



水利造价信息网

一级造价工程师

—— 水利工程施工技术与计量 精讲班

主讲老师：吕桂军



第五章：水利工程施工



PART 01

施工机械



一、施工机械的分类

结合水利工程施工特点将常用水利工程施工机械分为以下九类：

(1)土石方机械。

包括挖掘机、装载机、铲运机、推土机、拖拉机、压实机械、凿岩机械、岩石掘进机(TBM)、盾构机等。

(2)混凝土机械。

包括混凝土搅拌机、混凝土搅拌站、混凝土搅拌楼、混凝土搅拌车、混凝土输送泵、混凝土泵车、混凝土喷射机、塔带机、胎带机、振捣器、平仓振捣机、切缝机、模板台车等。



一、施工机械的分类





一、施工机械的分类

(3) 运输机械。

包括载重汽车、自卸汽车、机动翻斗车、电瓶机车、斗车、矿车、轨道车、螺旋输送机、胶带输送机等。

(4) 起重机械。

包括缆索起重机、塔式起重机、门座式起重机、龙门式起重机、履带起重机、汽车起重机、电动葫芦、卷扬机等。

(5) 砂石料加工机械。

包括颚式破碎机、旋回式破碎机、圆锥破碎机、重型振动筛、给料机、堆料机、卸料小车等。

(6) 钻孔灌浆机械。

包括地质(岩心)钻机、冲击钻机、反循环钻机、泥浆泵、灌浆泵、高喷台车、柴油打桩机等。



一、施工机械的分类

(7)工程船舶。

包括绞吸式挖泥船、耙吸式挖泥船、链斗式挖泥船、抓斗式挖泥船、铲斗式挖泥船、水力冲挖机组、吹泥船、拖轮、油轮、木船等。

(8)动力机械。

包括汽油发电机、空压机、柴油发电机、柴油发电机组等。

(9)其他机械。

包括离心水泵、汽油泵、潜水泵、深井泵、通风机、冷凝器、电焊机、钢筋弯曲机、卷板机、滤油机等。



二、施工机械设备选择的原则及要求

1、施工机械设备选择的原则

- ①应考虑工程规模，满足工程的施工条件和施工强度要求，保证工程的施工质量。
- ②应选用安全可靠、生产率高、技术性能先进、节能环保和易于检修保养的施工机械设备。
- ③应选用适应性比较广泛、类型比较单一和通用的施工机械设备，各部位之间的施工机械设备宜相互协调、互为利用。
- ④进行施工机械设备配套组合时，宜采用配套机械设备种类少的组合方案。
- ⑤对大型工程或有特殊要求的工程，施工机械设备选型应通过专题论证。



二、施工机械设备选择的原则及要求

2、施工机械设备配套组合方案和计算原则

- ①可根据设计和施工条件，采用定额法、机械性能分析和工程类比法等方法计算施工机械设备生产率。
- ②计算施工机械设备数量时，必须满足各施工期、施工部位的施工进度和强度的要求，并应考虑各种施工条件下的有效施工天数、机械效率和施工不均匀程度。
- ③在确定施工机械设备配套组合方案时，应首先确定起主导控制作用的机械设备，其他与之配套的机械设备需要量，应根据主导机械设备而定。
- ④对影响因素复杂的施工机械设备选择和配套组合方案，宜采用系统仿真技术进行论证。



三、常用施工机械设备简介

◆ （一）、土石方机械

一、土方机械概论

■ 1、挖掘机

（1）挖掘机是用铲斗挖掘高于或低于停机面的物料，并装入运输车辆或卸至堆料场的土石方机械，是工程建设中最重要的工程机械之一。

挖掘机最重要的三个参数：操作质量、发动机功率和铲斗斗容。



三、常用施工机械设备简介

(2) 可从不同角度对挖掘机进行分类。

- ①按驱动方式可以分为内燃机驱动(油动)挖掘机和电力驱动(电动)挖掘机，其中电动挖掘机主要应用在高原缺氧与地下矿井和其他一些易燃易爆的场所。
- ②按规模大小的不同可以分为大型挖掘机、中型挖掘机和小型挖掘机。
- ③按行走方式的不同可以分为履带式挖掘机和轮式挖掘机。



三、常用施工机械设备简介

- ④按传动方式不同可以分为液压挖掘机和机械挖掘机。
- ⑤按用途可以分为通用挖掘机、矿用挖掘机、船用挖掘机、特种挖掘机等。
- ⑥按铲斗型式可以分为正铲挖掘机、反铲挖掘机、拉铲挖掘机和抓铲挖掘机。



三、常用施工机械设备简介

(1) 正铲挖掘机

正铲挖掘机的铲土动作形式特点是：前进向上，强制切土。正铲挖掘力大，能开挖停机面或地表以上的土，宜用于开挖高度大于2m的干燥基坑，但须设置上下坡道。正铲挖掘机的挖斗比同质量的反铲挖掘机的挖斗要大一些，可开挖含水量不大于27%的Ⅰ~Ⅲ类土。正铲挖掘机的挖土和卸土方式有以下两种：正向挖土，侧向卸土；正向挖土，反向卸土。





三、常用施工机械设备简介

(2) 反铲挖掘机

反铲挖掘机是应用最为广泛的土石方挖掘机械，它具有操作灵活、回转速度快等特点，其铲土动作形式特点是：向后向下，强制切土。反铲挖掘机可以用于停机作业面或地表以下的挖掘，其基本作业方式有沟端挖掘、沟侧挖掘、直线挖掘、曲线挖掘、保持一定角度挖掘、超深沟挖掘和沟坡挖掘等。

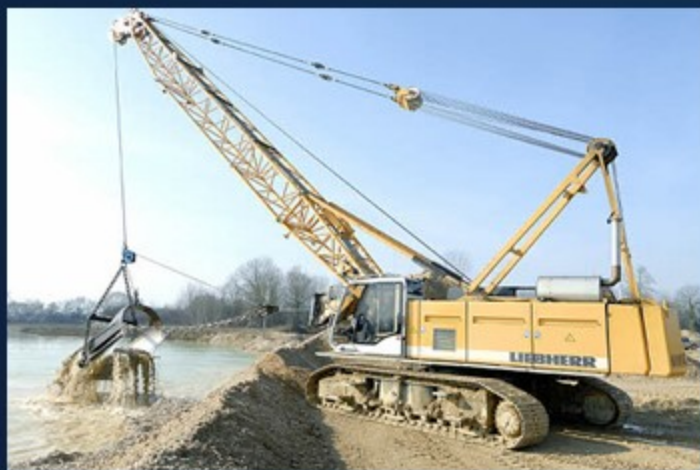




三、常用施工机械设备简介

(3) 拉铲挖掘机

也叫索铲挖掘机，其挖土特点是：向后向下，自重切土。其挖土半径和挖土深度较大，宜用于开挖停机面以下的Ⅰ、Ⅱ类土，在软土地区常用于开挖基坑、沉井等，尤其适用于挖深而窄的基坑、疏通旧有渠道以及挖取水中淤泥等，或用于装载碎石等松散料。开挖方式有沟侧开挖和定位开挖两种。





三、常用施工机械设备简介

(4) 抓斗挖掘机

抓铲挖掘机钢丝牵拉灵活性较大，但工效不高，不能挖掘坚硬土，可以装在简易机械上工作，使用方便。其挖土特点是：**直上直下，自重切土**。宜用于开挖停机面以下的**I、II类土**，在软土地区常用于**开挖基坑、沉井**等，尤其适用于挖深而窄的基坑、疏通旧有渠道以及挖取水中淤泥、码头采砂等，或用于装载碎石等松散料。





三、常用施工机械设备简介

■ 2、装载机

装载机主要用于铲、装、卸、运土和石料类散状物料，也可以对岩石、硬土进行轻度挖掘作业。如果更换不同的工作装置，还可以完成推土、起重、装卸其他物料的工作，在公路施工中主要用于路基工程的填挖，沥青和水泥混凝土料场的集料、装料等作业。

由于它具有铲斗容量大、作业速度快、机动性好、操作轻便等优点，因而应用广泛，成为土石方施工中的主要机械。





三、常用施工机械设备简介

装载机的分类：

- ①按工作装置的作业形式不同，可分为单斗式、挖掘装载式和多斗式三种，通常所称的装载机多指单斗式。
- ②按卸载形式的不同，可分为前卸式、侧卸式和回转式三种。
- ③按本身结构特点可分为整体式和铰接式。
- ④按行走装置的不同可分为轮胎式和履带式两种。



三、常用施工机械设备简介

■ 3、铲运机

铲运机是利用装在轮轴之间的铲运斗，在行驶中顺序进行**铲削、装载、运输和铺卸土**作业的铲土运输机械。它适用于四级以下的土壤，要求作业地区的土壤不含树根、大石块和过多的杂草。如用于**四级以上的土壤或冻土，必须事先预松土壤**。链板装载式铲运机适用范围较大，除可装普通土壤外，还可装载砂、砂砾石和小的石渣、卵石等物料。





三、常用施工机械设备简介

铲运机的分类：

①按行走方式，铲运机可分为拖式和自行式两种。

一般拖式铲运机的经济运距为500m以内，自行式轮胎铲运机的经济运距为800~1500m。

根据牵引车和动力传递方式，又可分为机械传动、液力机械传动、电力传动和静液压传动四种，其中以液力机械传动应用较广，机械式传动在老机型上用得较多，电力传动只用在少数大型铲运机上，而静液压传动则只用在少数小型铲运机上。



三、常用施工机械设备简介

②按操纵方式，铲运机可分为**液压操纵**和**机械操纵**两种。液压操纵以其铲刀切土效果好而逐渐代替依靠自重切土的机械操纵式。

③按铲运机的卸土方式又可分为**强制式**、**半强制式**和**自由式**三种。强制式是用**可移动的铲斗后壁**将斗内的土强制推出，**效果好，用得最多**。半强制式是铲斗后壁与斗底成一整体，能绕前边绞点向前旋转，**将土倒出**；自由式卸土时将铲斗倾斜，土**靠自重倒出**，适用于小型铲运机。





三、常用施工机械设备简介

④按铲运机的装载方式又可分为普通式和链板式两种。普通式是利用牵引力使土屑挤入铲斗装土；链板式是将铲刀切下来的土屑用链板装载机构送入斗内，装土阻力比普通式的降低60%，不需助铲，效率高，但造价也高。

⑤按铲斗容量可分为小、中、大三种。铲斗小于 6m^3 为小型 $6\sim 15\text{m}^3$ 为中型；大于 15m^3 为大型。斗容量是按堆装几何容量计量。





三、常用施工机械设备简介

【例-单选题】在土方开挖工程中,当开挖土层厚度为0.5m、运输距离为300~500m时, 首选()作为合理经济的施工设备。

- A、推土机
- B、挖掘机
- C、铲运机
- D、装载机

网校答案: C



易投软件



三、常用施工机械设备简介

■ 4、推土机

推土机是土石方施工中的主要机械之一。它以拖拉机或专用牵引车为主机，利用前端推土板(通称铲刀)，主要进行短距离的推运土方、石渣等作业。推土机的经济运距为 50~80m。推土机的工作距离在50 m以内时，其经济效果最好。





三、常用施工机械设备简介

推土机的分类：

①按行走方式可分为履带式和轮胎式两类。履带式接地比压小，附着牵引性好，在水利水电工程施工中得到广泛使用。

（注：轮胎的接地比压计算方式为：单位面积平均压力=负荷/印痕面积，负荷单位可以用kg，印痕面积为 cm^2 。与物理学中的压强是同一个物理量，接地比压低不会陷车。）



易投软件



三、常用施工机械设备简介

②按传动方式可分为机械式、液力机械式、全液压式三种。目前液力机械传动已逐渐代替机械传动。通过引进国外新技术，全液压传动也得到很大发展。

③按用途可分为通用型和专用型两种。专用型用于特定的工况，如采用三角形履带板以降低接地比压的湿地推土机(比压为 $0.02\sim0.04\text{MPa}$)和沼泽地推土机(比压小于 0.02MPa)；还有水陆两用、水下、无人驾驶等推土机。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

④按推土装置形式可分为直铲式和角铲式两种。直铲式铲刀与底盘的纵向轴线构成直角，铲刀切削角可调，因其坚固和制造经济，为一般推土机所采用；角铲式铲刀除能调节切削角度之外，还可在水平方向上，回转一定角度，可实现侧向卸土，应用范围广。

⑤按功率等级划分为小型、中型、大型推土机，分为小型推土机 80 马力左右；中型推土机不大于 200 马力；大型推土机大于 200 马力且小于 350 马力。





三、常用施工机械设备简介

■ 5、压实机械

压实机械主要用于对土石坝、河堤、围堰、建筑物基础和路基的土壤、堆石、砂砾石、石渣等进行压实，并用于碾压干硬性混凝土坝 (RCCD)、干硬性混凝土道路 (RCCP) 和道路的沥青铺装层，以提高建筑物的强度、不透水性和稳定性，防止因受雨水风雪侵蚀引起软化和膨胀，产生沉陷破坏。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

压实机械分类：

①静作用碾压机

是利用碾轮的重力作用，使被压层产生永久变形而密实，其碾轮分为**光碾**、**槽碾**、**羊足碾**和**轮胎碾**等。光碾压路机压实的表面平整光滑，使用最广；槽碾、羊足碾单位压力较大，压实层厚，适用于路基、堤坝的压实；轮胎式压路机压实过程有揉搓作用，使压实层均匀密实，且不伤路面，适用于道路、广场等垫层的压实。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

②**冲击式压实机械**。依靠机械的冲击力压实土壤，其特点是夯实厚度较大，适用于狭小面积及基坑的夯实。

③**振动碾压机**。利用机械激振力使材料颗粒在共振中重新排列而密实。其特点是振动频率高，对黏结性低的松散土石(如砂土、碎石等)压实效果较好。

④**组合式碾压机**。有碾压和振动作用的振动压路机、碾压和冲击作用的冲击式压路碾等。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

■ 6、风钻

风钻是以压缩空气为动力的打孔工具，利用压缩空气使活塞作往复运动，冲击钎子，也称为凿岩机。

■ 7、风镐(铲)

风镐是以压缩空气为动力推动活塞往复运动，使镐头不断撞击，利用冲击作用破碎坚硬物体的手持施工机具，用于水利工程中的石方二次解小等。





三、常用施工机械设备简介

■ 8、潜孔钻

潜孔钻是爆破工程中用于岩石钻孔的设备，有内燃和电动两种机型。潜孔钻由钻杆、球齿钻头及冲击器组成。钻孔时，用两根钻杆接杆钻进。潜孔钻是将钻头和产生冲击作用的风动冲击器潜入孔底进行凿岩的设备。以电、压缩空气或液压为动力，带动钻杆、冲击器、钻头回转，同时，压缩空气进入钻杆，推动冲击器活塞反复冲击钻头，将岩石破碎成孔，利用推压机构升降钻具，构造简单，行走方便，粉尘少，噪声小，是一种常用的钻孔设备。

根据孔径的不同，潜孔钻机又可分为轻型潜孔钻机(孔径为80~100mm)、中型潜孔钻机(孔径130~180mm)和重型潜孔钻机(孔径为180~250mm)。潜孔钻机可用于城市建筑、铁路、公路、河道、水电等工程中钻凿岩石锚索孔、锚杆孔、爆破孔、注浆孔等钻凿施工。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

■ 9、凿岩台车

凿岩台车通称多臂钻车，是20世纪60年代发展起来的岩石地层地下建筑工程的开挖机械，它代替了人工持钻和架钻施工法钻凿炮孔。轻型一般用于 $5\sim 20\text{m}^2$ ，中型一般用于 $10\sim 30\text{ m}^2$ ，重型一般用于 $25\sim 100\text{ m}^2$ 。

凿岩台车按行走装置可分为轮胎式、履带式和轨轮式三种。近年来，由于液压凿岩机的发展，促使了凿岩台车的全液压化，而全液压台车又以其高钻进速度、低能耗、低钻具消耗、低噪声等优越性替代了风动凿岩台车。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

【例-单选题】中型凿岩台车一般用于开挖()断面。

- A、 $5-20\text{m}^2$
- B、 $5-30\text{m}^2$
- C、 $10-30\text{m}^2$
- D、 $25-100\text{m}^2$

网校答案：C

网校解析：轻型一般用于 $5\sim 20\text{m}^2$ ，中型一般用于 $10\sim 30\text{m}^2$ ，重型一般用于 $25\sim 100\text{m}^2$ 。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

■ 10、全断面岩石掘进机 (TBM)

广义的“掘进机”包括岩石掘进机和软土盾构机。通常所说的“掘进机”其全称为“全断面岩石掘进机” (Full Face Rock Tunnel Boring Machine, TBM)。各种不同类型的 TBM 具有不同的工作模式, 适宜不同的地质条件和工程条件, 但其基本工作原理是相同的, 即通过主轴传递的强大推力和扭矩, 使刀盘紧压岩面旋转, 由刀盘上均匀分布的盘形滚刀切削岩石破岩, 通过出渣系统出渣, 达到连续掘进成洞的目的。

目前国内工程使用的 TBM 以进口产品为主, 国内也有部分厂家或合资厂家生产部分零部件和配套设施。





三、常用施工机械设备简介

目前TBM根据其结构形式，主要分为以下三种类型，分别适应于不同的地质条件。

①**敞开式TBM**。常用于**硬岩**，敞开式TBM上配置了钢拱架安装器和喷锚等辅助设备，以适应地质条件的变化。

②**双护盾TBM**。适用于各种地质条件，既能适应软岩，也能适应硬岩和软硬岩交互地层。

③**单护盾TBM**。常用于不良地层。

一般情况下，在**良好地质中则使用敞开式TBM**；双护盾TBM常用于**复杂地层的长隧道开挖**，对各种不良地质和岩石强度变化有较好适应性，当在严重破碎或软弱地层中掘进时，双护盾TBM便作为单护盾TBM使用；**单护盾TBM由于掘进速度慢，目前很少使用。**

掘进机一般由**刀盘、机架、推进缸、套架、支撑缸、皮带机及动力间**等部分组成。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

【例-单选题】在坚硬、中等坚硬且较完整的岩体中进行隧洞开挖时，宜选用()隧洞掘进机。

- A、单盾式
- B、双护盾式
- C、开敞式
- D、跨模式

网校答案：C

网校解析：一般情况下，在良好地质中则使用敞开式TBM。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

11、盾构机

①盾构法是在地面下暗挖隧道的一种施工方法。在地面具有建筑物、隧道埋深较大、地质又复杂时，用明挖法建造隧道很难实现，但运用盾构法建设隧道(洞)、城市地下铁道、上下水道、电子通信等各类地下工程，在技术经济方面具有明显优势。盾构机就是使用盾构法的隧道掘进机，是盾构法中最主要的特殊施工机具。它的外壳(护盾)是一个能支承围土(岩)压力而又能在地层中推进的钢筒结构。

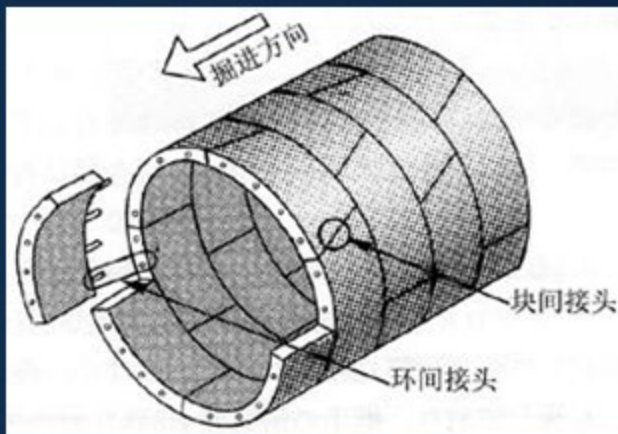


易投软件



三、常用施工机械设备简介

②盾构的前面设置了各种类型的支撑和开挖土体的装置。在盾构中段沿周边装有顶进所需的千斤顶。盾构尾部是具有一定空间的壳体。盾构每推进一环距离，就在盾尾支护下拼装一环衬砌。在盾构推进过程中不断从开挖面排出适量的土方，并及时向盾尾后的衬砌环与地层之间的空隙中压注足够的浆体，以防止隧道及地面下沉，同时使衬砌结构的受力状态得到改善。盾构机尤其适用于软土基、软岩的挖掘。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

◆ （二）、混凝土机械

1、混凝土搅拌机

混凝土搅拌机是搅拌楼(站)的主要机械设备，它的任务将一定配合比的**水泥、砂、骨料、水、掺和料和外加剂**等搅拌成混凝土。它与人工搅拌的混凝土相比，既能大大提高生产率，加快工程进度，提高混凝土的质量，又能大大减轻工人的劳动强度。主要由**拌筒、加料和卸料机构、供水系统、原动机、传动机构、机架和支承装置**等组成。





三、常用施工机械设备简介

按其工作性质可分为间歇式(分批式)和连续式；按搅拌原理可分为自落式和强制式；按安装方式可分为固定式和移动式；按出料方式可分为倾翻式和非倾翻式；按拌筒结构形式可分为梨式、鼓筒式、双锥式、圆盘立轴式和圆槽卧轴式等。



自落式双锥反转出料砼搅拌机



双螺旋砼搅拌机



立式砼搅拌机



三、常用施工机械设备简介

【例-多选题】混凝土搅拌机按搅拌方式分为()。

- A、强制式
- B、自落式
- C、鄂板式
- D、反击式
- E、涡流式

网校答案：ABE

网校解析：按搅拌原理可分为自落式和强制式。



三、常用施工机械设备简介

2、混凝土搅拌楼（站）

混凝土搅拌楼是一种生产新鲜混凝土的大型机械设备，它可将组成混凝土的组合材料水泥、砂、骨料、外加剂以及掺和料，按一定的配合比，周期地和自动地搅拌成塑性和流态的混凝土，在大、中型水利水电工程中得到广泛使用。





三、常用施工机械设备简介

混凝土搅拌楼按其布置形式可分为单阶式(垂直式)和双阶式(水平式);按操作方式可分为手动操作、半自动和全自动操作;按称量方式可分为单独称量、累计称量和组合称量;按装备的混凝土搅拌机可分为倾翻自落式和强制式。

混凝土搅拌楼自上而下一般分为进料层、储料层、配料层、搅拌层及出料层。

混凝土搅拌楼主要由搅拌主机、物料称量系统、物料输送系统、物料储存系统和控制系统等五大系统和其他附属设施组成。在同型号的情况下,搅拌楼生产效率比搅拌站生产效率提高1/3。



三、常用施工机械设备简介

3、混凝土搅拌车

混凝土搅拌车是在行驶途中对混凝土不断进行搅动或搅拌、防止混凝土分离或初凝的特殊运输车辆，主要用于在混凝土搅拌厂和施工现场之间输送混凝土。

混凝土搅拌车由汽车底盘、搅拌筒、传动系统和供水装置等部分组成。



三、常用施工机械设备简介

4、混凝土输送泵

混凝土输送泵又名**混凝土泵**，由泵体和输送管组成。是利用压力将混凝土拌和物沿管道连续输送的机械，适合于大体积混凝土和高层建筑混凝土的运输和浇筑。





三、常用施工机械设备简介

5、混凝土泵车

混凝土泵车由臂架、泵送、液压、支撑、电控五部分组成。混凝土泵车电气控制系统的控制方式主要有五种，分别为机械式、液压式、机电式电器控制式、可编程控制器式和逻辑电路控制式。

6、混凝土喷射机

混凝土喷射机是利用压缩空气将混凝土沿管道连续输送，并喷射到施工面上的机械，分干式喷射机和湿式喷射机两类，前者由气力输送干拌和料，在喷嘴处与压力水混合后喷出，后者由气力或混凝土泵输送混凝土混合物经喷嘴喷出，广泛用于地下工程、井巷、隧道、涵洞等的衬砌施工。



三、常用施工机械设备简介

7、钢模台车

在隧洞混凝土衬砌施工中，模板作业是影响施工进度和混凝土施工成本的主要因素。钢模台车是一种为提高隧道衬砌表面光洁度和衬砌速度，并降低劳动强度而设计、制造的专用设备。采用钢模台车浇筑混凝土工效比传统模板高30%，装模、脱模速度快2~3倍，所用的人力是过去的1/5。



三、常用施工机械设备简介

◆ （三）、运输机械

1、载重汽车

载重汽车是用于装卸货物的专用汽车，又称为货车。车型结构一般**发动机前置，车厢后置，后轮驱动**。常用货车采用单后轴，总重大的货车有双后轴或三后轴的形式。为了提高运输效率、降低成本，许多国家在法规允许范围内加大载重量与轴荷载。





三、常用施工机械设备简介

按承载吨位分为微型卡车、轻型卡车、中型卡车、重型卡车、超重型卡车。

- 微型卡车总质量小于1.8t
- 轻型卡车总质量为1.8~6t
- 中型卡车总质量为6~14t
- 重型卡车总质量为14~100t
- 超重型卡车总质量为100t以上

载重汽车由发动机、底盘、车身和电气系统四部分组成。



三、常用施工机械设备简介

2、自卸汽车

自卸汽车是具有自动卸料功能的载重汽车。由**发动机、底盘、驾驶室、车厢及车厢倾翻机构**组成。车厢前端有驾驶室安全防护板。通过倾翻机构车厢能向后或向侧倾翻。倾翻机构由油箱、液压泵、分配阀、举升液压缸等组成。高压油进入举升液压缸，推动活塞杆使车厢倾翻，利用自重和液压控制复位。





三、常用施工机械设备简介

自卸汽车按总质量分轻型自卸汽车(总质量在10t以下)、重型自卸汽车(总质量10t~30 t)和超重型自卸汽车(总质量30t以上);

按用途分通用自卸汽车、矿用自卸汽车和特种自卸汽车;

按动力源分汽油自卸汽车和柴油自卸汽车;

按传动方式分机械传动(总质量55t以下)、液力传动(总质量一般为55~150t)和电传动(总质量150 t以上)自卸汽车。



三、常用施工机械设备简介

3、矿车

矿车是在轻便铁轨上输送散料的搬运车。靠人力、绞车或牵引车拖动，在建筑工地输送散状建筑材料。除运送散状物料的矿车外，矿用车辆还有专为运送材料的平板车、材料车；乘人的斜井人车、平巷人车；其他专用车辆，如炸药车、供水车、消防车、卫生车等。

矿车主要用于矿井井下巷道、井筒以及地面的轨道运输，是煤矿中用量最大、应用最广的一种运输设备，常用轨距为600mm、762mm、900mm。





三、常用施工机械设备简介

4、螺旋输送机

螺旋输送机是一种不带挠性牵引构件的连续输送设备，它利用旋转的螺旋将被输送的物料沿固定的机壳内推移而进行输送工作。

螺旋输送机的优点是：结构比较简单和维护方便，横断面的外形尺寸不大，便于在若干个位置上进行中间卸载，具有良好的密封性。它的缺点是：单位动力消耗高，在移运过程中使物料有严重的粉碎，螺旋和机壳有强烈的磨损。





三、常用施工机械设备简介

螺旋输送机在输送形式上分为有轴螺旋输送机和无轴螺旋输送机两种，在外形上分为U形螺旋输送机和管式螺旋输送机。

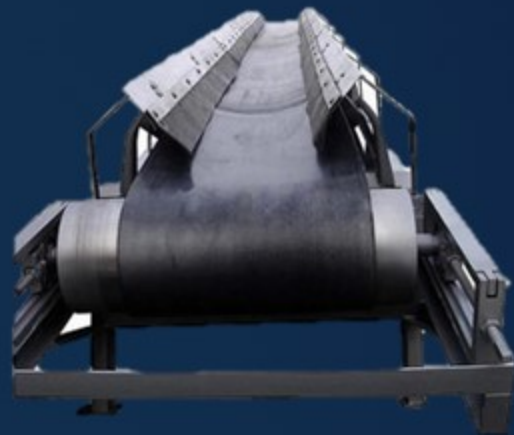
目前在国内外混凝土搅拌楼上，常用管形螺旋输送机输送水泥、粉煤灰和片冰等散装物料。



三、常用施工机械设备简介

5、胶带输送机

胶带输送机俗称皮带机，用橡胶带作为输送带的带式输送机。胶带式输送机主要适用于矿山、工厂、建筑工地、化工、冶金、车站、码头等部门露天输送堆积容重为 $0.8\sim 2.5\text{t/m}^3$ 各种块状、粒状等散状物料，也可用于成件物品的输送。它具有结构简单、输送均匀、连续、生产率高、运行平稳可靠、噪声低、对物料适应性强、运行费用低、维护方便等优点，可以实现水平或倾斜输送。



橡胶带输送机



三、常用施工机械设备简介

◆（四）、起重机械

1、缆索起重机

缆索起重机(简称缆机)是一种以柔性钢索作为大跨距架空支承构件(简称承载索)供悬吊重物的载重小车在承载索上往返运行,具有垂直运输(起升)和远距离水平运输(牵引)功能的起重机械。其起重机工作级别为A6~A7。峡谷河床中的高坝(一般认为峡谷系数即峡谷深与宽之比为1:3以上)用缆机施工较为有利,对于拱坝及重大拱坝施工尤为适宜。





三、常用施工机械设备简介

2、门座式起重机

门座式起重机是一种全回转臂起重机。其桥架通过两侧支腿支承在地面轨道或地基上。作为水利水电工程混凝土大坝施工用的主力设备，针对性很强。其使用的特点介于建筑塔式起重机与港口装卸起重机或造船起重机之间。

门座起重机与建筑塔机(带有高架的门座起重机也可看作是一种动臂式的重型建筑塔机)类似:①装拆转移较为方便，兼具浇筑混凝土与安装设备的双重功能，但因施工工程量较大，因而转移不及后者频繁(一般数年转移一次)；②采用高压电源供电;③工作幅度和起重力矩一般也比后者大得多，还因在栈桥上工作而需要有门座以供运输车辆通过。





三、常用施工机械设备简介

3、塔式起重机

塔式起重机是指臂架安置在垂直的塔身顶部的可回转臂架型起重机。塔式起重机分上旋转式和下旋转式两类。



三、常用施工机械设备简介

4、汽车式起重机和轮胎式起重机

汽车式起重机和轮胎式起重机又统称为**轮式起重机**，是指起重工作装置安装在轮胎底盘上自行的回转式起重机械，两者在结构、性能和用途方面有很多相同之处，只不过**汽车起重机**采用通用载重汽车底盘或专用汽车底盘，**轮胎式起重机**则采用特制的轮底盘，汽车式起重机行驶速度快，多在60km/h以上，可迅速转移作业场地，行驶性能符合公路法规的要求，**作业时必须伸出外伸支腿**，一般不能吊重行走。



轮胎式起重机



汽车起重机



三、常用施工机械设备简介

5、履带式起重机

履带式起重机的上车部分装在履带底盘上，其行走轮在自带的无端循环履带链板上行走，履带与地面接触面积大，平均接地比压小，故可在松软、泥泞的路面上行走，适用于地面情况恶劣的场所进行装卸和安装作业。

履带式起重机的牵引系数高，约为汽车式起重机和轮胎式起重机的1.5 倍，故其爬坡能力大，可在崎岖不平的场地上行驶；又由于履带支承面宽，故其稳定性好，作业时不需设置支腿。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

6、门式起重机(龙门式起重机)

门式起重机是指桥架通过两侧支腿支承在地面轨道或地基上的桥架型起重机。

门式起重机的分类：

(1)按其取物装置，可分为吊钩、抓斗、电磁吸盘及二用或三用等。

(2) 按其结构型式，可分为桁架式、箱形板梁式、管形梁式、混合结构式等。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

(3) 按其支腿的外形，可分为八字形、O形、L形、C形及半门架型等。

(4) 按其载重小车的构造，可分为电动葫芦、自行式小车、钢丝绳牵引小车、带臂架小车等。

此外，还可分为单梁或双梁、单悬臂双悬臂或无悬臂、轨道式或轮胎式等。





三、常用施工机械设备简介

◆ (五)、砂石料加工机械

1、破碎机

破碎机是将开采出来的岩石或天然砾石按照需要的粒径进行破碎加工的机械，在水利水电建设工程中，破碎机通常用来加工各种粒径的砂石料，以作为混凝土骨料之用。破碎机通常是按被破碎物料的进料和出料粒径，分为粗碎机(进料粒径为 1500~350mm，出料粒径为 100~300mm)；中碎机(进料粒径为 300~100mm，出料粒径为 100~30mm)；细碎机(进料粒径为 100~30mm，出料粒径为 3~25mm)，以及磨碎机等。



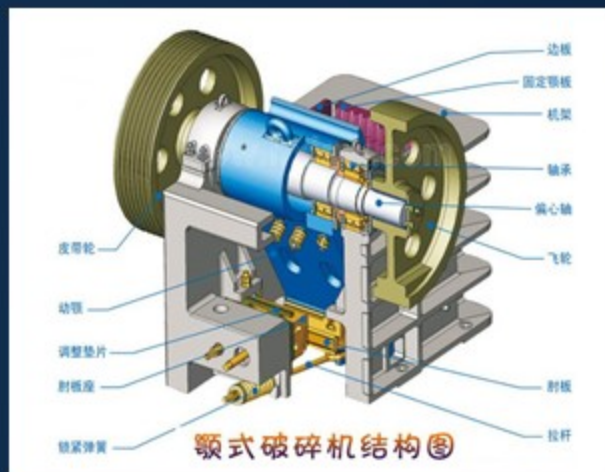


三、常用施工机械设备简介

(1) 颚式破碎机

颚式破碎机的应用范围相当广泛，它具有结构简单、制造容易、维修方便、工作可靠并能破碎多种硬度的物料等特点；另外和同类机械相比，它的重量最轻，价格低廉、运输方便、外形尺寸高度较小、排料口调节方便。

总的来说，颚式破碎机是属于一种间断工作的破碎机械，它的工作效率比连续工作的破碎机械要低一些。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

(2) 旋回破碎机

旋回破碎机广泛地运用于各种岩石和矿石的粗碎。重型液压旋回破碎机适合于破碎抗压强度在250MPa以下的各种岩石或矿石，而轻型液压旋回破碎机则只适用于破碎抗压强度在120MPa 以下的各种岩石。

近年来些大中型水利水电工程的施工单位，在布置人工砂石料加工系统时，粗碎部分大多选用底部液压旋回破碎机。旋回破碎机的缺点是：构造复杂，价格较高；检修比较困难，修理费用大；机身较高，使厂房，基础等构筑物的费用增大。



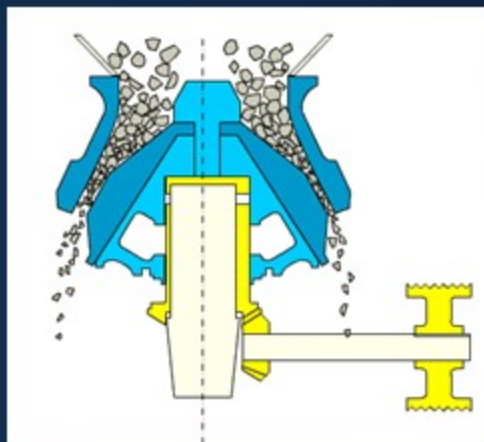
易投软件



三、常用施工机械设备简介

(3) 圆锥破碎机

圆锥破碎机就其工作原理与运动学特点而言与旋回破碎机相似。但某些部件结构有所不同，破碎机工作时，破碎圆锥在偏心轴承的驱动下做旋摆运动，转速高，动锥的摆动角(冲程)大，因此对物料冲击破碎的效应强。因此圆锥破碎机结构先进，工作连续可靠，生产率高，功率小，运转平稳，噪声小等优点，适合于中碎、细碎各种坚硬石料。它的缺点是：构造复杂，摩擦件多，加工精密，设备外形尺寸较大；要分体移运，要求精心安装维护；同时系统的配套设备和基建造价高。



易投软件

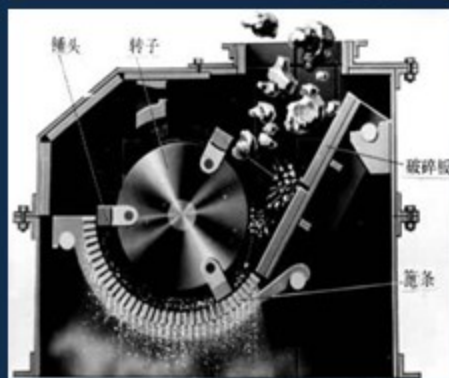


三、常用施工机械设备简介

(4) 锤式破碎机

锤式破碎机也是一种**冲击式破碎机**，是借高速旋转的锤头来冲击破碎物料的机械。它适用于**软的、中等硬度的以及脆性物料的中碎、细碎流程作业**。运行时**声大、粉尘多**。

锤式破碎机按照转子数目可分为**单转子式**和**双转子式**。单转子式锤碎机又分为**可逆式**与**不可逆式**。按照锤头固定的方法又可分为锤头紧密地固定在转子上和锤头用铰接悬挂在转子上两种。若按照转子上装设圆盘的数目还可分为：**单排圆盘锤式破碎机**、**双排圆盘锤式破碎机**和**多排圆盘锤式破碎机**，常用的是**单转子铰接悬挂式锤头的多排圆盘锤式破碎机**。





三、常用施工机械设备简介

(5) 反击式破碎机

反击式破碎机是利用冲击原理，高效破碎物料，破碎比大，其产品粒度均匀，适应性，可用于39.2~245.2MPa的中硬和脆性矿石与物料的破碎。目前，在我国水利水电中多用于物料的中碎、细碎工艺流程。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

- 反击式破碎机能充分利用整个转子能量，破碎比大且物料碎裂可达极大限度。
- 破碎效率高、节省能耗、能简化破碎生产流程、节省设备和基建费用，而机器本身构造简单、外形尺寸小、机器价格低、进行操作及维修均较方便。
- 其主要缺点是板锤、反击板等部件极易磨损、更换频繁、运行噪声大、粉尘多。
- 它适合于破碎中等硬度的易碎性物料，不适合于硬度大难破碎的细粒结构的花岗岩、玄武岩及 SiO_2 含量较大的岩石及塑性、黏性矿石。

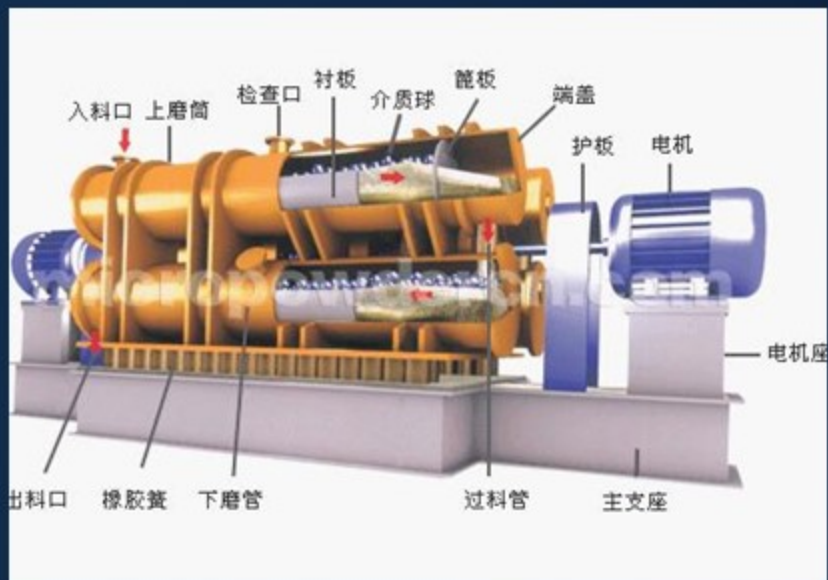




三、常用施工机械设备简介

2、球（棒）磨机

球磨机为筒形磨碎机，它由**給料、出料、筒体、轴颈、轴承、传动及润滑**等部件组成。筒体内装有不同直径的**研磨介质**，它由**电动机、减速箱、周边齿轮**带动而旋转。物料进如筒体与研磨介质在摩擦力和离心力作用下，随着筒体回转被提升到一定高度后抛落，从而对物料产生冲击、滚压、研磨而被破碎，并通过溢流和连续給料作用将成品排出机外。球磨机的优点在于粉碎比大、出料细，扬尘少，缺点是产量低、电耗高，要求原料的含水率很低。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

3、螺旋分级机

螺旋分级机是一种特制的比普通螺旋输送机较为复杂的螺旋输送机。用它来对砂料或矿物进行淘洗、分级和脱水。其构造原理与螺旋输送机相仿。螺旋分级机的给料粒度最大不能超过15mm，产品的含水率一般为15%~18%。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

4、振动筛

振动筛工作时筛面产生频率高而振幅较小的振动。由于筛面做强烈的振动，筛面上的物料产生拆离现象，并且物料也不容易堵塞筛孔，故有较高的生产率和筛分效率，在水利水电工程施工中得到广泛应用。

振动筛的类型很多，按其机械部分运动特性分为J惯性振动筛、偏心半振动筛、重型振动筛、自定中心振动筛、直线振动筛、圆振动筛和共振筛。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

◆（六）、钻孔灌浆机械

1、岩芯钻机

岩芯钻机是用于岩芯勘探的钻机，其主要用于垂直的和倾斜45°以内的地质矿产勘探孔、煤田勘探孔和石油勘探孔，也可用于水源及其他类似的工程钻孔。结构特点：采用机械传动，结构简单，便于维修和操作。钻机配有水刹车装置，能控制下钻速度，减少卷筒、闸带等零部件的磨损，消除升降系统的冲击力，保证下钻安全。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

2、冲击式钻机

冲击式钻机属于大口径型钻机，是利用钢丝绳将钻具提升到一定高度，然后自由落下，冲击地层，使孔底岩石破碎而进行钻进。其钻头多为十字形，不能采取完整岩心。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

3、反循环钻机

反循环钻机又叫反循环洗井介质的转盘回转式水井钻机。它靠钻具的回转钻凿地层，洗井除岩屑采用反循环方法，即在钻进时冲洗液自供水池(兼作沉淀和集渣用)通过井口和井内环状空间，以自流方式流入井底，然后夹带岩屑通过钻杆中空返回井口，并经水龙头和排渣管排至供水池，沉淀澄清后重新流入井内循环，其特点是钻进速度快。由于钻杆内冲洗液上升流速高，管路排渣能力强，井内岩屑、卵石可直接抽出井外，因此井底很少集聚岩屑，大大减少了二次重复碾磨和破碎次数。





三、常用施工机械设备简介

4、灰浆搅拌机

灰浆搅拌机由搅拌筒、搅拌轴、传动装置和底架等组成。搅拌轴水平安置在槽形搅拌筒内，在轴的径向臂架上装有几组搅拌叶片，随着轴的转动，搅拌筒里的混合料在搅拌叶片的作用下被强行搅拌。

灰浆搅拌机分为小容量灰浆搅拌机和大容量灰浆搅拌机。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

5、泥浆泵

灌浆所用的泥浆泵，一般多为往复式活塞泵。活塞在缸套内每往返一次（即曲轴旋转一周），泵只进行吸、排浆液一次者，称单作用泥浆泵；活塞在缸套内每往返一次，泵进行吸、排浆液两次者，称双作用泥浆泵。

选择泥浆泵时应注意的事项：应能满足压力要求，一般泥浆泵的额定压力是灌浆使用压力的1.2~1.5倍；能满足岩石层裂隙或砂砾石孔隙吸浆量的要求；结构简单、轻便，易于拆卸、搬迁；压力稳定，安全可靠。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

6、灌浆泵

灌浆泵是一种新型集**搅拌系统和灌浆系统**于一体，全部系统采用液压传动，动力来源封闭式电机带动液压泵的机械，按性能分为以下三个系统。

- **液压系统**
- **打浆系统**
- **搅拌系统**





三、常用施工机械设备简介

7、高压水泵

高压清水泵，结构紧凑、体积小、质量轻、效率高，可输送0~50℃清水、乳化物和化学性质类似清水的液体。它适于作断续作业的高压水动力装置，尤其适用于做移动式高压水清洗设备的动力装置。

它被广泛应用于能源、化工、造船、交通、市政、水利水电等行业。在基础灌浆之前，可用它清（冲）洗孔内夹层的淤泥、积砂等杂质，因此称高喷泵。



易投软件



三、常用施工机械设备简介

◆ (七)、工程船舶

1、绞吸式挖泥船

绞吸式挖泥船为吸扬式挖泥船的一种，它适应性最强，应用最为广泛，其数量在国内外均居各类挖泥船之首，约占挖泥船总数的 39%。

柴油电动绞吸式挖泥船、全液压绞吸式挖泥船和新型绞吸式挖泥船船型如图 4-6-1~图 4-6-3 所示。

绞吸式挖泥船按其设计小时生产率一般分为：小型(小时生产率 $80\text{m}^3/\text{h}$ 以下)、中型(小时生产率 $200\sim 500\text{m}^3/\text{h}$)、大型(小时生产率 $500\text{m}^3/\text{h}$ 以上)。



三、常用施工机械设备简介

2、链斗式挖泥船

链斗式挖泥船是各类挖泥船中较早使用的一种，是机械式挖泥船较典型的船型。

✓ 链斗式挖泥船工作原理、应用及分类

链斗式挖泥船挖泥工具是以一定数量的泥斗通过链节串联组成挠性的斗链。斗链支承在斗桥上、下导轮和滚轮上，借助于上导轮的驱动，在斗桥上连续循环转动，使挖斗用斗刃或斗齿在水下切割、挖掘土壤并保留在泥斗中，挖斗提升至斗培上部后倾卸入泥井，经溜泥槽可装驳运出(此为最常见链斗式挖泥船船型)。

链斗式挖泥船一般按生产率划分船型大小，生产率在 $120\text{m}^3/\text{h}$ 以下的为小型， $200\sim 500\text{m}^3/\text{h}$ 为中型，超过 $500\text{m}^3/\text{h}$ 为大型。



三、常用施工机械设备简介

3、水力冲挖机组

水力冲挖机组由**高压泵冲水系统、泥浆泵输泥系统和配电系统**等三部分组成，其工作原理是借助水力的作用来进行挖土、输土和填土，水流经过高压水泵产生压力；通过水枪喷出一股密实的高压、高速水柱，切割、粉碎土体，使之湿化、崩解，形成泥浆和泥块的混合物，再由泥浆泵及输泥管道吸送到吹填区，泥浆脱水固结成形。



PART 02

施工导流与截流工程



施工导流与截流工程

在江河上修建水工建筑物，施工期间往往与通航、筏运、渔业、供水、灌溉或水电站运行等水资源综合利用的要求发生矛盾。

在江河上修建水利水电工程时，为了使水工建筑物能在干地上进行施工，需要用围堰围护基坑，并将水流引向预定的泄水通道往下游宣泄，这就是施工导流。





一、施工导流标准

施工导流标准是选择导流设计流量进行施工导流设计的标准，它包括初期导流标准、坝体拦洪度汛标准、孔洞封堵标准等。

(一)、导流建筑物级别

根据《水利水电工程等级划分及洪水标准规定》(SL 252-2017)，导流建筑物根据其保护对象、失事后果、使用年限和工程规模划分为3~5级，见表5-2-1。当临时性水工建筑物根据表5-2-1中指标分属不同级别时，应取其中最高级别，但列为3级临时性水工建筑物时，符合该级别规定的指标不得少于两项。



一、施工导流标准

表 5-2-1 临时性水工建筑物级别

级别	保护对象	失事后果	使用年限 (年)	临时性挡水建筑物规模	
				围堰高度 (m)	库容 (亿 m ³)
3	有特殊要求的 1 级永久性水工建筑物	淹没重要城镇、工矿企业、交通干线或推迟工程总工期及第一台(批)机组发电,推迟工程发挥效益,造成重大灾害和损失	>3	>50	>1.0
4	1 级、2 级永久性水工建筑物	淹没一般城镇、工矿企业或影响工程总工期和第一台(批)机组发电,推迟工程发挥效益,造成较大经济损失	≤3, ≥1.5,	≤50, ≥15	≤1.0, ≥0.1
5	3 级、4 级永久性水工建筑物	淹没基坑,但对总工期及第一台(批)机组发电影响不大,对工程发挥效益影响不大,经济损失较小	<1.5	<15	<0.1



一、施工导流标准

(二)、施工导流标准

根据《水利水电工程等级划分及洪水标准规定》(SL252-2017), 导流建筑物洪水标准划分见表5-2-2。导流建筑物洪水标准应根据建筑物的结构类型和级别, 按表5-2-2的规定综合分析确定。

临时性水工建筑物用于挡水发电、通航, 其级别提高为2级时, 其洪水标准应综合分析确定。

表 5-2-2 临时性水工建筑物洪水标准

建筑物结构类型	临时性水工建筑物级别		
	3	4	5
土石结构[重现期(年)]	50 ~ 20	20 ~ 10	10 ~ 5
混凝土、浆砌石结构[重现期(年)]	20 ~ 10	10 ~ 5	5 ~ 3



一、施工导流标准

下闸封堵导流临时泄水建筑物的设计流量，应根据河流水文特征及封堵条件，在封堵时段5~10年重现期范围内选定。

封堵工程施工阶段的导流标准可根据工程的重要性、失事后果等因素在该时段5~20年重现期范围内选定。封堵施工期临近或跨入汛期时应适当提高标准。



二、施工导流方式与泄水建筑物

施工导流方式，大体上可分为两类，即分段围堰法导流和全段围堰法导流。

(一)、分段围堰法导流

分段围堰法也称为分期围堰法，就是用围堰将水工建筑物分段、分期围护起来进行施工的方法(图 5-2-1)。首先在右岸进行第一期工程的施工，水流由左岸的束窄河床宣泄。到第二期工程施工时，水流就通过船闸、预留底孔或缺口等下泄。



二、施工导流方式与泄水建筑物

【例-单选题】施工导流方式一般分为()。

- A、全段围堰导流和分段围堰导流
- B、明渠道导流和隧洞导流
- C、分段导流和分期围堰导流
- D、底孔导流和缺口导流

网校答案：A



二、施工导流方式与泄水建筑物

所谓分段，就是在空间上用围堰将建筑物分为若干施工段进行施工。所谓分期，就是在时间上将导流分为若干时期。在工程实践中，二段二期导流用得最多。

只有在比较宽阔的通航河道上不允许断航或其他特殊情况下，才采用多段多期的导流方法。



二、施工导流方式与泄水建筑物

分段围堰法导流一般适用于河床宽、流量大、工期较长的工程，尤其适用于通航河流和冰凌严重的河流。这种导流方法的导流费用较低，国内外一些大、中型水利水电工程采用较广。

分段围堰法导流，前期都利用被束窄的原河道导流，后期要通过事先修建的泄水道导流，常见的有以下几种。



底孔



束窄河床



坝体缺口



二、施工导流方式与泄水建筑物

1、底孔导流

底孔导流时，应事先在混凝土坝体内修建临时或永久底孔，导流时让全部或部分导流流量通过底孔宣泄到下游，保证工程继续施工。如为临时底孔，则在工程接近完工或需要蓄水时加以封堵。临时底孔的断面多采用矩形，为了改善孔周的应力状况，也可采用有圆角的矩形。按水工结构要求，孔口尺寸应尽量小，但若导流流量较大或有其他要求时，则应采用尺寸较大的底孔。



二、施工导流方式与泄水建筑物

底孔导流的优点是：挡水建筑物上部的施工可以不受水流干扰，有利于均衡连续施工，这对修建高坝特别有利。若坝体内有永久底孔可以利用时，则更为理想。

底孔导流的缺点是：①由于坝体内设置了临时底孔，使钢材用量增加；②如果封堵质量不好，会削弱坝的整体性，还可能漏水；③导流流量往往不大；④在导流过程中，底孔有被漂浮物堵塞的危险；⑤封堵时，由于水头较高，安放闸门及止水等工作均较困难。



二、施工导流方式与泄水建筑物

2、坝体缺口导流

在混凝土坝施工过程中，当汛期河水暴涨暴落，其他导流建筑物又不足以宣泄全部流量时，为了不影响施工进度，使大坝在涨水时仍能继续施工，可以在未建成的坝体上预留缺口，以配合其他导流建筑物宣泄洪峰流量，待洪峰过后，上游水位回落，再继续修筑缺口。

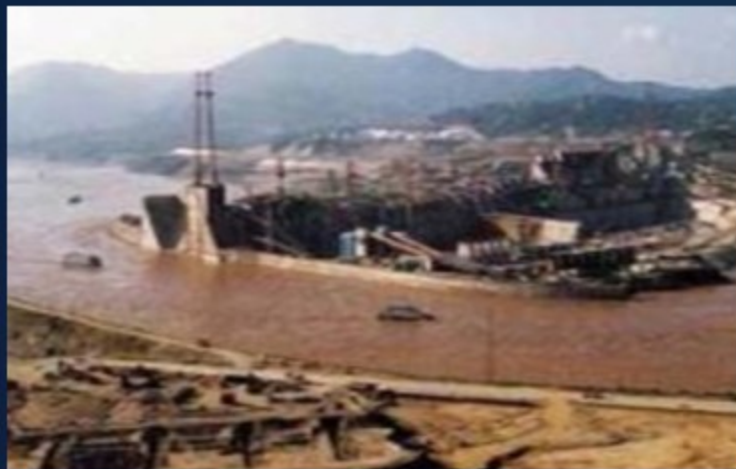
预留缺口的宽度和高度取决于导流设计流量、其他泄水建筑物的泄水能力、建筑物的结构特点和施工条件等。采用底坎高程不同的缺口时，高低缺口单宽流量相差过大可能引起高缺口向低缺口的侧向泄流，为避免这种压力分布不均匀的斜向卷流，需要适当控制高低缺口间的高差。根据柘（zhè）溪工程的经验，其高差以4~6m为宜。



二、施工导流方式与泄水建筑物

3、束窄河床和明渠导流

分段围堰法导流，当河水较深或河床覆盖层较厚时，纵向围堰的修筑常常十分困难。若河床一侧的河滩基岩较高且岸坡稳定又不太高陡时，采用束窄河床导流是较为合适的。有的工程，将河床适当扩宽，形成导流明渠(图 5-1-3)，就是在第一期围堰围护下先修建导流明渠，河水由束窄河床下泄，导流明渠河床侧的边墙常用作第二期的纵向围堰；第二期工程施工时，水流经由导流明渠下泄。





二、施工导流方式与泄水建筑物

明渠与永久建筑物的结合，这已被很多实际工程所采用，例如，贵州与广西交界处南盘江上的天生桥二级水电站，布置在右岸的导流明渠，与永久建筑物中的引水明渠、取水口及引水隧洞明管段相结合，使导流工程的费用大为降低。



二、施工导流方式与泄水建筑物

上述三种后期导流方式，一般只适用于混凝土坝，特别是重力式混凝土坝。对于土石坝、非重力式混凝土坝等坝型，若采用分段围堰法导流，常与河床外的隧洞导流、明渠导流等方式相配合。

(二)、全段围堰法导流

全段围堰法导流就是在河床主体工程的上下游各建一道断流围堰，使水流经河床以外的临时或永久水道下泄。主体工程建成或接近建成时，再将临时泄水道封堵。采用这种导流方式，当在大湖泊出口处修建闸坝时，有可能只筑上游围堰，将施工期间的全部来水拦蓄于湖泊中；另外，在坡降很陡的山区河道上，若泄水道出口的水位低于基坑处河床高程时，也无需修建下游围堰。全段围堰法导流，其泄水道类型通常有以下几种。



二、施工导流方式与泄水建筑物

1、隧洞导流

隧洞导流是在河岸山体中开挖隧洞，在基坑上下游修筑围堰，水流经由隧洞下泄。

为了提高隧洞单位面积的泄流能力，减小洞径，应注意改善隧洞的过流条件。隧洞进出口应与上下游水流平顺衔接，与河道主流的交角以 30° 左右为宜；有条件时，隧洞最好布置成直线，若有弯道，其转弯半径以大于 $5B$ (B 为洞宽) 为宜，否则，因离心力作用会产生横波，或因流线折断而产生局部真空，影响隧洞泄流，严重时还会危及隧洞安全。



隧洞



涵管



二、施工导流方式与泄水建筑物

隧洞进出口与上下游围堰之间要有适当距离，一般宜大于 50m，以防隧洞进出口水流冲刷围堰的迎水面。

一般导流临时隧洞，若地质条件良好，可不作专门衬砌。为降低糙率，应推广光面爆破，以提高泄量，降低隧洞造价。一般地，糙率 n 值减少 7%~15%，可使隧洞造价降低 2%~6%。



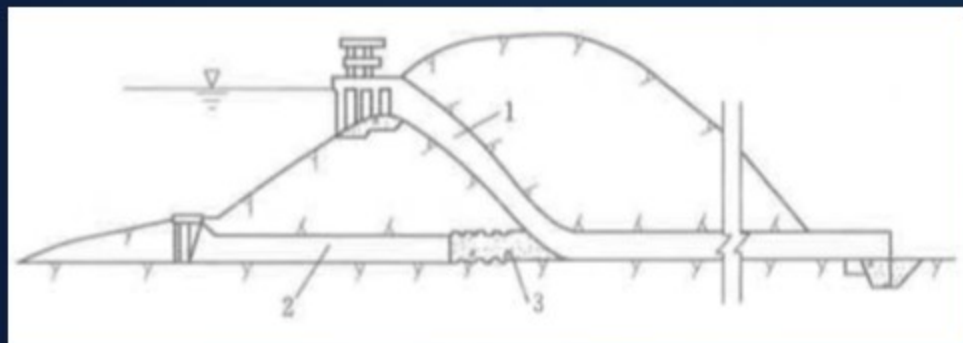
易投软件



二、施工导流方式与泄水建筑物

一般山区河流，河谷狭窄，两岸地形陡峻，山岩坚实，采用隧洞导流较为普遍。

隧洞是造价昂贵和施工复杂的地下建筑物，所以导流隧洞应尽量与泄洪洞、引水洞、尾水洞、放空洞等永久隧洞相结合。但是由于永久隧洞的进口高程通常较高，而导流隧洞的进口高程通常较低，此时，可开挖一段低高程的导流隧洞与永久隧洞低高程部分相连，导流任务完成后将导流隧洞进口堵塞，不影响永久隧洞运行，这种布置方式俗称“龙抬头”。



易投软件



二、施工导流方式与泄水建筑物

- 导流明渠的布置，一定要保证水流顺畅，泄水安全，施工方便，缩短轴线，减少工程量。明渠进出口应与上下游水流平顺衔接，与河道主流的交角以 30° 左右为宜；为保证水流畅通，明渠转弯半径应大于 $5B$ (B 为渠底宽度)；明渠进出口与上下游围堰之间要有适当的距离，一般以 $50\sim 100\text{m}$ 为宜，以防明渠进出口水流冲刷围堰的迎水面；此外，为减少渠中水流向基坑内入渗，明渠水面到基坑水面之间的最短距离宜大于 $2.5H$ (H 为明渠水面与基坑水面的高差，以 m 计)。
- 明渠道流，一般适用于岸坡平缓的平原河道。

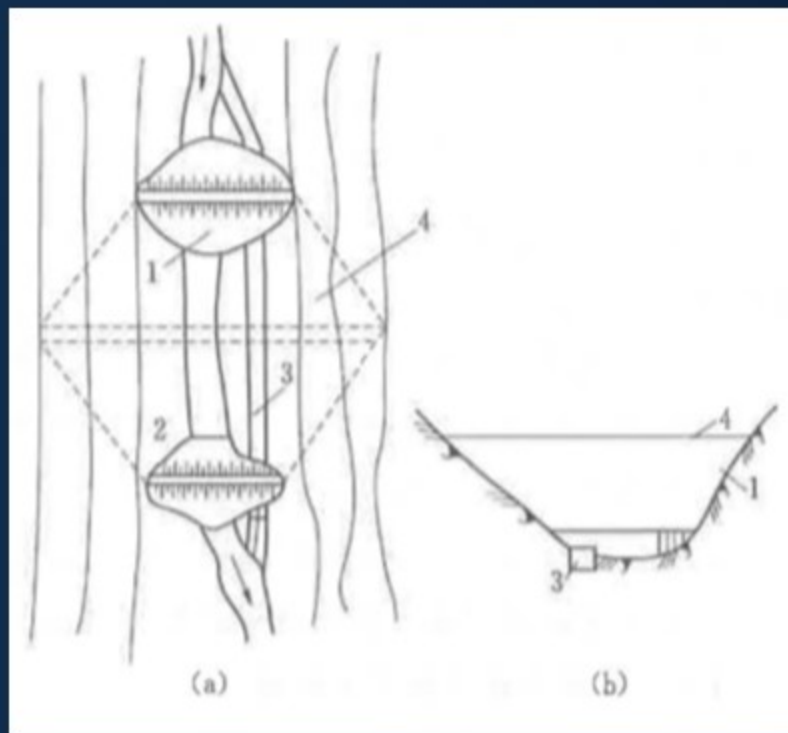




二、施工导流方式与泄水建筑物

3、涵管导流

涵管导流一般在修筑土坝、堆石坝工程中采用。涵管通常布置在河岸岩滩上，其位置常在枯水位以上，这样可在枯水期不修围堰或只修小围堰而先将涵管筑好，然后再修上、下游全段围堰，将水流导入涵管下泄。涵管一般为钢筋混凝土结构。一般仅用于导流流量较小的河流上，或只用来担负枯水期的导流任务。





二、施工导流方式与泄水建筑物

4、淹没基坑法导流

这是一种辅助导流方法，在全段围堰法和分段围堰法中均可使用。选择一个工程的导流方式，必须因地制宜，绝不能机械套用。另外，实际工程中所采用的导流方式和泄水建筑物形式，除了上面提到的以外，还有其 他多种形式。例如在平原河道河床式电站枢纽中，利用电站厂房导流；在有船闸的枢纽中，利用船闸导流；在小型工程中，如果导流设计流量较小，可以采用穿过基坑架设渡槽的导流方法等。



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

(一)、截流工程

在施工导流中，只有截断原河床水流，才能把河水引向导流泄水建筑物下泄，在河床中 全面开展主体建筑物的施工，这就是截流。截流戗堤一般与围堰相结合，因此截流实际上是在河床中修筑横向围堰工作的一部分。



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

一般来说，截流施工的过程为先在河床的一侧或两侧向河床中填筑截流**戗堤**。这种向水中筑堤的工作称为**进占**。戗堤将河床束窄到一定程度，就形成了流速较大的**龙口**。封堵龙口的工作称为合龙。

在合龙开始以前，如果龙口河床或戗堤端部容易被冲毁，则须采取防冲措施对龙口加固，如对龙口河床进行护底、对戗堤端部作**裹头处理**等。





三、截流工程与导流挡水建筑物

合龙以后，龙口部位的戗堤虽已高出水面，但其本身依然漏水，因此须在其迎水面设置防渗设施。在戗堤全线上设置防渗体的工作称为闭气。所以，整个截流过程包括戗堤的进占、龙口范围的加固、合龙和闭气等工作。

截流以后，再对戗堤进行加高培厚，直至达到围堰设计要求。截流完成以后，再修筑围堰防渗结构，对戗堤进行加高培厚，直至达到围堰设计要求。





三、截流工程与导流挡水建筑物

【例-单选题】截流工程在戗堤全线上设置防渗体的工作，称为()。

- A、合龙
- B、防渗
- C、封堵
- D、闭气

网校答案：D

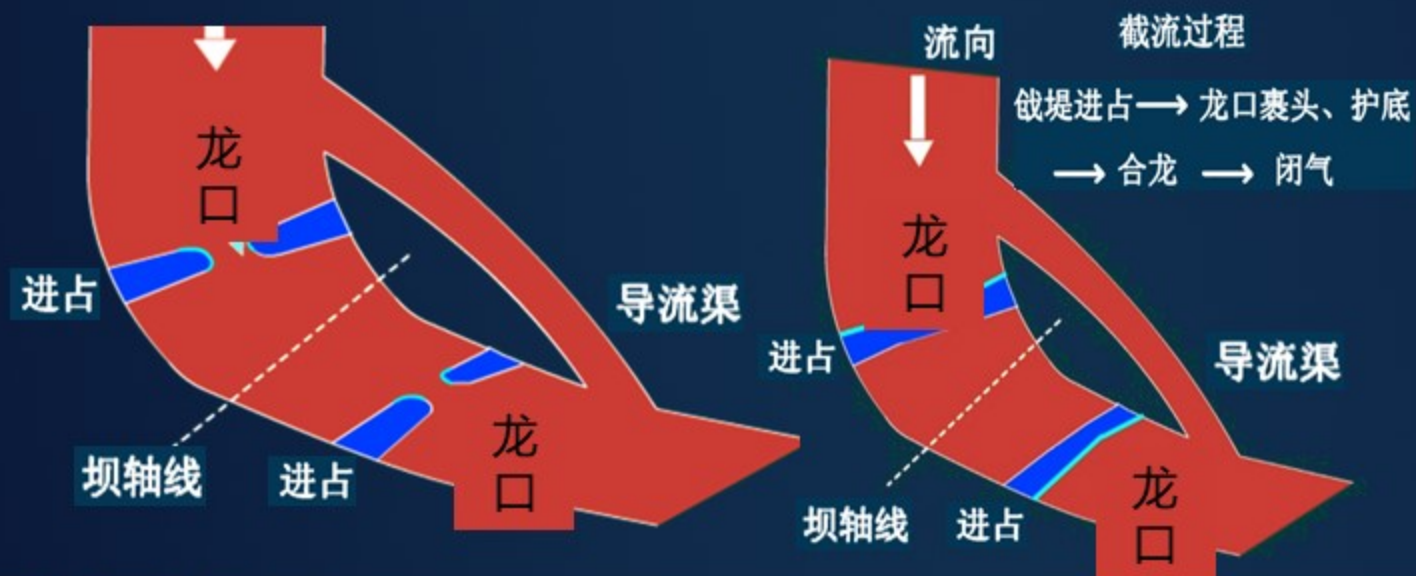
网校解析：合龙以后，龙口部位的戗堤虽已高出水面，但其本身依然漏水，因此须在其迎水面设置防渗设施。在戗堤全线上设置防渗体的工作称为闭气。



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

河道截流有立堵法、平堵法、立平堵法、平立堵法、下闸截流以及定向爆破截流等多种方法，但基本方法为立堵法和平堵法两种。



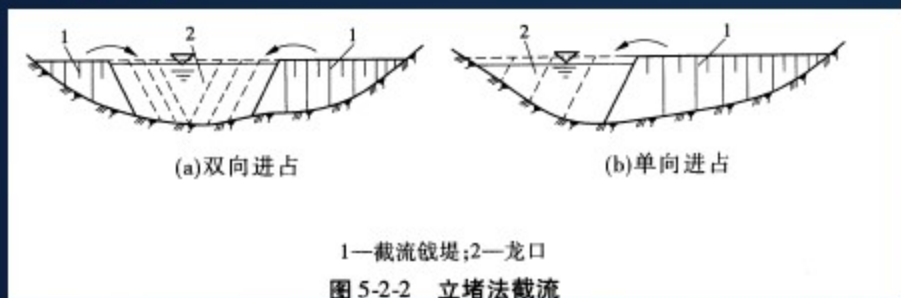
易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

1、立堵法截流

立堵法截流是将截流材料，从龙口一端向另一端或从两端向中间抛投进占，逐渐束窄龙口，直至全部拦断。立堵法截流不需要在龙口架设浮桥或栈桥，准备工作比较简单，费用较低。但截流时龙口的单宽流量较大，出现的最大流速较高，而且流速分布很不均匀，需用单个重量较大的截流材料。截流时工作前线狭窄，抛投强度受到限制，施工进度受到影响。立堵法截流一般适用于大流量、岩基或覆盖层较薄的岩基河床。



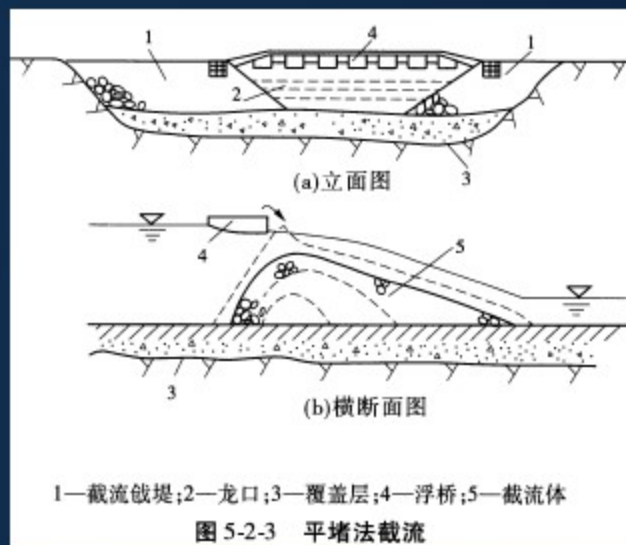
易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

2、平堵法截流

平堵法截流事先要在龙口架设浮桥或栈桥，用自卸汽车沿龙口全线从浮桥或栈桥上均匀、逐层抛填截流材料，直至戗堤高出水面为止。因此，平堵法截流时，龙口的单宽流量较小，出现的最大流速较低，且流速分布比较均匀，截流材料单个重量也较小，截流时工作前线长，抛投强度较大，施工进度较快。平堵法截流通常适用在软基河床上。



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物



平堵法（龙口搭设浮桥，适用于软基河床）



立堵法（双向进占）



立堵法（单向进占）



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

(二)、导流挡水建筑物

围堰是导流工程中的临时挡水建筑物，用来围护基坑，保证水工建筑物能在干地施工。在导流任务完成以后，如果围堰对永久建筑物的运行有妨碍，或没有考虑作为永久建筑物的一部分时，应予以拆除。

水利水电工程施工中经常采用的围堰，按其所使用的材料，可以分为：土石围堰、草土围堰、钢板桩格型围堰和混凝土围堰等。按围堰与水流方向的相对位置，可以分为：横向围堰和纵向围堰。按导流期间基坑淹没条件，可以分为：过水围堰和不过水围堰。过水围堰除需要满足一般围堰的基本要求外，还要满足堰顶过水的专门要求。



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

选择围堰形式时，必须根据当时当地具体条件，在满足下述基本要求的原则下，通过技术经济比较加以选定。

- 1.具有足够的稳定性、防渗性、抗冲性和强度。
- 2.就地取材，造价便宜，构造简单，修建、拆除方便。
- 3.围堰的布置，应力求使水流平顺，不发生严重的局部冲刷。
- 4.围堰接头、与岸坡连接处要可靠，避免因集中渗漏等破坏作用而引起围堰失事。
- 5.必要时应设置抵抗冰凌、船筏冲击破坏的设施。



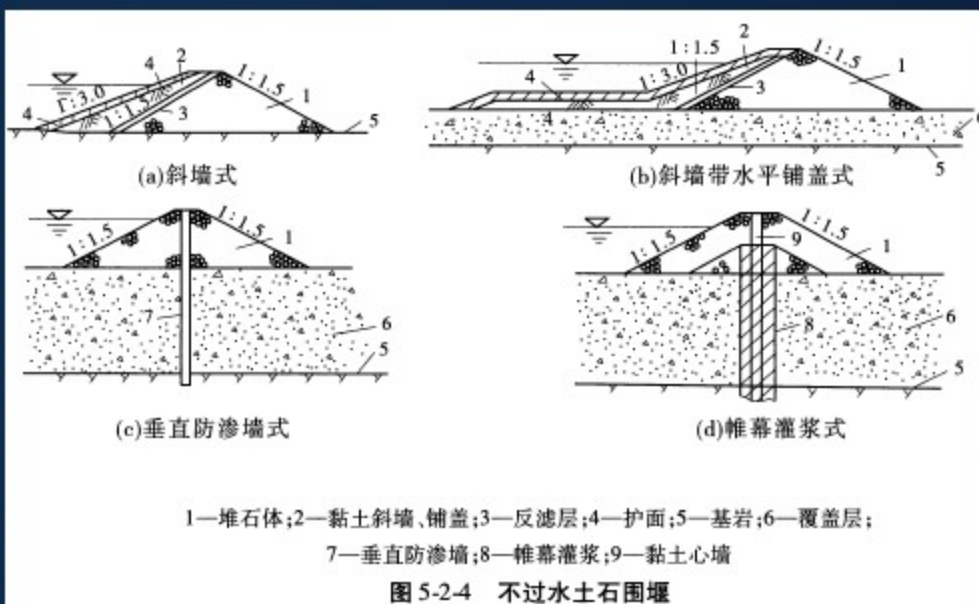


三、截流工程与导流挡水建筑物

1、围堰的基本形式及构造

◆ (1) 不过水土石围堰

不过水土石围堰是水利水电工程中最广泛应用的一种围堰形式。它能充分利用当地材料或废弃的土石方，构造简单，施工方便，可以在动水中、深水中、岩基上或有覆盖层的河床上修建。但其工程量大，堰身沉陷变形较大。此外，除非采取特殊措施，土石围堰一般不允许堰顶过水，所以汛期应有防护措施。



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

若当地有足够数量的渗透系数小于 10^{-4} cm/s 的防渗料(如砂壤土)时, 土石围堰可以采用图 5-2-4 (a)、(b) 两种形式。其中图 5-2-4 (a) 适用于基岩河床; 图 5-2-4 (b) 适用于覆盖层厚度不大的场合。

若当地没有足够数量的防渗料或覆盖层较厚时, 土石围堰可以采用图 5-24 (c)、(d) 两种形式, 用混凝土防渗墙、高喷墙、自凝灰浆墙或帷幕灌浆来解决基础和堰身的防渗问题。





三、截流工程与导流挡水建筑物

◆ (2) 过水土石围堰

当采用允许基坑淹没的导流方式时，围堰堰体必须允许过水。如前所述，土石围堰是散粒体结构，不允许堰体溢流。因为土石围堰过水时，一般受到两种破坏作用：

- ①水流沿下游坡面下泄，动能不断增加，冲刷堰体表面；
- ②由于过水时水流渗入堆石体所产生的渗透压力，引起下游坡面连同堰顶一起深层滑动，最后导致溃堰的严重后果，所以过水土石围堰的下游坡面及堰脚应采取可靠的加固保护措施，目前采用的有混凝土板护面、钢筋石笼护面、大块石护面、加筋护面等，其中混凝土板护面应用较普遍。





三、截流工程与导流挡水建筑物

在过水土石围堰的下游坡面及堰脚应采取可靠的加固保护措施。目前采用的有大块石护面、钢筋石笼护面、加筋护面及混凝土板护面等。应用较普遍的是混凝土板护面。混凝土护面板的安装或浇筑应错缝、跳仓，施工顺序应从下游面坡脚向堰顶进行。



易投软件



三、截流工程与导流挡水建筑物

①混凝土板护面过水土石围堰。

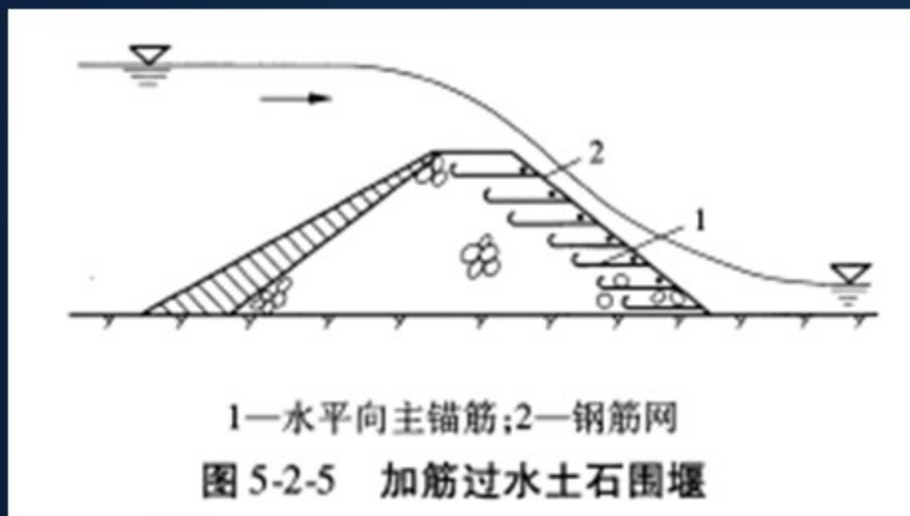
常用的混凝土护面板，按施工方式可分为现浇混凝土护面板和预制混凝土护面板；按面板截面型式可分为矩形板和楔形板；按面板连接方式可分为重叠搭接式和平顺连接式；按面板上有无排水设施可分为带排水孔面板和不带排水孔面板。面板与围堰下游坡之间一般需设置垫层，以削减板下水流压强，有利于面板的平整与稳定。



三、截流工程与导流挡水建筑物

②加筋过水土石围堰。

是在围堰的下游坡面上铺设钢筋网，防止坡面块石被冲走，并在下游部位的堰体内埋设水平向主钢筋，以防止下游坡连同堰顶一起滑动。下游坡采用钢筋网护面，可使护面块石的尺寸减小、下游坡角加大，其造价低于混凝土板护面过水土石围堰。





三、截流工程与导流挡水建筑物

◆ (3) 混凝土围堰

混凝土围堰的抗冲与防渗能力强，挡水水头高，底宽小，易于与永久建筑物相连接，必要时还可以过水，因此应用比较广泛。

①拱形混凝土围堰

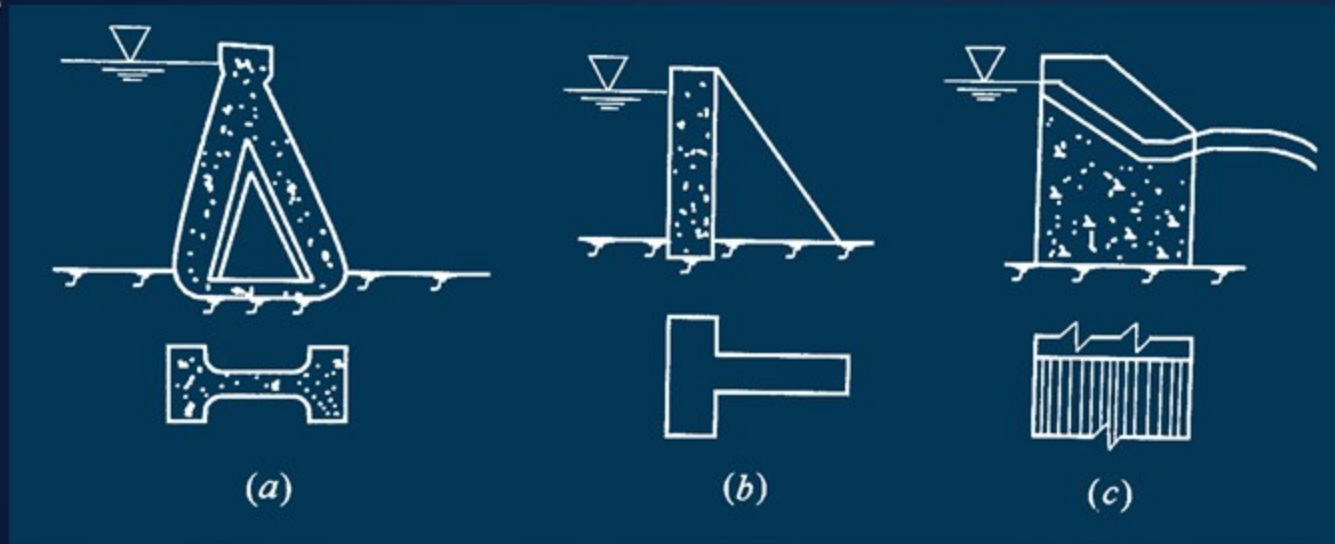
一般适用于岸坡陡峻、岩石坚实的山区河流。此时常采用隧洞及允许基坑淹没的导流方案。通常，围堰的拱座设在枯水位以上。当河床的覆盖层较薄时，常进行水下清基；若覆盖层较厚，则可灌注水泥浆防渗加固。堰身的部分混凝土要进行水下施工，因此难度较高。



三、截流工程与导流挡水建筑物

②重力式混凝土围堰

采用分段围堰法导流时，重力式混凝土围堰往往可兼作第一期和第二期纵向围堰，两侧均能挡水，还能作为永久建筑物的一部分，如隔墙、导墙等。重力式混凝土围堰一般需修建在基岩上，断面可做成实体式，与非溢流重力坝类似，也可做成空心式(图 5-1-15)。为了保证混凝土的施工质量，通常需在土石低水围堰围护下进行干地施工。

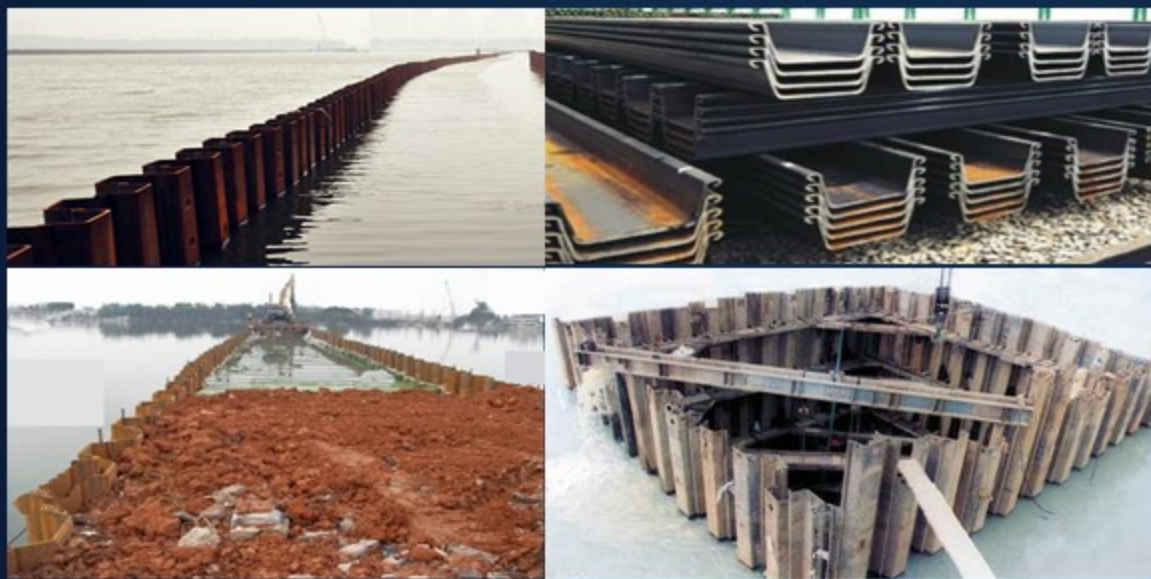




三、截流工程与导流挡水建筑物

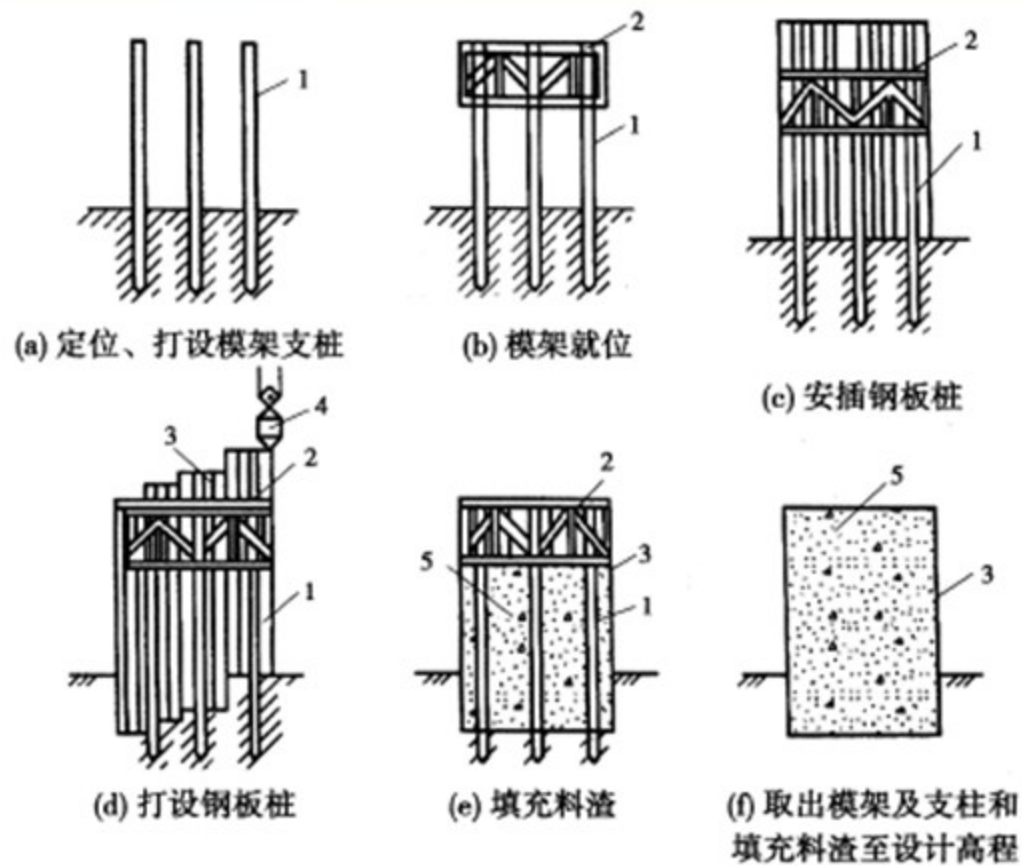
◆ (4) 钢板桩格型围堰

钢板桩格型围堰按挡水高度不同，其平面形式有圆筒形格体、扇形格体及花瓣形格体等。应用较多的是圆筒形格体。钢板桩格型围堰得以广泛应用是由于：修建和拆除可以高度机械化；钢板桩的回收率高，可达 70% 以上；边坡垂直、断面小、占地少、安全可靠等。格体内填充透水性较强的填料，如砂、砂卵石或石渣等。





三、截流工程与导流挡水建筑物



1—支柱;2—模架;3—钢板桩;4—打桩机;5—填料

图 5-2-7 圆筒形格体钢板桩围堰施工程序图



三、截流工程与导流挡水建筑物

◆ (5) 草土围堰及袋装土围堰

草土围堰是一种草土混合结构，多用捆草法修建。草土围堰的断面一般为矩形或边坡很陡的梯形，坡比为1:0.2~1:0.3，是在施工中自然形成的边坡。草土围堰可就地取材，结构简单，施工方便，造价低，防渗性能好，适应能力强，便于拆除，施工速度快。但草土围堰不能承受较大的水头，宜用于水深不大于6~8m，流速不超过3~5m/s的场合。



三、截流工程与导流挡水建筑物

(6) 胶凝砂砾石围堰

胶凝砂砾石技术是一项新型筑坝技术，这种技术的核心是将胶凝材料和水添加到河床砂砾石或开挖废弃料等在坝址附近容易找到的岩石基材中，然后采用简单的拌和装置拌和而得到一种新型廉价的筑坝材料。胶凝砂砾石(CSG)技术性能介于堆石坝材料和碾压混凝土之间，具有比堆石坝材料更好的抗冲刷能力，允许表面过流，具有一定强度和刚体性质，可以减小坝体的体积，同时又具有良好的地基适应能力，减少了地基处理的工程量。

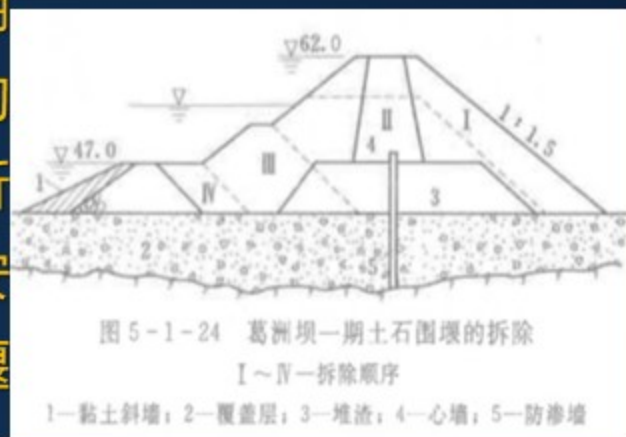


三、截流工程与导流挡水建筑物

2、围堰的拆除

围堰是临时建筑物，导流任务完成以后，应按设计要求进行拆除，以免影响永久建筑物的施工及运行。土石围堰断面较大，因此有可能在施工期最后一个汛期之后，上游水位下降时，从围堰的背水坡开始分层拆除。但必须保证依次拆除后所残留的断面能继续挡水和维持稳定，以免发生安全事故，使基坑过早淹没，影响施工。土石围堰一般可用挖土机械或爆破等方法拆除。

混凝土围堰的拆除，一般只能用爆破法，但应注意，必须使主体建筑物或其他设施不受爆破危害。





四、拦洪度汛

坝体能否可靠拦洪与安全度汛，将涉及工程的进度与成败。坝体拦洪度汛是整个工程施工进度中的一个控制性环节，必须慎重对待。

根据施工进度安排，如果汛期到来之前坝身能如期修到拦洪高程以上，则安全度汛基本得到保证；否则，若不能修筑到拦洪高程，则必须采取一定工程措施，确保安全度汛。尤其当主体建筑物为土坝或堆石坝，且坝体填筑又相当高时，更应给予足够的重视，因为一旦坝身过水，就会造成严重的溃坝后果。



四、拦洪度汛

(一)、混凝土坝的度汛措施

混凝土坝一般允许过水，若坝身在汛前不能浇筑到拦洪高程，为了避免坝身过水时造成停工，可在坝面上预留缺口度汛，待洪水过后，水位回落，再封堵缺口，全面上升坝体。另外，如果根据混凝土浇筑进度安排，虽然在汛前坝身可以浇筑到拦洪高程，但一些纵缝尚未灌浆封闭时，可考虑用临时断面挡水。在这种情况下，必须进行充分论证，采取相应措施，以消除应力恶化的影响。



四、拦洪度汛

(二)、土坝、堆石坝的度汛措施

土坝、堆石坝一般不允许过水，若坝身在汛前不能填筑到拦洪高程，可以考虑采取降低溢洪道高程、设置临时溢洪道、用临时断面挡水，或经过论证采用临时坝面保护措施过水等方法度汛。



五、基坑排水与封堵蓄水

(一)、基坑排水

在截流戗堤合龙闭气以后，就要排除基坑的积水和渗水，以便开展基坑施工作业。当然，在用定向爆破修筑截流、拦淤堆石坝，或直接向水中倒土形成建筑物时，不需要组织基坑排水工作。基坑排水工作可分为：

- ①基坑开挖前的初期排水，包括基坑积水、基坑积水排除过程中围堰及基坑的渗水和降水的排除；
- ②基坑开挖及建筑物施工过程中的经常性排水，包括围堰和基坑的渗水、降水、基岩冲洗及混凝土养护用废水的排除等。



五、基坑排水与封堵蓄水

1、初期排水。参考实际工程的经验，按式 (5-1-6) 来确定。

$$Q = \frac{(2 \sim 3)V}{T} \quad (5-1-6)$$

式中 Q ——初期排水流量， m^3/s ；

V ——基坑的积水体积， m^3 ；

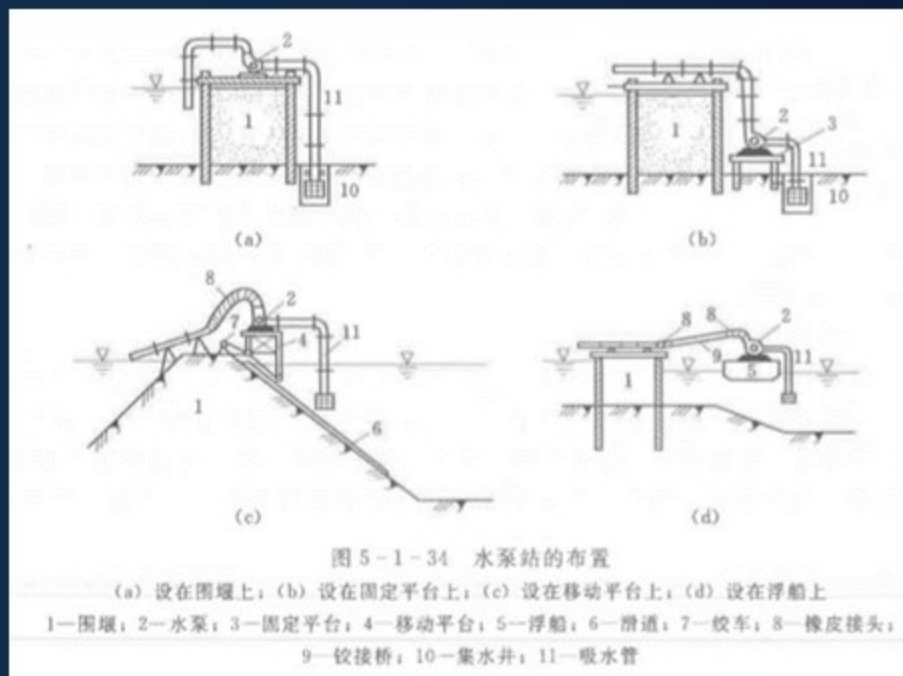
排水时间 T 主要受基坑水位下降速度的限制。基坑水位允许下降速度视围堰形式、地基特性及基坑内水深而定。水位下降太快，则围堰或基坑边坡的动水压力变化过大，容易引起塌坡；下降太慢，则影响基坑开挖时间。一般下降速度限制在 $0.5 \sim 1.5\text{m/d}$ 以内，对于土围堰取下限值，混凝土围堰取上限值。初期排水时间对大型基坑可采用 $5 \sim 7\text{d}$ ，中型基坑不超过 $3 \sim 5\text{d}$ 。



五、基坑排水与封堵蓄水

一般初期排水可以采用**固定的或浮动的水泵站**。
当水泵的吸水高度(一般水泵吸水高度为4.0~6.0m) 足够时, **水泵站可布置在围堰上**, 如图 5-1-34 (a) 所示。

当基坑较深, 超过水泵吸水高度时, 须随基坑水位下降将水泵逐次下放, 这时可以将**水泵逐层安放在基坑内较低的固定平台上**, 如图 5-1-34 (b) 所示;也可以将**水泵放在滑道移动的平台**上, 如图 5-1-34 (c)所示, 用绞车操纵逐步下放;还可以将**水泵放在浮船上**, 如图5 -1 — 34 (d) 所示。





五、基坑排水与封堵蓄水

2、经常性排水

基坑内积水排干后，围堰内外的水位差增大，此时渗透流量相应增大，对围堰内坡、基坑边坡和底部的动水压力加大，容易引起管涌或流土，造成塌坡和基坑底隆起的严重后果。因此在经常性排水期间，应周密地进行排水系统的布置、渗透流量的计算和排水设备的选择，并注意观察围堰的内坡、基坑边坡和基坑底面的变化，保证基坑工作顺利 进行。

经常性排水的排水量包括围堰和基坑的渗水、降水、地层含水、基岩冲洗及混凝土养护弃水等。基岩冲洗及混凝土养护弃水，由于基岩冲洗用水不多，可以忽略不 计，混凝土养护弃水，可近似地按每立方米混凝土每次用水5L、每天养护8次计算。但降水和施工弃水不应叠加。



五、基坑排水与封堵蓄水

3、人工降低地下水位

在经常性排水过程中，为了保持基坑开挖工作始终在干地进行，常常要多次降低排水沟和集水井的高程，变换水泵站的位置，这会影响开挖工作的正常运行。此外，在开挖细砂土、砂壤土一类地基时，随着基坑底面的下降，坑底与地下水位的高差越来越大，在地下水渗透压力作用下，容易产生边坡脱滑、坑底隆起等事故，对开挖工作带来不利影响。

而采用人工降低地下水位，就可减轻或避免上述问题。人工降低地下水位的方法，按排水工作原理来分有管井法和井点法两种。



五、基坑排水与封堵蓄水

①管井法降低地下水位

管井法降低地下水位时，在基坑周围布置一系列管井，管井中放入水泵的吸水管，地下水在重力作用下流入井中，被水泵抽走。管井法降水一般用于渗透系数为10—150m/d的粗、中砂土。

②井点法降低地下水位

井点法把井管和水泵的吸水管合二为一，简化了井的构造，便于施工。井点法降低地下水位的设备，根据其降深能力分轻型井点(浅井点)和深井点等。轻型井点是由井管、集水总管、普通离心式水泵、真空泵和集水箱等设备所组成的一个排水系统(图 5-1-36)。轻型井点系统的井管直径为 38 ~ 50mm，间距为 0.6 ~ 1.8m，最大可到 3.0m。



五、基坑排水与封堵蓄水

【例-单选题】管井法降水一般适用于渗透系数为（ ）m/d的底层。

- A、10-150
- B、1-20
- C、100-350
- D、<5

网校答案：A

网校解析：管井法降水一般用于渗透系数为10—150m/d的粗、中砂土。



五、基坑排水与封堵蓄水

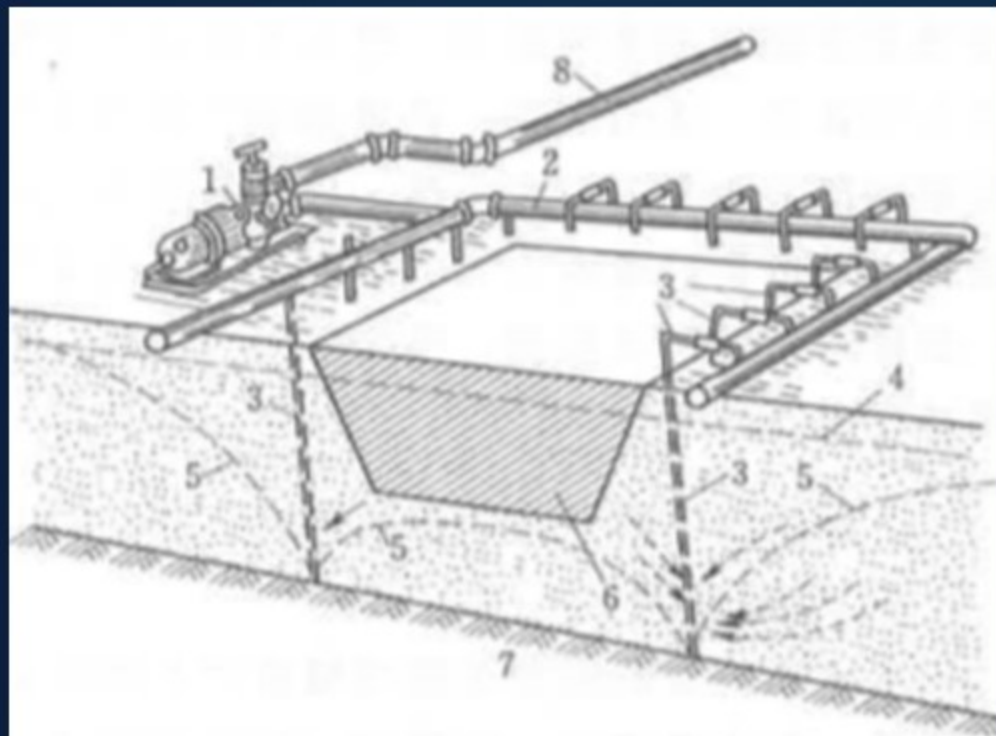


图 5-1-36 轻型井点系统

- 1—带真空泵和集水箱的离心式水泵；2—集水总管；
3—井管；4—原地下水位；5—排水后水面降落
图线；6—基坑；7—不透水层；8—排水管



五、基坑排水与封堵蓄水

(二)、封堵蓄水

在施工后期，当坝体已修筑到拦洪高程以上，能够发挥挡水作用时，其他工程项目，如混凝土坝已完成了基础灌浆和坝体纵缝灌浆，库区清理、水库塌岸和渗漏处理均已完成，建筑物质量和闸门设施等也都检查合格，这时，整个工程就进入了所谓完建期。根据发电、灌溉及航运等国民经济各部门所提出的综合要求，确定竣工运用日期，有计划地进行导流临时泄水建筑物的封堵和水库的蓄水工作。



易投软件



PART 03

施工技术



一、土石方明挖工程

（一）、岩土开挖级别

现行水利水电工程岩土开挖施工，依据地质条件共划分为16级，其中土类开挖分为4级，岩石开挖分为12级。

1. 土类开挖级别划分

土类开挖级别分为4级，见表5-3-1。

2. 岩石开挖级别划分

岩石开挖级别分为12级，见表5-3-2。





一、土石方明挖工程

表 5-3-1 土类开挖级别划分

土质级别	土质名称	天然湿度下平均 容重(kN/m^3)	外形特征	开挖方式
I	1.砂土 2.种植土	16.5~17.5	疏松、黏着力差或易进 水,略有黏性	用锹或略加脚踩开 挖
II	1.壤土 2.淤泥 3.含壤种植土	17.5~18.5	开挖时能成块,并易打 碎	用锹需用脚踩开挖
III	1.黏土 2.干燥黄土 3.干淤泥 4.含少量砾石黏土	18.0~19.5	粘手、看不见砂粒或干 硬	用镐、三齿耙开挖 或用锹需用力加脚踩 开挖
IV	1.坚硬黏土 2.砾质黏土 3.含卵石黏土	19.0~21.0	壤土结构坚硬,将土分 裂后成块状或含黏粒、砾 石较多	用镐、三齿耙等开 挖



易投软件



一、土石方明挖工程

级别	坚固 系数	级别	坚固 系数
V	1.5-2	XI	12-14
VI	2-4	XII	14-16
VII	4-6	XIII	16-18
VIII	6-8	XIV	18-20
IX	8-10	XV	20-25
X	10-12	XVI	>25



易投软件



一、土石方明挖工程

(二)、土方开挖

1、土方开挖工程分类

土方开挖工程从开挖手段上可分为人工开挖、机械开挖、爆破开挖和水力开挖等；从建筑用途上可分为边坡开挖、基坑开挖、沟槽开挖、料场开挖等；从土的性质上可分为一般土方开挖和特殊土方开挖；从施工方法上又可分为平面开挖和立面开挖等。





一、土石方明挖工程

2、土方开挖一般要求

- ①在进行土方开挖施工之前，除做好必要的工程地质、水文地质、气象条件等调查和勘察工作外，还应根据所要求的施工工期，制订切实可行的施工方案，即确定开挖分区分段、分层，开挖程序及施工机械选型配套等。
- ②严格执行设计图纸和相关施工的各项规范，确保施工质量。
- ③做好测量、放线、计量等工作，确保设计的开挖轮廓尺寸。





一、土石方明挖工程

④对开挖区域内妨碍施工的建筑物及障碍物，应有妥善的处置措施。

⑤切实采取开挖区内的截水、排水措施，防止地表水和地下水影响开挖作业。

⑥开挖应自上而下进行。如某些部位确需上、下同时开挖，应采取有效的安全技术措施。严禁采用自下而上的开挖方式。

⑦充分利用开挖弃土，尽量不占或少占农田。

⑧慎重确定开挖边坡，制订合理的边坡支护方案，确保施工安全。





一、土石方明挖工程

3、机械开挖土方

● 1) 土方开挖机械选择

常用的土方挖装机械有推土机、正铲及反铲挖掘机、装载机、铲运机、抓斗挖掘机、拉铲挖掘机、斗轮挖掘机等。铲运机同时具有运输和摊铺的功能。

常用的土方运输机械有自卸汽车、有轨运输、皮带输送机、卷扬机、拖拉机等。

土方开挖施工机械的选择应根据工程规模、工期要求、地质情况以及施工现场条件等来确定，常用土方机械的选择可参考表5-3-3。





一、土石方明挖工程

表 5-3-3 常用土方机械性能及其适用范围

机械名称、特性		作业特点	辅助机械	适用范围	
挖运机械	推土机	操作灵活、转运方便,工作面小,可挖土、运土,应用广泛	1.平整、堆集; 2.运距 100 m 内的推土; 3.浅基坑开挖; 4.铲运机助铲	土方运输需配备装运设备; 推挖Ⅲ~Ⅳ类土,应用松土器预先翻松,有的Ⅴ类土也可用裂土器裂松	1.Ⅰ~Ⅲ类土; 2.场地平整,堆料平整; 3.短距离挖填,回填基坑(槽)、管沟并压实; 4.配合装载机集中土方、清理场地、修路开道等
	铲运机	操作灵活,能独立完成铲、运、卸、填筑、压实等工序,行驶速度快,生产效率高	1.大面积平整; 2.开挖大型基坑、沟渠; 3.土方挖运; 4.填筑路基、堤坝	开挖Ⅲ、Ⅳ类土宜先用松土器预先翻松 20~40 cm;自行式铲运机适合于较长距离挖运	1.开挖含水量 25% 以下的Ⅰ~Ⅲ类土,土层内不含有卵砾和碎石; 2.大面积开挖、运输; 3.运距 1 500 m 内的土方挖运、铺填(自行式)
挖装机械	正铲挖掘机	装车轻便、灵活,回转速度快,移位方便,适应能力强,能挖掘坚硬土层,易控制开挖尺寸,工作效率高	1.开挖停机面以上的土方; 2.工作面应在 2.0 m 以上,开挖高度超过挖土机挖掘高度时,可采取分层开挖,装车外运	土方外运应配备自卸汽车,工作面应有推土机配合清表、平场等	1.开挖Ⅰ~Ⅳ类土和经爆破后的岩石与冻土碎块; 2.独立基坑、边坡开挖



易投软件



一、土石方明挖工程

续表 5-3-3

机械名称、特性		作业特点	辅助机械	适用范围
反铲挖掘机	除具有正铲挖掘机的性能外,还有较强的爬坡和自救能力	1.开挖停机面以下的土方; 2.最大挖土深度和经济合理深度随机型而异; 3.可装车和两边甩土、堆放; 4.较大、较深基坑可用多层接力挖土	土方外运应配备自卸汽车	1. I ~ IV类土开挖; 2.管沟和基槽开挖; 3.边坡开挖及坡面修整; 4.部分水下开挖
装载机	操作灵活,回转移位方便、快速,可装卸土方和散料,行驶速度快、效率高	1.短距离内自铲自运; 2.开挖停机面以上土方; 3.轮胎式只能装松散土方,履带式可装较密实土方	土方外运需配备自卸汽车,作业面需用推土机配合	1.土方装运; 2.履带式改换挖斗时,可用于土方开挖; 3.地面平整和场地清理等工作



易投软件



一、土石方明挖工程

挖 装 机 械	拉 铲 挖 掘 机	挖掘半径及卸载半径大,操纵灵活性较差,效率较低	1.开挖停机面以下土方; 2.可装车和甩土; 3.开挖截面误差较大; 4.可将土甩在基坑(槽)两边较远处堆放	土方外运需配备自卸汽车	1.挖掘 I ~ III 类土; 2.河床疏浚; 3.水下挖取泥土
	抓 铲 挖 掘 机	钢绳牵拉灵活性较差,工效不高,不能挖掘硬土	1.开挖直井或沉井土方; 2.可装车或甩土; 3.排水不良的深坑开挖	土方外运时,按运距配备自卸汽车	1.土质比较松软,施工面较狭窄的深基坑、基槽; 2.水中挖取土砂或经爆破后的石渣; 3.桥基、桩孔挖土
	斗 轮 挖 掘 机	电力驱动,工作效率高,成本低,体积庞大,运输不便	1.立面开挖停机面以上的土方; 2.自然方和松方均可; 3.可与自卸汽车和皮带机配套使用	配备带式运输机和自卸汽车外运	1.大体积的土方开挖工程,如土石坝料场开采; 2.高度在 4.5 m 以上的掌子面



易投软件



一、土石方明挖工程

- 2) 机械开挖土方作业方法

- (1) 推土机

推土机开挖的基本作业是铲土、运土、卸土三个工作行程和空载回驶行程。常用的作业方法如下:

①**槽形推土法**。推土机多次重复在一条作业线上切土和推土,使地面逐渐形成一条浅槽,再反复在沟槽中进行推土,以减少土从铲刀两侧漏散,可提高工作效率10%~30%。

②**下坡推土法**。推土机顺着下坡方向切土与推运,借机械向下的重力作用切土,增大切土深度和运土数量,可提高生产率30%~40%,但坡度不宜超过15°,避免后退时爬坡困难。





一、土石方明挖工程

③**并列推土法**。用2~3台推土机并列作业，以减少土体漏失量。铲刀相距15~30 cm,平均运距不宜超过50~70m, 亦不宜小于20m。

④**分段铲土集中推送法**。在硬质土中，切土深度不大，将铲下的土分堆集中，然后整批推送到卸土区。堆积距离不宜大于30m，堆土高度以2m内为宜。

⑤**斜角推土法**。将铲刀斜装在支架上或水平放置，并与前进方向成一倾斜角度进行推土。





一、土石方明挖工程

(2) 挖掘机

①正铲挖掘机。②反铲挖掘机。适用于Ⅰ~Ⅲ类土开挖。③拉铲挖掘机。④抓铲挖掘机。适用于开挖土质比较松软(Ⅰ—Ⅱ类土)

(3) 装载机

适用于装卸松散土料，也可用于较软土体的表层剥离、地面平整、场地清理和土方运送等工作。装载机一般同推土机配合作业，即由推土机松土、集土，装载机装运。





一、土石方明挖工程

(4) 铲运机

铲运机的基本作业是铲土、运土、卸土三个工作行程和一个空载回驶行程。根据施工场地的不同，常用的开行路线有以下几种：①椭圆形开行路线。从挖方到填方按椭圆形路线回转，适合于长100 m内基坑开挖、场地平整等工程使用。②“8”字形开行路线。即装土、运土和卸土时按“8”字形运行，此法可减少转弯次数和空车行驶距离，提高生产率，同时可避免机械行驶部分单侧磨损。

为了提高铲运机的生产效率，通常采用以下几种方法：①下坡铲土法。②沟槽铲土法。③助铲法。





一、土石方明挖工程

(5) 斗轮挖掘机

适用于大体积的土方开挖工程，且具有较高的掌子面，土料含水量不宜过大。多与胶带运输机配合作长距离运输。





一、土石方明挖工程

4、人工开挖土方

在不具备采用机械开挖的条件下或在机械设备不足的情况下，可采用人工开挖。处于河床或地下水位以下的建筑物基础开挖，应特别注意做好排水工作。施工时，应先开挖排水沟，再分层下挖。临近设计高程时，应留0.2~0.3m的保护层暂不开挖，待上部结构施工时，再予以挖除。

人工开挖可全面逐层下降，也可分区呈台阶状下挖。分区台阶状下挖方式有利于布置出土坡道，组织施工一也较方便。





一、土石方明挖工程

5、土质边坡开挖

在进行土质边坡开挖时，应根据边坡的用途以及土的种类、物理力学性质、水文地质条件等，合理地确定边坡坡度、支护措施及施工方案。

1) 边坡坡度选定。对于重要的土方开挖边坡，应专门进行边坡稳定设计。





一、土石方明挖工程

3) 边坡支护

受施工条件等因素的制约，施工中经常会遇到不稳定边坡，应采取适当措施加以支护，以保证施工安全。支护主要有锚固、护面和支挡几种型式。

其中，护面又有喷护混凝土、块石(或混凝土块)砌护、三合土挡护等方法，支挡又有扶壁、支墩、挡土墙(板、桩)等型式。

合理的支护设计就是根据边坡稳定计算结果，提出合理的支撑结构，同时要特别注意对地表水、地下水的处理。





一、土石方明挖工程

(三)、石方开挖

1、石方开挖爆破技术

1) 炸药和起爆器材

①炸药。一般来说，凡能发生化学爆炸的物质均可称为炸药。常用的工业炸药包括TNT(三硝基甲苯)、胶质炸药(硝化甘油炸药)、铵油炸药、乳化炸药、浆状炸药和铵梯炸药等。

②雷管。雷管是用来引爆炸药的器材。根据点火装置的不同，分为火雷管和电雷管。



一、土石方明挖工程

③导火索

导火索用来激发火雷管，其索芯为黑火药，外壳用棉线、纸条和防水材料等缠绕和涂抹而成。按使用场合不同，导火索有普通型、防水型和安全型三种。使用最多的是每米燃烧时间为100~125s的普通导火索。

④导爆索

导爆索可分为安全导爆索和露天导爆索，导爆索构造类似于导火索，但其药芯为黑索金，外表涂成红色，以示区别。普通导爆索的爆速一股不低于6500m/s，线装药密度为12~14g/m，合格的导爆索在0.5m深的水中浸泡24h后，其敏感度和传爆性能不变。



一、土石方明挖工程

⑤导爆管

导爆管用于起爆网路中冲击波的传递，需用雷管引爆。它是一种聚乙烯空心软管，外径3mm，内径1.4mm，管内壁涂有以奥克托金或黑索金为主体的粉状炸药，线敷药密度为14~18 mg/m。导爆管的传爆速度为1600~2000m/s。



一、土石方明挖工程

⑥导爆雷管

在火雷管前端加装消爆室后，再用塑料卡口塞与导爆管连接即成导爆雷管。消爆室的主要作用在于降低导爆管口泄出的高温气流压力，防止在火雷管发火前卡口塞破裂或脱开。导爆雷管也分即发、秒延迟和毫秒延迟三种。消爆室后无延迟药者为即发导爆雷管，有延迟药者为毫秒导爆雷管，秒延迟雷管与电雷管一样，其延迟时间也用精制导火索控制。

根据《民用爆破器材“十一五”规划纲要》的要求，导火索、火雷管、铵梯炸药已于2008年1月1日起停止生产。



一、土石方明挖工程

2) 爆破的基本方法

按照药室的形状不同，工程爆破的基本方法主要可分为**钻孔爆破**和**洞室爆破**两大类。

爆破方法的选用取决于**工程规模、开挖强度和施工条件**。另外，在岩体的开挖轮廓线上，为了获得平整的轮廓面、控制超欠挖和减少爆破对保留岩体的损伤，通常采用**预裂或光面爆破**等轮廓爆破技术。



一、土石方明挖工程

(1) 钻孔爆破

根据孔径的大小和钻孔的深度，钻孔爆破又分浅孔爆破和深孔爆破。前者孔径小于 75mm，孔深小于 5m；后者孔径大于 75mm，孔深超过 5m。

浅孔爆破的优点是**有利于控制开挖面的形状和规格**，使用的钻孔机具较简单，操作方便；缺点是劳动生产率较低，无法适应大规模爆破的需要。浅孔爆破大量应用于地下工程开挖、露天工程的中小型料场开采、水 工建筑物基础分层开挖以及城市建筑物的控制爆破。

深孔爆破适用于料场和基坑的大规模、高强度开挖。

布孔时，宜使炮孔与岩石层面和节理面正交，不宜穿过与地面贯穿的裂缝，以防止爆生气体从裂缝中逸出，影响爆破效果。



一、土石方明挖工程

(2) 洞室爆破

洞室爆破又称为大爆破，其药室是专门开挖的洞室。药室用平洞或竖井相连，装药后按要求将平洞或竖井堵塞。洞室爆破大体上可分为**松动爆破**、**抛掷爆破**和**定向爆破**。定向爆破是抛掷爆破的一种特殊形式，它不仅要求岩土破碎、松动，而且应抛掷堆积成具有一定形状和尺寸的堆积体。



一、土石方明挖工程

(3) 预裂爆破和光面爆破

为保证保留岩体按设计轮廓面成型并防止围岩破坏，须采用轮廓控制爆破技术。常用的轮廓控制爆破技术包括预裂爆破和光面爆破。所谓预裂爆破，就是首先起爆布置在设计轮廓线上的预裂爆破孔药包，形成一条沿设计轮廓线贯穿的裂缝，其次在该人工裂缝的屏蔽下进行主体开挖部位的爆破，保证保留岩体免遭破坏；光面爆破是先爆除主体开挖部位的岩体，然后再起爆布置在设计轮廓线上的周边孔药包，将光爆层炸除，形成一个平整的开挖面。预裂爆破和光面爆破在坝基、边坡和地下洞室岩体开挖中获得了广泛应用。



一、土石方明挖工程

2、坝基开挖

1) 坝基开挖施工内容

- ① 布置施工道路。
- ② 选择开挖程序。
- ③ 确定施工方法。
- ④ 土石方平衡。在一个工程中，一般都会存在开挖和回填。无论业主是否要求，从控制施工成本上考虑都应该选择符合业主要求的开挖料进行土石方回填，不能直接利用的料渣要考虑中转料场。
- ⑤ 爆破安全控制及施工安全措施。
- ⑥ 质量控制要求。
- ⑦ 环境污染的治理措施。包括治理弃渣对江河的污染、减轻开挖对植被的破坏、农田耕地恢复等措施。



一、土石方明挖工程

2) 坝基开挖程序

坝基开挖的一般原则是**自上而下地顺坡开挖**。坝基开挖程序的选择与**坝型、枢纽布置、地形地质条件、开挖量以及导流方式**等因素有关，其中导流方式及导流程序是主要因素。



一、土石方明挖工程

3) 坝基开挖方式

开挖程序确定以后，开挖方式的选择主要取决于开挖深度、具体开挖部位、开挖量、技术要求以及投入的施工机械设备类型等。

(1) 薄层开挖

基岩开挖深度小于4.0 m时，采用浅孔爆破的方法开挖。根据不同部位，采取的开挖方式有劈坡开挖、大面积浅孔爆破开挖、结合保护层开挖、一次爆除开挖方法等。以上几种方式在一个工程中并非单独使用，一般情况下都要结合使用。



一、土石方明挖工程

表 5-3-6 坝基开挖程序

选择因素			开挖程序	施工条件	开挖步骤
地形条件	坝型	导流方式			
河床狭窄, 两岸边坡 陡峻	拱坝或 重力坝	断流 围堰、隧 洞导流	自上而下,先开 挖两岸边坡,后开 挖基坑	1.开挖施工布置 简单; 2.基坑开挖基本 可全年施工	1.在导流洞施工时,同时 开挖正常水位以上两岸边 坡; 2.河床截流后,开挖正常 水位以下两岸边坡、浮渣和 基坑覆盖层; 3.从上游至下游进行基坑 开挖
	土石坝 或面板 堆石坝		自上而下,先开 挖两岸后挖基坑, 基坑先挖齿槽,后 挖大面基础		
河床开阔、 两岸边坡 比较平缓	闸坝或 低坝	断流 围堰、明 渠导流 或分期 导流	上下结合开挖 或自上而下开挖	1.开挖施工布置 简单; 2.基坑开挖基本 可全年施工	1.先开挖明渠; 2.截流后开挖基坑或基坑 与岸坡上下结合开挖
	重力坝	分期 围堰、大 坝底孔 或梳齿 导流	上下结合开挖	1.开挖施工布置 较复杂; 2.由导流程序决 定开挖施工分期	1.先挖围护段一侧的岸 坡; 2.开挖导流段基坑和另一 侧的岸坡; 3.导流段完建、截流后,再 开挖另一侧基坑



一、土石方明挖工程

(2) 分层开挖

开挖深度大于4m时，一般采用分层开挖。开挖方式有自上而下逐层开挖、台阶式分层开挖、竖向分段开挖，深孔与洞室组合爆破开挖以及洞室爆破开挖等。分层开挖中，关键是如何选择合理的分层厚度，随着大型先进设备的广泛应用，分层的厚度越来越大。



一、土石方明挖工程

3、边坡开挖

1) 边坡开挖程序

边坡开挖时，一般采用**自上而下**的次序。当场面宽阔、边坡较缓时，在上层开挖形成台阶后，**利用开挖的渣料修建防止滚石的挡渣平台**，**这样下层可以增开一个工作面**，**两个工作面可以同时作业**。对于必须进行支护的边坡，开挖与支护存在矛盾，一般可边开挖边支护，或先开挖后支护。



一、土石方明挖工程

2) 边坡开挖方法

一般稳定边坡开挖方法，可以参照埋深较厚的坝基开挖方法进行，对于存在卸荷带、大断层、滑坡体及较高边坡的，开挖方法要分析选择。

- ① 一次削坡开挖。主要是开挖边坡较低的不稳定岩体，如溢洪道或渠道边坡。
- ② 分段跳槽开挖。主要用于有支护要求的边坡开挖，施工特点是开挖一段即支护一段。
- ③ 分台阶开挖。在坡高较大时，采用分层留出平台或马道的方法，一般马道宽度2~4 m。
- ④ 坡面保护性开挖。



一、土石方明挖工程

4、溢洪道和渠道开挖

1) 开挖程序

溢洪道、渠道常用过水断面一般为梯形或矩形，底宽较小(如7m以内)，一般为槽挖石方工程。开挖程序的选择应考虑现场地形与施工道路的布置，并结合混凝土衬砌的安排以及拟采用的施工方法等。

2) 开挖方式

永久工程的土石方明挖应采用控制爆破技术，一般不允许采用定向爆破或洞室爆破等较大规模的集中装药爆破方法。



二、地下洞室开挖工程

(一)、地下工程分类

水利水电工程地下洞室包括引水隧洞、尾水隧洞、导流洞、泄洪洞、放空洞、排沙洞、调压井、地下主副厂房、主变压器室、尾水闸室、交通洞、排风洞(井)、出线洞(井)、排水洞和施工支洞等。

水利水电工程地下洞室的分类方法如下:

1. 按工作性质可分为过水和不过水两大类。
2. 按结构特性可分为不衬砌结构、柔性支护结构(喷锚支护)、混凝土衬砌结构和钢衬结构等。
3. 按体型及布置型式可分为平洞、斜井、竖井、大型洞室等。



二、地下洞室开挖工程

(二)、钻爆法平洞开挖

1、平洞分类

坡度小于10%的隧洞称为平洞。平洞可按断面尺寸及用途分类。

①按断面尺寸分类，见表5-3-8。

表 5-3-8 平洞按断面尺寸分类表

断面类型	断面面积 $S(\text{m}^2)$	等效直径 $D(\text{m})$
小断面	$S < 20$	$D < 4.5$
中断面	$20 < S \leq 50$	$4.5 < D \leq 7.5$
大断面	$50 < S \leq 120$	$7.5 < D \leq 12$
特大断面	$120 < S$	$12 < D$



二、地下洞室开挖工程

②按用途分类

- **勘探洞**：一般断面小，工程量小，不作永久支护。
- **施工支洞**：进入主体工程的工作面，作为施工期的交通通道，必须作一次支护。
- **主体洞**：分过水洞与不过水洞两类。不过水洞有交通洞、出线洞、通风洞等，断面大小与工程规模有关，必须做永久性支护，结构上仅考虑山岩压力。过水洞有导流洞、泄洪洞、尾水洞等，断面一般都比较大会，结构上不仅考虑山岩压力而且要考虑内水压力，要求表面光洁，糙率系数低。



二、地下洞室开挖工程

2、平洞开挖方法

根据地下洞室断面分类，结合施工机械和技术水平情况，平洞开挖可采取全断面开挖、先导洞后扩大开挖、台阶扩大开挖、分部分块开挖等方式进行施工。

3、平洞钻孔爆破

钻孔爆破法一直是地下建筑物岩石开挖的主要施工方法。这种方法对岩层地质条件适应性强、开挖成本低，尤其适合岩石坚硬、长度相对短的洞室施工。采用钻孔爆破法进行地下洞室的开挖，其施工工序包括钻孔、装药、堵塞、起爆、通风散烟、安全检查与处理、初期支护、出渣运输等，这通常称为地下洞室掘进的一次循环作业。



二、地下洞室开挖工程

(三)、斜井、竖井开挖

在水利水电地下工程中，采用竖井和斜井结构型式的水工建筑物主要有：引水系统中的斜井或竖井、调压井、闸门井、出线井、通风井及交通井等。

斜井、竖井的开挖方法分为：全断面开挖法(正井法)和先导井后扩大开挖法。其中，导井开挖法又分为正、反井或正、反井结合法，深孔分段爆破法，吊罐法，爬罐法，反井钻机法；扩大开挖法分为导井辐射孔扩挖法、吊盘反向扩挖法、自上而下扩挖法等，施工过程中要根据不同的井深及施工程序、施工特点进行选择。选择斜、竖井施工方法时，须考虑围岩的类别、交通条件、断面尺寸、有无钢板衬砌等。





二、地下洞室开挖工程

(四)、地下厂房洞室群开挖

1. 分层原则

地下厂房开挖分层应根据施工通道与地下厂房的结构和施工设备能力综合研究确定，通常分层高度在6~10 m范围内。

2. 施工规划

分清主次，形成“平面多工序，立体多层次，多工作面交叉作业”的局面，以实现快速施工。在厂房的每层施工中对钻孔、爆破出渣、锚杆、挂网、安设观测仪器、喷混凝土及混凝土浇筑进行平行流水作业，加快施工进度。施工中还应根据围岩监测的结果调整施工方法、施工程序或围岩的支护方式，以确保施工安全与围岩稳定。





二、地下洞室开挖工程

3.开挖与支护

1) 开挖方法

地下厂房通常采用自上而下分层开挖与支护，厂房顶拱层采用中(边)导洞超前全断面扩挖跟进的开挖方法，也可分块开挖，拉开距离。二层以下均采用梯段开挖，两侧预留保护层，中间梯段爆破；或边墙预裂，中间梯段爆破。

2) 支护方法

地下厂房洞室群多采用锚喷技术来加固围岩，做永久支护，常用水泥砂浆锚杆、自进式锚杆、预应力锚杆和预应力锚索。锚杆多用液压台车和手风钻造孔，注浆机注浆，多为先注浆后插杆，也可先插杆后注浆。



易投软件



二、地下洞室开挖工程

3) 顶拱层开挖和支护

厂房顶拱层的开挖高度应根据开挖后底部不妨碍吊顶牛腿锚杆的施工和影响多壁液压台车发挥最佳效率来确定，开挖高度一般在7~10m范围内。

在地质条件较好的地下厂房中，顶拱开挖采用中导洞先行掘进，两侧扩挖跟进的方法。中导洞尺寸一般以一部三臂液压台车可开挖的断面为宜，一般中导洞超前15~20m。

地质条件较差的地下厂房顶拱，一般采用边导洞超前或分块开挖，拉开开挖距离，及时进行锚喷支护或混凝土衬砌，然后再开挖中间的岩柱。





二、地下洞室开挖工程

(五)、掘进机开挖

岩石隧道掘进机是通过旋转刀盘并推进，使滚刀挤压破碎岩石，采用主机带式输送机出渣的全断面隧道掘进机。主要包括敞开式岩石隧道掘进机、单护盾式岩石隧道掘进机和双护盾式岩石隧道掘进机等，岩石隧道掘进机也称硬岩隧道掘进机或TBM。

(六)、盾构掘进

盾构机是一种隧洞掘进的专业工程机械，是指在钢壳体保护下完成隧道掘进、出渣、管片拼装等作业，推进式前进的全断面隧道掘进机。主要由主机及后配套系统组成。常见的盾构机主要有敞开式、土压平衡式和泥水平衡式，其主要区别在于压力平衡功能及方式。



易投软件



二、地下洞室开挖工程

(七)、顶管开挖

顶管施工是继盾构施工之后发展起来的一种土层地下管道施工方法。它不需要开挖地层，是一种非开挖的敷设地下管道的施工方法。按顶管口径大小可分为大口径、中口径、小口径和微型顶管；按一次顶进长度可分为普通距离顶管和长距离顶管；按顶管机的破土方式可分为手掘式顶管和机械式顶管；按管材可分为钢筋混凝土顶管、钢管顶管以及其他材料的顶管；按顶管轨迹的曲直可分为直线顶管和曲线顶管。

机械式顶管其一般工序为工作井施工→顶进设备安装调试→吊装混凝土管到轨道上→连接好工具管→装顶铁→开启油泵顶进→出泥→管道贯通→拆工具管→砌检查井。机械式顶管从顶进方式来分，包括土压平衡法和泥水平衡法。





二、地下洞室开挖工程



易投软件



三、土石填筑工程

◆ (一)、土石料场规划及开采加工

1、料场规划基本内容

1) 空间规划

空间规划是指对料场位置、高程的恰当选择，合理布置。土石料的上坝运距尽可能短；高程上有利于重车下坡，减少运输机械功率的消耗；近料场不应因取料影响坝的防渗稳定和上坝运输，也不应使道路坡度过陡引起运输事故；坝的上下游、左右岸最好都选有料场，这样有利于上下游左右岸同时供料，减少施工干扰，保证坝体均衡上升；用料时原则上应低料低用，高料高用，当高料场储量有富裕时，亦可高料低用；同时，料场的位置应有利于布置开采设备、交通及排水通畅；对石料场尚应考虑与重要建筑物、构筑物、机械设备等保持足够的防爆、防震安全距离。





三、土石填筑工程

2) 时间规划

时间规划是根据施工强度和坝体填筑部位变化选择料场使用时机和填料数量。在用料规划上应力求做到上坝强度高时用近料场，低时用较远的料场，使运输任务比较均衡；对近料和上游易淹的料场应先用，远料和下游不易淹的料场后用；含水量高的料场旱季用，含水量低的料场雨季用；在料场使用规划中，还应保留一部分近料场供合龙段填筑和拦洪度汛高峰强度时使用。





三、土石填筑工程

3) 料场质与量的规划

料场质与量的规划即**质量要满足设计要求，数量要满足填筑的要求**。选择和规划使用料场时，应对料场的**地质成因、产状、埋深、储量以及各种物理力学指标进行全面勘探和试验**，勘探精度应随设计深度加深而提高；在施工组织设计中，进行用料规划，不仅应使料场的总储量满足坝体总方量的要求，而且应满足施工各个阶段最大上坝强度的要求。



易投软件



三、土石填筑工程

2、料场规划的基本要求

- ① 料场规划应考虑充分利用永久和临时建筑物基础开挖的渣料。
- ② 料场规划应对主要料场和备用料场分别加以考虑。
- ③ 在规划料场实际可开采总量时，应考虑料场查勘的精度、料场天然密度与坝体压实密度的差异，以及开挖运输、坝面清理、返工削坡等损失。实际可开采总量与坝体填筑量之比一般为：土料2~2.5，砂砾料1.5~2，水下砂砾料2~3，石料1.5~2；反滤料应根据筛后有效方量确定，一般不宜小于3。





三、土石填筑工程

3、土石料的开采与加工

料场开采前应做好以下准备工作：划定料场范围、分期分区清理覆盖层、设置排水系统、修建施工道路、修建辅助设施。料场覆盖层清除的工作内容包括：砍伐树木，清除树根、草根、乱石、覆盖物、山坡堆积物和风化层等，并把清除物运到指定地点堆放。





三、土石填筑工程

1) 土料开采

土料开采一般有立采和平采两种。当土层较厚，天然含水量接近填筑含水量，土料层次较多，各层土质差异较大时，宜采用立采方法。规划中应确定开采方向、掌子面尺寸、先锋槽位置、采料条带布置和开采顺序。在土层较薄，土料层次少且相对均质、天然含水量偏高需翻晒减水的情况下，宜采用平采方法。规划中应根据供料要求、开采和加工工艺，将料场划分成数区，进行流水作业。





三、土石填筑工程

2) 土料加工

土料的加工包括调整土料含水量、掺和、超径料处理和某些特殊的处理要求。降低土料含水量的方法有挖装运卸中的自然蒸发、翻晒、掺料、烘烤等方法。

提高土料含水量的方法有在料场加水，料堆加水，在开挖、装料、运输过程中加水。

土料与一定的掺料掺和加工成为掺和料，可分别或综合解决以下问题：减小土料压缩性，防止防渗体开裂，改变土料含水量，改善土料的施工特性，改善防渗性能，节约土料等。





三、土石填筑工程

3) 砂砾石料和堆石料开采

砂砾石料开采，主要有陆上开采和水下开采两种方式。陆上开采用一般挖运设备即可。水下开采，一般采用采砂船和索铲开采。当水下开采砂砾石料含水量高时，需加以堆放排水。主堆石料方量大，开采强度高，为进度控制的关键，必须详细研究其开采规划和开采工艺。块石料的开采一般是结合建筑物开挖或由石料场开采，开采的布置要形成多工作面流水作业方式。开采方法一般采用深孔梯段爆破，除非为了特定的目的才使用洞室爆破。





三、土石填筑工程

4) 超径块石料处理

超径块石料的处理方法主要有浅孔爆破法和机械破碎法两种。

浅孔爆破法是指采用手持式风动凿岩机对超径块石进行钻孔爆破。机械破碎法是指采用风动和振动破石、锤击破碎超径块石，也可利用吊车起吊重锤，重锤自由下落破碎超径块石。





三、土石填筑工程

◆（二）、碾压式土石坝填筑施工

1、土石坝分类

土石坝亦称当地材料坝，根据施工方法的不同，土石坝分为碾压式土石坝、抛填式堆石坝、定向爆破堆石坝、水力冲填坝(水坠坝)等类型，其中碾压式土石坝最为普遍。





三、土石填筑工程

2、填筑标准与参数

1) 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。**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Ⅷ、Ⅸ度的地区，宜取上述规定的大值。

(2) 非赫性土的填筑标准。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。





三、土石填筑工程

【例-单选题】土石坝填筑施工中,含砾及不含砾的粘性土的填筑标准应以最优含水率和()作为设计控制指标。

- A、压实度
- B、干湿度
- C、湿密度
- D、相对密度

网校答案: A

网校解析: 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。



易投软件



三、土石填筑工程

(3) 堆石填筑标准

堆石填筑标准宜用孔隙率为实际控制指标，土质防渗体分区坝和沥青混凝土心墙坝的堆石料，孔隙率宜为20%~28%，沥青混凝土面板堆石坝堆石料的孔隙率宜在混凝土面板堆石坝和土质防渗体分区坝的孔隙率之间选择。





三、土石填筑工程

2) 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土料塑限并上下浮动2%进行试验。



三、土石填筑工程

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。再按铺土厚度、压实遍数和最优含水量、最大干密度进行整理并绘制相应的曲线，根据设计干密度，从曲线上分别查出不同铺土厚度所对应的压实遍数和对应的最优含水量。最后再分别计算单位压实遍数的压实厚度进行比较，以单位压实遍数的压实厚度最大者为最经济、合理。

④非砧性土料的试验，只需作铺土厚度、压实遍数和干密度的关系曲线，据此便可得到与不同铺土厚度对应的压实遍数，根据试验结果选择现场施工的压实参数。



三、土石填筑工程

3、施工机械配合与选取

1) 挖运机械

- ① 挖掘机械。土石方工程的开挖机械主要为**挖掘机**。
- ② 挖装运组合机械。挖运组合机械主要有**推土机和铲运机**；装运结合的机械则有**装载机**。
- ③ 运输机械。运输机械有循环式和连续式两种。循环式运输机械有**有轨机车和汽车**。连续运输机械最常用的是**带式运输机**。

2) 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。



三、土石填筑工程

3) 机械配置

土石坝工程的施工，一般有多种方案可供选择，在拟订施工方案时，应首先选用基本工作的主要设备，即按照施工条件、工程进度和工作面的参数选择主要机械，然后根据主要机械的生产能力和性能选用配套机械。

常用土方施工机械的经济运距如下：

(1)履带式推土机的推运距离为15~30m时，可获得最大的生产率。推运的经济运距一般为30~50m，大型推土机的推运距离不宜超过100m。

(2)轮胎装载机用来挖掘和特殊情况下作短距离运输时，其运距一般不超过100~150 m；履带式装载机不超过100m。



三、土石填筑工程

(3)牵引式铲运机的经济运距一般为300m。自行式铲运机的经济运距与道路坡度大小、机械性能有关，一般为200 ~ 300m。

(4)自卸汽车在运距方面的适应性较强。



三、土石填筑工程

4、坝体填筑

1) 土料防渗体施工

防渗体按结构形式分为心墙(斜心墙)、斜墙两类，其填筑材料包括黏性土、砾质土、风化料及掺和料。

防渗体坝面填筑分为铺料、压实、取样检查三道主要工序，还有洒水、刨毛、清理坝面、接缝处理等工作。

(1)土料铺填。铺料分为卸料与平料两道工序。选择铺料方法主要考虑以下两点：一是坝面平整、铺料层均匀，不得超厚；二是对已压实合格土料不过压，防止产生剪力破坏。



三、土石填筑工程

防渗体土料铺筑应沿坝轴线方向进行，采用自卸汽车卸料，推土机平料，宜增加平地机平整工序，便于控制铺土厚度和坝面平整。推土机平料过程中，应采用仪器或钢钎及时检查铺层厚度，发现超厚部位应立即进行处理。土料与岸坡、反滤料等交界处应辅以人工仔细平整。



三、土石填筑工程

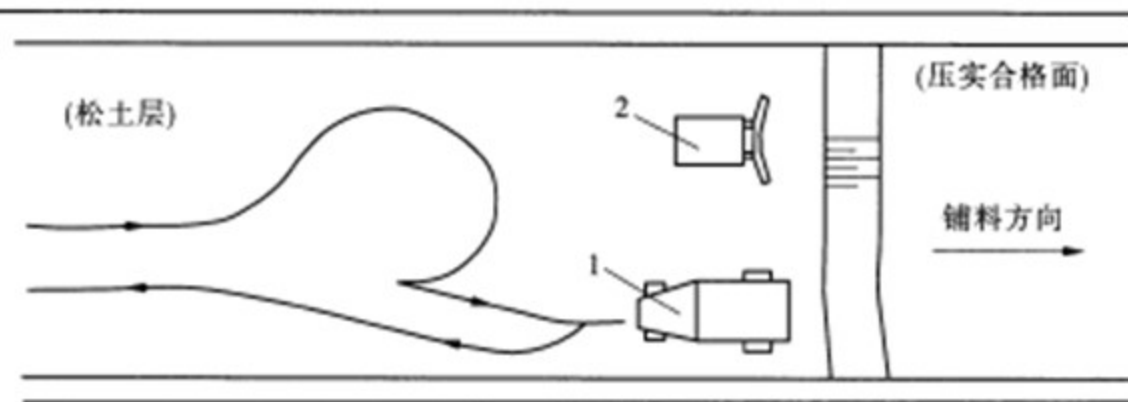
铺料方法有以下几种：

①**进占法铺料**。防渗体土料用进占法卸料，即汽车在已平好的松土层上行驶、卸料，用推土机向前进占平料，如图5-3-2所示。这种方法铺料不会影响洒水、刨毛作业。

②**后退法铺料**。汽车在已压实合格的坝面上行驶并卸料，如图5-3-3所示。此法卸料方便，但对已压实土料容易产生过压，对砾质土、掺和土、风化料可以选用。应采用轻型汽车(20t以下)，在填土坝面重车行驶路线要尽量短，且不走一辙，控制土料含水率略低于最优值。

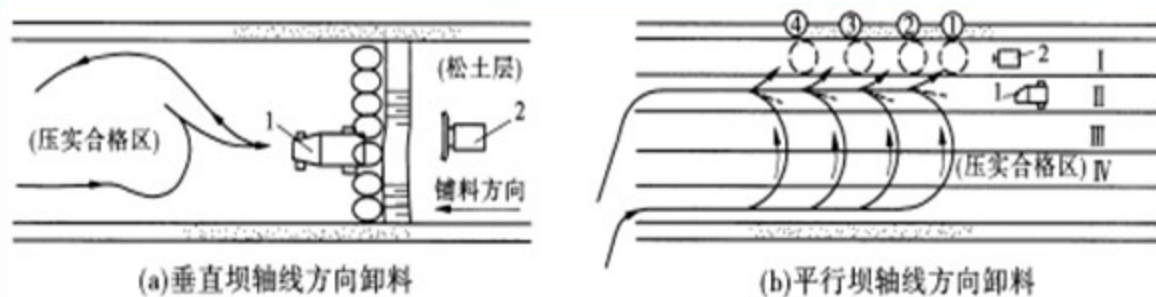


三、土石填筑工程



1—自卸汽车;2—推土机

图 5-3-2 汽车进占铺料法



①、②、③、④—汽车卸料顺序; I、II、III、IV—推土机平料顺序

1—自卸汽车;2—推土机

图 5-3-3 汽车后退法铺料



三、土石填筑工程

(2) 土料压实。防渗体土料压实机械主要用凸块振动碾，亦有采用气胎碾。

①凸块振动碾。

国内使用的碾重一般为10~20t，适用于黏性土料、砾质土及软弱风化土石混合料，压实功能大，厚度达30~40cm，一般碾压4~8遍可达设计要求，生产效率高。压实后表层有8~10cm的松土层，填土表面不需刨毛处理。凸块振动碾因其良好的压实性能，国内外已广泛采用，成为防渗土料的主要压实机具。



三、土石填筑工程

②气胎碾。

国内目前使用的碾重为18~50t，国外已采用100t或更大的碾重。适用于黏性土、砾质土，含水量范围偏于上限的土料，铺层厚度较大(20~50 cm)，碾压遍数较少，生产效率较高，适用于高强度施工。不会产生松土层，对雨季施工有利，但压实后填土层面需洒水湿润并刨毛处理。对偏湿土料有一定应用。



三、土石填筑工程

土料压实方法主要要求包括以下几个方面：

- ①**错距法压实**。错距法压实是指沿着长度方向前进压实、后退压实一个压实宽度，压实一定遍数之后，再压实下一个压实宽度，第二个压实宽度应与第一个压实宽度有一定的重叠量。**碾压机械压实方法已趋标准化，即均采用进退错距法，此法碾压与铺土、质检等工序分段作业容易协调，便于组织平行流水作业。碾压遍数较少时也可采用一次压够遍数、再错车的方法。**
- ②**碾压方向**。应沿坝轴方向进行。在特殊部位，如防渗体截水槽内或与岸坡结合处，应用专用设备在划定范围沿接坡方向碾压。
- ③**分段碾压碾迹搭接宽度**。垂直碾压方向不小于0.3~0.5 m，顺碾压方向应为1.0~1.5 m。
- ④**碾压行车速度**。一般取2~3 km/h，不得超过4 km/h。



三、土石填筑工程

(3) 坝面土料含水率调整。土料含水率调整应在料场进行，仅在特殊情况下可考虑在坝面做少许调整。

- ①土料加水。当上坝土料的平均含水率与碾压施工含水率相差不大，仅需增加1%~2%左右时，可采用在坝面直接洒水。加水方式分为汽车洒水和管道加水两种。加水后的土料一般应以圆盘耙或犁使其掺和均匀。
- ②土料的干燥。当土料的含水率大于施工控制含水率上限的1%以内时，碾压前可用圆盘耙或犁在填筑面进行翻松晾晒。
- ③在干燥和气温较高天气，为防止填土表面失水干燥，应做喷雾加水养护。

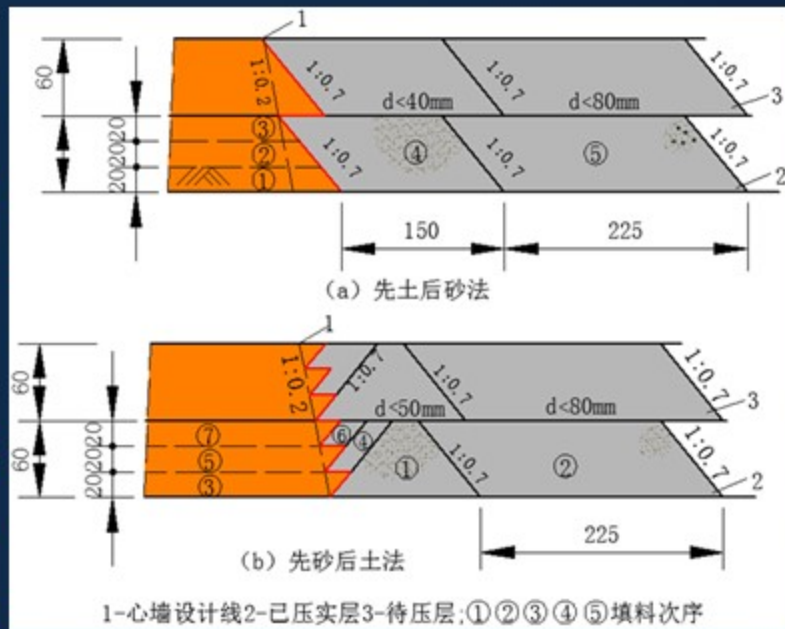


三、土石填筑工程

2) 反滤料施工

反滤层填筑与相邻的防渗体土料、坝壳料填筑密切相关。

①反滤层填筑次序及适用条件。反滤层填筑方法大体可分为削坡法、挡板法及土砂松坡接触平起法三种。土砂松坡接触平起法能适应机械化施工已成为趋于规范化的施工方法。该方法一般分为先砂后土法、先土后砂法、土砂交替法几种，它允许反滤料与相邻土料“犬牙交错”，跨缝碾压。





三、土石填筑工程

②反滤料铺填。反滤料填筑分为卸料、铺料、界面处理、压实几道工序。

③反滤料压实。①压实机械。普遍采用振动平碾，压实效果好，效率高，与坝壳堆石料压实使用同一种机械。②反滤料碾压的一般要求。当防渗体土料与反滤料、反滤料与过渡料或坝壳堆石料填筑齐平时，必须用平碾骑缝碾压，跨过界面至少0.5 m。

3) 坝壳料施工

土石坝坝壳料按其材料分为堆石、风化料、砂砾(卵)石三类。





三、土石填筑工程

(1) 机械选择。①自卸汽车运输直接上坝。②推土机用以坝面的摊铺、平料。

(2) 铺填方法。①坝壳料铺填基本方法分为进占法、后退法、混合法三种。



图 5-3-8 进占法

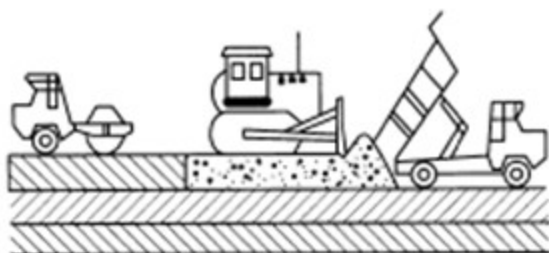


图 5-3-9 后退法

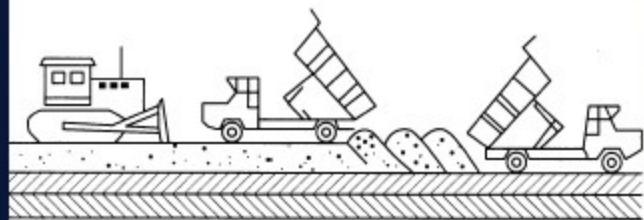


图 5-3-10 混合法



三、土石填筑工程

②堆石料一般应用进占法铺料，堆石强度在60~80 MPa的中等硬度岩石，施工可操作性好。对于特硬岩(强度>200 MPa)，由于岩块边棱锋利，施工机械的轮胎、链轨节等损坏严重，同时因硬岩堆石料往往级配不良，表面不平整影响振动碾压实质量，因此施工中要采取一定的措施，如在铺层表面增铺一薄层细料，以改善平整度。

③级配较好的石料，如强度30MPa以下的软岩堆石料、砂砾(卵)石料等，宜用后退法铺料，以减少分离，有利于提高密度。

④不管用何种铺料方法，卸料时要控制好料堆分布密度，使其摊铺后厚度符合设计要求，不要因过厚而难以处理。



三、土石填筑工程

(3) 坝面超径石处理。

①对于振动碾压实，石料允许最大粒径可取稍小于压实层厚；气胎碾可取层厚的 $1/2 \sim 2/3$ 。

②超径石应在料场内解小，少量运至坝面的大块石或漂石，在碾压前应做处理。一般是就地用反铲挖坑将其掩埋在层面以下，或用推土机移至坝外坡附近，作护坡石料。少量超径石也可在坝面用冲击锤解小。

(4) 坝壳料压实。

坝壳透水料和半透水料的主要压实机械有振动平碾、气胎碾等。振动平碾适用于堆石与含有漂石的砂卵石、砂砾石和砾质土的压实。振动碾压实功能大，碾压遍数少(4—8遍)，压实效果好，生产效率高，应优先选用。气胎碾可用于压实砂、砂砾料、砾质土。



三、土石填筑工程

坝壳料碾压一般要求如下:

- ①除坝面特殊部位外, 碾压方向应沿轴线方向进行。一般均采用进退错距法作业。在碾压遍数较少时, 也可一次压够后再行错车。
- ②施工主要参数铺料厚度、碾压遍数、加水量等要严格控制; 还应控制振动碾的行驶速度, 符合规定要求的振动频率、振幅等参数。
- ③分段碾压时, 相邻两段交接带的碾迹应彼此搭接, 垂直碾压方向, 搭接宽度应不小于0.3~0.5m, 顺碾压方向应不小于1.0~1.5m。



三、土石填筑工程

◆（三）、混凝土面板堆石坝填筑施工

1、面板堆石坝各区料填筑标准

面板堆石坝的垫层区、过渡区、主堆石区及下游次堆石区石料填筑标准应根据坝的等级、高度、河谷形状、地震烈度及坝料特性等因素，参考同类工程经验，经综合分析论证后确定。

软岩堆石料的设计指标和填筑标准，应通过试验和工程类比确定。

填筑标准应通过生产性碾压试验复核和修正，并确定相应的碾压参数。



三、土石填筑工程

2、压实参数

填筑标准应通过碾压试验复核和修正，并确定相应的碾压施工参数(碾重、行车速率、铺料厚度、加水量、碾压遍数)。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。

3、各区料填筑工艺

1) 坝体填筑工艺流程

①测量放样。②卸料。一般采用15~45t自卸汽车运输。③摊铺。④洒水。按试验参数进行。⑤压实。用工作重量10t以上的振动平碾以进退错距法碾压，在岸坡、施工道路处顺坡碾压，其他一般沿平行坝轴线方向进行。⑥质检。



易投软件



三、土石填筑工程

【例-多选题】堆石坝施工时，推石料利砂砾石料填筑施工前，先进行碾压试验来确定()等碾压施工参数。

- A、碾重
- B、碾压遍数
- C、碾压速度
- D、含水量
- E、限制物料直径

网校答案：ABD

网校解析：确定相应的碾压施工参数：碾重、行车速率、铺料厚度、加水量、碾压遍数。



易投软件



三、土石填筑工程

3) 各区料填筑要点

①主次堆石区填筑

采用进占法填筑主、次堆石区的填筑料，以使粗径石料滚落底层，细石料留在面层，以利于平整和碾压。卸料的堆与堆之间留0.6m左右的间隙。采用错距法顺坝轴线方向进行振动碾碾压，中低速行驶。铺筑碾压层次分明，平起平升，以防漏振、欠振。在岸坡边缘靠山坡处，大块石易集中，故岸坡周边选用粒径不大于40cm、级配良好的石料铺筑。

在碾压前提早进行洒水，并由专人负责。严禁草皮、树根及含泥量大于5%的石料上坝。





三、土石填筑工程

②过渡区堆石填筑

填筑时自卸汽车将料直接卸入工作面，倒料顺序可从两岸向中间进行，以利流水作业。接缝处超径块石需清除，主堆石区料不得侵占过渡区料的位置，过渡区料不得侵占垫层区位置，否则应采用反铲挖除或辅以人工清除。平整后洒水、碾压。碾压时顺坝轴线来回行驶。

③垫层区填筑

填筑时上游边线水平超宽20 ~30cm，铺筑方法与过渡区料基本相同，并与同层过渡料一并碾压。碾压时顺坝轴线方向行驶，振动碾距上游边缘的距离不宜小于40 cm，再用振动平板压实，可压实到上游边缘。





三、土石填筑工程

④周边小区填筑

周边小区料的填筑必须精心操作，保证其规定的填筑宽度，严格按碾压试验成果控制铺料厚度、碾压遍数及洒水量，用振动平板压实。

⑤坝前粉质土及石渣回填

待趾板上的灌浆工作、混凝土面板及表面止水施工全部完成，隐蔽工程验收合格后，避开雨天进行施工。





三、土石填筑工程

4) 垫层区上游坡面碾压与防护

为了给面板提供坚实可靠的支承面，保证面板厚薄均匀、符合设计及规范要求，同时减少混凝土超浇量，并保证垫层坡面不受雨水流蚀，挡水度汛时不被水浪淘刷，常用的施工技术是，坝体每升高10~20 m进行一次斜坡面修整、碾压及防护。国内大多数工程采用10t斜、平两用振动碾进行斜坡碾压施工。坡面保护采用碾压砂浆、喷混凝土或喷乳化沥青等。





三、土石填筑工程

◆（四）、砌石工程

1、砌石工程的分类

①浆砌石。用胶结材料充填石料之间的空隙，使分散的石料形成一个整体，从而达到抵御外力的作用。浆砌石主要用于护坡、护底、基础、挡土墙、桥墩等工程，也用于大坝工程，如浆砌石重力坝、浆砌石拱坝等。

②干砌石。干砌石的石块之间没有胶凝材料充填。干砌石主要用于河床、岸坡的保护加固和挡土墙、路基以及其他基础工程中。

③抛石。是将块石抛至需要加固保护的地点，堆成一定形状的建筑物，防止河岸或构筑物受水流冲刷，经常用于河岸护脚、险工、控导以及抢险工程。



易投软件



三、土石填筑工程



毛石挡土墙



引水明渠浆砌石施工



易投软件



三、土石填筑工程

4、砌石工程的施工

1) 干砌石施工

干砌石施工包括挂线、找平、选石、修石、砌筑、填缝、50 m以内石料运输及搭拆跳板等全部操作过程。要求砌筑密实、稳固、表面平整、尺寸符合设计要求。



粗料石建筑



毛石



易投软件



三、土石填筑工程

2) 浆砌石施工

浆砌石施工包括挂线、找平、选石、修石、冲洗、拌制砂浆、砌筑、勾缝、50 m以内石料运输、100 m以内砂浆运输等全部操作过程。要求砌筑密实、稳固，砂浆饱满，表面平整，尺寸符合设计要求，拌浆均匀，配合比符合规定。



易投软件



四、混凝土工程

（一）、骨料料场规划和骨料生产加工

1、骨料料场规划及其原则

骨料料场规划是研究砂石骨料的储量，物理力学指标，杂质含量以及开采、运输、堆存加工条件，以满足质量、数量为基础，寻求开采、运输、加工成本费用低的方案，确定采用天然骨料、人工骨料还是组合骨料用料方案。





四、混凝土工程

骨料料场规划原则主要包括以下几点：

- (1) 满足水工混凝土对骨料的各项质量要求，其储量力求满足各设计级配的需要，并有必要的富余量。
- (2) 选用的料场，特别是主要料场，应场地开阔，高程适宜，储量大，质量好，开采季节长，主辅料场应能兼顾洪枯季节互为备用的要求。
- (3) 选择可采率高，天然级配与设计级配较为接近，用人工骨料调整级配数量少的料场。
- (4) 料场附近有足够的回车和堆料场地，且占用农田少。
- (5) 选择开采准备工作量小、施工简便的料场。





四、混凝土工程

2、骨料的生产加工

1) 骨料的破碎

使用破碎机械加工碎石，常用的设备有颚板式、反击式和锥式三种碎石机。

2) 骨料的筛分

为了分级，需将采集的天然毛料或破碎后的混合料筛分，分级的方法有机械筛分和水力筛分两种。前者适用于粗骨料，后者适用于细骨料。





四、混凝土工程

3) 骨料的堆存与运输

成品骨料的堆存和运输应符合下列规定：

- ① 堆存场地应有良好的排水设施，必要时应设遮阳防雨棚。骨料堆场的形式分为台阶式、栈桥式堆料机堆料。
- ② 各级骨料仓之间应设置隔墙等有效措施，严禁混料，并应避免泥土和其他杂物混入骨料中。
- ③ 应尽量减少转运次数。卸料时，粒径大于40 mm骨料的自由落差大于3m时，应设置缓降设施。
- ④ 储料仓除有足够的容积外，还应维持不小于6m的堆料厚度。细骨料仓的数量和容积应满足细骨料脱水的要求。
- ⑤ 在粗骨料成品堆场取料时，同一级料应注意在料堆不同部位同时取料。



易投软件



四、混凝土工程

（四）混凝土浇筑及养护

混凝土浇筑的施工过程包括浇筑前的准备作业，浇筑时的入仓铺料、平仓振捣和浇筑后的养护。

1、浇筑前的准备作业

浇筑前的准备作业包括基础面的处理、施工缝处理、立模、钢筋及预埋件安设等。





四、混凝土工程

2、模板

根据制作料材，模板可分为木模板、钢模板、混凝土和钢筋混凝土预制模板；根据架立和工作特征，模板可分为固定式、拆移式、移动式和滑动式。固定式模板多用于起伏的基础部位或特殊的异形结构。如蜗壳或扭曲面，因大小不等、形状各异，难以重复使用。拆移式、移动式和滑动式可重复或连续在形状一致或变化不大的结构上使用，有利于实现标准化和系列化。

对于大体积混凝土浇筑块，成型后的偏差不应超过模板安装允许偏差的50%~100%，取值大小视结构物的重要性而定。





四、混凝土工程



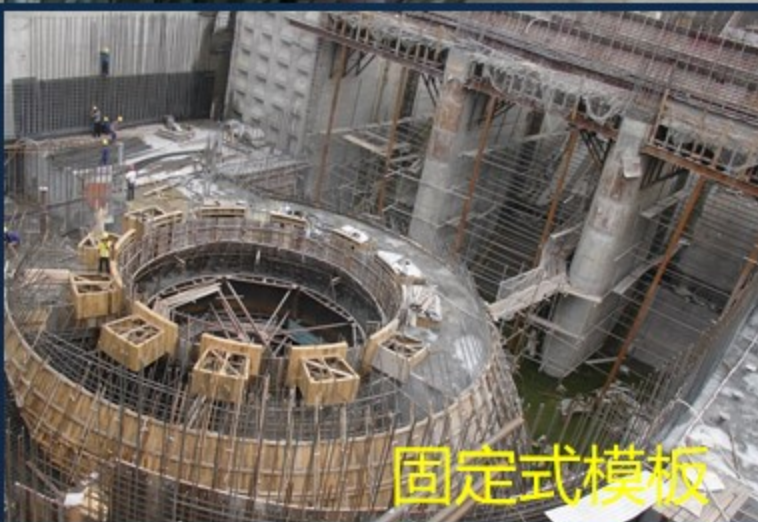
拆移式模板



移动式模板



滑动式模板



固定式模板



易投软件



四、混凝土工程

3) 模板的拆除

(1) 拆模时间应根据设计要求、气温和混凝土强度增长情况而定。对非承重模板，混凝土强度应达到2.5MPa以上，其表面和棱角不因拆模而损坏方可拆除。对于承重板，要求达到规定的混凝土设计强度的百分率后才能拆模。

3、钢筋加工及安装

1) 钢筋配料和代换

(1) 配料依据。

(2) 下料长度。钢筋下料长度的计算要计入钢筋的焊接、绑扎需要的长度和因弯曲而延伸的长度。



易投软件



四、混凝土工程

(3) 钢筋代换

- ①以另一种钢号或直径的钢筋代替设计文件中规定的钢筋时，应遵守以下规定：应按钢筋**承载力设计值相等**的原则进行，钢筋代换后应满足规定的钢筋间距、锚固长度、最小钢筋直径等构造要求。以高级钢筋代换低一级钢筋时，宜采用**改变钢筋直径的方法**而不宜采用**改变钢筋根数的方法**来减少钢筋截面积。
- ②用同钢号某直径钢筋代替另一种直径的钢筋时，其直径变化范围**不宜超过4mm**，变更后钢筋总截面面积与设计文件规定的**截面面积之比不得小于98%或大于103%**。
- ③设计主筋采取同钢号的钢筋代换时，应**保持间距不变**，可以用直径比设计钢筋直径大一级和小一级的两种型号钢筋间隔配置代换。





四、混凝土工程

2) 钢筋加工

钢筋加工一般要经过四道工序：除锈、调直、切断、成型。当钢筋接头采用直螺纹或锥螺纹连接时，还要增加钢筋端头墩粗和螺纹加工工序。

钢筋的调直和清除污锈应符合下列要求：①钢筋的表面应洁净，使用前应将表面油渍、漆污、锈皮、鳞锈等清除干净。②钢筋应平直，无局部弯折，钢筋中心线同直线的偏差不应超过其全长的1%。③钢筋在调直机上调直后，其表面伤痕不得使钢筋截面面积减少5%以上。④如用冷拉方法调直钢筋，则其矫直冷拉率不得大于1%。

3) 钢筋连接

钢筋连接一般有三种方式：绑扎、焊接及机械连接。





四、混凝土工程

(1) 钢筋接头的一般要求

- ①钢筋接头应优先采用焊接和机械连接。
- ②对于直径小于或等于25mm的非轴心受拉构件、非小偏心受拉构件、非承受震动荷载构件的接头，可采用绑扎接头。
- ③钢筋接头应分散布置，配置在“同一截面”（指两钢筋接头在500mm以内，绑扎钢筋在搭接长度之内）的接头面积占受力钢筋总截面面积的允许百分率应符合下列规定：闪光对焊、熔槽焊、电渣压力焊、气压焊、窄间隙焊，接头在受弯构件的受拉区不超过50%。绑扎接头在构件的受拉区中不超过25%；在受压区不超过50%。机械连接接头在受拉区不宜超过50%。焊接与绑扎接头距离钢筋弯头起点不小于10d，并不得位于最大弯矩处。



四、混凝土工程

(2) 钢筋的接头方式

在加工厂中，钢筋接头宜采用闪光对焊；钢筋交叉连接，宜采用接触点焊。在施工现场钢筋接头可选择绑扎、手工电弧搭接焊、帮条焊、熔槽焊、窄间隙焊、气压焊、接触电渣焊，还可采用带肋钢筋套筒冷挤压接头、锥螺纹接头，墩粗直螺纹接头方式。



四、混凝土工程

【例-单选题】钢筋加工一般要经过四道工序，下列说法正确的是()。

- A、拉伸、调直、切断、焊接
- B、除锈、调直、切断、成型
- C、除锈、调直、弯曲、成型
- D、除锈、拉伸、切断、焊接

网校答案：B

网校解析：钢筋加工一般要经过四道工序：除锈、调直、切断、成型。



四、混凝土工程

4、入仓铺料

1) 混凝土入仓铺料方法

混凝土入仓铺料方法主要有平铺法、台阶法和斜层浇筑法（斜层坡度不超过 10° ，浇筑块高度一般限制在1.5m左右）。

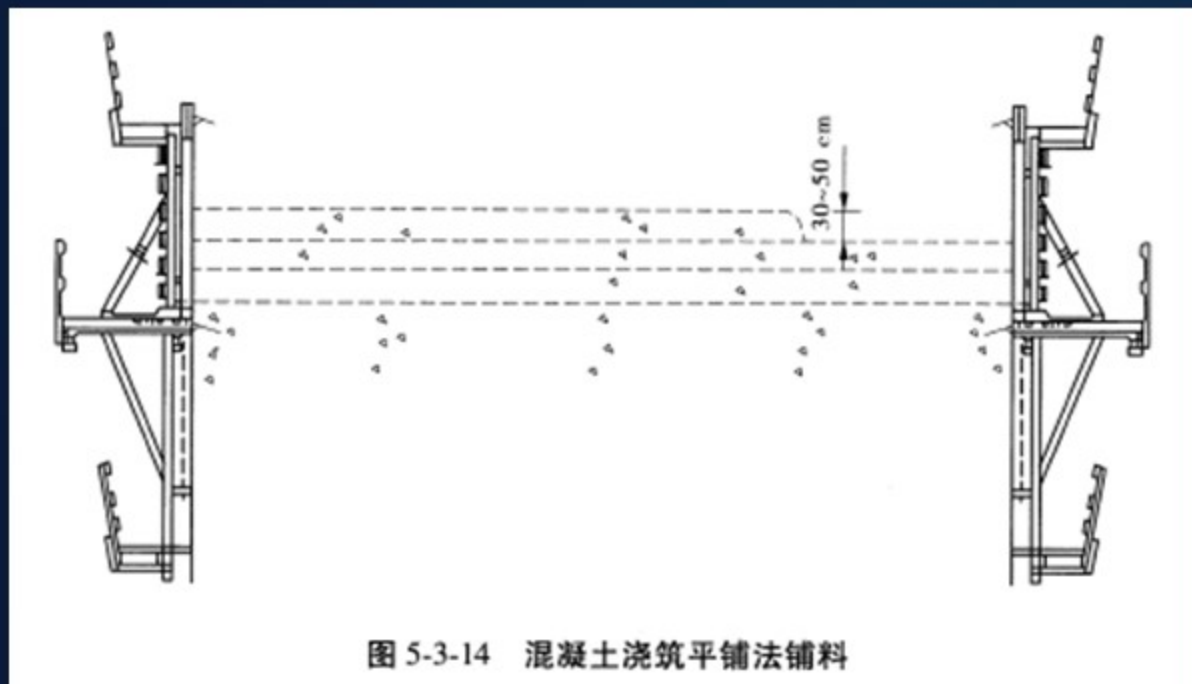


图 5-3-14 混凝土浇筑平铺法铺料



四、混凝土工程

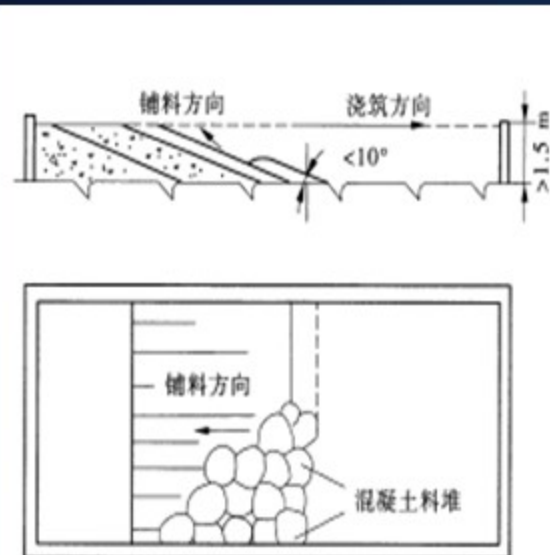


图 5-3-16 混凝土浇筑斜层浇筑法铺料

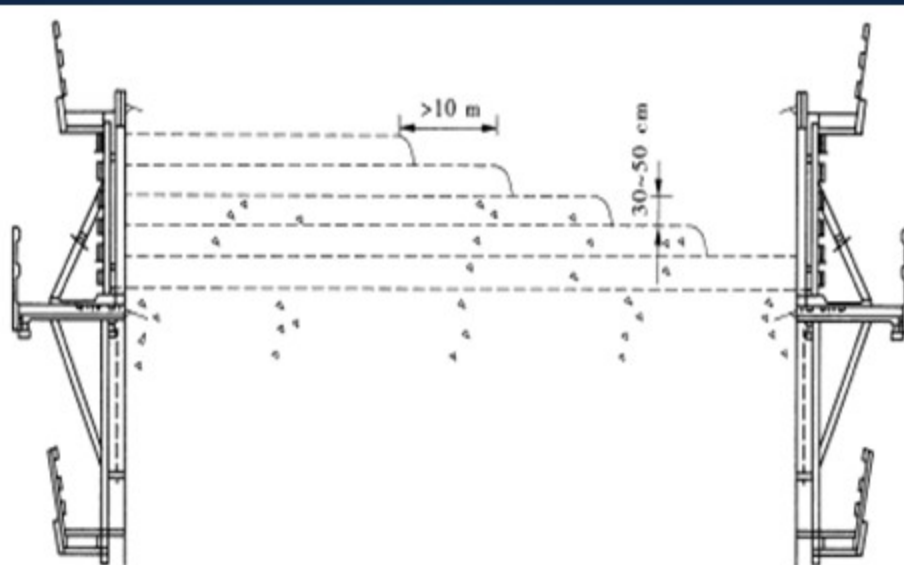


图 5-3-15 混凝土浇筑台阶法铺料



四、混凝土工程

2) 分块尺寸和铺层厚度

分块尺寸和铺层厚度受混凝土运输浇筑能力的限制。若分块尺寸和铺层厚度已定，要使层间不出现冷缝，应采取措施增大运输浇筑能力。若设备能力难以增加，则应考虑改变浇筑方法，将平铺法改变为斜层浇筑和台阶浇筑，以避免出现冷缝。为避免砂浆流失、骨料分离，宜采用低坍落度混凝土。



四、混凝土工程

3) 铺料间隔时间

混凝土铺料允许间隔时间，指混凝土自拌和楼出机口到覆盖上层混凝土为止的时间，它主要受混凝土初凝时间和混凝土温控要求的限制。

混凝土铺料层间间歇超过混凝土允许间隔时间，会出现冷缝，使层间的抗渗、抗剪和抗拉能力明显降低。



四、混凝土工程

5、平仓与振捣

卸入仓内成堆的混凝土料，按规定要求均匀铺平称为平仓。平仓可用插入式振捣器插入料堆顶部振动，使混凝土液化后自行摊平，也可用平仓振捣机进行平仓振捣。振捣应当在平仓后立即进行。混凝土振捣主要采用混凝土振捣器进行。按照振捣方式不同，分为插入式、外部式、表面式以及振动台等。水利水电工程大多使用插入式，分为电动软轴式、电动硬轴式和风动式。

混凝土振实根据以下现象判断：①混凝土表层不再显著下沉；②不再出现气泡；③表面出现一层薄而均匀的水泥浆。过振的混凝土会出现骨料下沉、砂浆上翻的离析现象。



振捣



四、混凝土工程

6、混凝土养护

1) 混凝土养护方法和适用条件

(1) 洒水养护。

①人工洒水。②自流养护。③机具喷洒。

(2) 覆盖养护。

(3) 化学剂养护。养护剂可分为成膜型和非成膜型两类。

2) 混凝土养护时间

《水工混凝土施工规范》(SL677-2014)规定,混凝土养护时间不宜少于28d,有特殊要求的部位宜延长养护时间(至少28 d)。混凝土养护时间的长短,取决于混凝土强度增长和所在结构部位的重要性。



挂花管喷水养护



四、混凝土工程

7、大体积混凝土温控

由于混凝土的抗压强度远高于抗拉强度，在温度压应力作用下不致破坏的混凝土，当受到温度拉应力作用时，常因抗拉强度不足而产生裂缝。大体积混凝土温度裂缝有细微裂缝、表面裂缝、深层裂缝和贯穿裂缝。其中：

- ①细微裂缝一般表面缝宽小于等于0.1~0.2mm，缝深小于等于30cm；
- ②表面裂缝一般表面缝宽0.2mm，缝深<1m；
- ③深层裂缝一般表面缝宽0.2~0.4mm，缝深1~5m，且小于等于1/3坝块宽度，缝长大于等于2m；
- ④贯穿裂缝指从基础向上开裂且平面贯通全仓。



四、混凝土工程

与浅层表面裂缝相比，大体积混凝土紧靠基础产生的贯穿裂缝，无论是对坝的整体受力还是防渗效果的危害都大得多。表面裂缝也可能成为深层裂缝的诱发因素，对坝的抗风化能力和耐久性有一定影响。因此，对大体积混凝土应做好温度控制措施。

大体积混凝土温控措施主要有减少混凝土的发热量、降低混凝土的人仓温度、加速混凝土散热等。



四、混凝土工程

1) 减少混凝土的发热量

(1) 减少每立方米混凝土的水泥用量。

其主要措施有：①根据坝体的应力场对坝体进行分区，对于不同分区采用不同标号的混凝土；②采用低流态或无坍落度干硬性贫混凝土；③改善骨料级配，增大骨料粒径，对少筋混凝土可埋放大块石，以减少每立方米水泥用量；④大量掺粉煤灰，掺和料的用量可达水泥用量的25%~40%；⑤采用高效外加减水剂不仅能节约水泥用量约20%，使28d龄期混凝土的发热量减少25%~30%，且能提高混凝土早期强度和极限拉伸值。

(2) 采用低发热量的水泥。当前多用中热水泥。近年已开始生产低热微膨胀水泥，它不仅水化热低，且有微膨胀作用，对降温收缩还可以起到补偿作用，减小收缩引起的拉应力，有利于防止裂缝的发生。



四、混凝土工程

2) 降低混凝土的入仓温度

- ① 合理安排浇筑时间。在施工组织上安排春、秋季多浇，夏季早晚浇，正午不浇，这是最经济有效降低入仓温度的措施。
- ② 采用加冰或加冰水拌和。混凝土拌和时，将部分拌和水改为冰屑，利用冰的低温和冰融解时吸收潜热，这样，最大限度可将混凝土温度降低约 20°C 。规范规定加冰量不大于拌和用水量的80%。
- ③ 对骨料进行预冷。当加冰拌和不能满足要求时，通常采取骨料预冷的办法。骨料预冷的方法有以下几种：1) 水冷。2) 风冷。3) 真空气化冷却。



四、混凝土工程

3) 加速混凝土散热

(1) 采用自然散热冷却降温。采用低块薄层浇筑可增加散热面，并适当延长散热时间，即适当增长间歇时间。在高温季节已采用预冷措施时，则应采用厚块浇筑，缩短间歇时间，防止因气温过高而热量倒流，以保持预冷效果。

(2) 在混凝土内预埋水管通水冷却。在混凝土内预埋蛇形冷却水管，通循环冷水进行降温冷却。水管通常采用直径为20~25mm的薄钢管或薄铝管，每盘管长约200mm。为了节约金属材料，可用塑料软管充气埋入混凝土内，待混凝土初凝后再放气拔出，清洗后以备重复利用。冷却水管布置，平面上呈蛇形，断面上呈梅花形，也可布置成棋盘形。蛇形管弯头由硬质材料制作，当塑料软管放气拔出后，弯头仍留于混凝土内。



四、混凝土工程

8、碾压混凝土施工

1) 碾压混凝土施工工艺

碾压混凝土坝是采用碾压土石坝的施工方法，使用干贫混凝土修建的混凝土坝，是混凝土坝施工的一种新技术。

(1) 结构形式

用碾压混凝土筑坝，通常在上游面设置常态混凝土防渗层以防止内部碾压混凝土的层间渗透；有防冻要求的坝，下游面亦用常态混凝土；为提高溢流面的抗冲耐磨性能，一般也采用强度等级较高的抗冲耐磨常态混凝土，这样就使断面形成所谓“金包银”的结构形式。



四、混凝土工程

(2) 施工工艺

碾压混凝土坝通常的施工程序是先在下层块铺砂浆，汽车运输入仓，平仓机平仓，振动压实机压实，在拟切缝位置拉线，机械对位，在振动切缝机的刀片上装铁皮并切缝至设计深度，拔出刀片，铁皮则留在混凝土中，切完缝再沿缝无振碾压两遍。这种施工工艺在国内具有普遍性，其主要过程如图 5-3-17 所示。





四、混凝土工程

2) 碾压混凝土坝的施工特点

碾压混凝土坝施工主要特点有：采用干贫混凝土；大量掺加粉煤灰，以减少水泥用量；采用通仓薄层浇筑；同时要采取温度控制和表面防裂措施。

(1) 采用干贫混凝土。

碾压混凝土坝一般采用VC值为10~ 30s的干贫混凝土(低稠度干硬混凝土)。试验证明，当VC值小于40s时，碾压混凝土的强度随VC值的增大而提高；当VC值大于40 s时，混凝土强度则随VC值增大而降低。



四、混凝土工程

(2) 大量掺加粉煤灰，减少水泥用量。

由于碾压混凝土是干贫混凝土，要求掺水量少，水泥用量也很少。为保持混凝土有一定的胶凝材料，必须掺入大量粉煤灰(掺量占总胶凝材料的50%~70%，且为 I 级以上)。这样不仅可以减少混凝土的初期发热量，增加混凝土的后期强度，简化混凝土的温控措施，而且有利于降低工程成本。



四、混凝土工程

(3) 采用通仓薄层浇筑

(RCD工法碾压厚度通常为50 cm ,75cm ,100cm; RCC工法通常为30cm)。这样,可增加散热效果,取消冷却水管,减少模板工程量,简化仓面作业,有利于加快施工进度。通仓浇筑要求尽量减少坝内孔洞,不设纵缝,多个坝段一起浇筑混凝土,以尽量增大仓面面积,减少仓面作业的干扰。



四、混凝土工程

【例-多选题】74、碾压混凝土坝采用通仓薄层浇筑，施工碾压厚度通常为()cm。

- A、 20
- B、 30
- C、 50
- D、 75
- E、 100

网校答案：BCDE

网校解析：RCD工法碾压厚度通常为50 cm ,75cm ,100cm;
RCC工法通常为30cm。



四、混凝土工程

(4) 大坝横缝采用切缝法或诱导缝

坝段间的横缝采用振动切缝机切缝，或采用设置诱导孔等方法形成横缝。填缝材料为塑料膜、铁片或干砂等。

(5) 振动压实达到混凝土密实

常态混凝土依靠振捣器达到混凝土密实。碾压混凝土依靠振动碾碾压达到混凝土密实。碾压前，通过碾压试验确定碾压遍数及振动碾行走速度等施工参数。





五、钻孔灌浆及锚固工程

(一)、灌浆工程

1、灌浆分类

1) 按灌浆材料分类

按浆液材料主要分为水泥灌浆、黏土灌浆和化学灌浆等。水泥灌浆是指以水泥浆液为灌注材料的灌浆，通常也包括水泥黏土灌浆、水泥粉煤灰灌浆、水泥水玻璃灌浆等。

2) 按灌浆目的分类

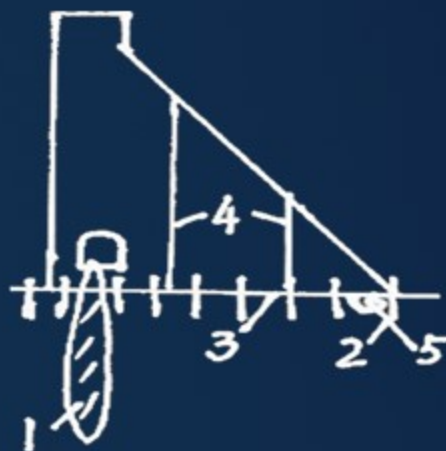
按灌浆目的分为帷幕灌浆、固结灌浆、接触灌浆、接缝灌浆、回填灌浆、预应力灌浆。





五、钻孔灌浆及锚固工程

- ① 帷幕灌浆。用浆液灌入岩体或土层的裂隙、孔隙，形成防水幕，以减小渗流量或降低扬压力。
- ② 固结灌浆。用浆液灌入岩体裂隙或破碎带，以提高岩体的整体性和抗变形能力。
- ③ 接触灌浆。通过浆液灌入混凝土与基岩或混凝土与钢板之间的缝隙，以增加接触面结合能力。
- ④ 接缝灌浆。通过埋设管路或其他方式将浆液灌入混凝土坝体的接缝，以改善传力条件，增强坝体整体性。
- ⑤ 回填灌浆。用浆液填充混凝土与围岩或混凝土与钢板之间的空隙和孔洞，以增强围岩或结构的密实性。
- ⑥ 岩基灌浆时，一般先进行固结灌浆，后进行帷幕灌浆，可以抑制帷幕灌浆时地表抬动和冒浆。



1. 帷幕灌浆； 2. 固结灌浆；
3. 接触灌浆； 4. 接缝灌浆；
5. 回填灌浆。





五、钻孔灌浆及锚固工程

3) 按灌浆地层分类

按灌浆地层可分为岩石地基灌浆、砂砾石地层灌浆、土层灌浆等。

4) 按灌浆压力分类

按灌浆压力可分为常压灌浆和高压灌浆。灌浆压力在3MPa以上的灌浆为高压灌浆。





五、钻孔灌浆及锚固工程

2、钻孔灌浆用的机械设备

1) 钻孔机械

钻孔机械主要有回转式、回转冲击式、冲击式三大类。

2) 灌浆机械

灌浆机械主要有灌浆泵、浆液搅拌机及灌浆记录仪等。

- ① 灌浆泵。灌浆泵是灌浆用的主要设备。容许工作压力应大于最大灌浆压力的1.5倍。
- ② 浆液搅拌机。目前用得最多的是传统双层立式慢速搅拌机和双桶平行搅拌机
- ③ 灌浆记录仪。用来记录每个孔段灌浆过程中每一时刻的灌浆压力、注浆率、浆液相对密度(或水灰比)等重要数据。





五、钻孔灌浆及锚固工程

3、岩石基础灌浆

岩石基础灌浆包括帷幕灌浆和岩基固结灌浆。

1) 灌浆方式。灌浆方式有纯压式和循环式两种。

①纯压式。纯压式灌浆是指浆液注入孔段内和岩体裂隙中，不再返回的灌浆方式。

②循环式。循环式灌浆是指浆液通过射浆管注入孔段内，部分浆液渗入岩体裂隙中，部分浆液通过回浆管返回，保持孔段内的浆液呈循环流动状态的灌浆方式。可以根据进浆和回浆液比重的差值，判断岩层吸收水泥浆的情况。



易投软件



五、钻孔灌浆及锚固工程

2) 灌浆方法

灌浆方法按同一钻孔内的钻灌顺序分为全孔一次灌浆法（钻孔长小于6m时）和分段钻灌法。分段钻灌法又可分为自上而下分段灌浆法、自下而上分段灌浆法、综合灌浆法和孔口封闭灌浆法。

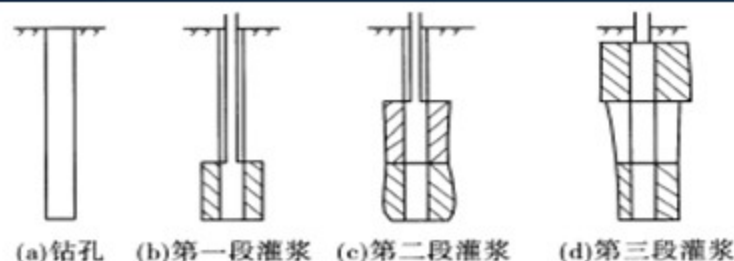


图 5-3-18 自下而上分段灌浆

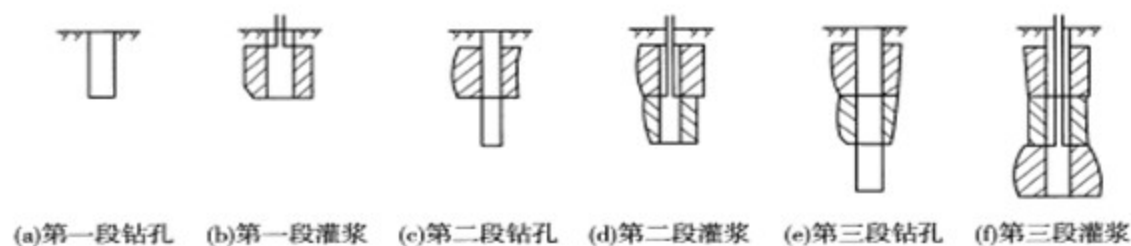


图 5-3-19 自上而下分段灌浆



易投软件



五、钻孔灌浆及锚固工程

3) 帷幕灌浆工艺流程

岩石基础帷幕灌浆与固结灌浆的施工工艺主要包括：钻孔，钻孔冲洗、孔壁冲洗、裂隙冲洗和压水试验，灌浆和灌浆的质量检查等。

(1) 钻孔。帷幕灌浆宜采用回转式钻机和金刚石钻头或硬质合金钻头钻进。

钻孔质量要求有：①钻孔位置与设计位置的偏差不得大于10 cm。②孔深应符合设计规定。③灌浆孔宜选用较小的孔径，钻孔孔壁应平直完整。④钻孔必须保证孔向准确。

(2) 钻孔冲洗、孔壁冲洗、裂隙冲洗和压水试验。孔内沉积厚度不得超过20cm。冲洗压力可为灌浆压力的80%，该值若大于1MPa，采用1MPa。





五、钻孔灌浆及锚固工程

(3) 灌浆方式和灌浆方法

①灌浆方式

帷幕灌浆应优先采用循环式，射浆管距孔底不得大于50cm。

②灌浆方法

帷幕灌浆必须按分序加密的原则进行。由三排孔组成的帷幕，应先进行边排孔的灌浆，然后进行中排孔的灌浆，边排孔宜分为三序施工，中排孔可分为二序、或三序施工；由两排孔组成的帷幕，宜先进行下游排孔的灌浆，然后进行上游排孔的灌浆，每排孔宜分为三序施工；单排帷幕灌浆孔应分为三序施工。





五、钻孔灌浆及锚固工程

(4) 灌浆压力和浆液变换

① 灌浆压力

宜通过灌浆试验确定，也可通过公式计算或根据经验先行拟定，而后在灌浆施工过程中调整确定。灌浆应尽快达到设计压力，但注入率大时应分级升压。

② 灌浆浆液变换

当灌浆压力保持不变，注入率持续减小时，或当注入率不变而压力持续升高时，不得改变水灰比；当某一比级浆液的注入量已达300L以上或灌注时间已达1h，而灌浆压力和注入率均无改变或改变不显著时，应改浓一级；当注入率大于30L/min时，可根据具体情况越级变浓。灌注细水泥浆液，可采用水灰比为2:1、1:1、0.6:1三个比级，或1:1、0.8:1、0.6:1三个比级。





五、钻孔灌浆及锚固工程

(5) 灌浆结束标准和封孔方法

- 采用自上而下分段灌浆法时，在规定的压力下，当注入率不大于0.4 L/min时，继续灌注60min；或不大于1L/min时，继续灌注90 min，灌浆可以结束。
- 采用自下而上分段灌浆法时，继续灌注的时间可相应地减少为30min和60min，灌浆可以结束。
- 采用孔口封闭法时，灌浆结束应同时满足两个条件：在设计压力下，注入率不大于1L/min时，延续灌注时间不少于90min；灌浆全过程中，在设计压力下的灌浆时间不少于120 min。
- 采用自上而下分段灌浆法时，灌浆孔封孔应采用“分段压力灌浆封孔法”；
- 采用自下而上分段灌浆时，应采用“置换和压力灌浆封孔法”或“压力灌浆封孔法”。





五、钻孔灌浆及锚固工程

(6) 特殊情况处理

灌浆过程中，如发现冒浆漏浆，应根据具体情况采用嵌缝、表面封堵、低压、浓浆、限流、限量、间歇灌浆等方法进行处理。发生串浆时，如串浆孔具备灌浆条件，可以同时进行灌浆，应一泵灌一孔，否则应将串浆孔用塞塞住，待灌浆孔灌浆结束后，再对串浆孔并行扫孔，冲洗，而后继续钻进和灌浆。

灌浆工作必须连续进行，若因故中断，应及早恢复灌浆。恢复灌浆时，应使用开灌比级的水泥浆进行灌注。如注入率与中断前相近，即可改用中断前比级的水泥浆继续灌注；如注入率较中断前减少较多，则浆液应逐级加浓继续灌注。恢复灌浆后，如注入率较中断前减少很多，且在短时间内停止吸浆，应采取补救措施。





五、钻孔灌浆及锚固工程

(7) 工程质量检查

- 灌浆质量检查应以检查孔压水试验成果为主，结合对竣工资料和测试成果的分析，综合评定。
- 灌浆检查孔应在下述部位布置：①帷幕中心线上。②岩石破碎、断层、大孔隙等地质条件复杂的部位。③钻孔偏斜过大，灌浆情况不正常以及经分析资料认为对帷幕灌浆质量有影响的部位。
- 灌浆检查孔的数量不少于灌浆孔总数的10%。一个坝段或一个单元工程内，至少应布置一个检查孔；检查孔压水试验应在该部位灌浆结束14d后进行；同时应自上而下分段卡塞进行压水试验，试验采用五点法或单点法。
- 检查孔压水试验结束后，按技术要求进行灌浆和封孔；检查孔应采取岩芯，计算获得率并加以描述。





五、钻孔灌浆及锚固工程

4) 固结灌浆施工工艺及技术要求

(1) 灌浆施工工艺

固结灌浆方式有循环式和纯压式两种，灌浆施工工艺和帷幕灌浆基本相同。

(2) 灌浆技术要求

灌浆孔的施工按分序加密的原则进行，可分为二序施工或三序施工。

灌浆压力大于3MPa的工程，灌浆孔应分段进行灌浆。

固结灌浆质量压水试验检查、岩体波速检查、静弹性模量检查应分别在灌浆结束3~7d，14d，28d后进行。

灌浆质量压水试验检查，孔段合格率应在80%以上，不合格孔段的透水率值不超过设计规定值的50%，且不集中。

灌浆孔封孔应采用“机械压浆封孔法”或“压力灌浆封孔法”。





五、钻孔灌浆及锚固工程

4、砂砾石层钻孔灌浆

在砂砾石层中进行钻孔灌浆施工的特点是：

1. 砂砾石层是松散体，在钻孔和灌浆的全过程中须有固壁措施，否则孔壁会垮塌。
2. 钻孔孔壁不光滑、不坚固、不能直接在孔壁下灌浆塞。
3. 砂砾石层孔隙大，吸浆量大。由于砂砾石层钻孔灌浆具备以上特点，所以不能采用岩基灌浆中常用的钻孔灌浆方法。

一般采用循环钻灌浆法、预埋花管法、套管灌浆法、打管灌浆法。砂砾石帷幕灌浆大多采用前两种方法。





五、钻孔灌浆及锚固工程

5、隧洞灌浆

水工隧洞灌浆包括回填灌浆、固结灌浆、接触灌浆。

水工隧洞灌浆应先回填灌浆，后接触灌浆，最后固结灌浆。回填与固结灌浆均按分序加密的原则进行。当隧洞具有 10° 以上坡度时，灌浆应从最低一端开始。

隧洞回填灌浆的浆液较浓，水灰比分为 $1:1, 0.8:1, 0.6:1, 0.5:1$ 四个比级，采用填压式灌浆。





五、钻孔灌浆及锚固工程

【例-单选题】隧洞灌浆时,一般先进行 () 施工。

- A、帷幕灌浆
- B、接触灌浆
- C、回填灌浆
- D、固结灌浆

网校答案：C

网校解析：水工隧洞灌浆应先回填灌浆，后接触灌浆，最后固结灌浆。



易投软件



五、钻孔灌浆及锚固工程

6、化学灌浆

化学灌浆是一种以高分子有机化合物为主体材料的灌浆方法。

1) 化学浆液的特点

①化学灌浆浆液的黏度低、流动性好、可灌性好，小于0.1 mm以下的缝隙也能灌入。

②浆液的聚合时间，可以人为比较准确地控制，通过调节配比来改变聚合时间，以适应不同工程的不同情况的需要。





五、钻孔灌浆及锚固工程

- ③浆液聚合后形成的聚合体的渗透系数小，一般为 $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$ ，防渗效果好。
- ④形成的聚合体强度高，与岩石或混凝土的黏结强度高。
- ⑤形成的聚合体能抗酸抗碱，也能抗水生物、微生物的侵蚀，因而稳定性及耐久性均较好。
- ⑥有一定的毒性。





五、钻孔灌浆及锚固工程

2) 化学浆液类型

化学浆液主要有水玻璃类、丙烯酰胺类(丙凝)、丙烯酸盐类、聚氨醋类、环氧树脂类、甲基丙烯酸醋类(甲凝)等几种类型。

3) 化学灌浆施工

- ① 灌浆工序。化学灌浆的工序依次是：钻孔及压水试验→钻孔及裂缝的处理(包括排渣及裂缝干燥处理)→埋设注浆嘴和回浆嘴以及封闭、注水和灌浆。
- ② 灌浆方法。按浆液的混合方式分单液法灌浆和双液法灌浆两种。
- ③ 压送浆液的方式。化学灌浆一般都采用纯压式灌浆。





五、钻孔灌浆及锚固工程

7、高压喷射灌浆

高压喷射灌浆是采用钻孔，将装有特制合金喷嘴的注浆管下到预定位置，然后用高压水泵或高压泥浆泵(20~40MPa)将水或浆液通过喷嘴喷射出来，冲击破坏土体，使土粒在喷射流束的冲击力、离心力和重力等综合作用下，与浆液搅拌混合，并按一定的浆土比例和质量大小，有规律地重新排列。待浆液凝固以后，在土内就形成一定形状的固结体。

实践证明，砂类土、黏性土、黄土和淤泥等地层均能进行喷射加固，效果较好。高压喷射灌浆的基本方法有单管法（桩径为0.5~0.9m）、二管法（0.8~1.5m）、三管法（1.0~2.0m）和新三管法等。

高压喷射灌浆的喷射形式有旋喷、摆喷、定喷三种。



五、钻孔灌浆及锚固工程

【例-单选题】 高压喷射灌浆形成凝结体的形状与喷嘴移动方向和持续时间有密切关系，要形成柱状体则采用()。

- A、侧喷
- B、定喷
- C、摆喷
- D、旋喷

网校答案：D



五、钻孔灌浆及锚固工程

(二)、防渗墙

1、防渗墙的类型

按布置方式分类主要有嵌固式防渗墙、悬挂式防渗墙和组合式防渗墙。

2、成槽机械

成槽机械有钢绳冲击钻机、冲击式反循环钻机、回转式钻机、抓斗挖槽机、射水成槽机、锯槽机、双轮铣槽机等。

3、施工工艺

施工程序与工艺主要包括：①造孔前的准备工作；②泥浆固壁与造孔成槽；③终孔验收与清孔换浆；④墙体混凝土浇筑；⑤质量检查与验收等过程。



五、钻孔灌浆及锚固工程

4、防渗墙的质量检查

对混凝土防渗墙的质量检查主要有如下几个方面：

- ① 槽孔的检查，包括几何尺寸和位置、钻孔偏斜、入岩深度等。
- ② 清孔检查，包括槽段接头、孔底淤积厚度、清孔质量等。
- ③ 混凝土质量的检查，包括原材料、新拌料的性能、硬化后的物理力学性能等。
- ④ 墙体的质量检测，主要通过钻孔取芯与压水试验、超声波及地震透射层析成像(CT)技术等方法全面检查墙体的质量。



五、钻孔灌浆及锚固工程

(三)、锚固技术

锚固技术是将受拉杆件的一端固定在边坡或地基的岩层或土层中，这种受拉杆件的固定端称为锚固端(或锚固段)，另一端与工程建筑物连接，可以承受由土压力、水压力或风力所施加于建筑物的推力，利用地层的锚固力以维持建筑物的稳定。

在天然地层中的锚固方法以钻孔灌浆的方式为主，在人工填土中的锚固方法有锚锭板和加筋土两种方式。

锚固灌浆有简易灌浆、预压灌浆、化学灌浆以及特殊的锚固灌浆技术。



PART 04

施工工厂设施



施工工厂设施

为施工服务的生产系统、工厂、车间和辅助设施，又称施工工厂设施。施工工厂设施包括砂石加工系统，混凝土生产系统，压缩空气、供水、供电和通信系统，机械修配厂和加工厂等。

施工工厂设施的任务是：制备施工所需的各种半成品和成品材料，供应施工所需的水、电及压缩空气，建立工地内、外通信联系，进行施工设备的保养、修理和加工制作少量非标准件、零配件与金属结构，使工程施工能顺利进行。



一、施工工厂规划布置原则

施工工厂规划布置应遵循以下原则：

1. 应研究利用当地企业的生产设施，并兼顾梯级工厂施工需要。
2. 厂址宜设于当地交通运输和水电供应方便处，靠近服务对象和用户中心，避免物资逆向运输。
3. 生活区宜与生产区分开，协作关系密切的施工工厂宜集中布置，集中布置和分散布置距离均应满足防火、安全、卫生和环境保护要求。
4. 施工工厂的规划与设置宜兼顾工程实施阶段的分标因素。



二、施工供风系统

水利水电施工供风系统(亦称“工地压缩空气系统”)的主要任务是供应石方开挖、混凝土施工、水泥输送、灌浆作业和机电设备安装等所需的压缩空气(简称“气”或“风”)。

其组成包括压缩空气站和外部压气管网两大部分。根据用户的分布和负荷特点，全系统可设置一个或数个压缩空气站，集中或分片供风，也可在分片的基础上连成管网，以便互相补偿，适应负荷变化。



三、施工供水系统

水利水电工程施工供水系统的任务是经济可靠地供给全工地的生活、生产和消防用水。

主要用户有：主体工程施工用水，施工机械用水，施工工厂设施生产用水，生活用水(包括居民用水和公共设施、服务行业用水等)，消防用水和其他用水。在保证供应足够水量的同时，尚须满足各类用户对水质、水压的要求。

施工给水系统一般由取水工程、净水工程和输配水工程三部分组成。



四、施工供电系统

施工供电系统由施工总降压变电站(有时包括自备发电厂)、分区配电所、高低压配电线路和用电设备所组成。施工供电设计的任务主要是确定施工用电最高负荷、估算各年用电量、选定电源方案以及进行各降压变电站、自备发电厂、配电所和配电线路等的设计。

用电负荷按其重要性和停电造成的损失程度分为三类：一类负荷、二类负荷和三类负荷。



四、施工供电系统

水利水电工程施工现场**一类负荷主要有**：井、洞内的照明、排水、通风和基坑内的排水，汛期的防洪、泄洪设施，医院的手术室、急诊室，局一级通信站以及其他因停电即可能造成人身伤亡或设备事故引起国家财产严重损失的重要负荷。由于单一电源无法确保连续供电，供电可靠性差，因此大中型工程应具有两个以上的电源，否则应建自备电厂。

除隧洞、竖井以外的土石方开挖施工，混凝土浇筑施工，混凝土搅拌系统、制冷系统、供水系统及供风系统，混凝土预制构件厂等主要设备属**二类负荷**。



四、施工供电系统

【例-单选题】水利工程施工现场的防洪、泄洪设施等主要设备施工用电为()类负荷。

- A、一
- B、二
- C、三
- D、四

网校答案：A

网校解析：一类负荷主要有：井、洞内的照明、排水、通风和基坑内的排水，汛期的防洪、泄洪设施，医院的手术室、急诊室，局一级通信站以及其他因停电即可能造成人身伤亡或设备事故引起国家财产严重损失的重要负荷。



六、机械修配厂

六、机械修配厂

施工机械修配厂，一般由中心机械修配厂和工区机械修配站组成。

七、综合加工厂

综合加工厂主要承担工程所需的混凝土预制构件、钢筋的半成品和成品、木模板和细木制品等的生产加工任务。



PART 05

施工总布置



一、概述

施工总布置是施工场区在施工期间的空间规划。

它是根据场区的地形地貌、枢纽布置和临时设施布置的要求，研究施工场地的分期、分区、分标布置方案，对施工期间所需的交通运输设施、施工辅助工厂、仓库房屋、动力能源、给排水管线及其他施工设施做出平立面布置，为保证施工安全、工程质量、加快施工进度、降低工程造价和节省能源消耗从场地安排上创造条件。



二、施工总布置原则

- ①施工总布置方案应贯彻执行合理利用土地的方针，遵循施工临建与永久利用相结合、因地制宜、因时制宜、有利生产、方便生活、节约用地、易于管理、安全可靠和经济合理的原则，经全面系统比较论证后选定。
- ②施工总布置方案规划应符合环境保护、水土保持的有关规定，处理好施工场地布局与环境保护、水土保持的关系。
- ③施工总布置方案宜采用有利于施工封闭管理的布置方案。
- ④施工总布置应紧凑合理，节约用地，尽量利用荒地、滩地、坡地，不占或少占耕地、林地，应避开文物古迹，避免损坏古树名木。



二、施工总布置原则

- ⑤合理规划布置渣场，做好土石方挖填方平衡，充分利用开挖渣料进行围堰及施工场地填筑，结合施工进度和物流流向优化渣料调运，尽量避免物料二次倒运。
- ⑥施工场地布置应与交通运输线路布置相结合，尽量避免物料倒运，并考虑上、下游施工期洪水情况与临建设施泄洪及防洪要求。
- ⑦尽量提高工程施工机械化程度，减少劳动力使用量，减少生活福利设施建筑面积。



二、施工总布置原则

【例-单选题】施工总布置方案应贯彻执行() 的方针。

- A、因地制宜
- B、有利生产
- C、经济合理
- D、合理利用土地

网校答案：D

网校解析：施工总布置方案应贯彻执行合理利用土地的方针，遵循施工临建与永久利用相结合、因地制宜、因时制宜、有利生产、方便生活、节约用地、易于管理、安全可靠和经济合理的原则，经全面系统比较论证后选定。



三、施工场地选择与施工分区规划

(一) 施工场地选择

1、施工场地选择的基本原则

- ① 一般情况下，施工场地不宜选在枢纽上游的水库区。
- ② 利用滩地平整施工场地，尽量避开因导流、泄洪而造成的冲淤、主河道及两岸沟谷洪水的影响。
- ③ 位于枢纽下游的施工场地，其整平高程应能满足防洪要求。如地势低洼，又无法填高时，应设置防汛堤和排水泵站、涵闸等设施，并考虑清淤措施。
- ④ 施工场地应避开不良地质地段，考虑边坡的稳定性。
- ⑤ 施工场地地段之间、地段与施工区之间，联系简捷方便。
- ⑥ 研究与地方经济发展规划相结合的可能性。



四、土石方平衡

开挖的土石料的利用和弃置，不仅有数量的平衡(空间位置上的平衡)要求，还有时间的平衡要求，同时还要考虑质量和经济效益等。

(一)、土石方平衡方法

土石方平衡调配是否合理的主要判断指标是运输费用，费用花费最少的方案就是最好的调配方案。

(二)、土石方平衡原则

土石方平衡调配的基本原则是，在进行土石方调配时要做到料尽其用、时间匹配和容量适度。





四、土石方平衡

【例-多选题】土石方平衡调配的基本原则是()。

- A、料尽其用
- B、因地制宜
- C、时间匹配
- D、易于管理
- E、容量适度

网校答案：ACE

网校解析：土石方平衡调配的基本原则是，在进行土石方调配时要做到料尽其用、时间匹配和容量适度。



易投软件



PART 06

施工总进度



一、概述

(一)、施工期划分

根据《水利水电工程施工组织设计规范》(SL303-2017)
，工程建设全过程可划分为工程筹建期、工程准备期、主体工程施工期和工程完建期四个施工时段。编制施工总进度时，工程施工总工期应为后三项工期之和。





一、概述

【例-单选题】某工程筹建期13个月，工程准备期12个月，主体工程施工期32个月，工程完建期8个月。工程施工总工期为（ ）个月。

- A、 65
- B、 52
- C、 53
- D、 40

网校答案： B



易投软件



一、概述

(1) 工程筹建期

主体工程开工前，为主体工程施工具备进场开工条件所需时间，其工作内容宜为对外交通、施工供电和通信系统、征地补偿和移民安置等工作。

(2) 工程准备期

准备工程开工起至关键线路上的主体工程开工或河道截流闭气前的工期，其工作内容宜包括场地平整、场内交通、施工工厂设施、必要的生活生产房屋建设以及实施经批准的试验性工程等。根据确定的施工导流方案，工程准备期内还应完成必要的导流工程。

(3) 主体工程施工期

自关键线路上的主体工程开工或河道截流闭气开始，至第一台机组发电或工程开始发挥效益为止的工期。

(4) 工程完建期

自水利水电工程第一台发电机组投入运行或工程开始发挥效益起，至工程完工的工期。



易投软件



二、施工进度计划的控制方法

（一）、横道图控制法

用横道图表示的施工进度计划，一般包括两个基本部分，即左侧的工作名称及工作的持续时间等基本数据部分和右侧的横道线部分。横道图的优点是形象、直观，且易于编制和理解，因而长期以来被广泛应用于建设工程进度控制。但利用横道图表示工程进度计划，存在下列缺点：

- ①不能明确反映出各项工作之间错综复杂的相互关系，不利于建设工程进度的动态控制。
- ②不能明确地反映出影响工期的关键工作和关键线路，无法反映出整个工程项目的关键所在，不便于进度控制人员抓住主要矛盾。





二、施工进度计划的控制方法

③不能反映出工作所具有的机动时间，看不到计划的潜力所在，无法进行最合理的组织和指挥。

④不能反映工程费用与工期之间的关系，不便于缩短工期和降低成本

(二)、S形曲线控制法

S形曲线是一个以横坐标表示时间，纵坐标表示完成工作量的曲线图。

S形曲线与原计划的s形曲线进行比较，如图5-6-2所示。可得到如下信息：

- (1)项目的实际进展速度。
- (2)进度超前或拖延时间。
- (3)工程量完成情况。
- (4)项目后续进度的预测。

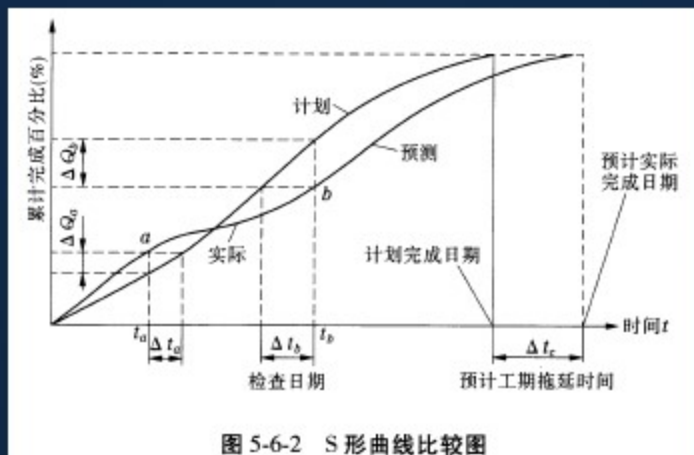


图 5-6-2 S 形曲线比较图



易投软件

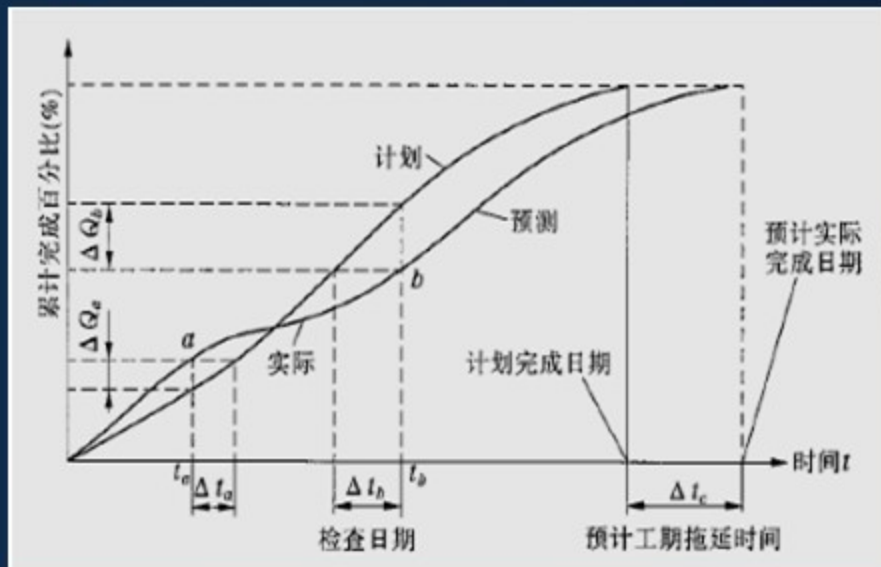


二、施工进度计划的控制方法

【例-单选题】某水利工程项目进度控制工程师事先绘制进度计划的S形曲线，在项目施工过程中，每隔一定时间按项目实务进度情况绘制完工进度的S形曲线，并与原计划S线进行比较，如图所示，以下说法错误的是()。

- A、图中a点的实际进度比计划进度超前
- B、图中b点实际进度比计划进度拖后
- C、图中 Δt_a 表示 t_a 划进度超前时间
- D、图中 ΔQ_b 表示 Q_b 时刻超前的工程

网校答案：D



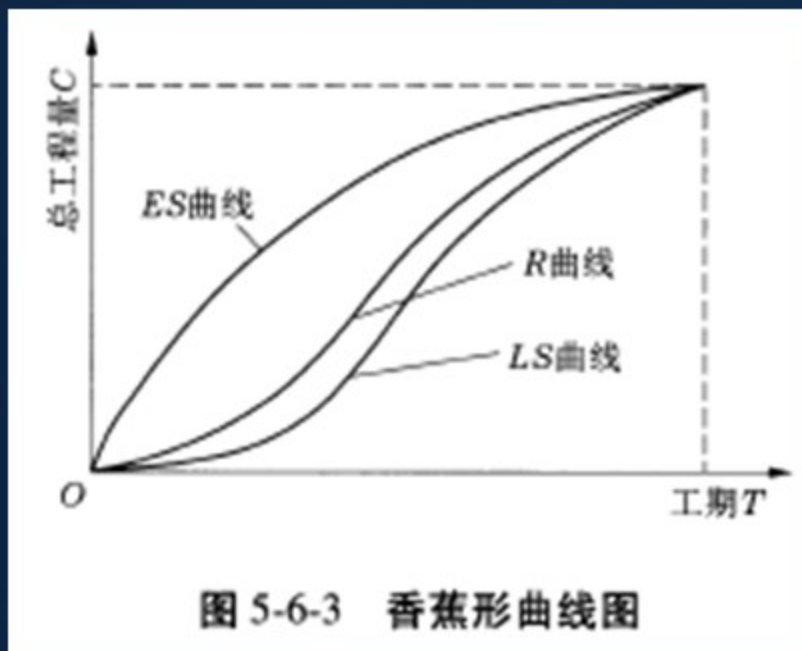
易投软件



二、施工进度计划的控制方法

(三)、香蕉形曲线比较法

香蕉形曲线是由两条以同一开始、同一结束时间的S形曲线组合而成。其中，一条S形曲线是按最早开始时间安排进度所绘制的，简称ES曲线；而另一条S形曲线是按最迟开始时间安排进度所绘制的，简称LS曲线。





二、施工进度计划的控制方法

(四)、网络计划

网络计划应在确定技术方案与组织方案，按需要划分工作、确定工作之间的逻辑关系及各工作的持续时间的基础上进行编制。

1、关键工作和关键线路的确定原则

1) 双代号网络计划

- ① 总时差为最小的工作即为关键工作。
- ② 自始至终全部由关键工作组成的线路或线路上总的工作持续时间最长的线路即为关键线路。该线路在网络图上应用粗线、双线或彩色线标注。





二、施工进度计划的控制方法

2) 单代号网络计划

- ① 总时差为最小的工作应为关键工作。
- ② 从起点节点开始到终点节点均为关键工作，且所有工作的时间间隔仅为零的线路应为关键线路。该线路在网络图上应用粗线、双线或彩色线标注。

3) 双代号时标网络计划

- ① 自终点节点逆箭线方向朝起点节点观察，自始至终不出现波形线的线路为关键线路。
- ② 时标网络计划的计算工期，应是其终点节点与起点节点所在位置的时标值之差。
- ③ 按最早时间绘制的时标网络计划，每条箭线箭尾和箭头所对应的时标值应为该工作的最早开始时间和最早完成时间。
- ④ 时标网络计划中工作的自由时差应为表示该工作的箭线中波形线部分在坐标轴上的水平投影长度。





二、施工进度计划的控制方法

4) 单代号搭接网络计划

- ① 总时差为最小的工作应为关键工作。
- ② 从起点节点开始到终点节点均为关键工作，且所有工作的时间间隔仅为零的线路应为关键线路。该线路在网络图上应用粗线、双线或彩色线标注。





二、施工进度计划的控制方法

2、网络计划优化

网络计划的优化目标，应按计划任务的需要和条件选定。
包括工期目标、费用目标和资源目标。

网络计划优化时，选择应缩短持续时间的关键工作宜考虑下列因素：

- ① 缩短持续时间对质量和安全影响不大的工作。
- ② 有充足备用资源的工作。
- ③ 缩短持续时间所需增加的费用最少的工作。





二、施工进度计划的控制方法

【例-多选题】下列关于施工网络计划时间参数计算说法正确的有()。

- A、时差就是每道工序的机动时间，时差越大，机动范围越大
- B、工序最迟必须完成时间就是最迟必须开始时间加上本工序作业时间
- C、计算工序最早可能开始时间，当有几个紧前工序，而计算结果又不相同时，应取其中最小值
- D、工序最早可能完成时间就是本工序作业最早可能开始时间加上本工序作业时间
- E、计算工序最早可能完成，当有几个紧后工序，而计算结果又不相同时，应取其中最大值

网校答案：ABD



易投软件



三、进度计划调整

当实际进度偏差影响到后续活动、工期需要调整进度计划时，其调整方法主要有两种。

- ① **改变某些活动间的逻辑关系**。例如，将顺序进行的活动改为平行作业、搭接作业以及分段组织流水作业等，都可以有效地缩短工期。
- ② **缩短某些活动的持续时间**。这种方法是不改变工程项目中各项活动之间的逻辑关系，而通过采取增加资源投入、提高劳动效率等措施来缩短某些活动的持续时间，使工程进度加快，以保证按计划工期完成该工程项目。





水利造价信息网

THANKS