

**P59**

备案号: **J47—2000**

**DL**

中华人民共和国电力行业标准

**P**

**DL/T 5112—2000**

---

# 水工碾压混凝土施工规范

**Construction specifications for hydraulic  
roller compacted concrete**

2000—11—03 发布

2001—01—01 实施

---

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布

# 中华人民共和国电力行业标准

**P**

**DL/T 5112—2000**

---

## 水工碾压混凝土施工规范

### **Construction specifications for hydraulic roller compacted concrete**

主编单位：中国水利水电工程总公司

批准部门：中华人民共和国国家经济贸易委员会

批准文号：国经贸电力[2000]1048 号

**DL/T 5112—2000**

## 前 言

碾压混凝土筑坝技术在我国水电水利工程中的应用,已走过了 20 年的发展历程。到目前为止,已建成碾压混凝土坝 33 座,在建的 12 座,设计的 20 座,技术水平属世界一流。原 SL 53—1994《水工碾压混凝土施工规范》自 1994 年颁布至今,已执行了 5 年,它在推动我国碾压混凝土施工技术的发展、保证工程质量等方面起到了积极作用。但该规范实际编写完成上报是 1992 年,到正式颁布历时两年。此时,我国正在贵州普定建设世界第一高的全碾压混凝土拱坝,及一批碾压混凝土坝,故一些新的施工经验和国家“八五”科技攻关成果都未纳人在内。随着碾压混凝土施工技术被广泛采用,原规范已不能满足该项技术的进步和高碾压混凝土坝建设的需要,为此,原电力工业部于 1997 年下达了修编该规范的任务,由中国水利水电工程总公司负责主编。

综合多方意见,本规范重点对碾压混凝土的质量管理与评定、层间结合、VC 值范围、变态混凝土、细骨料的质量控制等内容,比照国际标准,做了更确切的规定。

本规范的格式符合电力行业标准 DL/T 600—1996《电力标准编写的基本规定》。

本规范的附录 A 是标准的附录。

本规范由中国水利水电工程总公司提出并归口。

本规范主编单位:中国水利水电工程总公司。参编单位:河北省水利水电勘测设计研究院、中国水利水电科学研究院、成都水利水电勘测设计研究院科研所、武汉水利电力大学、辽宁水电工程局、中国水利水电闽江工程局。

本规范主要起草人:杨则珂、高建中、杜志达、方坤河、

姜福田、黄绪通、冯运鸾。

本规范由中国水利水电工程总公司负责解释。

# DL/T 5112—2000

## 目 次

### 前言

1	范围 .....	6
2	引用标准 .....	7
3	总则 .....	8
4	名词术语 .....	9
5	材料 .....	11
5.1	水泥 .....	11
5.2	粉煤灰或其他掺合料 .....	11
5.3	混凝土外加剂 .....	11
5.4	骨料 .....	12
5.5	混凝土拌和及养护用水 .....	13
6	配合比设计 .....	14
7	施工 .....	15
7.1	铺筑前准备 .....	15
7.2	拌和 .....	15
7.3	运输 .....	16
7.4	卸料和平仓 .....	17
7.5	碾压 .....	17
7.6	成缝 .....	18
7.7	层、缝面处理 .....	19
7.8	异种混凝土浇筑 .....	19
7.9	变态混凝土浇筑 .....	20
7.10	养护与防护 .....	20
7.11	埋设件施工 .....	21
7.12	特殊气象条件下的施工 .....	22
8	质量管理和评定 .....	23

8.1	原材料的检测与控制 .....	23
8.2	新拌碾压混凝土的检测与控制 .....	24
8.3	碾压混凝土现场质量检测 .....	25
8.4	质量控制与评定 .....	26
附录 A	(标准的附录) 不同高径比和圆柱体试件与 立方体试件抗压强度换算系数 .....	30

# 1 范 围

本规范包括以下主要内容:材料、配合比设计、施工、质量管理和评定。

本规范适用于大、中型水电水利工程中 I、II、III 级水工建筑物的碾压混凝土施工,其他工程的碾压混凝土施工可参照执行。

## 2 引 用 标 准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

**GB 175—1999** 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥

**GB 200—1989** 中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥

**GB 1344—1999** 矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥

**GB 8076—1997** 混凝土外加剂

**GB/T 1596—1991** 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

**GBJ 119—1988** 混凝土外加剂应用技术标准

**DL/T 5055—1996** 水工混凝土掺用粉煤灰技术规范

**DL/T 5100—1999** 水工混凝土外加剂技术规程

**DL/T 5123—2000** 水电站基本建设工程验收规程

**SD 105—1982** 水工混凝土试验规程

**SDJ 207—1982** 水工混凝土施工规范

**SL 48—1994** 水工碾压混凝土试验规程

**SL 176—1996** 水利水电工程施工质量评定规程

## 3 总 则

**3.0.1** 水工碾压混凝土施工,除应遵守本规范外,对于本规范未涉及的部分,仍应执行国家现行有关规范及行业标准。

**3.0.2** 碾压混凝土施工前宜进行现场试验,验证设计配合比、施工工艺流程、施工系统及施工设备的适应性,并确定施工工艺和参数。

**3.0.3** 碾压混凝土的性能应满足设计要求的容重、物理力学性能、抗渗性、抗冻性等项指标。

**3.0.4** 碾压混凝土施工中,应进行温度控制。

**3.0.5** 经实践检验和论证,并通过技术成果认定的新技术、新工艺、新材料、新设备等,可应用于碾压混凝土施工。



## 4 名 词 术 语

### 4.0.1 混合材 **blend**

指水泥出厂时已掺于水泥中的活性和非活性矿物质材料。

### 4.0.2 掺合料 **additive blend**

指在施工现场掺入混凝土中的矿物质材料。

### 4.0.3 施工缝 **construction joint**

根据施工要求而设置的缝。

### 4.0.4 碾压厚度 **spreading thickness**

指每一碾压作业层未碾压前的混凝土厚度。

### 4.0.5 压实厚度 **compacted thickness**

指每一碾压作业层经碾压达到设计要求的密实度或容重时的厚度。

### 4.0.6 相对密实度 **relative density**

指施工仓面实测容重与碾压混凝土室内试验获得的平均基准容重之比。

### 4.0.7 基准容重 **basic unit weight**

已选定配合比的碾压混凝土在室内试验中获得的容重大值平均值。

### 4.0.8 层间间隔时间 **intermittent time between layers**

系指从下层混凝土拌和物拌和加水时起到上层混凝土碾压完毕为止的历时。

### 4.0.9 直接铺筑允许时间 **permissible time interval between placing layers**

不经任何层面处理直接铺筑上层碾压混凝土就能够满足层间结合质量要求的最大层间间隔时间。

### 4.0.10 加垫层铺筑允许时间 **permissible time interval between placing layers while using bending mix**

在层面上铺垫层拌和物后,再铺筑碾压混凝土就能够满足层间结合质量要求的最大层间间隔时间。

#### **4.0.11 冷缝 cold joint**

层间间隔时间超过加垫层铺筑允许时间的碾压层面。

#### **4.0.12 变态混凝土 abnormal concrete**

在已经摊铺的碾压混凝土中,掺入一定比例的灰浆后振捣密实的混凝土。

#### **4.0.13 垫层拌和物 bending mix**

铺在浇筑层面或基岩面上的,与碾压混凝土相适应的灰浆、砂浆或小骨料混凝土。

## 5 材 料

### 5.1 水 泥

**5.1.1** 水泥品质应符合现行国家标准的有关规定。

**5.1.2** 水工碾压混凝土所用水泥,可根据具体情况对水泥的矿物成分、含碱量等提出专门要求,固定厂家进行生产,并优先采用散装水泥。

**5.1.3** 水泥的品种,宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥。水泥标号不宜低于 425 号。

**5.1.4** 每批水泥必须有出厂检验报告。运到工地后应按表 8.1.1 进行复检,必要时还应进行化学分析。水泥品质的检验,按现行国家标准执行。

**5.1.5** 水泥的运输、储存,必须按不同品种、标号及出厂编号分别运输和存放。

**5.1.6** 水泥运输及存放场地应有防雨及防潮设施,存放期超过 3 个月的水泥,使用前必须进行复检,并按复检结果使用。严禁使用结块的水泥。

### 5.2 粉煤灰或其他掺合料

**5.2.1** 碾压混凝土中应优先掺入适量优质粉煤灰或其他活性掺合料,经过试验论证,也可以采用非活性掺合料。

**5.2.2** 掺入碾压混凝土的粉煤灰应符合 DL/T 5055 的要求,运到工地后应按表 8.1.1 进行检测。

**5.2.3** 碾压混凝土中粉煤灰或其他掺合料的掺量应通过试验确定。

### 5.3 混凝土外加剂

**5.3.1** 碾压混凝土中应掺用外加剂,其品种及掺量应通过试验确

定。

**5.3.2** 碾压混凝土宜掺用复合外加剂。夏天施工宜选用缓凝减水为主的外加剂,有抗冻要求的混凝土应选用引气型外加剂。

**5.3.3** 进场的外加剂应有产品说明书及材质证明,并应符合 **DL/T 5100** 的规定,使用前必须进行品质检验。

## 5.4 骨 料

**5.4.1** 对使用的粗、细骨料应进行质量和技术经济论证。

**5.4.2** 骨料试验应按照 **SD 105** 中有关规定进行。

**5.4.3** 骨料应有足够的储备量并设有遮阳、防雨及脱水设施。拌和时砂子的含水率应不大于 6%。

**5.4.4** 冲洗筛分骨料时,应控制好筛分质量,保证各级成品骨料符合要求,并注意减少细砂及人工砂中石粉的流失。

**5.4.5** 人工砂加工应选用生产效率高、加工后的颗粒形状好的破碎机械。

**5.4.6** 干法生产骨料时,应采取措施防止石粉大量粘裹骨料颗粒,并注意保护周围环境。

**5.4.7** 骨料运输堆放时,应防止泥土混入和不同级配互混。

**5.4.8** 砂料宜质地坚硬,级配良好。人工砂细度模数宜在 2.2~2.9 之间,天然砂细度模数宜在 2.0~3.0 之间。应严格控制超径颗粒含量。使用细度模数小于 2.0 的天然砂,应经过试验论证。

**5.4.9** 人工砂的石粉( $d \leq 0.16\text{mm}$  的颗粒)含量宜控制在 10%~22%,最佳石粉含量应通过试验确定。

**5.4.10** 天然砂的含泥量( $d < 0.08\text{mm}$  的颗粒)应不大于 5%。

**5.4.11** 细骨料(砂)和粗骨料的质量指标除应符合 5.4.8、5.4.9 和 5.4.10 外,其他质量指标应符合 **SDJ 207** 的要求。

## 5.5 混凝土拌和及养护用水

**5.5.1** 符合国家标准的生活饮用水,均可用于拌制和养护各种混凝土。

**5.5.2** 混凝土拌和用水的物质含量应符合 **SDJ 207** 的要求。

## 6 配合比设计

**6.0.1** 碾压混凝土的配合比应满足工程设计的各项技术指标及施工工艺的要求。

**6.0.2** 配合比设计参数选定：

1 掺合料掺量：应通过试验确定，掺量超过 65% 时，应做专门试验论证。

2 水胶比：应根据设计提出的混凝土强度、拉伸变形、绝热温升和抗冻性等要求确定水胶比，其值宜小于 0.70。

3 砂率：应通过试验选取最佳砂率值。使用天然砂石料时，三级配碾压混凝土的砂率为 28%~32%，二级配时为 32%~37%；使用人工砂石料时，砂率应增加 3%~6%。

4 单位用水量：可根据碾压混凝土施工工作度（VC 值）、骨料的种类及最大粒径、砂率以及外加剂等选定。

**6.0.3** 碾压混凝土拌和物的设计工作度（VC 值）可选用 5s~12s，机口 VC 值应根据施工现场的气候条件变化，动态选用和控制，机口值可在 5s~12s 范围内。

**6.0.4** 大体积永久建筑物碾压混凝土的胶凝材料用量不宜低于 130kg/m<sup>3</sup>。

**6.0.5** 施工过程中，若需要更换原材料的品种或来源时，应提前通过试验调整配合比。

## 7 施 工

### 7.1 铺 筑 前 准 备

**7.1.1** 碾压混凝土铺筑前,应对砂石料生产及储存系统,原材料供应,混凝土制备、运输、铺筑、碾压和检测等设备的能力、工况以及施工措施等结合现场碾压试验进行检查,当其符合有关技术文件要求后,方能开始施工。

**7.1.2** 碾压混凝土铺筑前,应对施工人员进行技术培训。

**7.1.3** 每个仓面铺筑前,应有施工的详细计划,并落实到具体的施工操作人员。

**7.1.4** 基础块的碾压混凝土铺筑前,应在基岩面上先铺砂浆,再浇筑一层垫层混凝土或变态混凝土,除有专门要求外,其厚度以找平后便于碾压作业为原则。

**7.1.5** 碾压混凝土施工,宜采用能适应快速施工和连续施工的模板,并需满足振动碾能靠近模板碾压作业。所用的模板,包括垂直面模板、斜面模板、混凝土预制模板以及止水、进出仓口、孔洞模板等,必要时需进行专门设计。

### 7.2 拌 和

**7.2.1** 拌制服压混凝土宜优先选用强制式搅拌设备,也可采用自落式等其他类型搅拌设备。

**7.2.2** 搅拌设备的称量系统应灵敏、精确、可靠,并应定期检定,保证在混凝土生产过程中,满足称量精度要求。

**7.2.3** 碾压混凝土的拌和时间、投料顺序、拌和量,都应通过现场混凝土拌和均匀性检验确定。

**7.2.4** 搅拌设备宜配备细骨料的含水率快速测定装置,并应具有相应的拌和水量自动调整功能。

**7.2.5** 卸料斗的出料口与运输工具之间的自由落差不宜大于

1.5m。

**7.2.6** 砂浆和灰浆的配料精度及拌和质量与混凝土拌制质量要求相同。灰浆应由机械拌制,大型工程宜设置集中制浆站,并配有维持浆体均质的装置。

## 7.3 运 输

**7.3.1** 运输碾压混凝土宜采用自卸卡车、皮带输送机、负压溜槽(管)、专用垂直溜管,运输机具应在使用前进行全面检查清洗。必要时也可采用缆机、门机、塔机等机械。

**7.3.2** 采用自卸汽车运输混凝土时,车辆行走的道路必须平整;自卸汽车入仓前应将轮胎清洗干净,并防止将泥土、水带入仓内;在仓面行驶的车辆应避免急刹车、急转弯等有损混凝土层面质量的操作。

**7.3.3** 采用皮带输送机运输混凝土时,应采取措施以减少骨料分离,降低灰浆损失率,并应有遮阳、防雨设施。

**7.3.4** 采用负压溜槽(管)运输混凝土时,应在负压溜槽(管)出口设置垂直向下的弯头;负压溜槽(管)盖带的局部破损处,应及时修补,盖带破损到一定程度时应及时更换。负压溜槽(管)的坡度和防分离措施应通过现场试验确定。

**7.3.5** 专用垂直溜管应具有抗分离的功能,必要时可设置防止堵塞的控制装置。

**7.3.6** 各种运输机具在转运或卸料时,出口处混凝土自由落差均不宜大于 1.5m,超过 1.5m 宜加设专用垂直溜管或转料漏斗;连续运输机具与分批运输机具联合运用时,应在转料处设置容积足够的贮料斗;使用转料漏斗时应有解决混凝土起拱的措施;从搅拌设备到仓面的连续封闭式运输线路,应设置弃料及清洗废水出口。

**7.3.7** 输送灰浆应有防止浆液沉淀和泌水的措施,保证运送到现场的浆液均匀。砂浆运输可采用混凝土运输机具,也可采用专门的砂浆运输机具。



## 7.4 卸 料 和 平 仓

**7.4.1** 碾压混凝土宜采用大仓面薄层连续铺筑或间歇铺筑,铺筑方法宜采用平层通仓法。也可采用斜层平推法、台阶法。铺筑面积应与铺筑强度及碾压混凝土允许层间间隔时间相适应。

**7.4.2** 采用斜层平推法铺筑时,宜从下游向上游铺筑,使层面倾向上游,坡度不应陡于 1:10,坡脚部位应避免形成薄层尖角,施工缝面在铺砂浆前应严格清除二次污染物,铺浆后应立即覆盖碾压混凝土。

**7.4.3** 碾压混凝土铺筑层应以固定方向逐条带铺筑;坝体迎水面 3m~5m 范围内,平仓方向宜与坝轴线方向平行。

**7.4.4** 采用自卸卡车直接进仓卸料时,应控制料堆高度,卸料堆旁出现的分离骨料,应在平仓过程中均匀散布到混凝土内。

**7.4.5** 严禁不合格的混凝土拌和物进仓;已进仓的,应做处理。

**7.4.6** 当压实厚度为 30cm 左右时,可一次平仓铺筑;为了改善分离状况或压实厚度较大时,可分 2 次~3 次铺筑。

**7.4.7** 平仓后混凝土表面应平整,碾压厚度应均匀。

## 7.5 碾 压

**7.5.1** 振动碾机型的选择,应考虑碾压效率、激振力、滚筒尺寸、振动频率、振幅、行走速度、维护要求和运行的可靠性。

**7.5.2** 建筑物的周边部位,宜采用与内部相同型号的振动碾直接靠近模板碾压,无法靠近的部位,可采用小型振动碾压实,其允许压实厚度和碾压遍数,应经试验确定。

**7.5.3** 振动碾行走速度应控制在 1.0km/h~1.5km/h 范围内。

**7.5.4** 施工中采用的碾压厚度及碾压遍数宜经过试验确定,并与铺筑的综合生产能力等因素一并考虑,根据气候、铺筑方法等条件的不同,可选用不同的碾压厚度。碾压厚度宜不小于混凝土最大骨料粒径的 3 倍。

**7.5.5** 坝体迎水面 3m~5m 范围内,碾压方向应垂直于水流方

向。碾压作业宜采用搭接法,碾压条带间搭接宽度为 10cm~20cm;端头部位搭接宽度宜为 100cm 左右。

**7.5.6** 每个碾压条带作业结束后,应及时按网格布点,检测混凝土的压实容重。所测容重低于规定指标时,应立即重复检测,并查找原因,采取处理措施。碾压后出现弹簧土现象的部位,如果检测的压实容重满足要求,可不进行处理。

**7.5.7** 需作为水平施工缝停歇的层面或冷缝,达到规定的碾压遍数及压实容重后,宜进行 1~2 遍的无振碾压。

**7.5.8** 各种设备在碾压完毕的混凝土层面上行走时,应避免损坏已成型的层面。已造成损坏的部位,应及时采取修补措施。

**7.5.9** 碾压混凝土入仓后应尽快完成平仓和碾压,从拌和到碾压完毕的最长允许历时,应根据不同季节、天气条件及碾压混凝土工作度变化规律,经过试验或类比其他工程实例来确定,不宜超过 2h。

碾压层内铺筑条带边缘、斜层平推法的坡脚边缘和台阶法的台阶边缘,碾压时应预留 20cm~30cm 宽度与下一条带同时碾压,这些部位最终完成碾压的时间应控制在直接铺筑允许时间内。

## 7.6 成 缝

**7.6.1** 横缝可采用切缝机具切制、设置诱导孔或隔板等方法形成。缝面位置、缝的结构形式及缝内填充材料均应满足设计要求。

**7.6.2** 切缝机切制,宜根据工程具体情况采用“先切后碾”或“先碾后切”的方式。

**7.6.3** 设置诱导孔,宜在层间间歇期内完成。成孔后孔内应及时用干砂填塞。

**7.6.4** 设置隔板时,隔板衔接处的间距不得大于 10cm,隔板高度应比压实厚度低 3cm~5cm。

**7.6.5** 有重复灌浆要求的横缝,其制作和安装,均应满足设计要

求。

## 7.7 层、缝面处理

**7.7.1** 连续上升铺筑的碾压混凝土,层间间隔时间应控制在直接铺筑允许时间以内。超过直接铺筑允许时间的层面,应先在层面上铺垫层拌和物,再铺筑上一层碾压混凝土。超过了加垫层铺筑允许时间的层面即为冷缝。

**7.7.2** 直接铺筑允许时间和加垫层铺筑允许时间,应根据工程结构对层面抗剪能力和结合质量的要求,综合考虑拌和物特性、季节、天气、施工方法、上下游不同区域等因素经试验确定。

**7.7.3** 施工缝及冷缝必须进行缝面处理,缝面处理可用刷毛、冲毛等方法清除混凝土表面的浮浆及松动骨料。层面处理完成并清洗干净,经验收合格后,先铺垫层拌和物,然后立即铺筑上一层混凝土继续施工。

**7.7.4** 冲毛、刷毛时间可根据施工季节、混凝土强度、设备性能等因素,经现场试验确定。不得过早冲毛。

**7.7.5** 垫层拌和物可使用与碾压混凝土相适应的灰浆、砂浆或小骨料混凝土。灰浆的水胶比应与碾压混凝土相同,砂浆和小骨料混凝土的强度等级应提高一级。垫层拌和物应与碾压混凝土一样逐条带摊铺,其中,砂浆的摊铺厚度为  $1.0\text{cm}\sim 1.5\text{cm}$ ,并立即在其上摊铺碾压混凝土,且在砂浆初凝前碾压完毕。

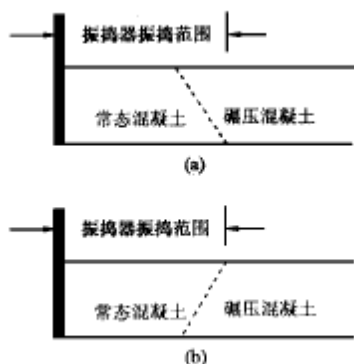
**7.7.6** 因施工计划的改变、降雨或其他原因造成施工中断时,应及时对已摊铺的混凝土进行碾压。停止铺筑处的混凝土面宜碾压成不大于  $1:4$  的斜坡面,并将坡脚处厚度小于  $15\text{cm}$  的部分切除。当重新具备施工条件时,可根据中断时间采取相应的层缝面处理措施后继续施工。

## 7.8 异种混凝土浇筑

**7.8.1** 坝内常态混凝土宜与主体碾压混凝土同步进行浇筑。

**7.8.2** 常态混凝土与碾压混凝土的结合部位应按图 7.8.2 所示

方式认真处理。两种混凝土应交叉浇筑,要求常态混凝土应在初凝前振捣密实;碾压混凝土应在允许层间间隔时间内碾压完毕。



(a) 先浇常态混凝土后铺筑碾压混凝土;

(b) 先浇碾压混凝土后铺筑常态混凝土

图 7.8.2 异种混凝土结合部位的处理

## 7.9 变态混凝土浇筑

**7.9.1** 变态混凝土应随着碾压混凝土浇筑逐层施工,灰浆宜洒在新铺碾压混凝土的底部和中部。变态混凝土的铺层厚度宜与平仓厚度相同,用浆量应经试验确定。

**7.9.2** 变态混凝土所用灰浆由水泥与粉煤灰并掺用外加剂拌制成,其水胶比宜不大于同种碾压混凝土的水胶比。

**7.9.3** 灰浆应严格按照规定用量,在变态范围或距岩面或模板 30cm~50cm 范围内铺洒,混凝土单位体积用浆量的偏差应控制在允许范围之内。

**7.9.4** 变态混凝土需经强力振捣才能保证均匀性和上下层结合。相邻区域混凝土碾压时与变态区域搭接宽度应大于 20cm。

**7.9.5** 变态混凝土的层缝面处理,按本标准 7.7 规定执行。

## 7.10 养护与防护

**7.10.1** 施工过程中,碾压混凝土的仓面应保持湿润。

**7.10.2** 正在施工和刚碾压完毕的仓面,应防止外来水流入。

**7.10.3** 在施工间歇期间,碾压混凝土终凝后即应开始洒水养护。对水平施工缝和冷缝,洒水养护应持续至上层碾压混凝土开始铺筑为止;对永久暴露面,养护时间不宜少于 **28d**;台阶状表面的棱角应加强养护。

**7.10.4** 有温控要求的碾压混凝土,应根据温控设计采取相应的防护措施;低温季节和寒潮易发期,应有专门防护措施。

## 7.11 埋 设 件 施 工

**7.11.1** 碾压混凝土内部观测仪器和电缆的埋设,宜采用后埋法。对没有方向性要求的仪器和电缆,坑槽深度应保证上部有大于 **20cm** 的回填保护层,对有方向性要求的仪器,上部最少要有 **50cm** 的回填保护层。回填料应为原混凝土配合比剔除大于 **40mm** 粒径骨料的新鲜混凝土。

**7.11.2** 坑槽回填混凝土必须采取措施保证与周围混凝土结合良好,除电缆外,均应采用人工分层回填,并用木槌等工具捣实,确保回填混凝土的密实性。对电缆或电缆束宜在槽内回填砂浆,以避免形成渗漏通道。

**7.11.3** 应根据仪器埋设的高程合理安排施工计划,尽量使坑槽开挖层面是施工间歇的水平施工缝面,并应保证埋设工作与混凝土铺筑施工之间的良好配合与协调。

**7.11.4** 仪器埋设后,必须加以维护和保护。当埋设区的回填混凝土未初凝或上层混凝土尚未摊铺时,严禁各种设备在上面行驶。

**7.11.5** 在仪器安装、埋设、混凝土回填作业中,应加强监测,如发现仪器有异常变化或损坏,应及时采取补救措施。在仪器和电缆埋设完毕,经检测确认符合要求后,应记录初始读数、绘制施工埋设草图、填写施工记录。

**7.11.6** 观测电缆在埋设点附近应预留一定的富余长度。

## 7.12 特殊气象条件下的施工

**7.12.1** 施工期间应加强气象预报信息的搜集工作,及时了解现场观测的雨情和气温情况,妥善安排施工进度。

**7.12.2** 在降雨强度小于  $3\text{mm/h}$  的条件下,可采取措施继续施工。当降雨强度达到或超过  $3\text{mm/h}$  时,应停止拌和,并迅速完成尚未进行的卸料、平仓和碾压作业。刚碾压完的仓面应采取防雨保护和排水措施。

**7.12.3** 恢复施工前,应严格处理已损失灰浆的碾压混凝土,并按 7.7 中的有关规定进行层、缝面处理。

**7.12.4** 在大风或干燥气候条件下施工,应采取专门措施保持仓面湿润。

**7.12.5** 日平均气温高于  $25^{\circ}\text{C}$  时,应大幅度削减层间间隔时间,采取防高温、防日晒和调节仓面局部小气候等措施,以防止混凝土在运输、摊铺和碾压时,表面水分迅速蒸发散失。

**7.12.6** 日平均气温低于  $3^{\circ}\text{C}$  时或最低气温低于  $-3^{\circ}\text{C}$ ,应采取低温施工措施。

## 8 质量和评定

### 8.1 原材料的检测与控制

8.1.1 碾压混凝土的原材料现场检测项目和检测频率按表 8.1.1 进行。

8.1.2 应严格控制细骨料的含水率和级配。砂子细度模数允许偏差为 0.2 ,超过时应调整碾压混凝土的配合比。细骨料应有一定的脱水时间,搅拌前含水率应小于 6%,含水率允许偏差为 0.5%,超过时应调整混凝土拌和用水量。

8.1.3 应严格控制各级粗骨料超、逊径含量。以原孔筛检验时,其控制标准为:超径小于 5%、逊径小于 10%;以超、逊径筛检验时,其控制标准为:超径为零、逊径小于 2%。石子含水率的允许偏差为 0.2%。

8.1.4 外加剂需按品种、进场日期分别存放,存放场所应通风干燥。检验合格的外加剂贮存期超过 6 个月,使用前必须重新检验。使用时,外加剂必须配制成溶液并搅拌均匀,贮存在室内容器中,避免污染。

表 8.1.1 原材料的检测项目和检测频率

名称	检测项目	取样地点	检测频率	检测目的
水泥	快速检定标号	拌和厂水泥库	必要时进行	验证水泥活性
	细度、安定性、标准稠度需水量、凝结时间、标号	水泥库	每 200t ~ 400t 一次 <sup>1)</sup>	检定出厂水泥质量
粉煤灰	密度、细度、需水量比、烧失量	仓库	每 200t ~ 400t 一次 <sup>1)</sup>	评定质量稳定性
	强度比		必要时进行	检定活性

续表

名称		检测项目	取样地点	检测频率	检测目的
细骨料		细度模数	拌和厂、筛分厂	每天一次	筛分厂控制生产、调整配合比
		级配	筛分厂	必要时进行	
		含水率	拌和厂	每 2h 一次或必要时	调整混凝土用水量
		含泥量、容重	拌和厂、筛分厂	必要时进行	
粗骨料	大石、中石、小石	超、逊径	拌和厂、筛分厂	每班一次	筛分厂控制生产、调整配合比
	小石	含水率	拌和厂	每班一次或必要时	调整混凝土用水量
	小石	黏土、淤泥、细屑含量	拌和厂、筛分厂	必要时进行	
外加剂		溶液浓度	拌和厂	每班一次	调整外加剂掺量
1) 每批不足 200t 时,也应检测一次。					

8.2 新拌碾压混凝土的检测与控制

8.2.1 用于碾压混凝土配料称量的衡器应每月检验一次,配料称量允许偏差如表 8.2.1 规定。

表 8.2.1 配料称量检验标准

材料名称	水	水泥、粉煤灰	粗、细骨料	外加剂
允许偏差	1%	1%	2%	1%

8.2.2 搅拌机机型确定后,必须通过试验对碾压混凝土拌和物均匀性进行检验,以确定拌和时间和投料顺序。

碾压混凝土拌和物均匀性检验结果应符合下列规定:

- 1 用洗分析法测定粗骨料含量时,两个样品的差值应小于 10%;
- 2 用砂浆容量分析法测定砂浆容量时,两个样品的差值应不大于 30kg/m³。

拌和楼投入运行后,应定期检测。

8.2.3 碾压混凝土质量的检测,可在搅拌机口随机取样进行,检



测项目和频率按表 8.2.3 规定。

表 8.2.3 碾压混凝土的检测项目和频率

检测项目	检测频率	检测目的
VC 值	每 2h 一次 <sup>1)</sup>	检测碾压混凝土的可碾性,控制工作度变化
含气量	使用引气剂时,每班(1~2)次。	调整外加剂量
温度	每 2h~4h 一次	温控要求
抗压强度	每(300~500)m <sup>3</sup> 1 次 不足 300m <sup>3</sup> ,至少每班取样一次	检验碾压混凝土质量及施工质量
1) 气候条件变化较大(大风、雨天、高温)时应适当增加检测次数。		

8.2.4 碾压混凝土拌和物 VC 值选定后,机口允许偏差超出 3s 控制界限时,应查找原因,修正拌和碾压混凝土的用水量,并保持水胶比不变。

8.2.5 严格控制掺引气剂的碾压混凝土含气量,允许偏差为 1%。

8.3 碾压混凝土现场质量检测

8.3.1 碾压混凝土铺筑时,应按表 8.3.1 的规定进行检测,并作好记录。

表 8.3.1 碾压混凝土铺筑现场检测项目和标准

检测项目	检测频率	控制标准
VC 值	每 2h 一次	现场 VC 值允许偏差 5s
抗压强度	相当于机口取样数量的 5%~10%	

续表

检测项目	检测次数	控制标准
压实容重	见 8.3.2 规定	每个铺筑层测得的容重应全部达到 8.3.4 规定的相对密实度指标
骨科分离情况	全过程控制	不允许出现骨科集中现象
两个碾压层间隔时间	全过程控制	由试验确定不同气温条件下的层间允许间隔时间,并按其判定
混凝土加水拌和至碾压完毕时间	全过程控制	小于 2h
入仓温度	2~4h 一次	

**8.3.2** 压实容重检测采用核子水分密度仪或压实密度计。每铺筑 100m<sup>2</sup>~200m<sup>2</sup> 碾压混凝土至少应有一个检测点,每一铺筑层仓面内应有 3 个以上检测点。以碾压完毕 10min 后的核子水分密度仪测试结果作为压实容重判定依据。

**8.3.3** 核子水分密度仪应在使用前应用实际原材料配制的碾压混凝土进行标定。

**8.3.4** 相对密实度是评价碾压混凝土压实质量的指标。对于建筑物的外部混凝土,相对密实度不得小于 98%;对于内部混凝土,相对密实度不得小于 97%。

8.4 质量控制与评定

**8.4.1** 碾压混凝土试件应在搅拌机机口取样成型。碾压混凝土生产质量控制应以 15cm 标准立方体试件、标准养护 28d 的抗压强度为准。

**8.4.2** 混凝土抗冻、抗渗检验的合格率不应低于 80%。

**8.4.3** 碾压混凝土生产质量水平控制标准见表 8.4.3。抗压强度的均方差和变异系数应由一批(至少 30 组)连续机口取样的试验

值得。

**表 8.4.3 碾压混凝土生产质量管理水平衡量标准(龄期 28d)**

评定 标准  评定项目	质量管理 水平	优	良	一般	差
变异系数 $C_v$		$<0.15$	$0.15\sim0.18$	$>0.18\sim0.22$	$>0.22$
均方差 $S$ (MPa)		$<3.5$	$3.5\sim4.0$	$>4.0\sim4.8$	$>4.8$
注: 平均抗压强度: $\bar{X} > 20\text{MPa}$ , 采用均方差 $S$ 标准评定; $\bar{X} \leq 20\text{MPa}$ , 采用变异系数 $C_v$ 标准评定。					

**8.4.4 碾压混凝土质量评定**, 应以设计龄期的抗压强度为准, 并按抽样次数分大样本和小样本两种方法评定。

1 大样本。当混凝土连续取样大于 30 组时, 用大样本评定, 评定函数按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} F(X) &= \bar{X}(1 - tC_v) \geq R \\ \text{或} \quad F(X) &= \bar{X} - tS \geq R \end{aligned} \right\} \quad (8.4.4-1)$$

$$\left. \begin{aligned} X_{\min} &= KR \\ \text{或} \quad X_{\min} &= R + BS \end{aligned} \right\} \quad (8.4.4-2)$$

式中:  $F(X)$  —— 评定函数;

$\bar{X}$  ——  $N$  次试验抗压强度平均值, MPa;

$S$  ——  $N$  次试验抗压强度均方差, MPa;

$R$  —— 混凝土强度等级(设计标号), MPa;

$t$  —— 强度保证率系数, 与试验次数  $N$  和保证率  $P(X)$  有关。  $N \geq 30$  时见表 8.4.4-1。

$X_{\min}$  ——  $N$  次试验中最低抗压强度, MPa;

$K$  和  $B$  —— 与强度保证率和生产控制水平有关的系数, 见表 8.4.4-1。

当  $F(X) \geq R$  和  $X_{\min} \geq KR$  或  $R + BS$  时, 碾压混凝土质量合格。

表 8.4.4—1 碾压混凝土质量评定公式系数

强度保证率系数 $t$	$\bar{X} \leq 20\text{MPa}$	$\bar{X} > 20\text{MPa}$	
	$K$	$B$ (给定 $S$ 时)	$BS$ ( $S=4.3\text{MPa}$ 时)
0.84	0.73	-1.16	-4.98

2 小样本。当混凝土取样试验组数小于 6 组时,评定标准见表 8.4.4—2。

当  $\bar{X}_i \geq X_{\min}$  时,碾压混凝土质量合格。

表 8.4.4—2 小样本评定允许最低平均强度 ( $X_{\min}$ )

求平均强度 ( $\bar{X}_i$ ) 的 连续抽样组数	$X \leq 20\text{MPa}$	$X > 20\text{MPa}$	
	$C_v = 0.19$	给定 $S$	$S=4.3\text{MPa}$ 时
1	$0.73 R$	$R - 1.16 S$	$R - 4.98$
2	$0.87 R$	$R - 0.57 S$	$R - 2.46$
3	$0.92 R$	$R - 0.31 S$	$R - 1.35$
4	$0.96 R$	$R - 0.16 S$	$R - 0.68$
5	$0.98 R$	$R - 0.05 S$	$R - 0.23$
6	$R$	$R - 0.02 S$	$R - 0.1$

**8.4.5** 钻孔取样是评定碾压混凝土质量的综合方法。钻孔取样可在碾压混凝土达到设计龄期后进行。钻孔的部位和数量应根据高程需要确定。

钻孔取样评定的内容如下:

1. 芯样获得率:评价碾压混凝土的均质性;
2. 压水试验:评定碾压混凝土抗渗性;
3. 芯样的物理力学性能试验:评定碾压混凝土的均质性和力学性能;
4. 芯样外观描述:评定碾压混凝土的均质性和密实性,评定标准见表 8.4.5。

表 8.4.5 碾压混凝土芯样外观评定标准

级 别	表面光滑程度	表面致密程度	骨料分布均匀性
优良	光滑	致密	均匀
一般	基本光滑	稍有孔	基本均匀
差	不光滑	有部分孔洞	不均匀
注:本表适用于金钢石钻头钻取的芯样。			

**8.4.6** 测定抗压强度的芯样直径以 **15cm~20cm** 为宜。对于大型工程或混凝土的最大骨料粒径大于 **80mm** 的工程,宜采用直径 **20cm** 或更大直径的芯样。

**8.4.7** 以高径比为 **2.0** 的芯样试件为标准试件。不同高径比的芯样试件的抗压强度与高径比为 **2.0** 的标准试件抗压强度的比值见附录 A。高径比小于 **1.5** 的芯样试件不得用于测定抗压强度。 $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$  标准试件与 **15cm** 立方体试件的抗压换算关系见附录 A。

# 附录 A(标准的附录)

## 不同高径比和圆柱体试件与立方体试件 抗压强度换算系数

表 A1 抗压强度换算系数

强度等级 MPa	不同高径比试件抗压强度换算系数		$\phi 15\text{cm}\times 30\text{cm}$ 抗压强度 15cm 立方体抗压强度
	高径比 <sup>1)</sup>		
	1.5	2.0	
10~20	1.166	1.0	0.775
20~30	1.066	1.0	0.821
30~40	1.039	1.0	0.867
40~50	1.013	1.0	0.910
<div>注</div> <div>1 弹性模量、轴拉强度和拉伸变形试验试件的高径比为 2.0~3.0。</div> <div>2 高径比 1.5~2.0 之间的换算系数可用内插法求得。</div> <div>3 不同高径比试件抗压强度换算系数= <math>\frac{\text{不同高径比试件抗压强度}}{\text{高径比为 2.0 的试件的抗压强度}}</math></div>			

# 中华人民共和国电力行业标准

**P**

**DL/T 5112—2000**

---

## 水工碾压混凝土施工规范

### 条 文 说 明

主编单位：中国水利水电工程总公司

批准部门：中华人民共和国国家经济贸易委员会

# 目 录

3	总则 .....	3
5	材料 .....	4
5.1	水泥 .....	4
5.2	粉煤灰或其他掺合料 .....	4
5.3	混凝土外加剂 .....	4
5.4	骨料 .....	5
6	配合比设计 .....	6
7	施工 .....	8
7.1	铺筑前准备 .....	8
7.2	拌和 .....	8
7.3	运输 .....	9
7.4	卸料和平仓 .....	10
7.5	碾压 .....	11
7.6	成缝 .....	12
7.7	层、缝面处理 .....	13
7.8	异种混凝土浇筑 .....	14
7.9	变态混凝土浇筑 .....	14
7.10	养护与防护 .....	15
7.11	埋设件施工 .....	15
7.12	特殊气象条件下施工 .....	16
8	质量管理和评定 .....	17
8.1	原材料的检测与控制 .....	17
8.2	新拌碾压混凝土的检测与控制 .....	17
8.3	碾压混凝土现场质量检测 .....	18
8.4	质量控制与评定 .....	18



## 3 总 则

**3.0.1** 本条阐明本规范与国家现行有关规范及行业标准的关系。这些标准主要包括:SDJ 207,SL 48,DL/T 5100,SL 176,DL/T 5123 及有关材料方面的国家标准等。

**3.0.2** 本条强调现场碾压试验的重要性,通过现场碾压试验可以验证混凝土配合比设计的合理性;检验施工过程中原材料生产系统、混凝土制备系统、运输系统和平仓、碾压机具等的运行可靠性和配套性;通过试验确定合理的施工工艺和参数。如摊铺方式、平仓厚度、碾压厚度、碾压遍数等。此外,对于缺乏施工实践经验的人员起到技术培训作用。

**3.0.3** 本条阐明碾压混凝土应满足设计提出的技术要求。随着碾压混凝土筑坝技术的日趋成熟,用碾压混凝土作为水工建筑物的外部混凝土已成为现实。故碾压混凝土除了应满足强度要求外,还应满足设计对外部混凝土的抗渗性、抗冻性等方面的要求。

**3.0.4** 本条强调碾压混凝土施工中温度控制的重要性。碾压混凝土施工过程中,实际入仓温度将对工程质量产生较大影响。寒冷地区因温差较大,温度控制和温度应力也应引起重视。施工中应根据碾压混凝土的特性,经济合理地采取温控措施、保温措施和养护措施,防止裂缝发生。

**3.0.5** 为了有利于新技术、新工艺、新材料和新设备在碾压混凝土施工中的创造和应用,并保证工程质量,特制定本条。技术成果需经过工程项目的主管部门认定。

## 5 材 料

### 5.1 水 泥

**5.1.1** 水泥品质应符合有关的现行规范,如:GB175、GB200、GB1344 的要求。

**5.1.2** 应保证使用的水泥性能稳定。

**5.1.3** 在选择水泥品种时,宜优先选用低热水泥。

### 5.2 粉煤灰或其他掺合料

**5.2.1** 粉煤灰的品质应符合 GBJ 146、DL/T 5055、GB/T 1596、GB 2847 等有关规定。

粉煤灰或其他掺合料是碾压混凝土不可缺少的组成材料,近年来国内外碾压混凝土已普遍采用大掺量粉煤灰,国内已施工的碾压混凝土坝粉煤灰掺量在 50%~70% 之间。粉煤灰掺量应按其质量等级、设计要求及通过试验论证确定。如无粉煤灰资源时,可就近选择技术经济指标较合理的其他活性或非活性掺合料,如凝灰岩、磷矿渣、高炉矿渣、尾矿渣、石粉等,经磨细后掺合,其掺量都需通过试验论证来选定。

### 5.3 混 凝 土 外 加 剂

**5.3.1~5.3.3** 碾压混凝土中掺用的外加剂,是配制高品质碾压混凝土不可缺少的重要材料。根据碾压混凝土的设计指标、不同工程及施工季节的要求,混凝土掺用外加剂,不但能改善碾压混凝土性能,便于施工,而且能节约工程费用。为保证碾压混凝土质量,应选用性能较好的外加剂。碾压混凝土掺用外加剂的品质质量标准,应符合 GB 8076、GBJ 119、DL/T 5100 的要求。

## 5.4 骨 料

**5.4.6** 干法生产人工骨料过程中,形成的石粉受湿后,会粘裹在骨料颗粒表面,将影响碾压混凝土的质量。需改进生产工艺,避免骨料被石粉粘裹,对污染较严重的骨料需进行清洗。

**5.4.8** 砂中大于 5mm 颗粒的含量对细度模数影响敏感,应加以控制。有的工程控制在 5%以内。

**5.4.9** 通过多个工程及反复试验证明,人工砂中适当的石粉含量,能显著改善砂浆和混凝土的和易性、保水性,提高混凝土的匀质性、密实性、抗渗性、力学指标及断裂韧性;石粉可作水泥掺合料,替代部分粉煤灰;适当提高石粉含量,亦可提高人工砂的产量,降低成本,增加了技术经济效益。因此,合理控制人工砂石粉含量,是提高混凝土质量的重要措施之一。采用石灰岩加工的人工砂,石粉含量在 17.6%时,混凝土的各项性能均较优;花岗岩加工的人工砂,石粉含量在 15%时性能较优;白云岩加工的人工砂,石粉含量在 20%时较优,说明不同岩性加工的人工砂的石粉较佳含量虽有差异,但其较佳含量均比原《水工混凝土施工技术规范》规定的石粉含量高。从通用性看,石粉含量宜控制在 10%~22%之间。

采用干法加工可以提高人工砂产量,提高石粉微粒含量,以利改善混凝土和易性,同时也可节约设备费用。

**5.4.10** 砂中的含泥,是指小于 0.08mm 的淤泥和黏土。国内外有关砂中含泥对混凝土强度影响的对比试验证明,在贫混凝土中,当微颗粒(小于 0.08mm)的含量在 3%~7%时,可以改善混凝土的和易性、黏聚性及密实性,能够提高混凝土的抗压强度和抗渗性能。因此,建设部 JBJ 52—1992《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》标准中,将砂子的含泥量从原来的 3%,提高到 5%。

## 6 配合比设计

**6.0.1** 碾压混凝土的配合比应满足工程设计的各项技术指标及施工工艺要求,包括:

- 1 混凝土质量均匀,施工过程中粗骨料不易发生分离;
- 2 工作度适当,拌和物较易碾压密实,混凝土容重较大;
- 3 拌和物初凝时间较长,易于保证碾压混凝土施工层面的良好粘结,层面物理力学性能好;
- 4 混凝土的力学强度、抗渗性能等满足设计要求,具有较高的拉伸应变能力。

对于建筑物外部的碾压混凝土,要求具有适应建筑物环境条件的耐久性。

**6.0.2** 国内永久性重要建筑物掺合料掺量已达 **60%~65%**(如天生桥二级和岩滩水电站坝体碾压混凝土的掺合料掺量分别为 **60.7%**和 **65.4%**)。美国上静水坝掺合料掺量已超过 **70%**。武汉水利电力大学的研究成果表明,使用优质粉煤灰、掺量大于 **70%**的碾压混凝土作为水工大体积建筑物的内部混凝土是可行的。在 **8**年~**9**年期间混凝土的强度还有一定程度的增长,混凝土内部结构还在不断地改善,抗渗透、抗溶蚀的能力较强。长江科学院对水泥熟料仅占 **16.5%**的低熟料碾压混凝土进行的研究成果表明:这种混凝土水化硬化反应与常规混凝土基本一致,其主要水化产物稳定,混凝土内部结构致密。因此,掺合料最高掺量为 **65%**是可行的。

碾压混凝土的水胶比,根据各工程材料和技术要求的不同应该有所差别,必须通过试验确定。国内各工程所使用的水胶比一般在 **0.50~0.70** 之间。

砂率大小直接影响混凝土的施工性能、强度及耐久性。在确定碾压混凝土配合比时,应通过试验选定最佳砂率,即混凝土拌和

后具有较好的抗分离性,并达到施工要求的  $VC$  值及胶凝材料用量最少时的砂率。条文中所列砂率范围为国内工程使用的一般范围。

单位用水量的选取不仅与混凝土的可碾性直接联系,而且与经济性相关。故在满足可碾性要求的情况下,通常取用较小的单位用水量,以节约水泥和掺合料。三级配碾压混凝土,用水量可为  $70\text{kg}/\text{m}^3 \sim 110\text{kg}/\text{m}^3$ 。

**6.0.3** 根据国内工程施工经验,为了保证碾压混凝土的可碾性,容易泛浆,以及层面结合质量,拌和物现场  $VC$  值在  $5\text{s} \sim 15\text{s}$  比较合适。考虑到运输过程和不同气温条件,以及骨料的吸水率等因素对拌和物  $VC$  值的影响,本条推荐的搅拌机口  $VC$  值  $5\text{s} \sim 12\text{s}$ ,仅作为配合比设计的  $VC$  值。实际施工时,由于各种因素都会影响到现场的  $VC$  值,因此,在满足现场正常碾压的条件下,搅拌机口  $VC$  值可低于  $5\text{s}$ 。

**6.0.4** 施工实践表明:每立方米碾压混凝土中胶凝材料用量低于  $120\text{kg}$  时,则硬化后的混凝土抗渗性能差。为了保证配制出的碾压混凝土满足水工大体积混凝土的抗渗要求,本条要求单位胶凝材料用量不低于  $130\text{kg}$ 。小型工程和临时工程可不受此限。

## 7 施 工

### 7.1 铺 筑 前 准 备

**7.1.1** 碾压混凝土施工的特点是快速、连续的高度机械化施工。整个生产系统的任一个环节出现故障、不协调或不配套情况,都会影响工程进度及碾压混凝土施工特点的发挥,故规定此条文。

**7.1.2** 施工人员的操作熟练程度,对施工质量尤其是初期施工质量有很大影响,所以应在施工开始前加强培训工作。

**7.1.3** 仓块的详细计划安排,是施工工艺在仓面的具体化,可以避免施工的随意性,保证施工工艺的严格执行,有利于提高施工效率,并可作为现场检查的依据。

**7.1.4** 在凹凸不平的基岩面上,不便于进行碾压混凝土的铺筑施工,因此碾压混凝土铺筑前应浇筑一定厚度的垫层混凝土或变态混凝土,达到找平的目的。近年来的施工实践表明,碾压混凝土完全可以达到与常态混凝土相同的质量和性能,因此找平层不宜太厚,以迅速转入碾压混凝土施工,对温控和施工进度都有利。

**7.1.5** 模板是碾压混凝土坝施工的重要设备,对碾压混凝土的外观、质量、施工进度、成本等各方面均有重大影响,因此模板的选择和机械设备配备是同等重要的。模板设计应能够满足碾压混凝土快速、连续施工的要求,为了便于周边的铺筑作业,不宜设斜向拉条。止水、进出仓口和孔洞结构部位,是要求较高或容易出现问题的部位,在设计中应加以重视。下游面可采取台阶型式,但台阶高度不宜太小。

### 7.2 拌 和

**7.2.1** 强制式搅拌机适于拌制干硬性混凝土。根据国外施工经验及水口水电站导墙、观音阁水库大坝、江垭电站大坝的施工实

践,用强制式搅拌机拌制碾压混凝土,不仅质量好,而且拌和时间短。根据国内外施工实践,自落式等其他类型的搅拌机也可拌制出质量好的碾压混凝土。另外连续式搅拌机在国外也比较常用。

**7.2.2 检定称量系统**,除了检查称量装置器件本身的精度外,还必须检查实际配料结果。

**7.2.3 实践表明**,混凝土拌和均匀所需时间受混凝土配合比、搅拌设备类型、投料顺序及拌和量的影响,故应通过拌和试验确定投料顺序和拌和时间。

**7.2.4 细骨料含水率的变化**将明显影响混凝土拌和物的工作度及水胶比。现代化搅拌楼一般配备砂含水率快速测定装置,具备相应的拌和水量调节补偿功能。

**7.2.5 对碾压混凝土**,卸料时落差越大,骨料分离越严重。故本条限制混凝土拌和物的自落高度。

**7.2.6 砂浆与灰浆在碾压混凝土坝中用量较大**,应当受到与混凝土相同的重视。为了保证质量,灰浆与砂浆在使用时必须新鲜的。机械拌制灰浆是为了保证其均匀性,大型工程灰浆用量较大,宜设置集中制浆站供浆。

## 7.3 运 输

**7.3.1 根据国内外施工实践**,自卸汽车、皮带运输机、负压溜槽(管)、专用垂直溜管等都已比较成熟,缆机、门机、塔机也可作为辅助运输机具。

**7.3.2 自卸汽车运输混凝土**,入仓口的数量、结构和封仓施工方法对施工质量和施工速度有很大影响;车轮夹带的污物、泥土等将影响混凝土层面的胶结质量;水分的带入将改变混凝土的工作度和水胶比,影响混凝土质量;汽车急刹车和急转弯将破坏强度还不高的混凝土表面,并影响层面胶结;结构物上留的通行缺口,可以在后续施工时补齐。

**7.3.3 遮阳、防雨措施可以减少外界环境对混凝土稠度的影响;**

皮带输送机间转运时容易造成骨料分离,应在出料端部设防分离装置;较大的槽角对减缓皮带上的分离有利;实践表明,采取适当的刮刀和清扫装置,可控制灰浆损失。

**7.3.4 负压溜槽(管)**在使用中,随着盖带破损程度的加剧,出口处混凝土速度可达  $10\text{m/s}\sim 15\text{m/s}$ ,直接卸于自卸汽车上,会造成严重的冲击和骨料分离。出口设垂直向下的弯头可以大幅度减缓出口速度,并有混合作用,可有效地防止冲击和分离。盖带的环向裂口,可以补加一段,迭瓦式连接修补。径向破口,可以切除破口部分后局部更换。盖带的环向裂口平均间距小于  $3\text{m}\sim 5\text{m}$  时或由于盖带破损,负压作用急剧下降,出口速度和分离失去控制时,应更换整条盖带。

**7.3.5** 采用特制的橡胶软管和其他特殊结构的溜管可以有效地防止骨料分离,控制堵塞是为了保证设备安全。

**7.3.6** 足够的贮料斗容积是为了保证连续式设备的连续运行;转料漏斗起拱对运输系统的运输能力有很大影响。

## 7.4 卸料和平仓

**7.4.1** 国内外采用较多的是平层通仓法。采用斜层平推法和台阶法的目的主要是减小浇筑作业面积,缩短层间间隔时间。施工实践表明,斜层平推法可以用较小的浇筑能力浇筑较大面积的仓面,即达到减少投入、提高工效、降低成本和改善层面结合质量的目的。在气温较高的季节,采取这种施工方法效果更为明显。

**7.4.2** 根据江垭工程的实践,斜层坡度达  $1:10$  左右时,可进行正常施工,坡度过陡,不易保证铺料厚度均匀。避免在坡脚部位形成薄层尖角和严格清除二次污染是保证斜层平推法施工质量的两个主要问题。因薄层尖角部位的骨料易被压碎,在坡脚伸出一个平段是避免形成薄层尖角的一个有效的方法。

**7.4.3** 固定方向逐条带铺筑使施工层次分明,层间间隔时间容易控制,便于有序施工。迎水面  $3\text{m}\sim 5\text{m}$  范围,平仓方向平行坝轴线是为了避免在重要部位形成可能的顺水流方向的薄弱带。



**7.4.5** 本条所述不合格混凝土系指下列情况:混凝土拌和物 *VC* 值超过施工现场确定的范围;各组分的含量误差超过规定范围;由于其他人为因素而使已拌好的混凝土质量受到破坏。

**7.4.6** 根据施工实践,压实厚度 **30cm** 时,采取推土机将混凝土推离卸料位置平仓,平仓厚度 **34cm**,可达到较好的改善分离状态的效果。

**7.4.7** 要保证碾压质量,还应保证平仓的质量,做到碾压层厚均匀。

## 7.5 碾 压

**7.5.1** 根据我国的工程实践,原西德生产的 **BW—200**、**BW—201AD** 及 **BW—202AD** 比较适用。国外类似性能的产品及国内生产的振动碾,其激振力、振动频率经试验能满足技术要求的也可以采用。

**7.5.2** 工程实践表明,大型振动碾直接靠近模板周边碾压,施工效率高,质量容易保证。

**7.5.3** 碾压施工时振动碾的行走速度直接影响碾压效率及压实质量。国内施工实践证明,行走速度过快压实效果差。适当增加碾压遍数时,速度可提高至 **1.5km/h**。

**7.5.4** 不同振动碾所能压实的厚度不同,同一配合比的拌和物对于不同振动碾所需的压实遍数也不同。碾压厚度和碾压遍数可通过现场试验并结合生产系统的综合生产能力确定,施工中根据条件采用不同的碾压厚度,有利于满足对层间间隔时间的要求。碾压厚度若小于最大骨料粒径的 **3** 倍,则最大粒径骨料将影响压实效果或骨料被压碎。

**7.5.5** 碾压方向垂直于水流方向可避免碾压条带接触不良形成渗水通道,故迎水面 **3m~5m** 范围内碾压方向一定要垂直于水流方向。采用斜层平推法碾压时,需有切实措施。碾压条带相互搭接,主要是为了保证搭接部位的压实质量。

端头部位搭接的长度,应保证振动碾的前后轮都能进入搭接

范围,可根据选用的振动碾轴距来决定搭接长度。

**7.5.6** 压实容重的数值是碾压混凝土是否压实的主要标志,故施工过程中应尾随碾压作业进行检测。当所测容重低于规定指标时,可增加碾压遍数,仍达不到规定指标时应分析原因,采取相应措施。碾压中出现的弹簧土现象,只要压实容重能够满足要求,可不必处理。

**7.5.7** 无振碾压可以弥合细微的表面裂纹。

**7.5.9** 为避免因为拌和物放置时间过长而引起混凝土质量问题,对拌和物自拌和到碾压完毕的时间应有所限制,具体应根据不同天气条件下混凝土  $VC$  值变化情况和对压实容重的影响来确定。沙溪口水电站开关站挡墙和岩滩围堰工程的试验认为,碾压工作应在混凝土拌和开始后  $2h$  内完成,越快越好。江垭工程的情况与此类似,对于气温较高的天气,还应缩短,低温或多雨天气,可适当延长。

与下一条带同时碾压的部位,完成碾压的时间应严格控制在能够满足层间结合质量的最大层间间隔时间内。

## 7.6 成 缝

**7.6.1** 我国工程实践表明,切缝机具切缝,设置诱导孔或预置隔缝板等方法都可成功地成缝。

**7.6.2** 切缝机切缝有“先碾后切”和“先切后碾”两种方式。为了保证缝面的形成,规定成缝面积每层应满足规定要求,余下部分待混凝土自然拉裂。填缝材料可用镀锌铁片。有些工程采用化纤编织布或干砂隔缝。

**7.6.3** 当采用薄层连续铺筑施工时,诱导孔可在混凝土碾压后由人工打钎或风钻钻进形成,成孔后孔内应填塞干燥砂子,以免上层施工时混凝土填塞诱导孔,达不到诱导缝的目的。当采用间歇式施工时,可在层间间歇时间用风钻钻成。

天生桥二级诱导孔钻孔在混凝土具有一定强度(约  $7d$  龄期)后进行,孔径  $90mm$ ,孔距  $1m$ ,每次孔深  $3m$ ,分缝控制推确,效果良

好。

**7.6.4** 限制隔板间距,目的在于保证成缝面积;规定隔板高度是为了不影响混凝土压实及不致破坏隔板。

## 7.7 层、缝面处理

**7.7.1** 为了确保混凝土层间结合良好,必须控制施工层间间隔时间。层间间隔时间控制标准直接关系到层间结合质量的好坏,国内外各个工程的控制标准和具体作法都不尽相同,但究其实质都是在时间上作出限制。国内外许多工程事实上采用双重标准,一个用于控制直接铺筑,即直接铺筑允许时间;一个用于控制层面铺筑垫层的铺筑,即加垫层铺筑允许时间。施工实践表明,只要时间标准选择合适,这种作法完全可以满足层间结合质量和抗剪断指标的要求。由于直接铺筑工序简单,效率高,层间结合质量好,所以在施工安排上应优先采用。

**7.7.2** 鉴于问题的重要性和复杂性,直接铺筑允许时间和加垫层铺筑允许时间应综合考虑各种因素通过试验确定,中、小型工程也可类比同类工程确定。不同的坝标准不同,同一个坝在不同条件和不同部位下标推亦应有所区别。一般直接铺筑允许时间在正常天气条件下可采用初凝时间或稍短些时间。江垭工程这两个时间分别规定为 **6h** 和 **24h**,施工中实际直接铺筑允许时间采用的是初凝时间,加垫层铺筑允许时间实测最长 **22h**,一般在 **18h~22h** 之间。

**7.7.3** 碾压混凝土筑坝中的施工缝及冷缝是个薄弱环节,往往形成渗漏通道,影响抗滑稳定,必须进行认真处理。

**7.7.4** 刷毛、冲毛的目的是清除混凝土表面的浮浆、污物和松动骨料,增大混凝土表面的粗糙度,以提高层面黏结能力。在处理好层面上铺垫层拌和物,可保证上下层黏结良好。刷毛、冲毛时间随混凝土配合比、施工季节和机械性能的不同而变化,一般可在初凝以后,终凝之前进行。过早冲毛不仅造成混凝土损失,而且有损混凝土质量。故本条规定不得提前冲毛。

**7.7.5** 根据国内外施工实践,垫层拌和物采用灰浆、砂浆都有成功经验。采用砂浆时应根据使用部位进行专门配合比设计并比碾压混凝土强度高一个等级。施工缝和冷缝,经过毛面处理并冲洗干净后的缝面,表面比较粗糙,为了保证垫层能在表面充分填充并有相当的富裕度,应使用 **1.0cm~1.5cm** 厚的砂浆。砂浆层铺完应紧接着摊铺混凝土,防止已铺的砂浆失水干燥或初凝。

**7.7.6** 因施工计划的改变、降雨或其他原因造成碾压混凝土停止铺筑时,停止铺筑处的坡面应不陡于振动碾施工的最陡坡度 **1:4**,并应将斜坡上的混凝土碾压密实,坡脚处厚度小于 **10cm~15cm** 的尖角是难以碾压密实的部分,所以应清除。

根据施工实践,施工中断部位,具备施工条件重新恢复施工时,只要根据层间间隔时间规定进行层面处理,层间结合质量就有可靠的保证。对表层的扰动破坏,只要按 **7.5.8** 的规定处理,也可以保证层面结合质量。碾压混凝土一般强度增长缓慢,将层面放置等待强度上升效果并不明显,所以为了提高施工效率,在具备条件后可立即恢复施工。

## 7.8 异种混凝土浇筑

**7.8.1** 同步浇筑的目的在于保证两种混凝土交界面的结合质量。中孔、底孔、溢流面、闸墩等对表面平整度要求高或者厚度和体积比较大的常态混凝土,与坝体碾压混凝土同步浇筑时不易保证外观质量,上升速度会受到较大影响,同步交叉浇筑比较困难,因此宜分二期分别浇筑,但必须确保一、二期混凝土之间的良好结合。

## 7.9 变态混凝土浇筑

**7.9.1** 变态混凝土是在碾压混凝土摊铺施工中铺洒灰浆,而形成的富浆碾压混凝土,可以用振捣的方法捣固密实,应随着碾压混凝土施工逐层进行。变态混凝土在国内许多工程已获得广泛应用,效果都比较好。根据施工实践,铺洒灰浆的碾压混凝土的铺层厚

度可以与乎仓厚度相同,以减少人工作业量,提高施工效率。加浆量应根据具体要求经试验确定。

**7.9.3** 为了保证质量,应准确标定铺洒灰浆用具的计量和对应的铺洒面积,并精心组织施工。

**7.9.4** 变态混凝土施工在碾压前进行,并在碾压时搭接一定宽度才能保证变态区域和服压区域的良好过渡结合,强力振捣是保证变态混凝土均匀性、上下层结合以及与碾压区结合质量的必要措施,也可以采用搅拌机拌制的相同配合比的低塌落度干硬性混凝土,代替变态混凝土。

## 7.10 养 护 与 防 护

**7.10.1** 碾压混凝土是干硬性混凝土,受外界的条件影响很大,因此在仓面上要求对混凝土保持湿润。

**7.10.3** 碾压混凝土单位用水量少,早期强度较低,为防止裂缝的发生,养护时间须比常态混凝土长。棱角部位,容易发生裂缝,须加强养护。

## 7.11 埋 设 件 施 工

**7.11.1** 为了不妨碍碾压施工和不损坏埋设件,内部观测仪器和电缆的埋设宜采用后埋法。为了保证仪器的完好率和工作精度,根据不同仪器类型,必须保证上部有足够的回填保护层。

**7.11.2** 后埋法施工,在回填保护层时,如果碾压混凝土已经超过直接铺筑允许时间,在回填混凝土时,接合部位应使用垫层拌和物,保证回填混凝土与已碾压混凝土结合良好。人工分层回填时,剔除大骨料的混凝土,是保证仪器完好率的重要措施。电缆束容易形成集中渗水通道,所以回填时要保证回填砂浆密实。

**7.11.3** 如果仪器埋设能够安排到水平施工缝面上进行,对仪器完好率十分有益。施工中保证仪器完好率的一个重要因素是铺筑作业与埋设作业具有良好的配合协调。

**7.11.4** 施工实践表明,回填混凝土初凝前,机械设备直接碾压其

表面,仍可能造成仪器的损坏,故规定此条文。对于连续铺筑上升的碾压层面,仪埋部位宜以人工摊铺上一层混凝土,再进行正常的铺筑作业。

**7.11.6** 观测电缆在埋设点附近预留一定的富余长度,目的在于保证碾压施工时不破坏仪器和电缆的连接。

## **7.12 特殊气象条件下施工**

**7.12.2** 施工中降雨强度可按 **5min~10min** 内测得的降雨量换算值进行控制。

**7.12.4** 大风条件下,混凝土表面水分散失迅速,为了保证碾压密实和良好的层间结合,应采取喷雾补偿水分等措施,保持仓面湿润。

**7.12.5** 高温天气施工,保证施工质量最根本的途径是大幅度削减层间间隔时间,同时应采取控制和补偿表面水分蒸发散失的措施。

## 8 质量管理和评定

### 8.1 原材料的检测与控制

**8.1.1** 表 8.1.1 是根据国内工程施工经验并参考国外资料而提出的。对原材料进行检测的目的是:检查水泥、掺合料、骨料和外加剂的质量是否满足质量标准,并根据检查结果调整碾压混凝土配合比和改善施工工艺,以及评定原材料的生产控制水平。

**8.1.2** 细骨料生产主要应控制砂料的级配和含水率。

砂细度模数变动将引起碾压混凝土工作度的变动。因此,将砂细度模数控制在允许变动范围内,对稳定碾压混凝土生产是必要的。砂细度模数检测结果如果与给定值之差超过允许偏差 0.20 时,则需调整碾压混凝土配合比。

碾压混凝土施工时砂的含水率控制要比常规混凝土严格,因为含水率的允许偏差超过 0.5%,将会引起碾压混凝土工作度不稳定。砂的含水率原则上应连续测定,同时要用传统的烘干法按规定进行核定。

**8.1.3** 现场生产的粗骨料,主要控制其超、逊径和各级石子的含水率。骨料超、逊径的检验应使用原孔筛或超、逊径筛进行。

粗骨料主要应对小石(5mm~20mm)含水率进行检测。小石含水率、碾压混凝土工作度(VC)和抗压强度测定结果表明,小石含水波动将引起碾压混凝土工作度(VC)和抗压强度波动。小石含水率稳定,碾压混凝土工作度(VC)和抗压强度也稳定。

### 8.2 新拌碾压混凝土的检测与控制

**8.2.1** 每盘碾压混凝土各组成材料称量准确与否,是影响碾压混凝土生产质量的重要因素,所以应对衡器定期进行检验。

**8.2.2** 碾压混凝土各组分材料必须搅拌均匀,适宜的拌和时间随碾压混凝土工作度、搅拌机容量、类型和投料顺序而异,应由拌和



试验决定。

**8.2.3** 碾压混凝土质量检测与控制的重点是出搅拌机后未凝固的新拌混凝土,其目的是用来发现施工中的失控因素,并加以调整,以避免在建筑物中造成质量事故。成型一定数量的抗压强度试件,用以评定碾压混凝土质量是否满足设计要求。

**8.2.4** 根据岩滩、铜街子、天生桥二级、沙溪口和坑口等工程的施工经验,确定机口  $VC$  值允许偏差为  $3s$ 。

**8.2.5** 掺加引气剂的碾压混凝土试验结果指出:保持同样工作度,掺加引气剂可减少用水量,如果水胶比不变,则可节省水泥,含气量愈大,节省水泥愈多,但抗压强度随着含气量增加而降低。掺加引气剂的碾压混凝土应严格控制含气量,否则会因含气量过大,而使抗压强度过度下降,造成工程质量事故。含气量的变动范围应控制在 $\pm 1\%$ 内。

### 8.3 碾压混凝土现场质量检测

**8.3.1** 本条系根据铜街子、沙溪口、坑口和江垭等工程的施工经验制订的。 $VC$  值允许偏差  $5s$ ,系指浇筑现场的测值。提出层间允许间隔时间问题的目的是要保证层面良好结合,使层面满足强度和抗渗性能要求。因此提出“由试验确定不同气温条件下层间允许间隔时间”。

**8.3.2** 国内使用表面型核子水分密度仪测定压实表观密度已经积累了一定经验,且国内已有产品,性能、质量均能达到要求,故规定压实表观密度的检测采用表面型核子水分密度仪。由于碾压完毕后压实能量有段释放过程,故规定  $10\text{min}$  以后测试。

**8.3.4** 碾压混凝土的表观密度必须压实到配合比设计理论容重的  $97\%$  以上,以满足碾压混凝土坝重力稳定和密实性的基本要求。

### 8.4 质量控制与评定

**8.4.1** 机口取样成型的  $28\text{d}$  试件的抗压强度,主要用以衡量碾压混凝土拌和物生产的质量管理水平。



**8.4.3** 表 8.4.3 所列衡量标准是参考美国 ACI—214 标准以普通混凝土为准制定的。

**8.4.4** 碾压混凝土质量能否满足设计要求,按抽样次数分为大样本评定和小样本评定。以设计龄期的立方体抗压强度为准。

大样本是对同一标号碾压混凝土按周、旬或月作为一个统计时段进行质量评定。小样本反映快,是对一个浇筑层或一个浇筑日的碾压混凝土质量进行评定。

根据数理统计学原理,均方差  $S$  的计算值随样本容量  $N$  愈大而愈接近真值。多数学者认为  $N \geq 30$  为宜,因此大样本连续取样次数规定大于 30 次。从碾压混凝土一个浇筑层或一个浇筑日考虑,取样次数一般不会超过 6 次,所以小样本连续取样次数规定小于 6 次。表 8.4.4—1 中,  $t$  值是混凝土强度保证率为 80% 的强度保证率系数。

**8.4.5** 在混凝土搅拌机机口取样、成型的标准立方体试件,不能反映碾压混凝土出机后一系列施工操作,包括运输、平仓、碾压和养护中所引起的质量差异。现场综合评价碾压混凝土质量目前多采用钻芯取样法。

**8.4.6** 按一般规定,芯样直径应大于混凝土最大骨料粒径的(2.5~3.0)倍。碾压混凝土最大骨料粒径为 80mm,则芯样直径应为 200mm~240mm。考虑到我国目前钻机性能,在本条中规定芯样直径以 15cm~20cm 为宜,对于大型工程或混凝土最大骨料粒径大于 80mm 的工程可采用直径 20cm 或更大直径的芯样。

**8.4.7** 试件高度大于 1.7 倍直径时,可以认为端面约束已减弱到可以不予考虑的程度。所以,把高径比为 2.0 的芯样试件定为标准试件。这也是根据我国的试验资料并参考美国 ASTM C42—77 及英国 BS1881.4 规范编制而成的。考虑到工程一般使用最大骨料粒径为 80mm 以及端面约束问题,规定高径比小于 1.5 的芯样不得用于测定抗压强度。