

ICS 93.160

P 55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 49—2015

替代 SL 49—94

混凝土面板堆石坝施工规范

Specification of construction for concrete
face rockfill dams

2015-05-15 发布

2015-08-15 实施



中华人民共和国水利部 发布

<https://www.slzjxx.cc>
水利造价信息网

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告
(混凝土面板堆石坝施工规范)

2015 年第 35 号

中华人民共和国水利部批准《混凝土面板堆石坝施工规范》
(SL 49—2015)为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	混凝土面板堆石坝施工规范	SL 49—2015	SL 49—84	2015.5.15	2015.8.15

水利部

2015 年 5 月 15 日

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排,按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求,对 SL 43—94《混凝土面板堆石坝施工规范》进行修订。

本标准共 9 章和 1 个附录,主要技术内容有:

- 导流与度汛;
- 坝基与岸坡处理;
- 筑坝材料;
- 坝体填筑施工;
- 面板与趾板施工;
- 接缝止水施工;
- 安全监测仪器埋设与观测;
- 质量控制等。

本次修订的主要内容有:

- 增补引用标准和相关规程规范。
- 将原标准中的“导流与度汛”分为“一般规定”“导流与度汛方式”“导截流建筑物及施工”,增加了施工期使用面板挡水的规定;强化了施工导流方案、导流建筑物的布置和结构形式;补充了不同导流方式下坝体度汛的内容等。
- 将原标准中的“坝基与岸坡处理”改为“一般规定”“坝基与岸坡开挖”“坝基处理(原为基岩防渗处理)”“特殊问题处理”;对岸坡趾板的开挖做了规定;增加坝基加固措施;增补岸坡、趾板下游开挖等特殊问题处理内容。
- 将原标准中的“筑坝材料”中增加了“一般规定”,原“道路及运输”一节调入“坝体填筑施工”中。

- 将原标准中的“堆石坝填筑”改为“坝体填筑施工”，增加了“道路及运输”“反渗处理”“坝顶结构”技术要求；对分期填筑的高差、坡度等做了规定；增加了挤压边墙固坡及翻模固坡法施工的内容和规定，列举了其他固坡施工方法等。
- 将原标准中的“面板与趾板施工”中增加了“缺陷检查及处理”；对堆石坝体的预沉降期和超高提出了要求；规定面板分期高程和相应填筑体高度、允许浇筑面板的坝体沉降收敛值等。
- 将原标准中的“止水设施”改为“接缝止水施工”，将原标准中“金属与塑胶止水带”“嵌缝材料”细化为“金属止水带加工与安装”“PVC止水带或橡胶止水带安装”“异型接头连接”“塑性填料施工”“无黏性填料施工”；增补周边缝止水保护、面板分期施工止水保护等；规定有关符合水保、环保要求等。
- 将原标准中的“观测仪器埋设”改为“安全监测仪器埋设与观测”，增加了“施工期监测”。
- 调整“质量控制”中的条文顺序，增补止水结构和材料等施工与验收内容。
- 修订和补充“附录A”，取消“附录B”。

本标准全文推荐。

本标准所替代标准的历次版本为：

——SL 43—94

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部建设与管理司

本标准解释单位：水利部建设与管理司

本标准主编单位：水利部水利水电规划设计总院

中国水利学会（面板堆石坝专业委员会）

本标准参编单位：中国水利水电第十二工程局有限公司

中国水电建设集团第十五工程局有限公司

四川省水利水电勘测设计研究院

中国水利水电科学研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：关志诚 李中方 李自繁 鲁一晖

王星照 孙剑峰 何小雄 郝巨涛

卢正超 王文斌 劳俭翁 吴 玮

韩 军 何旭升

本标准审查会议技术负责人：蒋国澄 赵增凯

本标准体例格式审查人：陈 昊

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204555；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

目 次

1	总则	1
2	导流与度汛	3
2.1	一般规定	3
2.2	导流与度汛方式	3
2.3	导流建筑物及施工	4
3	坝基与岸坡处理	6
3.1	一般规定	6
3.2	坝基与岸坡开挖	6
3.3	坝基处理	6
3.4	特殊问题处理	7
4	筑坝材料	8
4.1	一般规定	8
4.2	料场规划	8
4.3	坝料开采和加工	8
5	坝体填筑施工	11
5.1	一般规定	11
5.2	道路及运输	11
5.3	坝体填筑	12
5.4	垫层料摊铺碾压和保护	14
5.5	反滤处理	15
5.6	坝顶结构	16
6	面板与趾板施工	17
6.1	一般规定	17
6.2	趾板施工	18
6.3	面板施工	19
6.4	缺陷检查及处理	21

7	接縫止水施工	22
7.1	一般規定	22
7.2	金屬止水帶加工與安裝	23
7.3	PVC 止水帶、橡膠止水帶安裝	24
7.4	異型接头連接	24
7.5	蠟性填料施工	25
7.6	無鉛性填料施工	26
8	安全監測儀器埋設與觀測	27
8.1	一般規定	27
8.2	監測儀器選型	28
8.3	施工期監測	28
9	質量控制	30
9.1	一般規定	30
9.2	關鍵控制要點	30
9.3	質量檢驗檢測	32
附录 A	質量檢查的主要項目及技術要求	33
	標準用詞說明	41
	標準歷次版本編寫者信息	42
	條文說明	43

1 总 则

1.0.1 为适应混凝土面板堆石坝建设与发展的需要,规范混凝土面板堆石坝的施工,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于 1 级、2 级、3 级混凝土面板堆石坝及 4 级、5 级中的高混凝土面板堆石坝的施工,其他混凝土面板堆石坝可参照使用。对于 200m 级以上高坝及特别重要和复杂的工程,应进行专题研究。

1.0.3 混凝土面板堆石坝的级别应符合 GB 50201《防洪标准》及 SL 252《水利水电工程等级划分及洪水标准》中的有关规定;混凝土面板堆石坝高、中、低的范围应根据 SL 274《碾压式土石坝设计规范》的规定划分。

1.0.4 施工单位应根据本标准及有关现行标准、合同及监理工程师签发的施工图纸、文件,编制施工组织设计。

1.0.5 施工中应做好和重点关注施工工艺与施工环节的质量控制,应采用经试验论证或通过技术鉴定的新技术、新工艺、新材料和新设备。

1.0.6 本标准主要引用下列标准:

GB 50201 防洪标准

GB 6722 爆破安全规程

SL 62 水工建筑物水泥灌浆规范

SL 174 混凝土防渗墙施工技术规范

SL 228 混凝土面板堆石坝设计规范

SL 252 水利水电工程等级划分及洪水标准

SL 274 碾压式土石坝设计规范

SL 303 水利水电工程施工组织设计规范

SL 377 水利水电工程喷锚支护技术规程

SL 551 土石坝安全监测技术规范

- SL 601 混凝土坝安全监测技术规范
- SL 623 水利水电工程施工导流设计规范
- SL 681 水利水电工程单元工程施工质量评定标准——土方工程
- SL 632 水利水电工程单元工程施工质量评定标准——混凝土工程
- SL 533 水利水电工程单元工程施工质量评定标准——地基处理与基础工程
- SL 667 水利水电工程施工交通设计规范
- SL 677 水工混凝土施工规范
- CJJ 83 城市道路照明工程施工及验收规程
- DL/T 5115 混凝土面板堆石坝接缝止水技术规范
- DL/T 5128 混凝土面板堆石坝施工规范
- DL/T 5129 碾压式土石坝施工规范
- DL/T 5144 水工混凝土施工规范
- DL/T 5268 混凝土面板堆石坝翻模固坡施工技术规范
- DL/T 5297 混凝土面板堆石坝挤压边墙技术规范
- DL/T 5389 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范
- DL/T 5422 混凝土面板堆石坝挤压边墙混凝土试验规程
- NB/T 35016 土石筑坝材料碾压试验规程
- JTG F 30 公路水泥混凝土路面施工技术规范
- JTG F 40 公路沥青路面施工技术规范

1.0.7 混凝土面板堆石坝施工除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 导流与度汛

2.1 一般规定

2.1.1 混凝土面板堆石坝施工的各期导流与度汛,包括导流建筑物等级划分和洪水标准、坝体施工期围堰挡水与坝体挡水度汛洪水标准、导流建筑物封堵后坝体度汛洪水标准等,应按 SL 303 的有关规定执行。

2.1.2 导流建筑物与永久建筑物结合的部分应按永久建筑物要求施工。

2.1.3 采用坝体临时断面挡水度汛时,应按 SL 228 的有关规定执行。

2.1.4 采用坝体临时断面过水时,坝体度汛防护结构型式与过水轮廓及其保护措施应满足设计要求。

2.1.5 应根据合同文件或设计文件规定的导流和度汛标准、导流方式及施工分期,确定工程的施工程序、施工强度、坝体分期填筑和面板分期浇筑规划,制定导流、度汛的施工方案和技术措施。

2.1.6 施工期间应保证导流建筑物的正常运行,加强水文气象预报,制定发生超标准洪水时的应急预案,做好防汛抢险方案、人员、设备及物资准备,确保度汛安全。

2.2 导流与度汛方式

2.2.1 应充分研究坝址控制流域及坝址区水文、气象条件,坝址区地质、地形及施工条件,施工总进度要求等,确定施工导流与度汛方案,宜优先采用隧洞导流、一次断流的导流方式。

2.2.2 选用隧洞导流、枯水期围堰一次断流的导流方式时,应在截流前做好施工准备,截流后第一个枯水期内将坝体填筑至度汛高程直接挡水。可采用下列措施:

1 围堰采用挡枯水期设计流量的标准,按照 SL 303 的有关规定执行。

2 在截流时段内根据具体水文气象条件择机选择截流时间。

3 坝体应在汛前达到度汛挡水高程,也可采用临时断面填筑。

4 垫层上游坡面做好保护后可直接挡水。

2.2.3 条件适宜时,宜采用全年围堰挡水、隧洞过水的导流方式。

2.2.4 有条件时,施工前期可利用宽阔滩地或阶地先行填筑坝体,利用原河床导流;汛后截流,利用一个枯水期将河床导流段坝体填筑至度汛高程。

2.2.5 选用截流后第一个汛期由隧洞及坝体临时断面联合过水的导流度汛方式时,宜采用过水围堰,汛期停工度汛,坝面过流。对条件许可的工程,可在堆石坝体一定高程处设置缺口过流,两岸或一岸在汛期可继续填筑,汛后应将缺口填筑至下一个汛期的度汛高程。做好过水面保护,必要时可采取基坑预充水措施。

2.2.6 以砂砾石填筑的坝体不应采用过水度汛方案。采用挡水度汛方案时,宜在汛前浇筑混凝土面板,或加强垫层上游坡面的防护。

2.2.7 坝体临时挡水度汛时,挡水高度可超过前期浇筑的面板顶部,其上部垫层坡面应有可靠保护措施。

2.3 导截流建筑物及施工

2.3.1 导流工程的施工应按计划进行,特别是导流泄水建筑物和截流后无法继续施工的工程应按质量要求如期完成,并通过验收,方可截流。

2.3.2 导流泄水建筑物进出口与围堰之间应有足够的距离。布置在导流泄水建筑物进出口附近的施工临时设施,应有安全距离,必要时采取防护措施。

2.3.3 围堰填筑前应进行围堰地基及两岸连接部位的清理。对透水地基应进行防渗处理，做好地基防渗体与堰体防渗体的可靠连接。

2.3.4 围堰结构宜优先选用上石围堰型式，条件适宜时也可采用混凝土围堰。在条件许可的情况下，上游混凝土挡水围堰、下游抛石围堰可按设计要求与坝体结合。

2.3.5 在覆盖层较深的地基上修建土石围堰，宜优先选用垂直防渗体处理地基覆盖层，可将围堰填筑至一定高程后施工垂直防渗体。上部堰体可采用心墙或斜墙等防渗型式。

2.3.6 采用土石过水围堰时，应对水流流态、流速、过水能力、过水防护措施、堰体稳定等进行设计，必要时宜通过水力学模型试验验证。过流面宜采用混凝土面板、楔形板或其他有效的保护措施，下游坡脚可采用钢筋石笼或混凝土保护。

2.3.7 对于围堰、导流过水建筑物、截流、基坑排水、施工期蓄水、通航、排冰等按 SL 623 及 DL/T 5123 的有关规定执行。

2.3.8 导流建筑物的封堵，应根据设计文件，选定封堵时间，按编制的施工组织设计实施。

3 坝基与岸坡处理

3.1 一般规定

3.1.1 坝基、趾板地基及岸坡处理应按隐蔽工程要求进行施工并检查验收。开挖及处理过程中应如实、准确地地进行地质描绘、编录及整理。如发现新的地质问题，应及时报监理工程师研究处理。

3.1.2 坝基与岸坡施工应设置防渗及排水系统，使开挖、基础处坦和其他施工作业在无积水条件下进行，并能有效地拦截各种地表和地下水流，防止冲刷边坡和垫层。

3.1.3 坝基与岸坡处理施工前，应提前处理坝体轮廓线以外影响施工的危岩、浮石等不稳定体。应辨识岸坡施工危险源，采取措施确保施工安全。

3.1.4 截流前宜完成水上部分的两岸边坡、趾板地基开挖，以及岸边溢洪道等项目中干扰坝体填筑部位的开挖。

3.2 坝基与岸坡开挖

3.2.1 坝基与岸坡开挖应自上而下进行，岸坡有支护措施时，宜自上而下随岸坡开挖一次完成。临时边坡应满足稳定要求。

3.2.2 岩石岸坡开挖清理后的坡度，应符合设计要求。当岩石边坡存在局部反坡或凹坑时，应按设计要求处理。趾板上方不稳定的岩坡，应按设计要求加固处理。

3.2.3 对爆破开挖趾板地基，应采取控制爆破技术，必要时可预留保护层。

3.3 坝基处理

3.3.1 趾板部位岩石节理和裂隙的处理，应符合设计要求。当设计未明确规定时，应采用下列处理方法：

1 当岩石较完整且裂隙细小时，清除节理和裂隙中的充填物后，冲洗干净，并依缝的宽度，灌入水泥浆或水泥砂浆封堵。

2 当岩石节理和裂隙发育或渗水时，应清除节理和裂隙中的充填物，冲洗干净，灌入水泥浆或用水泥砂浆封堵，喷混凝土或浇筑混凝土覆盖，必要时采取导渗措施，保持趾板混凝土浇筑地基面无积水，并在混凝土保护层后铺设反滤料。

3.3.2 与趾板相交的新层或破碎带，应按设计要求进行处理。

3.3.3 趾板地基的固结灌浆和帷幕灌浆施工前应进行现场试验，根据试验成果按 SL 62 的规定执行，并符合下列要求：

1 灌浆施工应在趾板混凝土达到 70% 设计强度后进行，趾板宜预留灌浆孔。

2 蓄水前应按要求完成蓄水水位以下的灌浆。

3 灌浆参数应经试验确定。灌浆时不应抬动趾板。

4 灌浆工程应按先固结、后帷幕、分排分序的原则进行。

3.3.4 混凝土防渗墙施工应按 SL 174 的规定执行。防渗墙、趾板、连接板相互连接的止水施工应符合设计要求。

3.4 特殊问题处理

3.4.1 对开挖后可能造成滑坡、崩塌的部位，应采取有效措施保证岸坡稳定。岸坡中存在滑动面或软弱夹层时，可用锚杆、钢筋桩、锚索、扶填混凝土等方法进行处理。

3.4.2 趾板地基遇到岩溶、洞穴、断层破碎带、软弱夹层和易冲蚀面等不良地质及勘探孔、洞时，应按设计要求进行处理。

3.4.3 趾板地基渗水严重或集中涌水时，可采用堵排相结合的方法处理。

3.4.4 坝体底部保留的砂砾石层，应布置方格网点取样检验。保留部分应按设计要求处理；在坝体填筑前用重型振动碾等适宜的碾压机具碾压密实并检测合格。

3.4.5 岸坡趾板下游的开挖范围及坡度，应按设计要求处理。

3.4.6 对易风化岩层，开挖后应及时封闭保护。

4 筑坝材料

4.1 一般规定

- 4.1.1 应按照设计要求和工程施工总进度安排，做好料场和料源规划。
- 4.1.2 坝体施工前，施工单位应根据设计文件对料场和可利用开挖料场进行复查，发现问题及时报告。必要时可提出优化料场意见。
- 4.1.3 筑坝材料的质量和储量应有可靠的保证。
- 4.1.4 料场开采场地和弃料场地、转存场地应做排水、度汛及水土保持规划。

4.2 料场规划

4.2.1 料场开采规划应满足下列要求：

1 根据工程规模和料场复查结果、坝区和料场的地形、地质条件，以及导流方式、施工分期和填筑强度，可利用开挖料的生产时段和进度等，按照坝料综合平衡的原则，规划开采区域、开采顺序、料场开采工作面、运输道路、转存场地、弃料场地和加工系统。

2 做好挖填平衡规划，在性质和级配满足设计要求时，应充分利用枢纽建筑物开挖料直接上坝，条件合适时可扩大建筑物开挖范围，就近取料，宜少用或不用专门料场。必要时可设置中转储料场堆存或进行级配调整。在开始填筑前，宜储备一定量可利用的开挖成品料。

3 料场可开采量及可利用开挖料量之和与坝体填筑量的比值：堆石料宜为 1.3~1.5，砂砾石料水上宜为 1.5~2.0、水下宜为 2.0~2.5。

4 选择运距较短、储量较大和便于高强度开采的堆石料场，

并宜设置备用料场，必要时可设置开采石料储存场，满足坝体填筑的高峰用量。

5 爆破工作面规划应与料场道路规划结合进行，满足不同施工时段填筑强度需要。

6 对于垫层、过渡层等特殊级配要求的坝料及混凝土骨料，必要时可分别设置专用料场，或在同一料场内划出专用开采工作面。

7 河床砂砾料的开采应考虑冬季、汛期及蓄水期施工对料场的要求，以及水下开采的运输要求。

8 采取措施，保证料场边坡的稳定和工程开采施工安全。

9 不占或少占耕地，少毁林木，做好环境保护工作。有条件时宜考虑农田复垦及利用弃料造地。

4.2.2 垫层料及有特别级配要求的坝料需进行加工、掺配时，应规划相应场地与生产加工系统。

4.3 坝料开采和加工

4.3.1 料场开采前应清除植被、覆盖层和不可用岩层，并按填筑部位对坝料质量指标的要求，分区规划开采。

4.3.2 坝料开采应满足下列要求：

1 堆石料宜采用深孔梯段微差挤压爆破等方法开采。在地形、地质及施工安全条件允许的情况下，必要时也可采用洞室爆破的方法。爆破后的超径石宜在料场处理。

2 开采前宜根据爆破设计进行爆破试验，确定满足坝料设计级配要求的爆破参数。爆破试验宜与碾压试验同时进行。

3 应依照相关标准制定爆破开采安全施工管理办法和作业指导书。

4 可利用料的开挖应按照坝料的要求进行，并满足级配要求。

5 爆破的安全警戒距离按照 GB 6722 的规定执行。

4.3.3 过渡料宜按级配要求直接从石料场爆破生产，也可从枢

组地下洞室等建筑物的开挖渣料中选用。

4.3.4 垫层料及特殊垫层料可选用料场爆破块石料进行破碎、筛分、掺配，也可从符合要求的开挖料和砂砾石料加工筛选后掺配，其加工、掺配工艺应通过试验确定。

4.3.5 成品料的生产能力和储量，应考虑超填和损耗，并满足坝体填筑进度要求。

4.3.6 河床具备开挖条件时，应适当储备砂砾料供汛期不能开采时使用。汛期采掘可采用分流改道或降低水位等技术措施，并准备防洪或撤退等安全措施。河道砂砾料的开挖程序及时段安排应考虑泄洪顺畅及堤防安全。水下砂砾料开采应按填筑要求控制级配和含水率。

4.3.7 寒冷地区地下水位较高的部位开采砂砾料，应有足够的堆存储备，满足冬季坝体填筑需要。

4.3.8 各种坝料应有足够的储备，满足调节开采和上坝强度的需要。

4.3.9 料场开采过程中和开采结束后、弃料场使用结束后，应根据环境保护及水土保持要求，做好危岩处理、边坡稳定、场地平整、还田造林、防止水土流失等工作。弃料宜用作造田、平整场地或运到指定弃料场，严禁随意堆放。

5 坝体填筑施工

5.1 一般规定

5.1.1 坝体填筑宜在坝基、两岸岸坡处理验收及相应部位的趾板完成后进行，趾板下游一定距离的部分坝体填筑可提前进行。在不影响行洪的情况下，截流前可在两岸或两岸先行填筑部分坝体。

5.1.2 坝体填筑开始前，应进行坝料碾压试验，确定各种坝料填筑施工参数，并对设计指标进行复核。碾压试验的规模可依工程情况、坝料性质、碾压机械类型等条件选定，宜按照 NB/T 35016 的规定执行。

5.1.3 应严格按照碾压试验确定的填筑压实参数施工，并应进行抽样检查。施工时应严格控制铺料厚度。

5.1.4 垫层料、过渡料和主堆石料的填筑宜平起施工，均衡上升。坝料应按照先主堆石料、后过渡料、再垫层料的顺序填筑，并清除边坡界面的分离料。主堆石体、下游堆石体可分区、分期填筑，其纵、横坡面上均可布置临时施工道路。

5.1.5 应严格控制筑坝材料的质量，其岩性、级配和含泥量等应符合要求。上坝填筑材料的质量应合格，不合格材料应予以处理。

5.1.6 当坝料填筑、趾板及面板浇筑、地基加固及防渗和溢洪道等建筑物开挖同时施工时，应合理规划，避免或减少相互干扰，确保施工安全、质量和形象进度。

5.2 道路及运输

5.2.1 施工现场的运输道路应根据坝体工程量、上坝强度及地形、运距、运输机械类型及行车密度等因素合理布置，并在各施工阶段根据填筑区和料场开采区的变化及时调整。施工道路技术

参数要求应按照 SL 667 的规定执行。施工道路宜与永久道路相结合，宜采用环形线路。运输道路不宜通过居民点，也不宜与民用公路相结合，其道路和桥涵的等级标准应满足施工车辆及机械通行的需要。

5.2.2 道路可视具体情况采用泥结碎石路面或混凝土路面。应加强施工道路的维护保养，保持路面平整，排水通畅。

5.2.3 运输道路跨越趾板及垫层区应有可靠措施，不得影响趾板、止水及垫层的质量。

5.2.4 运输宜采用汽车直接上坝方式。运输车辆载重量和数量的选择应按坝料类别、填筑工程量、上坝强度、坝区地形、运输道路、运距和挖装设备等因素综合考虑。

5.2.5 坝体填筑区内的临时施工道路，应设于填筑压实合格的坝段，道路路基应予压实。不符合坝体设计要求的施工道路，继续填筑前应予以处理。

5.3 坝体填筑

5.3.1 坝体填筑时，在特殊情况下可设置临时断面。垫层料、过渡料和主堆石料的填筑宽度宜大于 30m。

5.3.2 坝体堆石料铺筑宜采用进占法，必要时可采用后退法与进占法结合卸料；垫层料、过渡料宜采用后退法，应及时平料，并保持填筑面平整；每层铺料后宜测量检查铺料厚度，发现超厚层应及时处理。

5.3.3 坝体堆石料填筑宜加水碾压，加水量通过碾压试验分析确定。需要加水碾压的填筑料，宜有适当的技术措施保证均匀加水和加水量；宜采用运输中向运输车辆加水和坝面洒水相结合的方式。垫层料的含水率控制和加水方法宜由试验确定。

5.3.4 坝体堆石料碾压应采用振动平碾，高坝宜采用重型振动碾。振动碾行进速度宜按照不大于 2km/h 控制。应经常检测振动碾的工作参数，保持其处于正常工作状态。坝料碾压按材料分区分段进行，各碾压段之间的搭接不应小于 1.0m，碾压宜采用

错距法。

5.3.5 主堆石区与岸坡、混凝土建筑物接触带，应按设计要求填筑过渡料，并控制好接触带的碾压质量。

5.3.6 坝料卸料、铺料时应避免分离，对垫层料与过渡料、过渡料与主堆石料接触带处分离的块石应予以清除。

5.3.7 周边缝下特殊垫层区应人工配合机械薄层摊铺，每层厚度不超过 200mm，应采用振动冲击夯、液压平板振动器、小型振动碾等压实。

5.3.8 垫层料上游坡面采用削坡法施工时，垫层料铺筑上游水平超宽宜为 200~300mm。采用液压平板振动器压实垫层料时，水平超宽可适当减少。采用自行式振动碾压实时，振动碾距上游边缘的距离不宜大于 400mm。

5.3.9 垫层料与过渡料每两层与主堆石填筑面齐平，应采用振动碾骑缝碾压。各种料物的边界线可略有误差，但细料可侵入粗料边界，而粗料不得侵入细料边界。主堆石料与下游堆石料的接触带，下游堆石料不得侵入主堆石区。

5.3.10 坝体堆石区纵、横向填筑高差不宜大于 30m，临时边坡宜不陡于下游坝体边坡，收坡宜采用台阶法施工，台阶宽度不宜小于 1.0m。若受场地空间限制可按稳定边坡收坡，但回填接坡时，应削坡至合格面后方可铺料，并使振动碾紧贴接坡面碾压。

5.3.11 坝料填筑、垫层料防护施工时，不应损伤已安装好的止水及其他设施。

5.3.12 下游护坡宜与坝体填筑平起施工。护坡宜选取大块石，采用机械整坡、堆码或人工干砌，块石间应嵌合牢固。有抗震要求和其他形式的坡面处理，应按技术要求施工。

5.3.13 当坝的上游坡面遭受冲刷或发生塌坡时，应按设计要求进行回填、补齐。回填区的坡面应超填 200~300mm。

5.3.14 负温下填筑时，各种坝料内不应有冻块，应采用减薄铺筑厚度、增加碾压遍数、不加水的方法进行。

5.3.15 截流前，在滩地或缓坡段先行填筑部分堆石坝体时，其上游坡脚距趾板线的距离不宜小于该处 0.3 倍坝高，且不宜小于 30m，边坡不陡于设计坝坡。

5.3.16 采用枯水期低围堰导流、坝体施工期临时挡水度汛方案时，在基坑开挖、处理验收后，宜按 5.3.15 条的规定先行填筑部分坝体。待趾板混凝土完成及养护一定时间后，再补填上游垫层料、过渡料及堆石体，并平起填筑。

5.3.17 采用软岩填筑坝体时，应进行坝料专题性能试验和碾压试验，确定施工碾压参数及机具。坝内排水体渗透性应满足设计要求。

5.3.18 坝体填筑时应按照设计要求留有一定的超高。填筑完成至面板浇筑的坝体顶沉降期宜为 3~6 个月，150m 以上高坝不宜少于 6 个月。对于沉降期的控制标准，宜按照面板顶部坝体沉降速率小于 5mm/月控制。

5.4 垫层料坡面碾压和保护

5.4.1 垫层料上游坡面应在施工过程中采取保护措施。保护措施可采用传统的削坡、斜坡面碾压、设置防护层等方式，也可采用挤压边墙、翻模固坡等技术。

5.4.2 垫层填筑时应适时进行垫层坡面削坡修整和碾压。修整后的坡面，在法线方向应高于设计线 50~100mm。有条件时可用激光仪控制削坡。

5.4.3 斜坡压实可用振动碾或液压平板振动器，碾压参数经试验确定。

5.4.4 雨季施工应缩短坡面整坡、碾压与防护作业的周期，并做好岸坡排水，以防止地表水汇流后冲刷边坡。

5.4.5 垫层坡面压实合格后，应按设计要求进行坡面防护。防护形式可选择碾压水泥砂浆、喷涂乳化沥青、喷混凝土等。

1 碾压水泥砂浆坡面防护的水泥砂浆配合比、铺设厚度等应符合设计要求。水泥砂浆宜采用人工或机械摊铺，振动碾碾压

的方法施工,每条槽宽度不宜小于4.0m,碾压方法及碾压遍数应通过试验确定。砂浆初凝前应碾压完毕,终凝后洒水养护。碾压后的砂浆表面,法线方向不应高于设计线50mm、低于设计线80mm。

2 喷混凝土坡面防护的混凝土配合比和喷层厚度应符合设计要求。喷射混凝土施工应按 SL 377 执行。喷射后的混凝土表面,应平整、密实、厚度均匀,法线方向不应高于设计线50mm、低于设计线80mm。喷护混凝土终凝后应洒水养护。

3 喷涂乳化沥青坡面防护的沥青乳剂的品种、配比、喷洒层数应符合设计要求。喷涂前应把坡面上的浮尘清除干净。沥青乳剂喷涂后,应随即撒砂碾压。碾压方式、遍数可通过试验确定。喷涂间隔时间不少于24h。阴雨、浓雾天气不应喷涂。

5.4.6 坝高超过150m时,垫层料的填筑和保护应进行专题论证。挤压式边墙施工应符合 DL/T 5297 的规定。翻模固坡法施工应符合 DL/T 5268 的规定。

5.5 反渗处理

5.5.1 面板堆石坝河床部位的地基面呈上游低、下游高,或下游水位高于上游趾板基础高程时,应设反向排水系统。

5.5.2 反向排水系统应按设计要求设置自流、抽排等系统。排水系统设置应方便后期封堵施工。封堵前应量测流量。

5.5.3 采用抽排方式时,坝内排水竖井顶部高程不应低于坝内反向水位,排水竖井可采用钢管筒或有孔钢管随坝体填筑逐段焊接,竖井四周应薄层铺料,小型机械压实。排水竖井宜置于主堆石区内。

5.5.4 采用自流排水方式时,宜在趾板部位或通过面板预埋数根排水钢管。排水钢管宜埋设至主堆石区,钢管孔眼部位应外包丝网和反滤料。负温时应采取措施防止排水管冻结。在铺盖施工时,应适时封堵。

5.5.5 采用抽排方式时,反向排水系统应待上游铺盖填筑高程

超过坝内最高反向水位时方可封堵。反向排水系统的封堵应按设计要求进行。面板部位井口应采用与面板相同的混凝土浇筑，周边施工缝宜用塑性填料封闭。

5.5.6 寒冷地区当面板和相应止水施工结束，应立即封堵排水管，并应在当年封冻前把上游铺盖区填筑完成。

5.6 坝顶结构

5.6.1 防浪墙施工宜安排在坝体沉降基本稳定，且面板混凝土浇筑至坝顶 28d 后实施。防浪墙施工前，应对其地基面进行平整、碾压，并验收合格。

5.6.2 防浪墙混凝土施工应按照 SL 677 的规定执行。防浪墙止水施工应按照 DL/T 5115 的规定执行。混凝土振捣严禁损伤止水。

5.6.3 防浪墙混凝土应达到设计强度后方可进行其地基面以上的坝体填筑。防浪墙附近的坝体宜用细堆石料填筑，小型振动碾碾压。

5.6.4 坝顶路面施工宜按照 JTGF 40 及 JTGF 30 的规定执行。

5.6.5 照明系统应做好防雨和防雷保护，按照 CJJ 89 的规定执行。

6 面板与趾板施工

6.1 一般规定

6.1.1 面板与趾板的混凝土原材料，应符合有关技术标准规定。水泥品种宜优先选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其强度等级不应低于 42.5MPa。使用其他品种水泥时，应经试验论证及批准。

6.1.2 运至工地的水泥、外加剂、掺合料、钢筋、止水等材料，应有生产厂家合格证明材料，并按规范要求抽样检验合格后，方能使用。

6.1.3 砂石骨料质量应满足相关规范要求，砂石骨料检测按 SL 677 的有关规定执行。

6.1.4 面板混凝土配合比除应满足面板设计性能外，尚应满足施工工艺要求，配合比设计和试验应符合下列要求：

- 1 应掺用引气剂和减水剂，并视需要掺用缓凝剂等外加剂。外加剂品种、掺量通过试验确定。

- 2 宜掺用适量粉煤灰或其他掺合料，其掺量通过试验确定。

- 3 水胶比应通过试验确定，可根据施工条件、当地气候特点选用，温和地区宜小于 0.50，寒冷和严寒地区宜小于 0.45。

- 4 坍落度应根据混凝土的运输、浇筑方法和气候条件决定；当用溜槽输送时，溜槽入口处坍落度宜为 30~70mm，视气候条件选用。

6.1.5 混凝土拌和程序和拌和时间应符合 SL 677 的规定，并通过试验确定。对掺用引气剂的混凝土，应视具体情况适当延长拌和时间。混凝土应在机口取样测定含气量。通过拌和物检查混凝土坍落度、含气量损失及和易性，同时检查溜槽适应性、混凝土骨料分离及仓面振捣情况等工艺适用性。施工现场应测定混凝土的坍落度及含气量，并根据需要进行调整。

6.1.6 面板混凝土生产宜选用集中生产的拌和楼，也可在填筑体顶部或其附近设移动拌和站。拌和楼或拌和站应有准确的称量设备。混凝土运输设备应根据施工条件选用。宜优先采用混凝土搅拌车作为运输工具，运输过程中应避免出现骨料分离、漏浆、严重泌水或过多降低坍落度，并应减少转运次数和缩短运输时间。

6.1.7 面板混凝土入仓宜选用溜槽输送，应根据面板宽度选择溜槽数量。也可采用溜槽与布料机联合输送方案。溜槽连接不得脱落、漏浆，溜槽上部宜加覆盖。溜槽出口距仓面距离不应大于2m，应采取有效措施防止骨料分离。

6.1.8 面板与趾板混凝土浇筑应保持连续性，如特殊原因中止浇筑且超过允许间歇时间，应按施工缝处理。超过允许间歇时间的混凝土拌和物应按废料处理，不得强行加水重新拌和入仓。混凝土浇筑允许间歇时间应通过试验确定。

6.1.9 混凝土浇筑时，应加强气象预报，根据气候特点做好防雨、防晒、防风、防冻等保护措施的相关准备。

6.1.10 脱模后的混凝土应及时用塑料薄膜等遮盖。混凝土初凝后，应及时洒水养护，必要时加盖隔热、保温材料。宜连续养护至水库蓄水或至少养护90d。应重视趾板止水连接处等特殊部位的养护。

6.1.11 施工过程中应有专人进行质量检查与控制，并做好各项原始记录。必要时，可根据检验结果调整混凝土施工配合比及施工工艺。

6.2 趾板施工

6.2.1 趾板混凝土施工应在基础面开挖、处理完毕，并按隐蔽工程质量要求验收合格后进行。趾板混凝土施工，应在相邻区的垫层、过渡层和主堆石区填筑前完成。

6.2.2 趾板绑扎钢筋前，应按设计要求设置锚筋。趾板锚筋可做架立筋使用。

6.2.3 趾板绑扎钢筋时，应同时按设计要求设置灌浆导管，将止水片固定在正确位置，并进行保护。

6.2.4 趾板混凝土浇筑、灌浆后，在周围确需进行爆破时，应按 DL/T 5389 的规定控制。

6.2.5 趾板地基处理超挖过大时，宜将超挖部分先用混凝土回填至设计高程，再浇筑趾板混凝土。

6.2.6 趾板分缝应按设计要求实施。浇筑时可根据施工条件设置施工缝位置。

6.2.7 趾板混凝土在周边缝一侧的顶面用 2m 直尺检查，不平度不应超过 5mm。

6.2.8 混凝土浇筑时，应保证止水片（带）附近混凝土的密实，并避免止水片（带）的变形和移位。

6.3 面板施工

6.3.1 坝高低于 100m 时，面板混凝土宜一次浇筑完成；坝高大于等于 100m 时，根据施工安排或提前蓄水需要，面板可分期浇筑。分期浇筑接缝应按施工缝处理，设计有要求时按设计要求处理。

6.3.2 面板应在达到预沉降期及月沉降率的设计要求后施工。面板分期施工时，先期施工的面板顶部填筑应有一定超高，坝高大于 100m 时，分期面板顶部以上超填高度不应少于 10m。因度汛要求等原因，需要提前浇筑面板时，应专题论证。

6.3.3 面板施工前，应对垫层坡面布置方格网进行测量与放样。外边线与设计边线偏差应符合设计要求。混凝土浇筑前应对坡面保护（含挤压边墙）进行检查，发现脱空、坡面局部损坏等应及时处理。

6.3.4 滑模施工的作业场地宽度应满足布置卷扬机及其平台装置、运输混凝土道路等施工需要。

6.3.5 面板混凝土浇筑宜使用无轨滑模，跳仓浇筑，起始三角块宜与主面板一起浇筑。

6.3.6 设计滑动模板应遵循下列原则：

- 1 适应面板条块宽度和滑模平整度要求。
- 2 有足够的强度和刚度。
- 3 有足够的配置。
- 4 满足施工振捣和压面的需要。
- 5 安装、运行、拆卸方便灵活。
- 6 应有安全措施，滑模上应设有挂在钢筋网上的制动装置，牵引机具为卷扬机时，地锚等应安全可靠。

6.3.7 垂直缝下水泥砂浆垫的宽度、厚度和坡面平整度应满足设计要求。

6.3.8 面板钢筋宜采用现场绑扎、焊接或机械连接，也可采用预制钢筋网片现场整体拼装的办法。当设计要求与接地网连接时，应连接牢固。垫层上的架立筋，应按设计要求设置和处理。

6.3.9 浇筑面板的侧模，可为组合钢模板或带钢护角的木模板。侧模的高度应适应面板厚度需要。其分块长度、锚固方式应便于在斜坡面上安装和拆卸。当侧模兼作滑模支撑结构时，应按受力结构设计。

6.3.10 侧模安装，应坚固牢靠，内侧面平整，并将止水设施固定就位，不应破坏止水设施。其允许安装偏差如下：

- 1 偏离分缝设计线为 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 2 垂直度为 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 3 2m 范围内起伏差为 5mm。

6.3.11 混凝土浇筑应遵守下列规定：

1 混凝土入仓应均匀布料，每层布料厚度宜为 250～300mm。止水片周围混凝土应辅以人工布料，不应产生骨料分离。

2 布料后，应及时振捣密实。振捣时，振捣器不应触及滑动模板、钢筋、止水片。振捣器不应靠在滑动模板上或靠近滑动模板顺坡插入浇筑层。振捣器应在滑模范围内振捣，振捣间距不应大于 400mm，振捣器垂直插入下层混凝土深度宜为 50mm。

使用的振捣器直径不宜大于 50mm，靠近侧模的振捣器直径不应大于 30mm。止水片周围的混凝土应振捣密实。

3 浇筑过程中，及时清除粘在模板、钢筋上的混凝土。每次滑升前，应清除前沿超填混凝土。

4 对脱模后的混凝土表面，应及时整平和适时压面。接缝侧各 1m 内的混凝土表面，用 2m 长直尺检查，不平整度不应超过 5mm。

5 每次滑升距离不应大于 300mm，每次滑升间隔时间不宜超过 30min。面板浇筑滑升平均速度宜为 1.5~2.5m/h，最大滑升速度不宜超过 3.5m/h。

6.3.12 面板分期浇筑时，施工缝混凝土面在不小于 1/2 断面厚度按面板法线方向留设，其他部位可按水平方向留设。先浇面板的钢筋应穿过施工缝，露出施工缝的钢筋长度不应小于其锚固长度。施工缝处理，应符合 DL/T 5144 的规定。

6.3.13 分期施工的面板在续浇混凝土或坝顶防浪墙底座浇筑前，应对已浇面板顶部进行清理、凿毛并检查与垫层间脱空情况，必要时进行处理。

6.4 缺陷检查及处理

6.4.1 在趾板及面板混凝土浇筑完成、表面覆盖及蓄水前，应对其裂缝等缺陷情况进行全面检查，记录裂缝分布、条数、长度、宽度、深度、产状及是否贯穿等资料，提出专门报告。

6.4.2 对宽度大于 0.2mm 或判定为贯穿性的裂缝，应根据设计要求，逐条进行处理。

7 接缝止水施工

7.1 一般规定

- 7.1.1 面板接缝的止水型式、结构尺寸及材料品种规格，均应符合设计规定。其原材料的品种、生产批号、质量等均应记录备查。各种止水材料均应有合格证书，并按规定抽检合格方可使用。
- 7.1.2 接缝止水材料不应露天存放。
- 7.1.3 施工前，应对各种止水带进行连（焊）接试验，确定连（焊）接工艺和连（焊）接材料，并经鉴定合格，记录备案。安装止水带时，应仔细检查止水带的连（焊）接质量，不合格的接头应及时返工。
- 7.1.4 周边缝下沥青砂浆垫层或水泥砂浆垫层，应按设计要求配制，所用材料、配比、尺寸及厚度应满足设计要求。
- 7.1.5 面板接缝中隔离板应平直。隔离板采用木板时，应刨光并经防腐处理。
- 7.1.6 止水带应确保中线与缝中线重合，允许偏差应为±10mm。安装完毕后，应经验收合格，才可进行下道工序施工。
- 7.1.7 在止水带附近浇筑混凝土时应确保混凝土密实，止水带不得变形、变位，不得出现骨料集中及气泡、泌水、漏浆等缺陷。对止水带两侧各500mm范围，应加强振捣，振捣棒不得触及止水带。
- 7.1.8 与防渗保护盖片或波形止水带接触的混凝土面应平整，其平整度用2m直尺检查允许偏差±5mm。如有麻面、松动等缺陷，应用聚合物砂浆修补。
- 7.1.9 进行浇筑准备和拆模时，应防止钢筋、模板、扣件等硬物损伤止水带。
- 7.1.10 对露出混凝土面的止水带，拆模后应及时采用方木等有

效措施保护，防止污染、损伤。后期施工前应对暴露在外的止水带污染和损伤情况进行检查，并经验收合格后方可进入下道工序施工。

7.1.11 施工中止水带如有损坏应查明原因，记录备案，并及时修复或更换。止水带严重变形时应做整形处理。修复处理并经验收合格后，方可进行下道工序。

7.1.12 混凝土浇筑过程中，应检查止水带及模板的位移和变形，发现问题应及时处理。

7.1.13 接缝止水应按隐蔽工程施工要求，上道工序不合格不应转入下道工序。

7.2 金属止水带加工与安装

7.2.1 铜止水带应采用合格的软铜卷材加工，宜在工作面附近按设计形状、尺寸，用成型机挤压成型。成型后的铜止水带应检查校正加工缺陷，不应有裂纹、孔洞等损伤。

7.2.2 成型的金属止水带在搬运、安装时，不得扭曲、损坏。安装前，应将其表面浮皮、锈污、油漆、油渍等清除干净。

7.2.3 金属止水带下的砂浆垫应平整，其平整度用2m长的直尺检查，偏差不应大于5mm。砂浆垫的宽度和厚度，应符合设计要求，宽度不应小于垫片宽度。

7.2.4 铜止水带的连接宜采用对缝焊接或搭接焊接，焊缝处的抗拉强度不应小于母材抗拉强度的70%。对缝焊接应用单面双道焊缝；搭接焊接宜双面焊接，搭接长度应大于20mm。铜止水带宜用黄铜焊条焊接，焊接时应对垫片进行防火、防腐蚀保护。不锈钢止水带宜用钨极氩弧焊焊接。

7.2.5 金属止水带的焊缝应表面光滑，不渗水，无孔洞、裂隙、漏焊、欠焊、咬边伤等缺陷，并抽样用煤油等做渗透检验。

7.2.6 金属止水带安装时，应用模板夹紧等措施固定牢靠，安装准确。应采取有效措施，防止浇筑混凝土时水泥浆进入金属止水带的鼻子空腔、止水带与垫片间的间隙；防止金属止水带鼻子

外侧与混凝土黏结。

7.3 PVC 止水带、橡胶止水带安装

7.3.1 浇筑混凝土前应消除止水带表面的油渍、污染物，修复或更换破损的止水带。

7.3.2 PVC 止水带接头应按厂家要求连接，可用热（熔）黏结或热焊，搭接长度应大于 150mm。橡胶止水带接头应采用硫化连接，接头内不得有气泡、夹渣或渗水，中心部分应黏结紧密、连续。PVC 止水带和橡胶止水带的接头抗拉强度不应小于母材抗拉强度的 60%。

7.3.3 PVC 或橡胶垫片应平铺或粘贴在砂浆垫上，不应有褶皱、脱空。

7.3.4 PVC 止水带或橡胶止水带应采用模板夹紧，并用专门措施保证在安装中不偏移。应用专门固定措施确保止水带平面平行于面板，止水带翼缘端部的上下倾斜值，不应大于 10mm。

7.3.5 安装波形橡胶止水带前，应将其接触的混凝土表面擦拭干净，并涂刷黏结剂，安装后拧紧两侧固定螺栓。

7.3.6 周边缝若设有中部橡胶棒，趾板上橡胶棒位置处，应预留与橡胶棒直径相适应的半圆槽，浇筑面板混凝土前，将橡胶棒固定在预留槽内，并用胶带纸进行局部加固。橡胶棒的连接，可在端部削成一定的斜度，用黏结剂黏结。

7.3.7 趾板伸缩缝的止水带应埋入基岩止水基座。基岩止水基座应按设计要求的尺寸挖槽，基座混凝土应振捣密实。

7.4 异型接头连接

7.4.1 铜止水带的异型接头宜在现场车间内用黄铜焊条焊接加工或在工厂整体冲压成型并作退火处理。成型后的接头不应有裂纹或孔洞等缺陷。若有局部减薄，其最小厚度不应小于设计厚度。

7.4.2 PVC 止水带或橡胶止水带的异型接头宜在工厂订做。若

在现场加工，接头连接处不应有气泡或漏接，中心部分黏结应紧密、连续。

7.4.3 PVC止水带或橡胶止水带与金属止水带连接时，应先将PVC止水带或橡胶止水带的一面削平，并可在两种止水带间用塑性密封材料或优质黏结剂黏结后，再实施铆接或螺栓连接。栓（搭）接长度不宜小于350mm。PVC止水带的连接也可热压在金属止水片上，趁热铆接。

7.4.4 铜止水带、PVC止水带、橡胶止水带与塑性填料止水的连接应按插入法连接，插入塑性填料内的深度不宜小于100mm。

7.4.5 防渗保护盖片的异型接头宜在工厂订做。若在现场制作，异型接头部位应外覆保护盖片进行加强处理。

7.5 塑性填料施工

7.5.1 接缝顶部应按设计要求的形状和尺寸，预留嵌填塑性填料的V形槽。

7.5.2 塑性填料施工应在接缝混凝土强度达到设计强度的70%后进行，且施工应在日平均气温高于5℃、无雨的白天进行，否则应采取专门措施。塑性填料分期施工时，施工接头端部应密封保护。

7.5.3 嵌填塑性填料之前，应将混凝土表面清理干净、无松动混凝土块。如设计设置波形止水带，嵌填前应再次拧紧止水带固定螺栓。接触面无法处理干燥时，应采用潮湿面黏结剂。

7.5.4 缝口设置PVC或橡胶棒时，应在塑性填料嵌填前将棒嵌入缝口。PVC或橡胶棒的接头宜切成斜面，并黏结固定。

7.5.5 塑性填料应按厂家的工艺要求嵌填密实，宜采用挤出机嵌填。塑性填料嵌填后的外形、尺寸应符合设计要求，表面无裂缝和高低起伏，并经检查合格后，再分段安装防渗保护盖片。

7.5.6 防渗保护盖片的固定宜用经防锈处理的扁钢和膨胀螺栓，有冰冻的地区宜用沉头螺栓。防渗保护盖片固定后应与混凝土面密封结合。防渗保护盖片的接头可采用硫化连接或搭接，搭接长

度应大于 200mm。

7.6 无黏性填料施工

7.6.1 无黏性填料施工应自下而上进行。河床段应分层填筑、压实，其外部可直接用土工布或土石等材料保护。设计有保护层时，可先安装保护层，然后填入无黏性填料。

7.6.2 无黏性填料保护层的材质、尺寸、紧固件规格和间距应符合设计要求。角钢及膨胀螺栓应经防腐处理。保护层和混凝土接触面应密封。

7.6.3 周边缝顶部若同时有塑性和无黏性填料时，应先完成塑性填料的施工后，再进行无黏性填料施工。

8 安全监测仪器埋设与观测

8.1 一般规定

8.1.1 安全监测仪器的埋设、安装、调试、施工期监测与资料整理分析等应按设计要求进行，并应符合 SL 551 和 SL 601 的有关规定。

8.1.2 安全监测项目的实施，应列入工程总体施工进度计划，由专职人员完成，尽早取得监测资料，指导施工和运行。施工期间应对已埋设的监测设施采取有效的安全防护措施，严防机械和人为损坏；如有损坏，应及时维修或补设，并记录备查。

8.1.3 应采用检验合格的仪器设备，做好标定、埋设、安装、调试等工作，保证埋设和安装质量，做好原始记录，填制相关图表，及时测读初始值，确定基准值，列出参考表，整理技术档案。

8.1.4 坝面位移观测标点、基点等应随坝体施工及时进行埋设、安装与观测。必要时可设置临时标点，其监测资料应与永久标点相互衔接。

8.1.5 观测房及其位移标点应及早建成。必要时应设置临时监测设施，取得早期监测资料，适时过渡到永久观测房，并保持监测资料的连续性。

8.1.6 当采用堆石坝体临时过水度汛时，对已埋设、安装的监测设施应加以保护并做好记录说明，在汛后应及时恢复观测。

8.1.7 监测仪器封存前与启用后，应进行观测并做好记录说明。

8.1.8 在蓄水前对已埋设仪器应做全面观测，取得初始值。如永久监测设施无法提前设置，宜设置临时监测设施，以取得初期蓄水的监测资料。

8.1.9 工程完工后，应将监测仪器设施的检验、标定、埋设、安装及施工期观测等原始资料和整编资料整理成册，形成电子文

档，经审查验收后移交给相关单位。

8.2 监测仪器埋设

8.2.1 堆石体观测仪器埋设应符合下列要求：

1 水管式沉降仪和引张线式水平位移计应采用挖沟法随坝体填筑进度进行埋设。水管式沉降仪管（线）路基床坡度宜为0.5%~3.0%，其平整度允许偏差为±5mm。引张线式水平位移计的引张钢丝及其保护管应保持良好的直线性与平整度。

2 孔隙水压计和压力盒测头、电缆的保护应采用1.0m厚的小粒径砂或砂砾薄层回填覆盖，并采用小型机具人工压实之后，方可恢复正常填筑。

8.2.2 混凝土面板观测仪器埋设应符合下列要求：

1 面板挠度监测采用的测斜仪和电测器传感器的正方向应保持一致。

2 面板测缝计应在面板浇筑28d后埋设。埋设前应按照观测方向拉压位移的设计要求，对测缝计测量范围进行预调。埋设测缝计时应严格按照设计要求控制其施测方向，各测缝计的剪切位移方向应保持一致。测缝计应及时用不锈钢罩妥为防护，如受防渗铺盖施工或冰情影响，应按照专门设计进行保护。

3 面板混凝土应变计附近0.5m范围的混凝土应由专人负责浇筑，避免仪器损坏，无应力计筒内的混凝土，应与相应应变计处的混凝土相同。

8.3 施工期监测

8.3.1 施工期的安全监测项目和测次，可参照SL 551和SL 601的有关规定。堆石体可按施工进度，坝体每升高5~10m，或每隔5~10d观测一次。观测时，应同时记录监测断面处坝体的填筑高程、上下游水位等施工及环境信息。坝下游观测房的沉降与水平位移的监测，应与相应高程仪器同时进行，测次可略少，宜取15~30d一次。

8.3.2 各监测仪器的测读，应采用相应的测读仪表与测读方法，严格遵守监测要求，正确操作，并按规定格式做好记录。测读仪表设备应做好保养、检查、维护等工作，并按照检验周期，由有资质的单位进行检验。检验至少每年一次，并做好记录。

8.3.3 施工期的监测资料应及时整理分析，定期报监理工程师，并提供给大坝施工及管理单位。遇暴雨、洪水、地震或有异常现象等特殊情况，应增加测次，并将监测成果及时上报。



9 质量控制

9.1 一般规定

9.1.1 质量控制应按国家和行业颁发的有关标准、设计文件、招投标文件、施工图等要求进行。

9.1.2 质量控制应以终端产品质量合格为标的，并以加强施工过程的控制为重点，保证工程质量合格。

9.1.3 质量控制宜建立统计分析网络，分析施工质量趋势，预防质量问题的发生。

9.1.4 质量检验方法、仪器及其操作步骤、检验环境条件等，应符合现行有关标准的规定。

9.1.5 应及时对质量检验结果进行汇总、编录、分析，并妥善保存，严禁涂改和自行销毁。资料的编录应符合档案管理的有关规定。应定期编制施工质量报告，报监理工程师及有关部门。

9.1.6 施工过程中出现的质量缺陷，应按照规定和设计要求进行处理。

9.1.7 施工过程中出现的质量事故，应按照国家、行业有关规定及时处理。

9.2 质量控制要点

9.2.1 坝基开挖与处理的重点是控制趾板的开挖，应减少爆破开挖对基岩的影响。

9.2.2 坝料开采应重点控制坝料性质、级配、含泥量等指标。上坝料应符合质量要求。爆破料在爆破料场进行级配试验时，取样位置应有代表性，取样量应满足技术要求。

9.2.3 坝体填筑应控制下列几个方面：

1 坝料填筑部位重点控制垫层料和过渡料的有效宽度，过渡料不应侵占垫层料位置，堆石料不应侵占过渡料位置。

2 填筑施工重点控制铺料厚度、碾压遍数、振动碾行进速度与激振力、加水量等施工参数，保证填筑压实质量。

1) 对于坝高 150m 以上的坝体填筑，宜建立实时监控系統，确保施工质量。

2) 对于坝高 150m 以上的砂砾石堆石面板坝，应按照 NB/T 35016 进行原型级配的相对密度试验，填筑施工的压实相对密度应按设计要求执行。

3 采用挤压边墙结构施工的重点是控制其混凝土的弹性模量、渗透系数、抗压强度等指标，混凝土超强率不应大于 20%。

9.2.4 混凝土面板施工应控制下列几个方面：

1 面板混凝土施工前，填筑体沉降应达到预沉降期及月沉降率的设计要求。

2 应控制混凝土原材料质量，保证各种原材料符合相关标准要求。当施工配合比确定后，不应改变水泥、外加剂、骨料等原材料的料源和品质。如需改变，应重新试验确定。

3 混凝土拌和宜选用固定强制式拌和系统，应严格控制称量和拌和时间。

4 混凝土拌和物应控制坍和易性、坍落度、含气量等指标，应根据技术要求，控制混凝土入仓温度。

5 混凝土浇筑应控制振捣质量和滑模上升速度，保证混凝土密实和表面平整。

6 混凝土养护应控制混凝土表面不间断湿润，并采取保温措施，养护时间不少于 90d。如有条件，蓄水前宜不间断养护。

9.2.5 面板分缝和周边缝应控制止水质量和填设质量，保证止水在混凝土中位置准确并浇筑牢固。控制缝间填料质量和填塞密实。

9.2.6 应建立接缝止水施工质量保证体系，实行采购、加工、制作、安装、防护、检测全过程的质量控制，并应满足附录 A.6 节的要求。

9.2.7 质量检查与验收结果及止水材料质量文件记录应及时汇

总、编录、分析，并妥善保管。

9.3 质量检验检测

9.3.1 未经检验和质量检验不合格的原材料不应在工程中使用，经检验不合格的原材料应及时运离施工现场。

9.3.2 上道工序检验不合格时，不得进入下一道工序施工，且不应漏检。

9.3.3 质量检验检测应按照附录 A 和 SL 677 及 SL 631～SL 633 的规定执行。

附录 A 质量检查的主要项目及技术要求

A.1 坝基与岸坡处理

A.1.1 坝基与岸坡处理质量检查项目和技术要求见表 A.1.1。

表 A.1.1 坝基与岸坡处理质量检查项目和技术要求

项 目	技 术 要 求
地质钻孔、探坑、竖井、平洞	处理符合要求，无遗漏
河床部位	1. 草皮、树根、乱石、坟墓及各种建筑物等全部开挖清除；水井、泉眼、窑洞等的处理符合设计要求； 2. 按设计要求清除砂卵石覆盖层，或完成砂砾石层处理； 3. 岩基处理符合设计要求
岸坡部位	1. 开挖坡度和表面清理符合设计要求； 2. 开挖坡面稳定，无松动岩块、危石及重石； 3. 凹坑、反坡已按设计要求处理； 4. 已按设计要求进行岸坡加固处理
趾板地基	1. 开挖断面尺寸、深度及底部标高符合设计要求，无欠挖； 2. 断层、裂隙、破碎带及软弱夹层已按设计要求处理； 3. 在浇筑混凝土范围内，渗水点露出处理，无积水、明流，岩面干燥； 4. 灌浆质量符合设计要求及有关规范

A.1.2 检查数量与方法应符合下列规定：

- 1 坝区地质钻孔、探坑、竖井、平洞应逐个进行检查。
- 2 岸坡开挖清理按 50~100m 方格网进行检查，必要时可局部加密。
- 3 坝基砂砾石层开挖清理按 50~100m 方格网进行检查，

在每个角点取样测定干密度和颗粒级配。对地质情况复杂的坝基，应加密布点。

4 岩石开挖的检测点数， 200m^2 及以内不少于 10 个， 200m^2 以上每增加 20m^2 增加一点，局部凸凹部位面积在 0.5m^2 以上者应增加检测点。

5 趾板地基及开挖边坡的处理应符合相关标准和设计要求。

A.2 料 场

A.2.1 料场质量控制应按设计要求进行，应包括下列内容：

1 在规定的料区范围开采，料场的草皮、树根、覆盖层等剥离层已清除干净。

2 坝料开采、加工方法符合要求。

3 坝料级配、含泥量、物理力学性质符合设计要求，不合格料不应上坝。

A.2.2 当利用枢纽建筑物中开挖的石料时，质量控制要求同 A.2.1 条。

A.2.3 储存料在使用前应按 A.2.1 条第 3 款进行质量检查。

A.3 坝体填筑

A.3.1 坝体填筑应符合下列要求：

1 各填筑部位的坝料质量符合设计要求。

2 压实机具规格、质量、振动频率、激振力、行进速度等符合要求。

3 垫层料坡面碾压与防护，应符合 5.4 节有关规定。

4 负温下施工，填筑面上的冰雪已清除干净，填筑面无冻结现象。

5 坝料压实质量，应采用碾压参数和干密度（孔隙率）等参数同时控制，并应加强施工过程及碾压参数的控制，以保证压实质量合格。

6 铺料厚度、碾压遍数、加水量等碾压参数应符合设计要

求，铺料厚度应每层测量，其误差不得超过层厚的 10%。

7 填筑面应保持平整。

A.3.2 坝料压实质量检测项目、取样次数及试验方法应符合下列规定：

1 坝料压实检测项目和取样次数见表 A.3.2。

表 A.3.2 坝料压实检测项目和取样次数

坝料	检测项目	取 样 次 数
坝体料	坝面	干密度、颗粒级配
	上游坝面	干密度、颗粒级配
	小区	干密度、颗粒级配
过渡料	干密度、颗粒级配	1 次/ (1000~5000m ³)
砂砾料	干密度、相对密度、颗粒级配	1 次/ (1000~5000m ³) 每层测点不小于 20 点
堆石料	干密度、孔隙率、颗粒级配	1 次/ (5000~50000m ³)

注：渗透系数按设计要求进行检测。

2 应按下列方法进行检查：

- 1) 垫层料、过渡料和堆石料压实干密度检测方法：宜采用挖坑灌水（砂）法，或辅以其其他成熟的方法。
- 2) 垫层料试坑直径不小于最大粒径的 4 倍，试坑深度为碾压层厚。
- 3) 过渡料试坑直径为最大粒径的 3~4 倍，试坑深度为碾压层厚。
- 4) 堆石料试坑直径为坝料最大粒径的 2~3 倍，试坑直径最大不超过 2m，试坑深度为碾压层厚。

A.3.3 试坑取样质量检查项目成果应符合设计要求。

A.3.4 按表 A.3.2 规定取样所测定的干密度，其平均值不小于设计值，标准差不宜大于 0.05g/cm³。当样本数小于 20 组时，应按合格率不小于 90%，不合格点的干密度不低于设计干密度

的 95% 控制。

A.3.5 施工过程中，应在坝面采取适当组数的各分区填筑料，进行试验室力学性质的复核试验。

A.4 挤压边墙

A.4.1 挤压边墙混凝土质量检测项目及技术要求见表 A.4.1。

表 A.4.1 挤压边墙混凝土质量检测项目及技术要求

项 目	质 量 要 求	检 测 方 法
原材料	混凝土原材料品种和质量应符合相关标准和设计要求	参照 DL/T 5128 执行
混凝土拌和物称量偏差	砂石偏称 ±2%，水泥、水、外加剂偏称 ±1%	称量检查
碾压边墙密度	符合配合比设计密度要求	蜡封法
抗压强度	单组强度不大于设计强度 2MPa，最小样本统计超提率不大于 20%	依据 DL/T 5297、DL/T 5422 试验
弹性模量	符合设计要求	依据 DL/T 5297、DL/T 5422 试验
渗透系数	符合设计要求	依据 DL/T 5297、DL/T 5422 试验
坡面平整度	2m 范围平整度要求 ±25mm	用 2m 水平尺检测

A.4.2 检测频次应符合下列规定：

- 1 混凝土原材料检测参照 DL/T 5297、DL/T 5128 的规定执行。
- 2 混凝土拌和物称量偏差每班不少于 3 次。
- 3 挤压边墙密度、抗压强度每 5~10 层取样 1 组。
- 4 弹性模量、渗透系数每 5000~10000m³ 取样 1 组。
- 5 坡面平整度每 50m 连续检测 10 处。

A.5 趾板和面板混凝土浇筑

A.5.1 面板滑动模板应符合下列技术要求：

- 1 滑动模板检查项目和技术要求见表 A.5.1-1。

表 A.5.1-1 滑动模板检查项目和技术要求

项 目	技 术 要 求
强度、刚度、稳定性	符合设计要求
模板表面	平整、光滑、无杂物

2 滑动模板检测项目和允许偏差见表 A.5.1-2。

表 A.5.1-2 滑动模板检测项目和允许偏差

项 目	允许偏差/mm
外形尺寸	±5
对角线相对差	±3
扭曲	4
表面局部不平度	每米范围内不超过±2
滚轮或轨道间距	±10
轨道中心线	±10
高程	±5
接头处轨道错位	2

3 检查数量。每块模板按上列项目进行检查，轨道至少每10m检查一次，每条轨道检查点数不少于8个。

A.5.2 面板混凝土浇筑应符合下列技术要求：

1 质量检查、检测内容和质量要求应符合下列规定：

1) 质量检查项目和要求见表 A.5.2-1。

表 A.5.2-1 面板混凝土浇筑质量检查项目和要求

项 目	质 量 要 求	检 查 方 法
平仓分层	厚度不大于300mm，铺设均匀，分层清楚，无骨料离析现象	量测与观察检查
混凝土振捣	振捣器应垂直点下插至下层50mm，有次序，无漏振	观察检查
浇筑间歇时间	符合要求，无初凝现象	观察检查
积水和泌水	无外部水流入仓内，仓内泌水应及时排除	观察检查

表 A.5.2-1 (续)

项 目	质 量 要 求	检 查 方 法
混凝土	无不合格料进仓或虽有不合格料进仓,但能彻底处理	试验与观察检查
混凝土养护	在规定时间内,混凝土表面一直保持湿润,无时干时湿现象;有适当的保湿措施	观察检查

2) 质量检测项目和技术要求见表 A.5.2-2。

表 A.5.2-2 面板混凝土浇筑质量检测项目及技术要求

项 目	技 术 要 求	检 测 方 法
表面平整度	表面基本平整,局部凹凸不超过 $\pm 20\text{mm}$	3m 直尺检查
麻面	无	观察检查
蜂窝孔洞	无	观察检查
露筋	无	观察检查
表面裂缝	宽度大于 0.2mm 以上的裂缝应处理	观察和量测检查
深层贯穿裂缝	无或已按要求处理	观察检查
抗压强度	符合设计要求	试验
匀质性	按 SL 377 执行	统计分析
抗冻性	符合设计要求	试验
抗渗性	符合设计要求	试验

2 面板、趾板混凝土的质量检查应以强度为主,并评定匀质性指标。混凝土强度、抗渗、抗冻检查龄期均为 28d。

3 检查数量。趾板每浇筑 1 块或每 $50\sim 100\text{m}^3$ 至少有 1 组抗压强度试件,抗冻、抗渗检验试件每 $200\sim 500\text{m}^3$ 成型 1 组。

面板浇筑,每班每仓取 1 组强度检验试件,抗渗检验试件每 $500\sim 1000\text{m}^3$ 成型 1 组,抗冻检验试件每 $1000\sim 3000\text{m}^3$ 成型 1 组,不足以上数量者,也应取 1 组试件。

A.6 止水

A.6.1 止水质量检查和要求按 DL/T 5115 的规定执行。

A.6.2 止水带加工成型、接头焊接后，不应有机械加工引起的裂纹、孔洞等损伤，以及漏焊、欠焊等缺陷。对有加工缺陷或焊接质量不符合要求的部位，应用红油漆标出，及时处理，并记录备查。混凝土浇筑前，应对止水带的安装质量进行专项检查，止水带应安装准确、牢固，其平段及立腿应清理干净，经验收合格后才能开仓浇筑。止水带制作、安装及连接质量应满足表 A.6.2-1 和表 A.6.2-2 的要求。

表 A.6.2-1 止水带制作及安装允许偏差

项 目		允许偏差/mm	
		钢止水带	PVC、橡胶止水带
制作(成型)偏差	宽度	±5	±5
	鼻子或立腿高度	±3	±5
	中心部分直径	—	±2
安装偏差	中心线与设计线偏差	±5	±10
	侧面平整倾斜偏差	±5	±10

表 A.6.2-2 止水带连接质量检查项目和技术要求

项 目	技 术 要 求
钢止水带	焊缝表面光滑，无孔洞、无裂缝、不渗水； 对接焊缝为双焊缝且焊缝； 连接焊缝，搭接长度不小于 20mm； 接缝处的抗拉强度不应小于母材抗拉强度的 70%
PVC、橡胶止水带	PVC 止水带连接焊缝内应无气泡、黏结牢固；橡胶止水带硫化连接应平整； 接缝处的抗拉强度不应小于母材抗拉强度的 60%

A.6.3 塑性填料嵌填完成后，应以 30~50cm 为一段，用模具检查其几何尺寸是否符合设计要求。塑性填料和防渗保护盖片的施

工质量应满足表 A.6.3 的要求。

表 A.6.3 塑性填料和防渗保护盖片的施工质量
检查项目和质量要求

项 目	质 量 要 求
接好的混凝土表面	表面必须平整、密实，不应有蜂窝、麻面、起皮、起砂和松动等缺陷
预留槽涂刷黏结剂	混凝土表面必须清洁、干燥，黏结剂涂刷均匀、平整，不应漏涂、露白，黏结剂必须与混凝土表面粘结紧密。黏结剂涂刷后，应防止灰尘、杂物污染，黏结剂与塑性填料的施工间隔时间，应按原材料生产厂家的要求控制，如黏结剂失效，应返工处理
塑性填料施工	填料应充满预留槽，填筑密实，并满足设计要求断面尺寸，边缘允许偏差±10mm，填料施工应按规定工艺进行
防渗保护盖片施工	防渗保护盖片与混凝土面应粘结紧密，不应脱开、翘起（或角翘）错压牢固，盖片与面板之间应密封

A.6.4 无黏性填料施工完成后，应检查保护罩规格尺寸及其安装的牢固程度等内容，并应满足表 A.6.4 的要求。

表 A.6.4 无黏性填料的质量检查项目和技术要求

项 目	技 术 要 求	允许偏差/mm
保护罩规格	材质、材料规格、外形尺寸符合设计要求	位置误差≤50
保护罩安装	膨胀螺栓的规格、间距符合设计要求，安装牢固并与混凝土接触面粘结密封。	螺栓孔距误差≤30
无黏性填料填筑	填料品种、粒径符合设计要求，填筑密实	螺栓孔深误差≤5

A.6.5 检查数量。止水设施每 100m 至少检查 1 个点。

标准用词说明

标准用词	严 格 程 度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

标准历次版本编写者信息

SL 49—94

本标准主持单位：水利部建设开发司

本标准主编单位：长江葛洲坝工程局施工科学研究所

辽宁省水利电力厅

本标准参编单位：南京水利科学研究所

新疆八一农学院

陕西省水利电力土木建筑勘测设计院

本标准主要起草人：阮以弘 韩正海 司洪洋 风家骥

李良福 洪重光 杨立杭 李志定

吴 哲

中华人民共和国水利行业标准

混凝土面板堆石坝施工规范

SL 49—2015

条文说明

<https://www.slzjxx.cn>
水利造价信息网

目 次

1	总则	45
2	导流与度汛	46
3	坝基与岸坡处理	54
4	筑坝材料	56
5	坝体填筑施工	60
6	面板与趾板施工	82
7	接缝止水施工	96
8	安全监测仪器建设与观测	102
9	质量控制	103

1 总 则

1.0.2 依照我国坝工通用分类标准，坝高应符合 SL 274—2001《碾压式土石坝设计规范》的规定。混凝土面板堆石坝按其高度分为高、中、低坝，现行规范中，高度在 30m 以下为低坝，30~70m 为中坝，70m 以上为高坝。坝高 100m 以上作为高坝的划分标准，有待相关规范修订时明确。

我国混凝土面板堆石坝工程建设量大面广，应用技术发展较快，高坝日益增多，截至 2013 年底已建、在建坝高 100m 以上的超过 50 座，其中 150m 以上的有 15 座，正在施工的最大坝高已达 250m。鉴于高堆石坝体和混凝土面板的变形、应力影响因素与地震地质背景的复杂性，以及砂砾石筑坝等多种材料应用，基础处理难度等，因此，规定 200m 级以上高坝及特别重要和复杂的工程要进行专题研究。

1.0.4 根据本标准及现行有关标准、合同及监理工程师签发的施工图纸和文件，施工单位应编制施工组织设计与施工技术措施，要明确技术要求、施工方法、安全事项、资源配置、环境处理等，下发施工人员执行。对提高质量、确保安全、节约开支等加强管理。

1.0.5 近 10 年，伴随我国混凝土面板堆石坝建设要求，施工技术得以高速发展，出现了许多新技术、新工艺、新材料、新设备的应用范例。本标准尽量反映经过工程实践检验和鉴定的成果，以推进混凝土面板堆石坝施工应用技术发展，注重施工工艺和加强施工细节质量控制是确保整体施工质量和大坝安全的关键。

2 导流与度汛

2.1 一般规定

2.1.1 导流建筑物等级划分、各期导流与度汛、坝体临时挡水度汛及导流建筑物封堵后坝体挡水的洪水标准等，在 SL 303 中都有详细的规定，对混凝土面板堆石坝的施工导流和度汛都是适用的。

2.1.4 面板堆石坝施工，在有保护的条件下，坝体临时断面可以过水度汛，可以减小导流建筑物规模，降低和均衡坝体填筑强度。过流坝面通常采用一定厚度的大块石、铅丝石笼、防护网填石铺筑防护，过流坝体下游边沿及坡面采用堆石料填筑时加钢筋、钢筋网或土工格栅（加筋堆石），表面采用钢筋石笼、钢筋铅丝石笼、混凝土等综合防护措施。

2.1.5 导流工程建设模式有两种方式，一种是由设计单位进行设计，施工单位施工；另一种是作为单项工程发包，仅规定导流及度汛标准、导流方式及施工分期，而对导流建筑物由承包的施工单位自行设计和施工。实施中可以按实际情况执行。

2.2 导流与度汛方式

2.2.1 根据工程建设实践，施工期导流、截流以及防洪度汛，与流域气象条件、雨雪及融冰、洪水关系密切相关，特别在中小流域及山区河流，区域强降雨时有发生，洪水历时短，具有突发性，虽然流量不大，但破坏力强；导流度汛方案确定后要保证按期完成，不能临时改变。施工中对流域气象、水文特点予以研究和重视，有些事故是可以避免的。如近年来个别工程发生的围堰决口事故等，封堵门事故等，曾对一些工程进行运行调度，适当控制下泄流量，明显降低了下游防汛抢险、工程截流等的难度，这种方式在流域梯级开发建设和防汛调度中采用较多。因此规定在研

究施工导流、截流与度汛时，除应充分研究坝址区水文、气象、地形、地质特点及施工条件外，还应研究坝址控制流域的水文、气象特点，流域梯级开发或调度对施工导流、截流与度汛的影响。

本条明确了混凝土面板堆石坝宜优先采用隧洞导流、一次断流的导流方式。仅在宽河谷情况下，考虑河床分期导流的方式，如新疆卡拉贝利水利枢纽工程混凝土面板砂砾石坝、西藏旁多水利枢纽沥青混凝土心墙坝等，但因实际使用较少，不作推荐。

为借鉴已有工程经验，将我国部分工程的导流度汛方式及导流标准列入表1中，供参考。

2.2.2 这是混凝土面板堆石坝最常用，也是最能体现这种坝型特点的导流度汛方式，是安全、可靠、经济、合理的方案。采用在截流后的第一个枯水期内将坝体填筑至度汛高程直接挡水的方案时，施工强度较高。根据经验，除采取枯水期挡水围堰、坝体临时迎面上游坡面保护直接挡水等措施，减少第一个枯水期的工作量以外，充分准备以争取更多的有效工期也是重要措施。根据工程进展、水文条件等，有条件时尽量提前、择机选择截流时间。为确保截流后立即进行高强度填筑，截流前做好一切施工准备，包括料场及料物准备、坝料运输道路、水上部分的开挖、一岸或两岸的围堰或截流戗堤预进占等，是十分重要的。

据统计资料，在狭窄河谷中建造的混凝土面板堆石坝，大多采用坝前围堰一次断流挡水、隧洞导流的方式。施工经验表明，正常条件下，可以在截流后一个枯水期内把堆石坝体填筑到标准限定的安全度汛高程，即重现期为50~100年的设计洪水高程。乌鲁瓦提、东津等工程都是成功实例。白溪工程截流后第一个汛期大坝设计挡水断面高度达72m，也是在一个枯水期内完成的。三板溪利用垫层料经保护后挡水度汛，实际挡水水头68m。

2.2.3 导流工程采用全年设计洪水标准以争取全年施工条件，在条件适宜时也可以采用。如巴西辛戈面板坝，导流标准为全年30年一遇，相应流量 $10500\text{m}^3/\text{s}$ ，用4条直径16m的隧洞导流及50m高的围堰挡全年洪水。中国黑泉面板坝结合施工道路布置

表 1 我国部分工程的导流度汛方式及导流标准表

序号	名称	坝高 /m	总库容 /亿 m ³	导流隧洞 /条-m×m	围堰(上游)		导流 工程 类别	施工期度汛标准(度汛期)/年			截流 时间	建成 年份
					堰型	高度 /m		初期导流	截流后 第一汛期	截流后 第二汛期		
1	尖门山	53.5	0.81	1-6.5×6.5 (挡水)	混凝土坝 (挡水)	7	4	20(枯期) 5(汛期)	坝高 8m (挡水)	50(挡水)	1986 年 3 月	1988
2	成屏一级	74.6	0.52	1-12×10 (挡水)	土石 (挡水)	10~12	5	20(枯期)	坝高 6m (未过水)	坝高约 25m 50(未过水)	1986 年 12 月	1989
3	西北口	93.0	2.10	1-3.8×13.2 (挡水)	土石 (挡水)	20	4	20(枯期)	坝高 31.5m (挡水 20m)	>100 (挡水)	1986 年 10 月	1990
4	林特桥	78.0	2.78	1-4-5.2 (挡水)	土石 (挡水)	23	4	20(枯期)	坝高 61m 100(挡水)	>300 (挡水)	1988 年 9 月	1990
5	小干沟	53.0	0.10	1-4×4 (挡水)	混凝土坝 (挡水)	5	5	—	处理坝基,修 挡墙(挡水)	50(挡水)	1988 年 9 月	1990
6	花山	86.8	0.60	1-5.5×6.5 (挡水)	混凝土 (挡水)	12.5	5	50(枯期)	50(挡水)	>100 (挡水)	1991 年 3 月	1994
7	月亮湾	93.8	2.28	1-3.4×11.6 (挡水)	土石 (挡水)	20	4	20(枯期)	坝高 8m (未过水)	50(挡水)	1991 年 12 月	1995
8	东滩	85.5	7.98	1-4=6 (挡水)	土石 (挡水)	16	4	20(枯期)	坝高 56.7m 100(挡水)	>200 (挡水)	1992 年 11 月	1995
9	莲花	71.8	41.80	2-12×14 (挡水)	土石 (挡水)	16	4	20(枯期) 10(汛期)	坝高 17m 30(过水)	300(挡水)	1994 年 10 月	1997

表 1 (续)

序号	桥名	坝高 /m	总库容 /亿 m ³	导流隧洞 /条 m×m	闸座(上游)		导流 工程 级别	施工导流标准(重现期)/年			截流后 第二汛期	截流 时间	建成 年份
					型式	高度 /m		初期导流	截流后 第一汛期	截流后 第二汛期			
10	大桥	91.0	8.58	1-4.5×7.56	土石 (挡水)	30	4	20(全年)	50(挡水)	100(挡水)	1993年 9月	1993	
11	白云	125.0	3.60	1-7.5×9.2	土石 (过水)	20.5	3	30(枯水) 20(过水)	坝前 3m (过水)	100(挡水)	1993年 11月	1993	
12	天生桥 一溪	178.0	102.80	2-13.5×13.5	土石 (挡水)	约 20	4	20(枯水) 10(汛期)	30(过水)	300(挡水)	1994年 12月	2000	
13	古洞口	121.0	1.38	1-8×12	土石 (挡水)	38.5	3	10(汛期)	坝高出 河床过面	坝前 100m (80m 挡水)	1995年 11月	1999	
14	黑溪	130.8	18.24	2-9×11 7×1.5	土石 (过水)	20	4	10(枯水)	20(过水)	100(挡水)	1997年 11月	2000	
15	紫坪铺	156.0	11.42	2-10.7×10.7	土石 (挡水)	47	4	50(全年)	100(挡水) 200(校核)	500(挡水) 1000(校核)	2001年 3月	2006	
16	淮震渡	179.5	44.47	2-14.8×13.4 12.8×11.6	土石 (挡水)	10	4	10(枯水)	100(挡水)	100(挡水)	2001年 10月	2005	
17	吉林台	157.0	25.20	1-8×10	土石 (挡水)	35	4	20(枯水)	100(挡水)	---	2002年 9月	2005	
18	公伯峡	132.2	6.20	1-12×15	土石 (挡水)	31	4	20(全年)	20 (拦漂净)	50	2002年 8月	2006	

表 1 (续)

序号	坝名	坝高 /m	总库容 /亿 m ³	导流隧洞 /条-m×m	围堰(上游)		导流 工程 级别	施工期防洪标准(重现期)/年			验收 时间	建成 年份
					类型	高度 /m		初期导流 第一汛期	截流后 第二汛期	截流后 第三汛期		
19	三板溪	185.5	37.46	1-16×18	土石 (初期挡水)	30	4	30(估算)	60(挡水)	200(挡水)	2003年 9月	2008
20	水布垭	233.0	43.23	2-14.85 ×15.72	土石 (挡水)	19	4	10(估算)	30(挡水)	200(挡水)	2002年 10月	2003
21	凤凰山	132.8	5.94	1-7.5×9.5	土石 (挡水)	18	4	10(估算)	20 (挡水)	50(挡水)	2003年 11月	2007
22	布西	135.8	2.52	1-4×6	土石 (挡水)	22	4	10(估算)	20 (挡水)	50(挡水)	2007年 3月	2011
23	红坪河	219.0	13.36	1-12×15	土石 (挡水)	35.4	4	20(六年)	2007年洪坡 垮江,2008 年垮流后垮 坑过水20 (全年)	2010年 20(挡水)	2008年 12月	在建
24	巴山	155.0	3.18	1-10×13	土石 (挡水)	32.9	4	10(估算)	30(挡水)	100(挡水)	2006.12 12月	2009
25	吉首	134.5	0.32	1-8×7	土石 (挡水)	28.3	4	10(全年)	10	30		在建
26	斯木桥斯	106.0	1.45	1-4×6	土石 (挡水)	44.3	4	10(全年)	10	30	2010年 9月	2012

使上游高闸堰达到 100 年一遇洪水标准。如紫坪铺,因趾板基础及其下游侧坝基处理需占用较长直线工期、一个枯水期内坝体不能填筑至度汛高程等原因,经技术经济比较后采用全年导流方案。又如新疆吉音水利枢纽和斯木塔斯水电站、四川西部山区木里县的布西水电站和卡基娃水电站,因导流工程规模较小,汛期停工推迟蓄水导致发电损失大、岸坡开挖出渣必须在河床进行等原因,经比较后也采用全年导流方案。但采用这种方案,需增加导流工程量和投资,需经过技术和经济论证后确定。

2.2.4 在宽河谷修建面板堆石坝,如岸边有在导流标准内的非行洪滩地或阶地,可以先行填筑部分坝体,利用原河床导流,截流后抢填河床段堆石坝体,利用一个枯水期将河床导流段坝体填筑至度汛高程。如主河道一侧或两侧的宽阔滩地或阶地较低,天然状态下,导流标准洪水时需部分滩地或阶地参与行洪度汛,也可以研究采用分期导流方式,先行填筑部分坝体。两岔河、莲花等面板坝就是在滩地或阶地上先行填筑的。但这种方式在面板坝施工中较为少见。

2.2.5 根据面板坝堆石体经适当保护后允许过流的特点,规定在一个枯水期不能达到挡水度汛高程时,可以采用低过水围堰及隧洞和堆石坝体共同过水的度汛方案,如天生桥一级水电站、莲花水电站、瓦屋山水电站等。天生桥一级水电站截流后第一个汛期上下游围堰保护后从原河床过水,第二个汛期堆石坝体留缺口经保护后与导流隧洞共同泄水,汛期曾多次过水,最大过水流量达 $4400\text{m}^3/\text{s}$ (度汛标准为全年 30 年一遇,相应流量 $10800\text{m}^3/\text{s}$)。汛期两岸堆石坝体继续施工。实践证明,坝面在没有保护的情况下过水,对大坝质量有较大影响,风险太大,未经专门论证不能采用。

2.2.6 由于砂砾石是可冲蚀材料,坝面过水时一旦发生冲蚀破坏,后果很严重,甚至可能溃坝,因此规定以砂砾石为主要填筑坝料的坝体不能采用过水度汛方案。在采用挡水度汛方案时,最好将面板在汛前浇好,但也可以在上游坡面保护后挡水度汛。如

阿瓜密尔巴坝，就是部分面板、部分坡面保护后挡水度汛的，并遇到大洪水考验，垫层挡水深度达 30m。

2.2.7 采用分期浇筑面板方案时，挡水高度可以超过已浇面板顶部，如重庆万州鱼背山水电站等。当发生此种情况，由于面板与垫层料变形性能不一致，需进行专题论证。可以采取封闭面板顶部与垫层之间缝隙、坝后预埋反渗排水管道、结合面板辅助防渗盖重区填筑进行下部反压等措施。无论采取何种措施，均要可靠。

2.3 导截流建筑物及施工

2.3.1~2.3.3 本标准 2.3.1~2.3.3 条是参照 DL/T 5129《碾压式土石坝施工规范》的规定，略加修改而制定的。

2.3.4 主要针对围堰型式规定的，而板桩石坝一般优先选用土石围堰，比较方便，且较经济。但对上游受地形限制，空间比较狭窄，围堰地基为岩基或覆盖层较浅，且围堰与坝体间距离较近时，选用混凝土围堰也有一定优点，因其底宽较小，有利于布置。而且上游土石围堰一般是不与坝体结合的，而重力式混凝土围堰则可能与坝体结合，用以代替河床段面板，作为高趾墙与混凝土面板连接。如小干沟面板坝采用了高混凝土挡墙方案、斯木塔斯面板坝采用高趾墙。委内瑞拉的雅肯布（Yacambu）面板堆石坝采用了 55m 高的混凝土趾墙方案。但是，要对高趾墙的稳定和变形及其对混凝土面板的影响作充分论证。对于下游围堰，可以使用混凝土挡水围堰与坝体结合，如水布垭工程下游碾压混凝土围堰即为坝体的一部分，这种方式也可以用于汛期坝面过水时对下游坡面的防护措施。在地质条件许可的情况下，也有个别工程在下游坝趾部位做堆石围堰；但抛石体孔隙率大、变形大，易影响大坝总体变形，需根据其规模、石料性质及可能的变形等进行分析，慎重选择。

2.3.5 深覆盖层地基上的土石围堰，堰基垂直防渗可以选用混凝土防渗墙、塑性混凝土防渗墙、高喷防渗墙、覆盖层可控性灌

浆、开挖截水墙等措施。上接的堰体防渗措施可以采用心墙或斜墙等，防渗材料可以选用复合土工膜、黏土、混凝土、沥青混凝土、风化石、碎石土等，或直接在堰顶做垂直防渗。如四川小井沟水利枢纽上游围堰在迎水面采用了复合土工膜上覆喷混凝土的防渗方式；福建水口水电站的土石围堰采用了垂直防渗处理地基，上接复合土工膜的防渗方式；三峡、葛洲坝、龚嘴、瀑布沟等工程，将围堰填筑到一定高程后，在堰顶修建防渗墙直达基岩，将堰体和地基防渗设施一次完成。如枯期洪水小，洪枯流量倍比很大的工程，当围堰不高时可以直接在设计堰顶高程修筑垂直防渗体，即堰基和堰体防渗一次完成。如西南丘陵区的一些中型水库工程，堰基覆盖层渗透系数较小，也可以取消堰基防渗，采用斜墙铺盖或心墙防渗方案。可以选择的堰基垂直防渗措施及堰体防渗措施的种类较多，因此规定尽量优先选用垂直防渗措施处理地基覆盖层，上接防渗心墙或斜墙等防渗方案。

2.3.6 过水围堰一般在上下游河岸顺直的条件下采用，成功实例较多，重要工程都有详细设计和水力学模型试验成果。对过流面采用混凝土面板或混凝土楔形板保护，有系统试验研究成果和众多实践经验，既经济，又有良好防护效果。如浙江温州珊溪及青田滩坑的过水围堰使用了混凝土面板保护，武都水库、天生桥一级水电站的过水围堰使用了混凝土楔形板防护。过水围堰下游坡脚可以采用钢筋石笼或混凝土保护措施，框格梁加筋堆石、防护网填石、预制混凝土块等措施也可以采用。

2.3.8 强调了导流建筑物封堵设计和施工的重要性，导流洞堵头是重要的永久建筑物，要根据设计要求，选定合适的封堵时间。施工单位需编制详细的施工组织设计，报请监理工程师审批后实施，确保安全。

3 坝基与岸坡处理

3.1 一般规定

3.1.2 防渗及排水系统包括下列几个方面:

(1) 排水水源一般包括地下水、围堰渗漏、裂隙水、表面径流、降雨以及有关施工作业弃水。尽可能采取截流措施,不冲刷岸坡和垫层。

(2) 施工单位要提出供明排、抽排所需要的有关设备和项目。水泵和有关设备要有足够的备用,保证抽排水和有关工作连续进行。

(3) 地表水不能在围堰或开挖区内积聚,所有地表水和地下水需予拦截并从场区排出。

(4) 冰冻气候条件下施工,排水系统要能正常动作。

3.1.3 本条旨在规定坝基与岸坡处理施工前及过程中要进行危险源辨识并采取措施,确保施工安全。

3.1.4 建议在截流前,将干扰坝体填筑的开挖工作提早安排。

3.2 地基与岸坡开挖

3.2.1 已建的一些高坝将坝基与岸坡开挖进行论证后采用分期分区施工。在特殊情况下,需先开挖岸坡下部或分期开挖时,需进行论证,采取措施,确保安全。

3.2.2 对于软弱砂岩、砾岩、页岩、风化岩等,有的遇水变软泥化,失水则崩解,开挖后要及时用喷水泥砂浆或喷湿凝土予以保护,或及时铺筑坝料覆盖,防止基岩因裸露而继续破坏。

3.2.3 对于梯段爆破或保护层爆破,都要求采取有效的控制爆破技术,将爆破振动影响控制在预期的范围之内,并最大限度地减少超挖和欠挖。保护层也包括对软弱破碎基岩预留的撬挖层(通常为200~300mm)。

3.3 坝基处理

3.3.3 岩基的固结和帷幕灌浆的施工，需遵循先固结灌浆而后帷幕灌浆的施工程序。在不影响趾板安全的前提下，适当提高灌浆压力，以与作用水头大小相适应。

3.3.4 为协调变形，趾板通过连接板与防渗墙进行连接，以构成由混凝土防渗墙—连接板—趾板—面板—防浪墙及它们之间接缝止水组成的大坝完整防渗体系（如多诺坝、那兰坝和九甸峡坝）。

3.4 特殊问题处理

3.4.1 本条对岸坡中存在的滑动面或软弱夹层开挖后应按设计要求进行处理，保证岸坡稳定。

3.4.2 本条旨在规定趾板地基遇到岩溶、洞穴、断层破碎带，软弱夹层和易冲刷而不良地质及勘探孔、洞等的处理需满足的基本要求。

3.4.3 本条旨在规定趾板地基渗水严重或存在集中涌水，其处理需满足的基本要求。

3.4.4 本条对坝体底部保留的砂砾石层处理做出规定。往往河床表层有大块石、漂石等，局部还可能有夹层，按设计要求处理并检测合格，有利于地基沉降稳定。已建的那兰、九甸峡、珊瑚和滩坑等工程都按此实施。

3.4.5 本条对岩坡趾板下游开挖范围及坡度做出规定，不应陡于面板坝上游坡度，有利于面板受力和变形，已建的天生桥一级、洪家渡、水布垭和滩坑等工程都按此实施。

3.4.6 本条强调对易风化岩层，开挖后要及时保护。已建的滩坑电站工程集块岩地基开挖后及时实施混凝土喷护。

4 筑坝材料

4.1 一般规定

4.1.2 本条强调施工单位进入现场后，要对设计提供的料源勘测资料进行详细研究。考虑可能采用的施工手段和运输方式，以便利施工和保证工程质量为目的，进行料场复查。尤其要对枢纽建筑物开挖料的数量和质量及其可利用程度进行复查。在料场复查中发现问题后，要及时报告。有必要新增料场时，要经过设计确认并经批准。如紫坪铺大坝，施工单位进场初期，发现坝址库区分布大量品质优良的砂砾石，可以满足主堆石区的要求，经技术研究，设计确定在堆石体中换用了近百万方砂砾石，节约了资金。

料场复查工作的主要内容包括：

- (1) 坝料的物理力学性能和压实性能。
- (2) 料源的分布、覆盖层或者剥离层厚度、可用料层厚度和坝料的有效储量；料层的地质变化及夹层的分布情况、弃料数量。
- (3) 料场的开采范围、占地面积、开采和运输条件、地下水位等情况。
- (4) 对于枢纽建筑物的开挖料，复查孔隙率、密度、级配等物理力学性能和压实性能、有效挖方的利用率、分布和运输、堆存、回采条件等。
- (5) 砂卵石料场应复查级配、天然干密度、大于等于 5mm 含量、含泥量、最大粒径、淤泥和细砂夹层、胶结层、水上水下可开采的厚度、范围以及水位变化对料场的影响。

取有代表性的坝料做最大最小干密度试验，确定坝料填筑压实质量控制标准。必要时做渗透、剪切、压缩等试验。

用有代表性级配的坝料做压实性能试验。

复查方法宜布置 50~100m 的方格网点，坑探法进行。

(6) 石料场应复查岩性、强风化层厚度、断层和节理、软弱夹层的分布等。必要时取有代表性的试样做物理力学性能试验。

4.2 料场规划

4.2.1 在提出料场复查报告的基础上，根据设计要求和施工总进度的安排，做好料场开采规划，做好挖填平衡。本条规定了料场规划的一般原则，强调了充分利用枢纽建筑物开挖料，提高直接上坝比例。我国近期施工的坝溪、天生桥一级、公伯峡、水布垭和三板溪等混凝土面板堆石坝，堆石坝筑都大量利用了枢纽建筑物的开挖料，积石峡大坝堆石坝筑几乎全部使用枢纽建筑物的开挖料，这是降低工程造价、保证工程进度的重要途径。由于环境方面的要求，且利用上游料源跨越趾板上坝已有成功经验，有条件时可以尽量使用上游料场。

在面板坝中充分利用近坝区软岩料和建筑物开挖料筑坝是节约工程造价的有效措施。十三陵抽水蓄能电站上库的库盆开挖中，有大量风化安山岩渣料，最小的饱和抗压强度仅为 11MPa，不符合原设计要求，如做弃料处理，则需另行开辟备用石料场。后经试验研究和分析论证，调整了坝体分区，下游边坡改为 1:1.7，扩大了使用风化安山岩料的区域，使坝体全部利用开挖料填筑，不再启用备用料场。天生桥一级坝轴线下游、下游水位以上部分也使用了大量开挖的薄层灰岩、泥岩、砂岩的混合料。公伯峡坝施工初期，枢纽工程开挖料弃料比例很大，后经坝体分区优化，枢纽工程开挖料中的强风化花岗岩、弱风化片岩得到最大限度的利用。在料场规划中，开挖料中的软岩利用值得注意，这对工期和造价都有很大影响。

4.3 坝料开采和加工

4.3.1 面板坝主堆石料通常由料场直接开采，为获得较好级配及较大开采强度，绝大部分工程采用了深孔梯段微差挤压爆破技

术，这是坝料爆破开采的基本方法。

洞室爆破的专题试验研究和一些工程的实践表明，在地形、地质及施工安全条件允许的情况下，采用洞室爆破也可以获得合格的坝料。洞室爆破要精心设计，以获得良好级配及较低的大块率，并且强调对超径石块需在料场进行处理后才能上坝。

爆破试验的目的，是为了确定粒径和级配符合设计要求、经济合理的坝料施工爆破设计和参数。爆破试验需在主要料场中选择有代表性的地段进行。对于中、低坝，也可以结合施工进行试验。爆破试验得出的参数，在施工开始阶段根据实际爆破效果进行修正后，才可以应用于大规模的爆破开采作业。

计算机模拟爆破试验方法已开始应用，洪家渡等工程进行了有益的探索和实践。

4.3.2 过渡料一般从石料场开辟专用开采工作面以爆破方法开采，也可以从枢纽建筑物，特别是地下工程的渣料中选用，但需专门的储存场地。无论哪种方法开采，都需满足设计规定的级配等要求。曾有过因垫层料、过渡层反滤作用差，工程接缝和面板漏水，导致细料流失，逐渐形成漏水通道，渗流量随时间而增加，只得放空水库进行处理的工程实例。

4.3.3 垫层料有多种制备方法，可以采用破碎、筛分和掺配工艺获得，也可以使用粗骨料掺入河砂或风化砂的方法。如锦屏一级坝采用粗骨料掺河砂，万安溪坝采用粗骨料掺花岗岩风化粗砂等，均获得满意效果。可以利用骨料生产系统的料仓和皮带机掺配，也可以采用在存料场地上按比例分层堆料，立面或斜面开采、掺拌的方法。

也有工程利用天然砂砾料筛选或加工的方法制备垫层料，如广州抽水蓄能电站上库采用天然砂砾料筛除超径颗粒后作垫层料，白溪工程采用超径卵石轧碎后与细骨料掺合的方法制备垫层料。

4.3.5 砂砾石料场大部分在河床附近，施工受河水和地下水影响较大，洪水季节要考虑防洪措施。寒冷地区，冬季冻深较大，

冻结后的砂砾石料使用机械开采难度较大，而且开采砂砾料含水量较高，不利于冬季施工压实。为保证冬季和雨季正常施工，砂砾石料要有足够的储存。

4.3.7 近年来，某些工程由于坝区复杂的地形和料场开采运输条件的限制，从料场和利用料堆存处采运已难以实现某一阶段（如一枯抢拦洪）的高强度需要，可以在近坝的合适地段安排足够的中转料场提前备料，同时就近考虑备用料场，如三板溪等工程。

4.3.8 环境保护工作贯穿于料场开采的全过程，要随时做好危岩处理、边坡修整、场地平整、防止水土流失等工作，即使在库内淹没线以下的料场，也要进行适当处理，以利于环境保护。

料场开采时，一般将剥离的表层腐殖土单独存放，待开采结束平整还田时，重新铺设在地表，为复耕创造有利条件。

5 坝体填筑施工

5.1 一般规定

5.1.1 坝体填筑前，原则上需完成坝基、两岸岸坡处理验收及相应部位的趾板浇筑。施工过程中，多种因素造成难以全部达到上述工程形象。为争取延长有效填筑工期，降低拦洪坝体的填筑强度，截流前可以在不影响行洪的两岸滩地和截流后在趾板开挖及浇筑趾板混凝土的同时，在趾板下游 30m 外可以进行部分坝体填筑，预留的距离要便于填筑碾压机械运行，避免施工干扰，并仍能保证垫层、过渡层与部分主堆石体平起填筑。

5.1.2 堆石坝的填筑与碾压是控制施工质量的关键工序，也是加快工程进度的重要环节。由于每一工程的规模、坝体设计要求、填筑填料的性质、施工的技术装备和技术水平等各不相同，填筑与压实的参数也有差别，因此，要求在堆石坝填筑开始之前，对坝料进行碾压试验。其目的在于根据工地具体条件，对设计提出的压实标准进行复核，选择合适的施工机械和确定合理的施工参数（铺料厚度、碾压遍数、加水量等），并提出完善的施工工艺和措施。

对于大型、重要或特殊情况（如高地震区等）的工程，都要求进行碾压试验；而对于中小型工程或坝不高情况，则可以根据压实机械、工程经验采用类比法选定压实参数，并于施工早期在坝的下游部位进行检验性试验。

坝料碾压试验时，可以结合将要采用的检测方法提出相关控制指标，以不断提高质量控制技术水平。例如 K30 K50 法、附加质量法、全质量法等质量检测方法。公伯峡、潘口、龙背湾大坝采用了 K30 K50 法。实际填筑施工时采用的检测方法与质量标准要与碾压试验所采用的相一致。

附加质量法（也可以称激振波测量法），是一种无损检测技

术,此技术运用激振波在不同压实干密度的介质中传播速度不同的原理,测试压实质量的方法。此方法在公伯峡、洪家渡、水布垭等工程中应用。在施测过程中若遇超径大块石或发射激振器和接受传感器不能很好与层面耦合接触,则影响检测结果;施工机械的振动也会对测量产生一定的影响。

全质量法(也可称压实变形检测法),对已摊铺的坝料进行振动压实一遍后,与事先经试验率定的数据对比,以检测压实质量的方法。此方法曾在洪家渡、泰安等工程中应用。

5.1.3 填筑压实参数确定后,施工中要严格控制并抽样检查。严格掌握压实参数来保证填筑质量,以减少施工干扰,提高施工效率。

5.1.4 坝体平起施工,有利于大坝均衡沉降变形。由于施工进度、度汛、料源供应等因素,难以实现全断面坝料均衡上升时,可以根据施工安排、形象进度要求、料场规划、机械设备状况,主堆石区、下游堆石区可以分期、分区填筑。坝内临时施工道路可布置在纵横坡面上。但垫层料、过渡料和一定宽度的主堆石料,其变形对面板坝运行工况影响较大,为此这部分填筑需强调平起施工。为方便施工,该部位填筑宽度尽量大于30m。按“先粗后细”的次序铺料,即先铺填主堆石料,再过渡料,然后是垫层料,每两层过渡料、垫层料与一层主堆石料齐平,用振动碾跨缝碾压密实。后一级料物铺筑之前,清除分离在界面上的大石块,以确保界面结合区的质量。公伯峡、街面等工程,采用过渡料—垫层料—主堆石—过渡料—垫层料的摊铺压实程序也是可行的。

5.1.5 坝体填筑质量首要因素在于料场能否提供合格的坝料。采用相应的钻爆工艺获得满足设计级配的坝料。本条强调在料场严格控制坝料质量,不合格料不得上坝。这是保证坝体填筑质量和顺利施工的行之有效的措施。对已运至坝面且又不满足堆石填筑标准的坝料,要清除出坝外。不满足主堆石区坝料要求,但如满足下游堆石区要求的料物,也可以运至下游堆石区填筑。少量

超径石，经处理后可以继续使用。

5.1.6 面板坝施工中，坝料填筑、趾板及面板浇筑、地基灌浆、流洪道施工等往往交叉作业，如安排不当，可能影响施工质量和产生不安全因素。因此，本条强调合理规划、统筹安排、突出关键项目，采取切实可行的措施，各工序有条不紊地衔接，确保施工安全和施工质量。

5.2 道路及运输

5.2.1 现代土石坝填筑施工中，自卸汽车运输占主导地位，坝料运输道路的标准对确保安全、保证工期、降低成本至关重要。要根据车辆吨级、行车密度和工程等级，以及地形特点等确定各级道路的标准，并按要求认真修建。场内道路布置要根据工程进展情况适时调整。施工现场的运输道路可参照表2、表3的相关要求，水利工程场内主要公路主要技术指标见表2，水利工程场内非主要公路技术标准见表3。

5.2.2 汽车运输的上坝道路，可以根据具体情况选用泥结碎石路面或混凝土路面。根据小浪底等工程的经验，对重型施工机械以泥结碎石路面较为适合，但需要加强养护，保持路面平整。紫坪铺、天生桥一级坝区干线道路、公伯峡坝部分干线及瓦屋山采用混凝土路面，也都取得满意效果。

料场位于坝上游时，修筑上、下游连通的运输道路。道路跨越坝体填筑区时结合坝后永久路，可以在坝下游侧坝体内修筑“之”字形临时运输道路。

5.2.3 在利用上游料场时，坝料运输将跨越趾板及垫层区，需有可靠措施避免趾板及垫层区受到破坏。如在趾板浇筑前跨越时，需在趾板地基面预留保护层，在浇筑趾板前清除。如在趾板浇筑后跨越，可以搭临时桥，或在趾板面上铺渣料保护，在停止使用后加以清理。在地形条件合适时，也可以用隧洞穿过趾板线后上坝。

有的工程，上游料场坝料需跨越较深趾板沟向坝体区运料。

例如架设简易、可移动式钢架桥，也可以搭建钢栈桥等，我国工程中有不少实践经验，如双沟、公伯峡、潘口等工程。

5.2.4 运输车辆吨位根据需完成的工程量及月填筑强度选用。如公伯峡坝，填筑量 476 万 m^3 ，以 20t 自卸汽车为主；天生桥一级大坝，填筑量约 1300 万 m^3 ，以 32t 自卸汽车为主。有的大型工程也采用了 45t、60t 自卸汽车。也有一些工程量较大、月填筑强度较高的坝选用偏小吨级的自卸汽车，如三板溪坝坝高 185.5m，填筑量 871 万 m^3 ，月填筑强度平均为 40 万 m^3 ，其运输主要车型为 20t 级。马来西亚巴贡坝，坝高 205m，填筑总量 1650 万 m^3 ，坝料运输也以 20t 级自卸汽车为主。

表 2 水利工程场内主要公路主要技术指标

项 目		等 级			说 明
道路等级		一	二	三	
年运量/万 t		>1200	250~1200	<250	
行车密度辆/单向小时		85~105	25~85	<25	
计算行车速度/(km/h)		40	30	20	
最大纵坡/%		8	9	10	在工程特别困难路段可增加 1%，三级公路个别路段可增加 2%，但在积雪严重及海拔 2000m 以上地区不得增加
最小平曲线半径/m		45	25	15	
不设超高的平曲线半径/m		≥250	≥150	≥100	
视距/m	停车	40	30	20	
	会车	80	60	40	
竖曲线最小半径/m	凸形	700	400	200	
	凹形	700	400	200	
路基设计洪水重现年		50	25	10	

表 2 (续)

项		目		等 级			说 明
双车 道路 路面宽 度 /m	车宽 分类 /m	一	2.5	7.5	7.0	6.5	1. 当实际车宽与计算车宽的差值大于10cm时, 要适当调整路面宽度; 2. 当采用车宽大于第五类时, 其路面宽度要与使用单位共同商定
		二	3.0	8.5	8.0	7.5	
		三	3.5	9.5	9.0	8.5	
		四	4.0	10.5	9.5	9.0	
		五	4.5	12.0	11.5	11.0	
		六	5.0	13.0	12.0	13.0	
单车 道路 路面宽 度 /m	车宽 分类 /m	一	2.5	4.0	4.0	3.5	车道需双向行车时, 要在适当距离内设置错车道
		二	3.0	5.0	4.5	4.0	
		三	3.5	5.5	5.0	4.5	
		四	4.0	6.0	5.5	5.0	
		五	4.5	6.5	6.0	5.5	
		六	5.0	8.0	7.5	7.0	
回头 曲线	计算行车速度 /(km/h)			25	20	15	1. 特别困难时一级、二级公路回头曲线各项指标可适当降低, 但分别不得低于二级、三级公路。无挂车运输时, 最小曲线半径可以采用12m; 2. 单车道路面加宽值, 要按表列数值折半; 3. 表中轴间距前基为7m, 8m, 8.5m的双车道路面加宽值, 系按表列最小曲线半径增加一个相应的计算车宽值后算得的, 但括号内的数值系仍按表列最小曲线半径算得
	平曲线最小半径 /m			20	15	15	
	超高横坡/%			6	6	6	
	双车 道路 路面加 宽值 /m	轴距 加前 基 /m	4	1.3	1.7	1.7	
			5	1.8	2.4	2.4	
			7	(2.5) /	(3.3) /	(3.3) /	
			8	2.0	2.5	2.5	
			8	2.5	3.0	3.0	
			8.5	2.7	3.3	3.3	
	最大纵坡/%			3.5	4.0	4.5	
	停车视距/m			25	20	15	
	会车视距/m			50	40	30	

表3 水利工程场内非主要公路技术标准

项 目	指 标	说 明
路面宽度 /m	双车道	6~12
	单车道	3~4.5
计算行车速度/(km/h)	15	
最大纵坡/%	6~10	特殊困难处(下基坑公路、料场公路等)最大纵坡可以增加1%~3%,车间引道可以增加3%
最小平 曲线半径 /m	行驶车辆汽车	9
	汽车带一辆拖车	12
	12~15t 平板拖车	15
	40~60t 平板拖车	18
视距/m	会车视距	30
	停车视距	15
	交叉路口停车视距	20
竖曲线 最小半径 /m	凸形	100
	凹形	100

注:本表适用于水电工程场内非主要公路,如下基坑公路、上坝施工公路、料场公路、各施工厂设点、生活区之间以及内部的道路等。

5.3 坝体填筑

5.3.3 堆石坝填筑时需加水碾压,目的是使块石表面浸水软化、润滑,降低抗压强度,减少颗粒间相对位移摩阻力、咬合力,在

激振力作用下,提高压实密度,减少坝体运行期沉降量。天然砂砾石的加水量以填筑方量的10%~20%为宜,爆破石料的加水量一般为10%~25%。为保证均匀加水及足够的加水量,要有一定的技术措施,如在重车上坝前向车厢内加水和在坝面洒水相结合等,仅在坝面人工拉皮管加水是难以达到要求的。加水效果与堆石母岩的岩性、风化程度、坝料级配有关。诸多堆石碾压试验证明,软化系数大的新鲜坚硬岩石,加水与否及加水量多少对其碾压效果影响甚微,此类岩石坝料的碾压,经对比试验论证,加水效果确实不明显时,也可以不加水。

5.3.4 面板堆石坝主要的设计原则是控制堆石坝体的变形,尽量使堆石坝料碾压密实,因为只有振捣压实才能保证堆石的高密度。为此,本条规定坝料必须采用振动碾碾压。

振动碾是堆石料、过渡料、垫层料压实的基本设备,用于碾压堆石的振动碾工作重量不能小于10t。由于高坝要求较高的压实密度,以减少坝体变形,因此要求用重型振动碾碾压。现在已有自重18t、25t的牵引式振动碾,以及总重26t、32t的自行式振动碾等可供选用。自行式振动碾的碾压效果主要取决于工作重量和激振力。碾压时各分段、分区碾压段需相互搭接,不得漏压。碾压方式有错距法和整碾错距法,错距法的错距宽度为碾具宽度除以碾压遍数。江苏溧阳抽水蓄能电站上坝采用了振动碾整碾碾压。

近10来年,有些坝高100m以上的高坝采用实时监控,对保证坝体压实效果较好。水布亚、黔中平寨和江苏溧阳抽水蓄能电站上坝坝体填筑采用GPS实时监控,利用卫星技术建立坝体填筑实时监控,对碾压遍数、行走轨迹和碾压范围实时检查,可供借鉴。

苗家坝坝料为变质凝灰岩,比重值为2.72~2.74,干密度为2.70~2.72g/cm³,干抗压强度为212~203MPa。而同类型大坝,如积石峡、公伯峡等大坝填筑所用的块石料抗压强度为70MPa左右。苗家坝坝料超硬岩石大坝填筑,碾压采用YZ32C

型 32t 自行式重型振动碾。

冲击碾为一种牵引式压实机械，靠多边形的非圆形碾轮，以 12~15km/h 的工作速度滚动行驶，对碾压面产生强劲冲击力而达到压实的目的。冲击碾产生一种低频高振幅的连续冲击作用，振幅可达 220mm，频率仅为 2Hz（一般振动碾的振幅为 2mm，频率为 23~30Hz）。

洪家渡面板坝工程经现场冲击碾试验后，在灰岩下游堆石区采用了冲击碾压施工工艺，和常规振动碾结合，碾压层厚 1.5m，压实干密度达到了相当于主堆石区的标准。

冲击碾行驶速度较快、回转半径较大，适合于施工场地较大的工程。因冲击碾冲击力强，碾压后表层石料易破碎，可以比较后选用，必要时进行试验确定。

5.3.5 各工程特点不同，堆石与岸坡、混凝土建筑物接触带的处理方式亦不同，设计通常会对接触带设置提出具体要求。如设计无明显要求时，可以沿接触带填筑 1.0~2.0m 宽的过渡区料。要求过渡带先期堆石料铺填，此前需对岸坡坡面的陡坎、凹坑等进行处理。采用自行式振动碾进行碾压有利于接触带处的结合。

边角部位是振动碾压实的薄弱处，近年来施工的高面板坝采用了安装在反铲上的液压平板振动器进行压实作业，效果良好。该平板振动器激振力通常为 100kN。

5.3.6 垫层料、过渡料、主堆石料，不同粒径与质量的颗粒，在卸料、铺筑、推平过程中，由于重力的作用，会产生不同程度的颗粒分离。垫层料除提供稳定和平整的坡面以利面板施工外，面板运行期间的渗流控制则是垫层料另一主要功能，要求其下游侧的过渡料具有良好的反滤性能。因此，本条强调垫层料、过渡料的最大粒径、级配、细粒含量、含泥量要满足设计要求。鉴于垫层料、过渡料的重要性，不允许在填筑过程中发生颗粒分离，为此一般采用进占法卸料，两者交界处大石块需予以处理。自卸汽车运输时位不宜超过 15t。采用反铲、装载机、铺料机等机械摊铺对防止分离是有利的。

5.3.7 周边缝下的特殊垫层区作为堆石坝填筑特殊分区，对保证面板坝关键部位周边缝的正常运行和减少漏水量至关重要，为此要求特殊垫层区具有良好的反滤功能和较高的变形模量。特殊垫层区填筑只能人工配合机械摊铺，采用振动冲击夯、液压平板振动器等小型压实机具施工。

5.3.8 本条规定，旨在保证碾压后的上游坡面满足设计要求。采用传统的削坡法施工，垫层料水平碾压一般采用自行式振动碾作业，为确保碾压质量，振动碾距上游边缘的距离一般不大于400mm，并留出相应的安全距离。

5.3.10 堆石接坡需优先采用台阶收坡法，有利接坡回填压实，本条强调按稳定边坡接坡时，需削坡至合格面。当填筑场地面积较大时，也可以采取二次接坡，上层的坡脚距下层边缘线一般不小于30m。

本次修订根据近年施工实践，明确了分期填筑高差的具体要求。实践证明，坝体分期填筑高差不宜过大，过大的高差将对面板坝的运行产生不利影响。公伯峡坝采取多种措施实现了坝体全断面均衡上升的平起施工。三板溪坝经反复论证后，采用分期填筑高差最大为45m。有些工程采用先行填筑部分下游区的施工方案，实践证明，有利于提高坝体抗变形能力。

5.3.12 我国已建堆石坝下游护坡大多数为人工砌石，劳动强度大、施工进度缓慢，护坡滞后坝体填筑，既不经济，施工时又不安全。本条强调随坝体填筑，护坡块石可以从坝料中选取，机械整坡，与坝体填筑平起施工。本次修订增加了按设计要求进行下游护坡施工内容。

5.3.13 回填料要与原填筑料质量相同，并采用薄层压实。

5.3.15 在宽河谷修建面板坝，可以从一岸或两岸预先填筑部分堆石坝体，以减少截流后抢筑挡水度汛坝体的工程量。根据近年来施工实践，先行填筑的堆石坝体上游坡角线距趾板线一般不小于该处0.3倍坝高，且一般不小于30m，主要考虑确保大型施工设备正常运行，同时有利于减弱分期填筑对坝体变形的影响。对

先行填筑的堆石坝体边坡的要求修订为不低于设计边坡更为合理。

5.3.16 本条是根据面板堆石坝工程实践经验提出的,提前填筑部分堆石坝体,是延长抢筑拦洪断面的有效工期、均衡填筑强度的有效措施。天生桥一级、东津、珊溪等工程都采用了这样的施工方法。东津坝距上游坡脚一定距离填筑坝体临时断面,4个月内填筑约70万 m^3 ,抢筑拦洪度汛断面高达66m,当年挡水深度38m,拦挡洪水约3亿 m^3 ,对防汛发挥了重要作用。

5.3.17 本次修订增加了坝体软岩填筑的内容,坝料加水量、振捣碾吨位及坝体沉降等,是目前软岩筑坝的研究课题,特别是高坝。如溧阳抽水蓄能电站下水库坝、龙背湾坝等。

5.3.18 本条明确了坝体填筑时的超高、坝体预沉降期及控制标准,面板混凝土需在坝体沉降趋于稳定后才可以浇筑。

由于坝体适应变形的超高填筑与大坝沉降收敛程度、结构设计与经验方法、防浪墙施工工期等有关,存在一定不确定性,通常是按设计要求填筑超高。对于中小工程也可根据现场具体情况按经验方法确定,如工程经验中有按坝高的1%减去施工期监测到的坝体最大沉降值考虑。如不影响初期蓄水安全,防浪墙施工尽量延后。超高填筑形式一般为坝体沉降变形最大部位为最高,顶面线形一般为中间高两边低的梯圆形,坝肩两端不加超高。

施工过程中,高坝面板浇筑前需采取预沉降措施,并尽可能实现上、下游全断面均衡上升。为减小坝体变形对混凝土面板应力的不利影响,面板浇筑时要保证上游堆石体有一定的预沉降时间以使堆石的变形基本稳定,通常高坝的预沉降时间为4~6个月,或以上游堆石区沉降标点的月沉降量小于3~5mm作为变形稳定的判别标准。堆石体填筑高程要与混凝土面板顶部高程保持一定的填筑超高,以避免面板与堆石体之间的脱空。

黔中平寨坝址为基本对称V形横河谷,坝顶高程1335.0m,最大坝高157.5m,宽高比2.2,坝顶长353m,上游坝坡1:1.4,下游平均坝坡为1:1.536,填筑方量530.0万 m^3 ,堆石体为中

硬灰岩,主堆石区采用 26t 振动碾(行车速度 2km/h),不小于 10cm 的错距,碾压不少于 8 遍,加水量为 15%,铺层厚度 80cm,现场干密度平均值 $2.21\text{g}/\text{cm}^3$,孔隙率 $n=17.5\%$ 。大坝填筑预沉降期按不少于 3 个月、面板顶部处坝体沉降速率 $3\sim 5\text{mm}/\text{月}$ 控制;工程实际一期面板(1244.0m 高程以下)9 个月测值为 $2.7\sim 4.8\text{mm}$,二期 I 序面板(1224.0~1303.0m)4 个月测值为 $3.0\sim 5.3\text{mm}$,二期 II 序面板(1303.0~1331.5m);7 个月测值为 $2.06\sim 4.04\text{mm}$ 。

洪家渡面板堆石坝最大坝高 179.5m,坝顶宽 11.00m,坝轴线长 427.79m;上、下游坝坡均为 $1:1.40$,坝体宽高比 2.49,坝体填筑方量 920 万 m^3 ,属狭窄河床面板堆石坝。灰岩料爆破开采主堆石区干密度 $2.181\text{g}/\text{cm}^3$,孔隙率 $n=20.02\%$,碾压遍数 8 遍,层厚 80cm,加水量 15%。面板分期采用预沉降时间和预沉降收敛两项量化指标控制;根据堆石体填筑和施工期监测测值统计,面板浇筑分三期浇筑:一期(1025m 高程以下)坝体预沉降时间 7 个月;二期(1025~1095m)预沉降时间 3 个月;三期(1095~1142.7m)预沉降时间 3 个月。要求每期面板施工前,面板下堆石体的沉降变形率已趋于收敛,而且月沉降变形值不大于 $2\sim 5\text{mm}$ 。

5.4 垫层料坡面碾压和防护

5.4.1 垫层坡面的防护,是在面板浇筑之前的临时措施。其主要作用在于防止雨水冲刷与施工期的挡水或过水渡汛,以及提供面板施工的工作基面。在多雨地区最经常的则是防止垫层坡面受雨水冲刷。垫层坡面,特别是邻接岸坡的部位,如不做相应防护或防护不及时,最易遭受暴雨径流的冲刷破坏。

垫层坡面碾压前,需对超填的坡面进行修整。在垫层料削坡法施工中,为保证垫层料碾压密实和碾压施工安全,垫层料向上游超宽填筑,超宽垫层料通常由人工或由反铲削坡,根桩常用削坡机械工作性能与坝体上游坡度,削坡控制范围以每次填筑 3.0

~4.5m 为宜。每填筑 10~15m 要进行坡面修整,并按设计边线在法线方向预留碾压余量 50~100mm。常采用测量控制、人工挂线的方法修整边坡。激光导向反铲挖掘机是理想的施工机具,有条件时宜予采用。

鉴于削坡法施工比较繁琐,削坡量大,施工干扰和安全防护问题比较突出,也可以采用距上游边坡线 400~500mm 范围内的垫层料,用液压平板振动器或小型振动碾等机具薄层(如 200mm 厚)压实,而水平超宽只预留斜坡碾压沉降量(法线方向高于设计线 50~100mm),基本上不用削坡,垫层料上升 20~30m 进行坡面修整及碾压,以加快施工进度。

5.4.2 垫层料坡面一般采用斜坡振动碾或液压平板振动器压实。用斜坡振动碾碾压时,一般先静压 2~4 遍,再振压 6~8 遍,振压时向上方向振动,向下方向不振,一上一下为 1 遍。有的工程经试验采用上下全振的施工方法,也取得成功,如十三陵、乌色瓦提、大场等工程。在激振力作用下垫层料是否沿坡滚落与其级配、坝面坡度、碾压机具性能及碾压方法有关。临近面板结合部位宜采用液压平板振动器并配合其他小型机具压实。本条强调斜坡碾压方式与遍数需经试验确定。

5.4.3 垫层区雨季遭水流冲刷破坏的情况在工程中屡见不鲜,因此,垫层区防护的主要目的是施工期防止暴雨和水流冲刷,临时挡水时起辅助防渗和防风浪淘刷作用,并为面板施工提供坚固、平整的工作基面,防止上游坡面的人为破坏。本条强调雨季施工要采取相应措施,及时做好垫层防护和岸坡排水,避免水流冲刷破坏。

5.4.4 垫层坡面压实合格后,需尽快进行坡面保护。使用砂浆固坡,可用人工摊铺砂浆,也可用滑模摊铺,滑模摊铺效果好于人工。有的工程如梁桥、弹子台等,在垫层上游削坡后,先用振动碾压 2~4 遍,铺砂浆后再压 4 遍,使砂浆与垫层坡面结合良好。

碾压砂浆与喷混凝土可以调整坡面不平整度,喷涂乳化沥青层由于厚度很薄,难以起到调整、修补坡面不平整度的效果。喷

混凝土施工强度高,混凝土表面比较粗糙,目前极少采用。

5.4.5 挤压式边墙施工法以其能够保证垫层料的压实质量和提高坡面的防护能力,以及施工简便等特点,是面板坝施工的一种新技术。自2002年黄河公伯峡面板坝采用这一技术以来,至今已有近百座坝采用了这项技术。挤压边墙的施工技术要求按照DL/T 5297—2013《混凝土面板堆石坝挤压边墙技术规范》执行。

与垫层削坡方法相比,挤压式边墙施工法具有下列优点:

- (1) 简化了施工工艺,施工进度得到提高。挤压式边墙与垫层料摊铺,基本可同步上升,总工期可以缩短。
- (2) 简化了施工设备,施工安全性有所提高。
- (3) 由于上游坡面的及时防护,提高了度汛的安全性。
- (4) 由于边墙的防护,面板施工的工期安排比较灵活,浇筑面板前的整体预沉降历时可相对延长。

挤压式边墙施工技术实践时间较短,对挤压墙混凝土有关参数,以及挤压墙整体对面板和大坝应力应变的影响,尤其对挤压墙如何适应高面板坝施工期变形的研究还在进行。边墙挤压机目前已为第4代产品,性能还在进一步完善。

为了防止挤压边墙对面板的约束,可以在挤压边墙上游面喷涂乳化沥青,其厚度宜2~3mm,采用两层喷涂效果较好。

挤压式边墙施工技术在我国应用以来,许多工程对边墙混凝土进行了大量的试验研究工作,积累了经验。部分工程挤压边墙混凝土配合比及测试结果如表4。也有的工程在边墙混凝土中掺加早强剂以实现混凝土快凝的要求。

近年来,在施工实践中,垫层料坡面保护新技术不断出现,比如,吉林双沟水电站高110m的混凝土面板堆石坝,上游坡面保护采用翻模固坡技术,使用锚固于垫层料中带楔形板的翻升模板,垫层料初碾后,拆出楔形板,灌注薄层砂浆,再进行终碾,实现垫层料填筑与固坡一次成形,完成后即具备度汛挡水条件。在新疆察汗乌苏面板坝(高110m)施工中使用的移动边墙固坡技术,将预制的混凝土移动边墙安置就位,排铺垫层料,碾压合

表 4 部分工程挤压边饰混凝土配合比及测试结果

工程名称	坝高 /m	混凝土配合比							测试结果			
		水 /kg	水泥 /kg	砂 /kg	骨料 /kg	掺合料 /kg	减水剂 /%	速凝剂 /%	抗压强度 R ₉₀ /MPa	密度 /(g/cm ³)	弹性模量 /MPa	渗透系数 /(cm/s)
公伯峡	132.2	105	80	651	1440	—	—	3.2	4.0 (3d)	2.18	8624	2×10 ⁻³
芭蕉湾	115	70	102	628	1332	—	—	2.1~3.5	5.0	2.14		4.4×10 ⁻³
西温木	146.5	100	85	570	1395	—	—	3.4	3.4 (3d)	2.20	6626	5.35×10 ⁻³
永布崖	233	91	70	—	—	2144	0.8	2.8	4.85	2.13	2120	7.7×10 ⁻³
耶兰	109	84.5	70	—	—	2115	0.7	2.8	3.5 (7d)		2716	3.4×10 ⁻³
街面	125	87	65	709	1116	20	—	—	<5.0		<7000	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴
寺坪		117	90	—	—	2160	—	4.3	<5.0	1.92	3000~5000	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴
高厘山	135.7	80	62	359	1293	2152	0.8	4.0	5.49	2.15	2255	4.5×10 ⁻³

注：水灰一般选用低强度等级粉煤灰混凝土。

注：水泥—般选用低强度等级的普硅硅酸盐水泥。

格后进行第二层边墙的安置和垫层料填筑；边墙只安置三层，第四层边墙则是拆除吊墩第一层墙体安设。随后采用反护铺以人工割除三角多余体基层料和进行坡面整理，坡面砂浆固坡视坝体上升速度办调施工。

5.5 反渗处理

5.5.1~5.5.6 面板堆石坝坝基清理和趾板开挖验收后，若河床部位坝段地基为上游低、下游高，或下游水位高于上游趾板基础高程时，则在堆石坝施工过程中，具备水流反向渗透的条件。施工期雨水、施工用水等向上游趾板基坑集中，也可以形成反向渗透水流。

估算坝后尾水，施工区流水及降雨等可能的来水量，在坝基布设反渗排水井及管道，封堵前量测流量并实时做好封堵，是一项重要的工程设施；天生桥一级、珊溪工程等实践经验可资借鉴。

如果反向渗透水流的上下游水位差超过垫层料允许比降将导致垫层料渗透破坏，使垫层料失去其控制渗流的功能。如西北口水库因上游基坑抽水形成 7m 的反向水头，使垫层料在 50m 范围内有集中泉眼 20 余处，局部崩塌 6 处，最深的达 0.5m，经挖除后重新按设计要求回填处理。

上游铺盖未回填之前，反向水压还可能抬动或压裂面板，为此，上游铺盖未填至一定高程时，不能出现超过垫层料渗透比降或足以抬动面板的反向水压。

天生桥一级水电站采用 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 钢筋笼反渗水压力井，经连通的钢管向上游自由排水，必要时结合井内抽排；洪家渡水电站采用直径 150mm 花钢管外包纱网，经设至ⅢB 料区自由排水，两者均取得了良好效果。吉林松山面板坝，坝高 80.8m，地处严寒地区，反渗排水在坝体最低部位埋设 $\phi 150\text{mm}$ 排水管 2 根，初期排水正常。2000 年入冬前一期面板施工完成并保温覆盖。翌年 5 月，清理保温材料时发现面板底部出现网状裂缝；面板与

趾板间出现错位，面板局部脱空，底部周边缝有水流涌出。分析认为，面板裂缝是坝体底部积水冻结产生的冻胀力所致。处理办法为：首先用水泥砂浆对脱空部位实施灌浆，先后在补强范围内重新浇筑趾板和面板混凝土，并另设止水系统。2001 年入冬前，面板施工完成，填筑铺盖土料前，封堵坝体排水管，封堵后 10 多小时，发现补强面板出现明显抬动现象，并有发展趋势。当即造孔放水减压，变形的面板逐渐复原，检查发现面板出现了裂缝，但未断裂，脱空采取了在补强面板上粘贴一层 GB 卷材的补救措施。吉林松山面板坝地处寒冷地区，如遇面板空库过冬，一旦发现排水管局部冻结，出水量减少，可以采取电液加热融冰方法，疏通排水管；入冬前完成上游铺盖土料的填筑，其厚度满足对坝体内积水的保温要求。吉林松山面板坝从 2002 年 3 月 20 日蓄水至今处于运行稳定状态。

国内部分混凝土面板堆石坝工程施工参数见表 5。

表 5 国内部分混凝土面板堆石坝工程施工参数

序号	坝名称	工程规模	填筑碾压施工参数	施工设备	施工进度	施工进度	施工进度
1	水布垱	坝高 233m 填筑量 1154 万 m ³	1. 分区厚度: ⅢA、ⅢAB 为 1.5m, ⅢB、ⅢC 为 2.0m; ⅢD 为 2.0m。 2. 先静压, 再振动碾压 3 遍。	1. 碾压设备: ⅢA、ⅢB 采用 25t 自行式, ⅢC、ⅢD 采用 25t 自行式, ⅢE 采用 25t 自行式。 2. 运输车辆: 32t、20t 自卸汽车。	平铺: 宽 12.8m; 支垫: 宽 8.5m; 边坡控制: 在 8% 以内。	2002 年元月底开始施工, 2003 年 10 月初填筑基本结束。其中, 2003 年 5—9 月期间因防汛要求, 未施工。	施工进度: 2003 年 4 月, 平均 39.2 万 m ³ /月; 2004 年 7 月, 平均 75 万 m ³ /月。
2	洪家	坝高 179.5m 填筑量 303 万 m ³	上坎堆石料采用 25t 自行式, 下坎堆石料采用 25t 自行式, 200m、18t 振动碾压 3 遍, 8 遍, 加水 15%~20%, 在 8% 以内。 初期填筑料厚 20cm, 18t 振动碾压 3 遍, 加水 15%。 后期填筑料厚 20cm, 18t 振动碾压 3 遍, 加水 15%。 垫层料、过渡料采用 25t 自行式, 200m、18t 振动碾压 3 遍, 加水 15%。 垫层料、过渡料采用 25t 自行式, 200m、18t 振动碾压 3 遍, 加水 15%。 垫层料、过渡料采用 25t 自行式, 200m、18t 振动碾压 3 遍, 加水 15%。 垫层料、过渡料采用 25t 自行式, 200m、18t 振动碾压 3 遍, 加水 15%。	1. 碾压设备: ⅢA、ⅢB 采用 25t 自行式, ⅢC、ⅢD 采用 25t 自行式。 2. 运输车辆: 32t、20t 自卸汽车。	平铺: 宽 12.8m; 支垫: 宽 8.5m; 边坡控制: 在 8% 以内。	2002 年 3 月开工, 2003 年 5 月底达到设计高程; 2003 年 4 月, 平均 39.2 万 m ³ /月; 2004 年 7 月, 平均 75 万 m ³ /月。	施工进度: 2003 年 4 月, 平均 39.2 万 m ³ /月; 2004 年 7 月, 平均 75 万 m ³ /月。

表 5 (续)

[illegible]

序号	工程名称	工程规模	填筑材料组成	施工设备	施工进度	竣工日期
6	乌色 瓦坭	坝高 123.3m 库容型 566.8万 m ³	主坎为卵石、二堆石及砂砾、次堆石为硬成石渣。采用后填法、铺料、砌上机平板，铺料厚 1m，垫层料（加水）、过筛料（加水）采用进占式铺料，油料厚 50cm，16~20t 推土机进建路带碾压区。以上、中、下层料均采用刮板运上下全段碾压。	三堆石区 32t、42t 自卸汽车；5.5m ³ 、8.5m ³ 斗车；下堆石区 18~20t 自卸汽车到 2.0~2.5m ³ 反铲，16~20t 推土机	坝体下游坡视“之”字形上坝公路，宽 10m，纵坡 7.5%	1995 年 8 月开工，1997 年 9 月试蓄，1998 年 3 月临时断面筑坝到仁化县汛前，5 月一期面板完成，1999 年 7 月二期面板完成，2000 年 4 月坝体浇筑到顶，6 月三期面板完成，10 月主坝原面板及副坝岸墙完工。
7	公伯峡	坝高 122.2m 其淤减 476.6 万 m ³	垫层料层厚 40cm，过渡料层厚 10cm，18t 牵引式振动碾碾压 6~8 遍，主堆石、下堆石层厚 80cm，18~20t 牵引式振动碾碾压 6~8 遍，骨料为适量西水，坝面共卒平运施工，垫层料采用新近式进口雷沃技术。	15~20t 自卸汽车 130 台；以 20t 为主，2 台 18t 自行式振捣器；4 台 18~20t 牵引式振动碾、装载机 14 台，每制 4 管 1~6.5m ³ ，合计斗容 46.7m ³ 。280HP、410HP 推土机 3 台，捞砂机 3 台，其中 2 台 CM-35、4 台 CMF-500。	下游坝体视“之”字形上坝道路，宽 10m，局部则设 15m 宽散体桥跨路面板结构满足行车洪浪涌。	2002 年 8 月 1 日开始填筑，2003 年 10 月 23 日填筑至设计溢流高程；2004 年 3 月 15 日开始冲淤疏浚，2004 年 5 月 3 日面板浇筑全部完成，2004 年 8 月 3 日本度开始蓄水。

来[案]

序号	工程名称	工程规模	填筑基座施工要求	施工进度	包工范围	施工进度	竣工日期
8	塘泥	填砂 120.3m ³ 填筑量 580 万 m ³	砂层料层厚 40cm, 加水 10%; 堤岸背坡厚 40cm, 加水 20%; 主堆石料层厚 30cm, 加水 15% ~21%; 砂砾石料层厚 40cm, 加水 10% ~15%; 下垫堆石料层 厚 120cm; 且不能于 1d 内式板 动原板层 8 处	1986 年 3 月开工填筑; 填筑、整体施工进度共 45 个月。	左右岸上坝段宽 9.0m, 下管涵段宽 3 延米 10.0m 上坝 公路	1986 年 3 月开工填筑; 在 1987 年 3—9 月 (新 浪前), 先充右岸填坝坝 坝前), 充左岸填坝坝前 30 万 m ³ , 其余 190 万 m ³ 在 坝基开挖过程中填筑	
9	白垩	填砂 124.4m ³ 填筑量 403 万 m ³	小区料层厚 20cm; 垫层料, 堤岸料层厚 40cm, 上游非石料、 砂砾料及下游水下垫层料层厚 30cm; 下垫堆石料层厚 120cm; 碾压 5~8 遍	1996 年 11 月开始填筑; 填筑、整体施工进度共 45 个月。	右岸 3 条上坝 路, 坝后 4 条上坝 路, 坝内设置多条 临时道路	1996 年 11 月开始填筑; 填筑、整体施工进度共 45 个月。	
10	市官	填高 121m 填筑量 188 万 m ³	主坝堆石区用 2# 级渣土填筑; 副坝堆石区用 1# 级渣土填筑; 副坝堆石区用 1# 级渣土填筑; 副坝堆石区用 1# 级渣土填筑; 副坝堆石区用 1# 级渣土填筑;	1996 年 11 月开始填筑; 填筑、整体施工进度共 45 个月。	左右岸上坝段宽 9.0m, 下管涵段宽 3 延米 10.0m 上坝 公路	1996 年 11 月开始填筑; 填筑、整体施工进度共 45 个月。	

5 級 (準)

序号	工程名称	工程规模	拟新建碾压土参数	施工设备	施工进度	施工进度	施工时间
11	清江	坝高 116m 填筑量 255.5 万 m ³	垫层料层厚 40cm, 20t 自行式振动碾碾压 8 遍, 过渡料层厚 40cm, 主堆石、下部堆石层厚 80cm, 20t 自行式振动碾碾压 8 遍, 坝面垫层料采用碾压技术	1 台 20t 自行式振动碾, 1 台 20t 打式振实碾, 1 台 20m ³ 正反转挖运机 3 台, 320HP 推土机 2 台, 220HP 推土机 1 台, CMA-8 型槽孔钻 5 台	主干道路面宽度为 9m, 碎石路面	2009 年 11 月 21 日开始填筑体筑就, 2010 年 11 月坝体初建完成, 2011 年 3 月 7 日完成一期, 二期坝体筑成浇筑。2011 年 9 月下旬蓄水	
12	清江	坝高 111m 填筑量 375.5 万 m ³	垫层料、过渡料层厚 40cm, 20t 自行式振动碾碾压 8 遍, 主堆石、过渡料层厚 80cm, 25t 自行式振动碾碾压 10 遍, 坝面垫层料采用碾压技术	2 台 20t 自行式振动碾, 1 台 20t 打式振实碾, 1 台 20m ³ 正反转挖运机 3 台, 320HP 推土机 2 台, 220HP 推土机 1 台, CMA-8 型槽孔钻 5 台	主干道路面宽度为 7.5m/6.0m, 碎石路面	2009 年 3 月 11 日开始填筑体筑就, 2010 年 9 月 11 月, 主行面板浇筑上建上; 2010 年 12 月 31 日下闸蓄水	

表 5 (续)

序号	工程名称	填筑碾压参数	施工设备	施工进度	施工进度	完工时段
13	第三期高坡筑堤	大坝坝址至平坝筑工作段后，采用低强度材料。在平料和整平后，用20t自行式振动碾或振动块上静压，推填和压实方向进行碾压，碾压时振幅应平行于碾压面，控制在20cm内，频率为50Hz，振幅力不大于390kN，碾压遍数8遍。	自卸汽车 20t60辆，DD115 台；履带碾 20t3台，DD11 台；履带碾 10t1台；PC-403 型1台；装载机 K83 型1台；推土机 TY-320B型3台；TC-14B、D45各2台	主河道上下游宽度为7m，路基宽度为13.7m，次边线宽度为7.5m，堤顶宽度为9m，堤基宽度为9m。	2003年11月18日截流，2005年2月底会战结束。一期围堤，8天完成填筑。至防浪墙前高宽：2005年12月1日完成，12月23日首台机组发电，2005年2月4日蓄水至正常水位。	
14	第四期高坡筑堤	造桥、设资料桩长厚40cm，主堆石封补料层厚60cm，改堆石封补料层厚100cm，改堆石封补料层厚120cm。	32t自卸汽车，10t振动碾；振冲器以人工之助，推土机牵引10t板桩。		1997年2月开始填筑，1998年5月填筑结束。	
15	第五期高坡筑堤	造桥、设资料桩长厚40cm，主堆石封补料层厚60cm，改堆石封补料层厚120cm，续修8道。	振冲器，行式板桩，振冲器以人工之助，推土机牵引10t板桩。		1997年12月20日开始填筑，1998年2月完成临时观测测体填筑，1998年12月1日完成永久一期填筑，1999年2月完成二期填筑。	

6 面板与趾板施工

6.1 一般规定

6.1.1 鉴于面板与趾板处于外部水位变化区，经常受水流冲刷，在寒冷地区尚有抗冻要求，因此优先选用硅酸盐水泥，且要求其强度等级不低于 42.5MPa。

中国水利水电科学研究院曾对西北口面板坝工程采用不同品种水泥进行混凝土性能试验，结果表明，水泥品种对面板混凝土和易性有较大影响，采用保水性好、泌水量少的水泥，其混凝土和易性好，且易于输送。试验认为，硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，最适宜于浇筑面板混凝土；矿渣水泥保水性差，泌水量大，其混凝土和易性也差。为此，本条规定，对其他品种水泥，需经试验论证及批准后方可使用。

水泥强度等级对混凝土干缩、抗拉强度、极限拉伸值有较大影响。根据某工程面板混凝土试验研究结果，在不掺外加剂，水灰比和砂率相同的条件下，水泥强度等级 32.5 的混凝土与水泥强度等级 42.5 的混凝土相比，干缩率大 20.7%，劈拉强度小 12.3%，极限拉伸值约小 3.4%。因此，采用 42.5 强度等级水泥对面板抗裂有利。

6.1.2 混凝土原材料使用前按有关标准进行检验复核，是保证质量的重要措施。

6.1.3 砂石骨料质量对混凝土质量有直接影响，尤其是粗细骨料中的含泥量对混凝土耐久性影响较大，而且使混凝土收缩加大，易于发生裂缝，故应严格控制。SL 677《水工混凝土施工规范》中规定，粗骨料 D20、D40 粒径级的含泥量应不大于 1%，不小于 C₄₀ 30 和有抗冻要求的混凝土天然砂中含泥量应不大于 3%。砂中的含泥量指小于 0.08mm 颗粒的总量。由于面板和趾板混凝土的特殊性，根据经验，一般采用较高的标准。

6.1.4 混凝土面板板块长且薄，长期暴露于大气或水中，采用溜槽等输送方式及滑模浇筑工艺，既要满足设计各项性能指标，又要满足施工工艺要求，因此，规定配合比要通过设计和试验确定。由于目前工程上常用抗冻性作为耐久性的间接指标，故在没有抗冻要求的温和地区，也要求混凝土有 F50~F100 的抗冻指标；保证混凝土具有良好的和易性，满足滑模浇筑、溜槽输送以及振捣密实等要求。

根据工程经验，本条提出配合比设计的 4 点规定。部分面板混凝土的材料、设计性能及配合比参数分别列于表 6 和表 7 中，供参考。

1 根据试验研究和工程经验，掺引气剂可以显著提高混凝土抗渗、抗冻等耐久性能，改善混凝土的和易性，因此面板混凝土基本都掺用。含气量一般在 4%~5%，对抗冻要求高的严寒地区取大值，温和地区取小值。

掺用减水剂有利于改善混凝土和易性、减少混凝土用水量和水泥用量、提高混凝土强度等性能。减水剂的品种较多，尽量选择非引气型的高效减水剂，提高减水效果，并保证混凝土中的含气量均为引气剂引发的细小气泡，需根据具体情况试验确定。

缓凝剂，能根据不同气候条件的施工需要调节混凝土的凝结时间，可以根据施工需要选用。

由于各工程原材料性能、气候条件等千差万别，外加剂如使用不当也会产生负面影响，因此，本标准强调，外加剂的品种、掺量需通过试验确定。试验时，尤其要注意各种外加剂与水泥之间的相容性。为确保混凝土性能稳定，经批外加剂进场后都必须进行试验。

2 面板混凝土中掺用一定量的粉煤灰或其他掺合料，在许多面板坝工程中都有应用，见表 8。粉煤灰代替一部分砂可以改善混凝土的和易性，粉煤灰代替一部分水泥对降低水泥用量、改善混凝土热学性能和变形性能、减少混凝土收缩等有良好效果，掺加粉煤灰还有抑制骨料碱活性的作用，因此，本标准推荐采用。

表 6 国内部分面板堆坝混凝土的原材料

工程名称	坝高 /m	建成 年份	水泥品种 及强度等级	砂料种类及 细度模数	石料种类及 小中石比例	外加剂品种	掺合料及掺量
关门山	58.5	1988	42.5 大坝水泥	人工砂 2.84	55 : 45	松香热聚物, 木钙减水剂	石粉代砂 20%
成屏一级	74.6	1989	42.5 普通 硅酸盐水泥	人工砂 2.50	45 : 55 40 : 60	塑化减水剂	粉煤灰代水泥 34kg/m ³
西北口	95.0	1990	32.5 普通水泥	河砂 2.2~2.4	卵石 80 : 40	DL19 引气剂, 木钙减水剂	
林智桥	78.0	1990	32.5 普通 硅酸盐水泥	河砂 3.22	卵石 50 : 50	DL19 引气剂	
龙溪	58.9	1990	32.5 普通水泥		55 : 45	未掺	
小干沟	55.0	1990	42.5 普通 硅酸盐水泥	天然砂 2.6~3.8	卵石 40 : 40, 50 : 50	引气剂, 减乳剂, UNF 减水剂	塑粉 5%
广州抽水蓄能 电站上库	68.0	1992	42.5 普通 硅酸盐水泥 掺 14% 矿渣	天然砂 2.4~3.0	人工碎石 45 : 55	TDH9 引气剂, DFN 减水剂	粉煤灰代砂 18kg/m ³
花山	80.6	1993	42.5 普通 硅酸盐水泥	天然砂 3.35	45 : 55	广村六钙	粉煤灰代砂 30kg/m ³

表 6 (续)

工程名称	坝高 /m	建成 年份	水泥品种 及强度等级	砂料种类及 细度模数	石料种类及 小中石比例	外加剂品种	掺合料及掺量
十三陵抽水蓄 能电站上库	75.0	1994	42.5 普通 硅酸盐水泥	天然砂 3.1~3.6	卵石碎石 50 : 50	MPAE 引气剂, TMS 减水剂	
万安溪	93.3	1995	32.5 普通 硅酸盐水泥	月砂 3.4~3.6 人工砂 2.8~3.2	人工碎石 30 : 50	DH9、FE、木钙 三复合外加剂	粉煤灰 74.09kg/m ³
东坪	98.5	1995	42.5 普通 硅酸盐水泥	2.66	55 : 45	DH9 引气剂	
查龙	30.2	1995	42.5 普通 硅酸盐水泥	2.31	50 : 50	DH9 引气剂, FP 减水剂	
天生桥-级	176.0	2000	42.5 普通 硅酸盐水泥	人工砂 2.6~3.1	人工碎石 55 : 45	AE 引气剂、减水剂	粉煤灰 63kg/m ³
马鲁比提	138.0	2000	42.5 普通 硅酸盐水泥	人工砂 2.6~3.0	卵石碎石 50 : 50	引气剂、减水剂, PMC 微膨胀剂	粉煤灰
墨花	71.8	1998	42.5 普通 硅酸盐水泥		40 : 40	FE 引气剂、减水剂	
浪家渡	149.5	2005	42.5 普通 硅酸盐水泥	人工砂 2.6~3.0	人工碎石 50 : 50	UFV-2C AE 减水剂、引气剂	氧化铁 1.2kg/m ³ , 粉煤灰 98kg/m ³
水车堰	235.0	2010	42.5 普通 硅酸盐水泥	人工砂 2.4~2.8	人工碎石 55 : 45	SR3 减水剂, AIR 引气剂	聚丙烯纤维 0.9kg/m ³ , 粉煤灰 20kg/m ³

表 6 (续)

工程名称	筑高 /m	建成 年份	水泥品种 及强度等级	砂的种类及 细度模数	石料种类及 小中大比例	外加剂品种	掺合料及掺量
鱼塘	106.0	2001	42.5 普硅 硅酸盐水泥			SR3 减水剂	
坝顶	132.5	2001	42.5 普硅 硅酸盐水泥	河砂 2.4	卵石碎石 55 : 45	VF 防裂剂, BL.Y 引 气剂, NMR 减水剂	粉煤灰 51kg/m ³
港口湾	68.0	2000	42.5 普硅 硅酸盐水泥	河砂 2.9	卵石碎石 50 : 50	VF 防裂剂, BL.Y 引 气剂, NMR 减水剂	粉煤灰 61kg/m ³
白夹坑	101.3	2003	42.5 普硅 硅酸盐水泥	河砂 2.30	卵石碎石 60 : 40	VF 防裂剂, BL.Y 引 气剂, NMR 减水剂	粉煤灰 60kg/m ³
盘石头	102.2	2005	42.5 普硅 硅酸盐水泥	人工砂 2.85	人工碎石 51 : 49	VF 防裂剂, BL.Y 引 气剂, NMR 减水剂	粉煤灰 53kg/m ³
铜柏下岸	71.4	2005	42.5 普硅 硅酸盐水泥	人工砂 3.18	人工碎石 60 : 40	VF 防裂剂, BL.Y 引 气剂, NMR 减水剂	粉煤灰 48kg/m ³
街面	126.0	2006	42.5 普硅 硅酸盐水泥	河砂 2.54	人工碎石 65 : 35	VF 防裂剂, DH9 引 气剂, NMR 减水剂	粉煤灰 52kg/m ³
古绿台	132.0	2005	42.5 普硅 硅酸盐水泥	河砂 2.50	河卵石 50 : 50	DHS 引气剂, KDNDF-1 减水剂	粉煤灰 41.3kg/m ³

注: 小中石比例是指 5~20mm 粒径与 20~40mm 粒径比例。

表 7 围内部分面板混凝土的设计性能及配合比参数

工程名称	强度等级	抗渗等级	抗冻等级	厚度/mm	水胶比	用水量/(kg/m ³)	水泥用量/(kg/m ³)	砂率/%	含气量/%
美门山	C25	W8	F250	30~50	0.50	123	243	35	
威正线	C20	W8		30~30	0.55	180	294	27.3	
西北口	C20	W8		50~80	0.42	149	310	40	2~5
株网桥	C20	W8	F50	30~70	0.50	158	310	38	4~5
龙溪	C20	W8		30~70	0.53	164	300	38	
小干岩	C20	W8	F250	60~80	0.40	150	375	32	0
广州抽水蓄能电站上库	C20	W8		30~50	0.50	150	300	31	4~6
花山	C25	W8	F100	40~70	0.45	145	322	40	4~5
十三陵抽水蓄能电站上库	C25	W8	F300	50~70	0.44	141	320	38	5~5.5
万安溪	C25	W8		40~80	0.39	141	324	39	4~5
					0.40	152	340	40	
						152	340	40	
东坪	C25	W8		40~60	0.42	155	350	36	
益塘	C25	W8	F350	50~80	0.35	134	383	25	

表 7 (续)

工程名称	强度等级	抗渗等级	抗冻等级	坍落度/mm	水胶比	用水量/(kg/m ³)	水泥用量/(kg/m ³)	砂率/%	含气量/%
天生桥一桥	C25	W12	F100	50~70	0.48	144	240	40	4
乌鲁木齐	C25	W12	F250	40~70	0.37	133	300	36	4~6
金花	C30	W8	F300	50	0.533	130	340	40	4
刘家峡	C30	W10	F100	50~70	0.45	148	263+68	39	4~5
水布垭	C35	W12	F100	50~70	0.38	132	278 69	39	4~6
耶兰	C28	W12	F180	50~70	0.47	140	258~60		4
塘溪	C25	S12	F160	30~50	0.333	124	227	35	4.3
潘口桥	C25	W10	F190	30~50	0.355	125	238	37	4.05
白水坑	C30	W12	F150	40~60	0.34	137	303	32	5.0
盘安头	C25	W12	F200	50~70	0.41	144	263	37	4.6
桐柏下库	C25	W10	F120	60~90	0.42	135	241	40	5.8
御面	C25	W10	F100	50~70	0.36	125	260	35	4.8
吉林台	C30	W12	F300	50~70	0.48	126	310	34	4.6

粉煤灰质量要符合有关标准规定。有些工程在面板混凝土中还掺用了石粉、硅粉等,可以根据原材料情况及具体需要通过试验选用。

3 水胶比是决定混凝土强度、抗渗性、抗冻性和耐久性等基本参数。大多数面板混凝土水胶比在 0.5 以下。严寒地区抗冻等级要求高,水胶比一般小于 0.45,如西藏查龙面板混凝土水胶比为 0.35,莲花面板混凝土水胶比为 0.338。降低混凝土中的用水量可以有效地减少混凝土的收缩和渗透性,提高耐久性。根据面板混凝土施工经验,尽量减少用水量。

4 混凝土和易性是决定混凝土拌合物施工性能的重要指标,坍落度是和易性的指标之一。采用溜槽输送入仓时,入口处坍落度一般控制在 30~70mm。

部分工程在面板混凝土中掺入聚丙烯纤维,以提高混凝土的抗裂性能,如水布亚水电站等。也有在面板混凝土中掺加增密防裂剂、微膨胀剂,防止或减少裂缝,取得一定效果,但仅有少数个案。拟在面板混凝土中掺加微膨胀材料,要针对具体工程进行专门防裂设计或专题论证。

6.1.5 混凝土搅拌机有强制式和自落式。由于面板混凝土有引气要求,拌和程序和时间以保证拌和均匀、充分引气为原则。拌和时间按 SL 877 的规定执行,为保证充分引气,拌和时间可以适当延长。

含气量对混凝土性能影响较大,故在混凝土浇筑时,要在机口取样随时监测其含气量值,并据此随时调整施工配合比。

6.1.6 面板和趾板混凝土对和易性的要求较高。为避免运输过程中混凝土坍落度损失等不利影响,根据施工条件优先选用搅拌车运输,尽量采用聚羧酸高性能减水剂,减水率达 25%~40%,掺量低,流动性好,净浆流动度不小于 280mm,坍落度损失小。对掺入聚丙烯纤维的混凝土,一般采用自卸运输车。有些工程搅拌设备布置在工作面附近,混凝土运输距离较近,也可以用其他运输手段。如黄河积石峡面板浇筑施工时,混凝土拌和站在

坝顶,小型四轮翻斗车运输,运距300m以内,混凝土掺加聚羧酸高性能减水剂、引气剂和增密防裂剂,出机坝落度控制在3~4cm,施工性能和效果良好,较大幅度减少了混凝土面板裂缝。

6.1.7 实践经验表明,溜槽是在斜坡面上输送混凝土拌和物的较为合适的工具。溜槽数量需与面板宽度相适应,以保证混凝土输送能力,减少出口端溜槽摆动的幅度,溜槽摆动幅度大,容易脱节,混凝土拌和物运送过程容易溢出和撒落。根据工程实践,宽度小于8m时,可以用1条溜槽;宽度为8~12m时,可用2条溜槽;宽度为12m以上时,可以用3条溜槽。面板施工时,也可以采用1条溜槽集中送料、布料机布料的方式,对于提高布料的均匀性、加快布料速度等有较好效果。有的工程成功地使用了与面板等宽的底部送料台车输送混凝土,也可以参考。

对于超长面板,宜采用真空溜槽、储料斗等输送形式,并改进布料工艺,以确保混凝土不分离。此次修订强调采取有效措施防止骨料分离。

6.1.8 面板与趾板混凝土施工中断容易形成结构薄弱面。据分析,有些面板裂缝与滑模浇筑过程中施工中断有关。因此,本标准规定面板与趾板混凝土浇筑应保持连续性,避免发生冷缝。非人力可及的因素,如下暴雨、停电等,施工中止且超过允许间歇时间(自出料时算起到覆盖上层混凝土时为止),则应按施工缝处理。未超过允许间歇时间仍可继续浇筑混凝土,但需充分注意结合面浇筑质量。对超过允许间歇时间的混凝土拌和物,应做废料处理,不得强行加水重新拌和入仓或直接浇入混凝土中。

面板与趾板混凝土一般掺有外加剂或掺合料,因此,允许间歇时间应通过试验确定。

6.1.9 经验表明,环境温度和湿度对于面板抗裂有较大影响。有些工程的面板由于在气温较高、空气干燥的条件下浇筑,导致裂缝较多。因此,面板混凝土施工应选择气温适宜、湿度较大的有利时段进行,避开高温、低温、多雨、大风季节。一般日平均气温在10~20℃范围较为适宜。不能避开高温天气时,则须采

取必要的温控措施，如以冰代水拌和，控制入仓温度，设遮阳篷，仓面喷雾等，以保证混凝土质量。

6.1.10 养护对面板混凝土防裂有重要作用。有些工程面板出现裂缝与养护不及时、养护方法不当或养护时间太短有关。混凝土出模后及时用塑料薄膜遮盖，混凝土初凝后及时洒水养护并覆盖上土工布等材料，以达到保温保湿的目的。为防止人员随养护材料滑落，造成安全事故，必须对养护材料采取有效的固定措施。高温季节突然降温或连续几天降雨以及日温差大、风速大时，尤其要及时对混凝土面板表面进行保温。如水电水利枢纽工程，混凝土出模经人工收面后，在混凝土表面覆盖粘有塑料膜的绒毛毡保温被，并用从坝面供水管引出的支管进行洒水养护，达到保温和保湿的效果。单块面板浇筑完毕后，在顶部布置一趟钻孔的花管进行不间断流水保湿养护。

混凝土面板板块薄而长，施工期间至蓄水前暴露在大气中，容易受气候条件及温湿度变化的影响而产生裂缝。因此，养护时间以连续养护至水库蓄水或至少养护90d为宜。严寒干旱地区面板在空库条件下过冬需做好防护，并防止反渗排水系统冰冻受堵。本条强调，重视趾板止水连接处等特殊部位的养护。

6.1.11 施工中的质量检查和控制，根据现场情况及时调整施工方法和参数，是获得优质面板和趾板很重要的一环。有些工程面板出现裂缝也与施工中质量检查和控制不力有关。要做好施工原始记录，作为分析面板及趾板施工质量的重要依据。

6.2 趾板施工

6.2.1 本条规定趾板混凝土施工的条件，目的在于保证趾板基础处理与混凝土施工的质量，避免相互干扰。

6.2.3 预埋灌浆导管钻孔时可以避开钢筋并减少工作量，一般采用钢管或硬塑管，紧密固定。也有的工程采用了不设导管直接钻孔的方法，如引子渡、八都河和珊溪等工程。

6.2.4 本条是考虑趾板的重要性而提出来的，目的在于避免或

减轻爆破振动的影响,保证趾板与基岩的良好结合。本次修订,引入 DL/T 5389《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》中的控制标准,具体见 DL/T 5389 附录 A“爆破安全允许标准”中的表 A.3 和表 A.4。

6.2.5 当趾板基础遇到新层破碎带和张开裂隙,在进行局部深挖与回填混凝土处理时,先回填混凝土至设计高程,再浇筑趾板混凝土,对防止裂缝有利。

6.2.6 趾板设计线转折或结构有特殊要求的部位,设计对分缝一般会作出明确的规定。其他部位可按施工条件设置施工缝,耶溪、引子渡、三板溪等工程趾板分缝除在满足设计要求的基础上,实际分缝长度自数米至二十多米不等。

当趾板较长时,也可以预留 1~2m 后浇块,趾板浇筑 28d 后,再浇筑后浇块。后浇块一般采用微膨胀混凝土。洪家渡、水布垭等工程趾板施工时就采用了预留后浇块的做法。

6.3 面板施工

6.3.1 当大坝较高、工程量较大时,面板分期施工是必要的。否则会因为坝段太长,给施工带来较大困难,也有利于防止裂缝。同时可以使坝体填筑、面板混凝土施工更趋均衡,为施工期提前蓄水创造条件。也有坝高超过 100m 的面板一次浇筑的实例。

6.3.2 为减少面板浇筑后坝体沉降对面板变形的影响,控制面板的脱空与结构性裂缝,面板施工应满足预沉降期及沉降速率的规定和设计要求。当前,对于预沉降期的控制有下列不同做法:①坝高 100m 以上按面板顶部处坝体沉降速率 3~5mm/月控制,中低坝沉降速率小于 10mm/月;②在对应坝体主沉降压缩变形完成以后(由沉降过程线可知),安排面板混凝土施工;三板溪工程设计要求 5 个月的预沉降期,实际施工中的预沉降期达到 6~7 个月,并以浇筑前面板顶部处坝体沉降速率小于 5mm/月控制。公伯峡坝面板开始施工时,预沉降期 4 个多月,坝体处于次

沉降压缩变形期。

面板分期浇筑时，尽量加大浇筑平台与分期面板顶部的高差（至少10m），可以减少后期坝体沉降对面板的影响。三板溪工程一期、二期面板浇筑时，面板顶部与浇筑平台的高差分别为25m和38m。

6.3.3 面板施工前，在垫层表面布置方格网，测量其相对高程和轮廓线，并按设计放出纵缝线位置，据此确定面板厚度和纵剖面，以保证面板达到设计厚度，使超浇混凝土量减至最小。本次修订增加了对垫层坡面保护层进行检查，发现脱空、坡面局部损坏等需及时进行处理的要求。

6.3.4 本次修订结合工程实践增加了对滑模施工作业场地最小宽度具体要求。

6.3.5 采用无轨滑模浇筑面板是成功的。无轨滑模的特点在于：滑动模板由侧模或已浇块混凝土和混凝土浮托力支承，取消了专用轨道；起始三角块可以与主面板一起浇筑；滑动模板重量轻、配套设备少，制造、安装和移动就位较为方便。

面板混凝土跳仓浇筑的目的，在于保持滑动模板平衡滑升，并使相邻的已浇块有一定龄期。

6.3.6 本条对滑动模板设计提出6点要求，目的是使滑动模板安全可靠、施工方便。

1 为适应面板条块宽度和滑模平整度的要求，根据施工经验，无轨滑模长度可以定为面板条块宽度加400mm，如面板条块有2种宽度，滑动模板可以采用分段组合式，以提高模板利用率。滑动模板宽度一般为1.5m。

2 为使滑模具有足够的强度和刚度，需进行结构计算。为防止板面变形，需控制板面的厚度，并在板面背面加肋板。

3 滑动模板的自身质量加配重带大于新浇混凝土对滑模产生的上托力，一般通过试验确定其大小，也可以根据经验确定，必要时可以用配重调节滑模重量。

4 为满足施工振捣和压面的需要，滑动模板上需有足够宽

度的工作平台和修整平台，并设有安全扶手或栏杆。

6.3.7 垂直缝下的砂浆垫是安装底层止水和侧模的基准。较多的工程按照“坡面平整、确保厚度、随坡浇筑”的原则施工，可以满足混凝土面板施工的要求。

6.3.8 面板钢筋采用现场绑扎，钢筋接头除焊接外，还可以采用冷挤压、镦粗直螺纹等机械连接方法，也可以用预制钢筋网片、现场拼装的方法。强调钢筋网需与接地网连接牢固。

在垫层上打设架立筋需按设计要求设置和处理。混凝土浇筑时，需将打入垫层料的架立筋逐次割断，以免增加面板基础的约束力。至于上游面坡表面的“板梁筋”可以不处理。

6.3.10 本条规定侧模安装的控制指标，是根据实践及参考 DL/T 5110 而提出来的。根据施工经验，侧模也可以分段安装，从下部已浇筑的面板部位拆模翻到上部安装，与 6.3.7 条相同原因。

6.3.11 面板混凝土滑模施工，强调均匀布料、薄层浇筑。这一方法的优点在于：

- (1) 滑升牵引力小。
- (2) 滑动模板不致被拖动，表面平整度高。

(3) 滑槽在集料斗控制下处于连续供料状态，不致在模板前堆积过多混凝土。根据施工经验，入仓混凝土的每层厚度控制在 250~300mm。河床部分趾板止水设施附近的混凝土难以浇筑密实，要采用各种工艺措施做好这一环节。一般用人工布料，避免骨料集中，有的还采用一级配混凝土先回填，有的采用先不放置滑模，在止水设施附近混凝土填实后再覆盖滑模等。靠近侧模处的钢筋较密，又有止水设施，捣实较为困难。因此，对接缝止水附近的混凝土振捣要特别小心，可以采用小型振捣器（直径不大于 30mm），并充分振捣，以确保质量。

滑模施工的滑升速度，要与浇筑速度、脱模时间相适应，平均滑升速度以 1.5~2.5m/h 为宜。滑升速度太快容易出现滑模抬动、振捣不易密实、混凝土面呈波浪形等现象。因此，对滑模

的最大滑升速度应予以限制，一般不超过 3.0m/h。

每次滑升的间隔时间一般不超过 30min，目的是防止拉伤已浇面板。如超过此时间需适当移动滑模位置。

为了确保后浇块面板滑模精度和面板整体的平整度，本条提出对接缝侧 1m 内的混凝土平整度的具体要求。

6.3.12 施工缝是面板防渗的薄弱环节，如施工不精心，处理不当，可能形成渗漏隐患。施工缝按规定的方向留设目的是延长渗径。露出施工缝的钢筋长度应不小于其锚固长度。水平施工缝大多不设止水，仅按 DL/T 5144《水工混凝土施工规范》的规定，认真进行凿毛、冲洗、清除污物和排除表面积水，浇筑混凝土前需先铺一层 20~30mm 厚与混凝土内砂浆成分相同强度等级宜高一级的砂浆。

6.3.13 分期施工时，已施工面板顶部与垫层常有脱空产生，后续面板施工时需详细检查和处理。在浇筑防浪墙底座前，也要做此项检查和处理。天生桥一级混凝土面板堆石坝，一期、二期、三期面板顶部的一定范围内都曾出现脱空现象，在下道工序前进行了检查清理，并灌注收缩性很小的水泥粉煤灰浆予以填充。

7 接缝止水施工

7.1 一般规定

7.1.1 止水材料质量是影响接缝止水效果的重要因素，需严格把关，严禁低劣止水材料进入施工现场。对于每一批止水材料，除要求有厂家的质量检测报告外，施工单位和监理单位还要联合进行抽样检查，不合格者，严禁使用。

7.1.2 无黏性填料露天存放时，需予适当防护，以防变质。

7.1.3 止水带包括铜止水带、橡胶止水带和塑料止水带。保证止水带的接头质量是确保止水带止水效果的关键措施之一。铜传热快，高温易氧化和流动，焊接较难。PVC 止水带和橡胶止水带连接接头也容易出现质量问题。必须进行止水带的连（焊）接试验，以确定满足接头质量要求的接头工艺和接头材料。

7.1.4 沥青砂的沥青与砂之质量比一般为 $1:9 \sim 1:10$ ，沥青的针入度（ 0.1mm ）为 $50 \sim 60$ ，可以用拌和混凝土的砂，不加其他填充料。水泥砂浆的水泥与砂之比一般为 $1:3$ 左右。

7.1.5 接缝木板的防腐可以参考采用铁路枕木的防腐油浸方法。除木板外，目前也有工程采用橡胶板作为接缝隔离板。

7.1.6 国内部分工程采用粘合剂或热沥青将垫片与砂浆粘贴，但也有些工程直接将垫片平铺在砂浆垫上，为防止垫片移动，平铺后在铜止水带覆盖范围外 20mm 处用 50mm 长的水泥钉固定，钉子间距 $500 \sim 800\text{mm}$ 。

7.1.7 在止水带附近浇筑混凝土易引起止水带变形、变位，使止水带失效；如振捣不密实，易出现绕渗。因此，要指定有经验的施工人员铺料、振捣，并有止水带埋设人员监护。

7.1.10 施工中因各种原因，止水带容易被损坏，特别是周边缝处的止水，常遭到落石、人踩及施工机具碰撞而损坏，而且一经损坏，很难修复、更换。塑性填料一经污染将影响连接整体性。

7.1.13 接缝止水验收不合格，需采取设计认可的措施进行处理。

7.2 金属止水带加工与安装

7.2.1 铜止水带加工成型方法有冷挤压、热加工和手工成型。冷挤压可以有效减少接头数日；热加工和手工成型的长度受到限制；手工成型的平整度较差。另外，冷挤压成型的止水带较长，易发生扭曲变形，为此加工要尽可能靠近工作面，并在成品出口设置托架。

7.2.2 本条旨在保证金属止水带与混凝土紧密结合，防止产生漏水通道。金属止水带表面的各种污渍会削弱它和混凝土的黏结力，必须清除。

7.2.3 本条旨在保证接缝附近面板厚度的均匀性，防止因厚度变化产生过大的局部应力，造成面板局部破坏和止水破坏。砂浆垫的平整度要求是根据经验提出的。

7.2.4 铜止水带连接有对缝焊接和搭接焊接两种方法。对缝焊接采用单道焊缝，焊缝强度低，双道焊缝（即焊接一遍后，再在其上加焊一遍）可以提高焊缝强度。对于特别重要的工程或质量不易保证时，可以在对缝焊接后焊接与止水带形状相同的贴片，以增加抗拉强度，提高变形能力。试验表明，若焊缝内有夹渣、裂纹，则难以保证止水效果，故规定搭接焊接采用双面焊接。但如因条件所限不易进行双面搭接焊接时，一般用钨极氩弧焊单面焊接。采用单面焊接时，需用双道焊缝方法。钨极氩弧焊采用惰性气体保护，可以成功地焊接易氧化、化学活动较强的有色金属和不锈钢。大型工程在厂内加工止水带时，一般采用钨极氩弧焊。海坑坝铜止水带采用钨极氩弧焊焊接，质量较好。根据黑泉坝和引子渡坝的经验，不锈钢止水带较硬，为控制安装偏差、限制变形，安装时可以用短钢筋等辅助固定。为减少环境影响焊接质量，不锈钢止水带的钨极氩弧焊可以在简易作业棚内进行。十三陵工程用黄铜焊条气焊焊接铜止水带，焊接不受现场施工影

响，焊缝塑性较好，质量满足要求，价格低。手工电弧焊接易使铜止水带出现气孔和裂纹，最好不要采用。

7.2.5 接头质量至关重要。进行焊缝检验时，可以用煤油或其他液体做渗透试验检验。进行煤油渗透试验时，可以将煤油滴在焊缝一侧，并在另一侧洒上粉笔灰，进行渗透观察。

7.2.6 金属止水带适应接缝剪切位移能力差，如果鼻子埋设成蛇形，剪切位移时容易扭曲，甚至破裂。鼻子使金属止水带具有适应接缝位移的能力，要防止浇筑混凝土时砂浆或其他物质进入鼻子空腔，可以在鼻子内填充可塑性填料并用胶带封闭等措施。可塑性填料以泡沫塑料较好，也可用其他塑性材料。可以在金属止水带鼻子顶部涂刷沥青漆，或粘贴宽度为鼻子周长一半的防粘胶带，以防其与混凝土黏结，影响适应变形能力。为防止水泥浆进入铜止水带的底面，一般在铜止水带平段两侧采用水泥砂浆或沥青封口。

7.3 PVC止水带、橡胶止水带安装

7.3.1 止水带与混凝土的有效黏结是防止止水绕渗的关键，止水带上的污染物不利于黏结。

7.3.2 PVC止水带用热黏结或热熔接头，控制的关键是温度。橡胶止水带接头需采用硫化连接，接头质量比较可靠。

7.3.3 垫片翘曲和脱空可以使止水带局部位移，增加渗水的可能性。

7.3.4 PVC止水带或橡胶止水带安装的关键是位置固定。除用模板夹紧外，还可以在止水带边缘用细铅丝固定。也可以用细钢筋作托架，支撑固定止水带。

7.3.5 用螺栓固定止水带时，由于止水带的应力松弛作用，分期拧紧螺栓。可以在头天拧紧后，第二天再拧紧一次。

7.3.6 在先浇块（趾板）上预留半圆槽，有利于橡胶垫定位和浇筑混凝土时不移位。对接的橡胶垫两端削成斜面搭接，利于连接，不致脱节。

7.3.7 趾板伸缩止水带与基岩连接是接缝止水的一部分。此部位面积不大，但结构施工复杂，需按设计要求施工，并检查验收。

7.4 异型接头连接

7.4.1 铜止水带异型接头焊缝长，黄铜焊缝延伸率比母材低，故宜用钨极氩弧焊，能适合焊接薄板，保持延性，焊缝质量好，但需在车间内焊接加工。在工厂冲压成型能显著改善接头质量，已在十三陵等工程使用。江苏溧阳抽水蓄能电站工程中，铜止水带异型接头用 1.5mm 厚软铜板冲压成型，铜板要求表面光洁，技术指标见表 8，可供参考。

表 8 江苏溧阳抽水蓄能电站工程接头冲压铜板的技术指标

项 目	指 标
抗拉强度/MPa	≥210
延伸率/%	≥50
冷弯	冷弯 180°不出现裂纹，在 0°~40°范围内连续张闭 50 次不出现裂纹
比重/(g/cm ³)	8.89
熔点/°C	1084.5
含铜率/%	≥99.5
表面质量	表面平整，无油污、锈蚀、浮皮、砂眼等缺陷

7.4.3 两种不同材料（铜止水带和 PVC 止水带、橡胶止水带）的连接比较困难。工程中有用螺栓连接或铆接的，搭接部分有用热粘或冷粘的。本标准推荐爆栓连接法（俗称“塑料包紫铜”），如我国天生桥一级坝、巴西辛戈（Xingo）坝等均采用了螺栓连接。为保证接头的抗拉强度和一定渗径，规定了栓（搭）接长度。

7.4.4 用插入法连接时，先用塑性填料填充铜止水带的鼻梁、PVC 止水带或橡胶止水带的肋筋间隔，并用配套的黏结剂黏结。

填充后，再将止水带填入塑性填料包中至要求的深度，仔细填满。

7.4.5 防渗保护盖片的异型接头如用简单搭接，运行中易造成脱落或移位，为此再外覆同材质的盖片可以对异型接头部位起加强保护作用。

7.5 塑性填料施工

7.5.1 缝顶 V 形槽尺寸关系到塑性填料流入接缝的比例，需严格按照设计施工。

7.5.2 为安装膨胀螺栓时减少对混凝土面板的损坏，塑性填料施工时混凝土要有一定的强度。根据经验，混凝土强度达到设计强度的 70% 以后可以进行膨胀螺栓安装施工。塑性填料具有憎水性和感温性，混凝土面潮湿时会影响黏结效果，温度太低会影响嵌填质量。条文中的气温和无降雨要求是根据施工经验提出的。若需在低于 5℃ 或潮湿天气下施工，选取合适的黏结剂，并经现场验证后方可使用。当分期施工塑性填料时，其端部需封闭，防止外水流入接缝产生反向压力。

7.5.3 为保证塑性填料的止水效果，必须确保其与混凝土面的黏结质量。为此，需先除掉混凝土面的浮浆、松动的混凝土块，并用钢丝刷刷净表面。表面潮湿时，需烘干后再涂刷黏结剂。我国的潮湿面黏结剂，已成功用于潮湿多雨地区，可供工程选用。

7.5.5 为确保塑性填料的流动止水性能，施工中必须嵌填密实。新疆吉布拉克（坝高 146.3m）、肖斯瓦特（坝高 129.8m）、温泉（坝高 102m）、湖北潘口（坝高 114m）、贵州黔中（坝高 157.5m）、福建街面（坝高 126m）等面板坝均采用了挤出机嵌填塑性填料，实践表明密实度优于人工嵌填，外形易于满足要求，且填料经挤出后温度升高，可以改善其与混凝土的黏结，特予推荐。

7.5.6 角钢由于刚性较大，往往不能紧贴面板表面，这里推荐采用扁钢固定。我国东北莲花、松山等工程采用了沉头螺栓固定

盖片：实践证明，可以解决冰冻时膨胀螺栓被拔出的问题。防渗保护盖片只有与混凝土面结合紧密，才能确保塑性填料的流动止水。由于工程中常见盖片与混凝土面结合不紧密，这里特别强调了这一要求。辽宁蒲石河上水库面板坝曾用涂刷单组份聚脲（内衬胎基布）替代铺装防渗保护盖片，该方法无需螺栓固定，无需接头，可供工程参考。

7.6 无黏性填料施工

7.6.1 斜坡段无黏性填料用保护罩固定时，需先固定保护罩，再填无黏性填料。为填塞密实，可以先加水将填料湿润成团填入，必要时还可以加水进一步密实。

7.6.2 面板不平整程度较大时，螺栓间距需适当加密。无黏性填料不要求保护罩隔水，但保护罩和混凝土接触面需密封，否则无黏性填料会从缝隙中流失。

8 安全监测仪器埋设与观测

8.1 一般规定

8.1.1 明确本规范与 SL 551《土石坝安全监测技术规范》以及 SL 601《混凝土坝安全监测技术规范》的关系。

8.1.4、8.1.5 明确为保持观测资料的连续性，需加强临时监测与永久的关系。

8.1.8 明确蓄水前为取得基准值对监测的项目实施和观测的要求。临时监测一般包括变形监测和渗流监测。变形临时监测一般包括位移临时监测标点和临时观测房。坝体渗流临时监测一般可以利用坝后围堰防渗墙或截水墙等设置测流槽或管，采用体积法或量水堰等测量渗流量。

8.1.9 明确对竣工资料移交的要求。

8.2 监测仪器埋设

8.2.1 本条参照 SL 551—2012 的规定并结合国内工程实际情况，对水管式沉降仪和引张线式水平位移计、孔隙水压计、压力盒的埋设和保护提出具体的要求。

8.2.2 本条参照 SL 551—2012 的规定并结合国内工程实际情况，对斜向固定式测斜仪或电液器、测缝计、应变计和无应力计的埋设和保护提出具体的要求。

8.3 施工期监测

8.3.1 明确对测次、同步监测及测量记录的要求。

8.3.2 明确对观测及二次仪表的要求。

8.3.3 明确对施工期监测资料整理分析及上报的要求。

9 质量控制

9.1 一般规定

9.1.2 质量控制不同于质量管理，主要是在施工过程中，按质量标准的要求，控制施工的工艺技术，以保证工程质量。

9.1.3 质量控制的重点是预防质量缺陷和质量事故的发生，网络分析就是要事先发现质量问题的苗头，通过质量控制，将质量缺陷和质量事故消灭在萌芽状态。

9.1.4 工程施工的质量检测试验单位必须依照《中华人民共和国计量法》，通过省级及其以上的技术监督部门的计量认证。按照计量认证的要求，除试验仪器等满足检测试验工作的需要外，检测试验工作的环境如温度、湿度等需满足试验工作的要求。试验所用的规程、标准需是最新有效版本。

9.2 质量控制要点

9.2.2 爆破料的爆破试验，除取样位置要有代表性以外，取样数量一般在 50t 左右。

9.2.3

2 150m 以上的高面板堆石坝，坝体填筑压实质量是影响坝体沉降量的关键因素。实时监控系统是坝体填筑压实质量控制的实用、有效方法。贵州黔中水利枢纽、梨园水电站等面板坝应用实时监控系統效果良好。

砂砾石堆石料室内缩尺相对密度试验和原型级配的相对密度试验结果差异较大，影响坝体填筑干密度的控制标准。NB/T 35016《土石筑坝材料碾压试验规程》介绍了“砂砾料原级配现场相对密度试验”方法，可以提高砂砾料的填筑压实质量，减小大坝的沉降量。150m 以上的高面板堆石坝，应进行原级配现场相对密度试验。

3 使用混凝土挤压边墙的工程项目，挤压边墙混凝土的渗透性能要与垫层料基本一致。为了减小挤压边墙对面板混凝土的约束，挤压边墙混凝土应限制强度超强。挤压边墙施工质量控制执行 DL/T 5297《混凝土面板堆石坝挤压边墙技术规范》。

9.2.4

6 据有关资料介绍，混凝土内外温差大于 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 时，会产生表面裂缝。在气温、水温很低的地方，一般不直接从河道取水养护面板混凝土，要控制养护水温与混凝土内部温度之差小于 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。

9.3 质量检验检测

9.3.3 附录 A 所列检验检测项目、检验方法、检测频次，是面板堆石坝质量检验检测的主要项目，在这些检验检测项目符合要求的同时，还要符合 SL 631~633《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准》的相关要求。