



水利造价信息网

2022一级建造师

《水利水电工程管理与实务》精讲班

主讲老师：王飞寒



1F415000 土石坝工程





1F415010 土石坝施工技术





1F415011 土石坝施工机械配置

一、挖运机械的类型

1.挖掘机械

开挖机械：挖掘机

2.挖装运组合机械

挖运组合机械：推土机和铲运机；装运结合机械：装载机

3.运输机械

运输机械：循环式和连续式两种。



1F415011 土石坝施工机械配置

二、施工机械的配置方法

常用土方施工机械的经济运距如下：

1.推土机：15~30m时，生产率最大。经济运距一般为30~50m，大型推土机的推运距离不宜超过100m。

2.装载机：运距一般不超过100~150m；履带式装载机不超过100m。

3.牵引式铲运机：经济运距一般为300m。自行式铲运机：一般为200~300m。

4.自卸汽车在运距方面的适应性较强。



1F415012 土石坝施工填筑的施工碾压试验

一、压实机械 (2010年考点)

静压碾压、振动碾压、夯实三种基本类型。2021考点

静压碾压设备：羊脚碾（有翻松作用，无需刨毛）、气胎碾等；

夯实设备：夯板、强夯机等。





1F415012 土石坝施工填筑的施工碾压试验

二、土料填筑标准

1. 黏性土的填筑标准

含砾和不含砾的黏性土的填筑标准应以压实度和最优含水率作为设计控制指标。 (2010考点)

设计最大干密度=击实最大干密度×压实度

1级、2级坝和高坝的压实度应为98%~100%，3级中低坝及3级以下的中坝压实度应为96%~98%。设计地震烈度为8度、9度的地区，宜取大值。 (2013考点)



1F415012 土石坝施工填筑的施工碾压试验

2. 非黏性土的填筑标准2017考点

砂砾石和砂的填筑标准应以相对密度为设计控制指标。

砂砾石的相对密度不应低于0.75，砂的相对密度不应低于0.7，反滤料宜为0.7。（颗粒越大，相对密度要求越高）



1F415012 土石坝施工填筑的施工碾压试验

三、压实参数的确定

(1) 土料填筑压实参数：碾压机具的重量、含水量、碾压遍数及铺土厚度等，对于振动碾还应包括振动频率及行走速率等。（2012案例，2019考点）

料场应进行碾压试验。黏性土：作铺土厚度、压实遍数、最大干密度、最优含水量的关系曲线。非黏性土：作铺土厚度、压实遍数、干密度的关系曲线。



1F415012 土石坝施工填筑的施工碾压试验

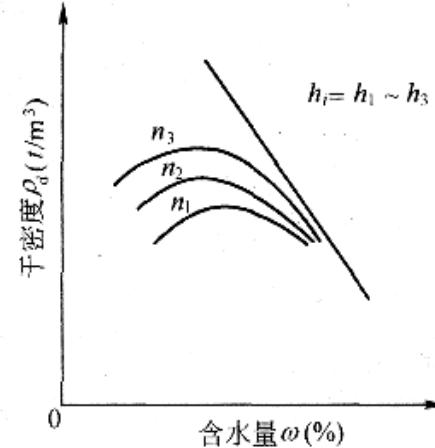


图 2F313032-1 不同铺土厚度、不同压实遍数、土料含水量和干密度的关系曲线

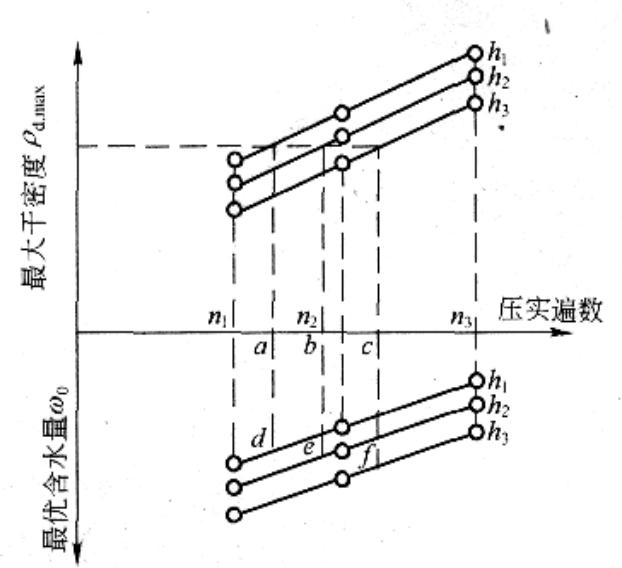


图 2F313032-2 铺土厚度、压实遍数、最优含水量、最大干密度的关系曲线

注：求解单位压实遍数的最大压实厚度（即“cm/遍”最大值）

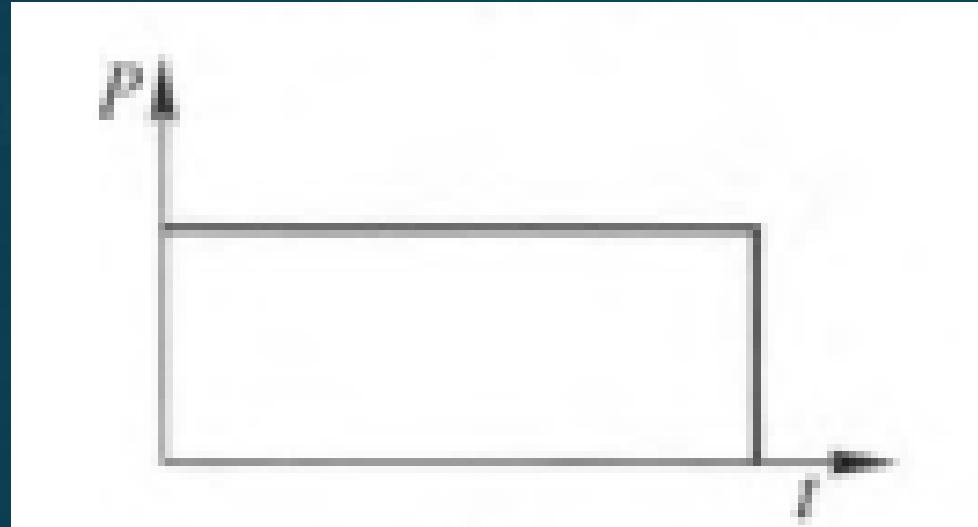


1F415012 土石坝施工填筑的施工碾压试验

习题：1.右图所示为土料压实作用外力示意图（P压
力，t时间），对应的碾压设备是（ ）。

- A. 气胎碾
- B. 夯板
- C. 振动碾
- D. 强夯机

答案：A





1F415012 土石坝施工填筑的施工碾压试验

习题：2.水库总库容为 5亿m^3 设计地震烈度为8度，

相应土坝土料压实度宜采用（ ）。

A. 96%

B. 97%

C. 98%

D. 100%

答案：D



1F415013 土石坝填筑的施工方法

一、土石坝施工内容

土石坝分为干填碾压（碾压式）、水中填土、水力冲填（包括水垫坝）和定向爆破等类型。其中，碾压式土石坝最为普遍。

施工作业：准备作业、基本作业、辅助作业和附加作业。

1.准备作业。包括“四通一平”及修建生产、生活福利、行政办公用房以及排水清基等工作。



1F415013 土石坝填筑的施工方法

二、坝料开采

1. 土料开采 (土料开采方式比较)

| 开采方式 | 立面开采 | 平面开采 |
|------|------------------|------------------------|
| 料场条件 | 土层较厚， 料层分布不均匀 | 地形平坦，适应薄层开挖 |
| 含水率 | 损失小 | 损失大，适用于有 降低含水率要求的土料 |
| 冬期施工 | 土温散失小 | 土温易散失， 不宜在负温下施工 |
| 雨期施工 | 不利因素影响小 | 不利因素影响大 |
| 适用机械 | 正铲、反铲、装载机 | 推土机、铲运机 或推土机配合装载机 |



1F415013 土石坝填筑的施工方法

2. 砂砾料开采 (土料开采方式比较)

| 开采方式 | 水上开采 | 水下开采 (含混合开采) |
|------|-----------|----------------|
| 料场条件 | 阶地或水上砂砾料 | 水下砂砾料无坚硬胶结或大漂石 |
| 适用机械 | 正铲、反铲、推土机 | 采砂船、索铲、反铲 |
| 冬期施工 | 不影响 | 若结冰厚，不宜施工 |
| 雨期施工 | 一般不影响 | 要有安全措施，汛期一般停产 |

3. 石料开采

多采用深孔梯段微差爆破。



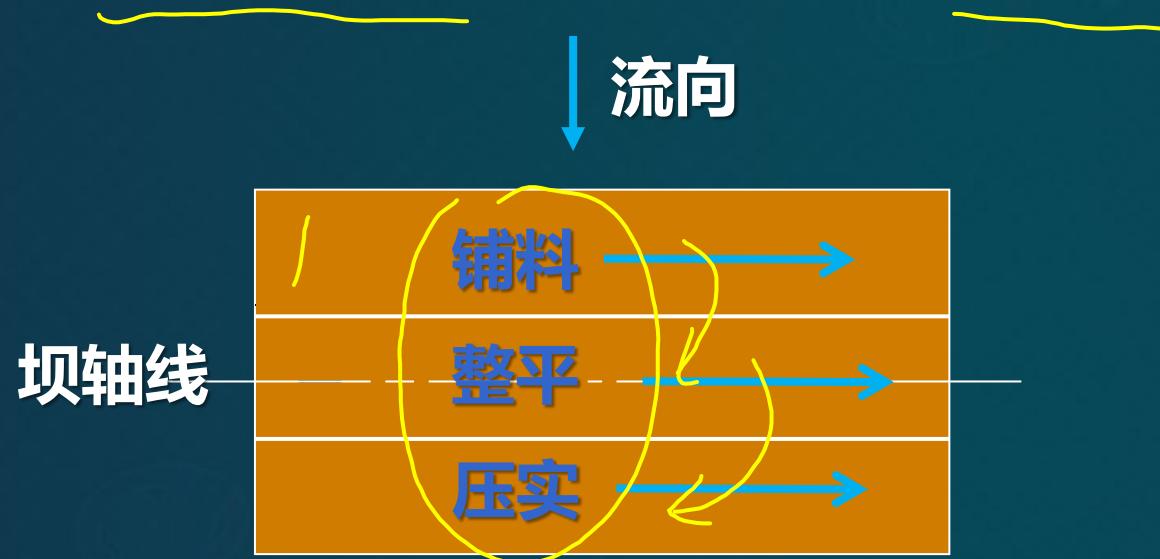
1F415013 土石坝填筑的施工方法

三、坝面作业的基本要求(2012考点)

包括铺料、整平、洒水、压实、质检等工序。可按流水作业进行组织。2021考点

四、铺料与整平

(1) 铺料宜平行坝轴线进行。防渗体内铺料，自卸汽车卸料宜用进占法倒退铺土，避免超压，引起剪力破坏。





1F415013 土石坝填筑的施工方法

- (2) 按设计厚度铺料整平是保证压实质量的关键。
- (3) 加水问题：黏性土料含水量偏低，主要在料场加水。非黏性土料，加水工作主要在坝面进行。石渣料和砂砾料压实前应充分加水，确保压实质量。(2013考点)
- (4) 光面土层，应刨毛处理，以利层间结合。通常刨毛深度3~5cm。2018考点



1F415013 土石坝填筑的施工方法

五、碾压

(1) 进退错距法

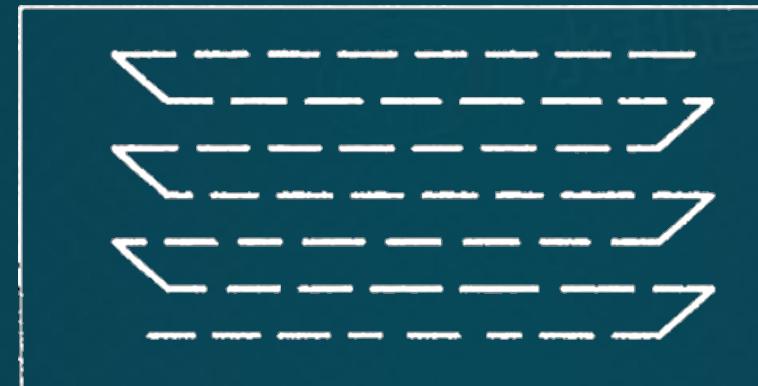
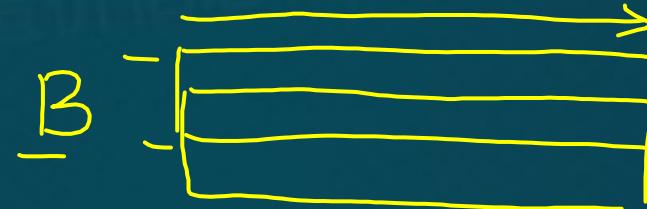
操作简便，碾压、铺土和质检等工序协调，便于分段流水作业，压实质量容易保证。 错距宽度b按下式计算：

$$b = B / n$$

式中

B——碾滚净宽 (m)

n——设计碾压遍数。



(a)



1F415013 土石坝填筑的施工方法

(2) 圈转套压法

适用：开行的工作面较大，适合于多碾滚组合碾压。

优点：生产效率较高。

缺点：重压、漏压过多，质量难以保证。



(b)





1F415013 土石坝填筑的施工方法



心墙施工

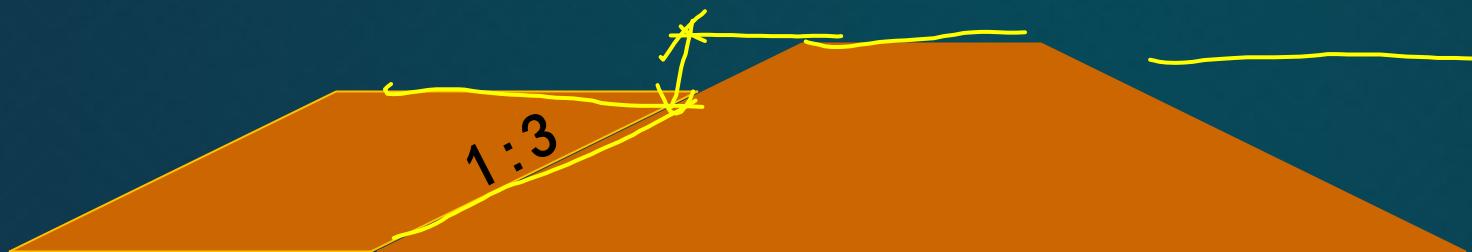


1F415013 土石坝填筑的施工方法

六、结合部处理

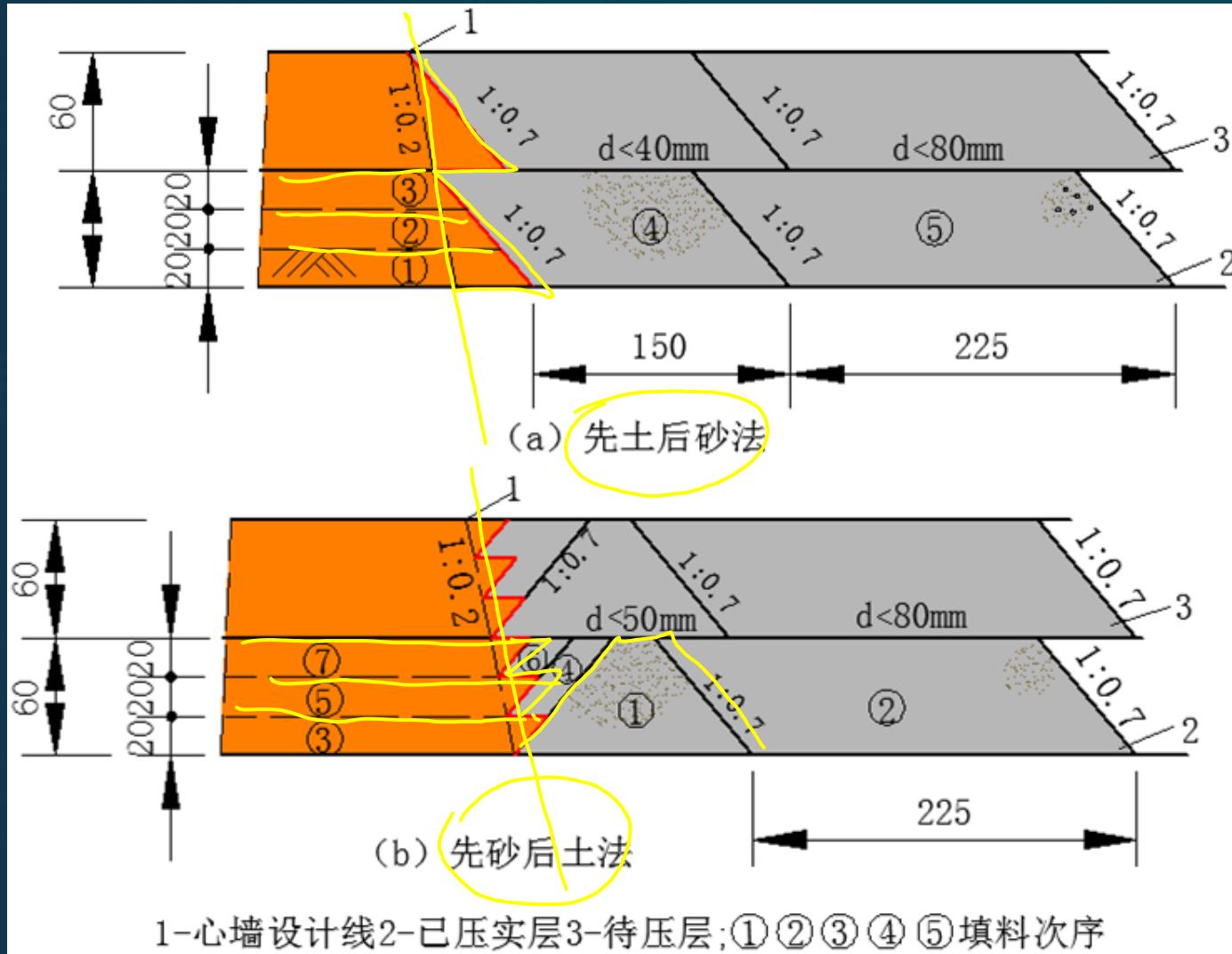
(1) 层与层之间分段接头应错开一定距离；分段条带
应与坝轴线平行布置，各分段之间不应形成过大的高差。接
坡坡比一般缓于1:3。

(2) 采用土、砂平起（交替进行）的施工方法。一种
是先土后砂法，即先填土料后填砂砾反滤料；另一种是先砂
后土法，即先填砂砾反滤料后填土料。（2012案例）





1F415013 土石坝填筑的施工方法





1F415013 土石坝填筑的施工方法

(3) 坝身与混凝土结构物（如涵管、刺墙等）的连接。填土前，先将结合面的污物冲洗干净，在结合面上洒水湿润，涂刷一层厚约5mm的浓黏性浆、水泥黏性浆或水泥砂浆，要边涂刷、边铺土、边碾压，涂刷高度与铺土厚度一致。靠近混凝土结构物两侧及顶部0.5m范围内填土，不能采用大型机械压实，可采用小型机械夯或人工夯实。混凝土结构物两侧均衡填料压实，以免对其产生过大的侧向压力。2017案例





1F415013 土石坝填筑的施工方法

(4) 坝基结合面。基础部位的填土，宜采用薄层、
轻碾的方法。对于黏性土、砾质土坝基，应将其表层含水
量调节至施工含水量的上限范围，用与防渗体土料相同的
碾压参数压实，然后刨毛3~5cm，再铺土压实。无论何
种坝基，只有填筑厚度达到2m以上时，才可以使用重型
压实机械。



1F415013 土石坝填筑的施工方法

例题：

1. 土料立面开采，下列说法错误的是（ ）。
- A. 适用于土层较厚，料层分布不均匀的料场
 - B. 土温散失小
 - C. 含水率损失大 ✓
 - D. 宜用正铲、反铲、装载机开挖

答案：C



1F415013 土石坝填筑的施工方法

例题：

2. 土石坝施工中，铺料与整平时应注意（ ）。

- A. 铺料宜平行坝轴线进行，铺土厚度要均匀 ✓
- B. 进入防渗体内铺料，自卸汽车卸料宜用进占法倒退铺土 ✓
- C. 黏性土料含水量偏低，主要应在坝面加水 ✗
- D. 非黏性土料含水量偏低，主要应在料场加水 ✗
- E. 对于汽车上坝或光面压实机具压实的土层，应刨毛处理 ✓

答案：ABE



1F415013 土石坝填筑的施工方法

案例1：某2级堤防加固工程，土料场土质为中粉质壤土，平均运距为2km。土方工程施工前，在土料场进行碾压试验。

问题：

1. 与涵洞连接处土方施工需要注意的主要问题有哪些？
2. 指出土方碾压试验的主要参数是什么？
3. 指出该工程土方施工适宜的施工机械？



1F415013 土石坝填筑的施工方法

- 答案：1. 靠近涵管部位不能采用大型机械压实，可采用小型
机械夯或人工夯实。填土碾压时，应先在混凝土面上刷一层泥浆，
涵洞两侧均衡填料压实，以免对其产生过大的侧向压力，影响其
安全。
2. 碾压机具的重量、含水量、碾压遍数及铺土厚度等，对于振
动碾还应包括振动频率及行走速率等。
3. 该工程运距为2km，开挖及运输机械适合采用挖掘机和自卸
汽车，碾压作业可采用拖拉机或轮胎碾。



1F415013 土石坝填筑的施工方法

案例2：某水库枢纽工程由大坝、溢洪道等组成。水库大坝为粘土心墙土石坝，最大坝高70m。施工单位报送的施工方案部分内容如下：坝体填筑时先进行粘土心墙填筑，待心墙完成后，再进行上下游反滤料及坝壳料填筑，并分别进行碾压。

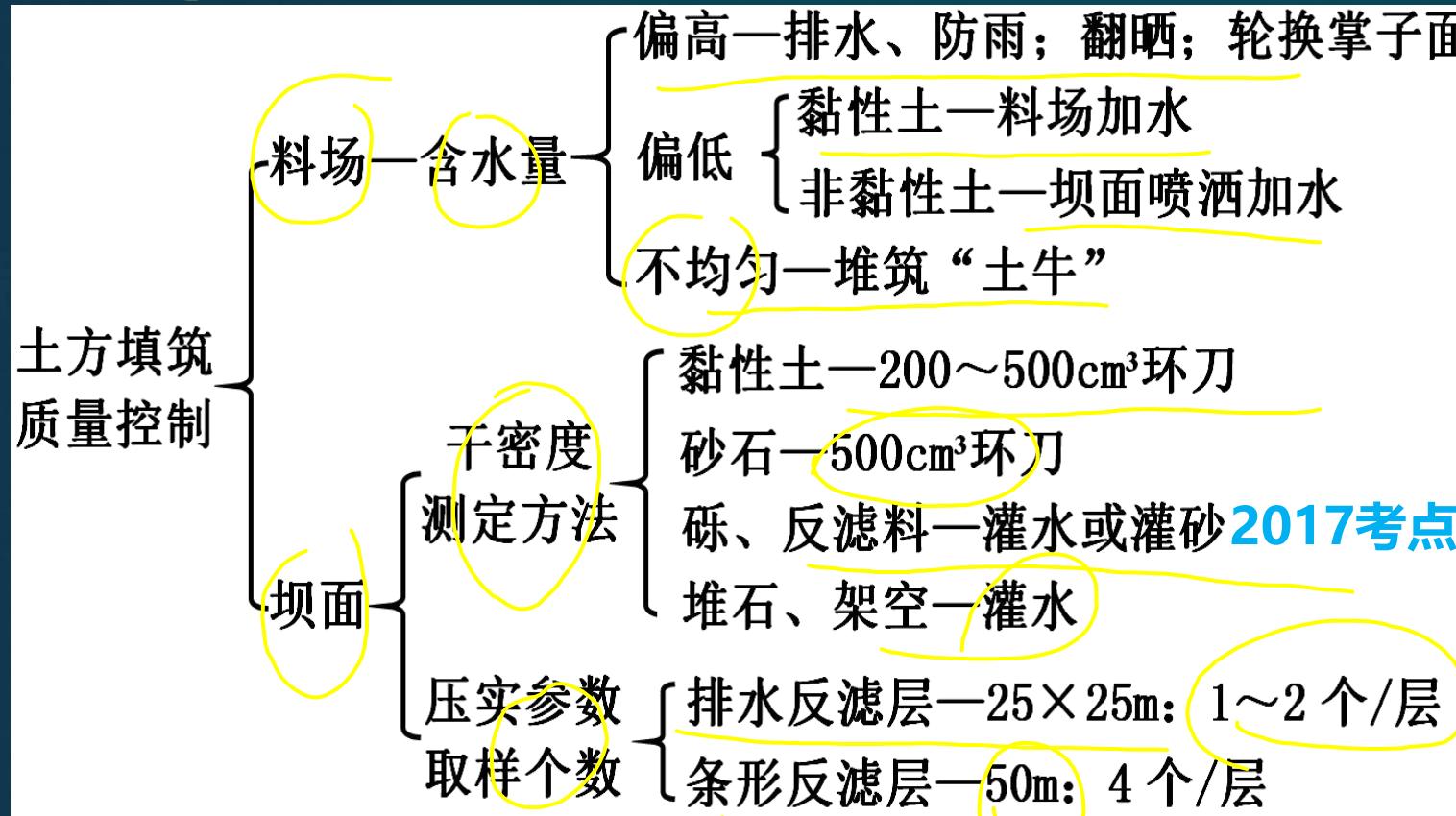
问题：指出坝体填筑的不妥之处，并说明正确做法。

答案：待心墙完成后，再进行上下游反滤料及坝壳料填筑不妥，应同时填筑，可先土后砂或者先砂后土。



1F415014 土石坝的施工质量控制

包括料场、坝面的质量检查和控制。





1F415014 土石坝的施工质量控制

三、负温施工的质量检查和控制

当日平均气温低于 0°C 时，黏性土料应按低温季节进行施工管理。当日平均气温低于 -10°C 时，不宜填筑土料。负温施工注意以下几点：

(1) 黏性土含水量略低于塑限。压实土料温度应在 -1°C 以上。宜采用重型碾压机械。

(2) 砂砾料的含水量应小于4%，不得加水。填筑时应基本保持正温，冻料含量控制在10%以下，冻块粒径不超过10cm，且均匀分布。

(3) 当日最低气温低于 -10°C 时，可以采用搭建暖棚进行施工。

1F415014 土石坝的施工质量控制

例题

1. 土石坝施工中，当黏性土料含水量偏低时，应在（ ）

加水。

- A. 压实前
- B. 运输过程中
- C. 料场
- D. 压实后

答案：C



1F415014 土石坝的施工质量控制

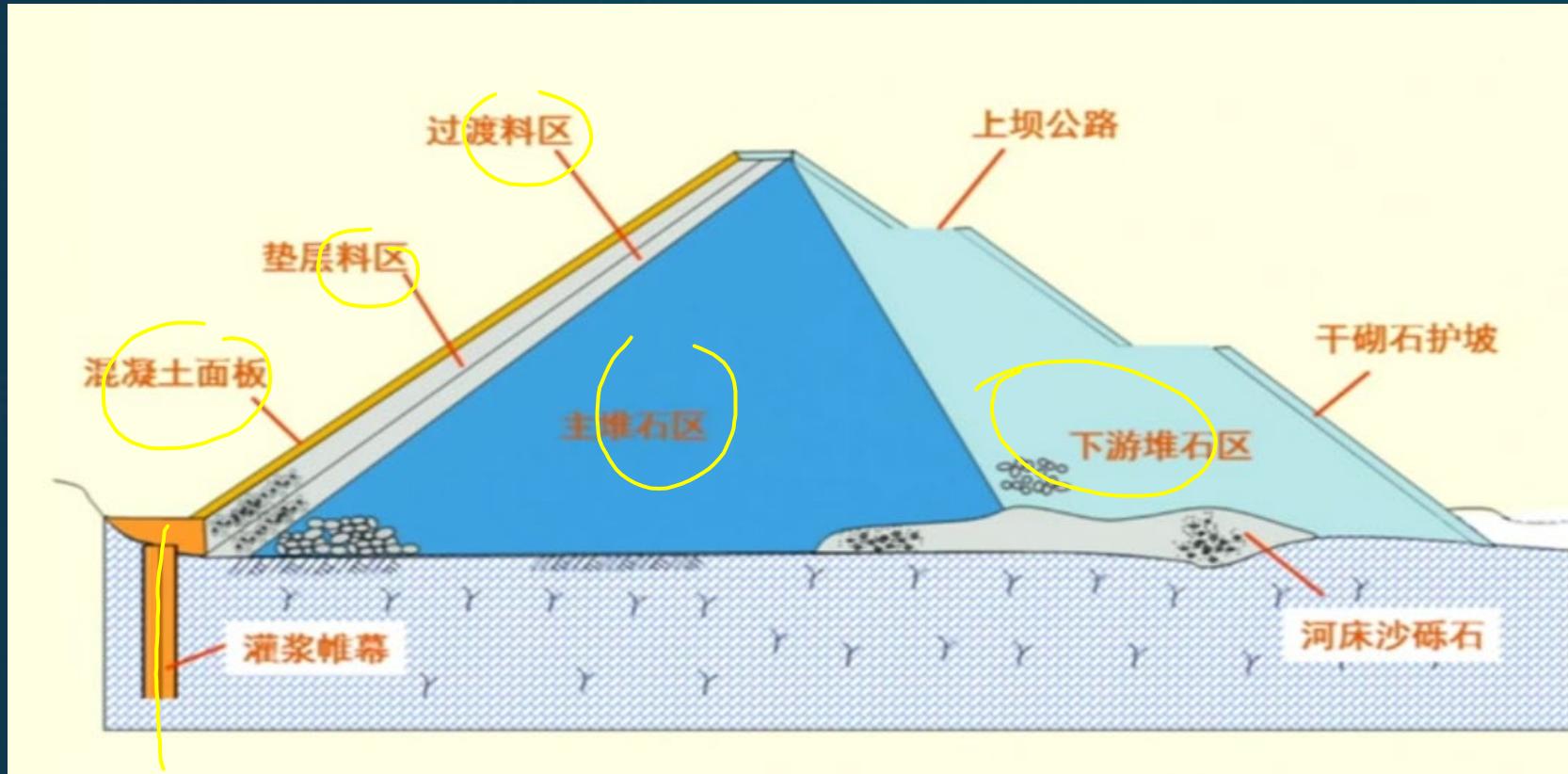
2. 坝面质量检查和控制，下列说法正确的是（ ）。

- A. 黏性土干密度的测定主要采用灌砂法
- B. 砾质土、砂砾料、反滤料用灌水法或环刀法测定
- C. 在填筑排水反滤层过程中，每层在 $25m \times 25m$ 的面积内取样1~2个
- D. 反滤层、过渡层、坝壳等非黏性土的填筑，主要应控制压实参数
- E. 对条形反滤层，每隔50m设一取样断面，每个取样断面每层取样不得少于4个

答案：CDE



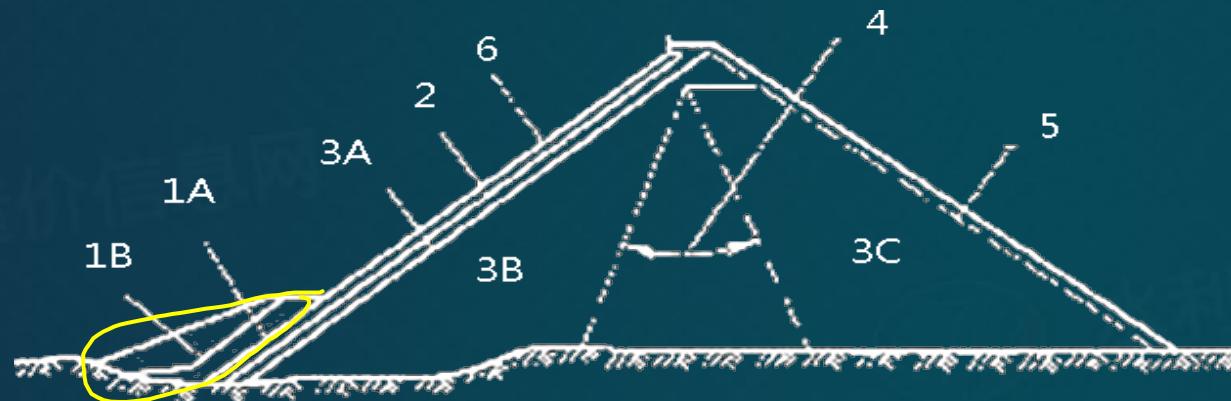
1F415020 混凝土面板堆石坝施工技术





1F415021 面板堆石坝坝体材料分区

面板堆石坝上游面有薄层防渗面板，面板可以是刚性钢筋混凝土的，也可以是柔性沥青混凝土的。



堆石坝坝体分区 (2011、2015案例考点、2012考点)

1A—上游铺盖区；1B—压重区；2—垫层区；3A—过渡区；3B—主堆石区；
3C—下游堆石区；4—主堆石区和下游堆石区的可变界限；5—下游护坡；6—
混凝土面板



1F415021 面板堆石坝坝体材料分区

二、堆石坝坝体分区

| 部 位 | 作 用 | 要 求 | | |
|----------------|------------------------|----------------|---------------|----------------------------------|
| 垫层区 | 为面板提供平整、密实的基础，辅助渗流控制作用 | 低压缩性、高抗剪强度 | 内部渗透稳定，良好施工特性 | 级配良好，最大粒径 $80 \sim 100\text{mm}$ |
| 过渡区 | 保护垫层区在高水头作用下不产生破坏 | 剪强度 | | 级配符合反滤要求，最大粒径不宜超过 300mm |
| 主堆石区 2021案例 | 承受水荷载的主要支撑体 | 石质坚硬 | 自由排水 | 级配良好，最大粒径不应超过压实层厚度 |
| 下游堆石区 | 保护主堆石体及下游边坡的稳定 | 水下部分：坚硬、抗风化能力强 | | / |



1F415021 面板堆石坝坝体材料分区

例题：

面板堆石坝高坝垫层区材料应具有良好的级配和（ ）。

- A. 低压缩性
- B. 高抗剪强度
- C. 内部渗透稳定
- D. 较低的含水量
- E. 良好施工特性

答案：ABCE



1F415022 坝体填筑施工

关键是对填筑工艺和压实参数进行有效控制。

1.填筑工艺2021考点

(3) 坝体堆石料碾压应采用振动平碾, 其工作质量不小于10t。高坝宜采用重型振动碾, 振动碾行进速度宜小于3km/h。各碾压段之间的搭接不应小于1.0m。



1F415022 坝体填筑施工

| 填筑方法 | 优点 | 缺点 | 适用 |
|---------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| (1) 后退法 | <u>汽车可在压平的坝面上行驶，减轻轮胎磨损</u> | <u>推土机摊平工作量大，且影响施工进度</u> | <u>垫层料</u> <u>过渡料</u> |
| (2) 进占法 | <u>减轻了推土机的摊平工作量，填筑速度快</u> | <u>料物稍有分离</u> | <u>坝料</u> |



图 1F415022-1 进占法



图 1F415022-2 后退法



图 1F415022-3 混合法



1F415022 坝体填筑施工

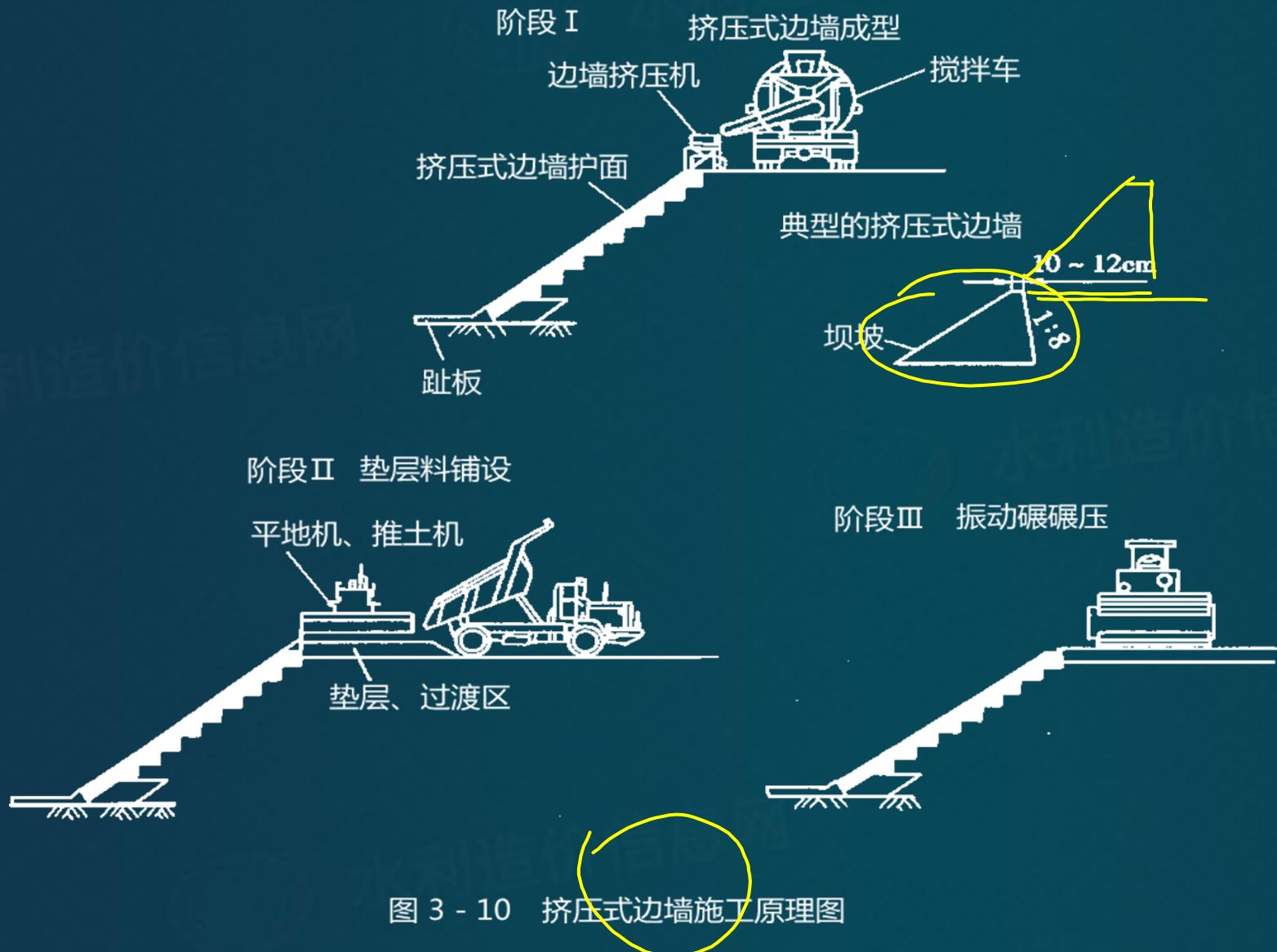
(4) 压实过程中，有时表层块石有失稳现象。为改善垫层料碾压质量，采用斜坡碾压与砂浆固坡相结合的施工方法。



坝面固坡碾压



1F415022 坝体填筑施工





1F415022 坝体填筑施工





1F415022 坝体填筑施工

2.堆石坝的压实参数和质量控制

1) 堆石坝的压实参数

碾重、行车速率、铺料厚度、加水量、碾压遍数。 2017、

2021案例

2) 堆石坝施工质量控制

(1) 坝料压实质量检查，应采用碾压参数和干密度（孔隙率）等参数控制，以控制碾压参数为主。

(2) 铺料厚度、碾压遍数、加水量等碾压参数应符合设计要求，铺料厚度应每层测量，其误差不宜超过层厚的10%。



1F415022 坝体填筑施工

(3) 坝料压实检查项目、取样次数见表2021案例

| 坝料 | | 检查项目 | 取样次数 |
|-----|----------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 垫层料 | 坝面 | 干密度、颗粒级配 | 1次/ (500~1000m ³) 每层至少1次 |
| | 上游坡面 | 干密度、颗粒级配 | 1次/ (1500~3000m ³) |
| | 小区 | 干密度、颗粒级配 | 1次/ (1~3层) |
| 过渡料 | 干密度、颗粒级配 | 1次/ (3000~6000m ³) | |
| 砂砾料 | 干密度、颗粒级配 | 1次/ (5000~10000m ³) | |
| 堆石料 | 干密度、颗粒级配 | 1次/ (10000~100000m ³) | |



1F415022 坝体填筑施工

(4) 坝料压实检查方法。

垫层料、过渡料和堆石料压实干密度检测方法，宜采用挖坑灌水（砂）法，或辅以其他成熟的方法。垫层料也可用核子密度仪法。2016考点

垫层料：试坑直径不小于最大料径的4倍，试坑深度为碾压层厚。

过渡料：3~4倍，碾压层厚。

堆石料：2~3倍，最大不超过2m。碾压层厚。

2017案例

总结：试坑直径4、3、2，由大到小



1F415022 坝体填筑施工

(5) 测定的干密度，其平均值不小于设计值，标准差不宜大于 $50\text{g} / \text{m}^3$ 。当样本数小于20组时，应按合格率不小于90%，不合格点的干密度不低于设计干密度的95%控制。



1F415022 坝体填筑施工

例题

1. 在面板堆石坝堆石的施工质量控制中，需检查的项目

包括()。

- A. 颗粒级配 ✓
- B. 干密度 ✓
- C. 过渡性
- D. 渗透系数
- E. 内部渗透稳定性

答案：AB



1F415022 坝体填筑施工

2. 堆石坝过渡料压实检查，试坑直径为最大料径的（ ），试坑深度为碾压层厚。

- A. 1~2倍
- B. 2~3倍
- C. 3~4倍
- D. 4~5倍

答案：C



1F415022 坝体填筑施工

3.堆石坝填筑质量控制关键主要是对（ ）进行控制。

- A.料场
- B.施工机械
- C.填筑工艺
- D.坝面
- E.压实参数

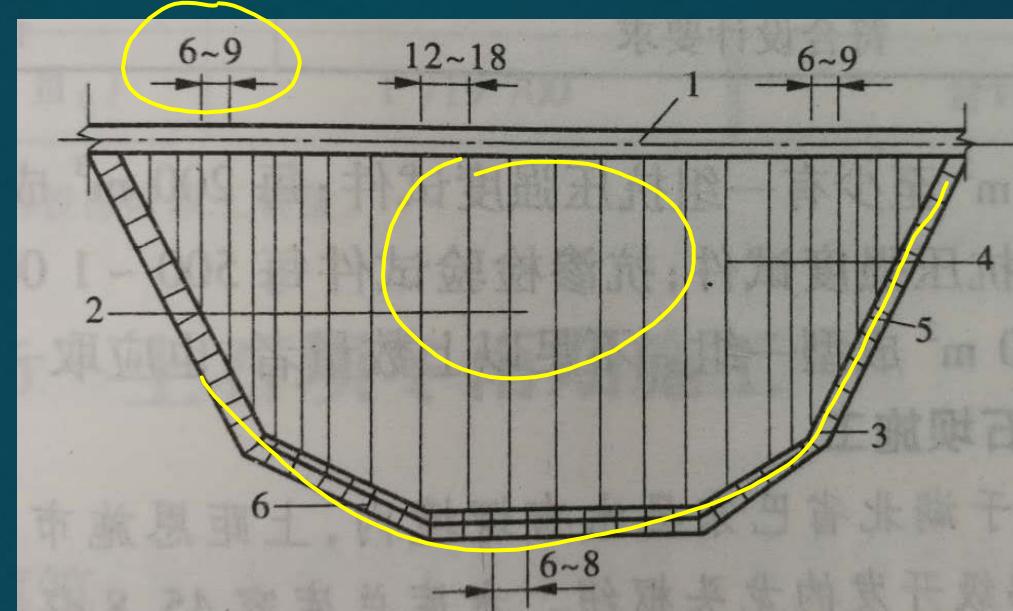
答案：CE



1F415023 面板及趾板施工

一、混凝土面板的施工

混凝土面板是面板堆石坝的主要防渗结构（2014考点），厚度薄、面积大，在满足抗渗性和耐久性条件下，要求具有一定柔性，以适应堆石体的变形。

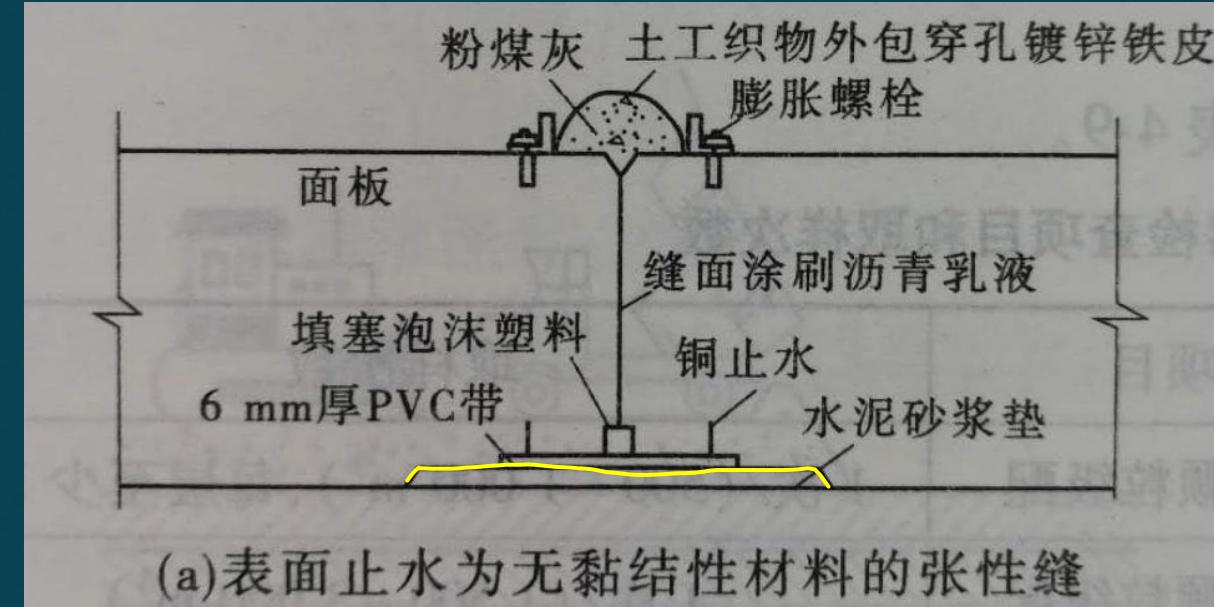




1F415023 面板及趾板施工

面板的施工主要包括：混凝土面板的分块、垂直缝砂浆条铺设、钢筋架立、面板混凝土浇筑、面板养护等作业内容。

(2011、2021案例考点)





1F415023 面板及趾板施工



面板施工

趾板基础开挖

浇筑完成的趾板



1F415023 面板及趾板施工

1. 混凝土面板的分块

纵缝的间距决定面板的宽度，面板通常采用滑模连续浇筑。面板的宽度决定混凝土浇筑能力。根据坝体变形及施工条件进行面板分缝分块。垂直缝的间距：中部受压区12~18m，两侧受拉区6~9m。

2. 垂直缝砂浆条铺设

一般宽50cm，是控制面板体型的关键。砂浆铺设完成后，再在其上铺设止水，架立侧模。



1F415023 面板及趾板施工

3. 钢筋架立

- (1) 面板宜采用单层双向钢筋，钢筋宜置于面板截面中部，每向配筋率为 $0.3\% \sim 0.4\%$ ，水平向配筋率可少于竖向配筋率。
- (2) 在拉应力区或岸边周边缝及附近可适当配置增强钢筋。
- (3) 计算钢筋面积应以面板混凝土的设计厚度为准。



1F415023 面板及趾板施工

4. 面板混凝土浇筑

- (1) 通常面板混凝土采用滑模浇筑。
- (2) 混凝土由混凝土搅拌车运输，溜槽输送混凝土入仓。
- (3) 施工中应控制入槽混凝土的坍落度在3~6cm，振捣器应在滑模前50cm处进行振捣。



1F415023 面板及趾板施工

5.面板养护

养护是避免发生裂缝的重要措施。面板的养护包括保温、保湿两项内容。一般采用草袋保温，喷水保湿，并要求连续养护。面板混凝土宜在低温季节浇筑，加强混凝土面板表面的保湿和保温养护，直到蓄水为止，或至少90d。（2011、2015案例）



1F415023 面板及趾板施工

二、沥青混凝土面板施工

沥青混凝土施工过程中温度控制十分严格。

施工特点：铺填及压实层薄，通常板厚10~30cm，

施工压实层厚仅5~10cm，且铺填及压实均在坡面上
进行。



1F415023 面板及趾板施工

三、接缝止水施工

接缝止水材料包括金属止水片、塑料止水带、缝面嵌缝材料及保护膜等。铜止水带的连接宜采用对缝焊接或搭接焊接，焊缝处的抗拉强度不应小于母材抗拉强度的70%。对缝焊接应用单面双道焊缝，搭接焊接宜双面焊接，搭接长度应大于20mm。铜止水带宜用黄铜焊条焊接。抽样用煤油等做渗透检验。2020案例



1F415023 面板及趾板施工

例题：混凝土面板宜采用单层双向钢筋，钢筋宜置于面板截面（ ）。

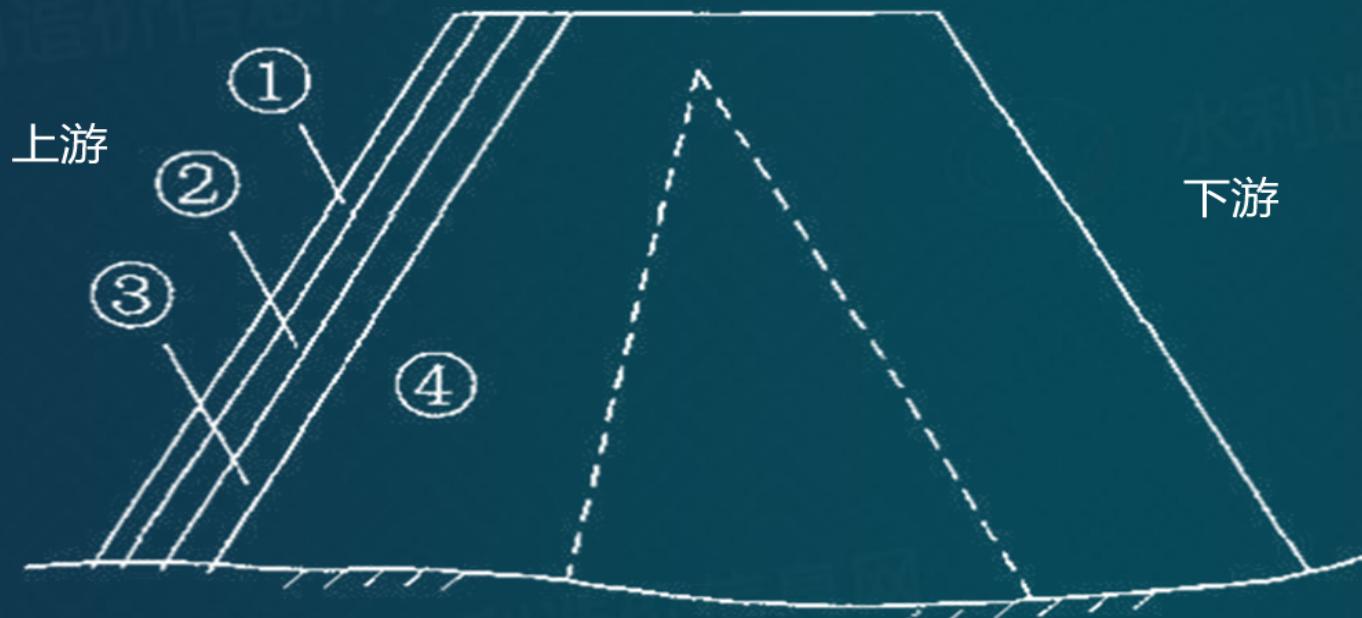
- A. 边缘部位
- B. 上部
- C. 下部
- D. 中部

答案: D



1F415023 面板及趾板施工

案例：某大(2)型水利枢纽工程由拦河坝、溢洪道、泄洪隧洞、发电引水隧洞等组成。拦河坝为混凝土面板堆石坝，坝高80m。拦河坝断面示意如图。





1F415023 面板及趾板施工

施工过程中发生如下事件：

1. 混凝土面板堆石坝施工完成的工作有：A为面板混凝土的浇筑；B为坝基开挖；C为堆石坝填筑；D为垂直缝砂浆条铺设；E为止水设置。

2. 混凝土面板设计采用金属止水，施工单位将金属止水采取搭接方式直接制作及安装。面板混凝土脱模后，立即采取洒水的方法养护，持续养护28天。



1F415023 面板及趾板施工

- 问题：1.指出图1拦河坝坝体分区中①~④部位的名称。
- 2.指出事件1中A、B、C、D、E工作适宜的施工顺序（用工作代码和箭线表示）。
- 3.指出事件3中施工方面的不妥之处，并说明正确做法。



1F415023 面板及趾板施工

答案：1. ①面板、②垫层区、③过渡区、④主堆石区
2.B (坝基开挖) 、C (堆石坝填筑) 、D (垂直缝砂浆条铺设) 、
E (止水设置) 、A (面板混凝土的浇筑)
3.施工单位将金属止水采取搭接方式不妥，应采用焊接。面板混
凝土脱模后，立即采取洒水的方法养护，持续养护28天不妥；
应喷水保湿，养护到蓄水为止，或至少90d。



水利造价信息网

谢谢收看！