

表 30 (续)

序号	工程名称	装机容量 /MW	厂房尺寸 (长×宽×高) /(m×m×m)	开挖量 /万 m <sup>3</sup>	围岩性质	开挖 分层 /层	开挖 工期 /月	施工强度 / (m <sup>3</sup> /月)	
								平均	最高
15	桐柏	1200	182.7×24.5×60.25	19.2	花岗岩	7	27.0	7100	—
16	龙潭	4200	388.5×28.9×77.3	64.06		9	32	2070	—
17	水布垭	1600	168.5×23.0×69.47	18.3	碳酸	8	26	7000	—

表 31 国内部分地下厂房开挖分层情况表

工程名称	厂房尺寸 (长×宽×高) /(m×m×m)	开挖量 /万 m <sup>3</sup>	开挖 分层 /层	分层层高/m									
				1层	2层	3层	4层	5层	6层	7层	8层	9层	10层
十三陵抽水蓄能电站	145.0×23×46.6	12.91	7	10.5	3.4	10	8	5	6	3.7			
二滩	280.29×30.7×65.58	40.5	10	8.98	6	6	6.5	6.2	6.5	6.5	5.6	6.7	7.7
天荒坪	200.7×21×47.53	17.0	6	8.5	7	7.56	7.87	10	6.8				
桐柏抽水蓄能电站	182.7×24.5×60.25	22.9	7	9.75	8.8	6.9	7	8.4	5.38	6.72			
泰安抽水蓄能电站	190×24.5×52.27	21.0	6	9.775	9	7.5	7	12.8	6.2				
小湾	298.4×30.6×82.0	54.4	10	10.7 (11.86)	9.2 (6.6)	6.3	6.75	8.8	6.7	8.5	10.95		
棉花滩	129.5×21.9×52.08	12.5	6	9.18	7.4	7.8	7.3	10.9	9.5				

(3) 高边墙、大跨度洞室开挖, 最关键的首先是顶拱层的开挖。顶拱层的开挖决定于跨度的大小和地质条件。一般情况下, 如地质条件允许, 先开挖中导洞, 然后两侧跟进扩大开挖, 如天荒坪、桐柏、广州抽水蓄能、二滩、泰安等工程。若围岩的稳定性较差, 采用两侧导洞先掘进, 并随即进行初期支护, 中间岩柱起支撑作用, 然后再进行中间预留岩柱的开挖与支护, 如大朝山、宜兴抽水蓄能等项目。但也有例外, 如西龙池抽水蓄能电站工程厂房顶部围岩为薄层页岩, 近似水平, 稳定条件很差, 在对厂房顶部岩体进行预应力锚索等加固处理后, 采取了先挖中间导洞随即进行支护再两侧扩挖跟进的施工方法, 也取得了成功。

(4) 岩壁(台)梁层(通常为第2层)开挖是高边墙大跨度地下洞室开挖的又一关键问题, 其中最重要的是保证岩壁梁的开挖成型和减少下层开挖爆破对岩壁吊车梁的振动影响。根据各工程的实践经验, 可采取下列一些综合措施:

①采用预留保护层开挖, 即中间岩体拉槽超前, 两侧保护层跟进。保护层的厚度以中间岩体爆破时产生的松动范围不超过保护层为原则, 一般为2.5~5m。中间岩体采用潜孔钻垂直钻孔, 分段爆破, 保护层开挖采取凿岩台车水平造孔爆破。

②在进行岩壁(台)开挖前, 先进行岩台斜面上部边墙、下一层边墙及中部主爆区与保护层间的预裂。

③为了保证岩壁(台)成型, 当岩体较破碎时, 可先进行固结灌浆, 对围岩进行加固, 然后再开挖。

④岩壁(台)梁开挖, 要求进行专门的钻爆设计和爆破试验, 并进行爆破振动监测。

(5) 地下洞室群中, 主厂房、主变压器室及尾水闸门室多数呈平行布置, 且距离较近。主厂房的上、下游边墙常有大小不同的洞室相交, 如下游边墙上有母线洞、尾水洞在不同高程上与厂房相交, 上游边墙有高压管道与厂房相交。每一洞室的开挖均会不同程度地对周围岩体的稳定产生影响, 为此采取一系列工程措施, 防止围岩失稳, 例如:



①优化施工程序，尤其是主厂房、主变压器室及尾水闸门室三大洞室的开挖程序需认真拟订，必要时进行计算机仿真分析，以尽可能减少开挖后围岩松弛区的范围和深度。

②尽可能先开挖与主厂房相交的“小洞室”，即“小洞”进“大洞”的开挖方法，如上游高压管道需先开挖到厂房上游边墙，然后再进行该部位的厂房开挖，并做好锚喷支护。

③当在进度安排上难以满足先开挖“小洞”，而必须先开挖主厂房后开挖“小洞”时，则“小洞”开挖需采取先导洞后扩大，先加固周边岩体然后再进洞开挖的方案，并采取潜孔小炮、多循环、弱爆破等措施，以减少对围岩的破坏。

④对平行洞室，如母线洞、尾水洞的开挖，在开挖程序上需交错进行，不要齐头并进。

(6) 为了加快施工进度，需创造条件进行立体平行流水作业，即“立体多层次，平面多工序”的施工程序。

**4.6.7** 平洞与斜井的区别在于洞内能否行驶水平运输车辆，车辆需由提升设备牵引者为斜井。考虑到公路最大纵坡规定为9%，即稍小于6°。所以在正文中规定以6°为平洞与斜井的区分界限。斜井开挖方法按其倾角确定，斜井倾角按《水利水电建筑工程概算定额》进行划分。

**4.6.8** 施工支洞、斜井及竖井布置需根据地形地质条件、主洞的布置、工程量、施工工期、施工方法及机械化程度等具体情况，通过技术经济比较后确定。支洞型式与尺寸，除与上述诸因素有关外，还需考虑支护型式、运输方式、运输强度和运距等条件。主洞洞底高程与施工支洞进口高程之差往往是决定运输方式和支洞长度的条件。为计算支洞长度，本条对有轨与无轨（汽车）运输的纵坡作了规定，但考虑到国内施工运输设备型号较多，其中一些性能好的汽车（如进口汽车）爬坡能力强，根据国内一些工程实践经验，对无轨运输纵坡提出了两个要求：其一，一般不要大于9%；其二，局部最大纵坡不要大于14%。

**4.6.9** 出渣运输可参照SL 378的有关规定执行。考虑到车速的

大小对计算车辆的配备数量有一定影响，为减少计算工作量，提出了本条。

(1) 机车牵引平均时速按6km考虑，主要是综合考虑下列因素：洞内时速不超过10km，调车及人员稠密段时速限制为3km，变道、道岔或视线不良洞段时速不超过5km，并考虑了装渣与等待时间而定出的。

(2) 汽车洞内时速10km的规定较日本等一些国外的规定偏低，不利于减少柴油机排出废气中的有毒气体，有条件似需提高一些。为了避免与SL 378的规定相矛盾，仍按时速10km考虑，其中已包含了转弯、错车等速度减小的影响在内。

**4.6.11** 通风设计是施工组织设计工作中不可缺少的部分。关于地下工程施工中有害气体允许含量、需要的风量及风速等具体数值，基本引用SL 378中的规定。

**4.6.12** 在设计中需对粉尘危害予以足够重视，一般要采用湿式凿岩、喷雾洒水、机械通风、个人防护等综合措施，对所采取的措施需计算耗水量及费用。

由于汽油机械废气中的有害气体（一氧化碳及氮氧化物）浓度为柴油机械的十几倍至几十倍，对人体危害严重，所以规定洞内严禁汽油机械进入。

长隧洞洞内空气较稀薄、氧含量低，使洞内内燃设备油料燃烧不充分，排出废气中的有害气体量增加。因此，规定一般选择有轨运输。

地下工程中若含有瓦斯等有害气体，对人体危害严重，甚至会致人死亡。因此，需根据有关的规程、规范编制专门的防治措施，并作为强制性条文。

## 4.7 金属结构及机电设备安装

**4.7.1** 根据大、中型水电站施工经验，金属结构及机电起重运输方式多种多样，没有统一模式，条文中提出的是选择运输方案时需考虑的一般原则，需根据各个工程现场实际情况选择制定运



输方案。

**4.7.2** 金属结构吊装大多利用土建施工起吊设备吊装或土法吊装，闸门安装在施工进度许可时尽量利用永久启闭设备吊装；机组埋件安装时通常机组永久起重设备均未安装，因此一般采用土建施工起吊设备吊装，水轮发电机安装一般均利用机组永久起重设备吊装，临时起吊设备在起重量和布置上都难以满足要求。

金属结构吊装机械需根据设备起重量、起吊高度、安装部位等因素选用。

**4.7.3** 机电设备安装主要是水轮发电机组安装，包括水轮机埋件安装、水轮机和发电机及其附属设备和管路安装。本条从水利水电工程施工组织设计角度出发，概括地提出水轮发电机组埋件、水轮机等安装的一般程序和施工条件等要求。具体的施工技术要求遵照 GB/T 8564《水轮发电机组安装技术规范》的规定。

**4.7.4** 压力钢管安装通常在工地加工厂制作成管节，在运输吊装条件允许时，采用大节安装，目的在于减少现场焊接缝数量，以加快施工进度。具体施工技术要求遵照 GB 50766《水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范》、SL 432《水利工程压力钢管制造安装及验收规范》的规定。

**4.7.5** 平面闸门门槽安装也有随一期混凝土浇筑一起安装的，但其安装精度往往难以达到要求。鉴于此，本条提出一般要随二期混凝土埋设安装。闸门和启闭机的安装施工技术要求遵照 GB/T 14173《水利水电工程钢闸门制造、安装及验收规范》、SL 381《水利水电工程启闭机制造安装及验收规范》的规定。

根据 GB/T 14173，埋件安装完，经检查合格，应在 5d 内浇筑二期混凝土。如过期或者有碰撞，应予复测，复测合格，方可浇筑二期混凝土。二期混凝土一次浇筑高度不宜超过 5m，浇筑时，应注意防止撞击埋件和模板，并采取措施捣实混凝土，应防止二期混凝土离析、跑模和漏浆。

## 4.8 施工机械设备选择

**4.8.1、4.8.2** 地下洞室采用钻爆法施工，需根据地下工程的工程规模大小（开挖断面尺寸、工程量等）、施工方案，并考虑岩石物理力学特性及地质构造，如岩层完整程度、岩石坚固系数、地应力条件，在保证施工安全的条件下，选择相应的凿岩机械设备。多臂钻车的选择需注意各臂工作范围是否满足空间要求。用钻爆法进行平洞开挖，一般选用凿岩台车。需根据断面尺寸和一个循环进尺深度选择合适的凿岩台车，履带式凿岩台车能在有尖刺的岩面上行驶，但车速慢；轮胎式凿岩台车车速快但轮胎易磨损。手持式风钻也能用于扩挖钻孔，但生产率较低。

根据锦屏二级水电站引水隧洞和锦屏辅助洞工程施工经验，当地应力较高可能引发岩爆时，施工人员的安全风险极大，在此类洞段施工时，需选择有防护措施的凿岩台车等机械化施工设备，避免采用简易台车钻孔作业，以确保施工人员安全。

地下洞室选择凿岩台车时需要考虑下列因素：

(1) 凿岩台车的最大工作范围（高×宽）需与被开挖的隧洞断面尺寸相适应。

(2) 需根据隧洞断面尺寸，合理选择凿岩台车的臂数。

(3) 选用多臂台车时，需注意各臂工作范围是否满足断面钻孔施工要求。

(4) 凿岩台车钻臂推进器最大推进长度需大于炮孔孔深。

(5) 根据岩石条件，凿岩台车可调整工作压力，实现自动防卡钻功能。

锚杆孔和排水孔施工可选用多功能锚杆安装台车或凿岩机钻孔，锚杆安装机安装锚杆有利于施工安全。所选用的机械设备需满足最大工作高度和最大钻孔深度的要求。

锚索孔一般因孔深较大，对钻孔精度要求较高，因此需根据锚索施工的地质条件、锚索孔径和深度以及施工条件等因素选择合适的钻孔，液压锚索钻机具备高效率、能耗低、粉尘少、噪声





低等优点，要优先选择。

**4.8.3** 本条主要说明应根据围岩地质条件合理选用不同掘进机型式，以及掘进机的使用条件。一般岩石掘进机选择考虑以下因素：

(1) 圆形断面洞径 3m 以上，洞长超过 5km 的永久性隧洞，布置支洞及竖井困难或不经济。

(2) 岩体物理力学指标及构造均匀，岩溶不发育，断面破碎带较少。

(3) 隧洞全长没有不宜使用掘进机的弯角和坡度。

(4) 地应力条件较好，沿线无发生强及极强岩爆或发生大变形的地质条件。

直径为 3~12m 的掘进机制造技术成熟，应用比较普遍。对于大直径（大于 12m）的掘进机，在国外隧道开挖工程中已有所应用，例如：加拿大的 Sir Adam Beek 引水洞（岩石隧洞）直径为 13.9m，荷兰 Groene Hart 隧道（软土—岩石隧洞）直径为 14.87m。在国内隧道开挖工程中应用很少，锦屏二级水电站引水隧洞直径为 12.4m 采用 TBM 施工，对于特别工程需要采用大直径的掘进机，可通过技术经济比较确定。

岩石掘进机一般有：开敞式、护盾式、扩孔式、摇臂式等型式。开敞式适用于岩石整体性较好或中等的情况，围岩单轴饱和抗压强度大于 150MPa 硬岩中往往使用开敞式掘进机；护盾式除适用于岩石好的情况外，更适用于松散和复杂的岩石条件，围岩单轴饱和抗压强度为 5~150MPa 的硬岩、软岩混合地层中往往使用双护盾式掘进机。扩孔式适用于在小导洞贯通后，进行导洞的扩挖；摇臂式适用于扩挖较软的岩石，开挖非圆形断面的隧洞。

在砂层或土层中的隧道，宜采用盾构机开挖。盾构机应根据工程地质、水文地质、施工进度情况及平面布置、衬砌型式选择。

在下述情况下可优先选用土压式盾构机施工：

(1) 在含有足够的细颗粒、适宜的含水量、水压较小土壤里开挖隧道时。

(2) 隧道沿程有高含量的细料和黏性颗粒（如不固结的黏土、白垩岩等）。

(3) 对于地下水的污染有较高环保要求时。

在地层渗透性强、地下静水压力较高或非黏性土层中，可选用泥水式盾构机施工。

**4.8.4** 在 I、II 类围岩中，开挖中断面以上的竖井、斜井的导井时，反井钻机适用于岩石抗压强度小于 200MPa，钻进直径小于 2.0m、深度小于 250m、倾角大于 45°的斜导井和深度小于 400m 竖井的开挖。

国内的反井钻机在水利水电工程上一般用于 45°~90°大倾角斜井、竖井的施工，国产反井钻机直径一般为 1.2m、1.4m、2.0m，深度可达 400m。

国外反井钻机扩孔直径可达 7m，井深可达 1000m，可在 0°~360°范围内使用，从软岩到硬岩均可使用反井钻机进行施工，但岩石硬度会影响钻机的钻速。

随着反井钻机性能的不断更新，反井钻机在水利水电工程中将会更广泛应用。

**4.8.6、4.8.7** 洞室的出渣运输方式需根据开挖断面尺寸、洞深及出渣运距、施工进度要求及设备来源等因素确定。运输机械设备需与钻孔或掘进机械设备及衬砌机械设备的类型相适应。洞室的出渣运输分为有轨运输、无轨运输及带式运输三种方式，这三种运输方式都有各自的优点。

当采用有轨、无轨两种方式均能满足工程要求时，需对两种方式进行比较。无轨运输生产率高，道路基建和维护工作量少，设备机动灵活，通用性好，几个工作面 and 工种有可能共用一套运输设备，设备利用率高，能实现洞外远距离弃渣。但当洞内运输距离长时，柴油机的废气处理量大，增加通风难度和费用。有轨运输废气排放量少，通风要求较低，适用于各种断面尺寸。当洞



口距开挖工作面距离大于 2km, 通风条件很差, 断面的高宽尺寸在 5~6m 以下时, 可考虑选用有轨运输。但有轨运输设备转移不够方便, 一套设备投资较多, 只能在支洞口附近弃渣, 而且设备转售价值较低。采用无轨运输方式, 则钻孔、装渣、喷锚支护及衬砌设备都应采用无轨式; 采用有轨运输, 则上述配套设备都需采用有轨式。因此, 选用无轨或有轨运输, 实质上需对洞挖施工机械设备配套方案作全面的技术经济比较, 而不能仅对运输方式作比较。

根据装岩机的斗容、生产率、运输条件及调车方式, 一般选用大容量斗车, 装岩机的生产率随斗容量成比例增长。调车设施可选用活动浮放道岔、垂直摘车器、横向平移调车器等。装载装置可选用渣斗转渣机或带式转载机等。有轨车辆的牵引设备需优先选用蓄电池式电动机, 当牵引力不能满足要求时, 才选用架线电机车或内燃车。选用内燃机车, 由于排放废气, 需注意洞内通风。

**4.8.9** 在施工中应注意混凝土的脱模时间问题。

**4.8.10** 不同的碾压机械其压实机理是不同的, 因而其适用的土质也是有区别的, 选用时需根据工作对象来考虑, 以便选择最适宜的碾压设备。由于防渗体土料种类不一, 碾压防渗体土料所用的设备也各异, 但最常用的是轮胎碾、羊足碾或振动凸块碾。同一种土质虽有几种压实机械可供选择, 但其压实效率和经济效益是有差异的, 因此选用时可通过碾压试验与技术经济比较确定。一般情况下, 对含水量略低的黏性土防渗料, 可用羊足碾压实; 对含水量略高的, 可用轮胎碾压实; 对黏性土料、砾质土及软弱风化土石混合料也可用振动凸块碾压实, 石头河坝使用振动凸块碾碾压心墙, 国外常使用 40~50t 轮胎碾, 甚至 90~100t 轮胎碾碾压心墙。

对坝壳料的压实而言, 振动碾适用于堆石、砂卵石、砂砾石和砾质土; 轮胎碾适用于砂、砂砾料、砂质土、黏性土料; 尖齿碾仅适用于软弱风化石料。

对反滤料的压实而言, 振动平碾适用于各种施工方法; 轮胎碾适用于土砂平起法施工; 机械夯板适用于松土厚度较大的先土后砂法; 平板振动打夯机适用于设计宽度小的土砂平起法施工。

混凝土面板下的堆石垫层和沥青、混凝土防渗斜墙或心墙的过渡层的压实标准要求很高, 一般要用振动碾才能达到要求, 特别是当过渡区由含极少量细颗粒材料所构成时, 更是如此。碾压时, 除要求水平薄层压实外, 还要求用振动碾在坡面上仔细碾压, 一般上行振压, 下行静压。

随着钢筋混凝土面板堆石坝坝型的迅速发展, 为了简化垫层料施工程序, 提高施工速度, 巴西 ITA 坝成功开发并采用了挤压混凝土边墙施工技术。在我国通过几年来的消化和吸收, 已由陕西省水利机械厂成功研制出了 BJY-40 型混凝土边墙挤压成型机, 并于 2002 年起, 在公伯峡和水布垭等工程中得到了实际应用。

碾压机械设备的机型选定后, 尚需确定各种压实工作参数, 包括适用于所选压实机械设备的土料的最优含水量、铺填松土厚度、接触压力和碾重、压实遍数以及机械的作业速度等。对于振动碾尚需规定振动碾的总作用力和振动频率。工程实践证明, 振动碾的振动频率对碾压效果是有影响的。一般认为, 当振动频率与振动碾压土体组成的振动系统的固有频率一致时, 能达到最好效果。实践表明, 对非黏性土砂砾料、堆石和中等弱黏性土, 可采用频率为 30~40Hz 的振动碾进行碾压; 对沥青混凝土等, 可采用频率 40~50Hz 的振动碾进行碾压。

另外, 轮胎碾的碾重在气胎允许变形条件下, 一般尽量增大。因为轮胎碾与被压材料的接触压力主要是由轮胎的负荷和轮胎内压而定, 加大轮胎内压, 可提高接触压力强度。如果胎压不变, 仅增大轮胎负荷, 接触压力不会增加太多, 但压实深度增大了。因此, 为了提高轮胎碾的生产效率, 需尽量增加碾重, 而胎压的大小则需根据土料性质和要求的密度而定。过小的胎压不能产生需要的压强, 过大的胎压又可能使土料表面产生剪力破坏,



降低土料表面的强度。

用碾压机压实土料时，碾磙与土料之间需具有一定的接触压力，这样才能使土料在负荷移开以后仍能维持被压实变形的紧密状态。但碾磙的接触压力不允许超过压实土料的极限强度，通常是将接触压力定为土料极限强度值的 0.9~1.0 倍。这是确定碾重的依据，对可以增减配重的碾压机更是如此。

当压实机械设备的各种压实参数和压实方法选定之后，就可以此为依据进行施工，并监督压实、规范实施，严格控制压实质量，现场压实质量的检查主要是测定压实土体的干密度是否达到要求，测定方法以中子水份密度仪最为方便快捷。

土石坝施工设备选型工程实例：小浪底壤土斜心墙堆石坝，坝高 154m，坝顶长 1667m，大坝体积 5185 万  $\text{m}^3$ 。坝基砂砾石覆盖层最深达 80m 左右。大坝工程于 1994 年 12 月开工，2001 年 7 月完工。小浪底坝是当今我国最高的心墙土石坝，是当代土石坝施工水平的代表。其心墙坝料为粉质壤土，坝壳料为硅质细砂岩爆破堆石。堆石施工工艺流程为：液压履带钻机造孔、台阶爆破松动石料→10.3 $\text{m}^3$  挖掘机装料→60t 自卸车运输上坝→推土机辅料→17t 自行式振动平碾碾压。心墙土料施工流程是：推土机开采集料→装载机装料→36t 和 60t 自卸车运输上坝→17t 自行式振动凸块碾碾压。要求填筑含水量与最优含水量的偏差为 -1%~+2%，压实度 1.00 的合格率为 100%。小浪底坝施工以高度机械化和严格的施工管理实现了高强度、高水平和高效率，最高月填筑强度达到 158 万  $\text{m}^3/\text{月}$ ，最大日填筑强度 6.7 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ，坝体最大月升高 8m，月填筑不均匀系数为 1.31。

**4.8.11** 混凝土直接从带式输送机入仓，经国内工程实践证明有以下问题：

(1) 混凝土骨料分离。

(2) 料堆集中。

(3) 砂浆损失多。根据丹江口工程测试资料，滑槽、储料斗等黏附造成的砂浆损失为 1.5%~2.5%，带式输送机损失为

0.63%~2.14%（未计多台带式输送机转运）。

汽车直接入仓主要问题有：

(1) 入仓前很难保证将车轮冲洗干净。

(2) 倒退入仓无法铺砂浆；葛洲坝一期工程有严重教训，二期工程有相同问题出现而禁止使用汽车直接入仓。汽车运送混凝土道路需平整，以免过分震动而使混凝土液化泌水和骨料下沉分离。

**4.8.12** 门座式起重机（简称门机）适用于混凝土工程量较大、浇筑强度较高的大型闸、坝工程。塔式起重机（下列简称塔机）也基本上相同，但更适宜布置应用在建筑物呈铅直壁面的工程。

由于起吊设备栈桥一般在基坑开挖后浇筑桥墩及安装设备，因而时间上不能满足建筑物基础混凝土浇筑要求，栈桥上起吊臂杆也还不可能完全控制各个部位混凝土浇筑，因此栈桥方案尚需辅以其他浇筑设备。

所用机型和栈桥布置一般根据坝或厂房体形、尺寸和技术要求而定。对于 100m 以上高坝常需设高、低栈桥，往往还需拆迁。同一栈桥上设备台数须满足相互间运行安全要求。

**4.8.13** 塔式皮带起重机（简称塔带机）适用于混凝土工程量较大、浇筑强度较高的高大型闸、坝工程。

塔带机生产率高，可适应浇筑常态混凝土及碾压混凝土，运送两种以上品种混凝土时改变混凝土品种较困难，国内工程中除三峡工程外较缺乏实践经验，所以塔带机的布置及选择要根据坝或厂房布置、混凝土系统布置通过技术经济、工期分析比较后确定。

**4.8.14** 平行移动式缆索起重机适用于各种坝型，特别对峡谷中的重力坝利用率较高。其主、副塔需紧靠河岸布置，使主索跨度较短。由于两岸需设置既平行、且高差不太大的行走平台，故对两岸地形要求较高，土建工程较大；且缆机结构较复杂，安装工作量较大。施工中可能发生压块现象，尤其是宽河床、多坝段的工程，对多机组的坝后厂房，当用缆机吊装钢管和进水口埋件



时,处于主索下的其他坝块都不能作业。

辐射式缆机由于只有一岸行走平台,布置较灵活,易适应地形。适用于各类坝型,更适用于薄拱坝施工。

当两台辐射式缆机及同平台共轨运行时,欲取得更大的工作控制面,可将两台缆机固定塔分开设置。

固定式缆机要专门用于转料、安装或协同移动式缆机工作。其优点是具有较大的跨度和起重量,适应各种地形条件,基础工程量小,结构简单。缺点是:工作面仅呈狭窄带状,使用范围有限,若欲扩大工作面,可用摇摆塔式等改进型的缆机。

**4.8.15 碾压混凝土施工设备**包括拌制、运输、摊铺、碾压等设备,是保证碾压混凝土快速、连续的高度机械化施工的关键,因此各环节设备选择非常重要。

根据国内外实践,自卸汽车、带式输送机、负压溜槽(管)、专用垂直溜管等设备均已比较成熟,是碾压混凝土运输的主要设备;缆机、门机、塔机等机械也可作为辅助运输工具。

根据我国的工程实践,BW-200、BW-201D、及BW-202AD型振动碾较适用。国内外类似性能的振动碾,其激振力、振动频率经试验能满足技术要求的也可采用。

**4.8.16 制备沥青混合料的拌和设备**无论是固定式、半固定式还是移动式,其作业方式有三种类型,即循环作业式、连续作业式和综合作业式。循环作业方式的拌和设备简单,对地方性工程易于实现,由于它存在间断性喂料与连续作业烘干之间的矛盾,使燃料不能得到充分利用,同时由于砂石料先计量、后加热,并由于砂石料在烘干机内产生撞击和摩擦,影响到配料精度,故在条文中对大中型工程没有推荐采用循环作业方式。综合作业方式能保证配合比准确,燃料消耗低,能避免超温的砂石料造成沥青在拌制过程中的老化,制成的沥青混合料质量较好,虽然这种装置的一次性投资费用较高,但对大中型工程较为适宜。国外现有一种新型的滚筒式拌和设备,是连续作业式,极具推广价值。

双轴强制式搅拌机搅拌能力强,出料方便,特别适宜拌制黏

稠状的沥青混凝土,搅拌机的容量一般为其几何容量的45%~55%。

内热式沥青加热锅的热效率高,燃料消耗低,机械化程度较高,使用方便,但设备复杂,投资大,一般有条件的工程才采用。

骨料烘干、加热常用的方法:一是钢板炒拌加热,此法工效很低,燃料消耗高,仅适用于小型工程;二是用燃油(或燃煤)的内热式加热滚筒,适用于规模较大的工程,如正岔水库所采用的 $\phi 600\text{mm} \times 3.50\text{m}$ 烘干机,石岭峪水库采用的 $\phi 1000\text{mm} \times 5.70\text{m}$ 烘干机,碧流河水库的LB-30型沥青混合料制备系统采用 $\phi 1200\text{mm} \times 5.70\text{m}$ 烘干机。国内各工程的烘干机倾角通常为 $3^\circ \sim 6^\circ$ ,倾角过大,出料过快,加热温度不易达到要求;反之,倾角过小物料可能过热,且降低生产效率。由于气温条件,矿石料含水率的变化,倾角的控制需要通过试验确定。

填料是否加热,需由施工技术人员决定,从以往的经验来看,采用红外线加热器或外热式加热筒进行加热较为有效。

因沥青混凝土属于高温、黏筒物料,而且要维持 $140 \sim 180^\circ\text{C}$ 的浇筑温度,所以对运输设备有下列特殊的要求:

(1) 运输机械设备需做到快装、快运、快卸,减少倒运次数,减少运输途中的散热,沥青混凝土的出机口温度一般都是由运输等环节温降决定的。例如聚宝水电站大坝为浇筑式沥青混凝土心墙,沥青混凝土入仓温度不低于 $155 \sim 170^\circ\text{C}$ ,而出机口温度要达到 $160 \sim 190^\circ\text{C}$ 。如要对沥青混凝土进行保温,可在料箱底部及四周均加石棉板隔热保温,对沥青混凝土进行保温的条件是依据大量工程实践的数据制定的,在气温低于 $15^\circ\text{C}$ ,运输时间大于 $10\text{min}$ ,或者气温在 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 而运输时间大于 $20\text{min}$ ,或者气温在 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 而运输时间大于 $30\text{min}$ 等条件下要有保温设施。

(2) 沥青混凝土面板工程规模较大时,采用专用机械设备铺筑,沥青混合料的运输多数采用汽车配立式保温吊罐。这种运输



方式机动灵活,运输温度损失少,只有当工程规模不大,半机械化铺筑或布置运输道路困难时,可采用其他运输方式,如直接用翻斗车或自卸汽车运输,如果在坝体填筑时有窄轨铁路,也可用窄轨铁路运输底开式立罐。

(3) 在大中型工程中,一般用汽车把沥青混凝土立罐运至坝顶,再由移动式起重机吊起立罐,然后将沥青混凝土卸入喂料车转运至摊铺机。在小型工程中,因施工场面窄小,可不设喂料车。

沥青混凝土的斜坡运输除上述两种方法外,还可根据实际作业条件,选用空中运输或水平斜坡两用运输车。空中运输是用起重机将料罐吊至摊铺地点附近的摊铺机卸料,起重机可以是缆索式起重机或移动式起重机,水平斜坡两用运输车既兼作水平运输,又兼作斜坡运输。在斜坡上运行时需由卷扬机牵引,沿坝坡下行至摊铺地点卸料。在美国蒙西马利坝,设计有一可沿坝顶移动的旋转斜面,汽车可开上此斜面、挂上卷扬机上的钢绳,斜面经旋转一定角度后,使其后端朝向坝坡,则可用卷扬机放绳下坡。

沥青混凝土配套设备的容量需满足后续工序的设备容量略大于紧前工序,以保证整个施工过程中所有设备都能高效率地工作,具体要求如下:

(1) 水平运输的车辆或料罐的容量需略大于搅拌机的出料容量。

(2) 斜坡运输的车辆或喂料车的容量需大于运输车辆或料罐的容量。

(3) 斜坡摊铺机料斗的容量需略大于斜坡喂料车或斜坡运输车辆

车辆的容量。

另外,水平运输车辆(或料罐)不要过小,否则不仅热量损失大,漏料多,而且影响斜坡作业机械生产率。

国内外用于摊铺斜墙沥青混凝土的摊铺机可分为牵引式与桥式两种,桥式只适用于斜坡短并等长的斜墙工程。摊铺速度

以 $1\sim 3\text{m}/\text{min}$ 为宜。牛头山工程使用的摊铺机,摊铺速度为 $0.8\text{m}/\text{min}$ ,摊铺速度取决于沥青混凝土的供应,以保证不中断为原则。对于兼作斜坡运输的摊铺机,为兼顾运输的需要,一般开行速度为 $15\sim 20\text{m}/\text{min}$ ,对摊铺显得过高。要同时满足斜坡运输快、摊铺慢两种要求,最好能用变速的卷扬机牵引,故在条文中提出了这一要求。

为了尽快地使已经摊铺的沥青混凝土达到可能的密实度,可使用带可加热的夯实棒和振动板、压实梁的摊铺机。

斜坡摊铺机的铺设宽度、铺设厚度等参数需能满足施工工艺要求。国产摊铺机的标准铺设宽度为 $2.8\text{m}$ ,如果采用道路铺筑用的摊铺机,需适当加以改造,并要选用轮胎式,附带的整平装置最好是属于振动式,德国公司把一种带加热装置的整平装置成功地用于工程建设。

斜坡沥青混凝土一般采用振动碾,分两次或三次碾压,初始碾压一般用附在摊铺机后的轻型振动碾碾压。当摊铺机没有初压设备时,亦可用振动力较大的一种斜坡振动碾完成初碾至终碾的全部碾压过程,一般斜坡面板振动碾不能自行,需由坝顶卷扬台车牵引,上行振动,下行静碾。碾压机械的碾压力不要过大,以防沉陷。

斜坡上的振动碾最好是铰接车架式,并且每个碾轮内都有偏心激振机构,以便振动碾有较好的灵活性。碾压条件千差万别,用经验或理论计算确定的碾压参数需由现场碾压试验进行修正。

可移式卷扬台车可同时牵引喂料车、摊铺机,移动方便,安全可靠,在牛头山工程中应用过。可移式卷扬台车一次性投资大,对中小型工程不经济,因此可考虑采用其他斜坡施工机械设备牵引及锚锭的方法,如斜坡机械设备—卷扬机—装拆式拉杆—地锚;斜坡机械设备—活动转向滑车—卷扬机—地锚;斜坡机械设备—卷扬机—推土机或拖拉机—活动地锚等。

沥青混凝土心墙的铺设方法有:人工、半机械化、机械化(专用铺筑机)三种。人工铺压工效低,质量不易保证,故只适



用于工作量小或专用机械设备无法达到的地方。半机械化铺筑是利用活动钢模板形成的腔体,将沥青混凝土用机械填入,人工摊铺,然后用自行式振动碾压实,可用于中小型心墙工程。机械化施工是采用专用的铺筑机,它装有远红外加热器,可对底层沥青混凝土加热,并装有滑动模板,随机械设备前进而移动;过滤层和沥青混凝土同时摊铺,装在机尾的振动板对沥青混凝土进行初步压实。这种专用铺筑机不仅施工速度快,质量也较有保证,故条文中推荐采用。

沥青混凝土心墙专用设备可用于铺筑的心墙厚度为 30~120cm,也可用于设有层间交错和有严格斜度要求的斜心墙,心墙和加热设备有长约 4m 的钢罩保护起来,以防其与过渡区填料接触。此外,这种专用设备有一套抽排装置,用来排除在其他方面可能危及层间黏结强度的灰尘等沉淀物。

封闭层的涂刷,需尽可能采用机械化施工,在缺乏专用设备时,可用橡胶刮板涂刷。封闭层沥青玛王帝脂的涂刷方法主要有如下两种:

(1) 橡胶刮板涂刷。设备简单,操作方便,质量基本上可满足要求,这是我国的传统方法。

(2) 专用涂刷机涂刷,这种装置有一个或两个橡皮刀口的橡皮板摊铺箱,以保证封闭层的厚度均匀,并有升降装置来调整厚度。专用涂刷机在国外采用较多。

**4.8.17 地基处理工程的种类很多,按处理的方法可分为:**基础面修整、灌浆(在水工建筑物中所起的作用划分有帷幕灌浆、固结灌浆、接触灌浆、回填灌浆和接缝灌浆等,采用材料有水泥、水泥黏土或化学材料)、防渗墙、桩基(钻孔灌注桩、振冲桩、旋喷桩及深层搅拌桩)、预应力锚固等。

泥浆护壁钻孔灌注桩包括正循环回转钻孔、反循环回转钻孔、潜水电钻钻孔、冲击钻机钻孔、旋挖钻机钻孔、抓斗成孔等成孔方法的灌注桩。泥浆护壁钻孔灌注桩适用于各种土层、风化岩层,以及地质情况复杂、夹层多、风化不均、软硬变化较大的

地层。桩径和桩深较大,而且不受地下水位限制,可在地下水丰富的地层中成孔,但在岩溶发育地区需慎重使用。钻孔灌注桩还能穿透旧基础、大孤石等障碍物。

干作业成孔灌注桩包括长螺旋钻孔、短螺旋钻孔、洛阳铲等成孔方法的灌注桩。干作业成孔灌注桩一般只适用于地下水位以上的黏性土、粉土、中等密实以上的砂土层。

灌浆造孔一般采用的钻机有回转式、冲击式和回转冲击式三种。目前使用最多的灌浆造孔机械是回转式钻机,它的钻进速度较高,不受孔深、孔向和岩石硬度的限制,还可钻取岩芯。钻灌不超过 20m 且不要求钻取岩芯的浅孔可采用移动方便的风钻或架钻等冲击式钻机。回转冲击式钻机钻进速度快,适用于各种地层,多用于固结灌浆等不需要钻取岩芯要求的灌浆工程。灌浆造孔机械动力方式一般分风动和电动两种。对空间狭小,通风不畅的灌浆工程,需选择电动动力机械。

为了对墙体质量和防渗效果进行检查,处理坚硬大孤石及进行必要的补充地质勘探,尚需配备一定数量的岩芯钻机,一般选用 100~300 型的地质钻机。

防渗墙施工挖槽占整个施工工时的一半左右,挖槽精度直接影响防渗墙的质量,因此慎重的选择挖槽方法和挖槽机械设备是保证工程高速度、高质量的关键。其机械选择如下:在国内常使用的挖槽机械设备有 CZ 型钢丝绳冲击钻机、反循环回转式钻机、反循环多头潜水钻机、回转冲击钻机、液压抓斗等。结合我国现有大量冲击钻机的特点而研究的用冲击钻钻凿主孔,用抓斗抓取副孔中土体的“两孔一抓”成槽施工技术,提高了成槽施工速度,国内工程实践证明,这种方法比单独用冲击钻造孔能降低造价、提高工效。

在国外,防渗墙挖槽最常用的是抓斗,挖掘深度 30~40m,对太深的槽则不经济,液压抓斗工效已达 270t/台班。常用的机械还有冲击式、回转式、铣切式挖槽机械。反循环回转冲击钻机单机成槽工效达 80~100m<sup>2</sup>/台班,能自行纠偏的造孔机械设备



精度可达 1/500 以上,挖掘深度达 100m 左右。

防渗墙成槽施工选用的专用成槽机械的特点为:

(1) 液压铰槽机是一种带有 3 个潜入孔底的液压马达和泥浆反循环系统的开挖设备,我国于 1996 年首次引进了一台 BC30 型液压铰槽机用于长江三峡二期围堰防渗墙施工,2003 年又引进一台适用于廊道施工的矮尺寸的 CBC25/MBC30 型低净空铰槽机,首先用于四川冶勒廊道防渗墙施工。这两种型号的铰槽机械均适用于均质的地层,包括比较坚硬的岩层。

(2) 钢丝绳抓斗成槽机械结构比较简单,易于操作维修,运转费用较低,广泛应用在较软弱的冲积层中造墙,可挖掘宽度为 30~150cm,最大深度可达 130m;液压抓斗是通过液压油缸提供动力,从而驱动左右两个组合斗或多个颚板的开合抓取和卸出散状物料的一种工作装置。由多个颚板组成的抓斗也叫抓爪。

(3) 钢丝绳冲击式钻机(简称冲击钻)是通过钻头向下的冲击运动破碎地基上,借助于泥浆固壁和出渣,而形成钻孔。钢丝绳冲击钻机结构简单,操作、维修和运输方便,价格低廉。因此,尽管冲击钻效率较低,仍在我国水利水电和其他行业中被普遍采用。

(4) 射水成槽机,以高压射水冲击破坏土体,土渣与水混合回流溢出地面,或反循环抽出,经矩形成槽箱修整后形成槽孔。造孔过程中采用自然泥浆固壁,成槽后用直升导管法浇筑混凝土成墙,主要由正反循环泵组、成型器和拌和浇筑机组成。

(5) 锯槽机是通过锯管的上下往复运动,以锯齿克取土体,形成连续的沟槽,再浇筑墙体材料成墙。当槽底有起伏不平的岩面、陡坡时,施工难度大。

(6) 链斗挖槽机是通过串联的链条及链条上的链斗,对地层进行连续挖掘和排出钻渣,形成沟槽。其最大挖槽深度 12m,槽宽 0.15~0.30m。挖掘的槽孔宽度一致,连续性好,工效较高,平均工效 450~600m<sup>2</sup>/d。

三峡二期围堰防渗墙施工中使用了液压双轮铣切式挖槽机。

小浪底水利枢纽主坝右岸部分防渗墙轴线长 259.60m,造孔进尺 15183.70m,截水面积 10540.63m<sup>2</sup>,浇筑混凝土 21526.90m<sup>3</sup>,最大墙深 81.90m,防渗墙分为 43 个槽孔,单数号槽孔为一期槽,双数号槽孔为二期槽,槽孔长度为 6.6~8.7m,主孔长均为 1.20m,副孔长 1.30~1.95m。采用 CZ30 型和 CZ22 型钢绳冲击钻机造主孔,液压导板抓斗抓部分副孔,另一部分副孔采用钻劈法施工。总计投入冲击钻机 20 台,液压导板抓斗 1 台,2m<sup>3</sup> 卧式泥浆搅拌机 10 台。防渗墙混凝土由 JS500 型卧轴强制式混凝土搅拌机拌和,造孔泥浆由 10 台 2m<sup>3</sup> 泥浆搅拌机生产。

2009 年 4 月 5 日,由中国葛洲坝集团公司基础公司承担施工的向家坝水电站二期围堰防渗墙施工全面完成,比计划工期提前半个月,其工效创国内同类地层领先水平。受复杂地质条件影响,该项目施工具有任务重、工期紧、难度大等特点。经过 3 个月的艰苦奋战,共完成上下游围堰防渗墙造孔进尺 26397m,成槽浇筑 108 个槽段,成墙面积约 21362m<sup>2</sup>,并创造了平均每天 60m 深槽段高强度造孔和每天完成两个槽段施工的新佳绩,用 68 台钻机设备完成了原计划需 108 台设备完成的所有施工任务,工时、工效超过向家坝一期围堰基础防渗工程的 30% 左右。

泸定水电站大坝防渗墙工程位于四川省泸定县境内,该工程是我国施工规模较大、墙体较深、工期最紧、难度空前的地下防渗墙工程项目,极具难度和挑战性。2008 年汛前,中国水电基础局有限公司最终以成功浇筑 116m 孔深单元槽段的成绩书写了当时国内防渗墙施工的最好成绩,并以拔管 113.6m 的数据刷新了 94m 的国内拔管最高纪录;取得了防渗墙单孔施工造孔 154m 的成绩。

西藏旁多水利枢纽工程主要由碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝、泄洪洞及泄洪兼导流洞、发电引水系统、发电厂房和灌溉输水洞等组成,为 I 等大(1)型工程。坝址控制流域面积 16370km<sup>2</sup>,水库总库容 12.3 亿 m<sup>3</sup>,正常蓄水位 4095m,灌溉



面积 67 万亩，电站装机容量 160MW，大坝坝顶高程 4100m，最大坝高 72.3m。

坝基防渗墙轴线沿沥青混凝土心墙轴线布置，防渗墙轴线全长 1073m，设计成墙面积 12.5 万  $\text{m}^2$  左右。防渗墙工程分两期施工，一、二期分界处桩号为 0+758.60，一期导流期间主要施工左岸漫滩和阶地基础防渗工程，二期导流期间主要施工右岸预留约 210m 宽河床部位基础防渗工程。

坝基地质特征为：①左岸河漫滩、阶地段基岩埋深远大于 150m，有些部位甚至超过 424m；②覆盖层中广泛分布有漂石透镜体、粉细砂透镜体、孤石透镜体等特殊地层。因此，给超深防渗墙施工带来了极大挑战。

该工程混凝土防渗墙的主要施工机具为：利勃海尔 HS875HD 重型钢丝绳抓斗、HS885HD 重型钢丝绳抓斗、金泰 SG40 重型液压抓斗、利勃海尔 HS843HD 钢丝绳抓斗、CZ-A 或 ZZ-6A 型冲击钻机、YBJ-800/960 型大口径液压拔管机。

中国水电基础工程局有限公司基于固壁泥浆技术、垂向滑膜技术、排渣技术和水下混凝土浇筑技术等，应用新材料和新工艺的创新，成功地在海拔 4033m 的高原高寒缺氧地区建成了 158.47m 世界最深防渗墙，它标志着我国在该领域的科研、设计、施工水平已跃居世界领先行列。

用振冲法处理软基的工效与振冲器的功率及地基情况有关。振冲器功率越大，所形成的振冲置换桩直径越大，加密面积越大。例如，用 30kW 振冲器在砂土中工效为 40~50m/台班；在黏土中工效为 30~40m/台班。用 75kW 振冲器比用 30kW 振冲器单位功率控制加密面积提高 1.25 倍。在大面积施工时使用 75kW 振冲器施工，孔数和填料量均可减少 50%，工期和造价亦可下降 50% 以上。

## 5 施工交通运输

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 本条规定对外交通和场内交通范围，同时明确施工交通运输设计的总体任务。对外交通是联系施工工地与国家（或地方）公路、铁路车站、水运港口之间的交通。对外交通公路均为永久交通公路。场内交通为连接场内永久建筑和临时建筑、设施的交通，场内交通道路分为场内永久交通道路和场内临时交通道路。在设计时需充分考虑水利水电工程交通运输的如下特点：

（1）对外交通一般运距较长，运输量和运输强度相对比较稳定，运输工具比较单一，而且一般在工程竣工后还要作为水电站永久对外交通。施工期间一般自成系统。

（2）场内交通需符合枢纽工程施工总布置的规划，满足施工总进度的要求。场内运输包括：工程外来器材和物资、施工工厂设施产品、工程堆弃物料、经过工地的当地运输物资、进出工地的各类人员的运输。运输量及运输强度的分析计算是以工程施工总进度为依据，确定各个时段物料需要量，并选择大宗物料运输作为重点，再叠加计算各单项工程（或工作面）、各场（厂）区、各施工工厂设施不同时间段的运输强度和主要料物运输流向，确定运输道路的走向、规模及技术标准。

（3）场内交通运输比较复杂，其中有外来物资的转运，以及大量土石方的堆弃、回填、砂石骨料及混凝土的浇筑运输等。这些运输多是与工程施工直接联系，往往对运输要求严格，且水利水电工程施工的特点是地形条件复杂、运输强度大、车型大，又多是临时性质，工程完工后一般无用途，即使使用，运输量也大大减少。

**5.1.2** 根据我国水利水电工程多年来的实践经验，公路运输具有方便、灵活、可靠、适应性强、投资少、工期短的特点，可以



面积 67 万亩，电站装机容量 160MW，大坝坝顶高程 4100m，最大坝高 72.3m。

坝基防渗墙轴线沿沥青混凝土心墙轴线布置，防渗墙轴线全长 1073m，设计成墙面积 12.5 万  $\text{m}^2$  左右。防渗墙工程分两期施工，一、二期分界处桩号为 0+758.60，一期导流期间主要施工左岸漫滩和阶地基础防渗工程，二期导流期间主要施工右岸预留约 210m 宽河床部位基础防渗工程。

坝基地质特征为：①左岸河漫滩、阶地段基岩埋深远大于 150m，有些部位甚至超过 424m；②覆盖层中广泛分布有漂石透镜体、粉细砂透镜体、孤石透镜体等特殊地层。因此，给超深防渗墙施工带来了极大挑战。

该工程混凝土防渗墙的主要施工机具为：利勃海尔 HS875HD 重型钢丝绳抓斗、HS885HD 重型钢丝绳抓斗、金泰 SG40 重型液压抓斗、利勃海尔 HS843HD 钢丝绳抓斗、CZ-A 或 ZZ-6A 型冲击钻机、YBJ-800/960 型大口径液压拔管机。

中国水电基础工程局有限公司基于固壁泥浆技术、垂向滑膜技术、排渣技术和水下混凝土浇筑技术等，应用新材料和新工艺的创新，成功地在海拔 4033m 的高原高寒缺氧地区建成了 158.47m 世界最深防渗墙，它标志着我国在该领域的科研、设计、施工水平已跃居世界领先行列。

用振冲法处理软基的工效与振冲器的功率及地基情况有关。振冲器功率越大，所形成的振冲置换桩直径越大，加密面积越大。例如，用 30kW 振冲器在砂土中工效为 40~50m/台班；在黏土中工效为 30~40m/台班。用 75kW 振冲器比用 30kW 振冲器单位功率控制加密面积提高 1.25 倍。在大面积施工时使用 75kW 振冲器施工，孔数和填料量均可减少 50%，工期和造价亦可下降 50% 以上。

## 5 施工交通运输

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 本条规定对外交通和场内交通范围，同时明确施工交通运输设计的总体任务。对外交通是联系施工工地与国家（或地方）公路、铁路车站、水运港口之间的交通。对外交通公路均为永久交通公路。场内交通为连接场内永久建筑和临时建筑、设施的交通，场内交通道路分为场内永久交通道路和场内临时交通道路。在设计时需充分考虑水利水电工程交通运输的如下特点：

（1）对外交通一般运距较长，运输量和运输强度相对比较稳定，运输工具比较单一，而且一般在工程竣工后还要作为水电站永久对外交通。施工期间一般自成系统。

（2）场内交通需符合枢纽工程施工总布置的规划，满足施工总进度的要求。场内运输包括：工程外来器材和物资、施工工厂设施产品、工程堆弃物料、经过工地的当地运输物资、进出工地的各类人员的运输。运输量及运输强度的分析计算是以工程施工总进度为依据，确定各个时段物料需要量，并选择大宗物料运输作为重点，再叠加计算各单项工程（或工作面）、各场（厂）区、各施工工厂设施不同时间段的运输强度和主要料物运输流向，确定运输道路的走向、规模及技术标准。

（3）场内交通运输比较复杂，其中有外来物资的转运，以及大量土石方的堆弃、回填、砂石骨料及混凝土的浇筑运输等。这些运输多是与工程施工直接联系，往往对运输要求严格，且水利水电工程施工的特点是地形条件复杂、运输强度大、车型大，又多是临时性质，工程完工后一般无用途，即使使用，运输量也大大减少。

**5.1.2** 根据我国水利水电工程多年来的实践经验，公路运输具有方便、灵活、可靠、适应性强、投资少、工期短的特点，可以



独立完成水利水电工程施工的运输任务。铁路运输一般不够灵活,适应性较差,且投资大、工期长。水路运输同样存在不够灵活、适应性较差的问题,且河道通航往往受季节性影响。铁路运输和水路运输都难以独立完成水利水电工程施工的运输任务,必须和公路运输结合使用,或者作为施工交通运输的辅助(或备用)方式。因此,在进行新建施工交通运输设计时要考虑采用公路运输方式。同时,需充分利用国家已有的铁路干线、航道、转运站、货场、码头等设施。

**5.1.3** 施工交通道路需保持良好的技术状况,才能经济地完成其施工运输任务。但是道路的养护以往多被人们忽视,结果路况很差,造成车辆过早损坏,加大了配件、轮胎和油料消耗,影响生产和安全。为了引起有关部门对此项工作的重视,本标准明确规定,需设置与其标准相适应的安全交通管理、维护等设施,以及经常作好养护以保持其良好的技术状态。这些要作为设计内容,以解决养护机构和劳动力指标等,而不是要求在设计规范中规定具体养路技术问题或管理问题。

## 5.2 对外交通

**5.2.1** 对外交通运输方案选择的正确与否直接影响水利水电工程的进度和造价,因此需慎重对待。在进行方案比较时,需进行综合分析,技术上需满足施工进度对运输的要求,运行需方便灵活,方案本身经济合理,工期短、便于与场内交通衔接,并能减少占地面积和中转环节。在进行经济分析时,需计算投资及综合经济效益,如有条件,需采用系统分析方法进行选择。

**5.2.2** 外来物资总运输量、分年度运输量和运输强度是对外交通设计的重要内容,也是运输方案选择的基本依据,需分项计算,避免漏项。水利水电工程运输量的组成:主要外来物资和设备有水泥、木材、钢材(包括钢筋、钢板、型钢及金属结构等)、施工机械设备、永久机电设备、爆破材料(包括炸药、雷管、导火线等)、生活物资及其他器材物资(包括化工产品、医药、工

具、施工队伍转移等)。

**5.2.3** 对本条文所列运输方案选择需考虑的若干因素阐述如下:

**1** 工程所在地区附近可资利用的交通运输条件,是选择交通运输方案的基本条件,任何方案都脱离不了现有交通运输条件,进行方案选择时,需充分掌握并着重研究工程所在地区可资利用的交通运输条件。

**2** 施工期间的总运输量和运输强度对运输方案及线路标准的拟定有着极为密切的关系,是决定运输方案的主要因素。大、中型水利水电工程在施工期间的对外总运输量和运输强度均比较大,选定的方案需满足其要求。因此需着重分析研究、合理确定总运输量及运输强度。

**3** 主要外来物资,特别是水泥、粉煤灰、钢材等的来源、运输条件是选择对外交通方案的重要因素。

**4** 重大件运输也是影响对外交通运输方案的一个重要因素,对外交通运输方案需能满足重大件的运输要求。

**5** 与国家(地方)交通干线的连接条件需充分分析研究,在现有线上联接需与有关主管单位进行联系。铁路设计规范明文规定:铁路专用线与路网接轨,需经该主管路局同意;在工业企业上接轨,需经该主管单位同意;在新线上接轨,需经该主管设计单位同意。公路接线也是如此。同时也需分析研究该联接地点是否能满足施工交通运输的要求。

场内交通是对外交通的延续,在研究对外交通方案时,需密切联系场内交通,尽可能使场内、外交通联系成为一个有机的整体,使外来物资尽快运往各用户,尽可能减少中转环节。

**6** 专用线的标准需根据施工总进度合理选定,确定的技术标准需能满足施工总进度对运输强度的要求。

专用线的施工工期也是对外交通方案选择的一个条件,选定方案需能满足施工总进度对交通运输的要求,确保工程开工后能及时通车,并保证交通运输畅通。以往有些工程的主体工程开工后,施工交通干线还未修通,以致影响施工总进度计划的顺利



执行。

7 研究转运站的设置以及主要桥涵、渡口、码头、站场、隧道等的建设条件,使外来物资转运距离短、沿线主要建筑物工程量少、投资省,以缩短施工准备期及总工期,尽早投入运行。

#### 5.2.4 运输方案选择原则有以下几点:

1 选定方案的运输能力需满足工程各时期施工需要,这是一条最基本的原则。

2 尽可能减少中转、确保物资器材运输及时、安全可靠是保证运输能力、减少装卸费用及物资损耗所要求的。

3 尽可能减少对交通运输基建投资,可缩短对交通运输线路基建工期。但如果对外交通线路在主体工程开工后仍不能建成通车,往往给施工带来很大损失,则将影响施工进度或增加工程投资。

5.2.5 对外公路的等级和技术标准的选择需充分考虑本条中所列内容综合分析确定。与社会交通相结合的或兼有社会交通功能的专用公路,不仅需要满足水利水电工程外来物资的运输的要求,还需要承担其他社会车辆的通行任务,故其等级和技术标准需严格执行 GBJ 22、JTG B01 等标准。

5.2.6 对外公路规划及路线设计要求所述 6 款是选线必备因素。

由于重大件运输是短时间的特殊运输,在满足安全通行的条件下,可采取减速行驶、临时加固、暂禁其他车辆通行或绕行等措施,避免因重大件运输,使运输技术标准过高。对外公路连接点的选择,需充分调查现有线路、车站、港口现状及近期规划。

选线需尽量避开城镇,避免交通运输互相干扰,以达到工程对外物资运输安全、快捷、节约的目的。

5.2.7 考虑水利水电工程特点,公路上大、中型桥梁的工程造价及施工复杂等因素,本条规定桥位原则上服从路线走向,路桥综合考虑,避免因强调桥位而忽视线形布置的合理性。

5.2.8 考虑洞内的排水需要,隧道内的纵坡不要小于 0.3%。对于寒冷及严寒地区地下水发育的隧道,为减少冬季排水沟产生

冻害,需加大排水纵坡以利于排水。

5.2.9 铁路运输线需结合当地铁路运输发展规划,充分利用已有国家、地方铁路线和其他工矿企业专用线。

铁路接轨是选择铁路规划、设计的首要任务,是专用线设计成果的主要内容、铁道部门审批的主要依据,在规划设计中需予充分重视,铁路设计规范明确规定:“铁路专用线与路网接轨,需经该主管路局同意;在工业企业上接轨,需经该主管单位同意。在新线上接轨,需经该主管设计单位同意”。

与公路运输方案相比,铁路基建工程量大,占地较多,施工期长,一般不能单独承担施工交通任务,尚需与公路运输相配合,因此一般不要采用。若现有路网距工地较近、施工场地较为宽阔或梯级开发能够结合利用,经论证经济可靠时,也可采用铁路运输方案。

5.2.10 水路运输是施工交通运输的方式之一,在对工程区现有航道水深、宽度、转弯半径、流速及运输能力进行调查研究的基础上,酌情采用。

对于通航的河流,施工期间货物临时过坝运输可分为陆路驳运和航运过坝两类。采用何种方式,需根据工程的特点经过技术经济比较确定。由于施工期间通航水位随着工程施工的进展而变化,单一的通航方式难以适应自开工至蓄水发电的全过程。各施工期需要采取不同的通航措施,并能互相衔接,避免与施工运输的干扰。

5.2.11 施工码头位置需根据施工期的年高峰货运量、航道上通航的船型及工程施工运输的特有船型、货物运输特性、河流特性、地形、地质、水文、气象、水域陆地条件等,结合施工总平面布置,从经济技术上进行综合分析、全面比较,慎重确定。

码头前沿线是码头建筑物或趸船靠船一侧的竖向平面与水平面的交线。它是决定码头平面位置的重要基线。选定码头前沿线位置,利用天然水深沿水流方向及地形等高线布置,可减少水下开挖量,不破坏河床的原有平衡状态,保持码头前的水流平顺和



方便船舶的靠离作业。

顺岸式码头的前沿位置需考虑码头建成后对防洪、水流改变、河床冲淤变化及岸坡稳定的影响。码头前需有可供船舶运转的水域。顺岸码头端部泊位的水域边线与码头前沿线一般成  $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$  夹角。码头前停泊水域，不允许占用主航道，水流平缓河段的码头前沿停泊水域宽度可取 2 倍设计船型宽度；水流较急河段的码头前沿停泊水域宽度可取 2.5 倍设计船型宽度；在同一泊位前靠多艘船舶时，码头前沿停泊水域宽度可取并靠船舶总宽度加 1 倍设计船型宽度。

单船或顶推船队回旋水域沿水流方向的长度，不要小于单船或船队长度的 2.5 倍；当流速大于  $1.5\text{m/s}$  时，水域长度可适当加大，但不允许大于单船或船队长度的 4 倍。

回旋水域沿垂直水流方向的宽度不要小于单船或船队长度的 1.5 倍，当船舶为单舵时，水域宽度不允许小于其长度的 2.5 倍。

施工码头断面形式需根据水文、地质、地形，货物年吞吐量、货种、装卸工艺及施工条件等因素综合考虑，进行经济技术比较后确定。

### 5.3 场内交通

**5.3.1** 场内运输包括：工程外来器材、物资，施工工厂设施产品，工程堆弃料物，经过工地的当地运输物资，进出工地的各类人员等。运输量及运输强度是以施工总进度为依据。确定各个时段料物需要量，并挑选出大宗料物运输作为重点。再叠加计算各单项工程（或工作面）、各场（厂）区、各施工工厂设施不同时间段的运输强度和主要料物运输流向后，确定运输道路的走向、规模及技术标准。

**5.3.2** 本条提出了场内交通规划需考虑的主要因素。场内交通是联系施工工地内部各工区、料场、堆弃渣场、各生产生活区之间的交通，担负工程施工期间工地内部的运输任务。设计中需结

合工程施工总布置及施工总进度要求，进行场内交通规划。

**5.3.3** 场内交通公路规划设计，需根据场内交通的特点及分类进行规划。水利水电工程场内交通运输具有以下特点：

（1）场内运输物料种类多、运量大、受施工场地限制及物料特性限制，一般运距较短。

（2）场内交通基本上是一种单向运输，运输组织工作比较简单方便，有条件时能够保证重车运行。

（3）场内交通运输强度和线路工作时间，受施工总进度影响，运输具有不平衡性，运输强度需满足工程施工需要，同时还需满足工程施工进度的要求。

（4）线路技术标准不高，急弯、陡坡较多，且常常要在有限的范围内解决较大的高差和较复杂地形的运输问题。

（5）由于弯道多、坡度陡，行车速度低，且运输距离短，行走时间亦短，车辆装卸时间在一次周转时间中占的比重比一般运输要大，因此线路通过能力，多为装卸时间所控制。

（6）线路迁建较多，土料场、砂石料场出渣线路经常随料场的开采和卸料面的推移而移动。

（7）坝区线路需适应基坑施工初期到大坝完工各阶段的需要，有时尚需随坝体升高，按不同高程分期形成。

（8）运输方式多样性，由多种运输方式联合实现物料运输任务。

水利水电工程场内交通运输的主要任务、道路分类如下：

①衔接对外交通、将外来工程物资和生活物资运往使用地点的运输道路。

②场内包括工区与工区之间，生活区与生产区之间，料场、仓库、消防、医院等之间的交通运输道路。

③基坑开挖出渣和地下工程开挖出渣的运输道路。

④将砂石骨料、土料、石料自料场运至储料或加工区运输道路。

⑤为截流服务专设的运输线，具有使用时间短、行车密度



大、车辆吨位大、运输强度高的特点。

⑥混凝土熟料自拌和楼至栈桥、缆机或工作面的运输线路，当地材料自料场、加工厂、储料场或坝下至工作面的运输线路随坝体上升而迁移。

⑦为施工期上下游的行人、放木、通航需要设置的过坝临时交通设施。

⑧沟通施工场地两岸的跨河设施，如桥梁、渡口等。

**5.3.4** 场内主要施工道路是指为完成开挖、填筑、浇筑施工，联系主体建筑物、料场、渣场、施工工厂、仓储系统、生活区、对外接线，交通强度相对较高或具备多种功能，构成施工主体交通网络的公路。在确定道路的技术标准时需满足工程车辆通行要求，确保工程施工进度。

**5.3.5** 场内非主要临时道路，一般指修配、钢筋、木模加工等施工工厂设施之间以及生活区内部的道路。

对场内非主要施工道路干线，在受到地形、地质等条件限制时，在满足运输安全和施工要求的前提下，允许在个别路段可适当降低（超限）标准。

根据水利水电工程施工特点，主要从减少工程量、节约投资的角度考虑，允许场内施工道路分路段采用不同的车道数。

**5.3.7** 运输方式、车辆型号（机车或起控制作用的拖车）、行车密度及行人量是确定桥梁、渡口型式及其规模的重要依据。

在施工地区河道上选择桥梁、渡口位置及型式时，特别是有通航要求的河道上，需根据可靠的地质资料，必要时尚需进行水工模型试验。如工程施工需要尽早沟通河道两岸运输线，可先建简易桥梁或渡口等过河设施，然后再建正式桥梁、渡口。

**5.3.8** 桥梁的设计荷载可参照公路工程有关荷载标准执行，同时满足重大件、施工机械设备运输及工程车辆通行的荷载要求。通航河流的桥下净空需满足内河通航标准的规定。

**5.3.9** 隧道纵坡需在  $0.3\% \sim 5\%$  范围内选择。对于限制坡长  $150\text{m}$  的隧道，纵坡不要超过  $9\%$ ，局部最大坡度不允许大

于  $14\%$ 。

隧道横断面设计除需符合隧道建筑限界的规定外，还需考虑洞内排水、通风、照明、消防等附属设施所需要的空间。

**5.3.10** 带式输送机输送砂石时，其允许倾角向上一般要小于  $16^\circ$ ，向下一般要小于  $12^\circ$ 。当布置受地形条件限制、向上倾角需大于  $16^\circ$  时，可选用波状挡边带式输送机。波状挡边带式输送机具有可大倾角输送物料、结构紧凑、占地较少的特点，在矿山等行业已成功应用。

根据输送物料的特性及输送线沿线地形、地质条件，长距离运输可分析比较采用管状带式输送机。与普通带式输送机相比，管状带式输送机可封闭输送物料，输送机水平转弯半径较小，可大倾角输送物料，便于跨越河流、道路、建筑物等，但单位造价相对较高。

**5.3.11** 斜坡卷扬道主要用于物料运输两地高差大、地形陡峻、公路与铁路运输难于到达、或筑路基建工程量过大而运输量不大的很不经济的地段。

线路坡度要小于  $25^\circ$ ，最大不允许超过  $30^\circ$ （如兼作人员运输时不允许大于  $25^\circ$ ），当坡度大于  $25^\circ \sim 30^\circ$  时须采用台车或箕斗运输，其坡度需小于  $40^\circ$ 。当地形较复杂，须设计成几个坡段时，上部一般要采用较大坡度，下部一般要采用较小坡度，有利于起动和制动；线路变坡处的相邻坡度差要小于  $5^\circ$ ；凹形变坡点的竖曲线半径采用  $200 \sim 500\text{m}$ ，凸形竖曲线半径可用  $20 \sim 30\text{m}$ 。

绞车房与斜坡道顶点距离一般为  $30 \sim 40\text{m}$ ，不要小于  $12 \sim 14\text{m}$ ，绞车房高程一般要与上部车场同一高程，也可高于上部车场  $2 \sim 3\text{m}$ 。钢丝绳和水平线夹角取  $2^\circ \sim 4^\circ$ ，平面偏角取  $4^\circ \sim 5^\circ$ 。

**5.3.12** 货运索道多用于工矿企业和高山地区运输货物，主要形式有单线循环式索道和双线循环式索道两种。单线循环式索道是在循环运转并形成一个闭合环的钢丝绳两侧，按等间距各挂若干个货厢，一侧为重载，另一侧为空载。既作承载用又作牵引用的钢丝绳循环运行，便可把货物由甲地运往乙地。这种索道适用于



运输量小、服务年限短、爬坡角度大的地方，一般运输量为15~100t/h，运行速度为2.0~2.5m/s，爬坡角度为35°左右。它构造简单，建设时间短，基本建设投资省，但经营费用比双线循环式索道高；双线循环式索道循环运转的钢丝绳仅作牵引用，另在两侧各增加一条承载索，用以承受线路中的载荷。由于线路中的载荷由两条钢丝绳承担，因而运输量100~300t/h。这种索道的运行速度为2.5~3.15m/s，爬坡角度一般不超过23°，适合于运输量大、服务年限长、线路侧型起伏变化小的地方，经营费用低，经济效果好，但基建投资大。线路的平面布置一般为直线。在下列情况下可采取折线方案：

- (1) 线路坡度过大，进出站角超过14°（双线）或20°（单线），线路某处总爬坡角超过24.5°（双线）或35°（单线）。
- (2) 塔线间距大于1200m（双线）或1000m（单线）。
- (3) 线路最高点与最低点高差大于一个传动区段所允许的高差，一般为200m。
- (4) 与厂区、居民区交叉而又不易保护时。
- (5) 线路通过不良工程地质区，如滑坡、岩溶区等。

**5.3.13** 隧道有轨运输洞外需根据需要，设调车、卸车和车辆检修等线路。机车在洞内行驶速度不许超过10km/h；在调车或人员稠密地段行驶，速度需减速至3km/h；通过弯道、道岔或视线不良地段，速度需小于5km/h。

## 5.4 转 运 站

**5.4.1** 水利水电工程所需外来物资、器材、设备在运抵工程施工现场前，如运输方式发生变化，需在变化运输方式地点设置转运站。其主要功能是负责装卸、临时保存和转运工作。

为节约建设投资，对外来物资的转运需优先利用（或租用）现有设施。可利用的转运设施包括交通运输部门的车站、码头等，也包括附近其他企业的转运站等。

**5.4.2** 转运站一般设置在火车站或港口码头及公路运输转运站

附近，这样可以减少装卸倒运量，转运站一般包括仓库、料棚、堆场、道路、办公及生活福利设施，需要有足够的场地。

转运站的储运能力满足施工运输强度要求是设置转运站的前提条件，转运量视外来器材物资来源的具体情况而定，通常生活物资中的主副食品和当地建筑材料，多由邻近地区供应，直达工地，不需转运。需要转运的主要是水泥、钢材、木材、机械设备、煤炭、油料及其他，一般情况下转运量约占总运输量的60%。转运站的规模与交通运输部门的运输计划密切相关，因此需与有关部门洽商。

**5.4.3** 转运站一般包括铁路专用线（或专用码头）、仓库、道路、管理及生活福利等附属设施。满足工程施工需要，适应外来物资的来源、种类，是转运站选择的基本要求。同时，转运站的位置还要较好地与对外交通运输线路协调。新建转运设施站要因地制宜，尽量少占地，节约建设费用，如能利用现有交通运输设施及转运设施站，可节约投资和缩短工期。

## 5.5 重大件运输

**5.5.1** 重大件运输是水利水电工程施工交通运输的一个特点，是比较复杂的问题，它与运输方案的选择有密切的关系，在施工交通运输设计中，研究各运输方案能否适应重大件运输，需要进行比较。重大件的运输线路、运载工具、装卸设备以及交通沿线各种建筑物的承载能力等，均需配合有关专业进行研究比较，在确定方案时，需征求有关专业部门的意见。订立有关协议。必要时还需写出专题报告，报请主管部门审批。

**5.5.2** 水利水电工程的重大件运输是水利水电工程交通运输的重要环节，重大件运输往往对工程进度、机组容量、机型选择、水工布置以及投资等有较大影响。重大件设备的制作及组装在制造厂内较施工现场可靠度高，设备后期运行风险小，因此，重大件设备在运输过程中尽可能减少分解。

减少重大件转运次数是节省运输时间，保证设备安全、节省



运输费用的有效措施。

重大件运输往往由多种运输方式组成，如何合理选择运输方式与供货地点的当地交通运输状况密切相关。重大件运输方案选择时，需经过现场调查，了解沿线交通现状及近期的发展规划，经技术经济比较后做出选择。重大件运输一般优先选择水路运输方式，水路运输与公路及铁路运输相比，受超限、超重的限制条件较少、运输费用较低。

**5.5.4** 本条列出重大件运输采用公路运输时需符合的要求：

**1** 重大件设备的运输工具需根据重大件分级选用。运输工具主要指具有装载整体大型物件实际吨位级的重（超重）型车组，包括牵引车和挂车（半挂车、凹式低平台挂车、长货挂车、3纵列或4纵列挂车、其他变型挂车等），并有相应的配套附件。

**2** 现状调查是重大件运输方案制定的基础，对于影响重大件运输的特殊地段道路，如路面窄、转弯半径小、纵坡大等路段，往往只是局部路段，因此可通过与有关部门协商处理解决，协商制定特殊路段的运行措施。同时，根据具体路段的实际情况，可采取必要的拓宽路面、垫渣等永久或临时的工程措施。重大件公路运输路线上的现有桥涵是运输过程中的重要节点，是重大件能否顺利通过的关键。复核已建桥涵的承载能力时，要注意桥涵的设计等级、修建时间、完好状况以及是否经过改建等因素，合理确定是否采取必要的加固措施或能否利用临时措施绕道通行。

**5.5.5** 本条列出重大件运输采用水路运输时需符合的要求：

**1** 水运在整个综合运输系统中通常是一个中间运输环节，它在两端码头（港口）必须与其他运输方式衔接和配合，为其聚集和疏运货物。河道水位和流速随季节变化很大，有些河段还有暗礁险滩，因而水运受自然因素的影响较大，重大件水路运输中调查通航能力对合理选择运输方案十分重要。

**2** 按船舶营运组织形式，水路运输可分为定期船运输、不定期船运输和专用船运输。定期船运输是选配适合具体营运条件

的船舶，在规定航线上，定期停靠若干固定港口的运输；不定期船运输系指船舶的运行没有固定的航线，而是按照运输任务或按租船合同所组织的运输；专用船运输系指企业自置或租赁船舶从事本企业自有物资的运输。根据这三种水路运输方式，重大件水路运输采用专用船舶比较适宜，并在保证运输安全、运输时间方面有一定优势。

**3** 重大件运输转运码头（港口）是水运和陆上运输的连接点，它在重大件运输过程中对货物转运、货运速度、运输成本等起着十分重要的作用。重大件运输转运码头（港口）要有为重大件货物服务的起吊运输设备，并有足够的场地条件。



## 6 施工工厂设施

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 主要说明施工工厂设施的任务，明确施工工厂设施是供应主体工程施工所需的各种建筑材料，以及直接为生产服务的其他各项工厂，其中供水、供电、通信系统需兼顾管理人员和施工人员的生活需要。施工组织设计中为施工服务的施工工厂设施可分为：砂石加工、混凝土生产、预冷、预热、压缩空气、供水、供电和通信、机械修配厂、汽修保养站、钢筋加工厂和木材加工系统等。工地上纯粹为生活服务的设施，不属于“施工工厂设施”范畴。

**6.1.2** 与一般工矿企业相比，水利水电工程施工工厂设施往往规模大，设备与投资多，要求建成速度快，但使用时间却只有几年。其产品通常批量少、品种多、生产不均衡。施工工厂设施总体规划时，需适应这一特点。

水利水电工程建设已全面实行招投标制。工程建设所需的大宗原材料，成品、半成品、机械设备配件均以商品型式，依照合同约定，按质、按量、定期供应。因此，需研究利用工程所在区域现有的设施及工矿企业力量，尽量缩减工地现场施工工厂规模，减少施工占地，降低对环境的破坏，从而降低工程造价。

施工工厂与一般工矿企业在厂址选择上有其类似性。本条内容不仅归纳了水利水电工程施工有关经验，同时也参考一般工矿企业相类似工厂厂址选择设计手册，以及相关标准、规程规范有关内容。其中“协作关系密切的施工工厂一般集中布置”，主要是考虑到施工工厂不同于独立的工矿企业，它往往是由承包商统一领导的。除生产或存放危险性产品的工厂外，各施工工厂靠近布置，比一般工矿企业更利于协作配合，防止重复建设，对利用率不高的大型和专用设备可以考虑合用；压缩空气、供水、供

电、通信、交通、仓库以及公共生活福利设施也易统一布局解决；便于生产管理。

本次规范修订增加了“施工工厂的规划与设置需兼顾工程实施阶段的分标因素”内容。有很多工程在初步设计阶段未考虑分标因素，给后续的招标设计带来一些问题。

例如，大藤峡水利枢纽右岸布置有船闸和泄洪坝段及厂房，初步设计阶段仅在右岸设置一处带有预冷车间的混凝土拌和系统，由于船闸部分相对独立且规模较大，完全具备独立成标的条件，因此在招标设计阶段，建设单位要求将船闸部分单独作为一个标段进行招标，船闸部分混凝土浇筑由中标人自行解决。为此，必须将原来的混凝土系统拆分为2处重新布置，重新设计，增加了设计难点和工作量。

**6.1.3** 水利水电工程的特点是一旦项目批准开工，往往工期安排的很紧凑。要适应这种要求，筛分楼、拌和楼、罐式水泥库、风冷楼、带式输送机桁架、排架等结构物，都要采用装配式钢结构。尽管组装式钢结构一次投资及钢材耗量较多，但由于可以重复使用，节约施工时间，提高施工速度，因而仍是经济合理的。

近年来水利水电工程在选用通用和多功能设备上已取得长足进步，但受制于水利水电工程施工特点，设备利用率普遍较低。水利水电工程施工的特点是各位置施工负荷不均衡，施工条件和环境恶劣，维修、保养量较大，易损配件需要量较大，所以，在施工工厂设施设备选型中，需特别注重选用设备的经济合理性、通用性和多功能性。

此外，随着我国国民生产总值的提高，能源消耗越来越大，环境污染问题也越来越严重，已经严重制约我国经济的进一步发展，因此在水利水电建设中，需尽量选择效率高、能耗低、对环境破坏小的施工工厂设施及设备。

**6.1.4** 本条强调施工工厂设施设计需取得的一些定量指标。这些定量指标可依设计阶段的不同采取不同的计算方法：

(1) 项目建议书和可行性研究设计阶段可按指标法估算。



(2) 初步设计阶段或招标设计阶段需按公式法进行详算。

**6.1.5** 一切生产建设活动都需符合国家现行法律法规,当前,环境污染治理已经上升到国家战略层面,因此本次修改增加条款特殊予以强调:施工工厂生产过程中产生的废水、废渣、粉尘或其他有害物质均需采取措施进行处理,并在满足环境保护要求后,可循环使用或排放。

## 6.2 砂石料加工系统

**6.2.1** 砂石料加工系统生产规模计算根据所在工程混凝土浇筑强度和其他砂石料需要量确定。混凝土高峰时段是指混凝土月浇筑强度为最高月浇筑强度 70% 以上的持续期。若混凝土高峰时段持续时间较短(3 个月以内),砂石料加工系统生产规模按混凝土浇筑高峰时段月平均强度设计是较为合理的,通过堆场调节和短期三班制生产,能满足工程需要。若混凝土高峰时段持续时间较长,砂石料加工系统难以保证长期三班制生产,仅靠堆场调节难以满足工程需要,因此需适当提高砂石料加工系统生产规模。

本次修订明确了砂石料加工系统生产规模可按毛料处理能力分为特大、大、中、小型的划分标准。

砂石加工系统、混凝土生产系统设计作业制度目前尚未规范化,同一浇筑强度,由于选用不同的月工作日与日工作小时数,结果会出现很多生产强度,在数据与引用上引起混乱。因此有必要制定一套规范化的计算方法,首先是设计采用的作业制度规范化,这样能使统计与分析工作也统一起来。考虑水利水电工程施工的特殊性,砂石料加工系统采取每月工作日为 25d,每日两班生产、一班维修保养(高峰月短期三班制生产)的设计工作制度,能保证砂石料加工系统长期、稳定、持续生产。为执行劳动法的有关要求,可采取人休息机器不停机的工作方式。

确定砂石料加工系统工作制度时还需考虑下列因素:

(1) 目前每月实际工作日数和每月实际工作小时数均高于规

定值,但为了计算规范化,仍建议采用规定值,可在设备选型时取较高的负荷系数。

(2) 天然骨料的超径石处理或人工骨料的粗碎工段工作制度与采场的采运作业相一致,超径石处理或粗碎设备选择时,其负荷系数可取 0.65~0.75,三班制工作时取较低值,超径石处理之前如设有毛料堆时,可取高于 0.75 的负荷系数。

(3) 筛洗和中细碎工段采用两班制,其设备的负荷系数可取 0.75~0.95。

(4) 制砂工段:棒磨机制砂,要求产品级配稳定,一般采用连续三班工作制,其设备的负荷系数可取 0.85~0.95,采用其他设备制砂时(如立轴冲击式破碎机、锤式破碎机等),可采取与中细碎工段相同的工作制度。

(5) 当各车间(工段)采用不同工作制度时,中间需设置活容积不小于一个班处理量的调节料仓。

(6) 长距离带式输送机输送系统,通常采用连续三班工作制。长距离带式输送机的前端和尾端均需设置调节料仓,其进料端的调节料仓活容积需不低于两个班的输送量,出料端的调节料仓活容积需不低于三个班的输送量。如果场地条件允许,经技术经济比较,两端调节料仓的容积可适当增大。

**6.2.2** 砂石料加工系统厂址需考虑料场和混凝土生产系统位置,并结合地形、地质条件进行选择。

国内大多数砂石料加工系统均设在主料场附近,主要有以下优点:

(1) 减少无效运输,降低生产成本。毛料加工成为成品料的过程中,一般有 10%~20% 的加工运输损耗及级配不平衡弃料。

(2) 成品料可采用带式输送机运输,降低运输成本。

厂址需避免在溶洞、滑坡、泥石流及填方地段布置破碎、筛分及制砂等重要生产车间,如必须在上述地段布置时,需进行充分的技术经济论证,并采取可靠的处理措施。在湿陷性黄土地区建砂石料加工系统时需特别注意厂区和建筑物基础的可靠性和处



理措施。

水、电供应条件也是选择砂石料加工系统厂址的重要因素。向家坝工程曾对砂石料加工系统是布置在料场附近还是布置在坝区附近进行过比选工作。料场距坝址约 30km, 料场附近无满足砂石生产需要的水源, 需从距料场约 15km (高差 830m) 处的金沙江取水, 费用较高, 尽管运输成品骨料可减少加工损耗费用, 但比选后仍选择综合费用相对较低的坝区附近布置方案。

在高山峡谷地区修建水利水电工程, 主体工程弃渣场往往布置在主体工程附近的山沟内; 利用弃渣场平整的场地作为砂石料加工系统半成品或成品堆场, 主要车间布置在山沟两侧的山坡上, 可有效减少砂石料加工系统的土建工程量, 但需注意施工进度安排的弃渣形成时间与砂石料加工系统建设期能否正常衔接。

设计中根据不同工程的具体条件, 对各种可行的厂址位置进行综合比较, 选择砂石生产单价相对较低、砂石料加工系统建设费用相对较省、建设周期相对较短的厂址布置方案。

**6.2.3** 大、中型砂石系统一般建设工期相对较长, 如果砂石系统工艺布置灵活, 能生产出主体工程的各种建材, 将是经济合理的方案。

工艺流程计算中, 有不少重要数据仅仅是控制性的大概值, 离差性较大。如各级骨料需用级配百分比, 往往是全工程的综合平均值。原料及各种破碎机产品粒度级配, 或是料场平均值, 或仅有几组试验的成果, 或是按其他工程推算, 或者按典型方程推算。由于在不同时期, 开采不同区域、深度时, 原料级配变化很大, 产品粒度级配及需用级配都在发生很大波动。乌江渡工程从总体平衡计算, 破碎设备采用开路生产能满足要求, 但某一时期二、三级配混凝土增加时, 便出现有些级配骨料用量大幅度减少, 堆料场容纳不下, 而有些级配又感到不足, 仅靠调整排料口的办法, 难于达到目的。丹江口、葛洲坝、潘家口和渔子溪等工程都有这方面的经验与教训。所以, 要求工艺设计有一定的灵活性, 以适应实际生产变化的需要, 特别是细碎和制砂的生产能力

要留有一定裕度。

通常工艺流程计算有部分筛分效率法和简易计算法两种方法。与简易计算法相比, 部分筛分效率法虽然算式较为复杂, 但计算结果较为准确, 因此推荐采用部分筛分效率法。为控制成品骨料的超逊径含量, 筛分效率不要低于 90%。

工程实践表明, 湿法加工是比较成熟可靠的砂石料加工工艺, 可保证成品骨料质量, 降低环境污染。当采用干法加工工艺时, 曾出现粗骨料裹粉、细骨料细度模数超标及加工粉尘污染严重的问题。冲洗用水量需根据石料含泥量和含泥的性质经分析后确定, 一般用水量为  $1\sim 2\text{m}^3/\text{t}$ , 水压一般控制在  $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 。乌江渡工程采用石灰岩加工骨料, 石料含泥量约 15%, 通过槽式洗石机搓洗后, 含泥量可降到 0.5% 以下。

特大型、大型水利水电工程利用石料加工混凝土人工骨料或其他级配料时, 数量往往较大, 如用典型粒度方程计算岩石破碎粒度曲线往往和实际有出入, 因为岩石的成分、风化程度、破碎方法等都对其破碎后的粒径有影响, 为使砂石料加工系统工艺设计建立在较为可靠的基础上, 采用相同或相似的工艺流程和破碎、制砂设备进行骨料生产性试验是必要的。

**6.2.4** 通过功指数及磨蚀性指数试验, 检测所选料源石料的可碎性、磨蚀性, 对设备的选型及磨耗件寿命有较准确的判断, 试验成果可作为设备选型的基本依据。

一些水利水电工程砂石料源不止一个, 且不同料源的岩性和级配特性也可能不同, 因此在同一个砂石料加工系统内, 设备配置需能兼顾不同料源岩石的加工特性和级配波动的要求。

上、下道工序选用的设备负荷均衡, 对提高设备利用率、保证砂石料加工系统连续均衡生产较为有利。同一作业设备的类型和规格统一, 可简化车间布置, 便于对设备进行操作控制和检修。

特大型、大型砂石料加工系统如选用中小型设备, 则设备数量多, 占地面积大, 运行、检修工作量大。同一作业设备如仅配



置一台,则运行可靠度较低,一旦发生故障将造成加工系统停产。

当砂石原料为高硬度(莫氏硬度 $\geq 7$ )、强磨蚀性(二氧化硅含量 $\geq 90\%$ )的岩石时,加工过程中对设备的磨损十分严重,设备维修、更换易损件的工作量大大增加,因此,主要设备要考虑整机备用,以保证设备维修时不影响加工系统的正常生产。

原岩在钻爆、挖装过程中,常易将各种金属混入岩石中,这对中细碎设备的安全运行威胁很大,因此有必要在中细碎前设置金属探测器和金属处理设备。如映秀湾人工砂石系统金属探测设施因未订到货而未装,曾数次发生圆锥机被卡住事故,并从料石中检得挖土机斗齿、二锤、钢钎、钻头、铁件数十件。

**6.2.5 砂石料加工系统总体布置是否合理**,关系到建设工期能否缩短,建设费用能否降低,运输线路是否顺畅,施工是否安全方便,运行是否稳定可靠。总体布置既要考虑各车间、设施之间的平面、空间布置的合理性,在保证砂石料加工系统正常运行的前提下,尽量减少转运环节,减少土建工程量,还需考虑设备运输、水源、电源线路布置,以及与系统建设有关的各种因素,因此,需进行多方案的设计比较工作,选取较优的总体布置方案。

对于大型水利水电工程建设期间,由于混凝土施工强度不均衡,往往使砂石料加工系统的设备部分闲置,生产能力不能得到充分发挥,因此希望砂石料加工系统工艺布置有一定的灵活性,以适应分期分批投产需要,使方案更为经济合理。

砂石料加工系统布置较为理想的自然地形坡度为 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。合理利用缓坡地形,不仅可使布置紧凑,减少土建工程量,同时能充分利用落差自流运输,减少运输设备和能耗,这已为部分砂石料加工系统实践所证实。

作业相同的工序通常选用相同规格的设备,并在同一高程对称或同轴布置,显然有利于流程变换与设备互换,便于检修、起吊与集中管理。设备对称与同轴布置,非标准设备采用同规格相同布置,可以使结构与非标准设备简化、制作与安装方便。

砂石料加工系统一般能适应各种恶劣工况的运行条件,因此各车间的设备、设施等允许露天布置,但对电气设备需加以防护。这主要是根据乌江渡、大化、葛洲坝、东江等工程的经验。目前来看,国内水利水电工程的设计仍遵循这一原则。

**6.2.6 大量工程实践表明**,砂石贮存量按高峰时段月平均值 $50\%\sim 80\%$ 的砂石需用量确定,可以保证混凝土骨料的连续供应,满足工程需要。

天然砂石料场及工程开挖利用料的开采时段与砂石生产时段难以一致,且所需堆存容量一般较大,因此一般堆存毛料,以降低堆场土建费用。人工石料场开采时段与砂石生产时段基本相同,所需堆存容量一般较小,因此最好堆存半成品料或成品料为主。寒冷地区,低温季节砂石生产作业困难、生产成本低,为保证低温季节混凝土施工,通常在非低温季节生产、堆存成品砂石。成品堆场容量需满足砂石自然脱水时间要求。

筛洗后螺旋分级机出砂的含水率达 $14\%\sim 17\%$ ,要满足水工混凝土施工规范要求,自然脱水至 $6\%$ 以内,天然砂一般需要 $5d$ 左右,而人工砂需要 $5\sim 7d$ 。

成品堆场对场地的要求相对较高。湿法制砂时,成品堆场布置 $3$ 个砂料堆(其中 $1$ 个进料、 $1$ 个脱水、 $1$ 个使用),循环使用,才能较好地控制成品砂含水率。

碾压混凝土用砂和常态混凝土用砂的石粉含量控制标准不一样,通常分别堆存。

由于大中型砂石混凝土系统骨料发送总量与发料强度都很大,廊道出料仍较为经济,且对确保砂石质量、稳定与降低骨料温度等有利,因此被广泛采用。对于小型水利水电工程,如采用廊道发送,每立方米骨料所分摊土建费用将很高,此时选用机械挖装出料可能更为经济。

有些大中型工程堆料场,因地下水位高,地基承载力很低或设置廊道将会产生很大不均匀沉陷时,为了节约地基处理工程量和确保安全运行,需考虑选用机械挖装出料方式。砂石料场到坝



区之间的骨料运输方案，20 世纪 50—60 年代基本以小火车和小吨位自卸汽车运输为主；70—90 年代，基本以自卸汽车运输为主；进入 21 世纪，随着水利水电工程规模日益增大，砂石运输强度和运输总量不断提高。与自卸汽车运输相比，带式输送机运输方案具有运输连续稳定、运输能力高、运输距离短、运行污染小、单位能耗省，运行费用低、一次性投资较大的特点，较适合用于运输能力高、运输总量大的大型水利水电工程。

此外，皮带机输送物料在国内外冶金、煤炭建材等行业也被广泛采用，几十年来，长距离带式输送机的设计、制造、安装及运行已取得较为成熟的经验。目前，国内外输送能力达到 7000~8000t/h、带宽在 2.0m 以上、带速在 5.0m/s 以上、单机长度为 5~15km 的大型带式输送机已有较多工程实例。国内外部分长距离带式输送机工程项目见表 32、表 33。

表 32 国外部分长距离带式输送机工程项目

序号	项 目	主要参数	使用地点、其他参数、投产时间
1	最大输送能力	$Q=37500\text{t/h}$	德国莱茵褐煤有限公司 Hambaba 矿； $B=3000\text{mm}$ ， $V=6\text{m/s}$ ， $St=5400\text{N/mm}$ ； 1977 年投产
2	最大带宽	$B=3200\text{mm}$	德国莱茵褐煤有限公司 Fortuna 矿； $Q=37500\text{t/h}$ ， $B=3200\text{mm}$ ， $V=5.2\text{m/s}$ ， $N=2\times 1500\text{kW}$ ； 1977 年投产
3	最高带速	$V=8.4\text{m/s}$	英国国家煤炭局 Selby 矿； 该矿带式输送机保持有 15 项“世界之最”； 1983 年投产
4	最大单机长度	$L=15000\text{m}$	英国国家煤炭局 Selby 矿； $B=1300\text{mm}$ ， $H=996\text{m}$ ， $V=8.4\text{m/s}$ ， $N=2\times 5145\text{kW}$ ； $St=7100\text{N/mm}$
5	最大单机功率	$N=6\times 2000\text{kW}$	德国莱茵褐煤有限公司 Hambaba 矿； 其他参数同序号 1

表 32 (续)

序号	项 目	主要参数	使用地点、其他参数、投产时间
6	最大驱动单元功率	$N=5145\text{kW}$	英国国家煤炭局 Selby 矿（无减速器，低速直流电机轴与滚筒轴为一体）
		$N=2000\text{kW}$	德国莱茵褐煤有限公司 Hambaba 矿（有减速器，交流电机驱动）
7	最大带强	$St=7100\text{N/mm}$	英国国家煤炭局 Selby 矿； 其他参数同序号 3、4
8	最大单机提升高度	$H=996\text{m}$	英国国家煤炭局 Selby 矿； 其他参数同序号 3、4、6、7
9	最大单机下降高度	$H=-557\text{m}$	法属新喀里多尼亚 Me'a 镍矿； $Q=560\text{t/h}$ ， $B=800\text{mm}$ ， $V=3.6\text{m/s}$ ， $N=808\text{kW}$ ， $St=2500\text{N/mm}$ ； 1980 年投产

表 33 国内部分长距离带式输送机工程项目

工程项目	带式输送机长度/km	带式输送机输送量/(t/h)	带式输送机已运行时间/年	工程地点
秦皇岛煤码头	1.30	6000	10	河北秦皇岛
大柳塔煤矿	4.64	2500	9	陕西神府
向家坝水电站	6.22	3200		云南水富
龙滩水电站	4.00	3000		广西天峨

### 6.3 混凝土生产系统

6.3.1 根据近年来国内开工建设许多特大型、大型水利水电工程的情况，本次规范修订参照电力行业标准，对混凝土生产系统的规模提出了划分标准，以适应水利水电工程设计和建设的需要。

确定混凝土生产系统生产规模依据的基础资料是施工进度，



施工进度通常提供的是混凝土浇筑月高峰平均强度，由于混凝土施工的不均衡性，各月浇筑的混凝土量不可能是平均的，因此，要确定混凝土高峰月浇筑强度还需考虑不均衡系数，即：高峰月浇筑强度=混凝土浇筑月高峰平均强度×月不均衡系数。

根据国内已建和在建工程的经验，月不均衡系数取值为 1.0～1.3。混凝土浇筑高峰时段较长时取大值。

关于日及小时不均匀系数，国内多个水电工程经验证明：根据混凝土高峰月浇筑强度，按月有效生产 500h，（每月 25 个生产日，每天 20 个生产小时），考虑 1.5 的系数是合适的，由此计算出小时高峰浇筑强度，并选择拌和楼（站），可满足工程进度要求。

混凝土最大仓面浇筑时，必须在底层混凝土初凝前覆盖下一层混凝土，即混凝土拌和设备的小时生产能力还必须满足式（5）的要求：

$$Q_b \geq 1.1 \frac{FD}{t_1 - t_2} \quad (5)$$

式中  $F$ ——最大仓面面积， $m^2$ ；  
 $D$ ——最大仓面混凝土分层浇筑厚度， $m$ ；  
 $t_1$ ——混凝土初凝时间， $h$ ；无试验数据时可参照表 34 选取；  
 $t_2$ ——混凝土出机后到浇筑入仓的时间， $h$ 。一般混凝土不要超过 1.5h，温控混凝土不要超过 45min。

表 34 混凝土初凝时间（未掺加外加剂）

浇筑温度/ $^{\circ}C$	初凝时间/ $h$	
	普通水泥	矿渣水泥
30	2.0	2.5
20	3.0	3.5
10	4.0	4.0

最典型的实例为龙滩工程右岸大坝混凝土生产系统，按混凝土高峰月强度计算，混凝土浇筑高峰强度为  $970m^3/h$ ，按混凝土

最大入仓强度计算，混凝土浇筑能力需为  $1080m^3/h$ ，显然需按最大入仓强度选择拌和设备。

6.3.2 在考虑加冰及掺合料时，需根据试验或其他工程生产经验，适当调整生产能力。生产预冷混凝土时，风冷骨料需耗费一定的时间，加冰拌和需考虑冰屑融化因素；生产预热混凝土时，要改变投料循序，混凝土搅拌时间会有所延长，一般比正常搅拌时间延长 20%～50%。拌制干硬性、低坍落度混凝土不仅要增加搅拌时间，还要大大缩小揽料筒的有效容积，因此规范规定，遇到上述情况需要重新核算拌和楼的生产能力。

拌和楼理论生产率可按式（6）求得：

$$\text{理论生产率} = \text{单台公称容量} \times \text{台数} \times \text{小时搅拌次数} \quad (6)$$

当搅拌机台数超过 4 台时，因生产能力受称量速度控制，只能提高拌和楼设备利用率，而理论生产率与 4 台相当。混凝土拌和楼理论生产能力见表 35，该表所列值是指设备配套拌和楼（站），在生产正常混凝土配合比级配不变，坍落度不小于 50mm，不加冰及掺合料情况下，每小时平均生产能力。

表 35 混凝土拌和楼理论生产能力

锥形倾翻搅拌机		强制式搅拌机	
搅拌机台数× 每台公称容量 /L	理论生产能力 /( $m^3/h$ )	搅拌机台数× 每台公称容量 /L	理论生产能力 /( $m^3/h$ )
1×750	20	1×500	20
2×750	40	1×750	30
1×1000	25	2×750	60
2×1000	50	1×1000	40
3×1000	75	2×1000	75
1×1500	40	1×1500	60
2×1500	75	2×1500	115
3×1500	115	1×3000	115
4×1500	132	2×3000	230
1×3000	60		
2×3000	115		
3×3000	180		
4×3000	236		



**6.3.3** 水利水电工程的工程量、导流方式、施工工期、施工方法、交通条件、场地条件、地质条件、混凝土浇筑强度、骨料供应状况等，都是影响混凝土生产系统的规划与布置的重要因素，因此需对混凝土生产系统进行合理规划，必要时需拟定方案进行技术经济比选，选择指标较优方案。国内近些年修建的特大型、大型水电工程如三峡、龙滩、向家坝、锦屏等均进行了规划设计方案比选。

水利水电工程混凝土生产系统大多数设在坝下游，水库蓄水后尚能运行。只有当砂石料来自上游，或下游在一定范围内确实难找到合适场地时，才设在上游。

在不受爆破威胁或施工现场干扰的情况下，一般都希望混凝土生产系统尽可能靠近浇筑地点。这对保持混凝土均匀性、不产生离析、易于卸料、防止混凝土产生初凝等均更有利。对有温控要求的混凝土，可以减少热量损失或温度回升。SL 677 规定，混凝土运输时间不要超过 90min，在夏天需控制在 45min 以内。

拌和楼、水泥罐、制冷楼、堆料场地弄等属于高层或重载建筑物，对于地基要求较高，如国产拌和楼对地基承载力要求在 0.15MPa 以上。地基承载力不满足要求时要采取措施进行处理。山西万家寨水电站右岸混凝土生产系统布置了两座  $4 \times 3\text{m}^3$  拌和楼，拌和楼基础开挖时遇见了泥岩，该岩石遇见阳光和空气很快风化崩解，显然不满足基础承载力要求，必须将其清除，置换基础。

大型水利水电工程，规模大、工程量大、强度高、工期长，通常为分期建设，需统筹兼顾前期与后期混凝土浇筑施工并考虑分标因素设置混凝土生产系统，其目的是避免无为的拆迁带来人力和物力的损失，节省系统建设周期和工程投资。

**6.3.4** 混凝土生产系统集中设置便于混凝土集中生产和供应，供料设施、储料设施、预冷预热设施以及其他辅助设施均可以共用，管理方便，工程量省。根据一些工程统计，集中设置规模约小 15%，人员少配 25%~30%，投资和运行费用相应较低。但

经过论证，集中设置混凝土生产系统不可行或不经济，则最好分散布置。分散设置的混凝土系统生产能力需按分区混凝土浇筑高峰强度设计，其总和大于工程总的高峰强度。

分散布置混凝土生产系统虽然设备相对较多，土建工程量相对较大，但适应性较强。有些工程受水工建筑物布置、施工工期、施工场地条件、交通条件等因素限制时，必须分散布置混凝土生产系统。例如三峡工程分三期施工，根据水工建筑物的布置和施工分期以及场地条件，共设置了 8 处混凝土，向家坝水电站布置了 4 处混凝土生产系统，拟建中的文得根输水系统工程，由于施工线路狭长，在输水线路沿线布置了 18 处独立的混凝土拌和系统。

**6.3.5** 本条规定混凝土生产系统工艺流程设计需遵循的原则。

(1) 水利水电工程不同时段混凝土级配、强度、温度控制标准、浇筑强度都不相同。强约束区混凝土温控标准高，但浇筑强度不高，非约束区混凝土温控标准相对较低，但浇筑强度高。此外，混凝土的级配，品种在施工过程中经常变换，因此设计需综合分析，在工艺流程上适应这些特点。

(2) 粉状物料有多种输送方式，水利水电工程中，水泥、掺合料运输常用的有气力输送和机械输送两种方式。气力输送具有输送距离较长、输送能力较大、土建工程量较小、设备相对简单、环境适应性较强等特点，比较适用于大型、特大型混凝土生产系统中水泥及掺合料的转载运输。气力输送按物料在输送管道管道中的灰气混合比分为稀相和浓相两类，稀相的灰气比一般为 15~30，浓相的灰气比一般为 30~60，近年来，随着技术的进步，采用浓相、低速气力输送物料在水利水电工程中应用较多。该方式具有能耗较低、运行可靠的特点，因此，小湾、光照、溪洛渡等工程均采用这种方式输送水泥及掺合料。如果按输送物料在管道中所受风压状态区分，水泥及掺合料的输送还可以分为正压输送和负压输送两种方式，负压输送系统投资较省，可以多点受料，且由于设备及管路处于真空状态下，物料只能发生内泄漏，



因而环境比较清洁,但是由于负压值有限,输送的距离短(极限值 200m),输送能力较小,因而多用于火电系统,水利水电工程多采用正压输送,三峡、龙滩、向家坝等工程均采用正压气力输送。机械输送方式具有成本相对较低,输送距离短(一般不大于 60m),设备较多、布置相对复杂、检修维护工作量较大的特点。大型以上的混凝土生产系统通常采用 2 座以上的拌和楼(站),水泥、掺合料的输送强度高,如果采用机械输送方式,输送机械的布置特别难,因此大型以上的混凝土生产系统一般不采用机械输送方式;中小型混凝土生产系统中,水泥及掺合料的需要量较小,输送强度较低,多采用机械方式输送。

**6.3.6** 利用地势形成的自然高差,阶梯形布置混凝土生产系统可以缩小车间之间间距,减少系统占地,减少土石方开挖工程量和设备投资,阶梯形布置混凝土生产系统可以使主要原材料利用重力自上而下或水平运输,减少能量消耗,节能环保。国内很多水利水电工程如二滩、龙滩等,所处位置均处于山区,地势陡峭,混凝土生产系统均采用阶梯式布置。

拌和楼(站)是混凝土生产系统中最重要的设备,因此在混凝土生产系统的布置中需首先确定拌和楼(站)的位置,然后再根据工艺设计要求统筹布置其他车间及设施。主要原材料进料方向需和混凝土出料方向错开,以免形成干扰,最佳布置是两者互相垂直,如此可避免进料带式输送机的桁架支柱与混凝土出料线相互干扰。

**6.3.7** 水利水电工程建设中,拌和楼(站)是最主要的施工设备之一,拌和楼(站)最主要的设备是搅拌机,强制式搅拌机和自落式搅拌机最为常用,其中强制式搅拌机又分为双卧轴式与单卧轴式,较为常用的为双卧轴强制式。由于是强制性搅拌,因而,强制式搅拌机具有搅拌均匀性好,拌和时间短(一般为 65~75s),生产效率高,混凝土质量好等特点,既可生产低坍落度、干硬性的碾压混凝土,又可拌制常态混凝土,但与自落式搅拌机相比,前者能耗相对较高,对生产的混凝土级配有一定要

求,生产四级配常态混凝土时,搅拌机容量不小于  $4\text{m}^3$ 。

自落式搅拌机由旋转的筒体和固定在筒体上的叶片将混凝土原材料带至高处,靠其自重进行搅拌,较适合拌制高坍落度的常态混凝土。生产常态混凝土时,搅拌时间一般为 100~120s;生产干硬性混凝土时,搅拌时间一般为 150s;混凝土生产能力有所降低,因此需复核其生产能力。此外,自落式搅拌机生产碾压混凝土的生产能力还受到搅拌机进料容量和投料顺序的影响,搅拌机容量越大,容量调节系数越大,对生产能力的影响越小,两者均须通过试验确定。

强制式搅拌机有两个轴,受力较大,当拌制三级配混凝土问题不大,拌制四级配混凝土时,易发生断轴,这种现象在水口工程和三峡工程施工中经常发生。

另外,生产温控措施要求高的混凝土的时候,冰片融化需一定时间,采用强制式搅拌机拌和混凝土时,由于搅拌时间短,冰片未完全融化,有可能造成混凝土出机温度不满足要求。例如三峡工程混凝土出机口温度要求为  $7^{\circ}\text{C}$ ,采用强制式搅拌设备生产时不能满足要求,后改为用自落式搅拌机。

近年来,除强制式、自落式拌和楼(站)外,生产碾压混凝土还可以采用连续式拌和楼(站)。连续式拌和机为强制式,混凝土原材料的进料、搅拌、出料三道工序在一个长筒内同时连续进行,一端进料,另一端出料,混凝土生产从配料、搅拌到出料的整个过程均为连续。连续强制式拌和楼(站)具有拌和时间短(10~20s)、产量大、结构简单、能耗低、可靠性高、操作简单方便、占地面积少、建设周期短等特点,因此,混凝土生产工艺相对简单,碾压混凝土生产成本相对较低,但因其搅拌时间短,不易采取预冷措施,尤其是加冰拌和,且受骨料允许粒径限制,生产三级配混凝土时,需选用生产能力大于  $280\text{m}^3/\text{h}$  的连续式双卧轴搅拌机,通常适用于快速、连续、混凝土浇筑强度高、温控要求不高、不采取混凝土预冷措施的工程,如我国的沙牌工程。沙牌工程采用连续式拌和站生产碾压混凝土,拌和时间



10s, 混凝土生产能力  $200\text{m}^3/\text{h}$ 。

此外, 选择拌和楼(站)时, 还需注意尽量与混凝土浇筑设备匹配, 当拌和楼罐与浇筑时的吊罐容量不匹配时, 拌和楼的效率将不能得到充分利用。如小湾选用  $4\times 3\text{m}^3$  拌和罐, 与缆机吊罐  $9\text{m}^3$  不匹配, 影响供料效率。

综上所述, 选择拌和楼(站)时, 需考虑生产混凝土的种类, 级配、强度、骨料岩性、混凝土浇筑方案等因素, 在综合分析的基础上做出合理选择。

对于不同品种混凝土运输车辆需要配置明显的识别系统, 并保持与拌和楼(站)生产的混凝土品种相一致, 杜绝错用。

**6.3.8 拌和楼(站)出料线路**(无轨运输、有轨运输、带式输送机运输)布置方式直接关系到拌和楼(站)所生产的混凝土的顺利发运和拌和楼(站)的正常生产。

有轨运输运行成本相对较低, 环境污染小, 但对地形条件和轨道的线形参数要求较高, 土建费用相对较高。采用有轨机车运输混凝土一般均配合揽机。

无轨运输运行成本相对较高, 但线路布置灵活, 适用范围较广, 可供应多个混凝土浇筑区。

带式输送机运输成本相对较低, 线路布置最为灵活, 对地形的适应性强, 混凝土可连续均衡入仓, 有利于快速浇筑, 施工进度快, 但设备投资相对较高。国内已建工程中, 三峡、小浪底、龙滩等工程均采用了带式输送机转塔带机运输方式。

**6.3.9 混凝土生产系统成品骨料堆场**主要调节作用, 国内混凝土生产系统骨料储量(活容积)大多为月高峰日平均的  $3\sim 5\text{d}$  需用量。实践证明, 当骨料总储量小于  $2\text{d}$  时, 其活容积常不足两个班的生产需用量, 加上各级骨料需要量与储存量百分比存在不均衡的因素, 此时管理稍有疏忽或运输线路上出些问题, 便会影响正常生产进行。龚嘴工程原设计有  $3\text{d}$  的储量, 施工时为了减少开挖量, 将堆料场由  $140\text{m}$  长缩短到  $100\text{m}$ , 实际储量不足  $2\text{d}$ , 高峰期间经常供料不足。他们认为储量(活容积)以  $3\sim 5\text{d}$

为宜, 乌江渡江南系统, 因受施工场地限制, 堆场总储量  $10000\text{m}^3$ , 其中活容积只有  $1\text{d}$  的使用量, 既不能保证脱水需要, 也影响供料, 因此后来又增设  $10000\text{m}^3$ 。

美国混凝土施工手册规定骨料堆存  $3\sim 7\text{d}$ 。日本一般水利水电工程也在这一范围, 但有些工程受地形限制时, 储量仅几小时的需用量。我国有些工程条件较困难, 如白山工程预热仓与堆料场相结合, 为减少基建费用, 骨料只有  $1.5\text{d}$  的储量。

当场地布置特别困难时, 骨料储量(活容积)可适当减少, 但不要少于  $1\text{d}$  的需用量。

**6.3.10 沥青混凝土制备机械**额定生产能力一般是针对道路工程的, 水工沥青混凝土中细料用量较多, 必须延长搅拌时间才能保证搅拌均匀, 故而生产能力下降, 据国内外工程实践统计分析, 一般拌制水工沥青混合物生产率均为额定值的  $65\%\sim 75\%$ 。

沥青拌和厂厂址通常靠近铺筑现场, 除了便于管理、避免离析外, 更主要是减少运输过程热量损失, 以确保施工质量。

一般情况下, 运输时间在  $0.5\text{h}$  以内, 运输过程热量损失较小, 这对提高起始碾压温度, 保证沥青混凝土施工质量十分有利。

沥青混凝土工厂需远离易燃仓库与建筑物, 以减少发生火灾的可能性, 由于生产过程会产生大量有毒烟尘, 故要求远离生活区, 并设在下风处。厂址选择其余要求, 同混凝土工厂。

**6.3.11 沥青**分为散装沥青和桶装沥青, 桶装沥青损耗较大, 有条件时需选用散装沥青。散装沥青运输一般采用铁路专用罐车运输, 一次运来的沥青量较大, 因此工地沥青库需考虑到这一特点。

**6.3.12 大中型水利水电工程水泥**用量大, 通常选用散装水泥。美国、日本等在 20 世纪 70 年代后, 散装水泥使用比重已占  $95\%$  以上。目前国内也达到  $70\%$  以上。因此, 本标准强调以散装水泥为主。但一般在初期临建工程或散装设施未建成之前还需使用少量袋装水泥, 因此在工艺布置上也要考虑留有使用袋装余



地，并纳入整个水泥储运系统中。

考虑到混凝土浇筑高峰时段一般仅2~3个月，水泥储存量过大将给施工布置带来困难，并增加基建及运行费用，水泥是一种水硬性胶凝材料，储存期间会和空气中的水气及二氧化碳发生作用，从而降低水泥强度。因此水泥仓库不要过大。

水泥储备量需根据混凝土系统的生产规模、水泥供应及运输条件、施工特点及仓库布置条件等综合分析确定，既要保证混凝土连续生产，又要避免储存过多、过久，影响水泥质量，水泥和粉煤灰在工地的储备量按可供工程使用日数而定：①陆路运输：4~7d；②水陆运输：5~15d；③当中转仓库距工地较远时，可增加2~3d。

本条对不同运输方式所取储存天数与我国水利水电工程当前实际水平是相近的。随着水泥供应、运输等技术水平不断提高，按水泥储存天数下限值减少1~2d是完全可能的，目前国外不少水利水电工程水泥储存天数只有1~2d，因此储存天数拟向低值调整，但同时需满足混凝土温控对水泥和掺合料的温度要求。

同种水泥，袋装价格高于散装价格，且散装水泥使用与专用车辆运输。国内水利水电工程主体工程以使用散装水泥为主，袋装水泥主要在水电工程建设前期使用，多用于临建工程。

水泥及掺合料储存天数主要根据国内工程多年来的工程经验而定。实践表明，按照本条规定储存水泥及掺合料可以满足混凝土系统的使用要求。

## 6.4 混凝土预冷、预热系统

**6.4.1** 原材料在自然条件下拌和是指混凝土的组成材料未采取任何预冷措施的条件拌和。经热平衡计算后，当混凝土出机口温度高于混凝土温控要求的入仓温度时，需设置预冷系统。

拌制预冷混凝土时，由于骨料预冷和加冰拌和等因素的影响，拌和设备的生产能力有所降低，需对拌和楼（站）的生产能力进行复核，同时按最大预冷混凝土的入仓强度进行复核。

混凝土预冷系统制冷容量需综合考虑预冷混凝土浇筑强度、混凝土出机口温度、混凝土生产时段及水文气象条件进行计算后确定。因为预冷系统的生产规模不仅与施工进度安排的高温时段各月预冷混凝土浇筑强度有关，还与高温时段各月预冷混凝土的温度控制要求有关，和水文气象条件诸如水温、气温、湿度等因素也有关。预冷混凝土生产能力仅反映的是每小时需预冷的混凝土量，但决定混凝土预冷系统规模的是预冷骨料、制冷水、制冰等所消耗的冷量。很多工程为降低温度控制费用，通常在高温时段的最热月份少交或停浇预冷混凝土，因此会出现最热月份温度控制要求较高（混凝土入仓温度低），但预冷混凝土浇筑强度低于高温时段的其他月份，所需冷负荷不是最高的情况。因此，需要用预冷混凝土的生产能力和所需的预冷负荷来表示混凝土预冷系统的生产规模。

不同的混凝土预冷措施，其相应配置的制冷机组设计工况也各不相同，同一台机组在不同的工况下，其制冷量也不一样，与系统地蒸发温度和冷凝温度有关。标准工况是制冷系统的统一工况，是指制冷机组在蒸发温度为 $-15^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度为 $30^{\circ}\text{C}$ 条件的运转工况。将设计工况下的制冷量统一折合成标准工况下的制冷量，便于用来比较不同制冷系统制冷能力的大小。

制冷设施中的管道、围护结构等的隔热保温都需要冷负荷，拌和楼（站）、冰库等设施也需要保温，这些都需要消耗冷负荷。在确定混凝土预冷系统的预冷规模时，需计入这部分冷负荷。

**6.4.2** 混凝土浇筑温度由温控计算确定。混凝土出机口温度根据浇筑温度和混凝土在运输、浇筑、振捣过程中的热损失来确定。混凝土各组成材料预冷温度根据混凝土出机口温度、预冷方式，按照热平衡原理通过计算确定。混凝土出机口温度是混凝土预冷系统设计的基本参数，它决定混凝土的预冷工艺。

拌和料预冷方式可采用骨料堆场降温、加冷水、加冰拌和、粗骨料预冷等单项或多项综合措施。这些都是国内大、中型工程已普遍采用的措施。采用时需根据具体情况进行技术经济比较



确定。

水的热容量大,制冷水和制冰工艺成熟,便于输送,因此,确定预冷措施时,需首先考虑加冷水和加冰拌和。当加冷水和加冰拌和不能满足要求时,需对粗骨料进行冷却。随着骨料预冷技术的发展,冷水喷淋冷却骨料因存在脱水、保温及上料问题,逐渐被一、二次风冷所取代。三峡工程水利枢纽工程、大藤峡水利枢纽工程、丰满水电站全面治理(重建)工程以及在建的云南黄登水电站等均采用二次风冷工艺深冷骨料。

**6.4.3** 采取增加堆料场堆高、地弄取料、搭棚、喷水等措施,简便易行。对防止骨料升温,减少温控负担有良好的效果。各工程由于情况不尽相同,特别是相对湿度影响较大,但一般均能达到本标准所列数值水平。

干燥并曝晒在阳光下,砂石温度常大大高于实际温度,通常避免。

水泥温度实测资料较少,根据丹江口 1959—1962 年实测拌和楼水泥温度最高为  $36^{\circ}\text{C}$ ,丹江口为袋装水泥,可能储存时间较长,葛洲坝散装水泥的实测温度也很少超过  $40^{\circ}\text{C}$ 。但东风与五强溪工程调查中发现有时可达  $50^{\circ}\text{C}$ ,而铜街子工程在使用附近的峨眉水泥厂专门为工程生产的矿渣水泥时,由于厂方为尽快腾空仓库,有时工地测得的水泥温度可达  $70^{\circ}\text{C}$  以上。但这属于特例。根据上述,结合国内水泥市场供应条件较为优越、宽松的情况,本标准推荐夏季水泥入机温度一般在  $40\sim 60^{\circ}\text{C}$  范围选取。

近年来,进口或国产片冰机的大量使用,使加冰技术大大提高,国内工程已很少采用加冰块的方法。二滩、小浪底、三峡、黄登等工程已改为加冰屑(或称冰粒)。片冰制成时为  $-12\sim -8^{\circ}\text{C}$ ,隔热储存后为  $-5^{\circ}\text{C}$ ;转运多次或无隔热储存后亦多为  $0^{\circ}\text{C}$ ,且有融化现象。

随着国内制冰、储冰技术和设备的不断发展,冰的潜热利用率越来越高,统计资料表明,上世纪建设的丹江口、葛洲坝等工程,冰的冷量利用率为 75% 左右,本次修编规范,推荐冰的

冷量利用率为 85%~100%,采用过冷冰屑可取值为 100%,从目前国内制冷技术水平和水利水电工程建设现状来看,趋势是采用高值。

**6.4.4** 预冷系统是混凝土生产系统的重要组成部分,故预冷设施布置需与混凝土生产系统其他设施的布置统筹规划。

拌和楼(站)是冷负荷中心,各种冷却措施如加冰、加冷水、二次风冷、保温等均围绕拌和楼(站)进行,冷却设施靠近拌和楼(站)布置可有效减少冷量损耗。此外,合理利用地形布置制冷系统不但可以减少土建工程量和设备投资,也可以减少冷量损耗。

水利水电工程混凝土预冷系统主要由制冷车间、冷却水循环系统、各末端装置(冷风机、片冰机等)及其构筑物和相关设施组成。制冷车间是预冷系统的中枢,是冷源生产地。水利水电工程混凝土预冷系统一般采用氨制冷系统,主要原因是:

(1) 系统适应环境能力强,水电工程多建于深山峡谷地区,地域环境较差,氨制冷系统可以较好的适应这种环境。

(2) 单机制冷容量大,可减少系统占地面积。

(3) 混凝土预冷系统制冷剂用量大,氨液价格低廉,经济实用。

(4) 氨压缩机、辅助设备、冷却设备、管道及其配件价格较低,可节省投资。

氨制冷系统广泛应用于人工低温环境、冷库等工程,混凝土预冷系统氨压车间设计时,可以根据自身特点,因地制宜,有针对性地参照执行 GB 50072《冷库设计规范》以及相关国家标准。

**6.4.5** 制冷压缩机的产冷量和运行工况有关,不同工况下制冷效果相差很大,因此需要将不同蒸发压力(温度)的各种冷却设备负荷折算为标准工况下的负荷,并考虑冷耗附加系数后再据此选择氨制冷机。电动机功率一般按标准工况或空调工况配置电机。

水利水电工程采用最广泛的是螺杆式制冷机。制冷系统辅助



设备的配置需与主机设计运行工况相匹配,并适当留有余地。

预冷系统设备通常在高温季节运行,且满负荷运行持续时间较短,因此不考虑整机备用,一般可根据工程的具体情况考虑适当的负荷系数。

同一作业设备的型号统一,目的是便于设备的运行、维护和管理的工作量。

拌和设备的预冷混凝土生产能力与预冷混凝土的品种、出机口温度及采取的预冷措施等有关。一般情况下将降低拌和楼的生产能力,在选择拌和设备时需予以注意。

**6.4.6** 混凝土预热系统的主要任务是为低温季节混凝土施工提供满足入仓温度要求的预热混凝土。预热混凝土生产能力需根据低温时段混凝土浇筑高峰月强度计算。预热负荷需根据加热原材料、混凝土出机口温度、冲洗设备用水及建筑物采暖等所需热量计算确定。

由于低温条件下的混凝土硬化和施工有其特殊性,因而对混凝土生产系统也提出了一系列要求。混凝土早期受冻所受到的损害,对结构物来说,是永久性的破坏。在混凝土拌和物中,水的冰点大约为 $-2.5\sim-0.5^{\circ}\text{C}$ 。当温度低于 $4^{\circ}\text{C}$ 时,水的体积就会膨胀,当温度降低到 $-3^{\circ}\text{C}$ 时,拌和物中90%的水将被冻结,水化作用基本停止,冻结使混凝土体积膨胀,使水泥黏结力丧失,这时解冻,就不能恢复原来的状态。

如果在低温季节为新浇筑的混凝土创造一个人工环境,使混凝土拌和物在正温条件下养护一定时间,获得一定强度后再遭冻结,那么解冻后的混凝土就不致于会造成破坏。因为这时已有相当一部分拌和水已固定到水化物中去了,混凝土内可能冻结的自由水量很少,即使冻结,引起的内应力也很小。混凝土早期允许受冻临界强度,按SL 677规定,大体积混凝土需不低于 $7.0\text{MPa}$ ;非大体积混凝土和钢筋混凝土需不低于设计强度的85%。

在工程实践中,正温的温度不许低于 $5^{\circ}\text{C}$ 。这就必须对混凝土

的一种或几种组成材料进行加热,使混凝土拌和物蓄有相当的热量。这是低温季节混凝土施工对混凝土生产系统提出的要求,也正是混凝土预热系统所要解决的问题。

混凝土各组成材料的加热温度,需根据混凝土出机口温度,按照热平衡原理,通过计算确定。水的热容量占混凝土拌和物总热容量的26%,加热拌和用水可以得到较好的预热效果。水的比热大,是良好的热载体。另外水加热设备简单,工艺成熟,有许多种加热方法可供选用。水加热设备易于密封,输送管道易于保温,热损失小,设备造价和运行费用均较低。因此,在确定混凝土各组成材料的加热温度时,需首先考虑加热拌和水,只有在最大限度地加热拌和水所带来的热量不能满足热平衡要求时,才考虑加热其他组成材料。

当水温超过 $60^{\circ}\text{C}$ 时,水与水泥拌和时易产生假凝现象。如室外气温很低,为提高混凝土出机口温度,水温需高于 $60^{\circ}\text{C}$ 时,则需改变拌和顺序,将骨料与水先拌和,然后加入水泥拌和。

**6.4.8** 为防止混凝土早期受冻,混凝土浇筑温度高好一些,一般各国规范要求及实践均不低于 $5^{\circ}\text{C}$ 。

大体积混凝土除要防冻外,还需防裂。由于体积大,混凝土浇筑后,其表面温度虽然很低,内部温度因水泥水化热而上升,为减少内外温差和基础温差,混凝土浇筑温度尽量要低,一般最好不超过 $10^{\circ}\text{C}$ ,因此混凝土浇筑温度一般以 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,如能采取措施,加强浇筑后的保温,使浇筑温度维持在 $5^{\circ}\text{C}$ 是最为有利的。

中小体积的混凝土结构,由于散热条件好,水化热温升可以较快的散发,加之中小结构的混凝土较易受外界温度的影响,因此,混凝土浇筑温度需高于大体积混凝土浇筑温度,但浇筑温度也不能过高。

**6.4.9** 预热系统的布置及设计需与砂石料加工及混凝土生产工艺统筹规划,预热系统集中布置可有效减少供热热能损耗,系统布置及运行管理也相对方便。



预热系统的锅炉房有明火源,加热骨料的介质有热水,高温蒸汽,均是可引发人身安全和财产损失的危险源,因此,预热系统的设计需满足国家和行业的相关法律、法规、规程及规范。

加热水拌和是低温季节混凝土施工最简便易行的工艺,需首先考虑。若加热水拌和不满足要求,才可考虑加热骨料。

加热水泥容易引起水泥硬化、过热,发生假凝,影响混凝土后期强度,因此不允许以任何方式加热水泥。

预热混凝土出机口温度不同,混凝土原材料加热的温度也不同,因此需通过热平衡计算确定混凝土原材料的加热温度。

骨料预热系统只有在寒冷地区的水利水电工程且有低温季节浇筑混凝土时设置,而砂石料加工系统冬季一般处于停产状态,因此低温季节混凝土浇筑所需骨料需在低温季节到来之前全部加工生产完毕,妥善储存并考虑 1.25 倍的裕量。

**6.4.10** 选用单机容量大的搅拌机或拌和楼,可减少同时运行设备的数量,减少热水冲洗量,降低热能损耗和热量损失。

混凝土预热系统的热源由锅炉提供,是混凝土预热系统的主要设备,锅炉数量的选择需考虑经济合理、便于运行管理,以及能够更好地适应工程所需热负荷的变化等因素综合考虑。锅炉台数过少,系统供热的灵活性和适应性较差,还易造成能源浪费;锅炉台数过多,给管理、运行及维修等均带来不利因素,土建费用及占地面积也随之增加。确定混凝土预热系统的锅炉数量时,可参照 GB 50041《锅炉房设计规范》的有关规定。

## 6.5 压缩空气、供水、供电和通信系统

**6.5.1** 本条系指压缩空气(简称压气)系统的供气对象。距施工现场较远的施工工厂和临建工程用风量不大,可由自备空压机供气。

根据水利水电工程用气点分散和经常变动的特点和设站的经验,压气站不要过分集中,否则会导致管道过长,不仅增加投资,也使漏气、压力损失增大,这将导致风动工具生产效率大幅

度下降。所以对压气站集中或分散设站,需进行认真研究比较后确定。

现在大型凿岩设备正在向液压发展,仅需少量供冲孔的压气,可随机供气,大型风动凿岩机及长隧洞掘进国外也倾向于随机供气,既可缩短输气距离减少压力损失,又使凿岩设备及其动力具有更大机动性,所以本条提出在有设备配套的条件下尽可能地采用随机供气。

附录 G.2 所推荐的压气需用量计算公式为常用公式,引自《压缩空气站设计手册》。

**6.5.2** 本条参照 GB 50029《压缩空气站设计规范》编写。压气站需靠近“负荷中心”,系指各用风点耗风总量的重心所在地。当受爆破安全或施工布置场地限制时(如隧洞施工),压缩空气站至用气地点的距离最好在 0.5km 以内,至多 2km。“位于空气洁净,通风良好之处”,包含了避免靠近散发爆炸性、腐蚀性和有毒气体,以及粉尘等有害物的场所内容。

**6.5.3** 本条规定施工给水系统的任务是保证供应一定数量、质量和水压的施工生产、生活和消防用水。

生产用水有各种不同用途,对水质、水压标准要求也不同,设计中需遵循附录 G.3 所列有关规定。其中施工生产用水水压要求,主要根据用水设备要求的进水口压力拟定。确定供水量的原则是满足不同时期日高峰需要量,由于分区日高峰用水量并非同时出现,只有满足不同时期用水量要求,才真正满足了施工供水水量要求。

生产用水、现场生活用水和生活区用水情况不同,前者通常以班计,后者通常以昼夜计。因而不均匀系数亦需分别选定。

总供水量 = 生产用水量 + 生活用水量  $\geq$  消防用水量 (7)

**6.5.4** 水源选择需考虑的因素,除列出 GB 50013—2014《室外给水设计规范》中 5.1.2 所列一般性原则外,由于水利水电工程往往地处深山峡谷,有可能利用地下水或自流水,有条件时,通常采用比较经济的方案。



不少工程实践已证明，施工生产废水（特别是冷却水）的回收，不仅可节约能耗与水资源，也有利于满足环境保护、节能降耗的要求，因而需考虑废水回收循环使用。

**6.5.5** 水利水电工程施工场面大、用户比较分散，施工场地地形条件差别甚大，供水系统或集中或分散，需根据现场条件及其他因素通过技术经济比较后确定。

**6.5.6** 本条阐述自备发电厂供电方式及容量计算原则，可结合大中型水利水电工程施工特点拟订。

**6.5.7** 本条阐明施工供电的负荷计算。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、泄洪设施以及医院的手术室、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，因此大中型电站需具有两个以上的电源，否则需建自备电厂。

需要系数法为我国目前各设计部门对施工供电设计用电负荷所常用的计算办法，但当资料不足时，尚可采用总同时系数法。其总同时系数，从目前国内若干工程统计资料分析在 0.21～0.31 范围内（见表 36），这本身反映了各工程的设备有效利用率很低，随着技术水平不断发展，该值有所提高，因而规范推荐总同时系数在 0.25～0.4 范围选取。

表 36 国内若干水利水电工程总同时系数统计

工程名称	总同时系数	工程名称	总同时系数
三门峡	0.26～0.28	刘家峡	0.30
新安江	0.31	葛洲坝	0.21
丹江口	0.26		

**6.5.8** 各级电压合理的输送半径及容量参照《电力工程设计手册》的有关内容，结合水利水电工程施工供电情况进行调整后拟订。

**6.5.9** 本条强调通信系统设计需体现“迅速、准确、安全与方便”的原则，阐述施工通信系统的组成与要求。光纤通信网络系统已在水利水电工程中得到广泛应用，移动电话已成为工程施工管理不可缺少的通信工具。

6.6 机械修配厂、加工厂

**6.6.1** 本条主要指出机械修配厂（站）址选择及布置的一般原则。其中“宜与汽车修配厂设结合置”，是考虑到施工机械中的内燃机底盘等与汽修厂修理内容基本一致，相结合或靠近布置便于协作。

需要指出的是，随着技术的发展和市场经济的完善，水利水电工程工地的机械修配规模已大大缩小，其原因一是水利水电工程实行招投标后，设备更新加快、机械折旧年限缩短，使施工机械从购置到报废期间的修理次数大大减少；二是施工设备的故障率比过去大大降低，且很多设备均由生产厂家专门负责维修、保养；三是工程分标发包和施工机械租赁企业的出现，使得为整个工程服务的修配厂也失去了必要性，因此，利用工程附近城镇的机械修配能力，减少现场机械修配厂规模是水利水电工程建设的发展趋势。

**6.6.2** 为便于经济有效的管理，从国内钢铁、冶金、交通运输部门对汽车保养站服务范围，推荐值均为 50～300 辆，这与目前水利水电工程汽车保养站服务范围基本一致，因而本标准确定选用该值。

为使汽车修配厂、保养站规模与工作量直接挂钩，一般用标准台或以工时劳动量表示。但目前很多工程施工使用的车型比较单一，此时保养站规模用自然台表示更为有利。

和机械修配厂同样原因，尽量缩小现场汽车修理厂或汽车保养站规模也是水利水电建设的趋势。国内很多大型工程现场均不设汽车修理厂，仅设置规模较小的汽车保养站。正在建设中的丰满水电站全面治理（重建）工程，大坝标段是整个工程最大的标



段,该标段使用的重型汽车全部采购自国内某著名厂家,承包商只提供  $5000\text{m}^2$  场地,汽车的运行维护由厂家派专人常驻现场进行。

**6.6.3** 大型钢管运输困难,即使加工成瓦状,途中变形仍较大,将增大校正工作量,而节省加工工序不多,因而最好在工地制作。若运输及变形可以解决,亦可由厂家加工成节或瓦状运至工地组装。龚嘴、鲁布革即这样做的。但厚壁、小直径钢管则不受此限。

**6.6.4** 考虑到目前水利水电工程钢模、钢木组合模板、滑模及混凝土预制构件大量使用,木材加工厂规模大为缩小,计算中不宜再套用早期各水利水电工程统计值。

**6.6.5** 本条主要阐明钢筋加工任务与规模的确定。钢筋加工厂规模过去设计一般由年钢筋用量来推算产量。考虑到初设阶段施工总进度一般按月编制,利用高峰期各部位混凝土强度及钢筋含量来计算规模更为准确一些,故予推荐。

**6.6.6** 既往工程经验表明,是否单独设置混凝土预制厂需视预制量多少和场地等条件确定,当年构件需要量小于  $3000\text{m}^3$  时,一般相当于日产  $10\text{m}^3$ ,所需场地不大,因而可以就地拌制,不必单独设厂。混凝土预制构件重量大,易损坏,厂址需设在交通方便、接近用户处。

**6.6.7** 关于工地设厂条件,有的部门规定制氧厂距工地超过  $50\text{km}$ ,或昼夜用氧量超过  $480\text{m}^3/\text{d}$ 。以  $50\text{km}$  划线,对于水利水电工程并不适宜,自设制氧厂,在经济上主要是减少了氧气瓶往返运输费,但各水利水电工程临时性制氧厂,其生产成本往往高于永久制氧厂出售价,有些甚至高出  $80\%$  左右,即使不计入这一因素,一般工程制氧厂土建费用与不设厂增加运输费用对比,其经济半径约  $250\text{km}$ 。

**6.6.8** 水利水电工程一般均安装有大型设备和金属结构,外形尺寸较大,因此大型水电工程需设置大型设备和金属结构拼装场,拼装场需尽量靠近安装部位,便于大型设备及金属结构拼装后运输到安装现场。

## 7 施工总布置

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 主要阐明了在进行工程施工总布置时要注意的一些问题,设计所涉及的各种基本资料。施工总布置规划要综观全局,统筹规划、协调局部与整体间的关系,使施工总布置设计成果不仅能保证工程施工顺利进行,而且具有良好的技术经济效益。

**7.1.2** 施工总布置规划要适应现行的水利水电工程建设管理体制,充分考虑项目管理模式、工程建设的分标因素及其对施工总布置格局、规模等的影响;要协调好涉及施工区整体布局以及在时间、空间的各方关系。水利水电工程施工总布置设计,涉及的问题比较广泛,每一个工程都有自身特点,没有一个固定的格局可以沿用。在本条中提出了“因地制宜,因时制宜”做为设计原则,就是要在设计过程中针对具体工程的条件和特点,充分考虑建设期与运行期的结合、近期与远期的结合、临时与永久的结合、地方已有设施的利用、工程建设管理等因素,采用先进的施工技术和恰当的组织型式,使施工总布置规划合理,交通运输通畅便捷;同时贯彻珍惜每一寸土地的方针,合理规划工程占地,控制移民规模,有利于建设征地和移民安置的实施,并能满足环境保护和水土保持的要求,确保工程施工顺利进行,同时具有良好的社会效益。

**7.1.3** 本条单独成条,强调施工总布置规划要严格遵守环境保护和水土保持的规定,施工总布置规划要与环境保护、水土保持统筹兼顾、协调一致。

**7.1.4** 施工总布置需要全面调查收集和综合分析各种基本资料,在此基础上合理确定并统筹规划布置为工程服务的各种临时设施。施工总布置方案比选要对上述因素进行论证,确保方案的合理性。上述成果要满足 SL 619 的要求。施工总布置特性决定了



布置方案的多样性,并且这种多样性很难穷尽,工作量太大难以实现。一般根据施工交通布置和场地条件对不同方案进行比较分析,逐步优化,形成有明显可比选的方案。

**7.1.6** 本条主要是针对大型工程施工场地条件差、地质条件复杂的情况,对施工管理和生活营地、砂石加工系统、混凝土生产系统等地质和周围环境要求较高的重要设施的场地,需开展地质勘察工作,以保证建筑物的安全。

**7.1.7** 施工总布置所涉及的内容中许多项目为多个施工承包单位公用的施工设施,如外来物资转运站、场内交通干线、渣料堆(弃)场地等。本条明确施工总布置要对公用设施规模、布置、运行与维护管理,分期实施面貌,相互之间的衔接等作出规定。

**7.1.8** 本条对主要施工工厂设施和临建设施、渣场等施工场地提出了防洪基本要求。临建设施和施工场地的防洪标准因不同工程规模、工期、河流水文条件等各工程互不相同,在工程设计中根据各种设施的不同性质选取不同的标准。砂石加工系统、混凝土生产系统、施工管理区、生活区等重要场区的防护标准需选用较高的标准。临时工程防洪标准还要考虑回水、涌浪、冰凌、冲刷、浸没和坍岸影响,必要时需采取可靠的防护措施,以确保施工临建设施的安全。

## 7.2 施工总布置及场地选择

**7.2.1** 根据以往施工经验,施工场地布置可分为下列几个阶段:

(1) 工程准备阶段,主要是人员设备进场,形成风、水、电系统,导流工程、临时房建工程及主体工程开工前必要的施工工厂设施,包括骨料筛分、混凝土拌和系统及相应的修配厂、仓库等。

(2) 主体工程施工阶段,为工程全面施工的关键阶段。需确保重点、照顾一般、全面规划,统筹安排。在布置上一般先以开挖为主,逐步转为地基处理、主体工程填筑或混凝土浇筑以及金属结构安装等工程。

(3) 工程完建阶段,要妥善解决水库蓄水、发电有关布置问题,作好工程管理单位的厂区规划,合理使用场地;随着主体工程施工强度显著降低,逐步清还租用的施工场地。

**7.2.2** 在施工布置方案比较前,需要根据现场实际情况作好各施工临时设施的比较研究工作。条文中指出的六个方面不是孤立的,而是相互关连又互相制约,要妥善协调相互间的关系,才能为各种可能方案的技术经济比较提供依据。

**7.2.3** 随着我国社会经济的进一步发展,土地资源日趋珍贵,大中型水利水电工程施工需要占用大量土地,不仅费用高,征地移民难度也在逐年增大。因此,在满足工程施工的前提下,尽量少占用土地是施工总布置的一大原则,并需避开文物古迹,保护古树名木。

**7.2.4** 施工布置往往不具有唯一性,在有场地条件时需要根据枢纽布置、场地布置条件,建设及移民因素,结合施工需要进行多方案比较分析,从中选择较优方案。

**7.2.5** 许多施工场地狭窄,受地形限制施工布置非常困难,需研究采取相应的措施以获得施工空间,满足施工总布置要求。一般情况下,施工场地不要布置在坝址上游水库区,如果场地不足时,则需要研究利用水库区的可能性。如利用水库区,需着重研究水库水位变化情况,及水库坍岸的影响。对于松软基础,还要研究浸没的影响,避免因考虑不周而拆迁临建工程。利用弃渣场做为施工场地时,要特别重视解决导流、洪水带来的冲刷影响,也要考虑主要河道及两岸沟谷洪水顶冲的影响,作好防护设施。当开挖渣场不足时,采有堤坝维护时,需妥善解决场地防洪和排水问题。

**7.2.6** 本条提出了土石方平衡与堆弃渣场规划设计的主要原则,要尽可能的利用开挖渣料,减少工程投资。

**7.2.7** 本条所指出的地区,不要设置施工临时设施,其主要原因是在这些地区布置施工临建设施将危及人员和工程安全,违反国家有关环境保护、自然资源保护等法律、法规。



7.2.8 利用河床滩地或对原河道进行裁弯取直获得施工场地时,必须满足防洪标准要求,要慎重研究对河道行洪和对环境的影响。对于施工场地要注意地基稳定,采取措施保证边坡稳定,防止冲刷破坏。

7.2.9 施工总布置要统筹规划设计有通航要求的水利水电工程的过坝临建设施。

7.2.10 渠、堤类线型工程施工区域狭长、工期较短,施工营地集中布置弊端较多,一般针对不同地段的自然条件和施工特点,充分利用社会的生产、生活资源,采用集中与分散相结合的场地布置方式。

### 7.3 施工分区规划

7.3.1 本条根据水利水电工程施工的一般状况,划分为8个施工区,目的是为了统一分区名称,按分区统计建筑和占地面积,以便类似工程能相互比较。本次将原规范中的施工管理及生活区分为解为施工管理及生活区和工程建设管理及生活区,主要是满足目前大中型工程建设管理的需要。

#### (1) 主体工程施工区。

主体工程施工包括闸、坝、厂房、泵站、渠道、河道、堤防等永久工程和导流工程的施工现场。主要施工项目有开挖和填筑、混凝土浇筑、灌浆、金属结构和机电安装等。主体工程施工区内的施工布置要明确主体工程土建、金属结构与机电设备安装的运输道路、施工机械布置及运行场地,协调区内给排水设施、施工压缩空气设施、供电设施、现场加工及材料存放的位置。

#### (2) 施工工厂区。

施工工厂区包括砂石加工系统,混凝土生产系统,综合加工厂(混凝土预制厂、钢筋加工厂、模板加工厂),土料加工系统,机械修配厂,施工压缩空气、供水、污水处理、供电系统,金属结构和机电设备拼装厂,制冷供热系统等区域。砂石加工系统、混凝土生产系统最好集中布置。土料加工系统要根据不同加工工

艺流程布置。综合加工厂选址通常靠近交通干线,方便运输;最好靠近主体工程施工区;混凝土预制厂一般要靠近混凝土拌和系统;要与生活、管理区保持一定的距离。机械修配厂最好选择交通方便、地形地质条件满足要求、对生活管理区影响小的场地。

#### (3) 当地建材开采区。

当地建材开采区包括土料、砂砾石料、块石料等需要开采的当地建材布置区域。需根据当地建材料场开采规划,分析确定开采区占地范围和爆破影响区范围。

#### (4) 工程存弃、渣场区。

工程存、弃渣场区包括工程开挖的有用料的存放和无用料的堆弃区域,也包括施工工厂、生活环境产生的固体废物处理堆弃区域。有用料包括围堰填筑料、大坝填筑料、混凝土骨料、块石料等。水库库内弃渣时不影响建筑物正常运行;不影响水库调节库容;不影响施工期导流和安全度汛。下游沿河不要布置存、弃渣场。无场地条件必须布置时,不影响工程安全度汛,不妨碍行洪畅通,不影响河道通航条件,不影响工程效益。

#### (5) 仓库、站、场、码头等储运系统区。

仓库、站、场、码头等储运系统区包括外来材料和设备的中转装卸场和仓库。储运系统要有良好的交通条件,其布置要符合国家安全、防火、防爆等规定,其位置要根据储存材料、技术要求、服务对象、场地条件确定。

#### (6) 机电、金属结构和大型施工机械设备安装场区。

机电、金属结构和大型施工机械设备的停放、拼装和加工场地可根据施工条件和需要设置,且要靠近安装部位或直接现场布置。选择场地要交通运输方便、地势较平坦、水电供要方便。

#### (7) 施工管理及生活区。

施工管理及生活区包括施工单位的办公、生活设施场地,也包括一部分设备停放、材料存储、加工修配厂等。施工管理及生活区选址一般要交通便利、相对独立和安静。场地规划通常结合分区(段)情况,前后协调、充分利用土地及建筑资源。房屋建



筑标准需根据当地地形和气象特征、房屋使用条件确定,并需满足消防要求。使用期在3年以上的房屋建筑最好选用永久结构。

#### (8) 工程建设管理及生活区。

工程建设管理及生活区包括业主、设计、监理营地、运行管理区、现场公共设施。现场公共设施包括接待中心,警卫营地、工地试验室、水文气象站、医院、消防站、运动场、通信系统等。工程建设管理及生活区一般要结合工程布置特点、施工分期、运行管理要求,兼顾生产和生活区布置。施工期建设、设计和监理办公生活区通常集中布置。建筑规模要根据施工期和建成后运行管理人数和其他因素综合分析选定,并满足国家对项目建设用地控制指标的要求。

**7.3.2** 在总结工程实践资料基础上,归纳了施工分区布置的11条原则,在研究施工分区时,一般情况下需要根据这些原则进行布置。

施工分区规划首先要进行场内交通规划,场内交通规划要首先研究对外交通衔接方式,坝顶和进厂交通的主干线走向。要以大宗的天然建筑材料运输流向拟订场内主要交通干线,进而进行施工分区规划。

混凝土坝和当地材料坝两种坝型,在布置上要保证主要生产系统布置适宜的位置,使其运用可靠、经济合理。妥善解决重点设施布置问题,其他临时设施则处于从属地位。在设计中重视研究重点设施布置方案,非重点项目则围绕重点项目布置。

随着场内道路和交通工具的改善,对居住区工作地点的距离不作具体规定,有条件可适当远些,但需要对工作人员的上、下班交通问题给予重视。

生产临时设施要靠近施工区布置,生活区要布置在安全地带,体现以人为本的原则。注重施工作业区、施工工厂区、当地建材开采区、仓库区、主要施工道路、堆(弃)渣场地、生活及商业服务区等按功能分区布置,避免交叉混杂。各区之间要留有过渡带,并能适应分标施工。特别对砂石加工与混凝土生产系

统、采石场、金属结构拼装场、钢筋、木材加工厂等产生噪声、粉尘的施工作业,要注意对周边环境危害的控制,必要时需采取工程措施以满足环境保护要求。外来物资转运站距施工区较远时,需有独立的配套临建设施。

易燃易爆等特殊物资库在总布置中摆放的位置、建筑物结构型式、物资堆放要求及必要安全设施等设计,均需要满足国家及有关法律法规、规程规范要求。

施工工厂、站(场)和仓库的建筑标准和结构型式要根据所在地的地形地质条件、气象特征和使用年限确定,生产建筑要体现安全生产,满足生产工艺流程与技术要求,为缩短建设周期尽量采用定型化、标准化的装配式结构。

**7.3.3** 在确定施工工厂、仓库和项目规模以及建筑面积、占地面积时,除分析计算外尚需参考类似工程的实践经验。

工程施工管理及生活建筑面积,根据施工人数及人均占用面积进行计算。为保证所建房屋面积既不多余又能满足使用要求,计算时采用施工高峰年平均人数。

根据已建工程经验,工程建设管理人员的生活建筑面积以及公共的文化、商业、服务等设施的建筑面积,各工程由于建设和管理模式不同而差异较大,无法统一计算标准。因此,该部分建筑面积主要通过分析工程建设管理和公共设施所设置的项目、规模,参考类似工程估算。

## 7.4 施工场地防洪与排水

**7.4.1** 针对主要施工工厂设施和临建设施的防洪标准尽量不要定得太死,因工程规模、工期、河流水文条件等各工程互不相同,在工程设计中可根据各种设施的不同性质选取不同的标准,如砂石料加工系统、混凝土生产系统、生活区等重要场区的防洪标准需选用较高的标准。临时工程防洪标准还需考虑回水、涌浪、冰凌、冲刷、浸没和塌岸等影响,必要时需采取可靠的防护措施,以确保场地和设施的安全。



确定施工场内的主要交通干线、桥梁、隧道、码头等建筑物的设计防洪标准时，还需参考有关专业部门颁布的规程、规范中的相关规定。一般情况下，临时工程防洪标准需取下限值。若经研究确定主要施工工厂设施和临建设施与城镇规划相结合时，需与城镇防洪标准相适应。

**7.4.2** 利用河床滩地或对原河道进行裁弯取直获得施工场地时，需满足防洪标准的要求，需慎重研究对河道行洪和对环境的影响。对于施工场地需注意地基稳定，采取措施保证边坡稳定，防止冲刷破坏。在严寒地区需考虑冰冻影响。

在一般情况下，施工场地尽量不要布置在坝址上游水库区。如果场地不足时，则需研究适当利用水库区的可能性，但需分析库水位变化情况，以及水库坍岸的影响。如果是松软地基，还需考虑浸没的影响，避免因考虑不周而拆迁临建工程。

**7.4.3** 本条明确了工程临时堆弃渣场和永久弃渣场的防洪标准。永久渣场往往弃渣量大，而且属于永久性质，若遭受山洪冲刷失事后将影响电站发电，威胁工程或下游的安全，防洪标准根据其位置、地形条件、渣场规模、周围环境以及失事后的危害程度等因素结合 SL 575、GB 51018 中的相关规定选用。

**7.4.4** 本条总结了施工场地排水规划的一般原则：

高处雨水需设置截水沟（天沟）集中引排至主排水或支线排水系统，低处雨水需考虑场地（地形）或排水沟坡度，直流至雨水口或主（支线）排水系统。

场地排水一般包括降水、生产和生活废（污）水、天然沟渠汇水及地下渗水。降水是指地面上径流的雨水和冰雪融化水，常叫雨水，生产废水是指施工附属企业生产过程中产生的废水、污水，其来源为砂石加工系统、混凝土生产系统等。生活污水是指人们日常生活活动中所产生的污水，其来源为宿舍区、办公区、公用设施等处排出的水。

场地排水分为主排水系统和支线排水系统，支线排水系统一般接入主排水系统。主排水系统是指主要溪沟或为多个场地利用

流量较大的排水设施。支线排水系统是指单个工作区及场地内部的排水设施。

规划施工总布置场地排水时，需按条文的要求，充分利用自然地形和采取相应措施，保证及时排除地表雨水及自然排水的畅通。避免因排水不畅或内涝成灾，影响生产和职工生活。

对场内主要冲沟、溪流需采取防洪措施，以保证施工场地和设施不被冲毁，重要的施工场地不被淹没，次要的可临时停产的部分场地和道路，在泄洪过后能顺利排水清污，及时恢复生产。冲沟、溪流的防洪措施需与场地排水统一考虑，结合场地地形，因势利导，以导为主，尽量避免主要冲沟、溪流水进入施工基坑和主要施工场地，基坑运用时段较短、抽排量不大时可采用抽排措施。对泄水时可能产生泥石流和危及河内的临建设施，要予以足够的重视。

排水系统干、支沟一般有土质梯形明沟、梯形干（浆）砌石明沟，盖板式暗沟、暗管、涵洞等结构型式。沿场地地形布置排水干、支沟，纵横成网，有一定的纵坡和足够的断面，以保证排水畅通。排水系统与道路及临建设施统一规划，一般情况下，主要道路两侧均需设置排水沟。排入江河的主要出水口，根据排水量、流速和地基的土质情况做好护坡或挡墙等加固防冲措施。如果江河高水位时高于出水口，需采取措施避免倒灌。为防止暴雨内涝成灾，必要时设置排水泵站。

水利水电工程原来一般不设污水处理厂，而直接排入江河，利用江河自净作用处理污水。现在随着环保意识的增强，环保执法力度的加大，要求对施工工厂、生活营地和现场施工集中的大量污水、废水设厂进行处理，以达到环保要求的排放标准。

**7.4.5** 本条总结了渣场、场平等填方区排水设计的一般原则。为保证渣场稳定，底部结合反滤排水设施可设置抗滑区，抗滑区需选用质量较好的填筑料填筑。排水设施是渣场设计的重点，因地制宜、因时制宜地选择排水设施，一般按永久运行要求一次实施到位，减少施工过程中的风险。随着环保意识的提高，渣场均



要求防护和园林绿化、返土还田。

## 7.5 土石方平衡及渣场规划

**7.5.1** 根据物料性质合理确定其开挖的松散系数、回填的压实系数,以及开挖与回填施工作业中的损耗系数,最终目的是计算整个工程各种渣料的总开挖量、总利用量、总周转量和总弃渣量,为工程概算和渣场的选址规划提供依据。施工场地平整原则上要做到自身挖填平衡,一般情况下不参与工程土石方平衡规划。

**7.5.2** 根据土石方挖填平衡计算成果,按照《中华人民共和国水土保持法》《中华人民共和国河道管理条例》、GB 18599《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》、GB 50201《防洪标准》等的有关规定,对渣场选址与规划提出 7 条原则性规定,要求在设计中遵循。

**7.5.3** 本条规定了渣场规划的一般原则。渣场运行是一个动态的过程,从开始使用到封闭持续的时间长短差别很大,跨汛期使用的渣场排水和防护比较复杂,要求结合施工总进度要求提出渣场运行程序,以便于渣场排水和防护设计。

## 7.6 施工用地

**7.6.1** 我国人多地少,耕地资源稀缺,水利水电工程用地需符合土地利用总体规划。建设项目立项要经过充分论证其技术、经济的可行性,对确有必要建设的项目,需综合考虑环境资源、资金等条件,并严格按照国家有关规定确定用地标准,以避免造成投资和土地的重大浪费。特别在地形复杂的山岭地区,施工可利用的场地多为当地群众(特别是少数民族)赖以生存的耕地,施工用地直接关系到移民安置工作的效果和难度,事关重大。

**7.6.2** 本条提出工程建设用地范围划定的原则。考虑到地形条件与工程建设管理需要,建设场地尽量连片征用。

**7.6.3** 施工用地范围需根据工程规模、场地地形条件以及用地

(建筑物)性质、使用时限等综合因素进行确定。施工用地往往涉及交通线路和若干企事业单位用地,施工总布置一般结合城市规划进行交通和场地布置,尽量避开省级以上政府部门依法批准的需特殊保护的区域,并使基础设施在施工结束后仍可利用。

根据近年来工程施工的实践,大型工程施工区附近有条件时,一般考虑与地方规划用地相结合,一是为工程施工提供拾遗补缺的服务;二是依靠工程的便利条件解决一部分移民安置问题。

**7.6.4~7.6.6** 根据工程施工用地在使用完成或工程竣工后能否恢复原用途,将工程施工用地划分为临时用地与永久用地两种类型,以利于补偿费用计算和界定工程建设征地工作的开展。

工程永久占用地包括工程运行管理必需的陆域和水域,施工期可用于工程施工。施工临时用地按照《中华人民共和国土地管理法》规定,是指建设项目施工和地质勘查所需临时使用的土地,包括工程建设施工中设置的临时加工车间、修配厂、搅拌站、预制场、材料堆场、运输道路和其他临时设施用地,工程建设过程中的取土弃土用地,以及架设地上管线、铺设地下管线和其他地下工程所需临时使用的土地等。施工影响区包括爆破、爆炸、火灾、辐射、烟尘、噪声等危及安全的影响范围,在此范围内的居民需要搬迁,但不影响土地使用。对高坝大库和重要的水利水电工程,确定的安全保护区为主体建筑物附近的库区两侧至分水岭范围。

SL 106 中规定,其他建筑物占地范围从工程外轮廓线向外不少于 20~50m(规模大的取值趋向上限,规模小的取值趋向下限)。JTG B01 中规定,公路用地范围为公路路堤两侧排水沟外边缘(无排水沟时为路堤或护坡道坡脚)以外,或路堑坡顶截水沟外边缘(无截水沟为坡顶)以外不小于 1m 范围内的土地,在有条件的地段,高速公路、一级公路不小于 3m,二级公路不小于 2m 范围内的土地为公路用地范围。

水利水电工程施工临时设施用地的范围须考虑工程的特点,



平原区从严控制，山区则考虑地形、地质条件和建筑物大挖大填影响适当放宽。

水利水电工程场内施工道路、施工临时设施、料场渣场等用地范围建议从工程外轮廓线向外不少于 5~20m（规模大的取值趋向上限，规模小的取值趋向下限）。河流水面用地一般包括左、右岸岸边用地范围至河道中心的区域。

施工用地一般连片征用。为封闭管理需要，征地拐点数尽量不要过多。水利水电工程施工临时设施及场地用地，一般分为非封闭管理和封闭管理用地。非封闭管理用地根据设施及场地实际占用面积征地；封闭管理用地可根据施工总布置、交通及运行管理需要连续成片征地，但须慎征严重影响当地居民交通、水源等生产、生活条件的区域。

开挖爆破、爆炸、火灾、辐射、烟尘、噪声等危及安全的施工影响区需根据影响方式、现场条件确定。爆破（含水下爆破）、砂石加工和施工运输为影响施工区及周边环境的主要施工因素。爆破施工环境是受多种因素影响的多变的动态系统，各类爆破均会产生爆破地震、空气冲击波、飞石及有毒气体，危及爆区及附近人员、设备、建筑物等的安全。因此，必须确定爆破安全距离，设置警戒范围和采取安全措施。爆破安全距离按各种爆破效应分别计算后取最大值。

**7.6.7** 集中的取料场和弃渣场等用地，原则上需列为临时用地，并按国家有关规定进行复垦，恢复利用；如确难复垦可列为永久用地，但需结合地形、地质条件和施工安排等，优化用地方案。

## 8 施工总进度

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 施工进度计划是从工程建设的施工准备起始到完工为止的整个施工期内，所有单项工程建设的施工程序、施工速度及技术供应等相互关系，通过综合协调平衡后显示出总体规划的工期与强度指标。施工总进度是其他专业进度的指南，各专业进度需服从于施工总进度的要求，反过来施工总进度需根据各专业进度的情况进行调整。

编制施工总进度时，需根据工程特点、工程规模、技术难度，依据我国施工组织管理水平和施工机械化程度，合理安排工程建设工期。需分析论证项目业主对施工总工期提出的要求。

《中华人民共和国建筑法》《中华人民共和国招标投标法》和《国务院关于投资体制改革的决定》、国家（和地方）发改委制定的《企业投资项目核准暂行办法》、国家对基本建设程序和项目开工条件的有关规定等是确定工程工期和编制施工总进度的主要根据之一，设计需满足相关要求。

在水利水电工程建设中，合理工期需基于合理的施工组织设计。合理的施工组织设计需根据工程项目的特点（工程量大小、难易程度等）、环境条件（如交通、水文气象等）等具体情况，基于目前能达到的施工能力、施工水平而定，且必须确保工程安全和施工质量，避免相互干扰，保证各工序正常的施工条件及施工周期，达到合理的施工效率和经济效益。一般情况下，机械化程度越高、工期越短，工程受益越早，项目的经济指标越好，但需引起注意的是对于不控制工期的分项工程或条件差的中型项目，采用高度机械化施工有可能引起临建工程规模或附加工程量的大幅增加。

施工总进度可按下列步骤进行编制：明确施工导流方案、导



流程序和主体工程施工程序；编制单项工程进度；确立各单项工程间的逻辑关系，明确关键线路；调整平衡资源配置；确定工程总工期；编制工程总进度图（表）；编写施工总进度报告等。

施工总进度设计成果需明确下列事项：主要工程量表；施工控制性进度表；施工劳动力高峰人数、平均人数和总劳动量；土石方开挖、土石方填筑、混凝土浇筑强度等指标；钢材、木材、水泥、油料和爆破材料等需要量指标；初步设计阶段需列出永久工程、临时工程工程量汇总明细表；大型工程和复杂工程需列出分年工程指标，绘制土石方开挖、土石方填筑、混凝土浇筑强度和劳动力强度曲线。

**8.1.2** 根据我国水利水电工程建设的实际情况，本条对水利水电工程的各施工时段所进行的工作做出进一步明确，对主体工程施工开始起点进行了详细规定，以避免造成不必要的混乱。

随着社会主义市场经济的建立，我国工程建设管理实行项目法人责任制、招标投标制、工程监理制、合同管理制和资本金制。根据国家发改委的有关规定，工程项目建设程序由项目决策阶段、项目设计阶段、项目实施阶段、竣工验收交付生产阶段和项目后评价阶段组成；2004年国务院发布《关于投资体制改革的决定》，确立企业在投资环境中的主体地位，规定“对于政府投资项目，采取直接投资和资本金注入方式的，从投资决策角度只审批项目建议书和可行性研究报告”。1995年，水利部明确规定“水利工程建设程序一般分为：项目建议书、可行性研究报告、初步设计、施工准备（包括招标设计）、建设实施、生产准备、竣工验收、后评价等阶段”；2016年水利部对水利工程建设程序中“初步设计、施工准备（包括招标设计）”调整为“施工准备、初步设计”，并明确“项目可行性研究报告已经批准，年度投资计划已下达或建设资金已落实，项目法人即可开展施工准备，开工建设”，确定水利工程决策后，项目法人全面负责工程建设责任。目前，包括建筑、交通、电力、水利等各行业项目施工多分为施工准备、主体工程施工和竣工验收阶段，水利

水电工程施工准备阶段的工作内容包括本规范所规定的工程筹建期和工程准备期的工作内容。由于工程筹建期主要是安排进入施工场地的交通、供电和通信系统以及有关施工场地的征地和移民等工作内容，具有较多的不确定因素，因此习惯上在编制施工总进度时，工程施工总工期仅计列工程准备期、主体工程施工工期和工程完建期三个施工时段工期之和。本条将水利水电工程实施阶段划分为四个施工阶段（工程筹建期、工程准备期、主体工程施工期、工程完建期）具有现实意义。主要理由有以下三点：

（1）工程筹建期和工程准备期所需要完成的主要工作均为施工准备工程，同属工程建设准备工作，是为主体工程开工建设创造条件所做工作，但性质有所区别，具有明显的场外和场内特点，筹建期的工作内容是准备期各项工作顺利开展的基础，特别是施工场地的征地补偿和移民安置工作，应在筹建期内尽快完成。工程项目招标、评标及签约等多属工程筹建期和准备期需要完成的管理性工作，有的工程建设内容也可以根据施工进度陆续安排进行招标，法律法规对此已有明确的要求，本规范修订时条文中删除了这些管理性工作内容。在保证工程进度的条件下，后续施工项目的准备工作可安排在前期工程的施工期进行。

技术复杂的工程，在施工准备阶段需要安排实施有针对性的试验性工程，目的是为初步设计以及施工图设计提供必要的技术参数。

导流工程是工程准备期中重要的工作内容，往往是主体工程开工的控制因素，应尽早安排实施。

（2）主体工程开工后，业主负责的对外工作大局基本已定，逐步转移到工程内部各方的管理协调上，设计、施工、监理等各参建方的技术和物质准备工作也基本结束，中心任务转变为落实蓝图上面，其工作方向、工作强度、质量要求完全不同于前期准备阶段。