPa。该岩块属于()。

- A.坚硬岩
- B.中硬岩
- C.较软岩
- D.软岩

【参考答案】 A

【解析】 表1-1-15 R_C 与岩石坚硬程度的对应关系

R_C (MPa)	> 60	60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	≤ 5
坚硬程度	硬质岩		软质岩		
	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	较软岩

【例-单选题】对岩石钻孔作业难度和定额影响较大的矿物成分是（ ）。

- A.云母
- B.长石
- C.石英
- D.方解石

【参考答案】 C

【解析】 岩石中的石英含量越多，钻孔难度就越大，钻头、钻机等消耗量就越多。

(五) 地质构造

岩层的产状：岩层的产状用岩层层面的走向、倾向和倾角三个要素来表示，通常可用地质罗盘仪在野外测量得到。

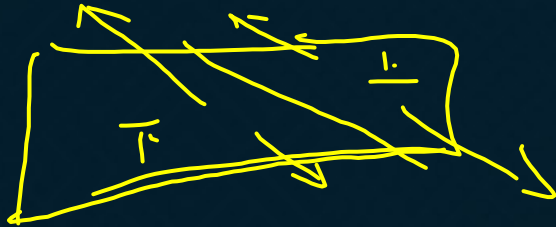
岩层走向：是指岩层面与水平面交线的方位角，表示岩层在空间延伸的方向。

岩层的倾向：是垂直走向顺倾斜面的倾向线在水平面上投影的方向，表示岩层在空间的倾斜方向。

岩层的倾角：是岩层面与水平面所夹的锐角，表示岩层在空间倾斜角度的大小。

褶皱：褶皱的基本类型分为背斜和向斜

断层：可分为正断层、逆断层、平推断层。正断层是上盘沿断层面相对下降、下盘相对上升的断层。逆断层是上盘沿断层面相对上升、下盘相对下降的断层。平推断层是由于岩体受水平扭应力作用，使两盘沿断层面发生相对水平位移的断层。



(六) 水文地质和自然地质作用

2. 地下水

根据埋藏条件，地下水分为包气带水、潜水、承压水三大类。

根据含水层的空隙性质，地下水又分为孔隙水、裂隙水和岩溶水三个亚类。

包气带水处于地表以下潜水位以上的包气带岩土层中。

潜水是埋藏在地表以下第一层较稳定的隔水层以上具有自由水面的重力水，其自由表面承受大气压力，受气候条件影响，季节性变化明显。潜水的分布区与补给区是一致的。潜水自水位较高处向水位较低处渗流。

承压水也称自流水，是地表以下充满两个稳定隔水层之间的重力水。承压水不受气候的影响，动态较稳定，不易受污染。

【例-多选题】根据埋藏条件，可将地下水分为（ ）。

- A.孔隙水
- B.包气带水
- C.岩溶水
- D.潜水
- E.承压水

【参考答案】 BDE

【解析】根据埋藏条件，地下水分为包气带水、潜水、承压水三大类。

【例-单选题】根据含水层的空隙性质，可将地下水分为孔隙水、裂隙水及()。

- A.包气带水
- B.潜水
- C.岩溶水
- D.承压水

【参考答案】  C

【解析】根据含水层的空隙性质，地下水又分为孔隙水、裂隙水和岩溶水三个亚类。

第二节 水库工程地质

第二节 水库工程地质

1.当库区产生某些不利的地貌地质因素时，就可能产生各种工程地质问题，如水库渗漏、库岸稳定、水库浸没、水库淤积、水库诱发地震等问题。

2.水库渗漏形式可分为暂时性渗漏和永久性渗漏。实际上完全不漏水的水库是没有的。~~✱~~一般情况下，只要是渗漏总量（包括坝区的渗漏量）小于该河流多年平均流量的5%，或渗漏量小于该河流段平水期流量的1%~3%，则是可以允许的。对于渗漏规模更大或集中的渗漏通道，则需进行工程处理。

【例-多选题】当水库库区产生某些不利的地貌地质因素时，可能产生的工程地质问题有（ ）。

A.水库渗漏 ✓

B.库岸稳定 ✓

C.水库浸没 ✓

D.水库诱发地震 ✓

E.水质恶化

【参考答案】ABCD

【解析】可能产生各种工程地质问题，如水库渗漏、库岸稳定、水库浸没、水库淤积、水库诱发地震等问题。

3.水库的渗漏通道主要有如下两类：

一是第四纪松散沉积层，特别是河流冲积洪积层中的疏松卵砾石和砂土层，常以古河道形式埋藏或隐伏着，并沟通库内外；

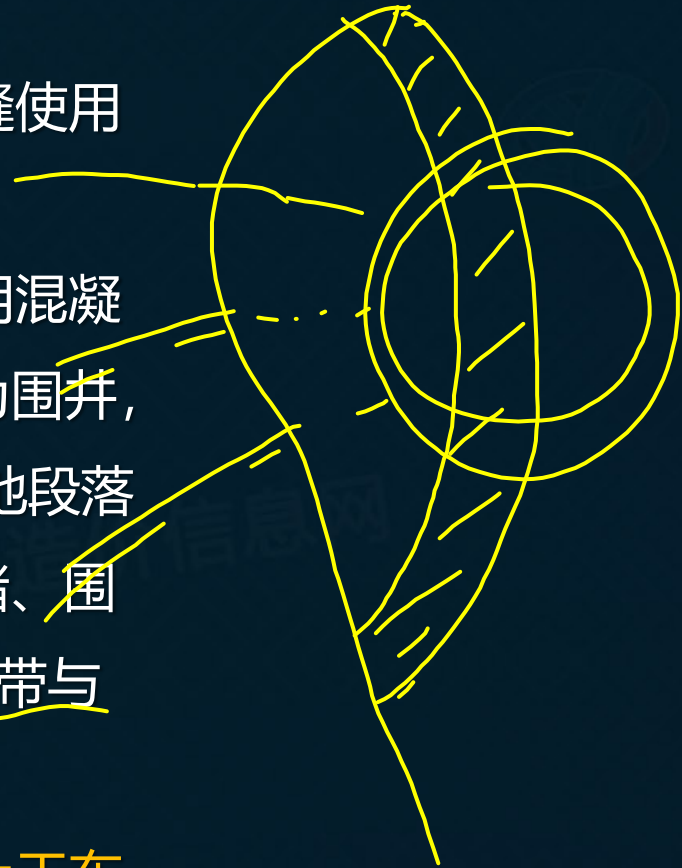
二是基岩中存在有贯通库内外的溶洞层、未胶结或胶结不良的断裂破碎带、各种不整合面、层面和古风化壳、多气孔构造的火山岩或裂隙发育的其他岩层，在一定地质构造和地貌条件下，它们往往成为水库永久性渗漏的重要通道。

4. 水库渗漏处理措施

(1) 堵洞。对集中漏水的通道如落水洞、溶洞及溶缝使用浆砌块石、混凝土或级配料进行封堵（见教材图1-2-6）。

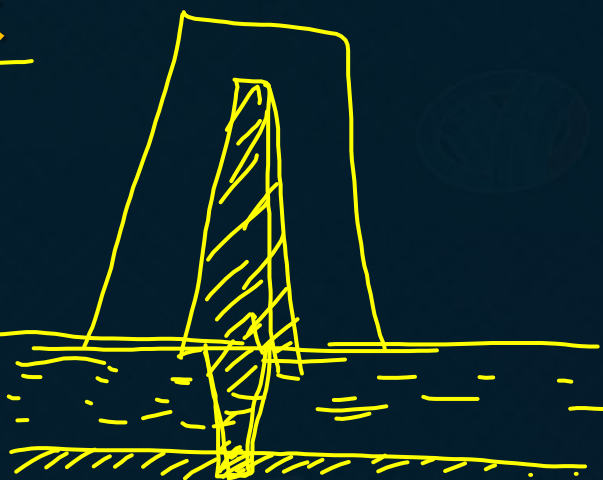
(2) 围井或隔离。对河床边缘漏水口或反复泉周围用混凝土或浆砌石筑成圆筒形建筑物，以拦截漏水口的方法称为围井，井口一般略高于库水位（见教材图1-2-7）；若库内个别地段落水洞集中分布，或溶洞较多，分布范围较大，采用铺、堵、围的方法处理均较困难，则可采用隔离法，用隔堤把渗漏地带与水库隔开，能收到良好的效果（见教材图1-2-8）。

(3) 铺盖。在坝上游或水库的某一部分，以黏土、土工布、混凝土板或利用天然淤积物组成铺盖，覆盖漏水区以防止渗漏。铺盖防渗主要适用于大面积的孔隙性或裂隙性渗漏。





(4) 截水墙。截水墙适用于坝基下面松散岩层透水性强，抗管涌能力差，而又分布深度不大的情况，以及坝基岩溶不很发育，相对隔水层埋藏较浅的情形。墙体必须设置到不透水岩层。截水墙根据使用的墙体材料分为黏土截水墙和混凝土防渗墙。前者多用于土石坝，后者多用于混凝土重力坝等。



(5) 帷幕灌浆。通过钻孔向地下灌注水泥浆或其他浆液，填塞岩土体中的渗漏通道形成阻水帷幕，以达到防渗的目的。帷幕灌浆适用于很厚的砂砾石地基、裂隙发育的岩基以及岩溶透水层，对裂隙性岩溶渗漏具有显著的防渗效果。

(6) **排水**。将建筑物基础下及其周围的承压地下水或泉水通过有反滤设备的减压井、导管及排水沟（廊道）等将承压地下水引导排泄至建筑物范围以外，以降低渗透压力。排水孔、减压井或其他排水设施一般布置在防渗帷幕后面和两岸边坡。





5.影响水库塌岸的因素有库岸岩性和构造条件、库岸形态特征、水文气象条件和其他因素等。水库塌岸的防治是通过在塌岸段修造防护体，以减缓或阻止库水对岸坡的浪蚀作用。通常可以采用抛石、草皮护坡、砌石护坡、护岸墙、防波堤等措施。

6.水库岸坡可划分为土质岸坡和岩质岸坡两大类。土质岸坡多见于平原和山间盆地水库，主要由各种成因的土层、砂砾石层等松散堆积物组成。其破坏形式主要以塌岸为主，可分为风浪塌岸和冲刷塌岸。岩质岸坡多出现在峡谷和丘陵水库，其破坏形式以滑坡和崩塌为主。



7.水库浸没防治措施。浸没防治应从三方面予以考虑：

一是降低浸没库岸段的地下水位，这是防治浸没的有效措施，对重要建筑物区，可以采用设置防渗体或布设排渗和疏干工程等措施降低地下水位；二是采取工程措施，可以考虑适当降低正常高水位；三是考虑被浸没对象，例如，可否调整农作物种类、改进耕作方式和改变建筑设计等农业措施。



8. 水库淤积防治措施。加强上游各支流的水土保持工作，整治冲沟、植树造林及建拦沙坝，加固库岸，排洪蓄清和异重流排沙等是减少水库淤积的主要措施。

9. 水库诱发地震可分为构造型水库诱发地震、岩溶型水库诱发地震、地表卸荷型水库诱发地震和混合型等。
水库诱发地震的主要影响因素有库水深度、构造应力环境、断层活动性、岩性以及水文地质结构面的发育规模和透水深度等。

第三节 水工建筑物工程地质

第三节 水工建筑物工程地质

一、水工建筑物工程地质条件

1. 水工建筑物主要由三大部分组成：挡水建筑物（坝、闸）、泄水建筑物（溢洪道、泄洪洞、排沙洞等）及取水输水建筑物（隧洞、管道及渠系建筑物等），其中挡水建筑物的拦河大坝或闸是主要建筑物。此外，水电站厂房、航运船闸、鱼道等为附属建筑物。通常将建筑物的综合体称为水利枢纽。

工程地质条件是一个综合性概念，可理解为与工程建筑有关的地质因素的综合。一般认为，它包括工程建筑地区的地形地貌、岩土类型及工程地质性质、地质结构、水文地质条件、物理地质现象、地质物理环境（例如地应力及地热等）、天然建筑材料等7个方面。

【例-多选题】挡水建筑物的功能是拦截江河、雍高水位、形成水库或约束水流、阻挡潮汐等,下来属于挡水建筑物的有()。

A.溢流坝 ✓

B.顺坝

C.施工围堰 ✓

D.堤防 ✓

E.挡潮闸 ✓

【参考答案】 ACDE

2.坝基可分为两大类:岩基坝基和土体坝基(简称为岩基与土基), 一般情况下岩基的工程性质比土基好, 在岩基上可以修建高坝、混凝土坝, 水利枢纽多采用集中式布置方案;而在土基上, 则可以修建低坝、土石坝, 水利枢纽多采用分散式布置方案。

地质结构包括地质构造(褶皱和断裂构造)和岩土体结构。

二、坝

(一)不同坝型对地形、地质的要求

1.土石坝

又称当地材料坝，根据材料不同可分为土坝、砌石坝及土石混合坝。

土坝坝体属于塑性坝体，可适应一定的地基变形；塑性心墙或斜墙坝的适应性更强，特别是抗震性能比其他坝型都好。由于土坝的坝顶不能直接溢流，因此在坝址选择时，需要考虑有利于溢洪道布置的地形地貌条件。另外，需要在坝址附近分布天然建筑材料料场。

堆石坝用当地石料筑成，并用防渗料作心墙或斜墙。堆石坝同土坝一样，坝顶一般不溢流。堆石坝对地基变形的适应性能较好。砂卵石、砂土及黏性土地基上均可修建，但需要对坝基做防渗处理。对于岩石坝基要注意整体性，要适当处理大裂缝、断层和破碎带。

2.重力坝

重力坝对坝基的要求比土石坝高，大坝都建造在基岩上。要求坝基应具有足够的抗压强度以承受坝体的重量和各种荷载；坝基整体应具有足够的整体性和均一性，尽量避开大的断层带、软弱带、裂隙密集带等不良地质条件：坝基岩体应具有足够的抗剪强度，抵抗坝基滑动破坏；坝基岩体应具有足够的抗渗性能，抵抗坝基渗透变形破坏；坝基及两岸边坡要稳定等。

3.拱坝

拱坝是一空间壳体结构，整体性好。平面上呈拱形，凸向上游，两端支撑在岸坡岩体上，它利用拱的作用，把水压力的大部或全部传递给两岸山体，以保持稳定。所有坝型中，拱坝对地形、地质条件的要求最高。除考虑重力坝对地基的要求外，尚应考虑：两岸岩体应当完整坚硬而新鲜；坝基岩体要有足够整体性和均一性，以免发生不均匀沉降影响整个坝体产生附加应力，导致坝体破坏；要求拱端有较厚的稳定岩体；地形应是对称的V形或U形峡谷等。



4. 支墩坝

支墩坝是由倾斜的挡水面板部分和一系列支墩（大致呈三角形）组成的坝型，一般也由混凝土浇筑而成。上游水压力由面板传到支墩上，再经支墩传给地基岩体。根据挡水面板的形式，又可分为平板坝、大头坝、连拱坝及设有基础板的平板坝等。支墩坝对地形地质条件的要求，介于拱坝和重力坝之间。支墩所在的地基岩体要坚固。支墩坝适于宽阔的河谷地形，但支墩之间不允许不均匀沉降。



(二)坝基工程地质问题

1.坝基的工程地质问题包括坝区渗漏、坝基渗透变形、坝基抗滑稳定以及坝基的沉降与承载力等。

坝基渗透变形。渗透变形指坝基岩土体在渗透水流作用下，某些颗粒移动或颗粒成分、结构发生改变的现象。渗透变形可引起坝基土体强度降低，渗透性增大，严重的渗透变形不仅影响工程效益，而且危及大坝稳定。渗透变形的类型主要有管涌、流土、接触冲刷和接触流失四种类型。



2.坝基抗滑稳定

重力坝坝基滑动破坏形式有三种：表层滑动、浅层滑动和深层滑动。

(三)坝基处理措施

1.坝基处理的目的在于提高坝基的强度和稳定性，以满足大坝对地基在承载力和变形、渗透和渗透稳定、抗滑稳定、边坡稳定等方面的要求。坝基处理方法通常包括开挖清基、岩土体的加固、防渗和排水以及改变建筑物结构形式等方法。

2.岩土体的加固措施主要有固结灌浆，锚固，断裂破碎带的槽、井、洞挖回填处理，以及桩基加固等。



3. 桩基加固是一种用打桩来加固软土地基的方法。桩基有两类，一类是支承桩，其下端直接支承在硬土层上；另一类是摩擦桩，桩身仍在软土层中，利用桩身的表面摩擦作用将建筑物的重量传到四周土层上。

4. 防渗和排水

坝基渗流控制是指为了减少通过坝基的渗漏损失、防止坝基岩土体产生渗透变形破坏而采取的防渗排水措施。坝基渗流的控制方法主要有截水槽、混凝土防渗墙、帷幕灌浆、铺盖、回填混凝土、坝基排水等。



1) 截水槽：对覆盖层厚度较薄、基岩埋藏较浅(一般不超过20m)的坝基，可以将截水槽挖至不透水层或基岩面，然后向槽内回填黏土或其他防渗土料并压实。在基岩裂隙密集处用混凝土填塞处理。对于较高的坝，在岩面上还要浇筑混凝土盖板，以免上部填充的土料和裂隙接触，产生集中渗流冲刷破坏填土。



2) 混凝土防渗墙：混凝土防渗墙可在坝基现场凿空，就地浇筑。它是防治深厚砂砾石地基渗透变形的有效措施。



3) 帷幕灌浆：当坝基透水层很厚、混凝土防渗墙难以达到隔水层时，可用帷幕灌浆或上墙下幕的方法进行处理。帷幕灌浆的主要作用是：可以减少坝基和绕坝渗漏，防止其对坝基及两岸边坡稳定产生不利影响；在帷幕和坝基排水的共同作用下，帷幕后坝基面渗透压力降至允许值之内；防止在软弱夹层、断层破碎带、岩石裂隙充填物以及抗水性能差的岩体中产生渗透变形。

4) 铺盖：铺盖指在坝上游设置水平铺盖，其作用主要是延长渗径，把渗流坡降控制在允许范围以内，以防止地基土发生渗透变形。



5) **坝基排水**：采用上述各种防渗措施的透水坝基，有时在下游仍有超过允许值的水力坡降，需要采取排水措施。对于良好的坝基，在帷幕下游设置排水设施，可以充分降低坝基渗透压力并排除渗水；对于地质条件较差的坝基，设置排水孔应注意防止渗透变形破坏。

上截下排

三、边坡

(一)边坡变形与破坏的类型

1. 松弛张裂。松弛张裂是指当边坡侧向应力减弱之后，由于卸荷回弹而出现张开裂隙的现象。

2. 蠕动。边坡的蠕动是在坡体应力（以自重应力为主）长期作用下，向临空面方向发生的一种缓慢变形现象。

3. 崩塌。崩塌是指在陡坡地段的边坡上，岩土体被多组张裂缝和节理裂隙分割，因受重力作用突然脱离母体，倾倒、翻滚坠落于坡脚的现象，包括小规模块石的坠落、倾倒块体的翻倒和大规模的山（岩）崩。

4.滑坡。滑坡是边坡岩土体在重力作用下，沿贯通的剪切破坏面（带）整体滑动破坏的现象，主要是以水平运动为主的变形，这也是滑坡区别于其他斜坡变形的主要标志和特征。滑坡是边坡破坏中危害最大、最常见的一种变形破坏形式。一般在山区和黄土高原区分布较广泛，规模较大。

(二)影响边坡稳定性的因素

- 1.岩土类型和性质的影响 ✓
- 2.地质构造和岩体结构的影响 ✓
- 3.风化作用 ✓
- 4.水的作用 ✓
- 5.地震作用的影响 ✓
- 6.地形地貌 ✓
- 7.植被作用 ✓
- 8.工程荷载条件及人为因素 ✓

(三)边坡变形破坏的防治措施

- (1) 防渗与排水。✓
- (2) 削坡减重或反压。✓
- (3) 修建支挡工程。主要有修建抗滑挡土墙、布设抗滑桩等。
- (4) 锚固。✓
- (5) 其他措施。✓

除上述防治措施外，对易风化的岩质边坡，护面通常采用喷素混凝土，或先打砂浆锚杆，再挂网，然后喷素混凝土即喷锚支护。其目的是保护坡面、防止掉块及地表水入渗等。

【例-单选题】边坡的防治措施有()。

A.防渗与排水 ✓

B.削坡减重 ✓

C.锚固 ✓

D.修建支挡工程 ✓

E.土压

【参考答案】 ABCD

【解析】 边坡防止措施有:防渗与排水、削坡减重与反压、修建支挡工程、锚固、其他措施等。

【例-单选题】锚固是用锚杆或锚索将滑动面两侧的岩体联系起来，以增强滑动面的（ ）力，借以稳定边坡，应用于防治崩塌和滑坡均有很好的放果。

- A.抗拉
- B.抗滑
- C.抗折
- D.抗压

【参考答案】 B

四、地下洞室

1. 喷锚支护

当地下洞室开挖后，围岩总是逐渐地向洞内变形。喷锚支护就是在洞室开挖后，及时地向围岩表面喷薄层混凝土（一般厚度5~20cm），有时再增加一些锚杆，从而部分地阻止围岩向洞内变形，以达到支护的目的。它能使混凝土喷层与围岩连续地紧密贴合，并且喷层本身具有一定的柔性和变形特性，因而能及时有效地控制和调整围岩应力的重分布，最大限度地保护岩体的结构和力学性质，防止围岩的松动和坍塌。如果喷混凝土再配合锚杆加固岩体，则会更有效地提高围岩的承载力和稳定性。

2.新奥法、TBM法和盾构法在隧洞施工中的应用

1) 新奥法

新奥法是一种喷锚支衬的隧洞施工方法，既适合于坚硬岩石，也适合于软弱岩石，特别适合于破碎、变质、易变形的施工困难段，因此在国内外得到广泛的应用。喷射混凝土、锚杆和现场量测，称为新奥法的三大支柱，有效地提高了围岩的承载能力。采取光面爆破、掘进机全断面开挖及根据顶拱和边墙的不同地质条件采用分部开挖等施工方法，也有利于围岩的稳定。



新奥法隧洞掘进的施工工序一般分为：⑥开挖、⑤一次被覆、④构筑防水层和③二次被覆等。

①为了充分利用围岩天然承载力，开挖应采用光面爆破或机械开挖，并尽量采用全断面法开挖。

(2) TBM法。即“全断面隧洞掘进机”方法。TBM法的优点有：在条件合适的情况下，掘进速度很快，如果岩石不是十分坚硬，岩爆现象不严重，地质构造不复杂，围岩基本稳定，采用TBM法可比钻爆法加快50%以上，同时通风设备要低于钻爆法，可以单头掘进10-12m，可节省支洞，节省工程量，缩短工期；

洞壁开挖光滑，断面可大大减小，衬砌工程量也大为减小，故造价低并减小糙率。TBM法的缺点有：设备比较复杂，安装费时，因此洞较短时使用不经济；坚硬多裂隙岩体，对TBM法施工不利。据施工经验，**TBM法宜开凿断面较小的长隧洞，经济而快速、安全，对于直径较大的隧洞(超过10m)宜用钻爆法**，也可先用小直径TBM法打通全洞，实际上是一个地质探洞，掌握隧洞全线的地质条件后，再进行扩洞，或全断面开挖。

五、渠道

(一)渠道选线的工程地质条件

渠道的选线问题是工程成败的关键。在渠道选线时，一般遵循如下原则：

- ① 尽量避开和绕过陡壁悬崖以及沟谷密集地带；
- ② 尽量避开造成渠道半挖半填或填方过多的斜坡低洼地带；
- ③ 尽量绕避风沙堆积、崩塌堆积和容易产生地基失稳与强烈渗漏的地段。

(二)渠道的渗漏问题

影响渠道渗漏损失的主要因素有:

沿渠道地段的土壤特性(特别是土壤的透水性),
水文地质条件, 渠道水深、湿周、速率和糙率, 渠
水含沙量以及输水历时等。

第四节 特殊（岩）土体的工程地质

第四节 特殊（岩）土体的工程地质

1. 黄土

黄土是一种在第四纪时期形成的黄色粉状土，在干旱和半干旱气候条件下受风力搬运堆积形成。未经次生扰动不具层理的称为原生黄土，而由风成以外的其他成因堆积而成常具有层理和砂或砾石夹层的则称为次生黄土或黄土状土。天然状态下其强度一般较高，压缩性较低，但有的黄土在一定压力作用下，受水浸湿后土的结构迅速破坏，发生显著的湿陷变形，强度也随之降低，导致建筑物破坏，称为湿陷性黄土。湿陷性黄土分为自重湿陷性和非自重湿陷性两种。

湿陷性黄土有如下特征：

- (1) 一般呈黄色、褐黄色、灰黄色。
- (2) 颗粒成分以粉粒 ($0.005 \sim 0.075\text{mm}$) 为主，一般占土的总质量的60%。
- (3) 孔隙比在1.0左右或更大。
- (4) 含有较多的可溶盐类。
- (5) 竖直节理发育，能保持直立的天然边坡。
- (6) 一般具有肉眼可见的大孔隙（故黄土又称为大孔土）。

【例-单选题】在水利水电工程地质勘察中，
需研究()的湿陷性。

A.淤泥

B.黄土

C.膨胀土

D.红黏土

【参考答案】 B

2.膨胀土

膨胀土是一种含一定数量亲水矿物质（蒙脱石、伊利石、高岭石或混层结构）且随着环境的干湿循环变化而具有显著的干燥收缩、吸水膨胀和强度衰减的黏性土，有的裂隙很发育，且液限和塑性指数较大，压缩性偏低，在天然含水量状态下较坚硬，一般具有超固结性。膨胀土自由膨胀率大于或等于40%。

3.软土

软基是指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂质土或其他高压缩性土层构成的地基。对于软土地基开挖工程，通常采用换填法处理。换填法是将开挖范围内的软弱土层利用人工、机械或其他方法清除，分层置换为强度较高的砂、碎石、素土、灰土等，并压实至要求密度。

4.红黏土

红黏土为碳酸盐岩系的岩石经红土化作用形成的高塑性黏土。其液限一般大于50%。红黏土经再搬运后仍保留其基本特征、液限大于45%的土为次生红黏土。

红黏土和次生红黏土通常强度高、压缩性低。因受基岩起伏影响，厚度不均匀，上硬下软。

5.盐渍土

地表深度1.0m范围内易溶盐含量大于0.5%的土称为盐渍土，盐渍土中常见的易溶盐有氯盐、硫酸盐和碳酸盐。盐渍土的液限、塑限随土中含盐量的增大而降低，当土的含水率等于其液限时，土的抗剪强度近乎等于零，因此高含盐量的盐渍土在含水率增大时极易丧失其强度，应引起高度重视。

6.冻土

当土的温度降低至 0°C 以下时，土中部分孔隙水冻结而形成冻土。冻土可分为季节性冻土和多年冻土两类。季节性冻土在冬季冻结而夏季融化，每年冻融交替一次。多年冻土则常年处于冻结状态，至少冻结连续3年以上。确定基础埋置深度时应考虑地基冻胀性的影响。

7.填土

人工填土是指人类活动而形成的堆积物。其物质成分较杂乱，均匀性较差。按堆积物的成分，人工填土分为素填土、杂填土和冲填土。

8.可液化土

消除地基液化沉陷的措施有：

- (1) 采用桩基穿透可液化土层，使桩端伸入稳定土层中。对碎石土、砾、粗砂、中砂、坚硬黏土，伸入长度不应小于0.5m，对其他非岩石土不小于1.0m。
- (2) 采用深基础，且埋入液化深度下稳定土层中的深度不少于0.5m。
- (3) 采用加密法（如振冲振动加密、挤密砂桩、强夯等），使可液化砂土骨架挤密，孔隙水排出，土的密度增加。
- (4) 全部或部分挖除可液化土层，置换砂石或灰土垫层。



水利造价信息网

谢谢观看！