

2024 环球网校一级建造师《水利水电工程管理与实务》新考纲精讲班

本讲义对应视频第 8-10 讲

第 3 章土石方与土石坝工程

知识框架

第 3 章土石方与土石坝	节	主要内容
	3.1 土石方工程	3.1.1 土石方工程施工的土石分级 3.1.2 土方开挖技术 3.1.3 石方开挖技术 3.1.4 锚固技术 3.1.5 地下工程施工
	3.2 土石坝施工技术	3.2.1 土石坝施工机械的配置 3.2.2 土石坝填筑的施工碾压试验 3.2.3 土石坝填筑的施工方法 3.2.4 土石坝的施工质量控制
	3.3 面板堆石坝施工技术	3.3.1 面板堆石坝结构布置 3.3.2 坝体填筑施工 3.3.3 面板及趾板施工

3.1 土石方工程

3.1.1 土石方工程施工的土石分级

水利水电工程施工中常用的土石分级，依开挖方法、开挖难易、坚固系数等，共划分为 16 级，其中土分 4 级，岩石分 12 级。

1. 土的分级

土的等级	土的名称
I	砂土、种植土
II	壤土、淤泥、含根种植土
III	黏土、干燥黄土、干淤泥、含少量碎石的黏土
IV	坚硬黏土、砾质黏土、含卵石黏土

2. 洞室开挖的围岩分类

围岩工程地质分类表 3.1-3

围岩类别	围岩稳定性	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
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	不支护或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
III	稳定性差。围岩强度不足，局部会产生塑性变形，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。跨度为 20~25m 时，浇筑混凝土衬砌
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、系统锚杆加钢筋网或加钢构架
V	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	管棚、喷混凝土、系统锚杆、钢构架，必要时进行二次支护

3.1.2 土方开挖技术

1. 机械开挖

机械开挖的主要挖土机械有挖掘机、装载机、推土机和铲运机等。

2. 闸坝基础人工开挖

临近设计高程时，应留出 0.2~0.3m 的保护层暂不开挖，待上部结构施工时，以挖除。

3.1.3 石方开挖技术

1. 开挖方法



石方开挖一般采用爆破方法。按照药室的状态不同分为**钻孔爆破和洞室爆破**。

1) 钻孔爆破。钻孔爆破按照孔径大小和钻孔的深度又分为浅孔爆破、深孔爆破。

(1) 孔径小于 75mm、深度小于 5m 的钻孔爆破称为浅孔爆破。

浅孔爆破法能**均匀破碎介质**，不需要复杂的钻孔设备，操作简单，可适应各种地形条件，而且便于控制开挖面的形状和规格，主要应用于地下工程开挖、**中小型**料场开采、水工建筑物基础分层开挖等。浅孔爆破法钻孔**工作量大，生产率较低**。

(2) 孔径大于 75mm、孔深大于 5m 的钻孔爆破称为深孔爆破。

深孔爆破法一般适用于Ⅶ～Ⅺ级岩石。深孔爆破是**大型**基坑开挖和**大型**采石场开采的主要方法。与浅孔爆破比较，其单位体积岩石所需的**钻孔工作量较小，单位耗药量低，劳动生产率高。缺点是钻孔设备复杂，设备费高**。

2) 洞室爆破又称为大爆破，是指在专门设计开挖的洞室内装药爆破。可以进一步分为**松动爆破、抛掷爆破和定向爆破**。

3) 为在岩体上开挖成设计的轮廓面并防止围岩破坏、控制超挖或欠挖，需要采用控制爆破技术，包括**预裂爆破和光面爆破**。

2. 基础开挖

1) 保护层厚度。

岩石基坑开挖遵循“自上而下分层开挖”的原则，主要采用**深孔爆破**。

保护层厚度表 3.1-5

岩体特性	完整和坚硬的岩体	较完整、较破碎和较坚硬的岩体	破碎和较软的岩体
H/D	25	30	40

注：H 为保护层厚度；D 为台阶爆破底部的装药直径

3. 爆破有害效应控制

1) 爆破有害效应

在锚索灌浆、锚杆灌浆、喷混凝土的强度达到设计强度的**70%**以前，其**20m**范围内不允许爆破。

2) 飞石安全距离

爆破飞石对人员的安全运行距离（露天岩石爆破）表

爆破方法	最小安全允许距离 (m)
浅孔爆破法破大块	300
浅孔 台阶 爆破	200（复杂地质条件下或未形成台阶工作面时不小于 300）
深孔 台阶 爆破	按设计，但不小于 200
洞（硐）室爆破	按设计，但不小于 300

3) 爆破有害效应的控制

(1) 在**爆源**上控制：合理选择爆破参数、装药量和装药结构；采用深孔微差爆破；合理布置最小抵抗线。

(2) 在**传播途径**上控制：预裂爆破、开挖**减振槽**；对临空面进行覆盖、设立**防波屏**。

(3) 在**保护对象**上进行防护：**防震沟、防护屏**、表面覆盖。

(4) 在**管理措施上**进行控制：安全教育和培训；严格执行规章制度和作业规程。

3.1.4 锚固技术【略】

3.1.5 地下工程施工

1. 规模分类

水工地下洞室按照倾角（洞轴线与水平面的夹角）可划分为：

平洞：倾角 $\leq 6^\circ$ ；

斜井：倾角 $6^\circ \sim 75^\circ$ ；

竖井：倾角 $\geq 75^\circ$ 。

地下工程按其规模大小可分为特小断面、小断面、中断面、大断面和特大断面五类。

规模分类	洞室断面积 A (m^2)	跨度 B (m)
特小断面	≤ 10	≤ 3
小断面	$10 < A \leq 25$	$3 < B \leq 5$



中断面	$25 < A \leq 100$	$5 < B \leq 10$
大断面	$100 < A \leq 225$	$10 < B \leq 15$
特大断面	> 225	> 15

地下建筑物开挖不宜欠挖，平均径向超挖值，**平洞应不大于 20cm**，缓斜井、斜井和竖井应**不大于 25cm**。

2. 洞口开挖

洞口削坡应**自上而下**分层进行。

洞口段一般采用**先导洞后扩挖**的方法施工，采取浅孔弱爆破。断面较小时也可采用**全断面**开挖、及时支护的方法。当洞口明挖量大或岩体稳定性差、工期紧张时，可利用施工支洞或导洞**自内向外**开挖，并及时做好支护。



3. 平洞开挖

中小断面洞室，宜采用**全断面**开挖；

大断面、特大断面宜采用**分层、分区**开挖。

4. 斜井与竖井开挖

倾角为 $6^\circ \sim 30^\circ$ 时，宜采用**自上而下**全断面开挖；

倾角为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 时，可采用**自上而下**全断面开挖或**自下而上**开挖。

倾角为 $45^\circ \sim 75^\circ$ 时，可采用**自下而上**先挖导井、再自上而下扩挖，或**自下而上**全断面开挖。

3.2 土石坝施工技术

3.2.1 土石坝施工机械的配置【略】

3.2.2 土石坝填筑的施工碾压试验

1. 压实机械

压实机械分为**静压碾压、振动碾压、夯击**三种基本类型。



羊足碾在压实过程中，对表层土有翻松作用，**无需刨毛**就可以保证土料良好的层间结合。



2. 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。



设计最大干密度应以击实最大干密度乘以压实度求得。

【含水率=水的质量/土粒质量】

【干密度=湿密度/(1+含水率)】

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，宜取上述规定的大值。

2) 非黏性土的填筑标准

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。

3. 压实参数的确定

1) 土料填筑压实参数主要包括**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。

2) 黏性土料压实含水量可取 $\omega_1 = \omega_p + 2\%$ ； $\omega_2 = \omega_p$ ； $\omega_3 = \omega_p - 2\%$ 三种进行试验。 **ω_p 为土料塑限。**

3) 选取试验铺土厚度和碾压遍数，并测定相应的含水量和干密度，作出对应的关系曲线。其中以**单位压实遍数的压实厚度最大者为最经济、合理**。

3.2.3 土石坝填筑的施工方法

1. 土石坝施工作业划分

碾压土石坝的施工作业，包括**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”（通车、通水、通电、通信、平整场地）、修建生产、生活福利、行政办公用房以及排水清基等工作。

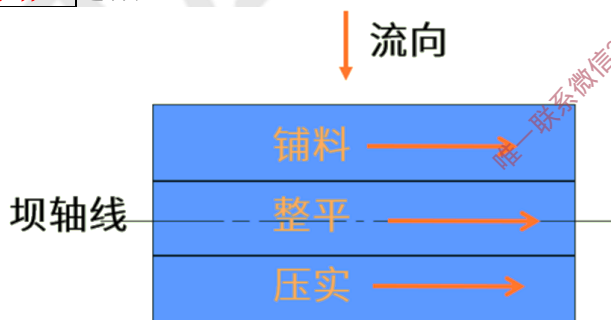
2) 基本作业。包括**料场**土石料开采、挖、装、运以及**坝面作业**等。

3) 辅助作业。辅助作业是保证准备及基本作业顺利进行，创造良好工作条件的作业，包括清除施工场地及料场的覆盖，从上坝土料中剔除超径石块、杂物，坝面排水、层间刨毛和加水等。

4) 附加作业。附加作业是保证坝体长期安全运行的防护及修整工作，包括**坝坡**修整，铺砌**护面**块石及铺植草皮等。

2. 坝面作业的基本要求

坝面作业施工程序包括**卸料、铺料、整平、洒水、压实、质量检验**等工序。为了不使各工序之间相互干扰，可采用**分段流水作业**进行施工。



1) 卸料与铺料

(1) 卸料和铺料有三种方法，即**进占法、后退法和混合法**。一般采用进占法，进占法铺料厚度容易控制，容易平整，压实设备工作条件较好。

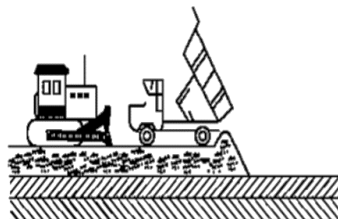


图1 进占法

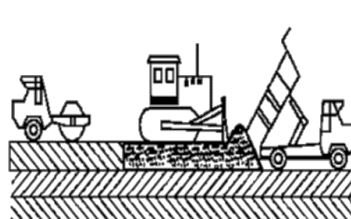


图2 后退法



(2) 铺料宜**平行**坝轴线进行。进入防渗体内铺料，自卸汽车卸料宜用**进占法**倒退铺土，使汽车始终在松土上行驶，避免在压实土层上开行，造成超压，引起剪力破坏。

(3) 黏性土料含水量偏低，主要应在**料场**加水。对非黏性土料，为防止运输过程脱水过量，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。

(4) 对于汽车上坝或**光面压实机具**压实的土层，应**刨毛处理**，以利层间结合。通常刨毛深度 3~5cm。

2) 压实(碾压)

碾压方式主要取决于碾压机械的开行方式。碾压机械的开行方式通常有：**进退错距法和圈转套压法**两种。

(1) 进退错距法：压实质量容易保证，效率相对较低。

错距宽度 b (m) 按下式计算：

$$b=B/n$$

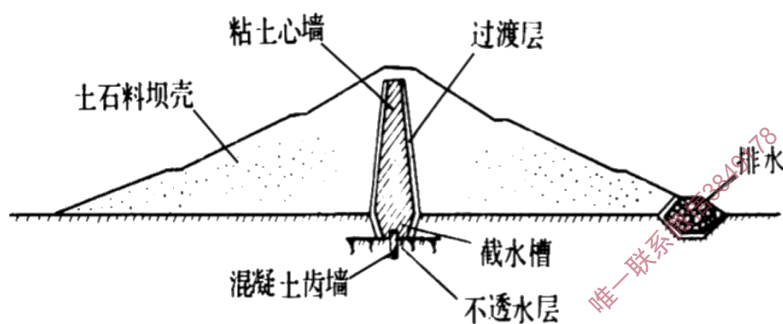
式中： B —碾滚净宽； n —设计碾压遍数

(2) 圈转套压法：效率高、质量难以保证。

3. 结合部位施工

1) 在坝体填筑中，层与层之间分段接头应**错开**一定距离，同时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) 坝体填筑中，为了保护黏土心墙或黏土斜墙不致长时间暴露在大气中遭受影响，一般都采用**土、砂平起**的施工方法。



3) 对于坝身与混凝土结构物(如涵管、刺墙等)的连接部位，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 的浓黏性浆或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时，**可采用小型机械夯或人工夯实**。要注意混凝土结构物两侧**均衡填料**压实，以免对其产生过大的侧向压力。



4) 坝基结合面。对于基础部位的填土，宜采用**薄层、轻碾**的方法。

对于黏性土、砾质土坝基，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**。

非黏性土地基应先**压实**，再**铺**第一层土料，采用轻型机械压实，压实干密度可略低于设计值。

对于岩基，应先把局部凹凸不平的岩石进行**整平，封闭**岩石表面节理、裂隙，防止渗水冲蚀防渗体。若岩基干燥**可适当洒水**，并使用含水量略高的土料。

3.2.4 土石坝的施工质量控制

1. 料场的质量检查和控制

1) 对土料场应经常检查所取土料的**土质情况、土块大小、杂质含量和含水量**等。其中含水量的检查和控制尤为重要。

2) 若土料的含水量偏高，一方面应改善料场的**排水**条件和采取**防雨**措施，另一方面需将含水量偏高的土料进行**翻晒**处理，或采取**轮换掌子面**的办法，使土料含水量降低到规定范围再开挖。若以上方法仍难满足要求，可以采用**机械烘干法**烘干。

3) 对石料场应经常检查**石质、风化程度、石料级配大小及形状等**是否满足上坝要求。

2. 坝面的质量检查和控制

1) 在坝面作业中，应对**铺土厚度、土块大小、含水量、压实后的干密度**等进行检查，并提出质量控制措施。

干密度的测定：

黏性土、砂可用**环刀**取样测定；

砾质土、砂砾料、反滤料用**灌水法或灌砂法**测定；

堆石因其空隙大，一般用**灌水法**测定。

当砂砾料因缺乏细料而架空时，也用**灌水法**测定。

2) 对于反滤层**铺填的厚度、是否混有杂物、填料的质量及颗粒级配**等应全面检查。

3) 土坝的堆石棱体与堆石体的质量检查大体相同。主要应检查土坝**石料的质量、风化程度、石块的重量、尺寸、形状、堆筑过程有无离析架空**现象发生等。

3.3 面板堆石坝施工技术

3.3.1 面板堆石坝结构布置

1. 堆石坝坝体分区

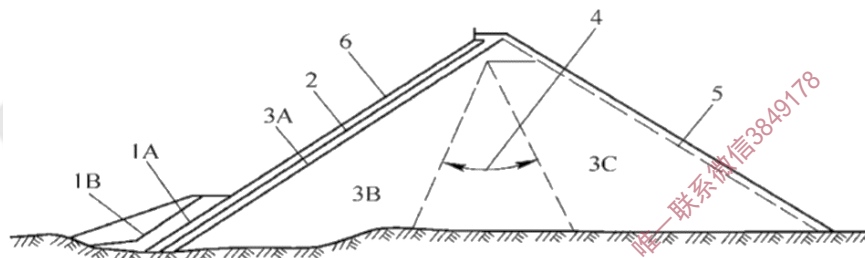


图 3.3-1 堆石坝坝体分区

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

分区部位	作用
垫层区	为面板提供平整、密实的基础，将面板承受的水压力均匀传递给主堆石体，并起辅助渗流控制作用（最大粒径 80~100mm）
过渡区	保护垫层区在高水头作用下不产生破坏（最大粒径 300mm）
主堆石区	承受水荷载的主要支撑体（最大粒径不超过压实层厚度）
下游堆石区	保护主堆石体及下游边坡的稳定

3.3.2 坝体填筑施工

1. 填筑工艺

1) 坝体堆石料铺筑宜采用**进占法**。

2) 垫层料的摊铺多用**后退法**，以减轻物料的分层。



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。碾压应采用错距法。

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。

铺料方式	优点	缺点
进占法	推土机摊平工作量小 填筑速度加快	轮胎磨损较严重 产生物料分离
后退法	减轻轮胎磨损 不宜产生物料分离	推土机摊平工作量大 施工进度慢

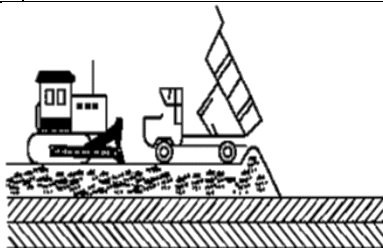


图 3.3-2 进占法

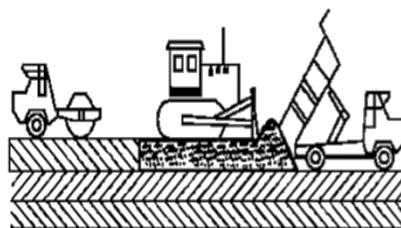


图 3.3-3 后退法

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。

2) 堆石坝施工质量控制

(1) 坝料压实检查项目、取样次数见表 3.3-1。

坝料	检查项目
垫层料	坝面 干密度、颗粒级配
	上游坡面 干密度、颗粒级配
	小区 干密度、颗粒级配
过渡料	干密度、颗粒级配
<u>砂砾料</u>	<u>干密度、相对密度、颗粒级配</u>
<u>堆石料</u>	<u>干密度、孔隙率、颗粒级配</u>

(2) 坝料压实检查方法

坝料	干密度检测方法	试坑直径	试坑深度
堆石料	灌水法、灌砂法	最大料径的 2~3 倍， 最大不超过 2m	碾压层厚
过渡料	灌水法、灌砂法	最大料径的 3~4 倍	碾压层厚
垫层料	灌水法、灌砂法、核子密度仪法	不小于最大料径的 4 倍	碾压层厚

3.3.3 面板及趾板施工

1. 钢筋混凝土面板的施工

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。



1) 混凝土面板的分块

面板纵缝的间距决定了面板的宽度。



面板通常有宽、窄块之分。中部受压区垂直缝的间距可为 **12~18m**，两侧受拉区的间距可为 **6~**

9m。

中等高度以下的坝，面板混凝土不宜设置水平缝，高坝和要求施工期蓄水的坝，面板可以设置 **1~**

2条水平缝。

2) 垂直缝砂浆条铺设

垂直缝砂浆条一般宽 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。

3) 钢筋架立

(1) 面板宜采用**单层双向**钢筋。

(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。

4) 面板混凝土浇筑

(1) 面板采用**滑模**浇筑。

(2) 当混凝土面板垂直缝间距 12m 时，混凝土应用两条溜槽入仓；当混凝土面板垂直缝间距 16m 时，混凝土应用三条溜槽入仓。

(3) 施工中应控制入槽混凝土的塌落度在 **3~6cm**，振捣器应在滑模前 **50cm** 处进行振捣。

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，混凝土入仓温度应加以控制，并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。**

2. 沥青混凝土面板施工

沥青混凝土面板的施工方法有**碾压法、浇筑法、预制装配法以及填石振动法**。

3. 接缝止水施工

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%**。

铜止水带宜用黄铜焊条焊接，焊接时应对垫片进行防火、防融蚀保护。金属止水带的焊缝应**表面光滑、不渗水，无孔洞、裂隙、漏焊、欠焊、咬边伤**等缺陷，抽样应用**煤油**等做渗透检验。

【本章知识总结及对应练习】

第 3 章土石方与土石坝	节	主要内容
	3.1 土石方工程	3.1.1 土石方工程施工的土石分级 3.1.2 土方开挖技术 3.1.3 石方开挖技术 3.1.4 锚固技术 3.1.5 地下工程施工
	3.2 土石坝施工技术	3.2.1 土石坝施工机械的配置 3.2.2 土石坝填筑的施工碾压试验 3.2.3 土石坝填筑的施工方法 3.2.4 土石坝的施工质量控制
	3.3 面板堆石坝施工技术	3.3.1 面板堆石坝结构布置 3.3.2 坝体填筑施工 3.3.3 面板及趾板施工

【例题·单选】II类围岩的稳定性状态是（ ）。

- A. 稳定
- B. 基本稳定
- C. 不稳定
- D. 极不稳定

【答案】B

【解析】II类围岩基本稳定。围岩整体稳定，不会产生塑性变形，局部可能产生掉块。



【例题·单选】根据《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》（DL/T5389），锚杆灌浆强度达到设计强度的70%以前，其（ ）m范围内不允许爆破。

- A. 10
- B. 20
- C. 30
- D. 50

【答案】B

【解析】在锚索灌浆、锚杆灌浆、喷混凝土的强度达到设计强度的70%以前，其20m范围内不允许爆破。

【例题·单选】某土石坝填筑土料的击实最大干密度为 1.69g/cm^3 ，设计压实度为0.99，则设计最大干密度为（ ） g/cm^3 。

- A. 1.67
- B. 1.70
- C. 1.72
- D. 1.84

【答案】A

【解析】设计最大干密度应以击实最大干密度乘以压实度求得。

【例题·单选】面板堆石坝的过渡区位于（ ）之间。

- A. 主堆石区与下游堆石区
- B. 上游面板与垫层区
- C. 垫层区与主堆石区
- D. 下游堆石区与下游护坡

【答案】C

【解析】面板堆石坝的过渡区位于垫层区与主堆石区之间。

【例题·单选】采用挖坑灌水（砂）法检测面板堆石坝堆石料压实干密度时，试坑深度为（ ）。

- A. 碾压层厚
- B. $1/3$ 碾压层厚
- C. $1/2$ 碾压层厚
- D. 1.5 倍碾压层厚

【答案】A

【解析】堆石料试坑直径为坝料最大料径的 $2\sim 3$ 倍，试坑直径最大不超过2m。试坑深度为碾压层厚。

