

中华人民共和国水利行业标准

# 混凝土重力坝设计规范

SL319 — 2005

条文说明

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 目 录

1 总 则 .....	1
3 坝 体 布 置 .....	2
4 坝 体 结 构 .....	3
4.1 一般规定 .....	3
4.2 非溢流坝段 .....	3
4.3 溢流坝段 .....	3
4.4 坝身泄水孔 .....	4
5 泄水建筑物的水力设计 .....	5
5.1 一般规定 .....	5
5.2 泄流能力及消能计算 .....	7
5.3 高速水流区的防空蚀设计 .....	7
5.4 消能防冲设施的设计 .....	7
6 坝体断面设计 .....	12
6.1 荷载及其组合 .....	12
6.2 主要设计原则 .....	12
6.3 坝的应力计算 .....	12
6.4 坝体抗滑稳定计算 .....	13
6.5 溢流坝闸墩结构设计 .....	13
7 坝基处理设计 .....	14
7.1 一般规定 .....	14
7.2 坝基开挖 .....	14
7.3 坝基固结灌浆 .....	15
7.4 坝基防渗和排水 .....	15
7.5 断层破碎带和软弱结构面处理 .....	18
7.6 岩溶的防渗处理 .....	20
8 坝体构造 .....	21
8.1 坝顶 .....	21
8.2 坝内廊道及通道 .....	21
8.3 坝体分缝 .....	21
8.4 坝体止水和排水 .....	21
8.5 大坝混凝土材料及分区 .....	22
9 温度控制及防裂措施 .....	23
9.1 一般规定 .....	23
9.2 温度控制标准 .....	24
9.3 温度控制及防裂措施 .....	24
10 安全监测设计 .....	23
10.1 一般规定 .....	23

10.2 监测项目与监测设施布置要点.....	23
附录 A 水力设计计算公式.....	32
A.1 堰面曲线、堰面压力及反弧段半径.....	32
A.2 坝身泄水孔体型设计.....	32
A.3 泄流能力及掺气水深计算公式.....	32
A.4 挑流消能的水力要素.....	32
A.5 底流消能的水力要素.....	33
A.6 防空蚀设计.....	33
附录 B 荷载计算公式.....	34
附录 E 坝基深层抗滑稳定计算.....	35
附录 F 施工期坝体温度和温度应力计算.....	36
F.1 混凝土温度计算.....	36
F.2 冷却水管降温计算.....	36
F.3 混凝土表面保温.....	36
F.4 温度应力.....	36

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

# 1 总 则

1.0.1 本标准按《水利水电技术标准编写规定》(SL1—2002),对《混凝土重力坝设计规范》(SDJ21—78)及其1984年《补充规定》的设计原则进行了修订。

1.0.2 混凝土重力坝的级别,是按《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252—2000)进行划分的。

1.0.3 关于坝高分类,原规范的规定仍然适用,因为我国现行《碾压式土石坝设计规范》(SDJ218—84)的坝高分类与此相同。按目前已建成的混凝土重力坝统计,坝高70m以上的仅占13%左右,考虑到为今后坝工设计规范留有余地,仍维持原规范规定。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 3 坝体布置

**3.0.1** 坝体是枢纽建筑物中的一部分，因此坝体布置应结合枢纽全面、合理地安排坝体上各种建筑物的布置问题。泄洪建筑物往往是影响枢纽布置和其它建筑物安全的关键，若解决不好，将会影响枢纽的正常运行，如发电、航运等，冲刷其他建筑物及岸坡，甚至危及大坝安全。国内曾多次出现过这种情况。故本条规定，应首先考虑泄洪建筑物布置。

**3.0.2** 开敞式溢流孔具有较大的泄洪能力，且闸门开启方便，又便于排冰或其他漂浮物，故予以推荐。

泄洪设施设计应满足即能安全宣泄校核洪水又不影响下游建筑物的正常运行的要求。坝址地形地质条件、水库淹没对溢流坝的宽度和消能方案选择都是决定因素。溢流孔尺寸，应根据坝段分缝，选择统一宽度，简化设计。

**3.0.3** 消能设施对坝体布置的影响，吸取了国内工程的一些教训，如有的工程用挑流消能方式，布置不适当，以致冲（淘）刷岸坡，影响下游岸坡稳定，或影响电厂。又如面流，消力戽消能有回流时，流态不易稳定，需设置较长的导墙。因此，提出本条规定。同时，根据国内已建成的新安江、隔河岩等高坝，因挑流产生的雾化对周边环境的影响，特提出在坝体泄洪布置时应注意雾化对两岸山体安全和其他建筑物的运行以及周边环境的影响。

**3.0.4** 对原规范第 11 条内容进行了改写。如大型水库或高坝，坝的下游有重要城市、重要粮棉基地、大型企业、铁路干线等均属对水库有降低或放空库水要求。

**3.0.5** 基本保留了原规范第 12 条的内容。

**3.0.6** 基本保留原规范第 14 条、第 15 条的内容。

**3.0.7** 基本保留原规范第 16 条的规定。因坝式电站进水口拦污设施已有规范规定，水库拦污排不属坝体布置的有关内容，故取消了这两款的相关内容。

**3.0.8** 对大型枢纽不仅须作整体模型试验，且应作断面、半整体、减压等水工模型试验，特别重要的还应作动床验证对比试验，中型枢纽也宜进行水工模型试验。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 4 坝体结构

### 4.1 一般规定

4.1.1 坝体结构包括坝型、坝剖面的各参数（如上游、下游坝坡及起坡点等）、泄水坝段和厂房坝段的布置、坝轴线布置成直线或弧线等，应通过整座坝的总体技术经济比较确定。

4.1.2 强调各坝段的上游坝面应协调一致，主要是上游止水应对称布置，以便改善坝体的受力状态。下游坝坡可根据稳定应力计算结果确定。

4.1.4 规定重力坝应根据《水工建筑物抗震设计规范》（SL203）进行抗震设计。

4.1.5 规定重力坝应根据《水工建筑物抗冰冻设计规范》（SL211）进行抗冰冻设计。

### 4.2 非溢流坝段

4.2.1 根据已建混凝土重力坝的剖面，规定了三角形基本剖面顶点的位置，在坝顶附近，可通过剖面的优化设计确定基本断面。

4.2.2 非溢流坝段，当坝体内设有发电引水管、泄水孔等设施时，应充分考虑进水口闸门槽布置和启闭闸门的方便，因此规定上游折坡点高程应结合这些设施进水口的布置一并考虑。

对整体式重力坝，考虑到坝体横缝灌浆后上游的水荷载将由悬臂梁和水平梁共同承担，下游坝坡可稍陡，但需经计算分析后确定。

实体重力坝的上游坝坡，不宜缓于 1:0.2，否则会在满库时，坝踵处的应力明显减小，有时达不到规定的设计要求。当坝体设置纵缝时，考虑纵缝的影响，上游坝踵会出现较大的拉应力，需在上游面加压重混凝土，才能消除，增加了工程量和投资，所以考虑到上游坝坡对坝体应力的影响，坝坡不宜太缓。

4.2.3 宽缝重力坝因形心偏向上游，应力条件较实体重力坝有利，因而在相同条件下，上游坝坡可稍缓。宽缝宽度根据我国已建宽缝重力坝的实践经验，宽缝过大时，迎水面将出现水平拉应力，以致形成劈头裂缝，故仍维持原规范规定，取坝段宽度的 20%~40%；对有引水管、泄水孔、导流底孔等大孔洞的宽缝重力坝段，其结构受到削弱时，宽缝宽度应经过论证确定。

### 4.3 溢流坝段

4.3.1 原规范推荐采用幂曲线，近年来修建的一些工程大多采用，该曲线具有堰面负压小，流量系数大的优点，特别是 WES 曲线具有与各种上游坝坡相衔接的特点，并通过一系列试验研究给出了大量成果，便于使用，因此，本标准推荐该曲线。

4.3.2、4.3.3 与原规范基本相同，只是对原规范中第 1 条要求略有放宽。具体水力设计指标的控制可结合水工模型减压试验结果确定。

4.3.5、4.3.6 保留原规范第 31、32 条的规定。

4.3.7 按 SL211-98 对原规范第 33 条作了修改。

4.3.7、4.3.8 保留原规范第 34、35 条的规定。

#### 4.4 坝身泄水孔

4.4.1 当泄水孔设在溢流坝段下部时，应注意避免溢流堰出流与泄水孔出流相互间影响。

4.4.2 坝身泄水孔内均应避免有压流与无压流交替出现，因为这会使孔内水流的动水压力、流速与流量等水力因素产生周期性变化，对泄水孔的受力状态、泄流能力、出口消能等都将产生一系列不利的影晌。

4.4.3 坝身泄水孔分为无压孔及有压孔两种型式。有压孔水道中的压力与流态较稳定，一般不会出现空蚀破坏，但衬砌所需费用较大，工作门与检修门分设两处，运行管理也不方便，枫树坝和云峰等工程采用有压深孔。无压孔进口压力段很短，水头损失小，明流段水力条件明确，砌衬所需钢材较少，但进口段门槽处体型不连续，明流段不易稳定，易产生空蚀破坏。我国对短进水口无压孔作了许多研究工作，取得了明显成效，龚嘴、丹江口，刘家峡水电站右岸泄洪洞，八盘峡泄洪闸，石泉、宝珠寺水电站左底孔，葛洲坝水利枢纽三江冲沙闸等 20 多个工程均采用了无压孔，效果良好。两种坝身泄水孔各有优缺点，应通过技术经济比较选定。

4.4.4 保留了原规范第 38 条中有关无压孔孔顶安全余幅的要求，此外也补充了我国近年来对无压孔体型尺寸的研究与工程实践上行之有效的成果。

4.4.5 强调无压孔在平面上应布置成直线，以力求水流的稳定，如果必须成弯道，应慎重布置并经水工模型试验论证。

4.4.6 规定了有压孔的体型布置。

4.4.7~4.4.9 保留原规范第 39~41 条的规定。并增加通气孔布置原则的规定。闸门门后的通气要求包括事故检修门。

4.4.10 坝内导流底孔和上部泄水设施同时过流时，由于导流底孔出口闸门槽顶部进气不畅造成门槽下游孔顶部位空蚀，此外，导流底孔进口段因闸门门槽顶部进水，也会导致底孔边墙空蚀。此种现象以往在丹江口、盐锅峡坝汛期导流运行时发生过，本条规定是为了防止这种情况在今后设计中重现。

4.4.11 保留了原规范第 43 条的部分内容。

## 5 泄水建筑物的水力设计

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 保留了原规范第 44 条，规定了水力设计的主要内容。
- 5.1.2 规定了泄水建筑物和消能防冲建筑物的洪水标准直接引用相关标准作为取值依据。在 SL252-2000 第 3.2.4 条中，规定了消能防冲建筑物设计的洪水标准，只对应一种洪水重现期，而不分运用情况是设计还是校核。但在条文中又指出：“对超过消能设计标准的洪水，容许消能防冲建筑物出现局部破坏，但必须不危及挡水建筑物及其他建筑物的安全，且易于修复，不致长期影响工程运行。”因此，在进行消能防冲建筑物设计时，可以根据工程特点及泄洪对枢纽建筑物运行安全的影响程度，经研究后增设校核洪水标准，以保证发生超标准洪水时，消能防冲建筑物只出现局部破坏，但不致长期影响工程运行。
- 5.1.3 泄水建筑物的水力设计计算，保留了原规范附录一所列的大部分计算公式，并将护坦、鼻坎上脉动压力估算公式及护坦上消力墩所受冲击力计算公式列入了本标准。在附录 A 中未列面流、岸流计算公式，可参考有关经验公式计算。
- 5.1.4 1 款、3 款基本保留了原规范第 46 条的内容。2 款保留了补充规定第 2 条的部分内容。本条规定了消能设施除具有自身消能效果好，避免冲蚀破坏外，还应保证坝体及岸坡以及有关建筑物的安全，强调了常遇洪水（一般指 10 年一遇以下的洪水）的消能效果以及水下消能设施应具备检修条件。
- 5.1.5 在原规范第 47 条中规定，挑流消能适用于坚硬岩石上的高、中坝。在调研中发现，国内外已建工程在坝高低于 30m 时，采用挑流消能的也不少，且有的工程已经运行了 30~40 年，运行情况良好，所以在本标准中把低坝也列入。但考虑到低坝水头低，挑射水舌挑距近，下游冲刷可能会影响坝脚，所以低坝采用挑流消能需经论证才能选用。
- 5.1.6 基本保留了原规范第 49 条的内容，补充了底流消能适用于中、低坝，高坝采用底流消能应经论证的规定。当高坝下游基岩软弱或挑流雾化对建筑物和设施运行影响大，且防护困难或工程量大时，经论证也可采用底流消能。
- 5.1.7 基本保留了原规范第 51 条的规定。但广西西津水电站（坝高 41.0m）采用面流消能，坝脚被刷深 2m，河床被刷深 10m 以上，下游波浪爬高 1.5~2.0m，3km 内岸坡被冲刷发生塌方。富春江水电站（坝高 47.7m）采用面流消能，坝下游河床冲刷深 7m，岸坡冲刷塌方，波浪爬高约 6.0m，尾水抬高 1.0m。其他坝高超过 40~50m 的工程，坝下冲刷情况类似。因此，本标准规定面流消能适用于水头较小的中坝、低坝。



5.1.8 基本保留原规范第 53 条第 1 款的内容，规定了消力戽消能的适用条件。

5.1.9 联合消能有宽尾墩—挑流、宽尾墩—消力戽、宽尾墩—消力池、宽尾墩—阶梯式溢流坝等型式。如潘家口、隔河岩工程采用宽尾墩—挑流，安康、五强溪、百色工程采用宽尾墩—底流消力池，岩滩、高坝洲工程采用宽尾墩—戽式消力池，水东工程采用宽尾墩—阶梯式溢流坝，大朝山工程采用宽尾墩—阶梯式溢流坝—戽式消力池。

五强溪水电站，校核洪峰流量  $67300\text{m}^3/\text{s}$ ，设计洪峰流量  $55900\text{m}^3/\text{s}$ ，洪水流量大，坝址河床狭窄，地质条件较复杂，基岩抗冲能力较低(允许抗冲流速  $5\sim 6\text{m}/\text{s}$ )。该工程先后比较了挑流、消力戽、底流消力池、戽池结合等方案，初步选定了底流消能方案。但消能率较低，下游波浪较大，最大波高  $5\sim 7\text{m}$ ，消力池中收缩断面处平均流速达  $29.0\sim 31.0\text{m}/\text{s}$ ，不宜设置辅助消能设施，后经试验研究，采用了宽尾墩—底孔(挑流)—消力池的联合消能。溢流前沿长度缩短  $24\text{m}$ ，消力池长度缩短  $50\text{m}$ ，开挖量减少  $109\text{万 m}^3$ ，混凝土工程量减少  $4\text{万 m}^3$ ，下游最大波高  $1\sim 3\text{m}$ 。

岩滩水电站，校核洪峰流量  $34800\text{m}^3/\text{s}$ ，设计洪峰流量  $30500\text{m}^3/\text{s}$ ，洪水流量大，坝址河床狭窄，河床基岩比较坚硬、完整性较好，允许抗冲流速  $6\sim 8\text{m}/\text{s}$ 。原设计方案为直尾墩戽式消力池消能方案，后经试验研究，采用了宽尾墩—戽式消力池的联合消能，该型式比单一戽式消力池消能时戽底最大流速减少  $23\%\sim 43\%$ ，尾水波浪高度削减  $59\%\sim 73\%$ ，下游河道表面流速削减  $44\%$ 。

近几年来，宽尾墩和阶梯式溢流坝面相结合进行联合消能的新技术得到了很快的发展，这种新的消能方式兼有宽尾墩消能和阶梯式溢流面消能的特点和优点：它既利用阶梯式溢流面进一步提高消能率，又利用宽尾墩后在坝面上形成的无水区向阶梯和水舌底部进行通气来避免空化和空蚀，从而为阶梯式溢流坝向高水头大单宽流量方面发展提供了技术保证。国内部分宽尾墩—阶梯式溢流坝联合消能的基本参数见表 1。

表 1 国内部分宽尾墩—阶梯式溢流坝基本参数表

坝名	坝高(m)	最大单宽流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	台阶尺寸 (高 $\times$ 宽, $\text{m}\times\text{m}$ )	备 注
水东	57	120	$1.2\times 0.84$	经历了一场近 100 年一遇洪水，表孔单宽流量达 $90\text{m}^3/\text{s}$
大朝山	111	193	$1.0\times 0.7\sim 1.0\times 0.8$	已运行了 3 年，表孔最大单宽流量 $150\text{m}^3/\text{s}$ 。

5.1.10 本条为新增条款，多个工程的运行调度经验表明，泄水建筑物的闸门同步、对称、均匀地启闭，对控制流态稳定、减轻下游冲刷等至关重要，因此，在此处予以强调。

5.1.11 将原规范分散在各条款中有关进行模型试验的要求集中列出一条，减少重复。

## 5.2 泄流能力及消能计算

5.2.1 将原规范中第 28 条的开敞式溢流孔和设有胸墙时采用孔口泄流的计算公式列入。

5.2.2 保留了原规范第 56 条的内容。溢流坝边墩或导墙应有足够的超高，以避免泄洪运用时出现工程事故或影响电站运行。

5.2.3 基本保留原规范第 48 条的部分内容。

挑流水舌挑射距离的计算，按照原规范附录一的公式列于本规范附录 A.4 中。挑流水舌跌入下游河床的最大冲坑深度可按照附录 A.4 计算最大冲坑水垫厚度减去下游水深求得。原规范中冲刷系数分成三级，变幅较大，且较简单，因此，本标准将冲刷系数符号改为目前常用的  $k$ ，并根据东北勘测设计院、长江科学研究所和清华大学等单位大量的调查研究和试验基础，将岩石分成四类，冲刷系数  $k$  值分四级，详见附录 A.4。

5.2.4 保留了原规范第 50 条的内容，规定了底流消能的水力计算内容。

5.2.5 基本保留了原规范第 50 条第 1 款的内容，护坦长度可根据其上是否设置辅助消能设施及水力特性按附录 A.5 中的公式计算。关于尾水淹没度原规范第 50 条第 2 款中规定可按 0.95~1.05 倍跃后水深选用，通常尾水深可略低于跃后水深。根据水工模型试验和工程实践经验，如消力池护坦上未设辅助消能设施，尾水淹没度应为 1.05~1.10。淹没度若小于 1.05 易形成远驱水跃，若大于 1.10 易形成回复底流，二者均将引起消力池下游的冲刷。

5.2.6、5.2.7 基本保留了原规范第 57 条中护坦动水压力及脉动压力的计算内容，但对消能型式复杂的脉动压力系数宜通过水工模型试验确定。

## 5.3 高速水流区的防空蚀设计

5.3.1~5.3.5 基本保留原规范第 55 条内容，但根据内容的性质将原规范内容分解成 5 条，使条理更加清楚，同时增加和修改了部分内容。

5.3.1 可能发生空蚀的部位增列了异型鼻坎、分流墩。

5.3.3 增加了选择合理的建筑物体形、采用掺气措施、采用抗蚀材料和合理的运行方式等四种防空蚀措施，同时原规范“当  $\sigma_k < 0.3$  时，应严格控制建筑物的体形、尺寸和平整度”的提法不太准确，予以删除。

5.3.4 强调了流速对空蚀的作用，流速大于 30m/s 时，宜采取掺气措施。

## 5.4 消能防冲设施的设计

5.4.1 总结了目前国内外挑流消能采用的鼻坎型式。国内多数采用连续式和差动式鼻坎，也有采用其他型式的鼻坎。

1 挑流鼻坎采用连续坎，鼻坎挑角可采用  $15^\circ \sim 35^\circ$ 。

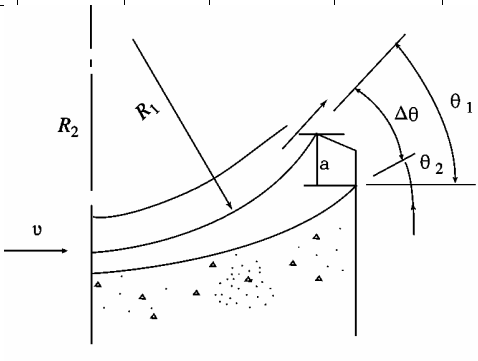
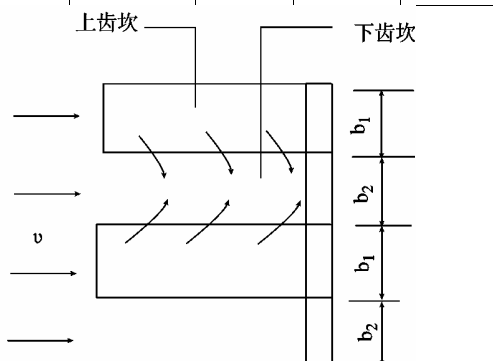
挑流鼻坎采用差动坎，根据近几年实践发现，若矩形坎设计得当，不一定会发生空蚀，如丰满、狮子滩、梅山水电站等工程的溢洪道均采用矩形齿坎，而未遭空蚀破坏。若设计不当，就是体形较好的梯形齿坎也仍然会发生严重的空蚀破坏。若设计不当，就是体形较好的梯形齿坎也仍然会发生严重的空蚀破坏。另外古田一级、新安江、安砂、池潭等水电站溢洪道相继采用了带掺气孔的差动式鼻坎，虽然齿坎尺寸不同，且掺气孔布置型式略有差异，但经过多年高水位泄洪运行，均未发生空蚀破坏，防蚀效果甚好(见表 2)。20 世纪 50 年代南京水利水电科学研究院在选定狮子滩溢洪道差动式鼻坎挑角时，曾对上齿坎挑角和下齿坎挑角的差值进行了试验研究，认为挑角差值  $5^\circ \sim 10^\circ$  较好。丰满、狮子滩、梅山溢洪道的矩形差动式挑流鼻坎的挑角小于  $10^\circ$ ，上齿宽与下齿宽之比大于 1，齿高差约 1.5m，这 3 个工程鼻坎虽然未设掺气孔，但齿坎均未受到空蚀破坏。古田一级、新安江溢洪道的矩形差动式挑流鼻坎的挑角差虽然较大( $10^\circ \sim 18^\circ$ )，但由于采用了掺气孔，未发生空蚀破坏。新安江溢洪道为了减少横向水流在高坎顶的棱角处分离，将棱角做成半径为 0.12m 的小圆弧，效果也较好。

表 2 几个差动式挑坎的设计参数

序号	工程名称	完建时间	差动式挑坎型式	运行状况	挑角差 $\theta_1 - \theta_2 = \Delta \theta$	齿宽比 $b_2/b_1$	齿高差 a m	反弧半径(m)	
								R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
1	丰满溢洪道	1953年	矩形	未空蚀	$40^\circ - 30^\circ = 10^\circ$	$1/1.73 = 0.58$	1.5	12	12
2	狮子滩溢洪道	1956年	矩形	未空蚀	$32^\circ - 26^\circ = 6^\circ$	$1.3/2 = 0.65$	1.5	15.045	17.22 5
3	梅山溢洪道	1959年	矩形	未空蚀	$44^\circ - 40^\circ = 4^\circ$			7.5	8.9
4	柘溪溢洪道	1963年	原矩形	严重空蚀	$40^\circ - 13^\circ = 27^\circ$	$3.4/4.6 = 0.74$	2.75	11.0	17.28
			现为梯形		$40^\circ - 20^\circ = 20^\circ$		1.6	11.0	15.0
5	新安江溢洪道	1960年	矩形，有掺气孔	未空蚀	$30^\circ - 12^\circ = 18^\circ$	$2.5/2.5 = 1.0$	1.6	20	47
6	古田一级溢洪道	1973年	矩形，有掺气孔	未空蚀	$40^\circ - 25^\circ = 15^\circ$	$1.6/2.56 = 0.63$	2.5	8.89	10.23
7	黄龙滩溢洪道	1976年	梯形	未空蚀	$34^\circ - 24^\circ = 10^\circ$		1.8	22.11	19.0

续表 2

序号	工程名称	完建时间	差动式挑坎型式	运行状况	挑角差 $\theta_1 - \theta_2 = \Delta\theta$	齿宽比 $b_2/b_1$	齿高差 am	反弧半径 m	
								$R_1$	$R_2$
8	安砂溢洪道	1978年	矩形, 有掺气孔	未空蚀	$25^\circ - 15^\circ = 10^\circ$	$2.8/3.6 = 0.78$	3.5	22.38	25.05
9	池潭溢洪道	1978年	矩形, 有掺气孔	未空蚀	左三孔 $38^\circ - 18^\circ = 20^\circ$	1.5/2.5 $= 0.60$	2.25	29.85	30
					右二孔 $25^\circ - 18^\circ = 7^\circ$		2.18	18.40	22

2 20世纪70年代起窄缝式消能型式在东江、安康、东风、拉西瓦、龙羊峡、二道河子等水电工程相继进行了大量试验研究工作。如东江溢洪道采用了窄缝式消能型式，建成后原型观测表明，该消能型式使挑射水流在空中获得了良好的竖向和纵向扩散，减轻了对下游河床的冲刷，对东江这类狭窄河谷和高水头溢洪道(深孔)泄洪消能效果显著。水布垭工程的冲刷模型试验表明，采用窄缝式鼻坎后，冲刷高程由160.0m抬高到175.0m。根据东江等几个国内外水电站成功的经验(见表3)，窄缝式挑流坎体型参数宜取收缩比0.15~0.5；长宽比，在中深孔大流量、低佛氏数时，取0.75~1.5，相应收缩比应取较大值；在表孔，高佛氏数时，长宽比宜取1.5~3.0，相应收缩比应取较小值；底板的挑角宜取 $0^\circ$ 或为正、负小挑角。

3 扭曲式鼻坎是一种新型的挑流鼻坎，是在鼻坎侧墙和底板上增加“曲面贴角”而形成，采用该鼻坎的目的在于使高速水流急剧转向，水舌纵向拉开并与下游河道的水流平顺衔接，即控制转向角度和入水落点。它的特点是鼻坎短，适应的导向角大 $0^\circ \sim 50^\circ$ ，水舌挑距远，水舌内缘拉开较长，已在龙羊峡、安康和水口等水电站工程中应用，效果良好。

5.4.2 保留原规范第48条的部分内容，对挑流消能的水舌挑距和入水宽度加以适当规定。

5.4.3~5.4.5 基本保留了原规范中第49条、第50条第3款的内容，规定了底流消能的设

计原则和适用条件。

表 3 国内外工程采用窄缝式挑坎的设计参数

序号	工程名称	泄水建筑物	坝高 (m)	收缩比	长宽比	挑角	国名	第一台机发电年份	出口断面
1	阿尔门德拉	左岸溢洪道(两孔)	202	2.5/5	10/5	0°	西班牙	1970年	“V”形
2	伊斯摩拉达	三孔溢洪道	237	20/48			哥伦比亚	1975年	
3	东江	溢洪道	157	2.5/10	30/10	0°	中国	1987年	矩形
4	东风	中孔	162	3/6	4.5/6	10°	中国	1994年	矩形
5	龙羊峡	溢洪道二孔	178	3/10	15.5/10	30°	中国	1986年	矩形
6	隔河岩	表孔、深孔	151	3.0/12.0、 2.0/4.5	20.0/12.0、 12.0/4.5	8.81~16.44、 4.09~4.96	中国	1993年	矩形
7	水布垭	溢洪道五孔	232	3.2~ 4.0/16	30.0/16.0	0~-10	中国	在建	矩形

5.4.6 基本保留了原规范中第 51 条第 2 款的内容，提出了面流和戽流消能时防止坝基和下游河岸淘刷的工程措施。

5.4.7 安康、五强溪水电站为宽尾墩和底流消力池结合的联合消能，岩滩、高坝洲水电站为宽尾墩和戽式消力池结合的联合消能，这些联合消能在实际运行中，下游水流衔接平稳。

宽尾墩的收缩比对扼制入池水流起重要作用，它对闸室水流实行收缩，过墩后再行突扩过程中局部水流进行调整，收缩比越小，消能率越高，但对于中、低坝而言，收缩到一定程度将影响闸孔泄流能力，此时闸室将产生淹没流，增加振动因素，这两点应作为选用收缩比的控制标准。如五强溪的收缩比 1/3，潘家口的收缩比 2/3，安康的收缩比 2/5，建议收缩比为 1/3~2/3(参见图 1)。

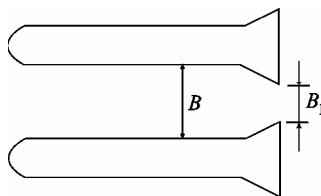


图 1 宽尾墩示意图

安康、五强溪大坝联合消能的消力池底板，在泄洪中遭到不同程度的破坏，除了不可抗拒的原因外，还与消力池底板存在水平施工缝、止水不可靠等因素有关。因此，联合消能应考虑其泄洪功率大的特点，加强底板的整体性。

5.4.8 新增条文。高坝挑流雾化现象较为严重，其对工程安全运行的危害性已被越来越多的工程实践所证实，黄龙滩、刘家峡、龙羊峡等工程都因泄洪雾化造成了运行不便和一定的经济损失。因此在泄水建筑物设计时，消能和防雾化两方面要统筹兼顾，对于露天设置的电气设备、输电线路和交通道路等，应避免雾化区，如无法彻底避开，应采取必要的保护措施。对于两岸山体，尤其是干旱少雨地区或有潜在不稳定因素时，应根据雾化范围的强度，采取分区保护措施。本次修编标准将雾化问题单列一条，以示强调。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 6 坝体断面设计

### 6.1 荷载及其组合

6.1.1 当正常蓄水位与设计洪水位不一致时，两者作为基本荷载组合均应进行核算。

6.1.2 保留原规范规定。

### 6.2 主要设计原则

6.2.1 基本保留原规范第 74 条规定，明确规定以材料力学法和刚体极限平衡法计算成果作为确定坝体断面的依据。有限元法主要用于坝体孔口及结构复杂部位的应力分析。

鉴于坝踵区的应力集中现象现象严重，有可能已进入非线性阶段，而该区域材料的非线性本构关系尚难确定，目前难以采用有限元法准确分析该部位的应力。因此在确定坝体断面时的应力分析中仍用材料力学方法。

在坝内孔口和结构复杂部位可采用有限元法确定其应力分布，据以进行钢筋配置。虽然在进行上述有限元分析时，有的也开始进入非线性阶段，但按线弹性有限元法确定的应力，据以配筋，是偏于安全的。采用非线性有限元法确定应力当然更好，但混凝土材料的非线性本构关系难以准确选定，且大坝混凝土的不均匀性更大，也更难以准确选定。

高坝及修建在复杂地基上的中坝宜进行有限元分析，以了解坝体的应力分布和变形状况，必要时可采用地质力学模型试验等加以验证。

6.2.2 保留 SDJ21—78《补充规定》第 1 条的有关规定。

6.2.3、6.2.4 宽缝重力坝和空腹重力坝从发展趋势看，采用较少。可采用材料力学法和有限元法计算坝体应力。

6.2.5 横缝灌浆的重力坝属于三向应力问题，设计中如需考虑其整体作用，其强度计算可用悬臂梁和水平拱分载法计算，也可用三维有限元法或试验确定。也可根据实际情况仍作平面问题处理，三向作用带来的好处作为安全裕度。

### 6.3 坝的应力计算

6.3.1~6.3.8 基本保留原规范规定。在坝体上游面的最小主应力 $\sigma$ （不计扬压力）的规定中取消了 $\sigma \geq 0.25\gamma H$ 的规定，因根据国内外工程经验，此规定不起控制作用。

大坝混凝土与一般构件混凝土不同，属于大体积混凝土，其使用的龄期在 90d 以上，保证率为 80%，标号相对较低，并掺用粉煤灰等，为了与相关规范保持一致，混凝土的极限抗压强度改为 90d 龄期的 15cm×15cm×15cm 立方体的强度。

增加了对有限元法计算坝体应力的要求与规定。

## 6.4 坝体抗滑稳定计算

**6.4.1** 坝体抗滑稳定计算恢复抗剪强度公式，与抗剪断强度公式并列。工程实践表明，坝基岩体条件较好，采用抗剪断强度公式是合适的；但当坝基岩体较差时，如软岩或存在软弱结构面时，采用抗剪强度公式也是可行的。所以设计时应根据工程地质条件选取适当的计算公式。

对坝基岩体内存在软弱结构面、缓倾角裂隙时，应进行坝基深层抗滑稳定分析，首先应按抗剪强度公式计算，并满足表 6.4.1-1 的要求；如采取工程措施后仍不能满足表 6.4.1-1 的要求时，可按抗剪强度计算公式（E.0.1-3）、公式（E.0.1-4）计算坝基深层抗滑稳定安全系数，其指标应经论证确定，论证时可参考表 4 所示的安全系数。对于双滑面、多滑面等情况，由于 BD 面是假定的， $\varphi$  值又取为 0，又用等  $K$  法计算，有不少安全裕度。但对于单滑面，没有上述安全裕度，其安全系数取值尤须慎重。

表 4 坝基深层抗滑稳定安全系数

荷载组合		坝的级别		
		1	2	3
基本组合		1.35	1.30	1.25
特殊组合	(1)	1.20	1.15	1.10
	(2)	1.10	1.05	1.05

**6.4.4** 在进行坝基岩体存在的软弱结构面、缓倾角裂隙的深层抗滑稳定分析时，以刚体极限平衡法计算为主。有限元法目前各种分析方法发展很快，稳定安全系数也有多种定义，各种方法的计算结果相差较大，尚难以作为判据。但可作为对工程的深层抗滑稳定性进行综合评定和处理方案选择的依据。

## 6.5 溢流坝闸墩结构设计

**6.5.3** 我国大江大河上的混凝土溢流坝，由于泄洪流量大，多采用大跨度的弧形闸门，如葛洲坝大江、二江泄水闸、水口、岩滩等坝的表孔等，弧门承受巨大水推力。为改善支承结构的应力状态，均采用预应力闸墩，运行情况良好。



## 7 坝基处理设计

### 7.1 一般规定

7.1.1 保留原规范第 85 条的规定。根据国内外岩基上混凝土重力坝基础处理经验提出处理后的坝基应符合强度、稳定性、抗渗性和耐久性等要求。

7.1.2 保留原规范第 86 条的规定。阐明基础与其上部结构之间的相互关系，不宜单从基础处理方面来满足上部结构要求，应通过研究论证，采取措施使上部结构与基础相互协调和适应。改变上部结构的措施是多方面的，国内各工程有很多成功经验，取得良好效果。可采取的措施有：扩大大坝底宽、调整分缝分块位置、坝体横缝进行灌浆等。

7.1.3 基本保留原规范第 87 条的规定，明确提出应论证两岸坝肩部位和上、下游附近地区的边坡与岸坡的稳定、变形和渗流情况。此外，还应研究泄水、引水建筑物运用的影响，尤其应考虑施工或蓄水对稳定和渗透带来的变化。

7.1.4 根据国内外岩溶地区筑坝经验，即使地质条件复杂，岩溶发育，只要工程地质勘察清楚，又能认真防渗处理的都能达到设计要求。

### 7.2 坝基开挖

7.2.1 从多年来工程实践中发现，过去对建基面的开挖要求偏严，使有些工程开挖量过大，影响造价和工期。

7.2.2 基本保留原规范第 90 条的规定。若建基面高差过大或向下游倾斜时，应开挖成大台阶状，台阶的高差应与混凝土浇筑块的尺寸和分缝的位置相协调，并和坝趾处的坝体混凝土厚度相适应。对地形高差悬殊部位的坝体应调整坝段的分缝。建基面形状应根据地形地质条件及上部结构的要求确定。上游、下游基础面高差过大往往造成向下游滑动趋势，因此应控制上游、下游基础开挖高差。小台阶往往会连通形成向下游倾斜面，宜将基础面开挖成大台阶，台阶面略向上游倾斜；大台阶高差应与混凝土浇筑层厚和分缝位置相协调，一般为 3~6m(但需满足温控要求)，坝趾受力最大，坝块厚度不能过小。

7.2.3 保留原规范第 91 条的规定。岸坡坝段开挖台阶宽度一般不小于坝段宽度的 1/3。岸坡坝段的侧向稳定往往不易满足要求，可适当调整横缝间距，减小坝段宽度或平行坝轴线方向开挖足够宽度的台阶式平台，平台的本身应考虑基岩构造节理的产状，以保证坝段的侧向稳定。此外，也可将全部或部分坝段的横缝采取接缝灌浆以保证坝体侧向稳定。

7.2.4 基本保留原规范第 93 条的规定。

7.2.5 保留原规范第 94 条的规定。爆破方式可采用梯段爆破、预裂爆破方式。梯段爆破、预裂爆破造成的破坏较小，五强溪、葛洲坝、东江、李家峡等工程坝基开挖均采用预裂爆破法。葛洲坝、王甫洲等工程坝基为易风化、泥化的岩体，开挖出建基面后即采用喷水泥砂浆保护层或边挖边浇混凝土。

### 7.3 坝基固结灌浆

7.3.1 基本保留原规范第 95 条的规定。实践经验表明，固结灌浆对加强基础浅部的防渗，降低建基面扬压力作用明显。多数工程一般在坝基上游和下游 1/4~1/3 的范围内进行固结灌浆。

坝基中的岩溶洞穴往往难以彻底清理，且周边岩体裂隙较发育，根据隔河岩、高坝洲等工程经验，岩溶洞穴在进行适当清理后，需在周边及底部加强固结灌浆。

7.3.2 基本保留原规范第 96 条的规定。

7.3.3 根据近十多年来国内实践经验，固结灌浆孔布置多取梅花形，灌浆孔方向，应按其穿过较多主要裂隙来确定。

7.3.4 保留原规范第 98 条对帷幕上游区和地质缺陷部位的坝基固结灌浆应在有 3~4m 混凝土盖重情况下进行的规定，其它部位的固结灌浆提出可采用无混凝土盖重或找平混凝土封闭方式施灌。为解决固结灌浆与混凝土浇筑的矛盾，三峡、高坝洲工程进行了厚 15~30cm 的找平混凝土方式的固结灌浆试验，试验结果表明这种方式的固结灌浆满足基岩加固要求。三峡工程在坝基固结灌浆与混凝土浇筑矛盾较突出的部位采用了找平混凝土封闭方式进行固结灌浆。

7.3.5 基本保留原规范第 98 条对固结灌浆压力的规定。为提高固结灌浆效果，在不抬动基础岩体和盖重混凝土的原则下，宜尽量提高灌浆压力，具体根据地质条件和灌浆试验确定。固结灌浆压力可分序适当提高。三峡坝基岩体为闪云斜长花岗岩，固结灌浆压力如下：在混凝土盖重小于 3m 时 I 序孔第 1 段采用 0.25Mpa，II 序孔第 1 段采用 0.4Mpa；在混凝土盖重为 3m 和找平混凝土方式时 I 序孔第 1 段均采用 0.3Mpa，II 序孔第 1 段均采用 0.5Mpa。

### 7.4 坝基防渗和排水

7.4.1 根据近 10 多年来研究和工程实践，对坝基防渗帷幕和排水作用的认识有所提高，帷幕以防渗减少渗漏量为主，排水以降低坝基扬压力为主，所以应结合坝基工程地质、水文地质条件考虑水库功能和坝高，分析研究确定帷幕和排水的设置。

7.4.2 坝基及两岸的防渗措施大多采用水泥灌浆帷幕。当坝基一定深处存在水平夹泥裂隙，

采用帷幕灌浆效果较差时，可采用混凝土齿墙嵌入下部较好岩体，截断滑动面增加渗径。当两岸岸坡覆盖层较深而坝高不大时，可采用槽挖至基岩回填混凝土防渗墙；当覆盖层很深槽挖不安全时，可采用洞挖或井挖后回填混凝土。

多泥沙河流水库蓄水一段时间后，坝前游积的泥沙可起到防渗铺盖作用，但初期淤沙难以满足防渗要求。刘家峡、三门峡水库等位于多泥沙河流上的坝后期实测坝踵扬压力系数为 0.6~0.8，泥沙起到一定的防渗作用。

**7.4.3** 保留原规范第 101 条的规定。阐明了防渗帷幕应达到的要求。

**7.4.4** 保留原规范第 100 条的有关规定。蓄水后进行灌浆效果很差，难度很大。如：古田溪高洋坝蓄水后进行主帷幕灌浆效果极差，江垭、陈村、丰满等坝在运行若干年后进行帷幕补强，也难以达到设计防渗标准。

**7.4.5** 根据理论研究和国内许多工程实测坝基扬压力和渗漏量的观测资料，并参考国外同类坝帷幕防渗标准，本标准规定的帷幕标准比原规范适当降低。

丰满、青铜峡坝基帷幕灌浆岩体内透水率  $q$  分别在 2~3Lu，帷幕下游排水孔处实测扬压力分别为 0.2H、0.15H 和 0，均小于设计值，渗漏量也不大。统计的其他 10 多座混凝土坝，如新安江、丹江口、刘家峡、黄龙滩、龚嘴、高坝洲、隔河岩等坝排水孔处大部分实测扬压力远小于设计值，渗漏量远小于河流多年平均流量的 0.1%~1%。美国、前苏联、澳大利亚等国家混凝土坝帷幕标准均在 3~7Lu。前苏联规定坝高大于 100m 采用 1Lu。

**7.4.6** 基本保留原规范第 102 条关于帷幕深度的规定。该条是总结一些工程实践经验而确定的。根据帷幕是否伸入相对隔水层，帷幕可分为封闭式和悬挂式。相对隔水层埋藏较浅则帷幕伸入到该层内。相对隔水层埋藏较深或分布无规律的基础，帷幕深度按满足降低建基面扬压力、基础渗压力和渗漏量等要求根据实际地质条件确定，如盐锅峡、石泉、桓仁等坝根据实测岩层裂隙产状，确定将帷幕孔穿过紧靠上游附近的较深处裂隙；回龙山、柘溪等坝通过渗流计算确定帷幕深度，在帷幕和坝基排水共同作用下，使渗透压力降至允许值以内。隔河岩渗流计算和三维电模拟试验表明，相对隔水层埋藏很深，加深帷幕对降低渗压力作用不是很明显。

**7.4.7** 根据国内外工程实践经验制定。乌江渡坝高 165m，左岸布置了 4 层灌浆隧洞，层间间距约 35~40m，右岸布置了 5 层灌浆隧洞，层间间距约 30~35m；隔河岩坝高 151m，左、右岸山体各设 4 层灌浆隧洞，层间间距 39~59m；土耳其凯班土石坝——重力坝混合坝型，坝高 115~221m，土石坝一侧布设 6 层隧洞，重力坝一侧布设 8 层隧洞，两种坝型接头部分岩体内布设 5 层隧洞。岩溶地区灌浆隧洞宜布设在岩溶发育的高程。

灌浆帷幕线沿剖面上层、下层搭接方式应根据地质条件、相关建筑物结构布置等因素确定，如乌江渡坝采用斜接式，猫跳河四级右岸采用直接式，隔河岩采用错列式，以上工程均安全运行。

**7.4.8** 为防止绕坝渗漏，两岸坝头帷幕宜伸入相对隔水层或地下水位高于水库正常蓄水位的部位。整个帷幕河床与岸坡部位保持连续性，才能封闭渗水通道。

**7.4.9** 基本保留原规范第 105 条的规定。对可能产生渗透破坏或裂隙特别发育坝基和 100m 以上坝高可采用两排孔。若深层裂隙不很发育，可考虑帷幕前固结灌浆对基础浅层所起的阻渗作用，帷幕孔采用一排，如刘家峡、响洪甸、石泉坝采用一排，黄坛口坝属中坝也采用一排。帷幕孔、排距主要根据灌浆试验确定，规定值作为参考。

为节省工程投资，近年来国际上和我国部分大坝帷幕设计按单排孔视钻灌施工资料逐渐加密孔距方式布孔，如国际上的 GIN 灌浆法要求按这种原则布孔，我国的高坝洲右岸防渗帷幕按此法布孔，大大节省了灌浆工程量。

帷幕两排时，其中一排主帷幕孔灌浆至设计深度，另一排孔深可适当变浅，主要是渗流水向深部渗透时，水头损失大，渗透比降降低之故。

**7.4.10** 基本保留原规范第 106 条的规定。帷幕灌浆采用较高压力有利于提高防渗效果，为保证帷幕孔第 1 段灌浆压力能达到 1.0~1.5 倍坝前静水头，中坝、高坝一般应浇筑 25~40m 厚的混凝土后才进行帷幕浆施工，具体混厚度视坝高和要求的灌浆压力而定。为了防止灌浆抬动基岩，应进行灌浆试验确定灌浆压力，本条规定的灌浆压力可作为参考，第一段灌浆压力达不到 1.0 倍坝前静水头时，应考虑采取提高灌浆压力的措施。

**7.4.11** 综合原规范第 107 条、108 条、109 条有关坝基主排水和辅助排水布置原则的规定。为防止帷幕产生渗透破坏，保留了原规范对建基面上主排水孔与帷幕孔的距离不小于 2m 的规定。

**7.4.12** 封闭抽排措施在葛洲坝大江消力池护坦应用成功后，近 10 多年来在我国积累了较多的经验。对尾水位较高的坝，采用封闭抽排措施后，坝基扬压力采用封闭抽排的折减系数，可减小坝体断面。

**7.4.13** 丹江口坝 2~3 号、13~17 号、33~41 号坝段坝基为弱透水的中性火成岩只设排水而不设帷幕；三门峡坝基为闪长岩  $q \leq 1Lu$  的地段未做连续帷幕，只设排水，以上两个坝实测扬压力均小于设计值。

**7.4.14** 保留原规范第 110 条有关排水孔孔距的规定。国内一些工程设置的排水孔孔距均在此范围内。

7.4.15 保留原规范第 110 条有关排水孔孔深的规定。工程上凡坝基深部有裂隙承压水层、较大透水区，排水孔均穿过此部位。

7.4.16 岸坡坝段的坝基设置专门的排水设施有利于坝肩和岸坡坝段的侧向稳定，是否设置排水洞一般根据坝肩和岸坡坝段的侧向稳定计算及地形、地质条件确定。如黄坛口、桓仁坝的右坝头及黄龙滩两岸坝头内设置排水隧洞，扬压力均小于设计值；新安江 2 号坝段向岸坡钻设扇形排水孔，使一直超过设计值的渗透压力降低到允许值以下；石门坝右坝肩增打了 5 个水平排水孔，使渗透压力降到地面高程；丹江口坝左岸岸坡设置的横向廊道内向山体钻设排水孔降低了该部位的渗透压力。

7.4.17 葛洲坝二江泄水闸闸基黏土质粉砂岩和黏土岩已泥化的结构面部位，采用排水孔内设组装式过滤体，有效地保护了泥化结构面的渗透稳定，运行 20 多年来情况良好，过滤体采用的泡沫塑料未发现严重老化，至今未进行更换。隔河岩水垫塘封闭排水孔页岩段采用工业过滤布裹硬质花管保护，运行情况表明，受保护的页岩段孔壁未发生严重塌孔。王甫洲泄水闸闸基排水孔黏土岩采用孔内回填砂砾反滤料保护，运行中未发现异常现象。

## 7.5 断层破碎带和软弱结构面处理

7.5.1 基本保留原规范第 113 条的规定。阐明了对坝基范围内断层破碎带或软弱结构面处理应考虑的问题。并提出地震区的断层破碎带和软弱结构面处理要求应适当提高，低坝坝基断层破碎带和软弱结构面处理要求可适当降低。

7.5.2 基本保留原规范第 114 条的规定。强调按断层破碎带组成物性质及其基础的强度和压缩变形的影响程度来决定处理方式，如断层破碎带组成物主要为硬性构造岩，对基础的强度和压缩变形影响不大时，适当挖至较完整岩石。若组成物以软弱的构造岩如糜棱岩、断层泥为主，对基础的强度和压缩变形有一定影响时，则挖除后用混凝土塞加固。断层破碎带规模较大或交汇带，组成物主要为软弱或夹泥岩，对基础的强度和压缩变形影响较大，规定经专门研究后加以处理。目前国内普遍使用有限元法计算各种不同产状和组成物的断层破碎带的强度和变形，找出最危险的部位，通过多种处理方案比较，提出最有效的方案。

7.5.3 提高深层缓倾角软弱结构面稳定性处理措施很多，应根据工程具体情况确定。如三峡左厂 1~5 号坝段深层抗滑稳定问题采用厂坝联合受力增加抗力、降低坝基上游建基面高程、坝基增设排水洞、预应力锚索等；葛洲坝二江泄洪闸、岩滩 16~17 号坝段、天生桥二级溢流坝、铁门等坝踵深齿墙；安康中表孔坝段、桓仁 4 号坝段、伊泰普坝等用混凝土洞塞；长诏、大黑汀等大坝用坝趾深齿墙；岗南溢流坝等用抗滑桩；双牌溢流坝用预应力锚索，均取得良好效果。

**7.5.4** 软弱结构面处理措施国内积累了很多经验,本条基本包含了国内外采用的坝基软弱结构面处理措施。提供一些工程实例如下:大化重力坝2~7号坝段和10号坝段采用坝踵断层处开挖深10m的齿墙辅以厚3m的混凝土防渗铺盖;葛洲坝二江泄水闸采用上游深13.5m齿墙;天生桥二级溢流坝上游齿墙深8m,明挖最大深度控制在13.5m以下;安康中、表孔坝段坝基深部的缓倾角断层破碎带沿 $f_1^b$ 软弱带设2m×3m、4m×5m抗剪混凝土洞塞;桓仁坝4号坝段坝基下 $15^\circ \sim 20^\circ$ 倾向下游的第9层内有3~4层厚0.1~1.0cm的浅绿色亚黏土结构面,第10层内的三层同类结构面累计厚达30cm,两结构面采用洞挖回填混凝土,均满足抗滑稳定要求;长诏重力坝施工过程中发现下游坝基有多条软弱结构面后采用坝趾深齿墙处理;双牌大头坝运行10年后,挑流鼻坎下游冲刷18m深坑内发现基岩下埋有5层倾下游破碎带,用混凝土回填并延长鼻坎,再用预应力锚索穿过破碎结构面锚固于完整岩石上;岗南溢流坝挑坎下,开挖深40m竖井回填混凝土桩,使顶部与底坎连成整体。

**7.5.5** 基本保留原规范第116条的规定。大体积的混凝土塞、大齿墙或混凝土洞塞混凝土温度的升降温使混凝土易与周围岩体脱开或产生内部裂缝,影响接触面的抗剪指标。

**7.5.6** 基本保留原规范第117条的规定。当断层破碎带规模较大、倾角较陡时,可采用防渗墙处理。伸入水库的陡倾角断层破碎带或软弱结构面当有夹泥时,穿过帷幕地段一般采用水泥防渗灌浆的效果不好,可采用超细水泥、湿磨细水泥进行防渗灌浆,必要时可采用化学灌浆,亦可沿构造打井回填混凝土方式处理,需根据实际地质条件进行专门防渗处理设计。提供几个工程实例如下:新安江2号、3号坝段原施工期帷幕灌浆采用硅酸盐水泥,运行多年后,该部位发现破碎节理中的充填物泥化漏水,后用江山水泥厂生产的525号硅酸盐早强水泥(细度 $80\mu\text{m}$ 筛余6.4%) $q < 1\text{Lu}$ 部位进行补强灌浆时,吸水不吸浆,1988年改用超细水泥灌浆,改进施工工艺,较大地提高了可灌性和胶结强度;日本山佐重力坝上用超细湿磨水泥单液加固灌浆,使断层切割的溶蚀性花岗岩渗透性为 $0.3 \sim 1.0\text{Lu}$ ,达到防渗和提高承载能力;湖南镇大坝8号坝段、新安江大坝、凤滩空腹拱坝均打不同深度的竖井回填混凝土防渗,其中凤滩右岸16号泥化结构面上游3号防渗井深达28m,处理效果甚好。

蓄水后坝基中断层破碎带、微裂隙较多地段未处理而发生泥化的实例较多,当采用常规水泥灌浆无法解决时,国内多采用化学灌浆处理,如龙羊峡坝肩、陈村坝7~11号坝段坝基、丹江口坝21~28号、9~11号、14~16号坝段坝基、湖南镇坝12号、13号坝基帷幕之间均进行过化学灌浆,效果良好。

**7.5.7** 基本保留原规范第118条的规定。坝基断层破碎带或软弱结构面存在夹泥,设置排水孔能起到降低扬压力作用时,排水孔内应采取保护措施,确保运行安全,见**7.4.17**条文说明。

## 7.6 岩溶的防渗处理

7.6.1 根据国内外岩溶地区筑坝经验,即使地质条件复杂,岩溶发育,只要工程地质勘察清楚,采用帷幕灌浆结合溶洞回填,一般能均取得成功。岩溶地区防渗灌浆工程量一般较大,如乌江渡大坝帷幕灌浆总长达 21 万 m;东风达大坝帷幕灌浆总长 32 万 m;隔河岩达大坝帷幕灌浆总长达 18.5 万 m,回龙山大坝帷幕灌浆总长达 1.17 万 m。对规模较大的岩溶洞穴可采用回填混凝土处理,如乌江渡、东风、隔河岩、回龙山、高坝洲等工程均对坝基防渗有影响的溶洞采用混凝土填堵。

7.6.2 连通上下游的溶洞一般对坝基防渗和稳定、变形均有不同程度的影响,需根据实际分布情况进行开挖回填处理。

7.6.3 防渗帷幕线通过岩溶发育较弱地带,防渗处理较易,如必须通过岩溶暗河或管道时,幕线力求与其垂直,这样防渗幕线可缩短,效果较好。

7.6.4 根据国内经验,当相对隔水层埋藏较深或分布无规律时,可采用封闭式、悬挂式或封闭式与悬挂式结合的混合式帷幕。封闭式的特征是幕底接相对隔水层,代表性工程有隔河岩、猫跳河一级、二级、三级水电站;悬挂式特征是幕底不接相对隔水层,代表性工程有乌江渡、猫跳河六级、花溪等水电站;混合式特征是幕底部分接相对隔水层,部分悬挂,代表性工程有猫跳河四级水电站;上述水电站大坝帷幕灌浆布置型式都取得了成功,但每个新建工程应根据具体条件,在确保大坝安全的前提下,通过技术经济比较选定。

7.6.5 由于岩溶的溶蚀裂隙是不规则的,溶洞洞穴大小不一,灌浆孔排数、排距、孔距和灌浆压力需根据灌浆试验,并按不同情况、不同部位确定。

7.6.6 岩溶地区高坝、中坝一般采用水泥灌浆,遇到溶洞灌浆漏量特别大时,可用水泥砂浆或水泥与黏土、膨润土、粉煤灰等混合浆液。对深部无充填物溶洞,可钻大口径钻孔灌注高流态细骨料混凝土。大规模溶洞一般设法先进行混凝土填塞,再进行灌浆。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 8 坝体构造

### 8.1 坝 顶

8.1.1 原规范第 119 条关于坝顶高程和防浪墙顶高程的确定不够明确, 本标准作了明确规定。

8.1.4 基本保留了原规范第 121 条的规定, 补充了工作桥采用预应力钢筋混凝土结构的内容。

### 8.2 坝内廊道及通道

8.2.2 合并原规范第 125 条和 132 条的内容。

8.2.3 基本上保留了原规范第 126 条的内容, 根据近年来的工程经验, 将多层廊道间的层高放宽到 20~40m。

8.2.4 基本上保留了原规范第 129 条的内容。为方便运行管理, 补充了坝后设置交通桥的规定。

8.2.5 为减少立模的复杂性, 加快施工进度, 补充了坝内廊道采用矩形断面的规定, 并力求廊道断面标准化。

8.2.6 基本保留原规范第 131 条的内容, 仅根据目前国内外工程实践, 将基础灌浆廊道的高度改为 3.0~3.5m。

### 8.3 坝体分缝

8.3.4 主要阐明在混凝土重力坝坝内或坝下游布置厂房, 横缝间距要和机组段的间距相适应; 在坝顶布置溢流表孔, 横缝间距要和溢流孔口匹配。坝内布置压力钢管、泄水孔和导流底孔, 横缝间距也要满足这些设施结构上的需要, 不使孔洞过分削弱坝体结构。

8.3.10 我国斜缝不灌浆已进行过不少研究工作, 并且已在安砂、新安江等大坝工程中实际应用, 效果良好。国外如日本也有一些坝是采用斜缝施工的, 但大规模采用的例子不多。

### 8.4 坝体止水和排水

8.4.2 新增内容, 要求溢流面的止水须与金结埋件焊接。

8.4.3 阐明横缝中止水设施的布置, 基本上保留原规范第 144 条的内容, 并将原规范第 149 条中“横缝止水设施的后面, 宜设排水孔, 必要时设检查井”的布置要求, 改为“第二道止水片下游宜设排水或检查井”, 一并作为布置要求列入本条。

8.4.4 规定了止水片的材料、形状、厚度和埋入混凝土内的尺寸要求, 基本上保留原规范第 144 条的部分内容和第 145 条的全部内容。



8.4.7 基本保留了原规范第 151 条的内容，并结合工程实践，补充了排水孔的型式。

## 8.5 大坝混凝土材料及分区

8.5.2 大坝常态混凝土仍按原规范分成 6 区，各分区特性应符合表 8.5.2 的要求。

8.5.3 由于坝体内部孔洞周围的混凝土局部应力集中，地震对坝体的震害裂缝主要集中于坝体上部，因此这些部位采用的混凝土强度应适当提高。

8.5.4 将原规范的混凝土抗渗标号改为抗渗等级，符号“S”改为“W”。将混凝土重力坝按承受的水力坡降分为  $i < 10$ ， $10 \leq i < 30$ ， $30 \leq i < 50$ ， $i \geq 50$  四档，相应的抗渗等级分别定为 W4、W6、W8、W10。

8.5.5 大坝混凝土的抗冻等级采用 SL211 的规定。

8.5.6 根据三峡等工程所采用的水灰比，对原规范所规定的最大水灰比作了适当降低，提高了混凝土耐久性。

8.5.7 本条保留原规范第 153 条注(8)对环境水有侵蚀性的情况下混凝土浇筑所采用的水泥及水灰比的规定。

8.5.8 低流态高强度混凝土或高强硅粉混凝土先后在龙羊峡、大伙房、葛洲坝、映秀湾、沙溪口等工程中使用，效果较好。20 世纪 80 年代初期使用时，曾存在干缩大、析水少，导致施工时易开裂等缺陷，在 20 世纪 90 年代通过复合掺用膨胀剂和加强早期保湿养护等措施得到解决。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 9 温度控制及防裂措施

### 9.1 一般规定

9.1.1 保留原规范第 155 条内容。一般情况下,坝高在 15m 以下的低坝可以不进行温控设计,高度在 15~30m 的低坝可参照类似工程的经验进行温控及防裂设计。对于高坝,因其温控防裂要求较高,一般需采用有限元法进行温度场及温度应力分析,提出合适的温控防裂措施。

9.1.2 保留原规范第 156 条内容。混凝土裂缝分为三类,表面裂缝:缝宽小于 0.3mm,缝深不大于 1m,平面缝长小于 5m,呈规则状,多由于气温骤降期温度冲击且保温不善等形成,对结构应力、耐久性和安全运行有轻微影响;深层裂缝:缝宽不大于 0.5mm,缝深不大于 5m,缝长大于 5m,呈规则状,多由于内外温差过大或较大的气温骤降冲击且保温不善等形成,对结构应力、耐久性有一定影响,一旦扩大发展,危害性更大;贯穿裂缝:缝宽大于 0.5mm,缝深大于 5m,侧(立)面缝长大于 5m,平面上贯穿全仓或一个坝块,主要是由于基础温差超过设计标准,或在基础约束区受较大大气温骤降冲击产生的裂缝在后期降温中继续发展等原因形成,使结构应力、耐久性和安全系数降到临界值或其下,结构物的整体性、稳定性受到破坏。贯穿裂缝及深层裂缝危害性大,必须避免。

9.1.3 保留原规范第 157 条内容。我国 40 多年来修建混凝土坝的实践经验证明,为避免和减少大坝混凝土裂缝,除了分缝、分块和控制温度之外,还必须改善材料性能和提高混凝土的抗裂性能,设计和施工中有一定的控制指标,一般采用极限拉伸值,有些施工工地限于设备条件不能做极限拉伸试验时,可根据试验成果提出相应的混凝土抗拉强度作为施工现场的控制指标。

9.1.4 强调收集并整理坝区气候条件相关资料。混凝土温度控制标准及措施与坝址气候等自然条件密切相关,必须收集坝址气温、水温和坝基地温等资料,并进行整理分析,作为坝体最高温度控制、表面保温及水库水温选定的基本依据。同时,影响水库水温因素众多,关系复杂,上游库水温度可按不同水库类型进行计算并结合类似水库水温综合分析确定。

9.1.5 强调高、中坝混凝土性能应通过试验确定。目前有的高、中坝混凝土温控设计中混凝土强度、变形等基本参数的取值,因试验工作跟不上而假定数据,影响混凝土温度及温度应力分析的准确程度。

## 9.2 温度控制标准

9.2.1 保留原规范第 164 条内容，对基础容许温差等作具体规定，以利防裂。原规范提出的基础容许温差在 20 多年的应用中认为基本合适，三峡大坝混凝土基础允许温差见表 5，五强溪重力坝采用通仓浇筑，基础强约束区允许温差为 14℃，基础弱约束区允许温差为 17℃。对基础混凝土容许温差应进行论证分析的几种情况中增列：混凝土自生体积变形有明显稳定的膨胀或收缩者和基础回填混凝土、混凝土塞及陡坡等浇筑块。目前一些大坝混凝土通过控制水泥中氧化镁含量等措施控制混凝土自生体积变形，有利于混凝土温控防裂。基础混凝土填塘等具体情况不同，基础温差要求也不同。

表 5 三峡大坝基础允许温差

部 位	浇筑块长边尺寸			
	1≤20m	20<1≤30	30<1≤40	40<1≤50
基础强约束区	22℃	21~20℃	19~17℃	16℃
基础弱约束区	25℃	24~23℃	22~20℃	19℃

9.2.2 保留原规范第 165 条内容。正常浇筑块（即上层新混凝土均匀上升高度  $h$  大于 0.5 块长者）上下层温差只要适当采取措施就能满足这个温差要求，也未发现什么问题故而容许温差不变。当上层混凝土浇筑高度  $h$  小于 0.5 块长时，上下层温差应根据薄层浇筑块温度应力分析结果提出合适的温差标准。

9.2.3 基本保留原规范第 166 条及第 167 条内容，混凝土裂缝绝大多数是表面裂缝。在一定条件下表面裂缝可发展为深层裂缝，甚至继续发展为贯穿性裂缝，加强混凝土表面保护至关重要。气温骤降是引起混凝土表面裂缝的最不利因素之一。低温季节内外温差过大或混凝土表面温度梯度过大，也是引起混凝土表面裂缝的原因之一，因此应特别注意气温骤降期间及低温季节混凝土表面保护。因内外温差控制操作性较差，施工中一般根据不同季节或各月的气温控制相应坝体内部最高温度。

9.2.4 保留原规范第 169 条内容，原规范关于相邻坝块高差的规定，根据实践经验认为基本合适，仍予保留。为避免侧面暴露时间过长，参照其他相关规范对相邻块浇筑时间提出要求。

## 9.3 温度控制及防裂措施

9.3.1 将原规范第 157 条中混凝土标号的相关规定作为温控防裂措施之一列入本条中，提出混凝土相关性能要求，与 9.1.3 条相对应。三峡大坝基础混凝土为  $R_{90}200$ ，要求 28d 龄期混

混凝土极限拉伸值  $\epsilon_p \geq 0.80 \times 10^{-4}$ 。五强溪重力坝基础混凝土为  $R_{28}200$ ，要求 28d 龄期混凝土极限拉伸值  $\epsilon_p \geq 0.85 \times 10^{-4}$ 。

**9.3.2** 强调提高混凝土自身抗裂能力，作为温控防裂措施之一。

**9.3.3** 保留原规范第 158 条、第 159 条及第 162 条内容，强调了纵、横缝的间距与地基条件、坝体布置、坝体断面、温度应力和施工条件等因素相关，应通过技术经济比较确定。混凝土坝横缝间距目前一般采用 15~20m，少数因结构布置等因素超过 20m。对于斜缝采用较少，取消原规范第 161 条有关斜缝设置相关规定。通仓浇筑时，上游面易出现深层裂缝，对此应注意防止。

**9.3.4** 对保温作具体要求。

**9.3.5** 基础约束区混凝土温控要求严，一般要求在低温季节浇筑，浇筑时短间歇均匀上升，避免薄层长间歇，在有利季节多浇筑混凝土。短间歇均匀上升是避免气温骤降冲击产生表面裂缝最有效的办法。

**9.3.6** 基本保留原规范第 163 条内容。混凝土浇筑层厚对于顶面散热和工程进度都有很大影响，薄层浇筑有利于散热，但层厚较薄（小于 1.0m），对浇筑时防止预冷混凝土温度回升不利，且增加了浇筑层次和水平工作缝处理工作量，对施工总进度也不利；层厚过大，不利散热，且层厚超过 3.0m 时模板架立和固定较困难。因此，混凝土浇筑层厚应根据温度控制标准、混凝土施工技术水平、机械设备浇筑能力及温度控制综合措施等因素通过计算确定。

**9.3.7** 混凝土浇筑温度为混凝土经过平仓振捣后，覆盖上层混凝土前，在距混凝土面 5~10cm 深处的温度。保留原规范第 171 条预冷混凝土相关内容。对于高坝和重要工程，不采取人工冷却措施很难达到设计的温控标准。夏季施工时对浇筑的预冷混凝土应考虑保冷措施，以防温度回升过大。

**9.3.8** 坝体混凝土通水冷却一般分为初期、中期、后期，初期即一期通水冷却，其作用主要是削减早期混凝土最高温度峰值，高温季节一般采用制冷水，其他季节可采用低温河水。中期、后期即二期通水冷却，中期通水一般用于削减越冬期间可能出现的过大内外温差，于冬季来临前进行，一般采用河水；后期通水主要是满足坝体接缝灌浆要求，使坝体达到接缝灌浆温度，通水时间较紧、坝体接缝灌浆温度较低时采用制冷水，否则可采用河水。由于通水

冷却期间如果坝体混凝土温度与冷却水温之间的温差过大、坝体降温速度过快可能引起混凝土裂缝，故参照其他相关规范对此提出相应要求。

**9.3.9** 工程实践表明高标号混凝土墩、墙和抗冲磨过流面等部位，虽采取混凝土温度控制措施，仍在施工期产生较多裂缝。据葛洲坝等工程采用综合措施限制这类结构部位裂缝宽度的经验，即采用严格温度控制措施力争防裂，如经分析仍难以达到防裂目的，则可以从结构分缝、温度控制配合钢筋限裂的原则进行设计。基于上述考虑增加本条款。

**9.3.10** 保留原规范第 172 条内容。坝体接缝灌浆一般在低温季节进行，但有些工程施工工期紧，在气温较高季节进行坝体接缝灌浆，此时坝体接缝灌浆温度将低于外界气温，故要对混凝土表面进行必要保温。

**9.3.11** 宽缝重力坝在宽缝封闭以前，宽缝内坝块侧面混凝土长期暴露在空气中，气温年度变化与气温骤降引起的温度应力与基础温差引起的温度应力相叠加，容易产生深层和贯穿裂缝，故应加强长期保温。

**9.3.12** 空腹重力坝空腔封顶以前，封孔高程以下混凝土温度较高，封孔高程以上的新混凝土最高温度较高，均会使其日后降至坝体稳定温度的温差较大，从而在坝内引起过大拉应力。故提出空腹封顶前封孔高程以下混凝土应降至坝体稳定温度，封孔高程以上新混凝土应尽量减小最高温度与坝体稳定温度之差的要求。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 10 安全监测设计

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 基本保留原规范第 173 条的内容。本条明确指出，混凝土重力坝应根据工程具体情况和特点，布置必要的监测设施。其首要任务是监视工程建筑物在施工期、蓄水期及运行期的工作状态与安全。其次是为设计、施工及科学研究提供资料。

**10.1.2** 新增条文。明确规定了混凝土重力坝的安全监测范围。

**10.1.3** 基本保留了原规范第 174 条的内容，明确了安全监测设计应遵循的原则，对内容作了较多增补。

1 本款更加强调安全监测系统应该全面、准确地反映大坝及基础在不同时期的工作状态。根据国内外经验，除了重视运行期的安全监测外，对于工程施工期和首次蓄水期的安全监测，亦应给予足够的重视。安全监测总体设计方案应便于分期实施，满足各阶段的安全监测要求。

2 本款明确指出，应综合考虑坝高、地质条件、结构特点，以及在相同类型坝段中的代表性等因素，确定重点监测坝段和一般监测坝段。重点监测坝段的数量应根据安全监测需要和参考类似工程经验确定。此处所指的坝段类型系指按部位或功能的分类，如按部位划分为河床坝段与岸坡坝段；按功能划分为溢流坝段、非溢流坝段、电站坝段等。

3 本款为新增内容。各监测项目的测点配合布置，可以相互验证监测数据，有利于资料分析和对观测结果作出合理解释。某些重点监测断面或部位的重要测点，采用两种以上监测手段或仪器设备，可保证监测资料的可靠性和连续性。若某测值出现异常时，可由附近同类仪器测值或另一种监测手段加以验证。某重要监测仪器损坏时，由于设有备份而不造成监测资料中断。测点布置应突出重点，兼顾一般。结合影响工程安全的主要不利因素，有针对性地设置监测项目和布置监测仪器，可使大坝及基础存在的某些不安全因素，从施工期开始就置于安全监测设施的监视之下。

4 本款为新增内容。增加了对仪器设备长期稳定性和可靠性的要求。监测仪器和设备是采集监测数据的基本手段，没有稳定可靠的监测仪器和设备就不可能取得可靠的监测数据。由于监测设施一般埋设于坝体、坝基，或布置于廊道、地下洞室、岸坡等部位，所处环境潮湿恶劣，除要求监测仪器设备的性能指标符合有关的国家及行业标准外，还应具有良好的密封防潮性能，能长期稳定、可靠地提供监测数据。

仪器的量程应根据监测物理量实际可能发生的量值范围研究确定。监测精度应与所测物理量值变化幅度大小相适应。

5 本款为新增内容。监测新技术的采用可提高监测成果质量。宜选用成熟的、经过工程实践考验的新仪器和新技术。安全监测仪器和设备都有一定的使用寿命，运行一定年限后，需在原有的基础上进行更新改造和完善。因此，在设计阶段宜为以后监测设施的更新改造留有适当余地，以满足长期监测的需要。

6 本款为新增内容。实现安全监测自动化，不但可以减轻观测人员的劳动强度，更重要的是可以快速、准确地获得观测数据，及时掌握大坝及附属建筑物的工作状态。特别是发生地震和特大洪水时可以很方便地加密测次，及时获得最新信息，以便出现异常情况时有充分的时间采取补救措施，防止事故的发生。例如，1995年7月底至8月初，我国辽宁和吉林两省遭受了历史罕见的洪水，位于吉林市境内第二松花江中游的丰满水电站入库洪峰流量达到百年一遇。在水库水位达到263.02m，已高于汛限水位2.52m的情况下，为减轻大坝下游广大城乡的洪水压力，主管部门以该水电站混凝土重力坝真空激光准直自动化监测系统快速提供的准确可靠的监测成果为依据，在保证大坝安全的前提下，果断决定削减下泄流量。8月10日12时，该水库达到最高水位264.74m。水库削减洪峰流量74%，最大限度地发挥了水库的拦蓄效益，既保证了大坝安全，又保住了下游的防洪堤，避免了吉林省9个市县被淹的严重后果。

大坝安全监测自动化包括数据采集自动化、资料整理分析及安全管理自动化。是否建立自动化监测系统，如何选择自动化监测系统的型式和规模，宜根据工程等级和重要性通过技术经济论证确定。不论采用何种型式和规模的自动化监测系统，在运行过程中都有可能出现故障。为防止自动化监测系统故障时出现错误测值或丢失信息，除了特别强调仪器和系统的长期稳定性外，还应配备必要的人工监测手段作为检验和后备措施。

**10.1.4** 本条将原规范175条“观测设计应考虑下列观测条件”改为“安全监测设计应注重下列事项”。保留了第1~3款的基本内容。原规范第4款“宽缝、排水廊道及消能设施应尽量设置抽水设施，以便排干检查”，属于坝体构造一章的内容，故予以删除。

1 监测设计中，容易忽视观测廊道和观测站的布置，以致给仪器埋设和观测工作造成不便。观测站一般设在坝体或坝基的廊道内。其平面位置和高程应靠近监测仪器相对集中部位，以减少信号电缆的长度。必要时应为安全监测设施布设专门的观测廊道、竖井及洞室。

2 本款将原规范175条第1款和第2款合并，增加了防风、保温、排水及保安等条件。

3 本款保留原规范175条第3款的基本内容，并与原规范174条第5款的内容合并。许

多监测设施的埋设安装与大坝施工同步进行，受施工作业的影响很大，故仪器和电缆的选型应考虑施工特点，其布置应避免受到破坏。必要时埋设电缆应采用钢管或槽钢保护。电缆跨缝处应采取措施使电缆有伸缩的余地。

4 本款在原规范第 176 条内容的基础上，对文字作了较大修改。将原规范“观测设计宜根据设计计算，并参考类似工程观测成果，对一般性观测项目，提供观测值预计变动范围”改为“宜根据理论计算或模型试验成果，对主要监测项目提出预计的测值变化范围。1 级和 2 级混凝土重力坝重点监测坝段的位移值和扬压力值，宜提出警戒值”。原规范所指一般性观测项目包括上下游水位；气温、水温及混凝土温度；扬压力；绕坝渗流、岸坡地下水位；水质化学分析；漏水量；挠度；水平位移；沉陷；倾斜；纵、横缝及裂缝；一般外表；泄洪冲淤；坝前淤积；岸坡稳定等。普遍要求上述各监测项目都“提供观测值预计变动范围”，既无必要，也不大可能。故改为“宜对主要监测项目提出预计的测值变化范围”。

警戒值是大坝在一定工作条件下的变形量、渗漏量及扬压力等设计值，或有足够监测资料时经分析得的允许值（允许范围）。它是对大坝进行安全性态评价的一个十分重要的依据。根据技术警戒值可判定监测物理量是否异常。但技术警戒值不是一个固定不变的值，而是随坝龄的增长和筑坝材料的老化而不断变化。对于 1 级和 2 级混凝土重力坝重点监测坝段位移量的技术警戒值，在施工阶段和水库首次蓄水阶段，宜根据理论计算和模型试验成果，并参考类似工程经验提出。在运行阶段，可在对观测资料进行正分析和反演分析的基础上，结合有关设计规范和安安全准则，采用极限状态法和置信区间法等方法拟订警戒值。

5 本款为新增内容。强调施工期和首次蓄水期安全监测的重要性。

施工期安全监测的主要目的是，监视大坝等永久性建筑物在施工期的安全；监视临时建筑物（开挖边坡、围堰及导流建筑物等）的安全；为大坝等永久性建筑物提供其施工期的工作性状数据，以便取得监测全过程资料；检验设计和指导施工。

施工期安全监测的基本要求：及时埋设安装仪器；及时观测，并取得初始值或基准值；及时整理分析资料和及时反馈信息。

蓄水期，特别是水库首次蓄水期，是检验大坝是否适宜蓄水运行的重要而敏感阶段。大坝及基础的缺陷，会随水库水位上升而逐渐暴露出来，近坝区岸坡的稳定性也会因地下水位升高而受到影响。因此，世界各国都对施工期和首次蓄水期的安全监测特别重视，通常都规定其观测频次高于大坝正式运行期。

水库蓄水前应制订详细的监测工作计划，对水库蓄水期间各监测项目的监测频次、技术要求、资料整理分析及快速反馈作出专门的规定。主管单位主要根据安全监测成果和反馈分



析意见，实施或改变水库蓄水计划，并对发现的异常现象及时提出处理措施。

采用分期蓄水的高混凝土重力坝，由于大坝变形等监测设施，例如垂线、坝体上部及顶部水平位移与垂直位移监测设施等，往往在施工期难以与大坝浇筑同步完成，这对了解大坝在水库首次蓄水期间的实际工作状态和运行期的监测资料分析工作带来了一定困难。故安全监测设计应注重坝基廊道、坝体中部检查廊道及大坝下游面测点的布置，尽可能在水库蓄水前完成垂线、扬压力、渗漏量等监测设施的埋设安装工作。若水库首次蓄水前已埋设安装的监测仪器不能满足安全监测的需要时，应布置必要的临时性监测设施，防止重要监测资料漏测。但应注意首次蓄水阶段的临时监测系统与永久监测系统建立数据传递关系，以保证永久监测系统能获得可靠的初始值。

6 安全监测技术要求包括监测设施的埋设安装技术要求、监测数据采集技术要求和监测资料整理分析技术要求。制定严格而合理的安全监测技术要求是安全监测系统正常运行和监测成果质量的重要保证。

10.1.5 新增条文。《混凝土大坝安全监测技术规范》(SDJ336)是一部包括设计、施工及运行各阶段安全监测工作的较系统的专业标准。混凝土重力坝作为混凝土坝的一种坝型，其安全监测设计应符合该标准的有关规定。另外，自20世纪80年代以来，我国制定了不少有关大坝安全监测与管理的国家标准及行业标准，混凝土重力坝安全监测设计亦应符合这些标准的有关规定。

## 10.2 监测项目与监测设施布置要点

10.2.1 新增条文。明确指出混凝土重力坝安全监测包括巡视检查和仪器监测两个方面。由于影响工程安全的因素多，不可预见性大，即使设置了比较完善的监测系统，也不能说其安全就有了保障。其原因在于安全监测设计所选择的监测断面和布置的测点相对于整个工程来说，仍具有很大的局部性和局限性。国外统计资料表明，大坝出现缺陷和危及安全的情况，50%~70%是被有经验的专业技术人员在现场巡视检查过程中发现的。因此，仪器监测必须与巡视检查紧密结合才能有效地保证大坝安全运行。

10.2.2 新增条文。提出了巡视检查的强制性要求。

10.2.3 本条保留了原规范177条和189条的部分内容，参照SDJ336的相关条文，将仪器监测划分为常规监测项目和专门监测项目。

1 常规监测项目是指同等等级建筑物通常需要设置的监测项目。它包括环境量监测、变形监测、渗流监测、应力应变及温度监测等内容。

由于混凝土重力坝的应力值一般不大，混凝土应力不是大坝安全控制因素，因此，除地

质条件复杂、分缝分块特殊，或设有大孔口的混凝土重力坝有针对性地布置适量应力应变监测仪器外，一般没有必要在坝体中布置大量应力应变监测仪器。在各监测项目中，应以变形监测和渗流监测为重点。应特别重视基础部位的变形、坝基扬压力和坝基渗漏量的监测。

2 专门监测项目是指表 10.2.3 所列常规监测项目以外的监测项目。应根据工程具体情况和安全监测需要，并参考类似工程经验选设。主要包括以下内容：近坝区岸坡稳定性监测、地下洞室稳定性监测、坝体地震反应监测、水力学监测等。另外，施工期爆破影响监测、结构动态特性监测、地应力监测等内容也是某些工程选设的专门监测项目。

1 级和 2 级混凝土重力坝，除设置必要的常规监测项目外，可根据工程的具体情况和安全监测需要，按照少而精的原则设置相应的专门监测项目。

10.2.4 提出了变形监测设施布置要点。

10.2.5 提出了渗流监测设施布置要点。

10.2.6 提出了应力应变及温度监测设施布置要点。

10.2.7 本条所指的有关标准主要有《水位观测标准》(GBJ138)、《水位普通测量规范》(SL58)、《降水量观测规范》(SL21)、《河流冰情观测规范》(SL59)等。

。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 附录 A 水力设计计算公式

### A.1 堰面曲线、堰面压力及反弧段半径

A.1.1 开敞式溢流孔的堰面曲线常采用实用堰，其型式有 WES 型和克—奥型两种，其中以 WES 型实用堰的流量系数最大，故本规范规定宜优先采用 WES 型实用堰。同时对该曲线中的定型设计水头  $H_d$ 、 $K$ 、 $n$  等参数的选择作了若干规定。

A.1.2 堰顶上游段堰头曲线型式计有双圆弧、三圆弧及椭圆曲线三种。现有的试验研究表明，三者泄流能力和压力分布特性方面并无显著区别，但由于三圆弧及椭圆曲线与上游直立面相切，避免了二圆弧曲线上游面边界上存在的折角，改善了水流条件，更有利于减小堰面负压，现在较多采用。

A.1.3 在相同的相对堰上水头  $H_0/H_d$  下，对于高堰和低堰，其堰面最低负压值  $h_{\min}/H_d$  是不同的，而且发生位置也有所不同；高堰堰面的最低负压位于堰顶上游侧，而低堰堰面的最低负压位置移到堰顶下游侧，在附录表 A.1.3 中，引进了山东省水利科学研究所关于高、低堰均适用的堰面最低负压成果。

A.1.4 保留了原规范的内容，给出了带胸墙孔口式溢流堰的曲线型式及参数选取。

A.1.5 新增内容，通过对国内外部分工程的资料统计，提出了不同消能型式的溢流堰下游反弧段半径选择范围。

### A.2 坝身泄水孔体型设计

A.2.1、A.2.2 新增内容，分别给出了无压及有压坝身泄水孔的典型布置和各部位体型设计原则及其计算方法。

### A.3 泄流能力及掺气水深计算公式

A.3.1、A.3.2 新增内容，分别给出了开敞式溢流堰及孔口泄流的泄流能力计算公式及其参数选取。

A.3.3 原规范中将式 (A.3.3) 用于波动及掺气水深的计算，不够准确，本规范将其修改为掺气水深的计算，有关波动的计算可参照《溢洪道设计规范》(SL253-2000) 中相关公式进行。

### A.4 挑流消能的水力要素

A.4.1 保留了原规范中挑流水舌外缘抛距的计算公式，式中忽略了空气阻力及水舌扩散、掺气的影响，同时也忽略了挑流水舌表面挑角应不同于鼻坎挑角等因素。

式中有关鼻坎出口断面平均流速、堰面流速系数等参数可参照 SL253-2000 中相关公式进

行计算。

**A.4.2** 保留了原规范中冲刷坑最大水垫深度的计算公式，但式中的综合冲刷系数  $k$ ，原规范中按地质条件分为 3 类给出，现将  $k$  分为 4 类，与 SL253-2000 等规范相一致。

### **A.5 底流消能的水力要素**

**A.5.1** 保留了原规范中有关底流消能护坦长度的计算公式。

**A.5.2** 保留了原规范中有关护坦和尾坎上脉动压力的计算公式，但对式中脉动压力系数取值范围进行了调整。

**A.5.3** 保留了原规范中有关消力墩所受冲击力的计算公式。

### **A.6 防空蚀设计**

**A.6.1** 保留了原规范中水流空化数的估算公式。

**A.6.2** 新增内容，参照 SL253-2000，提出了水流边壁表面的不平整度控制标准。

**A.6.3** 新增内容，对掺气减蚀设施的布置原则、形式、掺气浓度以及保护段长度等作出了说明和要求。

掺气减蚀设施的保护段长度。根据国内外已运行工程的经验，一个选型良好的掺气减蚀设施，大约可以保护 70~100m 长的反弧段，或 100~150m 的直线段，并可根据工程布置和试验研究成果适当加长。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 附录 B 荷载计算公式

B.1、B.6 为设计应用方便，将《水工建筑物荷载设计规范》(DL5077)常用的荷载计算方法摘录于此，其他的荷载计算请遵照该标准执行。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 附录 E 坝基深层抗滑稳定计算

E.0.1~E.0.3 坝基深层存在缓倾角结构面时，根据地质资料可概化为双滑动面和多滑动面进行抗滑稳定分析时，推荐采用等安全系数法。按此方法设计似较为合理，安全度也稍高。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>

## 附录 F 施工期坝体温度和温度应力计算

### F.1 混凝土温度计算

**F.1.1~F.1.3** 坝体混凝土初期温度计算，基本保留原规范中关于最高温度计算的单向差分法、双向差分法和实用算法（原规范称之为简捷算法，许多资料称为实用算法，故改称实用算法）等计算方法。鉴于计算机应用的普及，坝体混凝土初期温度计算一般采用计算机进行，对差分法网格剖分无严格要求，只要满足稳定条件即可。对实用算法，列出新浇混凝土接受老混凝土固定热源作用并向顶面散热的残留比  $E_1$  和新浇混凝土固定热源向空气和老混凝土传热的残留比  $E_2$  计算式，以利采用计算机编程计算。通水冷却残留比除保留原规范来源于美国垦务局编的《混凝土坝的冷却》一书的水管冷却混凝土圆柱体平均温度散热残留比  $X$  曲线外，收录朱伯芳院士推导的计算式。

#### F.1.5 混凝土坝后期温度计算

随着计算机应用普及，混凝土坝后期温度可较方便地采用差分法或有限元法计算，故删去原规范的天然冷却计算式及相应数值算法，只提及计算可用差分法或有限元法。

### F.2 冷却水管降温计算

**F.2.1、F.2.2** 原规范对有热源一期通水冷却时通水降温温度计算方法介绍较少，本标准列入朱伯芳院士编著的《大体积混凝土温度应力与温度控制》（中国电力出版社，1993年3月）一书中介绍的有关计算方法。无内热源二期通水冷却计算保留原规范的计算方法。通水冷却等效圆柱体直径一般按呈长方形布置的计算式计算，故本规范未列其他通水冷却等效圆柱体计算式。

### F.3 混凝土表面保温

**F.3.1、F.3.2** 混凝土表面保温是防止混凝土裂缝的主要措施之一，但混凝土表面保温标准较难确定。朱伯芳院士编著的《大体积混凝土温度应力与温度控制》（中国电力出版社，1993年3月）一书中提出了混凝土表面保温后所需表面等效放热系数的计算方法及相关计算式，本规范标准列入。

### F.4 温度应力

**F.4.1~F.4.3** 随着计算机应用的普及，温度应力计算一般采用有限元法，并有相应计算软件。鉴于有限元法计算较复杂，且计算软件较多，本规范对该方法未作详细介绍。保留原规范提出的基础浇筑块温度应力及表面温度应力计算的影响线法。上下层温差引起的温度应力相对较小，一般未作计算，原规范中相关计算方法删去。气温骤降引起的混凝土表面应力计

算主要为表面保温的选定服务，F.3 已提出混凝土表面保温有关计算式，故气温骤降引起的混凝土表面应力计算也删去。

原规范温度应力控制部分根据朱伯芳院士建议进行修改和补充。原规范的安全系数一般采用 1.3~1.8，比结构强度设计安全系数偏低较多，是大坝裂缝较难防止的主要原因之一，这与当时科技水平有关。随着近 20 年来我国水电工程建设和科技水平的提高，尤其是混凝土预冷先进技术和新型保温材料的运用，提高了大坝混凝土的温度控制和防止裂缝的水平。为更有效控制大坝混凝土温度裂缝，参照有关规范和工程经验，本规范将安全系数提高至 1.5~2.0。考虑到大坝上游面水平裂缝往往发生在水平施工缝处，且对大坝运用不利，温度应力控制除列入坝体水平拉应力和主拉应力控制外，本规范还增列了作用于大坝上游面施工缝的铅直拉应力控制。

中国水利科技网版权所有  
<http://www.cws.net.cn>