微信扫码关注，免费领取1000本规范
国标、公路、铁路、建工、水利
试验人之家
全网首发最新标准规范

中国电力出版社
刮开涂层查询真伪
中国电力出版社官方微信
掌上电力书屋

155123.2657
定价：34.00 元

DL / T 5144 — 2015
代替 DL / T 5144 — 2001

水工混凝土施工规范

中国电力出版社

ICS 91.100.30
P 59
备案号：J148—2015

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5144 — 2015
代替 DL / T 5144 — 2001

水工混凝土施工规范

Specifications for hydraulic concrete construction

2015-04-02 发布　　2015-09-01 实施

国家能源局　发布

中华人民共和国电力行业标准

水工混凝土施工规范

Specifications for hydraulic concrete construction

DL/T 5144 — 2015

代替 DL/T 5144 — 2001

主编机构：中国电力企业联合会
批准部门：国 家 能 源 局
施行日期：2015 年 9 月 1 日

中国电力出版社

2015 北 京

中华人民共和国电力行业标准
水工混凝土施工规范
Specifications for hydraulic concrete construction
DL / T 5144 — 2015
代替 DL / T 5144 — 2001
*
中国电力出版社出版、发行
（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn）
北京博图彩色印刷有限公司印刷3月
*
2015 年 11 月第一版 2015 年 11 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 4.125 印张 101 千字
印数 0001—5000 册
*
统一书号 155123・2657 定价 34.00 元

敬 告 读 者
本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换
版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本规范是根据《国家能源局关于下达 2009 第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2009〕163 号）要求，对《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2001（以下简称原标准）进行修订的。

根据《工程建设标准编写规定》（建标〔2008〕182 号）的要求，本规范共分 11 章 2 个附录，主要技术内容包括：原材料、配合比、混凝土生产、混凝土运输、混凝土浇筑与养护、温度控制、低温季节施工、预埋件施工、质量检查与控制等。

本次修订除梳理与合并了原标准章节重复的相关内容外，为适应不同坝型的施工要求，还增加了对不同坝型混凝土温度控制的差异性要求；对低温季节混凝土施工方法归类为蓄热法和综合蓄热法两种，取消了暖棚法；系统规定了水工混凝土质量检查方法与控制指标。调整和补充的主要内容如下：

——对有关标准用语进行了规范和统一，将“仓号”改为“仓面”，“废料”改为“不合格料”，“拌合”改为“拌和”，“铁件”改为“金属件”等。

——增加了“水工混凝土”、“大体积混凝土”、“混凝土拌和物”和“混凝土内外温差”等术语解释，对“强度等级”和“综合蓄热法”进行了补充释义。

——将原标准第 5 章“材料”改为第 3 章“原材料”。

——将原标准第 6 章“配合比选定”改为第 4 章“配合比”。将原标准附录 B 混凝土碱含量的相关要求纳入本章节。

——将原标准第 7 章“施工”拆分成三章，即第 5 章“混凝土生产”、第 6 章“混凝土运输”和第 7 章“混凝土浇筑与养护”。

——按混凝土温控特点，将原标准第 8 章“温度控制”修订为“一般规定”“浇筑温度控制”“混凝土内部温度控制”“表面保温”“特殊部位的温度控制”和“温度监测”6 节。

——按混凝土施工控制环节，将原标准第 9 章“低温季节施工”修订为“一般规定”“原材料与拌和”“运输与浇筑”“温度监测”4 节。

——按质量控制点和质量评定环节，将原标准第 11 章“质量检查与控制”修订为“一般规定”“原材料检验”“混凝土拌和质量控制”“浇筑质量检查与控制”“混凝土性能检验”“混凝土生产质量控制水平评定”“混凝土质量评定”“水工混凝土建筑物质量检查”8 节。

——修订了水工混凝土质量评定项目和标准。明确了坝体混凝土检验批混凝土抗压强度保证率 P 必须满足设计要求且不得低于 80%，除坝体混凝土外其他水工结构混凝土检验批混凝土抗压强度保证率要求不低于 95%；并对检验批混凝土抗压强度最小值、平均值验收标准和对检验批样本容量及检验期做了相应修订。

——取消了原标准附录 B 和附录 D，将其主要内容纳入了相关条文中；附录 A 增加了离差系数 C_v 值的计算方法。

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本规范起草单位：中国长江三峡集团公司
中国葛洲坝集团股份有限公司
中国水利水电第三工程局
中国水利水电第四工程局
中国水利电力对外公司

本规范主要起草人：孙志禹　周厚贵　陈先明　席　浩
陈文耀　李文伟　李晶华　余　英

孙昌忠　牛宏力　彭　澎　韩炳兰
詹剑霞　郭小安

本规范主要审查人：张超然　梅锦煜　许松林　周建平
汪　毅　陈改新　毛亚杰　王忠诚
薛砺生　林　鹏　毛国权　刘瑞源
郭光文　高　翔　郑　平　楚跃先
孙来成　郑桂斌　吴国如　周克礼
涂怀健　吴秀荣　吴朝月　康明华

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目　次

前言 …… I
1　总则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
2.1　术语 …… 2
2.2　符号 …… 4
3　原材料 …… 6
3.1　一般规定 …… 6
3.2　水泥 …… 6
3.3　骨料 …… 7
3.4　掺合料 …… 10
3.5　外加剂 …… 11
3.6　水 …… 12
4　配合比 …… 13
5　混凝土生产 …… 16
5.1　一般规定 …… 16
5.2　混凝土拌和 …… 16
5.3　不合格料处理 …… 17
6　混凝土运输 …… 18
7　混凝土浇筑与养护 …… 20
7.1　浇筑准备 …… 20
7.2　浇筑实施 …… 21
7.3　雨季浇筑 …… 24
7.4　养护与保护 …… 24
8　温度控制 …… 26
8.1　一般规定 …… 26
8.2　浇筑温度控制 …… 26

8.3　混凝土内部温度控制 …… 27
8.4　表面保温 …… 28
8.5　特殊部位的温度控制 …… 29
8.6　温度监测 …… 29
9　低温季节施工 …… 30
9.1　一般规定 …… 30
9.2　原材料与拌和 …… 31
9.3　运输与浇筑 …… 31
9.4　温度监测 …… 33
10　预埋件施工 …… 35
10.1　一般规定 …… 35
10.2　止水、伸缩缝与排水 …… 35
10.3　冷却、接缝灌浆管路 …… 37
10.4　金属件 …… 38
10.5　内部监测仪器 …… 39
11　质量检查与控制 …… 40
11.1　一般规定 …… 40
11.2　原材料检验 …… 40
11.3　混凝土拌和质量控制 …… 43
11.4　浇筑质量检查与控制 …… 45
11.5　混凝土性能检验 …… 45
11.6　混凝土生产质量控制水平评定 …… 46
11.7　混凝土质量评定 …… 47
11.8　水工混凝土建筑物质量检查 …… 50
附录 A　混凝土平均强度 $m_{f_{cu}}$、标准差 σ、离差系数 C_v、强度保证率 P 和盘内变异系数 δ_b 计算方法 …… 51
附录 B　用成熟度法计算混凝土早期强度 …… 54
本规范用词说明 …… 57
引用标准名录 …… 58
附：条文说明 …… 59

Contents

Foreword I
1 General 1
2 Terms and symbols 2
2.1 Terms 2
2.2 Symbols 4
3 Raw materials 6
3.1 General 6
3.2 Cement 6
3.3 Aggregate 7
3.4 Admixtures 10
3.5 Additives 11
3.6 Water 12
4 Mix proportion 13
5 Concrete production 16
5.1 General 16
5.2 Concrete mixing 16
5.3 Disposal of unqualified mixture 17
6 Concrete transportation 18
7 Concrete placement and curing 20
7.1 Preparation for placement 20
7.2 Concrete implementation 21
7.3 Construction in rainy season 24
7.4 Curing and protection 24
8 Temperature control 26

8.1 General 26
8.2 Placement temperature control 26
8.3 Interior temperature control 27
8.4 Surface protection 28
8.5 Temperature control for specific part 29
8.6 Temperature monitoring 29
9 Construction in low-temperature seasons 30
9.1 General 30
9.2 Raw materials and mixing 31
9.3 Transportation and placement 31
9.4 Temperature monitoring 33
10 Construction for embedded pieces 35
10.1 General 35
10.2 Water-stop, expansion joint and drainage 35
10.3 Cooling and joint grouting pipeline 37
10.4 Metal pieces 38
10.5 Interior observation instruments 39
11 Quality check and control 40
11.1 General 40
11.2 Quality check for raw materials 40
11.3 Quality control for mixing 43
11.4 Quality check and control for placement 45
11.5 Concrete performance testing 45
11.6 Evaluation for concrete producing quality 46
11.7 Evaluation for concrete quality 47
11.8 Quality check for hydraulic concrete structures 50
Appendix A Calculation methods for average strength $m_{f_{cu}}$, standard deviation σ, dispersion coefficient

C_v, strength probability rate P and variation coefficient in one batch δ_b ····· 51
Appendix B Calculating early strength of concrete by maturity degree method ····· 54
Explanation of wording in this specification ····· 57
List of quoted standards ····· 58
Additions: Explanation of provisions ····· 59

1 总　　则

1.0.1 为规范水工混凝土施工，保证水工混凝土施工质量和工程安全，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水工建筑物混凝土和钢筋混凝土的施工。

1.0.3 水工混凝土施工应做到技术可靠、安全适用、经济合理。经论证后可采用新技术、新工艺、新材料、新设备。

1.0.4 水工混凝土应满足强度、变形、热学性能、耐久性等设计要求。

1.0.5 水工混凝土施工应建立质量保证体系，编制施工组织设计，对施工全过程进行质量检查与控制。

1.0.6 水工混凝土的施工安全、职业健康和环境保护等应符合国家有关规定。

1.0.7 水工混凝土施工，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语 和 符 号

2.1 术 语

2.1.1 水工混凝土 hydraulic concrete

用于水电水利工程的挡水、引水发电、泄洪、输水、排沙等建筑物，密度为 2400kg/m^3 左右的水泥基混凝土。

2.1.2 大体积混凝土 mass concrete

混凝土结构物实体最小尺寸大于 1m 的混凝土，或因混凝土胶凝材料水化热引起的温度变化和收缩而可能产生有害裂缝的混凝土。

2.1.3 强度等级 strength grade

指混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值，是按照标准方法制作、养护的边长为 150mm 的立方体试件，在设计龄期用标准试验方法测得的具有设计保证率的抗压强度，单位以“MPa”计，用符号“C”表示。

2.1.4 掺合料 admixtures

拌制混凝土或砂浆时掺入的粉煤灰、硅灰、矿渣粉、石灰石粉等矿物质材料。

2.1.5 胶凝材料用量 cementitious material consumption

每立方米混凝土中水泥和掺合料质量的总和。

2.1.6 水胶比 ratio of water to cementitious material

每立方米混凝土用水量与胶凝材料用量的质量比。

2.1.7 混凝土拌和物 concrete mixture

混凝土各组成材料按一定比例配料并拌制，具有一定工作性

能、呈塑性状态的混合物，称为混凝土拌和物，也称为新拌混凝土。

2.1.8 拌和时间 mixing time

全部材料开始加入并经过拌和至出料开始的时间。

2.1.9 混凝土运输时间 concrete transportation time

从拌和机出料口全部卸料完至混凝土到达仓面的时间。

2.1.10 浇筑间歇时间 concreting intermission time

混凝土振捣作业完毕至覆盖上层混凝土的时间。

2.1.11 毛面 rough surface

经过处理后无乳皮、露砂或微露小石的混凝土表面。

2.1.12 浇筑温度 placement temperature

混凝土经过平仓振捣后，覆盖上层混凝土前，在距混凝土面 10cm 深处的温度。

2.1.13 混凝土内外温差 temperature difference of the internal and outside of concrete

坝体或浇筑块的内部最高温度与其表面温度之差。

2.1.14 混凝土成熟度 maturity degree of concrete

混凝土养护时间（h）和等效养护温度（℃）的乘积，用符号“N”表示。

2.1.15 表面积系数 coefficient of superficial area

结构物的表面积与体积之比，用符号“M”表示。

2.1.16 蓄热法 method of heat accumulation

采用保温措施，利用原材料加热和水泥水化热的热量，以保证混凝土强度正常增长的施工方法。

2.1.17 综合蓄热法 comprehensive method of heat accumulation

掺加早强或抗冻外加剂并利用外部热源对模板周边、周围空气及仓面中间部位加热升温，在浇筑过程中始终保持外部热源输送，将热量传递给混凝土，保证混凝土在正温条件下正常硬化的

“蓄热法”施工方法。

2.1.18 气温骤降 sudden temperature drop

日平均气温在 2d～3d 内连续下降累计 6℃以上。

2.1.19 寒潮 cold wave

日平均气温 5℃以下时的气温骤降。

2.1.20 严寒地区 severe cold region

最冷月平均气温低于–10℃的地区。

2.1.21 寒冷地区 cold region

最冷月平均气温在–10℃与–3℃之间的地区。

2.1.22 温和地区 mild region

最冷月平均气温高于–3℃的地区。

2.2 符 号

α_T——温度为 T 的等效系数；

t_T——温度为 T 的养护时间；

C20——设计龄期 28d、抗压强度标准值为 20MPa 的水工混凝土；

$C_{90}20$——设计龄期 90d、抗压强度标准值为 20MPa 的水工混凝土；

$f_{cu,k}$——混凝土设计强度标准值；

$f_{cu,0}$——混凝土的配制强度；

$m_{f_{cu}}$——混凝土强度平均值；

σ——混凝土强度标准差；

σ_0——验收批混凝土强度标准差；

C_v——离差系数；

δ——混凝土强度变异系数；

δ_b——盘内混凝土强度变异系数；

$f_{cu,i}$——第 i 组混凝土试件的强度；

$\Delta f_{cu,i}$——第 i 组三个试件中最大值与最小值之差；

$f_{cu,min}$——n 组强度中的最小值；

F200——水工混凝土抗冻等级为 200；

W8——水工混凝土抗渗等级为 8。

3 原 材 料

3.1 一 般 规 定

3.1.1 水泥、掺合料、外加剂等混凝土原材料应通过试验优选确定，选择性能稳定、生产厂家相对固定的产品。原材料变动时，应进行适应性试验。

3.1.2 水泥、掺合料、外加剂等混凝土原材料运至现场后，应按相关标准进行验收、检验。生产厂家应提供每批产品的合格证明文件。

3.1.3 水泥、掺合料、外加剂等混凝土原材料，应按不同厂家、品种、等级分别运输、存放和标识，并采取遮阳、防雨、防潮、防风等保护措施。

3.1.4 可掺入合成纤维、天然矿物纤维、钢纤维等改善水工混凝土性能的材料。

3.2 水 泥

3.2.1 水泥的选择应符合下列要求：

1 大坝混凝土宜选用中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥和低热矿碴硅酸盐水泥以及低热微膨胀水泥，也可选用通用硅酸盐水泥等；水泥的品质应符合《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》GB 200、《低热微膨胀水泥》GB 2938 和《通用硅酸盐水泥》GB 175 的相应要求。

2 环境水对混凝土有硫酸盐侵蚀时，宜选择抗硫酸盐水泥。

3 选用的水泥强度等级应与混凝土设计强度等级相适应。

4 宜优先选用散装水泥。

3.2.2 水泥含碱量、矿物组成、细度和水化热等技术指标，应符合设计要求。

3.2.3 水泥的保管与使用应遵守下列规定：

1 先出厂的水泥应优先使用。袋装水泥储存时间超过 3 个月、散装水泥储存时间超过 6 个月或快硬水泥超过 1 个月时，使用前应重新检验。

2 运至现场的散装水泥入罐温度不宜高于 65℃。

3 罐储水泥宜 1 个月倒罐 1 次。

4 袋装水泥仓库应有排水、通风措施，保持干燥；袋装水泥堆放时，应设防潮层，距地面、边墙至少 30cm，堆放高度不得超过 15 袋，并留出运输通道。

5 避免水泥的散失浪费，做好环境保护。

3.3 骨 料

3.3.1 骨料选择应做到优质、经济、就地取材。可选用天然骨料、人工骨料或两者互相补充。选用人工骨料时，宜优先选用石灰岩质的料源。

3.3.2 骨料料源的品质、数量发生变化时，应按设计要求补充勘察和检验。使用碱活性骨料、含有黄锈和钙质结核的粗骨料等，应进行专项试验论证。

3.3.3 应根据粗细骨料需用总量、分期需用量制定骨料开采规划和使用平衡计划，尽量减少弃料。覆盖层剥离应有专门弃渣场地，并采取必要的环保与水保措施，防止水土流失。

3.3.4 骨料加工的工艺流程、设备选型应合理可靠，生产能力和料仓储量应保证混凝土施工需要。

3.3.5 细骨料品质，应符合下列要求：

1 细骨料应质地坚硬、清洁、级配良好；天然砂的细度模数宜为 2.2～3.0，人工砂宜为 2.4～2.8，使用山砂、粗砂、特细砂应经过试验论证。

2 细骨料的含水率应保持稳定，并控制在中值的±1%范围内，表面含水率不宜超过6%，超过时应经试验论证。

3 细骨料品质，应符合表3.3.5的规定。

表3.3.5 细骨料品质

项目		指标		备注
		天然砂	人工砂	
含泥量（%）	设计龄期混凝土抗压强度标准值≥30MPa和有抗冻要求的	≤3	—	
	设计龄期混凝土抗压强度标准值<30MPa	≤5		
泥块含量		不允许	不允许	
有机质含量		浅于标准色	不允许	如深于标准色，应进行混凝土强度对比试验
云母含量（%）		≤2	≤2	
0.16mm及以下颗粒含量（%）		—	6～18	最佳含量通过试验确定；经试验论证可适当放宽
表观密度（kg/m³）		≥2500	≥2500	
细度模数		2.2～3.0	2.4～2.8	
坚固性（%）	有抗冻要求的混凝土	≤8	≤8	经试验论证可适当调整
	无抗冻要求的混凝土	≤10	≤10	
硫化物及硫酸盐含量（%）		≤1	≤1	折算成SO_3含量，按质量计
轻物质含量（%）		≤1	—	

3.3.6 粗骨料品质，应符合下列要求：

1 粗骨料的分级可分为小石、中石、大石和特大石，粒径分别为5mm～20mm、20mm～40mm、40mm～80mm和80mm～150（120）mm，最大粒径分别表示为D_{20}、D_{40}、D_{80}、D_{150}（D_{120}）。

2 各级骨料的超、逊径含量可采用原孔筛检验和超、逊径筛检验。

3 D_{20}、D_{40}、D_{80}和D_{150}（D_{120}）可分别采用孔径为10mm、30mm、60mm和115mm（100mm）的中径筛（方孔）检验。

4 粗骨料应质地坚硬、清洁、级配良好；如有裹泥或污染物等应予清除，如有裹粉应经试验确定允许含量。

5 粗骨料的压碎指标值宜符合表3.3.6-1的规定，必要时经试验论证后可适当调整。

表3.3.6-1 粗骨料的压碎指标值

骨料类别		设计龄期混凝土强度等级	
		≥40MPa	<40MPa
碎石	沉积岩	≤10%	≤16%
	变质岩或深成火成岩	≤12%	≤20%
	喷出的火成岩	≤13%	≤30%
卵石		≤12%	≤16%

6 粗骨料的其他品质，应符合表3.3.6-2的规定。

表3.3.6-2 粗骨料品质

项目		指标	备注
含泥量（%）	D_{20}、D_{40}粒径级	≤1	
	D_{80}、D_{150}（D_{120}）粒径级	≤0.5	
泥块含量		不允许	
有机质含量		浅于标准色	如深于标准色，应进行混凝土强度对比试验，抗压强度比不应低于0.95
坚固性（%）	有抗冻要求的混凝土	≤5	经试验论证可适当放宽
	无抗冻要求的混凝土	≤12	
硫化物及硫酸盐含量（%）		≤0.5	折算成SO_3含量，按质量计

表 3.3.6-2（续）

项　目		指　　标	备　　注
表观密度（kg/m³）		≥2550	
吸水率（%）		≤2.5	
针片状颗粒含量（%）		≤15	经试验论证可适当放宽
超径含量	原孔筛	<5%	
	超、逊径筛	0	
逊径含量	原孔筛	<10%	
	超、逊径筛	<2%	
各级粒径的中径筛余量		40%～70%	方孔筛检测

3.3.7 成品骨料的堆存和使用，应符合下列规定：

1 堆放场地应有良好的排水设施，细骨料宜设遮阳防雨棚。

2 各级骨料仓之间应设置隔墙等，严禁混料和混入杂物。

3 减少骨料转运次数，需多次倒运时应进行充分论证，增设二次筛分系统。

4 当粒径大于 40mm 骨料的卸料自由落差大于 3m 时，应设置缓降设施。

5 储料仓除有足够的容积外，尚应保持不小于 6m 的堆料厚度；细骨料仓的数量和容积应满足细骨料脱水的要求。

6 在粗骨料成品堆场取料时，同一级料应在料堆不同部位同时取料。

3.4 掺　合　料

3.4.1 水工混凝土应掺入适量的掺合料。掺合料品种和掺量应根据工程的技术要求、掺合料品质和资源条件，通过试验论证确定。

3.4.2 粉煤灰宜选用Ⅰ级、Ⅱ级粉煤灰，粉煤灰的品质应符合《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》DL/T 5055 的要求。

3.4.3 掺合料应储存在专用仓库或储罐内，在运输和储存过程中不得混入杂物，并应采取防尘措施。

3.5 外　加　剂

3.5.1 水工混凝土应掺加适量的外加剂。外加剂品种和掺量应通过试验确定，其品质应符合《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T 5100 的要求。

3.5.2 有抗冻性要求的混凝土应掺加引气剂。含气量应根据混凝土抗冻等级和骨料最大粒径等因素，通过试验确定，并应符合《水工混凝土耐久性技术规范》DL/T 5241 的要求。混凝土含气量可按表 3.5.2 执行。

表 3.5.2　有抗冻要求的混凝土含气量

骨料最大粒径（mm）	含气量（%）	
	抗冻等级≥F200	抗冻等级≤F150
10	7.0±1.0	6.0±1.0
20	6.0±1.0	5.0±1.0
40	5.5±1.0	4.5±1.0
80	4.5±1.0	3.5±1.0
150（120）	4.0±1.0	3.0±1.0

注：1. 若试验采用湿筛混凝土，含气量应按湿筛后混凝土的最大骨料粒径控制。

2. 带式运送和高频振捣会造成混凝土含气量损失，对于抗冻等级大于等于 F200 的混凝土，宜控制振捣后混凝土（湿筛二级配）的含气量大于等于 3.0%，并宜采取措施控制现场或模拟现场的硬化混凝土的气泡间距系数小于 300μm。

3. 当水胶比小于等于 0.40 时，混凝土的出机口含气量可减少 1.0%。

3.5.3 外加剂应配制成水溶液使用，并应称量准确、搅拌均匀。当外加剂复合使用时，应通过试验论证。设计有要求时，应分别配制使用。

3.5.4 外加剂应存放在专用仓库或固定场所，并应标识和分别储存、妥善保管。粉状外加剂在运输和储存过程中应防水防潮。

3.6 水

3.6.1 混凝土拌和、养护用水的 pH 值和水中的不溶物、可溶物、氯化物、硫酸盐和碱含量应符合表 3.6.1 的规定。凡符合国家标准的饮用水，均可用于拌和与养护混凝土。

表 3.6.1 拌和与养护混凝土用水要求

项 目	钢筋混凝土	素混凝土	备 注
pH 值	≥4.5	≥4.5	
不溶物（mg/L）	≤2000	≤5000	养护用水可不检验
可溶物（mg/L）	≤5000	≤10 000	养护用水可不检验
氯化物（以 Cl^-计）（mg/L）	≤1200	≤3500	
硫酸盐（以 SO_4^{2-}计）（mg/L）	≤2700	≤2700	
碱含量（mg/L）	≤1500	≤1500	碱含量按 $Na_2O+0.658K_2O$ 计算值来表示。采用非碱活性骨料时，可不检验碱含量

3.6.2 混凝土拌和、养护用水水质试验与分析应按《水工混凝土水质分析试验规程》DL/T 5152 进行。

4 配 合 比

4.0.1 混凝土配合比应根据混凝土设计强度、耐久性和施工性能等要求优选试验确定。混凝土施工配合比应通过现场生产性试验确定。

4.0.2 混凝土强度和保证率应符合设计要求。混凝土配合比设计方法应按《水工混凝土配合比设计规程》DL/T 5330 的规定执行，混凝土试验方法应按《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的规定执行。

4.0.3 混凝土配制强度可按下式计算：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + t\sigma$$

式中：$f_{cu,0}$——混凝土配制强度（MPa）；

$f_{cu,k}$——设计龄期混凝土抗压强度标准值（MPa）；

t——概率度系数，依据给定的保证率 P 按附录 A 表 A.0.4 取值；

σ——混凝土立方体抗压强度标准差（MPa）。

4.0.4 混凝土抗压强度标准差（σ）可按下列条件确定：

1 无近期同品种混凝土强度资料时，σ可参照表 4.0.4 选取。

表 4.0.4 标准差σ值

设计龄期混凝土抗压强度标准值（MPa）	≤15	15～25	25～35	35～45	>45
混凝土抗压强度标准差σ（MPa）	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5

注：区间值“15～25”表示“>15 且≤25”，其余同理。

2 根据前 1 个月或 3 个月相同强度等级、配合比的混凝土抗

压强度资料，可按下式计算抗压强度标准差σ：

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} f_{\mathrm{cu},i}^{2}-nm_{f_{\mathrm{cu}}}^{2}}{n-1}}$$

式中：$f_{\mathrm{cu},i}$——第 i 组的试件抗压强度（MPa）；

$m_{f_{\mathrm{cu}}}$——n 组试件的抗压强度平均值（MPa）；

n——试件组数，n 值大于 30。

3　σ的下限取值：当抗压强度等级小于等于 25MPa，计算得到的σ小于 2.5MPa 时，σ取 2.5MPa；当抗压强度等级大于 25MPa，计算得到的σ小于 3.0MPa 时，σ取 3.0MPa。

4　σ值可根据施工时段强度标准差统计结果进行适当调整。

4.0.5　大体积混凝土的胶凝材料用量不宜低于 140kg/m^3，水泥熟料含量不宜低于 70kg/m^3。

4.0.6　混凝土的水胶比应根据混凝土性能的设计要求通过试验确定，并不应超过表 4.0.6 的最大允许值。

表 4.0.6　水胶比最大允许值

部　位	严寒地区	寒冷地区	温和地区
坝体外部上、下游水位以上	0.50	0.55	0.60
坝体外部上、下游水位变化区	0.45	0.50	0.55
坝体外部上、下游最低水位以下	0.50	0.55	0.60
基础	0.50	0.55	0.60
内部	0.60	0.65	0.65
受水流冲刷部位	0.45	0.50	0.50

注：存在环境水侵蚀时，水位变化区外部及水下混凝土最大允许水胶比可减小 0.05。

4.0.7　粗骨料的最大粒径应不超过钢筋净间距的 2/3、构件断面最小边长的 1/4、素混凝土板厚的 1/2。对少筋或无筋混凝土结构，应选用较大的粗骨料粒径。

4.0.8　粗骨料级配及砂率选择应根据混凝土施工性能要求通过试验确定，可采用连续级配或间断级配。当采用带式输送机运送混凝土拌和物时，砂率可适当增加。

4.0.9　混凝土的坍落度应根据建筑物的结构断面、钢筋间距、运输距离、浇筑方法、运输方式、振捣能力和气候等条件确定，并宜采用较小的坍落度。混凝土在浇筑地点的坍落度可按表 4.0.9 选用。

表 4.0.9　混凝土在浇筑地点的坍落度

混凝土类别	坍落度（mm）
素混凝土或少筋混凝土	10～40
配筋率不超过 1%的钢筋混凝土	30～60
配筋率超过 1%的钢筋混凝土	50～90

注：有温度控制要求或高、低温季节浇筑混凝土时，其坍落度可根据实际情况酌量增减。

4.0.10　混凝土使用碱活性骨料时，应限制混凝土中的总碱含量，骨料的碱活性检验按照《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151 的规定执行。

5 混凝土生产

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土生产前，应进行原材料质量检测、资源配置与设备状况检查、称量设备的校正等准备工作。

5.1.2 拌和设备投入混凝土生产前，应按批准的混凝土施工配合比进行最佳投料顺序和拌和时间的生产性试验。使用连续式拌和设备应经试验论证。

5.1.3 应按照批准的混凝土配料单进行配料，不得擅自更改。

5.1.4 在混凝土拌和过程中，应对骨料的含水量、外加剂配制浓度，以及混凝土拌和物的出机口含气量、坍落度和温度等进行随机抽样检测，必要时应加密检测。

5.2 混凝土拌和

5.2.1 混凝土原材料的配料量应以质量计。称量的允许偏差应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 混凝土原材料称量的允许偏差

材料名称	称量允许偏差（%）
水泥、掺合料、水、冰、外加剂溶液	±1
骨料	±2

5.2.2 入机拌和量应控制在拌和机额定容量的 110%以内。混凝土拌和时间应通过生产性试验确定，混凝土最少拌和时间可按表 5.2.2 执行。

表 5.2.2 混凝土最少拌和时间

拌和机容量 Q（m^3）	最大骨料粒径（mm）	最少拌和时间（s）	
		自落式拌和机	强制式拌和机
$0.8 \leqslant Q \leqslant 1$	80	90	60
$1 < Q \leqslant 3$	150	120	75
$Q > 3$	150	150	90

5.2.3 加冰、纤维等的混凝土拌和时间应适当延长，延长时间可根据拌和试验确定。

5.2.4 现场拌制时，混凝土掺合料宜采用干掺法，并拌和均匀。

5.3 不合格料处理

5.3.1 混凝土拌和物出现下列情况之一者，为不合格料：

1 混凝土配料单错用或输入配料指令错误的。
2 混凝土配料时，任意一种材料计量失控或漏配的。
3 使用原材料类别与施工配料单不相符的。
4 拌和不均匀、夹混生料或冰块的。
5 擅自加水、调改配料量的。

5.3.2 经鉴定为不合格料的，不得入仓。已入仓的不合格料应予以挖除处理。

6 混凝土运输

6.0.1 混凝土运输设备及运输能力，应与拌和、浇筑能力、仓面状况等相适应。

6.0.2 运输设备应采取隔热保温、防雨雪措施，控制混凝土温度回升或降低。

6.0.3 混凝土运输应缩短运输时间及减少转运次数，避免分离、漏浆、泌水和坍落度损失。同时运输两种及以上混凝土时，应设置明显的区分标志。

6.0.4 混凝土运输不得在运输途中和卸料时加水。混凝土因停歇过久已初凝或已失去塑性时，应按不合格料处理。

6.0.5 混凝土卸料的自由下落高度不宜大于 1.5m。超过时，应采取缓降或其他防止骨料分离措施。

6.0.6 混凝土入仓布料应均匀，堆料高度应小于 1m。

6.0.7 车辆运输混凝土时，应符合下列要求：

1 运输道路应符合要求。

2 车厢应平滑、密封、不漏浆。

3 平底汽车装载混凝土的厚度不应小于 40cm。

4 混凝土卸料时应卸净，并及时清洗车厢、料罐。

5 汽车运输直接入仓时，应采取措施防止污染或损坏仓面。

6.0.8 吊罐运输混凝土时，应符合下列要求：

1 起重设备及附属设施应定期检查、维修，保证设备完好。

2 吊罐罐体及附件应安全可靠，不得漏浆，并应及时清洗。

3 起重设备运行时应与周围设施、设备等保持安全距离。

4 吊罐入仓时应采取措施防止撞击模板、钢筋和预埋件。

6.0.9 带式输送机运送混凝土时，应符合下列要求：

1 运送混凝土骨料粒径应满足设备性能要求，输送混凝土的最大骨料粒径大于 80mm 时应进行适应性试验。

2 卸料处应设置挡板、卸料导管和刮板。

3 及时清洗带式输送机上黏附的水泥砂浆，并防止冲洗水流入仓内。

4 塔带机、胎带机、布料机等卸料软管不应对接，长度不宜超过 12m。

6.0.10 溜槽（筒、管）运输混凝土时，应符合下列要求：

1 溜槽（筒、管）高度和混凝土坍落度应经试验论证确定。

2 溜槽（筒、管）应设置防脱落措施，节间应连接牢固、平顺。

3 溜槽（筒、管）内壁应光滑，浇筑前宜用砂浆润滑内壁，采用水润滑时仓面应有排水措施。

4 运输结束或溜槽（筒、管）堵塞时应及时清洗，并防止冲洗水流入新浇筑混凝土仓内。

5 溜管垂直运输高度超过 15m 时应设置缓冲装置。

6.0.11 泵送混凝土运输应符合《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 的有关要求。

6.0.12 采用反铲等其他辅助设备作为混凝土入仓手段时，应制定相应的质量控制措施。

7 混凝土浇筑与养护

7.1 浇 筑 准 备

7.1.1 建筑物地基验收合格后，方可进行混凝土浇筑仓面准备工作。

7.1.2 应清除岩基上的松动岩块、泥土及杂物，并应冲洗干净岩基面和排净积水；有承压水时应采取有效处理措施。在浇筑混凝土前，应保持岩基面洁净和湿润。

7.1.3 软基或易风化岩基面处理，应符合下列要求：

1 在软基上准备仓面时，应避免破坏或扰动原状岩土层。

2 非黏性土壤地基湿度不够时，应至少浸湿 15cm 深度，使其湿度与最优强度时的湿度相符。

3 湿陷性黄土地基应采取专门的处理措施。

4 在混凝土覆盖前应做好地基保护。

7.1.4 混凝土浇筑前，应针对浇筑仓面的具体情况做好仓面设计，主要包括：仓面特性分析、明确质量技术要求、施工方法、资源配置以及质量保证措施等。签发开仓证前，应检查浇筑资源的配备情况。

7.1.5 基岩面或施工缝面处理、模板、钢筋、预埋件及止水设施等应符合设计要求，并应完成仓面验收。水工混凝土的钢筋、模板施工应分别符合《水工混凝土钢筋施工规范》DL/T 5169、《水电水利工程模板施工规范》DL/T 5110 的有关规定。

7.1.6 新浇筑混凝土与基岩或混凝土施工缝面应结合良好，第一坯层可浇筑强度等级相当的小一级配混凝土、富浆混凝土或铺设高一强度等级水泥砂浆。

7.1.7 采用塔带机浇筑混凝土时应制定塔带机下料盲区的浇筑措施，可采取增加浇筑手段或仓面布置转料设备等。

7.2 浇 筑 实 施

7.2.1 混凝土浇筑应采用平铺法或台阶法，并符合下列要求：

1 按一定厚度、次序、方向分层浇筑，且层面平整。

2 台阶法施工的台阶宽度应不小于 2m。

3 浇筑钢管或圆形孔洞底部混凝土时宜先从一侧下料，振捣至另一侧出现混凝土后再对称下料，保证底部混凝土浇筑密实。

4 浇筑压力钢管、竖井、孔道、廊道等周边及顶板混凝土时应对称均匀上升。

7.2.2 混凝土浇筑坯层厚度，应根据拌和能力、运输能力、浇筑速度、气温及振捣设备性能等因素确定，可为 30cm～50cm；采用低流动性混凝土及大型强力振捣设备时，浇筑坯层厚度应根据试验确定。浇筑坯层的允许最大厚度，可根据振捣设备类型按表 7.2.2 确定。

表 7.2.2 混凝土浇筑坯层的最大允许厚度

振捣设备类别		浇筑坯层最大允许厚度
插入式	振捣机	振捣棒（头）长度的 1.0 倍
	电动或风动振捣器	振捣棒（头）长度的 0.8 倍
	软轴式振捣器	振捣棒（头）长度的 1.25 倍
平板式	无筋或单层钢筋结构中	250mm
	双层钢筋结构中	200mm

7.2.3 混凝土入仓后应及时平仓振捣，不得堆积。仓内粗骨料堆叠时，应均匀地分布至砂浆较多处或待振捣的混凝土面上，但不得用水泥砂浆覆盖，以免造成内部蜂窝。

7.2.4 在倾斜面上浇筑混凝土时，应从低处开始浇筑，浇筑面应

保持水平，并应与倾斜面垂直相交，不应出现尖角。

7.2.5 混凝土振捣，应符合下列要求：

1 混凝土浇筑应先平仓后振捣，严禁以平仓代替振捣或以振捣代替平仓。

2 振捣时间应经现场振捣试验确定，以混凝土粗骨料不再显著下沉并开始泛浆为准，避免漏振、欠振或过振。

3 振捣设备的振捣能力应与浇筑机械和仓面状况相适应，大仓面浇筑宜配置振捣机振捣。

4 浇筑第一坯层、卸料接触带和台阶边坡的混凝土时应加强振捣。

5 振捣第一坯层混凝土时振捣棒头应距硬化面 5cm，振捣上层混凝土时振捣棒头应插入下层混凝土 5cm～10cm。

6 振捣设备不得直接碰撞模板、钢筋及预埋件。

7.2.6 采用振捣机时，应遵守下列规定：

1 振捣棒组应垂直插入混凝土中，振捣完毕应慢慢拔出。

2 振捣棒组移动时，应按规定间距相接。

3 振捣作业时，振捣棒头离模板的距离应不小于振捣棒有效作用半径的 1/2。

7.2.7 采用手持式振捣器时，应遵守下列规定：

1 振捣器插入混凝土的间距应根据试验确定，并不超过振捣器有效半径的 1.5 倍。

2 振捣器宜垂直按顺序插入混凝土。略有倾斜时，倾斜方向应保持一致，以免漏振。

3 浇筑止水片、止浆片等预埋件周围时，应细心振捣，可辅以人工捣固密实。

4 浇筑流动性混凝土时，仓面应设置振捣操作平台。

7.2.8 采用平板式振捣器时，应缓慢、均匀、连续振捣，不得随意停机等待。振捣频率或速度应根据混凝土坍落度进行调整。

7.2.9 混凝土浇筑过程中，应遵守下列规定：

1 不得在仓内加水，并避免外来水进入仓内。

2 混凝土和易性较差时，应采取加强振捣等措施。

3 及时排除仓内的泌水。不得在模板上开孔赶水，带走灰浆。

4 及时清除黏附在模板、钢筋和预埋件表面的砂浆。

7.2.10 混凝土浇筑间歇时间，应符合下列要求：

1 混凝土浇筑应保持连续性。

2 混凝土允许浇筑间歇时间应通过试验确定，并满足设计要求。超过允许浇筑间歇时间，但混凝土能重塑的，经批准可继续浇筑。

3 局部初凝但未超过允许面积，可在初凝部位摊铺水泥砂浆或浇筑低 1 个～2 个级配混凝土后，继续浇筑。

7.2.11 混凝土浇筑仓面出现下列情况之一的，应停止浇筑：

1 混凝土初凝并超过允许面积。

2 混凝土平均浇筑温度超过允许偏差值，并在 1h 内无法调整至允许温度范围内。

7.2.12 浇筑仓面混凝土料出现下列情况之一的，应予以挖除：

1 不合格料。

2 高等级混凝土部位浇筑的低等级混凝土料。

3 不能保证混凝土振捣密实的混凝土料。

4 已初凝未进行平仓振捣的混凝土料。

5 长时间不凝固、超过规定时间的混凝土料。

7.2.13 混凝土施工缝处理，应符合下列要求：

1 混凝土收仓面应浇筑平整，抗压强度未达到 2.5MPa 前，不得进行下道工序的仓面准备工作。

2 混凝土施工缝面应无乳皮、露粗砂，有特殊要求的部位可微露小石。

3 混凝土表面毛面处理时间由试验确定。毛面处理宜采用 25MPa～50MPa 高压水冲毛，也可采用低压水、风砂枪、刷毛机及人工凿毛等方法。采用喷洒专用处理剂应进行专门论证。

4 门槽二期混凝土、楼梯（板）与主体结构的缝面等特殊部位的施工缝面，可采用免拆金属模板网。

7.2.14 达到设计顶面的混凝土表面应平整，其高程应符合设计要求。

7.3 雨 季 浇 筑

7.3.1 雨季浇筑混凝土时，应收集天气预报信息，合理安排施工，并应符合下列要求：

1 骨料仓应排水通畅。

2 运输工具采取防雨、防滑措施。

3 浇筑仓内采取截水、排水、防雨措施，防止周围雨水流入仓内。

4 增加骨料含水率测定频次，适时调整拌和用水量。

7.3.2 有抗冲耐磨和抹面要求的混凝土，不应在雨天露天施工。

7.3.3 在小雨天气浇筑时，应采取下列措施：

1 适当减少混凝土拌和用水量和出机口混凝土的坍落度，必要时可适当减小水胶比。

2 做好新浇筑混凝土面尤其是接头部位的保护工作。

7.3.4 无防雨棚的仓面，中雨及以上的天气不得新开混凝土浇筑仓面。混凝土浇筑过程中突遇中雨及以上的天气时，应采取下列措施：

1 遇中雨时，应及时采取遮盖、排水措施，可继续浇筑。

2 遇大（暴）雨时，应立即停止进料，已入仓混凝土应振捣密实后遮盖。

3 雨后应先排除仓内积水，如混凝土能重塑，被雨水冲刷的部位应加铺砂浆后继续浇筑，否则应按施工缝处理。

7.4 养 护 与 保 护

7.4.1 混凝土平仓振捣完毕至终凝前，不得人为扰动或堆放重物，

并避免仓面积水或曝晒。

7.4.2 混凝土表面养护，应符合下列要求：

1 混凝土应在初凝 3h 后潮湿养护，低流动性混凝土宜在浇筑完毕后立即喷雾养护，并尽早开始保湿养护。有抹面要求的混凝土，不得过早在表面洒水，抹面后应及时进行保湿养护。

2 混凝土养护应连续，养护期内混凝土表面应保持湿润。

3 可采用喷雾、洒水、流水、蓄水或保温、保湿的养护方式，也可采用养护剂等。

4 养护期不宜少于 28d，对重要部位和利用后期强度混凝土，以及其他有特殊要求的部位，应适当延长养护时间。

7.4.3 对建筑物棱角、过流面等重要部位，应加强混凝土表面保护。

7.4.4 混凝土养护应配备专人负责，并应做好养护记录。

8 温 度 控 制

8.1 一 般 规 定

8.1.1 混凝土温度控制方案应按照设计要求制定，适当留有余地。通水冷却应遵循“小温差、早冷却、缓慢冷却”的原则。

8.1.2 应根据混凝土建筑物结构设计、原材料选择、配合比、混凝土施工、环境温度变化、表面养护与保温等因素，确定温度控制标准和控制指标。

8.1.3 混凝土施工的纵缝与横缝设置、分层厚度、浇筑间歇时间及通水冷却等，应符合设计要求。

8.1.4 设计龄期大于 28d 的混凝土，选择混凝土施工配合比时，应考虑早期抗裂能力的要求。

8.1.5 应保证混凝土施工质量均匀性，提高混凝土的抗裂能力，并应避免混凝土块体早期过水。

8.1.6 大坝施工过程中，浇筑块宜均匀上升，相邻块的高差不宜超过 12m。如因施工特殊需要，经论证可适当放宽。

8.1.7 基础约束区部位混凝土，宜安排在有利季节浇筑。强约束区或长间歇部位可使用微膨胀型混凝土或纤维混凝土。

8.2 浇 筑 温 度 控 制

8.2.1 混凝土拌和物出机口温度与运输、浇筑过程中的温度回升，以及允许浇筑温度应符合设计要求。设计无要求时，应根据允许最高温度计算允许浇筑温度。未明确温控要求的部位，其混凝土浇筑温度不宜大于 28℃。

8.2.2 宜采用水化热低的水泥，优化配合比设计，减少混凝土的

单位水泥用量等综合措施。

8.2.3 骨料温度控制，宜采取下列措施：

1 成品料仓骨料堆高不宜低于 6m，并应有足够的储备。

2 通过地下廊道取料，搭盖凉棚，粗骨料可喷雾降温。

3 粗骨料预冷可采用风冷、浸水、喷洒冷水等措施；采用水冷法时应有脱水措施，保持骨料含水量稳定；采用风冷法时应防止小石等骨料冻仓。

4 骨料从预冷仓到拌和楼，应采取隔热、保温措施。

8.2.4 混凝土拌和时，可采用冷水、加冰等降温措施；加冰时，宜用片冰或冰屑。

8.2.5 高温季节施工时，宜采取下列措施：

1 混凝土运输工具采取隔热遮阳措施，并缩短混凝土运输及卸料时间。

2 混凝土入仓后及时平仓振捣，平仓振捣后及时覆盖隔热材料。

3 采用喷雾等方法，保持混凝土浇筑仓面湿润和降低仓面气温。

4 尽量安排在气温较低的时段进行混凝土浇筑。浇筑块尺寸较大时，可采用台阶法浇筑。

8.3 混凝土内部温度控制

8.3.1 混凝土最高温度、基础温差、内外温差、上下层温差和温度过程等，应符合设计要求。

8.3.2 混凝土浇筑应短间歇、均匀上升，基础等强约束区部位，应避免薄层长间歇。基础混凝土和老混凝土约束区部位，分层厚度宜为 1m～2m，上、下层浇筑间歇时间宜控制在 5d～10d。采取埋设冷却水管措施，分层厚度可取 3m，层间间歇时间可适当延长。

8.3.3 混凝土初期冷却通水时间、流量和水温应通过计算和试验

确定。通水时间不少于 21d，水温与混凝土温度之差不宜超过 20℃，水流方向应每 24h 调换 1 次；重力坝日降温速率不宜超过 1℃，拱坝不宜超过 0.5℃。

8.3.4 若采用中期冷却时，通水时间、流量和水温应通过计算和试验确定。水温与混凝土温度之差不宜大于 20℃；重力坝日降温速率不宜超过 1℃，拱坝日降温速率不宜超过 0.5℃。

8.3.5 接缝灌浆施工部位两侧及相邻灌区混凝土温度，应符合设计要求。有接缝灌浆要求且自然冷却不能达到坝体的接缝灌浆温度时，应进行后期冷却；大坝后期冷却通水时间、流量和水温应通过计算确定；水温与混凝土温度之差不宜大于 10℃，日降温速率不宜超过 0.5℃。

8.4 表 面 保 温

8.4.1 施工期遇气温骤降时，应采取混凝土表面保温措施，防止寒潮袭击。

8.4.2 混凝土表面保温材料及其厚度，应根据不同部位、结构混凝土内外温差和气候条件，经计算和试验确定。

8.4.3 浇筑的混凝土顶面应覆盖保护至气温骤降结束或上层混凝土开始浇筑前。混凝土侧面可结合模板类型、材料性能等采用模板内贴或外贴保温材料或混凝土预制模板进行保护。模板拆除时间应根据混凝土强度及混凝土的内外温差确定，并应避免气温骤降时拆模。

8.4.4 气温变幅较大时，长期暴露的大坝基础混凝土面及其他重要部位混凝土，应加强表面保护。

8.4.5 底板、护坦、闸墩等薄板（壁）建筑物的顶（侧）面，宜保护至过水前。

8.4.6 在进入低温、气温骤降频繁季节前，宽缝重力坝、支墩坝、空腹坝的空腔以及隧洞、竖井、廊道及其他孔洞的进出口宜进行封闭和表面保温。

8.5 特殊部位的温度控制

8.5.1 岩基面上的塘、槽深度超过 3m 的回填混凝土，应采用分层浇筑或通水冷却等措施，控制混凝土最高温度。回填混凝土的温度符合设计要求后，方可继续浇筑上部混凝土。

8.5.2 大体积混凝土的封闭块、预留宽槽等预留块混凝土，应在两侧老混凝土温度、龄期达到设计要求后选择有利时机进行回填，并应采取温控措施。

8.5.3 并缝块混凝土应在其下部混凝土温度符合设计要求后安排在有利季节浇筑，并应严格控制浇筑温度。

8.5.4 隧洞、竖井、廊道及其他孔洞进出口封堵体混凝土施工，应采用综合温控措施，并符合设计要求。

8.6 温 度 监 测

8.6.1 应对混凝土施工全过程进行温度监测，掌握混凝土温度变化，有效控制温度梯度，并做好记录。

8.6.2 原材料温度、出机口混凝土温度、冷却水的温度和气温，至少应每 4h 测量 1 次。

8.6.3 混凝土浇筑温度监测点应均匀分布，每 $100m^2$ 浇筑面积应不少于 1 个测点，每一浇筑层应不少于 3 个测点。

8.6.4 混凝土内部温度可埋设仪器进行监测，并应符合设计要求。

8.6.5 混凝土施工的温度控制应以浇筑温度、最高温度等设置温控预警值。

8.6.6 应对温度监测资料及时进行分析，对温度控制措施效果进行评价，采取措施控制基础温差、内外温差和上下层温差以及混凝土温度过程线满足设计要求。

9 低温季节施工

9.1 一般规定

9.1.1 日平均气温连续 5d 在 5℃以下或最低气温连续 5d 在–3℃以下时，应按低温季节要求施工。

9.1.2 低温季节施工应编制专项施工方案和火灾事故应急预案。

9.1.3 低温季节混凝土施工方法，宜符合下列要求：

1 温和地区宜采用蓄热法，风沙大的地区应采取防风设施。

2 严寒和寒冷地区预计日平均气温在–10℃以上时，可采用蓄热法；预计日平均气温在–10℃以下时，可采用综合蓄热法等；日平均气温在–20℃以下时不宜施工。

9.1.4 采用蓄热法施工，应符合下列规定：

1 保温模板应严密，孔洞和接头处等的保温层应搭接牢固，并保证施工质量。

2 有孔洞和迎风面的部位，应增设挡风保温设施。

3 混凝土浇筑完毕后应使用不易吸潮的保温材料立即覆盖保温。

9.1.5 混凝土早期允许受冻临界强度，应满足下列要求：

1 大体积混凝土不应低于 7MPa 或成熟度不低于 1800℃·h。

2 非大体积混凝土和钢筋混凝土不应低于设计强度的 85%。

9.1.6 原材料的加热、输送、储存和混凝土的拌和、运输、浇筑等设备与设施，应根据热工计算和实际气候条件，确定加热、保温、防冻措施。加热的骨料和混凝土应缩短运距，减少倒运次数。

9.1.7 低温季节施工，尤其在严寒或寒冷地区，施工部位宜相对集中，不宜分散。已浇筑的有保温要求的混凝土，应采取抗冻保

护或越冬保温措施。

9.2 原材料与拌和

9.2.1 严寒或寒冷地区的工程，骨料宜在进入低温季节前筛洗完毕。成品料堆应有足够的储备和堆高，并应有防止冰雪和冻结的措施。

9.2.2 当日平均气温连续 5d 在–5℃以下时，宜将骨料加热。骨料加热宜采用蒸汽排管法，粗骨料可采用蒸汽直接加热，但不得影响混凝土的水胶比。骨料不需加热时，粗骨料表面不应结冰，不掺混冰雪；细骨料不得含有冻块。

9.2.3 低温季节混凝土宜采用热水拌和。拌和用水温度超过 60℃时，应改变拌和加料顺序，将骨料与水先拌和，再加入水泥，以免水泥假凝。

9.2.4 外加剂溶液不得直接用蒸汽加热。水泥不得直接加热。

9.2.5 蒸汽热水冲洗拌和设备和运输设备等设施，应设置在拌和楼（站）附近。混凝土拌和前，应用热水或蒸汽冲洗拌和机，并将积水排除，使拌和料斗及出料口处于正温状态。

9.2.6 低温季节混凝土拌和时间应通过试验适当延长，同时应控制并及时调整混凝土出机口温度且不低于 5℃。

9.3 运输与浇筑

9.3.1 混凝土运输工具应保温。混凝土装卸部位和浇筑地点的出入口，应设置可靠的防风设施。

9.3.2 严寒和寒冷地区基础面或老混凝土面处理，应符合下列要求：

1 仓面清理宜采用热风枪或机械方法。

2 浇筑混凝土前，应检测表面温度，如为负温，应加热至 3℃，仓面边角最冷处表面温度应高于 3℃。

3 在软基上浇筑第一层基础混凝土时，应保证软基无冻胀变形。

9.3.3 低温季节不宜采用泵送混凝土。当采用泵送混凝土时，混凝土泵应安装在保温采暖的建筑物内；当气温低于 0℃时，混凝土输送泵管应保温。

9.3.4 混凝土浇筑温度应符合设计要求，并保持均匀，减少波动；温和地区不应低于 3℃，严寒和寒冷地区采用综合蓄热法时不应低于 5℃。

9.3.5 浇筑混凝土前和浇筑过程中，应及时清除钢筋、模板和浇筑设施等附着的冰雪和冰块，不得将冰雪、冰块带入仓内。

9.3.6 低温季节施工时，模板应满足保温要求。模板外挂保温层应牢固，模板内贴保温材料抗压强度应满足混凝土表面不变形的要求。保温后混凝土表面等效放热系数β值应满足设计要求，并根据坝址气温骤降及风速等情况通过计算确定。β值可按公式（9.3.6）验算。

$$\beta=\frac{K}{\frac{1}{\beta_0}+\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad (9.3.6)$$

式中：β——保温后混凝土表面等效放热系数[kJ/(m^2·h·℃)]；

β_0——不保温时混凝土表面放热系数［kJ/（m^2·h·℃）］；

K——风速修正系数，无量纲；K 值可按表 9.3.6 选取；

δ_i——第 i 层保温材料的厚度（m）；

λ_i——第 i 层材料的导热系数［kJ/（m·h·℃）］。

表 9.3.6 风速修正系数 K

保温层透风性		风速≤4m/s	风速>4m/s
易透风保温层（稻草锯末等）	不加隔层	2.6	3.0
	外面加不透风隔层	1.6	1.9
	内面加不透风隔层	2.6	2.3
	内外面加不透风隔层	1.3	1.5
不透风保温层		1.3	1.5

9.3.7 混凝土浇筑完毕后，外露表面应及时保温。基础混凝土（基岩面）、新老混凝土结合处和边角处，保温范围应超过施工缝或结构缝 1.0m～1.5m，保温层厚度应达到其他保温层厚度的 2 倍，保温层搭接长度不应小于 30cm。混凝土结构孔洞应封堵和挡风保温，防止冷空气对流。

9.3.8 低温季节浇筑的混凝土，其模板拆除应符合下列规定：

1 非承重模板拆除时，混凝土强度应大于允许受冻的临界强度或成熟度值。

2 承重模板的拆除应经过计算确定。

3 拆模时间及拆模后的保护，应满足温控防裂要求，以及内外温差不大于 20℃或 2d～3d 内混凝土表面温降不超过 6℃的要求。在风沙大的地区，拆模后混凝土表面应采取覆盖塑料布等保湿措施。

4 不得在夜间和预计气温骤降时段内拆模。

9.3.9 混凝土质量检查，除应按规定采用成型试件和无损检测外，尚可用成熟度法随时检查混凝土早期强度。成熟度法计算混凝土早期强度应符合附录 B 的规定。

9.4 温 度 监 测

9.4.1 施工期温度监测，应符合下列要求：

1 外界气温宜采用自动测温仪器，人工测温时每天应至少测量 4 次。

2 采用综合蓄热法施工，暖棚内气温每 4h 测 1 次，以距混凝土面 50cm 测量的四边角和中心温度平均值为准。

3 水、外加剂及骨料温度，每小时测 1 次；测温仪插入深度应不小于 10cm，测量粗骨料温度时插入深度还应大于骨料粒径 1.5 倍，且周围用细粒径充填。

4 混凝土出机口温度、运输温度损失及浇筑温度，可每 2h 测量 1 次或根据需要测量；温度传感器或温度计插入深度应不小

于 10cm。

5 已浇筑混凝土块体内部温度，可用电阻式温度计或热电偶等仪器监测，也可埋设测温孔使用温度传感器、玻璃温度计测量，测温孔孔深应大于 15cm，孔内灌满液体介质。

6 大体积混凝土浇筑后温和地区 3d 内、严寒和寒冷地区 7d 内，应加密监测内部温度变化，每 8h 监测 1 次，其后每 12h 监测 1 次；外部混凝土每天应监测最高、最低温度。

7 气温骤降和寒潮期间，应增加温度监测次数。

9.4.2 养护期温度监测，应符合下列要求：

1 测温孔应编号，并绘制测温孔布置图，根据测温记录及时对温度监测资料进行统计分析。

2 测温孔位置应结合养护方法布置；当采用蓄热法养护时，应在易于散热的部位设置；当采用加热养护时，应在距热源不同的位置分别设置。

3 采用蓄热法养护时，混凝土强度未达到允许受冻临界强度前，应每 2h 测量 1 次温度，达到允许受冻临界强度后，每 6h 测量 1 次；采用综合蓄热法养护时，升温和降温阶段应每小时测量 1 次温度，恒温阶段每 2h 测温 1 次。

4 外界环境温度、湿度、风速等气象要素应每 6h 测量 1 次，宜采用自动测量仪器。

5 保温层内、外的温度监测，应选择有代表性的部位，同一部位测温点不少于 2 点，监测频次每天 1 次；气温骤降和寒潮期间，应加密温度监测次数。

9.4.3 应及时对温度监测资料进行分析，对温度控制措施效果进行评价，必要时应采取改进措施。

10 预埋件施工

10.1 一般规定

10.1.1 预埋件的结构型式、位置、尺寸，以及材料品种、规格、性能指标应符合设计和有关标准要求。

10.1.2 预埋件材料应有生产厂家的性能检测报告和出厂合格证。使用前应按要求抽样检测。

10.1.3 预埋件材料及构件的存放应采取防晒、防雨、防潮措施，不宜露天堆存。内部监测仪器应存放在库房内。

10.1.4 已安装的埋件设施，应采取专项措施予以保护。

10.2 止水、伸缩缝与排水

10.2.1 止水片（带）的施工应符合《水工建筑物止水带技术规范》DL/T 5215 的要求，并应符合下列规定：

1 止水片（带）应平整，表面的浮皮、锈污、油渍应清除干净；铜止水片和不锈钢止水片砂眼、钉孔、裂纹应焊补；聚氯乙烯（PVC）或橡胶止水带有变形、裂纹和撕裂不得使用。

2 铜止水、不锈钢止水片的十字接头和 T 形接头应在工厂加工制作，其接头的抽查数量不少于接头总数的 20%。

3 在现场连接的接头，应逐个进行外观或渗透检查，必要时应进行强度检查，抗拉强度不应低于母材强度的 75%。

4 止水片（带）安装应由模板夹紧定位，支撑牢固。铜止水片和不锈钢止水片定位后应在鼻子空腔内满填塑性材料。

5 表面止水带应采用专门的或经试验论证的紧固件固定，紧

固件应密闭、可靠。

6 水平止水片（带）上、下 30cm 范围内，不宜设置水平施工缝；无法避免时，应采取措施将止水片（带）埋入或留出。

10.2.2 止水基座的施工，应符合下列规定：

1 接缝止水基座挖槽，应符合设计要求，并按建基面要求清除松动岩块和浮渣，冲洗干净；基座混凝土应振捣密实，混凝土抗压强度达 2.5MPa 后方可开始下道工序准备工作，混凝土抗压强度达 10MPa 后方可浇筑上部混凝土。

2 坝基止水槽、止水堤（梗）基础应按建基面要求验收合格。基座混凝土外露面应涂刷隔离剂，并不得污染其他部位。

10.2.3 沥青止水井的施工，应符合下列规定：

1 沥青和沥青混合物等填料配合比，应按设计要求通过试验确定，且同一沥青井内的填料材料和配合比应相同。

2 沥青井宜采用预制的填料柱，全部形成后沥青填料应通电或蒸汽加热熔化 1 次，补满填料后井口加盖，并详细记录。

10.2.4 伸缩缝缝面填料的施工，应符合下列规定：

1 伸缩缝缝面应平整、洁净。蜂窝麻面应填平，外露金属件应割除。缝面填料、厚度应符合设计要求。

2 缝面应干燥，先刷冷底子油，再按顺序粘贴；其高度不得低于混凝土收仓面高度。

3 坝体两道止水之间的排水槽应保证通畅，宜分区分段进行畅通性检查；必要时，按设计要求进行封填。

10.2.5 排水设施的施工，应符合下列规定：

1 坝基排水孔应在相邻 30m 范围内帷幕灌浆完成后进行施工，并应按设计图纸及有关要求进行统一编号。排水孔钻进应及时记录。

2 岩基的排水孔的允许偏差，应符合设计要求；当设计未作规定时，应按表 10.2.5 执行。

表 10.2.5 基岩排水孔的允许偏差

分 项	孔口位置	孔倾斜度		孔 深
		孔深＞8m	孔深≤8m	
允许偏差	10cm	1%	2%	±0.5%

3 岩基排水孔冲洗，应至回水澄清并持续 10min 结束；孔口应采取保护措施，防止污水、污物等流入孔内。

4 排水孔孔口装置加工，应符合设计要求，并进行防锈处理；孔口装置安装应连接牢固，不得有渗水、漏水现象。

5 基岩水平排水管（道）和岩基排水廊道的接头及基岩面的接触处应密合；接头密合连接前，管（道）、基岩排水沟内杂物应清除干净，保证通畅。

6 坝体排水管宜采用拔管法成孔，拔管时间由试验确定；平面位置应符合设计要求。

7 当坝体排水孔采用预制无砂混凝土排水管时，应达到设计强度方可安装；管段接头应密封，施工中应有专人维护，管身不得淤堵、碰撞。

8 当混凝土浇筑升层厚度大于 3m 时，可采用预埋盲管或可拆卸模板等方式成孔。

10.3 冷却、接缝灌浆管路

10.3.1 管路可采用塑料管或钢管。管路埋设应符合设计要求且应无堵塞现象。钢管管路表面的锈皮、油漆和油渍等杂物应清除干净。

10.3.2 管路安装及接头应牢固、可靠，不得漏水、漏气。管子宜采用丝扣连接，管、盒连接可采用包扎的方法，不得漏入水泥浆。管路通过伸缩缝时，应设置伸缩节或过缝处理。

10.3.3 埋管出口应妥善保护，埋管出口集中处应设置识别标志。出口段宜露出模板外面 30cm～50cm。

10.3.4 管路安装完毕和混凝土开仓前，应采用压力水或通气的方法检查是否通畅。堵塞或漏水（气）时，应及时进行处理，直至合格。

10.3.5 混凝土浇筑过程中，应有专人维护，防止管路变形或堵塞。在埋入混凝土 30cm～50cm 后，应通水（气）检查，发现问题应及时处理。

10.3.6 各种预埋管路的位置、高程、进出口等应详细记录，并绘图说明。

10.4 金 属 件

10.4.1 各种预埋金属件，应按图加工、分类堆放。埋设前，应将其表面的锈皮、油污等杂物清除干净。

10.4.2 预埋金属件的规格、数量、高程、方位、埋入深度及外露长度等，应符合设计要求。安装应牢固可靠，安装精度应符合有关标准的要求。

10.4.3 安装螺栓或精度要求高的金属件，可采用样板固定，或采用二期混凝土施工方法。

10.4.4 混凝土浇筑过程中，预埋件不得移位和松动，周围混凝土应振捣密实。

10.4.5 锚固在岩基或混凝土上的锚筋，应符合下列规定：

1 钻孔位置偏差：柱子的锚筋不大于 2cm；钢筋网的锚筋不大于 5cm。

2 钻孔底部的孔径以大于锚筋直径 20mm 为宜；岩石部分的钻孔深度，不得浅于设计深度；钻孔倾斜度在全孔深度内不得超过 5%。

3 锚筋埋设后不得晃动，孔内砂浆强度达到 2.5MPa 时，方可进行下道工序。

10.4.6 用于起重运输的吊钩或金属环，应经计算确定，必要时应进行荷载试验。其材质应满足设计要求或采用未经冷处理的 I 级

钢材加工，并待混凝土达到设计强度后方可使用。

10.4.7 爬梯、扶手及栏杆预埋件的埋入深度应符合设计要求。未经安全检查，不得启用。

10.5 内 部 监 测 仪 器

10.5.1 监测仪器安装，应符合设计图纸、仪器说明书和《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178 要求。

10.5.2 监测仪器应按图在电缆上编号，每个仪器的电缆编号不得少于 3 处，再根据电缆长度每 20m 标识 1 个编号，埋设前应逐个查对，准确无误。

10.5.3 电缆的走向应在平面上按平行和垂直于坝轴线呈直线埋设。上游面电缆应分散埋设，并应距上游面 5m 以上和施工缝面 15cm 以上垂直埋设。电缆过缝、进监测站时，应进行过缝、防剪切和防渗处理。

10.5.4 监测仪器和电缆在埋设中应有专人看护，做好施工记录，提供仪器编号、坐标和方向、电缆走向、埋设日期、埋设前后监测数据及环境情况等信息，及时绘制竣工图。

11 质量检查与控制

11.1 一 般 规 定

11.1.1 混凝土质量检查及其质量指标应符合设计文件、施工技术要求或相关规范的规定，并制定改进与提高质量的工程措施和管理措施。

11.1.2 应对混凝土原材料、配合比、拌和、运输与浇筑等环节及硬化后的混凝土质量进行全过程检查与控制，掌握质量动态信息。

11.1.3 应按照质量管理和保证体系，检查制度建设、配备的相应技术人员、试验检验设备。

11.1.4 混凝土施工质量不能满足要求的，应及时分析原因，提出改进措施。混凝土存在质量缺陷的，应根据对水工建筑物可靠性的影响，采取必要的措施。

11.2 原 材 料 检 验

11.2.1 水泥进场检验，应符合下列规定：

1 水泥进场检验按同厂家、同品种、同强度等级进行编号和取样。中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥及通用硅酸盐水泥，以不超过 600t 为一取样单位；低热微膨胀水泥以不超过 400t 为一取样单位；抗硫酸盐水泥以不超过 300t 为一取样单位。不足一个取样单位的应按一个取样单位计。

2 主控项目应每批次检验 1 次，一般项目应每季度至少检验 1 次。水泥进场检验项目可按表 11.2.1 执行。

表 11.2.1 水 泥 检 验 项 目

序号	种 类	主控项目	一般项目
1	中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥	比表面积、安定性、凝结时间、强度	三氧化硫、碱含量、氧化镁、烧失量、水化热
2	通用硅酸盐水泥	比表面积（细度）、安定性、凝结时间、强度	不溶物、烧失量、三氧化硫、碱含量、氯离子、氧化镁
3	低热微膨胀水泥	比表面积、安定性、凝结时间、强度、线膨胀率	三氧化硫、碱含量、烧失量、氧化镁、水化热、氯离子
4	抗硫酸盐水泥	比表面积、安定性、凝结时间、强度	硅酸三钙、铝酸三钙、三氧化硫、碱含量、氧化镁、烧失量、抗硫酸盐侵蚀能力

注：当工程对水泥碱含量有要求或骨料有碱活性时，水泥的碱含量应作为主控项目。钢筋混凝土用水泥的氯离子应作为主控项目。

11.2.2 掺合料进场检验，应符合下列规定：

1 粉煤灰、矿渣粉、磷渣粉等材料进场检验，应按连续供应的同厂家、同种类、同等级进行编号和取样，以不超过 200t 为一取样单位；硅灰以不超过 20t 为一取样单位。不足一个取样单位的应按一个取样单位计。

2 主控项目应每批次检验 1 次，一般项目可按 5 批次～7 批次检验 1 次。掺合料进场检验项目，可按表 11.2.2 执行。

表 11.2.2 掺合料检验项目

序号	种 类		主控项目	一般项目
1	粉煤灰	F 类	细度、需水量比、烧失量和含水量	三氧化硫和游离氧化钙含量
		C 类	细度、需水量比、烧失量、含水量、游离氧化钙和安定性	三氧化硫含量
2	硅灰		需水量比、比表面积、烧失量、含水量、二氧化硅含量和活性指标	氯离子含量同一工程、同一配合比至少检验 1 次

表 11.2.2（续）

序号	种　类	主控项目	一般项目
3	矿渣粉	密度、比表面积、活性指数、流动度比、含水量和三氧化硫含量	氯离子含量、烧失量一年检验 1 次
4	磷渣粉	细度、比表面积、需水量比、三氧化硫含量、含水量、安定性	五氧化二磷含量、烧失量和活性指数；如掺有石膏，增加对烧失量进行检验

11.2.3 外加剂进场检验，应符合下列规定：

1 外加剂进场检验应按掺量划分取样单位。外加剂掺量不小于 1%时，以不超过 100t 为一取样单位；掺量小于 1%时，以不超过 50t 为一取样单位；不足一个取样单位的应取样 1 次。

2 外加剂的检验项目和频次，按《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T 5100 执行。

11.2.4 骨料生产和进场检验，应符合下列规定：

1 应按表 11.2.4 进行骨料的生产检验，在筛分楼出料皮带或下料口取样；主控项目应每 8h 检测 1 次，一般项目应每月检验不少于 2 次。

2 成品骨料出厂时，每批应有产品质检报告，内容包括：产地、类别、规格、数量、检验日期、检测项目及结果、结论等。

3 使用单位应进行骨料进场检验，粗骨料按同料源同规格、细骨料按同料源进行，骨料主控项目应每 8h 检验 1 次。

4 生产单位和使用单位应分别每月至少进行 1 次全面检验。必要时应定期进行碱活性检验。

表 11.2.4　骨料生产检验项目

骨料类别	主控项目	一般项目
细骨料	细度模数、人工砂石粉含量、含泥量和泥块含量	云母含量、表观密度、有机质含量、坚固性、硫化物及硫酸盐含量、轻物质含量
粗骨料	超径、逊径、含泥量和泥块含量	有机质含量、坚固性、硫化物及硫酸盐含量、表观密度、吸水率、针片状含量、压碎指标

11.2.5 符合《生活饮用水卫生标准》GB 5749 要求的饮用水，可不经检验作为水工混凝土用水。地表水、地下水、再生水等，使用前应进行检验；使用期间，检验频率宜符合下列规定：

1 地表水每六个月检验 1 次。

2 地下水每年检验 1 次。

3 再生水每三个月检验 1 次；质量稳定一年后，可每六个月检验 1 次。

4 当发现水受到污染和对混凝土性能有影响时，应立即检验。

11.2.6 混凝土生产过程中，应在拌和楼进行原材料检验，检验项目和检验频率应符合表 11.2.6 的规定。

表 11.2.6　混凝土生产过程原材料检验

序号	名称	检验项目	检验频率
1	水泥	强度、凝结时间	必要时在拌和楼抽样检验
2	掺合料	需水量比	必要时在拌和楼抽样检验
3	外加剂	溶液配制浓度	每天 1 次～2 次
4	细骨料	含水率	每 4h 1 次，雨雪后等特殊情况应加密检测
		细度模数、石粉含量、含泥量	每天 1 次
		表 11.2.4 所列项目	每月 1 次
5	粗骨料	小石含水率	每 4h 1 次，雨雪后等特殊情况应加密检测
		超径含量、逊径含量、中径筛筛余量、含泥量	每 8h 1 次

11.3　混凝土拌和质量控制

11.3.1 应严格按混凝土施工配合比和配料单进行配料和拌和，不得擅自更改。

11.3.2 混凝土拌和楼（站）的称量设备应定期检验校正，必要时

随时校验。每班称量前，应对称量设备进行零点校验。

11.3.3 当砂子细度模数超出控制中值±0.2 时，应调整配料单的砂率。

11.3.4 混凝土组成材料计量的允许偏差，按表 5.2.1 执行。混凝土拌和生产中，应检查原材料的配料称量并记录。

11.3.5 混凝土应拌和均匀，其检测方法按《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 执行。混凝土拌和物的水胶比检测，可按《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 执行。

11.3.6 混凝土坍落度允许偏差应符合表 11.3.6 的规定。

表 11.3.6 坍落度允许偏差

坍落度（mm）	允许偏差（mm）
<50	±10
50～100	±20
≥100	±30

11.3.7 引气混凝土的含气量允许偏差为控制中值的±1.0%。

11.3.8 混凝土拌和质量检验应符合表 11.3.8 的规定。

表 11.3.8 混凝土拌和质量检验

序号	检验项目	检验频率
1	原材料配料称量	每 8h 不少于 2 次
2	拌和时间	每 4h 1 次
3	有温控要求的混凝土出机口温度	每 2h 1 次
4	坍落度、*VC* 值、维勃稠度值、扩展度	每 4h 1 次～2 次
5	引气混凝土含气量	每 4h 1 次
6	凝结时间、泌水率、坍落度和含气量损失	每月至少 1 次

11.3.9 发生水灰比、坍落度、含气量、温度不合格情况时，应立即调整，并连续加密抽样检验；如果 3 次不合格，应按不合格料

处理。

11.4 浇筑质量检查与控制

11.4.1 混凝土浇筑前应进行准备工作检查，检查内容应符合下列要求：

1 基础面和混凝土施工缝面处理、模板、钢筋、预埋件安装等验收合格。

2 金属结构、机电安装和监测仪器埋设，已按相关要求验收合格。

3 混凝土仓面设计已审签，并取得开仓证。

11.4.2 混凝土浇筑过程中，应有专人在仓面检查，观察混凝土均匀性、和易性，发现异常情况应及时处理，并对施工过程与问题处理进行记录。

11.4.3 拆模后应及时检查混凝土外观质量。发现裂缝、蜂窝、麻面、错台和跑模等质量缺陷，应按设计要求进行处理。对混凝土强度或内部质量存疑时，可采取无损检测以及钻孔取芯、压水试验等方法进行检查复核。

11.5 混凝土性能检验

11.5.1 现场混凝土强度检验以抗压强度为主，并以 150mm 立方体试件、标准养护条件下的抗压强度为标准。当采用非标准尺寸试件时，应换算成标准尺寸试件的抗压强度进行评价。

11.5.2 混凝土试件以出机口随机取样为主，每组 3 个试件，并应在同一储罐或运输车中取样制作。浇筑地点试件取样数量宜为出机口取样数量的 5%～10%。每组混凝土试件强度代表值的确定，应符合下列规定：

1 每 3 个试件强度的算数平均值作为该组试件的强度代表值。

2 当一组试件中强度的最大值或最小值与中间值之差超过

中间值的 15%时，取中间值作为该组试件的强度代表值。

3 当一组试件中强度的最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 15%时，该组试件的强度不应作为评定依据。

11.5.3 同一强度等级混凝土试件取样频率和数量，应符合表 11.5.3 的规定。

表 11.5.3 混凝土性能检验

序号	检验项目		检验频率
1	抗压强度	28d	每 500m³ 成型 1 组，不足时也应成型 1 组
		设计龄期	每 1000m³ 成型 1 组，不足时也应成型 1 组
2	抗拉强度	28d	每 2000m³ 成型 1 组
		设计龄期	每 3000m³ 成型 1 组
3	抗冻、抗渗或其他性能		每季度施工的主要部位取样成型 1 组～2 组
4	试验系统误差		每季度 1 次

11.5.4 混凝土强度预测，宜采用快速测强法，可进行 7d 龄期强度试验。

11.5.5 混凝土试件的成型、养护及试验应按《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 执行。

11.6 混凝土生产质量控制水平评定

11.6.1 衡量混凝土生产质量控制水平可采用 28d 龄期抗压强度离差系数 C_v 值表示。按月对相同强度等级、相同配合比连续机口取样的 28d 龄期抗压强度试验结果进行统计。一次统计所用试件的数目不少于 30 组，当组数少于 30 组时，可适当延长统计时段。

11.6.2 抗压强度离差系数 C_v 值计算方法应符合附录 A 的规定，混凝土生产质量控制水平的评定应符合表 11.6.2 的规定。当混凝土生产质量控制水平为“差”时，应查明原因予以改进。

表 11.6.2 混凝土生产质量控制水平

混凝土生产质量控制水平		优秀	良好	一般	差
抗压强度离差系数 C_v	28d 龄期抗压强度平均值≤20MPa	<0.15	0.15～0.18	0.18～0.22	≥0.22
	28d 龄期抗压强度平均值>20MPa	<0.11	0.11～0.14	0.14～0.18	≥0.18

注：区间值“0.15～0.18”表示“≥0.15 且<0.18”，其余同理。

11.6.3 混凝土试验系统的质量检查每季度至少检查 1 次。试验系统误差可采用混凝土的盘内变异系数（δ_b）表示，计算方法应符合附录 A 的规定，试验误差等级的评定应符合表 11.6.3 的规定。当 δ_b 大于 5%时，应查明原因予以改进。

表 11.6.3 试 验 误 差 等 级

试验误差等级		优秀	良好	一般	差
盘内变异系数 δ_b（%）	现场	<4	4～5	5～6	≥6
	室内	<3	3～4	4～5	≥5

11.7 混凝土质量评定

11.7.1 水工混凝土质量评定应以设计龄期抗压强度为准。应对每一个统计周期内的同一强度等级的混凝土进行统计分析，统计计算混凝土强度平均值（$m_{f_{cu}}$）、标准差（σ）及保证率（P），并计算出不低于设计强度标准值的百分率（p_s），计算方法应符合附录 A 的规定。

11.7.2 坝体混凝土检验批混凝土抗压强度平均值、最小值和强度保证率应同时符合下列规定：

1 混凝土强度平均值：$m_{f_{cu}} \geqslant f_{cu,k} + 0.2t\sigma_0$

2 最低抗压强度：$f_{cu,k} \leqslant 20\text{MPa}$ 时，$f_{cu,min} \geqslant 0.85 f_{cu,k}$

$f_{cu,k}$ >20MPa 时，$f_{cu,min} \geqslant 0.90 f_{cu,k}$

3 抗压强度保证率：$P \geqslant 80\%$或按设计要求确定。

式中：$f_{cu,k}$——混凝土立方体抗压强度标准值，精确到 0.1MPa（MPa）；

$f_{cu,min}$——n 组强度中的最小值，精确到 0.1MPa；

$m_{f_{cu}}$——检验批混凝土立方体抗压强度的平均值，精确到 0.1MPa（MPa）；

t——概率度系数，按附录 A 表 A.0.4 选取；

σ_0——检验批混凝土强度标准差，精确到 0.1MPa；

n——样本容量不应少于 30 组，如不足 30 组应在前期加密取样；同一检验批混凝土宜按单位工程的验收项目或按月划分验收批，检验期不得大于 3 个月。

11.7.3 水工结构混凝土（不含大坝混凝土）检验批混凝土抗压强度平均值、最小值和强度保证率应同时符合下列规定：

1 混凝土强度平均值：

当 n 不少于 30 组时，$m_{f_{cu}} \geqslant f_{cu,k} + 0.4\sigma_0$

当 n 少于 30 组且不少于 10 组时，$m_{f_{cu}} \geqslant f_{cu,k} + k_1\sigma_0$

2 最低抗压强度：$f_{cu,k} \leqslant 20$MPa 时，$f_{cu,min} \geqslant 0.85 f_{cu,k}$

$f_{cu,k}$ >20MPa 时，$f_{cu,min} \geqslant 0.90 f_{cu,k}$

3 抗压强度保证率：$P \geqslant 95\%$

式中：$m_{f_{cu}}$——检验批混凝土立方体抗压强度的平均值，精确到 0.1MPa；

$f_{cu,k}$——混凝土立方体抗压强度标准值，精确到 0.1MPa；

σ_0——检验批混凝土强度标准差，精确到 0.1MPa；

n——样本容量，检验期不得大于 90d；

k_1——合格评定系数，按表 11.7.3 取用。

表 11.7.3 混凝土强度的统计法合格评定系数

试件组数 n	10～14	15～19	≥20
k_1	1.15	1.05	0.95

11.7.4 对小批量、零星生产的混凝土或评定的样本容量小于 10 组时，应按非统计方法进行混凝土强度的检验评定，并应符合下列规定：

$$m_{f_{cu}} \geqslant k_2 f_{cu,k}$$

$$f_{cu,min} \geqslant k_3 f_{cu,k}$$

式中：k_2，k_3——合格评定系数，按表 11.7.4 取用。

表 11.7.4 混凝土强度的非统计法合格评定系数

混凝土强度等级	<C60	≥C60
k_2	1.15	1.10
k_3	0.95	

11.7.5 在满足本规范第 11.7.2 条、第 11.7.3 条或第 11.7.4 条要求的同时，以设计龄期混凝土抗压强度标准差σ值进行混凝土质量等级评定，其评定标准按表 11.7.5 执行。

表 11.7.5 混凝土质量等级（设计龄期）

混凝土质量等级		优秀	合格
混凝土抗压强度标准差σ值（MPa）	抗压强度标准值≤20MPa	<3.5	≤4.5
	抗压强度标准值 20MPa～35MPa	<4.0	≤5.0
	抗压强度标准值>35MPa	<4.5	≤5.5

11.7.6 设计龄期混凝土抗渗性应满足设计要求；设计龄期混凝土抗冻性合格率不应低于 80%。

11.7.7 对评定为不合格检验批的混凝土，应按国家有关标准进行处理。

11.8 水工混凝土建筑物质量检查

11.8.1 水工建筑物外形尺寸和表面平整度，应按照《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准 第1部分：土建工程》DL/T 5113.1的规定或施工技术要求进行检测，并应符合设计要求。

11.8.2 大体积混凝土建筑物施工过程中，应适时进行钻孔取芯和压水试验，并应符合下列要求：

1 大体积混凝土钻孔取芯数量为（2m～10m）/1万 m^3。钻孔部位、检测项目、压水试验部位及其透水率的评定标准，应满足设计要求。

2 钢筋混凝土结构应以无损检测为主，必要时采取钻孔法进行芯样检测或压水试验检查。

3 混凝土芯样试验项目应包括抗压、抗拉或劈拉、抗渗、抗冻、极限拉伸以及弹性模量等，试验方法按《水工混凝土试验规程》DL/T 5150执行。

11.8.3 混凝土抗压强度试件的检测结果未满足合格标准要求，可从结构物中钻取混凝土芯样试件或采取无损检验方法进行检测；仍不符合要求，应对已完成的结构物，按实际条件验算结构的可靠性或根据需要采取必要的处理措施。

11.8.4 水工建筑物验收前应开展混凝土裂缝调查以及表面缺陷检查，详细记录裂缝和缺陷的部位、长度、宽度、深度，以及发现的日期及发展情况，并对混凝土外观质量进行评定。

附 录 A

混凝土平均强度 $m_{f_{cu}}$、标准差 σ、离差系数 C_v、强度保证率 P 和盘内变异系数 δ_b 计算方法

A.0.1 混凝土平均强度（$m_{f_{cu}}$），按下式确定：

$$m_{f_{cu}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_{cu,i}}{n} \qquad \text{(A.0.1)}$$

式中：$m_{f_{cu}}$ ——n 组试件的强度平均值（MPa）；

$f_{cu,i}$ ——第 i 组试件的强度值（MPa）；

n ——试件的组数。

A.0.2 混凝土强度标准差（σ）和强度不低于设计强度标准值的百分率（p_s），按下列公式计算：

1 标准差：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} f_{cu,i}^2 - n m_{f_{cu}}^2}{n-1}} \qquad \text{(A.0.2-1)}$$

2 百分率：

$$p_s = \frac{n_0}{n} \times 100\% \qquad \text{(A.0.2-2)}$$

式中：$f_{cu,i}$ ——统计周期内第 i 组混凝土试件强度值（MPa）；

n ——统计周期内相同强度等级的混凝土试件组数；

$m_{f_{cu}}$ ——统计周期内 n 组混凝土试件的强度平均值（MPa）；

n_0 ——统计周期内试件强度不低于要求强度等级值的组数。

验收批混凝土强度标准差 σ_0 的计算公式和 σ 计算公式相同。

A.0.3 离差系数 C_v

$$C_v = \sigma / m_{f_{cu}} \qquad (A.0.3)$$

式中：σ——混凝土强度标准差；

$m_{f_{cu}}$——混凝土强度平均值。

A.0.4 强度保证率 P

1 计算概率度系数 t

$$t = \frac{m_{f_{cu}} - f_{cu,k}}{\sigma} \qquad (A.0.4)$$

式中：t——概率度系数；

$m_{f_{cu}}$——混凝土试件强度的平均值（MPa）；

$f_{cu,k}$——混凝土设计强度标准值（MPa）；

σ——混凝土强度标准差（MPa）。

2 保证率 P 和概率度系数 t 的关系，由表 A.0.4 查得。

表 A.0.4 保证率和概率度系数关系

保证率 P（%）	65.5	69.2	72.5	75.8	78.8	80.0	82.9	85.0	90.0	93.3	95.0	97.7	99.9
概率度系数 t	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.84	0.95	1.04	1.28	1.50	1.65	2.0	3.0

A.0.5 盘内混凝土变异系数（δ_b），按下式确定：

$$\delta_b = \frac{\sigma_b}{m_{f_{cu}}} \qquad (A.0.5\text{-}1)$$

盘内混凝土强度均值（$m_{f_{cu}}$）及其标准差（σ_b）可利用正常生产连续积累的强度资料，按下列公式确定：

$$m_{f_{cu}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_{cu,i}}{n} \qquad (A.0.5\text{-}2)$$

$$\sigma_b = \frac{0.59}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta f_{cu,i} \qquad (A.0.5\text{-}3)$$

式中：δ_b——盘内混凝土强度的变异系数；

σ_b——盘内混凝土强度的标准差（MPa）；

$m_{f_{cu}}$——n 组混凝土试件强度的平均值（MPa）；

$\Delta f_{cu,i}$——第 i 组三个试件中强度最大值与最小值之差（MPa）；

n——试件组数，该值不得少于 30 组；

$f_{cu,i}$——第 i 组混凝土试件的强度值（MPa）。

附 录 B
用成熟度法计算混凝土早期强度

B.0.1 混凝土的强度是其养护龄期和温度乘积的函数，不同的龄期与温度的乘积相等时其强度亦大致相同。用这一乘积计算混凝土强度的方法称为成熟度法。

成熟度法有多种表现形式。本规范推荐使用等效龄期法和成熟度法计算混凝土强度。

等效龄期法是成熟度法的具体应用。低温季节施工期混凝土养护温度是变化的，在相同的混凝土原材料、外加剂、配合比条件下，通过试验分析找出施工养护温度与标准养护温度（20℃）之间的关系，即为等效系数。将实际养护温度、时间乘以等效系数之积，就是等效龄期，利用试验室提供的标准养护试件的各龄期强度资料，可以求出混凝土强度。

混凝土的成熟度，只要将等效龄期与标准温度乘积累计起来，即可求出混凝土的成熟度。成熟度法计算混凝土强度更适合蓄热法和综合蓄热法施工。

B.0.2 成熟度法的适用范围及条件：

1 适用于蓄热法或综合蓄热法施工的混凝土。

2 适用于预测混凝土强度标准值 60%以内的强度。

3 使用该法预测混凝土强度，需用实际工程使用的混凝土原材料和配合比，制作不少于 5 组混凝土立方体标准试件在标准条件下养护，得出 3d、5d、7d、14d、21d 的强度值。

4 使用该法需取得现场养护混凝土时间和温度实测资料（温度、时间）。

B.0.3 用等效龄期法测算混凝土强度宜按下列步骤进行：

1 用标准养护试件的各龄期强度数据，经回归分析形成下列

曲线方程：

$$f_{cu} = ae^{-\frac{b}{d}} \qquad \text{(B.0.3-1)}$$

式中：f_{cu}——混凝土立方体抗压强度（MPa）；

d——混凝土养护龄期（d）；

a、b——参数，利用标准养护试验结果，经回归分析得到；

e——自然对数的底，其值为 2.718 281 8。

2 根据现场的实测混凝土养护温度资料，用下列公式计算混凝土已达到的等效龄期（相当于 20℃标准养护的时间）：

$$t = \sum \alpha_T t_T \qquad \text{(B.0.3-2)}$$

式中：t——等效龄期（h）；

α_T——温度为 T 的等效系数，按表 B.0.3 采用；

t_T——温度为 T 的持续时间，h。

表 B.0.3 温度 T 与等效系数 α_T 表

温度 T（℃）	等效系数 α_T	温度 T（℃）	等效系数 α_T	温度 T（℃）	等效系数 α_T
50	3.16	36	1.99	22	1.11
49	3.07	35	1.92	21	1.05
48	2.97	34	1.85	20	1.00
47	2.88	33	1.78	19	0.95
46	2.80	32	1.71	18	0.91
45	2.71	31	1.65	17	0.86
44	2.62	30	1.58	16	0.81
43	2.54	29	1.52	15	0.77
42	2.46	28	1.45	14	0.73
41	2.38	27	1.39	13	0.68
40	2.30	26	1.33	12	0.64
39	2.22	25	1.27	11	0.61
38	2.14	24	1.22	10	0.57
37	2.07	23	1.16	9	0.53

表 B.0.3（续）

温度 T（℃）	等效系数 α_T	温度 T（℃）	等效系数 α_T	温度 T（℃）	等效系数 α_T
8	0.50	0	0.27	−8	0.14
7	0.46	−1	0.25	−9	0.13
6	0.43	−2	0.23	−10	0.12
5	0.40	−3	0.21	−11	0.11
4	0.37	−4	0.20	−12	0.11
3	0.35	−5	0.18	−13	0.10
2	0.32	−6	0.16	−14	0.10
1	0.30	−7	0.15	−15	0.09

3 以等效龄期 t 作为 d 代入公式（B.0.3-1）计算出混凝土强度。

B.0.4 当采用蓄热法或综合蓄热法施工时，成熟度法计算混凝土强度宜按下列步骤进行：

1 用标准养护试件各龄期强度数据，经回归分析形成成熟度—强度曲线方程：

$$f_{cu} = a e^{-\frac{b}{N}} \qquad (B.0.4)$$
$$N = \sum (T + 15) t$$

式中：f_{cu} ——混凝土抗压强度（MPa），当采用综合蓄热法时，f_{cu} 需乘以调整系数 0.8；

N——混凝土成熟度（℃ • h）；

T——在时间段 t 内混凝土平均温度（℃）；

t——温度为 T 的持续时间（h）。

2 取成熟度 N 代入公式（B.0.4）可算出强度 f_{cu}。

本 规 范 用 词 说 明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1） 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2） 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3） 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引 用 标 准 名 录

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

《通用硅酸盐水泥》 GB 175

《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》 GB 200

《低热微膨胀水泥》 GB 2938

《生活饮用水卫生标准》 GB 5749

《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》 DL/T 5055

《水工混凝土外加剂技术规程》 DL/T 5100

《水电水利工程模板施工规范》 DL/T 5110

《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准 第 1 部分：土建工程》DL/T 5113.1

《水工混凝土试验规程》 DL/T 5150

《水工混凝土砂石骨料试验规程》 DL/T 5151

《水工混凝土水质分析试验规程》DL/T 5152

《水工混凝土钢筋施工规范》 DL/T 5169

《混凝土坝安全监测技术规范》 DL/T 5178

《水工建筑物止水带技术规范》 DL/T 5215

《水工混凝土耐久性技术规范》 DL/T 5241

《水工混凝土配合比设计规程》 DL/T 5330

《混凝土泵送施工技术规程》 JGJ/T 10

中华人民共和国电力行业标准

水工混凝土施工规范

DL / T 5144 —2015

代替 DL / T 5144 —2001

条 文 说 明

目　次

2　术语和符号 …… 62
3　原材料 …… 64
3.1　一般规定 …… 64
3.2　水泥 …… 64
3.3　骨料 …… 66
3.4　掺合料 …… 71
3.5　外加剂 …… 75
3.6　水 …… 77
4　配合比 …… 78
5　混凝土生产 …… 80
5.1　一般规定 …… 80
5.2　混凝土拌和 …… 80
5.3　不合格料处理 …… 81
6　混凝土运输 …… 82
7　混凝土浇筑与养护 …… 86
7.1　浇筑准备 …… 86
7.2　浇筑实施 …… 88
7.3　雨季浇筑 …… 90
7.4　养护与保护 …… 91
8　温度控制 …… 93
8.1　一般规定 …… 93
8.2　浇筑温度控制 …… 94
8.3　混凝土内部温度控制 …… 96
8.4　表面保温 …… 98
8.5　特殊部位的温度控制 …… 99

8.6　温度监测 …… 99
9　低温季节施工 …… 101
9.1　一般规定 …… 101
9.2　原材料与拌和 …… 104
9.3　运输与浇筑 …… 105
9.4　温度监测 …… 105
10　预埋件施工 …… 107
10.1　一般规定 …… 107
10.2　止水、伸缩缝与排水 …… 107
10.3　冷却、接缝灌浆管路 …… 112
10.4　金属件 …… 112
10.5　内部监测仪器 …… 112
11　质量检查与控制 …… 114
11.1　一般规定 …… 114
11.2　原材料检验 …… 114
11.3　混凝土拌和质量控制 …… 115
11.4　浇筑质量检查与控制 …… 117
11.5　混凝土性能检验 …… 117
11.6　混凝土生产质量控制水平评定 …… 118
11.7　混凝土质量评定 …… 119
11.8　水工混凝土建筑物质量检查 …… 120

2 术语和符号

2.1.1 为新增术语。

2.1.2 为新增术语。主要考虑到除坝体混凝土可能会产生温度裂缝，需要采取温控措施之外，厂房蜗壳、溢洪道、调压井阻抗板等混凝土，以及厚度大于或等于 1m 的隧洞衬砌混凝土，也可能产生温度裂缝，同样需要采取温控措施，其难度甚至高于坝体混凝土。

大体积混凝土也可采用表面积系数即结构物的表面积与体积之比表示，符号“M”。由于表示方法简单、直观，北方多用此方法划分大体积混凝土，用于热工计算。原标准也用表面积系数 M 表示大体积混凝土，以 $M<3$ 划分为大体积混凝土。

2.1.3 对原标准 4.1.2 术语“强度等级”进行了重新定义。

1 混凝土强度等级以混凝土英文 Concrete 的第一个字母及其后面的立方体抗压强度标准值来表示。水工大体积混凝土普遍采用 90d 或 180d 龄期，故在 C 符号后加龄期下角标，如 $C_{90}15$、$C_{90}20$ 系指 90d 设计龄期的抗压强度标准值为 15MPa、20MPa 的水工混凝土，$C_{180}15$ 则为 180d 设计龄期的抗压强度标准值为 15MPa 的水工混凝土；C15、C20 系指 28d 设计龄期的抗压强度标准值为 15MPa、20MPa 的水工混凝土，在强度等级符号上不再注明龄期值。

2 混凝土强度及其标准符号：按照国家标准和有关规定，材料强度统一由符号“f”表达，混凝土立方体抗压强度以符号“f_{cu}”表示，其中“cu”是立方体的意思；混凝土立方体抗压强度标准值以符号“$f_{cu,k}$”表达，其中 k 是标准值的意思。

3 计量单位：混凝土强度计量单位以国际单位制表达，统一

采用“MPa”。

2.1.13 为新增术语。为防止坝体内外温差过大引起混凝土表面产生裂缝，施工中必须采取温控措施控制混凝土内外温差，一般为 20℃～25℃。

2.1.17 对原标准 4.1.18 术语“综合蓄热法”进行了重新定义。将原标准中的“暖棚法”纳入到“综合蓄热法”中。

3 原 材 料

3.1 一 般 规 定

3.1.1～3.1.3 为原标准第 5.1.1 条、第 5.1.5 条、第 5.1.7 条修改。将水泥、粉煤灰和外加剂等原材料优选、验收检验、运输和保管等共性要求单独列出，避免以后章节重复出现相关内容。

3.1.4 为新增条款。为改善混凝土抗裂性能，在混凝土中掺入纤维改善混凝土性能已经被很多工程所采用，为此增加了可掺入合成纤维、天然矿物纤维、钢纤维等材料的规定。

纤维混凝土是纤维和混凝土组成的复合材料的统称。纤维混凝土与普通混凝土相比，具有抗拉强度高、极限延伸率大、抗碱性好、韧性提高幅度大等优点，可克服普通混凝土抗拉强度低、极限延伸率小、性脆等缺点。

目前应用最广泛是钢纤维混凝土、玻璃纤维混凝土和聚丙烯纤维混凝土。溪洛渡水电站大坝混凝土中掺加的是聚乙烯醇改性纤维，称为“PVA 纤维”。

3.2 水 泥

3.2.1 为原标准第 5.1.1 条、第 5.1.2 条、第 5.1.3 条和第 5.1.7 条修改。

根据《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007、《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》GB 200—2003 和《低热微膨胀水泥》GB 2938—2008，对水工混凝土使用水泥品种进行了重新归类。低热硅酸盐水泥混凝土具有早期强度较低，后期强度发展较快，可提高混凝土塑性阶段的抗裂性能的特点，近年来

已广泛应用于大型水利水电工程，为此增加了低热硅酸盐水泥。

随着混凝土配合比设计技术的进步，上述所列水泥品种基本可配制出符合不同设计和施工性能要求的大坝混凝土，所以水泥品种不再区分使用部位。

采取选择掺合料品种、调节掺量等措施，可以改善混凝土抗硫酸盐侵蚀性能，所以当环境水对混凝土有硫酸盐侵蚀时，将“应”选择抗硫酸盐水泥改为“宜”选择抗硫酸盐水泥。

3.2.2 为原标准第 5.1.4 条修改。水泥熟料中适当的氧化镁含量可使混凝土具有微膨胀性，部分补偿混凝土温度收缩，已有大量的科研成果和国内工程应用实例。因此，为了合理利用氧化镁这一性能，有些工程提出了水泥熟料中氧化镁含量宜在 3.5%～5%范围内。重力坝工程对水泥内含氧化镁的应用经验较多，效果可以肯定；拱坝工程对膨胀变形有时间限制，要求在规定龄期不再产生膨胀变形，其内含氧化镁水泥的应用还有待进一步深入研究。

水泥细度过小，混凝土早期发热快，不利于温度控制。《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007 中，硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥细度以“比表面积”表示，不小于 300m^2/kg；矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰酸盐水泥和复合硅酸盐水泥细度以“筛余”表示，80μm 方孔筛筛余不大于 10%或 45μm 方孔筛筛余不大于 30%。根据三峡工程实测资料，三峡工程初期提出了水泥细度 80μm 方孔筛筛余控制在 3%～6%范围内，改为“比表面积”表示后要求水泥比表面积宜控制在 320m^2/kg 以内。

3.2.3 为原标准第 5.1.7 条修改。在混凝土温控计算中，水泥温度一般采用 60℃，即要求水泥进入拌和机拌和时的最高温度不超过 60℃，否则会影响温控混凝土施工。根据三峡、小浪底等工地的入罐温度检测数据，最高时可达到 80℃左右，虽然在储存和输送过程中可能会有所降低，但进入拌和机的温度仍会超过 60℃，因此规定了水泥进入工地储罐的温度不宜高于 65℃。三峡工程规定一般情况下不宜超过 65℃，当混凝土施工高峰期生产厂家因供不

应求时，允许放宽至 70℃。

储存水泥的仓库屋面应防止漏水，并对水泥库进行经常清扫，加强环境保护。进场的水泥要注意按不同生产厂家，不同品种、标号、批号分别保管存放，严禁混杂。

3.3 骨　料

3.3.1 为原标准第 5.2.1 条修改。本条强调骨料料源选择的原则。所谓两者相互补充，是指天然骨料（或人工骨料）中某一级料量不够时，采用人工骨料（或天然骨料）替代，或指天然骨料级配不平衡时在生产工艺流程中增加机械破碎或机制砂部分。无论采用哪种方式补充都应进行试验。石灰岩加工成骨料的混凝土性能优于其他岩石，因此，当选用人工骨料时，有条件的工程优先推荐选用石灰岩质的人工骨料。

3.3.2 为原标准第 5.2.2 条修改。本条强调已选择确定的骨料料源在质量、储量有改变时，除对料源储量、质量、覆盖剥离量进行重点勘察外，还应进行碱活性骨料成分含量的勘察和检验。骨料的活性 SiO_2、白云石晶体等活性成分与水泥、外加剂和掺合料中的碱在水的作用下会产生有害膨胀，造成混凝土破坏。有潜在碱骨料反应时，限制水泥、外加剂和掺合料中的碱含量是防止碱骨料反应的主要措施。因此本条提出了应禁止使用碱活性骨料，如从经济考虑或料源困难需采用碱活性骨料，应经过专门试验论证。

3.3.5 为原标准第 5.2.7 条修改。本条规定了细骨料（砂）的品质要求，并按照主控项目和一般项目对原标准表 5.2.7 进行了顺序调整。与《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准　第 1 部分：土建工程》DL/T 5113.1—2005 明确的主控项目天然砂中含泥量、泥块含量和有机质含量项目一致。

根据水电行业习惯，细骨料的粒径范围为 0.16mm～5mm。《建设用砂》GB/T 14684—2011 将细骨料的粒径明确为小于 4.75mm，机制砂石粉的粒径明确为小于 0.075mm。我国二滩和小浪底等工

程把细骨料分为 4.8mm～1.2mm、1.2mm～0.074mm 两级。本规范将小于 0.16mm 的颗粒确定为石粉。

根据细度模数的大小，可将细骨料分为粗砂、中砂、细砂。《建设用砂》GB/T 14684—2011 中规定砂细度模数 3.7～3.1 为粗砂，3.0～2.3 为中砂，2.2～1.6 为细砂。水工混凝土宜使用中砂，人工砂细度模数为 2.4～2.8，天然砂细度模数为 2.2～3.0。当使用细度模数超过此范围的粗砂、细砂或特细砂时，应经试验论证。中砂的颗粒级配应满足表 1 要求，当颗粒级配不符合表 1 要求时，应采取相应措施，经试验验证混凝土质量。

表 1　中砂的颗粒级配要求

筛孔尺寸（mm）	5.00	2.50	1.25	0.63	0.315	0.16
累计筛余（%）	10～0	25～0	50～10	70～41	92～70	100～90

原标准第 5.2.7 条第 3 款中“细骨料的含水率应保持稳定，人工砂饱和面干的含水率不宜超过 6%，必要时应采取加速脱水措施”，修改为“细骨料的含水率应保持稳定，宜保持在控制中值的±1%范围内，表面含水率不宜超过 6%，超过时应经试验论证”。一是表面含水率比较直观，更易于理解；二是由于砂表面含水率超过 6%之后很难稳定，所以增加不宜超过 6%的要求，且要求保持在控制中值的±1%范围内，必要时应采取加速脱水措施，这是控制水胶比和出机口混凝土坍落度稳定的主要措施之一，也是为了拌和预冷混凝土时满足加冰量的要求。二滩、三峡等工程均采用了包括真空脱水机、脱水筛等加速脱水的综合措施。

关于表 3.3.5：

（1）含泥量是指天然砂中粒径小于 0.075mm 的颗粒含量；泥块含量是指砂中粒径大于 1.25mm，以水洗、手捏后变成小于 0.63mm 颗粒的含量。含泥量和泥块含量超过一定限度，会对混凝

土强度、抗冻性、抗渗性有影响，因而在水工混凝土中，特别是有抗冲耐磨和抗冻要求的高标号混凝土应严格控制。《建设用砂》GB/T 14684—2011 规定泥块含量是指砂中原粒径大于 1.18mm，经水浸洗、手捏后变成小于 0.60mm 颗粒的含量。

（2）0.16mm 及以下颗粒含量是指人工砂石粉含量。经过许多工程试验研究和实际应用证明，石粉含量控制在 6%～18%范围时，不仅可改善混凝土的和易性、抗分离性，还可提高混凝土的抗压强度和抗渗能力，同时还能降低人工砂生产成本，超过此范围会对混凝土干缩性产生不利影响，若要使用，应进行充分试验论证。《建设用砂》GB/T 14684—2011 规定石粉含量是指人工砂中粒径小于 0.075mm 的颗粒含量，可用亚甲蓝法测定，当人工砂中的泥粉含量 *MB* 值小于 1.4 时，表明石粉中的 0.08mm 以下的颗粒是以石粉为主。

（3）坚固性是指在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗破碎的能力，用硫酸钠溶液法 5 次循环后的质量损失率来表示。根据《建设用砂》GB/T 14684—2011 规定，对于有抗冻、抗疲劳、抗冲磨要求或处于水中含有腐蚀介质并经常处于水位变化区的混凝土，环境条件和使用条件较恶劣，坚固性要求较严，细骨料质量损失率应不大于 8%，其他条件下的混凝土细骨料质量损失率应不大于 10%。

（4）有机质含量、云母含量、硫化物及硫酸盐含量和表观密度小于 2000kg/m^3 的轻物质等有害物质，必须严格限制。

3.3.6 为原标准第 5.2.8 条修改。本条规定了粗骨料（碎石、卵石）的品质要求。按照主控项目和一般项目，对原标准表 5.2.8-2 进行了顺序调整，并与《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准　第 1 部分：土建工程》DL/T 5113.1—2005 明确的主控项目粗骨料含泥量、泥块含量和有机质含量项目一致。粗骨料粒径分级范围及超径、逊径含量控制限值与原标准相同。由于堆存、取料、运输不当可能会造成某一级骨料粒径搭配不均匀，出现粒

径偏小或偏大，规定采用各粒级料的中径筛的筛余量做检验，筛余量控制在 40%～70%范围，超出范围时必须及时查找原因并采取有效措施，必要时还需及时调整混凝土配合比参数。

关于表 3.3.6-1：

（1）压碎指标值是表示碎石或卵石抵抗压碎的能力。碎石和卵石的压碎指标是根据多年的统计数据提出的，我国大部分地区的粗骨料可满足要求；碎石和卵石的压碎值与混凝土强度等级之间的关系较复杂，目前还没有足够的试验数据，因此标准中规定的限值可作为一般的控制值；将设计龄期混凝土强度与粗骨料压碎指标值对应，便于不同设计龄期混凝土强度等级对应判断骨料压碎指标值是否合格。

（2）岩石品种中沉积岩包括石灰岩、砂岩等；变质岩包括片麻岩、石英岩等；深成火成岩包括花岗岩、正长岩、闪长岩和橄榄岩等；喷出的火成岩包括玄武岩、辉绿岩等。

关于表 3.3.6-2：

（1）含泥量是指粒径小于 0.075mm 颗粒的含量。试验表明，含泥量低于 1.0%时，对混凝土的性能影响不大，超过 1.0%时对混凝土的抗冻、抗渗等性能会有影响，因此水工混凝土规定其含泥量为 D_{20}、D_{40} 粒径级小于 1.0%，D_{80}、$D_{150(120)}$ 粒径级小于 0.5%，裹粉、裹泥及其他污染应清除。

（2）泥块含量是指原颗粒大于 5mm，经水洗手捏后变成小于 2.5mm 的颗粒。这里所指的泥块包括颗粒大于 5mm 的纯泥组成的泥块，也包括含有砂、石屑的泥团以及不易筛除的包裹在碎石、卵石表面的泥。泥块含量对混凝土的影响较含泥量大，特别是对抗拉、抗渗、收缩性能的影响，因此应严格按规定控制。

（3）坚固性是根据《建设用卵石、碎石》GB/T 14685—2011 规定，结合水工混凝土特点提出的，其中有抗冻要求的混凝土，包含了水位变化区和有腐蚀性介质作用下的混凝土，所使用的碎石或卵石的坚固性质量损失率不大于 5%，其他混凝土为不大于

12%。

（4）针片状颗粒含量是指岩石颗粒的长度大于该颗粒所属粒级的平均粒径 2.4 倍的针状颗粒，以及厚度小于平均粒径 0.4 倍的片状颗粒的含量；平均粒径是指该粒级上、下限粒径的平均值。针片状颗粒含量限定值维持原标准不变，经试验论证，限值可放宽至 25%。

3.3.7 为原标准第 5.2.6 条修改。成品骨料特别是细骨料在堆存和运输过程中，因下雨而超标准或不稳定。目前大中型水电工程施工中人工砂仓一般均采取了搭设防雨棚措施。

粗骨料采用带式输送机输送时，一般卸料高度都大于 3m，容易造成骨料因冲击破碎，致使骨料逊径超标，在没有二次筛分设施时，要求设置缓降器。同时为保证骨料内部温度不因外界气温和日照变化而发生较大波动，有利于混凝土温度控制，要求堆料厚度不小于 6m。

粗骨料在堆存时可能造成分离，因而无论采用挖装机械取料，还是地下廊道下料口放料，均要求在同一料堆选 2 个～3 个不同取料点同时取料，尽量使同一级骨料粒径均匀。

骨料储料仓的容积，应结合混凝土浇筑高峰期的强度，以及骨料开采、加工、运输设备能力和地形、气候、河流水文条件等因素综合考虑。细骨料仓的堆料容积应满足混凝土浇筑高峰期 10d 以上用量的需要；粗骨料仓的堆料容积应满足混凝土浇筑高峰期 3d 以上用量的需要；拌和系统粗细骨料的堆存容积应满足 3d～5d 的需用量。目前很多西部工程，特别是前期工程，因施工场地较狭窄，细骨料仓的数量和容积无法满足脱水的要求，从而导致混凝土拌和物质量降低。一般情况下，细骨料仓的数量应不少于 3 个，1 个仓使用，1 个仓堆料，1 个～2 个仓脱水，互相轮换，必要时还需采取加速脱水措施，保证出仓前细骨料表面含水率 6%±1%的要求。

3.4 掺 合 料

3.4.1 为原标准第 5.3.1 条修改。水工混凝土中掺入适量的掺合料，可改善混凝土的性能，提高混凝土质量，减少混凝土水化热温升，抑制碱骨料反应，节约水泥，降低成本等，其品种有粉煤灰、硅灰、矿渣粉、磷渣粉、石灰石粉等。目前大中型水利水电工程已普遍使用掺合料，其中大坝混凝土中掺入粉煤灰，抗冲磨混凝土中掺入硅灰已得到广泛应用，同时也有选用粒化高炉矿渣粉等其他品种掺合料的，如漫湾工程掺用凝灰岩粉、大朝山工程掺用磷渣粉加凝灰岩粉、景洪工程采用双掺料等。

（1）水工混凝土中粉煤灰的等级和品质指标可参考表 2 中的规定，引自《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》DL/T 5055—2007。

表 2 粉煤灰的等级和品质指标

指 标		等 级		
		Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
细度（45μm 方孔筛筛余）		≤12.0%	≤25.0%	≤45.0%
需水量比		≤95.0%	≤105.0%	≤115.0%
烧失量		≤5.0%	≤8.0%	≤15.0%
含水量		≤1.0%		
SO_3 含量		≤3.0%		
游离氧化钙	F 类粉煤灰	≤1.0%		
	C 类粉煤灰	≤4.0%		
C 类粉煤灰安定性		合格		

注：只有在使用碱活性骨料时，采用“碱含量”限制指标，碱含量≤1.5%（以 Na_2O 当量计）。

（2）水工混凝土中火山灰的品质指标可参考表 3 中的规定，引自《水工混凝土掺用天然火山灰质材料技术规范》DL/T 5273—

2012。

表 3　火山灰的品质指标

项　目	指　标
细度（45μm 方孔筛筛余）	≤25.0%
需水量比	≤115.0%
烧失量	≤10.0%
含水量	≤1.0%
SO_3 含量	≤4.0%
安定性（沸煮法）	合格
活性指数（28d）	≥60%
火山灰活性	合格

（3）水工混凝土中矿渣粉的品质指标可参考表 4 中的规定，引自《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046—2008。

表 4　矿渣粉的品质指标

品　质		等　级		
		S_{105}	S_{95}	S_{75}
密度（kg/m³）		>2800	>2800	>2800
比表面积（m²/kg）		≥500	≥400	≥300
活性指数	7d	>95%	>75%	>55%
	28d	>115%	>95%	>75%
流动度比		≥95%		
含水量		<1.0%		
SO_3 含量		<4.0%		
Cl^- 含量		<0.06%		
烧失量		<3%		

（4）水工混凝土中硅灰的品质指标可参考表 5 中的规定，引自《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690—2011。

表 5　硅灰的品质指标

项　目	指　标
固含量（液料）	按生产控制值的±2%
总碱量	≤1.5%
SiO_2 含量	≥85%
氯含量	≤0.1%
含水量	≤3.0%
烧失量	≤4.0%
需水量比	≤125%
比表面积（BET 法）	≥15m²/g
活性指数（7d 快速法）	≥105%
放射性	IR_a≤1.0 和 I_r≤1.0
抑制碱骨料反应性	14d 膨胀率降低值≥35%
抗氯离子渗透性	28d 电通量之比≤40%

注：1. 硅灰浆折算为固体含量按此表进行检验。

2. 抑制碱骨料反应性和抗氯离子渗透性为选择性试验项目，由供需双方协商决定。

（5）水工混凝土中粒化电炉磷渣粉的品质指标可参考表 6 中的规定，引自《水工混凝土掺用磷渣粉技术规范》DL/T 5387—2007。

表 6　粒化电炉磷渣粉的品质指标

项　目	指　标
比表面积（m²/kg）	≥300
需水量比	≤105.0%
SO_3 含量	≤3.5%

表 6（续）

项　目	指　标
含水量	≤1.0%
安定性	合格
五氧化二磷	≤3.5%
烧失量	≤3.0%
活性指数	≥60%

（6）水工混凝土中氧化镁的品质指标可参考表 7 中的规定，引自水利水电规划总院《关于水利水电工程轻烧氧化镁材料品质技术要求（试行）》（水电规科〔1995〕0023 号）。

表 7　氧化镁材料品质的物化控制指标

项　目	指　标	备　注
MgO 含量	≥90%	纯度
活性指标	240±40S	
CaO 含量	<2%	
细度	180 孔目/英寸	0.077mm 标准筛
筛余量	≤3%	
烧失量	<4%	
SiO_2 含量	<4%	

3.4.2　为原标准第 5.3.3 条修改。Ⅰ级、Ⅱ级粉煤灰，特别是Ⅰ级灰，具有明显减水增强和改善混凝土多种性能的显著效果，并可降低混凝土水化热温升。选用等级较高的粉煤灰，可获得较大的技术经济效益。三峡二期工程全部使用了Ⅰ级粉煤灰，对降低水泥用量，提高混凝土质量，起到了十分重要的作用。由于科技的进步和发展，新建的大型火力发电厂燃煤条件好，多数采用静电收尘装置，粉煤灰的分选设施较先进，一般均具有生产Ⅰ级或Ⅱ

级粉煤灰的条件。因而提出宜选用Ⅰ级或Ⅱ级粉煤灰。

3.4.3　为原标准第 5.3.6 条修改。本条规定了掺合料运输和储存中的要求。

3.5　外　加　剂

3.5.1　为原标准第 5.4.1 条、第 5.4.2 条、第 5.4.3 条修改。水工混凝土中掺用的外加剂品种和掺量要求通过试验确定。常用的外加剂有：普通减水剂、高效减水剂、缓凝高效减水剂、缓凝减水剂、引气减水剂、缓凝剂、高温缓凝剂、引气剂、泵送剂等；根据特殊需要，也可掺用其他性质的外加剂。为了简化管理，保证混凝土质量，一个工程选用的外加剂品种宜尽可能少，可优先考虑掺加同一厂家生产的外加剂品种，以保证外加剂相对匹配。同类外加剂以 1 种～2 种为宜，大型工程可采用两种以上，相互备用。不同厂家生产的外加剂混掺，需要考虑化学组分之间是否会有潜在的不良反应，对混凝土的耐久性能是否有不利影响。

外加剂的检验按《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T 5100 和《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 执行。常用掺外加剂混凝土性能指标可参考表 8 的规定。

表 8　常用掺外加剂混凝土性能指标

试验项目＼外加剂种类		引气剂	普通减水剂	早强减水剂	缓凝减水剂	引气减水剂	高效减水剂	缓凝剂	缓凝高效减水剂	高温缓凝剂
减水率（%）		≥6	≥8	≥8	≥8	≥12	≥15	—	≥15	≥6
含气量（%）		4.5～5.5	≤2.5	≤2.5	≤3.0	4.5～5.5	<3.0	<2.5	<3.0	<2.5
泌水率比（%）		≤70	≤95	≤95	≤100	≤70	≤95	≤100	≤100	≤100
凝结时间差（min）	初凝	−90～+120	0～+90	≤+30	+90～+120	−60～+90	−60～+90	+210～+480	+120～+240	+300～±480
	终凝	−90～+120	0～+90	≤0	+90～+120	−60～+90	−60～+90	+210～+720	+120～+240	≤+720

表 8（续）

试验项目 \ 外加剂种类		引气剂	普通减水剂	早强减水剂	缓凝减水剂	引气减水剂	高效减水剂	缓凝剂	缓凝高效减水剂	高温缓凝剂
抗压强度比（%）	3d	≥90	≥115	≥130	≥90	≥115	≥130	≥90	≥125	—
	7d	≥90	≥115	≥115	≥90	≥110	≥125	≥95	≥125	≥90
	28d	≥85	≥110	≥105	≥85	≥105	≥120	≥105	≥120	≥100
28d 收缩率比（%）		<125	<125	<125	<125	<125	<125	<125	<125	<125
抗冻等级		≥F200	≥F50	≥F50	≥F50	≥F200	≥F50	—	≥F50	—
对钢筋锈蚀作用		应说明对钢筋有无锈蚀危害								
对热学性能的影响		用于大体积混凝土时，应说明 7d 水化热或 7d 混凝土的绝热温升的影响								

注：1. 凝结时间差“–”号表示凝结时间提前，“+”号表示凝结时间延缓。

2. 除含气量和抗冻等级两项试验项目外，表中所列数据为受检验混凝土与基准混凝土的差值或比值。

3.5.2 为原标准第 5.4.4 条修改。混凝土在拌和过程中加入适量引气剂，能产生大量独立并分布均匀的微小气泡，可改善混凝土和易性，显著提高硬化混凝土抗冻融性。不同抗冻等级、不同级配的含气量应通过试验确定。表 3.5.2 提出的不同抗冻等级、不同骨料最大粒径的含气量要求引自《水工混凝土耐久性技术规范》DL/T 5241—2010，供参考。

3.5.3 为原标准第 5.4.5 条修改。本条规定了外加剂使用的相关要求。两种外加剂复合使用，如减水剂和引气剂联掺使用时，可分别配制成溶液，分别称量、入机拌和。

3.5.4 为原标准第 5.4.9 条修改。本条规定了外加剂运输和储存的相关要求。当外加剂存储时间过长，对其品质有怀疑时，应进行重新检验或认定。

3.6 水

3.6.1 为原标准第 5.5.1 条修改。为保证混凝土质量，混凝土拌和用水和养护用水所含物质不应对混凝土产生以下有害作用：影响混凝土的和易性及凝结；有损混凝土强度发展；降低混凝土的耐久性，加快钢筋腐蚀及导致预应力钢筋脆断；污染混凝土表面。因此符合国家标准的饮用水均可使用，地表水、地下水和其他类型水在首次使用时应经检验合格。

表 3.6.1 拌和与养护混凝土用水要求为原标准第 5.5.2 条第 3 项修改。水中的有害物质对混凝土耐久性、钢筋锈蚀、混凝土饰面等性能会产生影响，应该控制水中有害物质含量限值，其中包括水的 pH 值、不溶物、可溶物、氯化物、硫酸盐和碱含量，不同类别混凝土（素混凝土、钢筋混凝土）其限值不同。本条较原标准增加了水中碱含量的要求。如使用碱活性骨料，应限制混凝土中的总碱含量，避免发生碱骨料反应。采用非碱活性骨料时，可不检验总碱含量。

4 配 合 比

4.0.1～4.0.2 为原标准第 6.0.1 条、第 6.0.3 条、第 6.0.9 条修改。混凝土配合比设计包括混凝土原材料的优选和混凝土配合比选择试验两个阶段。在混凝土配合比选定时，应从技术指标、和易性和经济性等方面通过充分试验论证，进行综合比较优选；主体工程的混凝土配合比应经过专家审查选定。

为了与现行标准相适应，配合比设计及相关内容引用了《水工混凝土配合比设计规程》DL/T 5330—2005。施工单位的混凝土施工配合比应通过生产性试验并经审批，同时应制定明确的施工配合比的签发程序与执行要求。

4.0.3～4.0.4 为原标准第 6.0.2 条修改。我国现行国家标准及各行业混凝土配合比设计及混凝土生产管理，均采用以标准差 σ 为主要参数的计算方法，即采用公式 $f_{cu,0}=f_{cu,k}+t\sigma$。适用于工民建工程的《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55—2011，因混凝土强度保证率均采用 95%，故 t 值取 1.645 一个数值，相应混凝土配制强度的计算公式为：$f_{cu,0}=f_{cu,k}+1.645\sigma$。

由于大坝混凝土设计强度保证率 P 一般采用 80%，个别高坝采用 85%～90%，因而需要根据不同的保证率要求采用不同的 t 值。除大坝外其他水工混凝土设计强度保证率均统一采用 P=95%。

4.0.6 为原标准第 6.0.5 条修改。混凝土水胶比（或水灰比）的最大允许值，已考虑了水工混凝土掺用减水剂的情况，对有抗冻性要求的混凝土，应在表 4.0.6 的水胶比最大允许值基础上适当减小 0.05。

4.0.8 为原标准第 6.0.6 条修改。骨料级配和砂率选择中，根据带式输送机入仓经验，增加采用带式输送机运送混凝土拌和物时，可适当增加砂率的内容。

4.0.9 为原标准第 6.0.7 条修改。混凝土拌和物坍落度等级划分主要依据国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164。《混凝土质量控制标准》GB 50164—2011 第 3.1.2 条分级标准见表 9。

表 9 混凝土拌和物坍落度等级划分

等级	坍落度（mm）
S1	10～40
S2	50～90
S3	100～150
S4	160～210
S5	≥220

本标准将坍落度 10mm～40mm 的混凝土即 S1 等级，称为“低流动性混凝土”；坍落度 50mm～90mm 的混凝土即 S2 等级，称为“中流动性混凝土”；坍落度 100mm～150mm 的混凝土即 S3 等级，称为“较大流动性混凝土”；坍落度 160mm～210mm 的混凝土即 S4 等级，称为“高流动性混凝土”；坍落度大于等于 220mm 的混凝土即 S5 等级，称为“特高流动性混凝土”。

水工混凝土主要采用低流动性混凝土和中流动性混凝土，对配筋率不超过 1%的钢筋混凝土坍落度采用插值法选取，即采取 30mm～60mm 范围。

4.0.10 为原标准第 6.0.8 条修改。本条纳入了原标准附录 B 的相关内容，提出了当使用有碱活性反应的骨料时，应严格控制混凝土中的总含碱量。混凝土中的总碱含量由水泥、掺合料、外加剂和拌和水中的碱组成，水泥、外加剂与拌和水中的碱均为有效碱。水泥的含碱量应小于 0.6%，生产厂家应提供检测数据；粉煤灰中的碱含量可取实测值的 1/5；矿渣粉和硅灰中的碱含量可取实测值的 1/2。为保证混凝土质量，低温季节施工中如掺用防冻剂和早强剂，不应使用活性骨料，除非有专门的论证。

5 混凝土生产

5.1 一般规定

5.1.1 为新增条款。本条强调了检查各种资源配置情况，确保连续生产。

5.1.2 为原标准第 7.1.1 条修改。拌和设备投入混凝土生产前，首先需要编制完整的试验大纲，根据经批准的混凝土施工配合比，对不同的投料顺序和拌和时间的组合方案进行比对试验，掌握所选定的混凝土施工配合比与拌和设备之间的适配关系，选择最佳的拌和方案，以确保试验取得满意效果。

5.1.3 为原标准第 7.1.2 条修改。本条规定了严格遵守配料单的使用要求，避免造成混乱现象，保证混凝土拌和物的质量。本条还规定了配料单需审核批准的内容，在现行工程建设体制下，配料单一般由试验部门签发，试验监理工程师审核批准。

5.1.4 为原标准第 7.1.5 条、第 7.1.7 条修改。已有的工程施工经验表明，骨料特别是砂的含水量偏大或不稳定，对混凝土的标准差值影响较大，因此规定了在拌和过程中对骨料含水量进行检测的要求。鉴于拌和生产时的骨料含水量和外加剂浓度可能与试验时不一致，加之试验室提供的配合比中用水量已经扣除骨料含水量和外加剂用水量，因此在拌和楼配制混凝土时，应在拌和用水量中扣除骨料的含水量和外加剂溶液的含水量。

5.2 混凝土拌和

5.2.1 为原标准第 7.1.3 条修改。将原标准规定的混凝土组成材料的配料量以“重量”计改为以“质量”计。本条明确了原材料的

称量方法及精度要求，由于质量法配料比体积法配料对混凝土强度的影响小，故采用质量法配料。

表 5.2.1 对拌和称量提出了允许误差范围，本次修订仍维持原标准的允许误差值。国家标准规定混凝土拌和时原材料称量的允许误差为水泥、水、外加剂、掺合料分别为 2%，骨料为 3%，主要适用于工民建。

5.2.2 为原标准第 7.1.4 条修改。混凝土拌和时间与混凝土坍落度、拌和机的容量等相关，鉴于水电工程所采用拌和设备型号各异，不同的混凝土配合比对混凝土施工性能的要求不同，并考虑高、低温季节施工等因素影响，要求拌和时间通过试验确定。表 5.2.2 为混凝土最少纯拌和时间。

5.2.3 为原标准第 7.1.4 条修改。混凝土掺加冰、纤维、硅灰等时，其混凝土拌和时间应适当延长，在没有试验条件下，自落式拌和机可延长 30s，强制式拌和机可延长 15s。

5.2.4 为原标准第 7.1.6 条修改。提出现场掺加混凝土掺合料的相关要求。水工混凝土采取在现场掺加掺合料如粉煤灰等已非常普遍，为保证混凝土拌和物质量，推荐优先采用干掺法。

5.3 不合格料处理

5.3.1 为原标准第 7.1.9 条修改。本条提出了工程中常见的不合格料的种类。为解决施工中经常出现对混凝土拌和物是否合格发生的争议，本条规定了混凝土拌和物不合格料的判别标准，其中拌和不均匀主要指拌和物的某种组分严重集中或短缺的状况。

5.3.2 为新增条款。在实际施工中，如果遇到高等级混凝土浇筑到低等级混凝土部位时，经论证确认后，可不予挖除。

6 混凝土运输

6.0.1 为原标准第 7.2.1 条修改。本条规定了混凝土运输设备的选择原则。为充分发挥整个施工机械系统的设备效率，设备资源的优化配置是保证混凝土施工质量和速度的重要因素，因此要求混凝土拌和、运输、浇筑能力三者之间必须配套。

6.0.2 为原标准第 7.2.2 条、第 7.2.5 条修改。本条规定了在高、低温季节施工时，混凝土运输工具设置保护、控制过程温度变化的原则性要求，具体要求与温度控制章节相互补充。

根据近年来温控措施的发展，高温季节施工时，混凝土运输车辆在拌和楼等待装料、现场等待卸料时，应设置遮阳或喷雾降温等措施。

6.0.3 为原标准第 7.2.3 条、第 7.2.4 条修改。混凝土运输过程中，分离、漏浆、严重泌水、过多温度回升和坍落度损失都将对混凝土施工质量带来影响。混凝土运输线路和运输方式选择时，应遵循尽量缩短运输时间及减少转运次数的总体要求。由于不同的混凝土原材料、配合比、运输设备和浇筑环境，对混凝土运输时间的要求也不同，各工程应根据具体环境和混凝土拌和物的性能通过试验确定。

本次修订将原标准规定的掺用普通减水剂的混凝土运输时间列入条文说明，供参考，如超出表 10 所定适宜的运输时间应积极采取相应措施。

本条规定了多种混凝土同时运输时的识别要求。当采用车辆运输时，应在车前（如挡风玻璃）或车厢上设置代表所运输混凝土品种的明显标记，有条件的，应采用计算机条码识别系统或 GPS

定位跟踪系统，增加识别的准确性。当采用皮带运输时，则应在某一品种料输送完毕后，切换另一品种。

表 10 混凝土运输时间

运输时段的平均气温（℃）	混凝土运输时间（min）
20～30	45
10～20	60
5～10	90

6.0.4 为原标准第 7.2.4 条修改。

6.0.5 为原标准第 7.2.6 条修改。根据施工实践，对混凝土卸料的自由下落高度提出要求。缆机入仓下料高度是指卸料开始时的高度，在混凝土卸料过程中下料高度会渐渐增大；塔（顶）带机等下料速度较快的设备下料高度，必须严格控制不大于 1.5m，混凝土卸料的自由下落高度超过 1.5m 时，可采取在吊罐下面挂 2m～3m 长的下料皮筒等措施。

6.0.7 为原标准第 7.2.7 条修改。本条提出了采用机动车辆运输混凝土的要求。车辆在用于运送混凝土期间，尽量不要抽调运送其他物件，避免车厢被其他杂物污染。要求运输道路平整，主要是避免车辆颠簸、晃动造成混凝土分离和泌水。装载的混凝土厚度不小于 40cm，避免混凝土坍落度损失过大，造成卸料困难和发生分离。由于采用自卸汽车直接入仓易出现影响混凝土质量的问题，因此必须在质量保证措施有力的前提下才能采用。清洗车厢（料罐）时间正常情况下为每班，异常情况应根据情况加密清洗。

6.0.8 为原标准第 7.2.8 条修改。要求定期对起重设备和吊钩、钢丝绳等配套设施，以及吊罐的吊耳及吊罐放料口等进行检查、维修，保证设备完好和施工安全。明确了吊罐在墩墙等狭小仓面布料时，采取措施防止吊罐撞击模板和钢筋。

6.0.9 为原标准第 7.2.9 条修改。本条给出了各类连续运输手段

如皮带机、布料机运输混凝土时应遵守的规定。根据三峡工程和向家坝工程的施工实例，列出带式输送机运输混凝土有关参数表（表 11），可供参考。

表 11　带式输送机运输混凝土有关参数表

皮带机类型	最大骨料粒径（mm）	带式输送机速度（m/s）	最大向上倾角（°）	最大向下倾角（°）
塔带机（或顶带机）	150	3.15～4	26	12
胎带机	150	2.8～4	22	10
常规皮带输送机	80	1.2 以内	15	7
深槽皮带输送机	150	3.4		

注：表中的数据均为工程实际已使用数据，其中带式输送机速度一栏中有起止两个值的，起点值为主皮带的速度，终点值为上料皮带的速度。

控制砂浆损失是带式输送机运输混凝土的一个难点，如不能控制在 1%以内，则应调整混凝土配合比中的砂率。当带式输送机布料堆料高度过大时，会造成骨料分离，影响混凝土浇筑质量，故根据三峡工程等施工经验，规定堆料高度在 1m 以内。

皮带的卸料皮筒长度一般为 3 的倍数，即 3.0m、6.0m、9.0m、12.0m。为减少卸料时混凝土的骨料分离，皮筒不允许对接，长度宜为 6m 或 9m，最长不超过 12m，同时卸料时塔带机皮筒下料高度不得大于 1.5m。布料时可采用“贴坡式”（即“鱼鳞式”）下料，布料厚度在 60cm 左右，当下料盲区周围需堆料时，堆料最大厚度不宜超过 1m。

6.0.10　为原标准第 7.2.10 条修改。根据水电工程施工实际情况，提出了溜筒、溜管、溜槽、负压（真空）溜槽的运输要求。由于水电站大型竖井的高度高达几十米至上百米，斜管道长达几百米，大坝两岸陡坡高度达几十米甚至数百米，常规浇筑手段入仓十分困难。为尽量避免骨料分离，要求选择适宜的混凝土坍落度、大于 60° 的溜管（槽）角度，垂直向下运输时还应设置缓冲装置，

缓降装置在高度方向间距一般以 9m 左右为宜。三峡工程双线五级连续船闸竖井施工，应用 MY-BOX 溜管施工技术有效防止了骨料分离。

6.0.11　为新增条款。泵送混凝土施工按照《混凝土泵送技术规程》JGJ/T 10 的相关要求进行。

6.0.12　为新增条款。目前一些工程在部位较低处，采用了反铲挖掘机入仓手段，需予以规范。当使用反铲等辅助设备浇筑混凝土时，一是应制定切实可行的质量保证措施，并经批准；二是要求必须配置专门的受料设施向反铲给料；三是要求反铲行驶至作业半径范围内，方可定点卸料，不得抛撒，且料堆应连续；四是受料斗和反铲斗应及时进行清理，不得有混凝土结块入仓等。

7 混凝土浇筑与养护

7.1 浇 筑 准 备

7.1.1 为原标准第 7.3.1 条。本条规定了进行混凝土浇筑仓面准备的必要条件。建筑物地基应包括岩基和非岩基基础，应在基础开挖到设计要求的标高和轮廓线后，履行验收手续，再进行混凝土浇筑备仓工作。

7.1.2～7.1.3 为原标准第 7.3.2 条、第 7.3.3 条修改。本条规定了在混凝土浇筑前建筑物基础的工作内容和要求，其中第 7.1.2 条针对岩基基础，第 7.1.3 条则针对非岩基基础。对非岩基基础如有扰动应予以处理，可经审批在处理合格的基础面上先浇一层 15cm～20cm 厚与结构物相同强度等级的混凝土垫层，垫层表面按施工缝面处理。考虑到我国黄土高原的情况，第 7.1.3 条第 3 款对湿陷性黄土地基做出了“应采取专门的处理措施”的规定。

7.1.4 为新增条款。近年来混凝土施工过程中对仓面设计提出了很高的要求，为此本规范增加了仓面设计相关内容，表 12 是三峡工程普遍使用的混凝土仓面设计样表，供参考。

7.1.5 为原标准第 7.3.4 条修改。本条规定了混凝土浇筑前仓面各工序验收的工作内容和要求。有关模板、钢筋的具体规定，分别见《水电水利工程模板施工规范》DL/T 5110、《水工混凝土钢筋施工规范》DL/T 5169 等施工技术标准；预埋件的具体规定，详见本规范第 10 章。

7.1.6 为原标准第 7.3.5 条修改。根据大量现场资料和工程经验，对浇筑基岩面、老混凝土面或浇筑层面接缝问题做出了规定。为保证结合面质量，采用适当加大砂率或采用小一个级配同等级接

表 12 混凝土仓面设计示例

施工单位： 编号：

单元编码		施工部位		高程	浇筑面积（m²）	方量（m³）

混凝土特性	分区	混凝土标号	坍落度（cm）	方量（m³）	拌和楼
	1				
	2				
	3				
	4				

预计开仓时间	预计收仓时间	预计浇筑时间	入仓强度（m³/h）

机械设备								
门 机		振捣机		塔带机		自卸车	平仓铲	
振捣器			吸管		喷雾器		保温被（m²）	
			棉纱		铁锹		防雨布（m²）	
			耙子		小水桶		其他	

人员配置	混凝土工	仓面指挥	温控人员	综合值班	辅工

浇筑方法	平铺法	台阶法		
	厚度（cm）	台阶宽度（m）	台阶厚度（cm）	层次

出机口温度要求	自然温度	浇筑温度要求	自然温度

仓面平面图

仓面剖面图

注意事项	

施工单位		终检员		仓面负责人		监理单位		签证人	

缝混凝土等方法已被广泛应用，具体可根据工程实际情况，必要时通过试验确定。三峡工程普遍采用同一强度等级富浆混凝土作为接缝混凝土，混凝土厚度为 20cm～40cm。铺设砂浆需增加工序，且摊铺厚度不易掌控，已广泛被强度等级相当的小一级配混凝土或富浆混凝土所替代；考虑仓面较小部位目前尚未完全替代的情况，本条中仍保留了铺设砂浆的方法。

7.1.7 为新增条款。采用塔带机浇筑混凝土时，应注意仓内盲区的浇筑措施，可采用推土机平仓或增加其他入仓手段进行仓面转料等。

7.2 浇 筑 实 施

7.2.1 为原标准第 7.3.6 条修改。本条规定了混凝土仓面浇筑方式和方法。混凝土浇筑应根据仓面资源配置情况采用台阶法或平铺法浇筑，严禁采用滚浇法。增加了钢管及圆形孔道底部下料振捣的要求，即在钢管及圆形孔道底部混凝土浇筑时一侧先下料，振捣至另一侧出现混凝土再对称下料的要求。

7.2.2 为原标准第 7.3.7 条修改。本条规定了混凝土浇筑坯层厚度。坯层厚度指每一铺料层振捣完成后的厚度，该厚度的确定取决于拌和能力、运输能力、混凝土浇筑强度、气温和振捣设备性能等综合能力。

7.2.3 为原标准第 7.3.8 条修改。本条规定了混凝土平仓和分离骨料的处理要求，有条件时应采用平仓机平仓。不及时平仓或平仓不好会造成坯层不均、骨料堆积、泌水、漏振等，影响浇筑质量。

7.2.4 为原标准第 7.3.8 条修改。在倾斜面上浇筑时，靠近倾斜面部位约 50cm 范围，收仓面应与倾斜面呈垂直，以免混凝土在倾斜面部位形成小于 45° 的尖角。

7.2.6 为原标准第 7.3.9 条第 2 款修改。采用振捣机作业时，为配合振捣机振捣施工，在振捣机不能靠近的部位如模板、预埋件附近区域等，应辅助采用手持式振捣器振捣，以防漏振。

7.2.9 为原标准第 7.3.10 条修改。本条对混凝土浇筑过程提出要求。在仓内加水或浇筑过程有外来水，会改变混凝土性能，降低混凝土质量，须严禁；混凝土和易性差时，应加强振捣；仓内泌水会影响混凝土正常凝固，须及时排除；赶水浇筑将带走灰浆，会造成蜂窝麻面等缺陷；模板、钢筋和预埋件表面黏附的混凝土应随时清除，以免造成质量缺陷；模板维护直接影响混凝土外观质量，应安排专人看护。

7.2.10 为原标准第 7.3.11 条修改。本条对混凝土允许浇筑间歇时间提出要求。混凝土的允许浇筑间歇时间，是指下一坯层混凝土拌和物加水时起到上一坯层混凝土振捣完毕为止，不经任何层面处理直接浇筑就能够满足坯层间结合质量要求的最大历时，包含拌和时间、混凝土运输时间和仓面覆盖间歇时间。

本条规定了“混凝土浇筑应保持连续性”。在混凝土施工中，如何判定混凝土初凝，常有争议。由于大面积初凝会造成施工“冷缝”，破坏结构物的整体性、耐久性，造成漏水且不易处理好，因此规定了“能重塑者，可继续浇筑”。混凝土能重塑的标准是将混凝土用振捣器振捣 30s，周围 10cm 内能够泛浆且不留孔洞者。当仓面出现局部初凝时，应及时判定是否超过允许初凝面积，以便采取相应措施。允许初凝面积是指大坝迎水面 15m 以内无初凝现象，其他部位初凝累计面积不超过 1%，并经处理合格。

7.2.11 为原标准第 7.3.12 条修改。本条规定了混凝土浇筑过程中因故需要停止浇筑并按施工缝处理的判定标准。混凝土浇筑温度的允许偏差值遵照设计文件中的规定。

7.2.12 为原标准第 7.3.13 条修改。本条规定了混凝土浇筑过程中入仓混凝土应挖除的判定标准。

7.2.13 为原标准第 7.3.14 条修改。提出了混凝土施工缝处理的要求。近几年来，工程实践证实广泛使用的高压水冲毛技术，是一种高效、经济而又能保证质量的缝面处理方式，推荐采用。三

峡工程试验表明，高压水冲毛时间以收仓后 24h～36h 最佳，每平方米冲毛时间以 0.75min～1.25min 最佳。

混凝土施工缝处理应无乳皮，露粗砂，有特殊要求的如迎水面防渗区等应达到微露小石，同时增加了门槽二期混凝土、楼梯、楼板与主体结构的缝面等特殊部位的施工缝面可以采用免拆金属模板网方式。

7.2.14 为原标准第 7.3.15 条修改。本条对混凝土浇筑达到设计高程的收仓面做出了规定。

7.3 雨 季 浇 筑

7.3.1 为原标准第 7.4.1 条、第 7.4.5 条修改。本条提出雨季施工应随时掌握天气情况，主动、合理安排施工的要求。

2 防雨及防滑措施包括运输工具本身，也包括采取道路防滑等改善外部环境措施。

3 受水工混凝土施工条件限制，采用防雨棚的做法较难实现，但雨季往往会突遇大雨，因此浇筑仓面一般应备有不透水覆盖材料。

4 具体增加频次应依据骨料储仓地形、排水情况、骨料储量以及降雨强度、降雨量等实际情况而定，特别是细骨料，一般每隔 2h 不少于 1 次，发现骨料含水率变化时，应及时调整拌和用水量。

7.3.3～7.3.4 为原标准第 7.4.2 条、第 7.4.3 条、第 7.4.4 条修改。本条明确规定了当降雨强度（日或半日或小时的降雨总量）达到某一限值时就不允许进行混凝土施工的要求。大、中、小雨的判断和划分见表 13。

根据工程施工实践，在雨天施工可采取减少混凝土单位用水量，出机口混凝土坍落度按下限控制；如下雨时间持续较长，仓面受雨水冲洗较严重时，可适当增加胶凝材料用量，一般按缩小水胶比 0.02～0.05 进行掌握，或采用铺筑一层砂浆处理，并采取调整拌和用水量、排除仓内积水、防止雨水流入仓内等措施。

表 13 降 雨 等 级 表

降雨等级	现象描述	降雨量（mm）		
		1d 内总量	0.5d 内总量	1h 内总量
小雨	雨能使地面潮湿，但不泥泞	1～10	1～5	1～3
中雨	雨降到屋顶有淅淅声，凹地积水	10.1～25	5.1～15	3～10
大雨	降雨如倾盆，落地四溅，平地积水	25.1～50	15.1～30	10～20
暴雨	降雨比大雨还猛，能造成山洪暴发	50.1～100	30.1～70	＞20
大暴雨	降雨比暴雨还大，或时间长，造成洪涝灾害	100.1～200	70.1～140	
特大暴雨	降雨比大暴雨还大，能造成洪涝灾害	＞200	＞140	

第 7.3.4 条所提及的不得新开混凝土浇筑仓面，是指正遇中雨以上的天气，尚未开始浇筑的仓面，不得开仓。对正在浇筑混凝土而中途突遇中雨以上天气时，应视下雨的持续时间和仓内的实际状况处置。如下雨持续时间长、仓内面积较大，且积水无法排除干净时，应停止进料，并对已入仓的混凝土立即振捣密实和遮盖，以减少恢复浇筑时仓面的处理难度。雨后可否恢复浇筑按第 7.2.10 条进行判断。

7.4 养 护 与 保 护

7.4.1 为原标准第 7.5.2 条第 1 款修改。将原条文“混凝土浇筑完毕后至开始养护前”调整为“混凝土平仓振捣完毕至终凝前”。

7.4.2 为原标准第 7.5.1 条、第 7.5.2 条、第 7.5.3 条修改。

1 根据近几年施工实践，将原标准“塑性混凝土应在浇筑完毕后 6h～18h 内开始洒水养护”，改为“初凝后 3h 开始潮湿养护”，更具指导性。对有抹面要求的混凝土养护应特别注意，不得在混

凝土终凝前过早在表面洒水，避免起皮、砂化，应采取保湿养护。

2 为提高混凝土的养护质量，强调了养护的连续性，不允许时干时湿，避免混凝土水分蒸发、冷空气袭击、表面干湿变化而产生裂缝。养护水的温度不应对混凝土产生冷激效应，水温与混凝土表面温度差不宜大于 15℃。

3 潮湿养护主要是保持混凝土表面湿润。水平面一般采用喷雾养护、旋转喷头洒水、人工洒水养护或湿麻袋养护等方式；垂直面一般采用挂管流水养护、养护剂养护等方式。在高温季节采用流水养护，不仅有利于保持混凝土表面湿润，还有利于表面散热。增加了近年来采用的新材料养护剂的使用。

4 为有利于水工大体积混凝土表面散热和后期强度增长，无论采用何种水泥和掺合料，养护时间均不宜少于 28d，对于重要部位或设计有要求时还应适当延长养护时间。

7.4.3 为原标准第 8.2.4 条第 6 款修改。本条明确了混凝土表面保护的要求。施工期间混凝土外观受损主要是水流冲刷、物体坠落、水化学污染等。混凝土外观保护应结合混凝土养护、保温等措施进行综合考虑，保证混凝土表面不受损坏；当工程采用分期导流和缺口导流时，过水坝面外露的埋件及止水片也需加以保护。用于外观保护的材料，应能抵抗水流冲刷、具有缓冲作用和能防止水化学污染，可采用平铺法、外挂法、内贴法和喷涂法。

7.4.4 为原标准第 7.5.4 条修改。对混凝土养护的实施人员和记录做了专门要求。应将混凝土表面保护与养护作为一项工程对待，并且要求把混凝土的保护和养护落到实处。

8 温 度 控 制

8.1 一 般 规 定

8.1.1 为新增条款。本条规定了水工混凝土温控的总原则。

8.1.2 为原标准第 8.1.3 条修改。本条强调确定混凝土温度控制标准和控制指标应考虑的若干方面。合理的结构分缝对大坝混凝土温控防裂至关重要；原材料的选择直接决定混凝土性能和混凝土抗裂能力的高低；配合比设计对减少水泥水化热温升方面起重要作用；混凝土温度控制不仅要控制混凝土浇筑温度、最高温度，还要注重过程控制；混凝土的表面保护和养护对抵御气温骤变起重要的作用，可减少混凝土表面裂缝的产生，并可预防混凝土干缩裂缝。

8.1.4 为原标准第 8.1.5 条。目前水工混凝土的设计龄期大多已延至 90d～180d，在此情况下，在配合比设计时还需考虑混凝土 28d 前的抗裂能力。

8.1.5 为原标准第 8.1.3 条和第 8.1.4 条修改。混凝土的抗裂能力不仅与混凝土强度有关，还与施工质量均匀性有密切关系，混凝土强度标准差 σ 偏大时，裂缝就多一些，因此应加强施工管理，提高混凝土施工质量。

8.1.6 为原标准第 8.1.7 条修改。为确保大坝均匀上升，应适当控制相邻坝块高差和全坝段高差。本条仅对相邻块高差提出了要求，对全坝段高差没有予以限制，各工程可根据实际情况由设计单位提出技术要求。目前国内有些水电工程，实际上也未完全做到控制在 12m 内，如高坝洲工程相邻坝块高差，设计文件规定不超过

15m；隔河岩大坝 9 号坝段由于门塔机占压，高差实际达到 18m；三峡工程由于地形及占压等原因，多处也超过了 12m。

8.1.7 为原标准第 8.1.3 条、第 8.2.1 条第 6 款修改。

原标准第 8.2.1 条第 6 款描述“基础部位混凝土，应在有利季节进行浇筑。如需在高温季节浇筑，必须经过论证，并采取有效的温度控制措施，经批准后进行。”本条将原标准条款中的“应”改为“宜”。主要考虑国内许多工程做不到全部在低温季节浇筑基础部位混凝土，如在高温季节浇筑时，应采取必要的措施：一方面减小混凝土最高温升，采取预冷混凝土、敷设冷却水管、养护及保温等措施；另一方面减少混凝土变形约束进行适当分缝，减小混凝土的浇筑块大小等。上述两方面措施都需会同设计、监理研究决定。

原标准第 8.1.3 条描述“混凝土应避免薄块长间歇或块体早期过水，基础部位必须从严控制。经试验论证后，可使用微膨胀型水泥”是指混凝土受基础约束和固结灌浆形成长间歇影响，产生混凝土裂缝风险大。在满足国家有关标准和规定的前提下，从白山电站开始，我国水电工程已多处使用微膨胀型混凝土。目前三峡二、三期工程电站进水口部位、溪洛渡水电站水垫塘底板混凝土等部位均使用了纤维混凝土，效果较好，实践证明这是防止表面裂缝的有效措施之一。使用微膨胀型混凝土或纤维混凝土，能有效补偿混凝土温降过程的收缩，减少裂缝，故修订为“强约束区或长间歇部位可使用微膨胀型混凝土或纤维混凝土”。

8.2 浇筑温度控制

8.2.1 为原标准第 8.1.6 条修改。本条提出混凝土浇筑温度控制要求，强调了允许浇筑温度的重要性。控制混凝土浇筑温度，是控制混凝土最高温度最有效、最直接、最主动的方法，是施工现场

的主要温控指标。

随着施工技术水平的提高，小湾、溪洛渡、向家坝、拉西瓦等很多工程实例证明，混凝土浇筑温度大多不超过 22℃。为体现普遍性，仍保留了原条款最高浇筑温度不大于 28℃的要求，但进一步明确了适用于没有温控要求的部位。

8.2.2 为原标准同条第 1 款修改。减少混凝土的水化热温升，最根本的措施是使用水化热量较低的水泥，掺用活性掺合料，合理地降低水泥用量。其他措施尚有加大骨料粒径、改善骨料级配、使用外加剂和降低混凝土坍落度等。近年来我国水工混凝土在掺用粉煤灰和外加剂方面取得了显著的效果，使单位水泥用量较大幅度减少，应推广应用。

8.2.3 为原标准第 8.2.1 条第 1、2、3 款修改。

1、2 规定了料场骨料降温的三项基本措施。国内大、中型工程已普遍采用，方法简单、效果明显，尤其是在昼夜温差较大的地区可有效降低骨料初始温度。

3 与原标准相同。根据目前的施工状况，规定了粗骨料预冷方法常用的三种方法。

4 与原标准相同。实践表明此项措施非常重要，因骨料此时与气温的温差可达 20℃～30℃。

8.2.4 为原标准第 8.2.1 条第 4 款修改。近 20 年来，随着混凝土温控技术发展和加冰技术水平的提高，目前已很少采用加冰块的方法，三峡、二滩、小浪底等工程均采用加冰屑（或称冰粒）。为保证搅拌均匀，在加片冰时一般需要延长拌和时间 30s 左右。

8.2.5 为原标准第 8.2.1 条第 5 款修改。高温季节施工时，这四项措施已被广泛应用，强调了加快覆盖速度，缩短混凝土的暴露时间，仓面隔热保温材料及时覆盖的重要性。本次修订取消了“浇筑块分层厚度小于 1.5m”的规定，如小湾、溪洛渡拱坝均采用通

仓浇筑，长边尺寸达到了 70m～80m，基础部位以上浇筑层厚均为 3m。

8.3 混凝土内部温度控制

8.3.1 为新增条款。本条对混凝土内部温度提出控制要求。一般通过初期冷却通水降低混凝土最高温度、中期冷却通水降低混凝土内外温差、后期冷却达到设计要求的稳定温度。

近十年，混凝土温控技术得到快速发展，如溪洛渡水电站实现了温度过程智能监控。为满足降温速率和温度变幅控制要求，每仓混凝土内除埋设温度计，全面监测混凝土内部温度外，还在光纤测温的基础上，改进和增加了数字温度计，提高了温度监测的准确性和工作效率。同时，基于“数字大坝”，建立和实施了大坝通水冷却智能温控系统，可稳定跟踪、无线采集混凝土温控数据和冷却水管通水情况，对温度异常情况进行预警、报警，并通过电磁阀远程控制和调整通水流量、通水温度，达到最高温度、降温速率、温度变幅不超标的温控要求。经现场试验结果表明，智能通水理论预测的温控过程与实测曲线符合，温度、流量控制精度可达到 2%以内，降低了人为因素影响，提高了施工智能化、自动化水平。

8.3.2 为原标准第 8.2.2 条第 2 款修改。对混凝土分层厚度和上下层间歇时间提出要求。针对基础部位盖重混凝土内埋设的冷却水管，时常在基础灌浆钻孔施工时被打断，应结合固结灌浆孔位做好冷却水管布置设计并采取措施将其固定，防止混凝土浇筑时移位。

8.3.3 为原标准第 8.2.2 条第 3 款修改。本条取消了采用冷却水管进行初期冷却时，管中水的流速以 0.6m/s 为宜的规定，改为通水时间、流量和水温通过计算和试验确定，如溪洛渡一期（初期）通水温度为 8℃～10℃，通水流量为 $0.3m^3/h$～$2.5m^3/h$。为适应不

同坝型的温控要求，还明确了拱坝日降温速率不超过 0.5℃，重力坝日降温速率不超过 1℃。

需要说明的是，目前通水冷却过程一般分三期，存在不同叫法，有的称一期冷却、中期冷却和二期冷却，有的称初期冷却、中期冷却和后期冷却，本规范统称为初期冷却、中期冷却和后期冷却。初期冷却主要是削减混凝土的水化热温升，控制混凝土早期最高温度。中期冷却，重力坝一般在入冬前进行，主要是为了减小高温季节浇筑的混凝土越冬期间混凝土内外温差；拱坝则在初期冷却结束后即开始中期冷却，主要是防止混凝土温度回升，并与后期冷却做好衔接，如溪洛渡拱坝。后期冷却在坝体接缝灌浆之前进行，主要是使坝体混凝土温度达到设计要求的稳定温度。

8.3.4 为原标准第 8.2.3 条修改。本条取消了原标准规定“应在低温季节前”的要求，以适应不同工程需要。对于重力坝为低温季节前，对于拱坝一般在初期冷却结束后就进行中期冷却。实践表明，中期通水冷却对防止混凝土温度回升，减小混凝土内外温度梯度，防止裂缝的发生有明显作用。坝体中期通水冷却措施已在许多工程（如隔河岩、三峡、小湾、溪洛渡、构皮滩、向家坝等）中应用。溪洛渡工程中要求大坝混凝土初期冷却须将坝体温度降至 20℃～22℃，并设定了 16℃～18℃的中期冷却目标温度。考虑到持续、缓慢降温是消减温度应力的重要手段，大型工程中期冷却日降温速率不应太高，如溪洛渡拱坝控制在 0.5℃/d 以内，向家坝重力坝控制在 1℃/d 以内。

8.3.5 为原标准第 8.2.5 条第 4 款修改。接缝灌浆施工前，自然冷却不能达到坝体的接缝灌浆温度要求时，通过利用在混凝土浇筑时埋设的冷却水管进行后期冷却，使接缝灌浆施工部位两侧混凝土温度符合设计要求，达到稳定温度。

溪洛渡拱坝各时期及阶段温度控制见图 1，供参考。

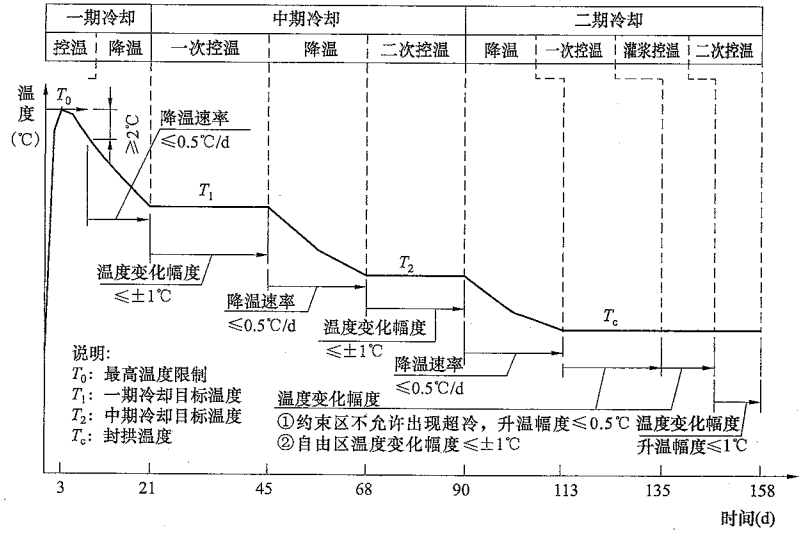

图 1　溪洛渡拱坝混凝土温度控制示意图

8.4 表 面 保 温

8.4.1　为原标准第 8.2.4 条第 1 款修改。在实际施工中，混凝土养护与表面保温往往结合考虑，混凝土养护已在第 7.4 节提出了要求，不再重复。本节主要对混凝土的表面保温提出要求。工程经验证明，混凝土表面裂缝多发生在浇筑初期，而初期的表面温度骤降是引起表面裂缝的主要外因。

8.4.2　为原标准第 8.2.4 条第 5 款。本条对保温材料提出要求。不同的保护对象，因其形状不同、方位不同，需采用不同的保护材料和保护厚度，如棱角处应加厚。另外，保护厚度还与保温材料的性能、气温条件有关。

8.4.3　为原标准第 8.2.4 条第 3、4 款修改。混凝土顶面、侧面保温措施应结合工程的施工环境考虑。随着保温材料技术的进步，目前普遍采用混凝土面外贴（喷）、模板内挂保温材料等，为此将原标准“应结合模板类型、材料性能等综合考虑，必要时采用模

板内贴保温材料或混凝土预制模板”，改为“可结合模板类型、材料性能等采用模板内贴或外贴保温材料或混凝土预制模板永久保护”。横、纵缝面等部位可用易于拆除的保温材料。考虑到夜间温度较低，模板拆除时间应避免在夜间进行。

8.4.6　为原标准第 8.2.4 条第 6 款修改。为避免在寒潮袭击和空气流畅的情况下，受温度变化和干缩的综合作用而导致混凝土结构开裂，宽缝重力坝、支墩坝、空腹坝的空腔以及孔洞的进出口，在进入低温、气温骤降频繁的季节前应该进行封闭保护。

8.5 特殊部位的温度控制

8.5.1　为原标准第 8.2.5 条第 1 款修改。根据工程实践，岩基的塘、槽、陡坡和坝体预留块回填以及并缝块混凝土，处于多面约束状态，温度应力较复杂，因此应在施工安排、结构设计、温度控制诸方面专门采取措施，在混凝土质量要求与控制方面从严要求。有的工程在这些部位专门埋设冷却水管进行冷却也是很有必要的。

8.5.2　为原标准第 8.2.5 条第 2 款修改。预留槽混凝土受到两侧已浇混凝土的约束，当两侧老混凝土温度处于不稳定状态时，会给现浇混凝土造成复杂的约束应力，因此除应对现浇混凝土进行温度控制外，已浇的老混凝土也应有温度要求。

8.5.3　为原标准第 8.2.5 条第 3 款修改。并缝块混凝土浇筑前，可通过采用中、后期通水冷却或其他措施，使其下部混凝土温度达到设计要求。若施工进度确实难以避开时，可安排在非低温季节浇筑，但应进行专项温控论证，并提出详细的温控标准。

8.5.4　为原标准第 8.2.5 条第 5 款修改。“孔洞进出口封堵体混凝土”这里指大体积混凝土，如导流洞、施工支洞的堵头混凝土。

8.6 温 度 监 测

8.6.1　为新增条款。本条对混凝土温度监测提出总体要求。如果

只有温控措施，没有必要的监测手段，就无从评价温控措施的效果，也不便于分析发生裂缝的原因。因此，要求对混凝土温控全过程进行监测，并规定监测频率和内容。大、中型工程应有专门人员从事这方面的工作。

8.6.2 为原标准第 8.3.1 条修改。

8.6.3 为原标准第 8.3.2 条修改。目前不少工程采用分布式光纤测温技术进行混凝土温度测量，如三峡、溪洛渡等。分布式光纤测温技术完全覆盖了常规测温技术，其主要优势在于：

（1）测量精度高于点温度计，且在测点数量上也有极大提高，能够反映局部温度分布与局部温度梯度。

（2）自动获取数据，没有人工干预下的数据污染，利于远程实时在线监控。

（3）集数据采集与传输于一体，没有施工干扰，不在仓面留下任何监测线路与管道，以利于平仓振捣机械的仓面作业。

（4）施工期温度监测与运行期温度监测一体化，大大提高监测质量，节约监测费用，是今后大坝温度场监测的发展方向。

8.6.4 为原标准第 8.3.3 条修改。根据混凝土温度控制的需要，可补充埋设仪器进行监测。

8.6.5 为新增条款。近年来，特大型工程越来越重视温控预报工作。所谓温控预报，就是在设计温控措施与预报大气温度的指导下，对新开仓的混凝土，在其浇筑前 1d～2d，对整个浇筑过程进行仿真分析，预报出该仓混凝土今后可能达到的最高温度，并将此预报温度与设计容许最高温度对比，选择合适的实施温控措施。

8.6.6 为新增条款。

9 低温季节施工

9.1 一般规定

9.1.1 为原标准同条修改。本条将寒冷地区和温和地区的“低温季节”统一规定为“日平均气温连续 5d 在 5℃以下或最低气温连续 5d 在–3℃以下”。一是混凝土受冻害只与温度有关，而与地区无关。二是从近年来新编或修订的标准如《水电工程施工组织设计规范》DL/T 5397—2007 等，凡涉及低温季节施工的，对气温标准都趋向于弱化地区因素。确定低温季节施工期应依据当地 10 年以上气象资料。当地缺少资料可借鉴临近地区气象部门资料。

9.1.2 为原标准第 9.1.2 条修改。本条强调在低温季节施工前应制定专项技术措施。低温季节施工时，防冻、防滑、防烫、防火、防爆、防触电等安全管理工作问题突出，做好防火和火灾预案。

9.1.3 为原标准第 9.3.1 条修改。原标准“暖棚法”实际是“综合蓄热法”的具体方法，为简化归类，取消了“暖棚法”的相关要求。

“综合蓄热法”是在蓄热法的基础上利用高效能的保温围护结构，使混凝土加热拌制所获得的初始热量缓慢扩散，并充分利用水泥水化热和掺用相应的外加剂（或进行短时加热）等综合措施，使混凝土温度在降至冰点前达到允许受冻临界强度或者承受荷载所需的强度。“综合蓄热法”分高、低蓄热法两种养护方式，高蓄热养护过程主要以短期加热为主，使混凝土在养护期间达到的受荷强度，主要有电热保温毯施工方法、暖风机施工方法、保温棚施工方法；低蓄热养护过程，则主要以使用早强水泥或掺用防冻外加剂等冷法为主，是使混凝土在一定的负温条件下不被冻坏，

仍可继续硬化，水利水电工程多使用低蓄热养护方式。施工期日平均气温在–20℃以上时相对较经济。根据桓仁、白山、红石等工程的经验，日平均气温低于–20℃时，施工设备、建筑材料及施工各环节出现问题的几率成倍增加，施工人员的劳动生产率也将大大降低，并增加人力物力使成本提高，因此规定日平均气温在–20℃时不宜施工。经济合理的施工温度范围应根据施工企业通常使用的设备、建材及施工工艺水平等具体情况确定。《建筑工程冬季施工规程》JGJ 104—2011 中有混凝土蓄热法和综合蓄热法养护规定，供参考：

1） 当室外最低温度不低于–15℃时，地面以下的工程，或表面系数不大于 $5m^{-1}$ 的结构，宜采用蓄热法养护。

2） 当室外最低温度不低于–15℃时，对于表面系数为 $5m^{-1}$～$15m^{-1}$ 的结构，宜采用综合蓄热法养护，围护层散热系数宜控制在 50kJ/（m^3 • h • K）～200kJ/（m^3 • h • K）。《建筑工程冬季施工规程》JGJ 104—1997 中规定：

$$T_{m,a} > \frac{1}{b}\ln\left(\frac{KM}{a}\right) \qquad (1)$$

式中：$T_{m,a}$ ——冷却期间平均气温，不应低于–12℃；

M——结构表面系数，$M=A$（结构表面积）/V（结构体积），m^{-1}，$5 \leqslant M \leqslant 15$；

K——围护层的总传热系数，[kJ/（m^2 • h • K）]；

a, b——系数，宜按表 14 采用。

表 14　系数 *a*、*b* 值

水泥用量（kg/m³）	硅酸盐水泥		普通硅酸盐水泥		矿渣硅酸盐水泥	
	a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
250	213	0.131	164	0.110	104	0.116
300	251	0.136	178	0.112	125	0.118
350	289	0.141	193	0.115	148	0.120

表 14（续）

水泥用量（kg/m³）	硅酸盐水泥		普通硅酸盐水泥		矿渣硅酸盐水泥	
	a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
400	327	0.146	208	0.118	171	0.123
450	366	0.151	224	0.122	194	0.126
500	405	0.157	240	0.126	216	0.130
550	443	0.162	256	0.130	236	0.135

3） 综合蓄热法施工的混凝土中应掺入早强剂或早强型复合外加剂，并应具有减水、引气作用。

9.1.4 为原标准第 9.3.4 条修改。

9.1.5 为原标准第 9.1.3 条。

1 大体积混凝土早期允许受冻的临界强度标准。参考《水工建筑物抗冰冻设计规范》GB/T 50662—2011，考虑低温季节施工允许有外来水（包括拆模后），将施工混凝土的受冻临界强度按无外来水的规定进行了修改，提出 7MPa 的允许受冻控制值。参考《水电工程施工组织设计规范》DL/T 5397—2007，用成熟度值 1800℃ • h 确定允许受冻的临界强度标准。成熟度 1800℃ • h 是北方严寒地区桓仁、白山、红石工程中的应用成果，对普通硅酸盐水泥拌制的混凝土强度可达到 28d 标准养护强度的 40%以上，与大体积 $C_{90}15$～$C_{90}20$ 混凝土达到允许受冻临界的强度基本一致。

2 非大体积混凝土早期允许受冻的临界强度标准。水工建筑物中的非大体积混凝土一般指表面积系数 $M \geqslant 3$ 的钢筋结构混凝土，早期允许受冻的临界强度标准参照《水工建筑物抗冰冻设计规范》GB/T 50662—2011 中的钢筋混凝土标准给出。

9.1.6 为原标准第 9.2.1 条、第 9.3.6 条修改。

9.1.7 为原标准第 9.1.4 条修改。为节约成本、降低施工组织难度，低温季节施工部位不宜过于分散。对当年浇筑的或其他有保温要求的混凝土，应采取有效的保温措施，防止混凝土产生裂缝。

9.2 原材料与拌和

9.2.1 为原标准第 9.2.2 条修改。

9.2.2 为原标准第 9.2.3 条修改。本条提出骨料及骨料加热的相关要求，增加细骨料不得冻块的要求。

根据工程实践，明确为“日平均气温连续 5d 在–5℃以下时，宜加热骨料”。桓仁工程混凝土坝施工技术研究专题之一《混凝土坝冬季施工中的早期防冻问题和温度选择标准》中提出“日平均气温在–5℃以下时，应对骨料及拌和水全面加热”。白山工程证实，最大粒径 80mm 的骨料，在负温环境中实测温度为–9℃～–18℃，加热水 70℃～80℃拌和，拌和 2.5min 出机，混凝土温度稳定在正温 13℃～8℃，混凝土试件 28d 强度是标准养护正温骨料试件的 1.17 倍～1.14 倍，抗渗等级均大于 W8（0.8MPa）。

砂的预热方法有蒸汽间接加热、热水间接加热、蒸汽直接加热、电加热等方法。粗骨料预热方法有蒸汽间接加热、热水间接加热、蒸汽直接加热、电加热、热风加热等方法。无论采取何种加热方法，都不能影响混凝土的水灰比，并应进行热工计算和结构单体设计，具体计算方法可以参考采暖通风设计资料。

9.2.3 为原标准第 9.2.3 条、第 9.3.7 条、第 9.3.8 条修改。本条主要强调低温季节混凝土拌和应优先采取拌和水加热措施。拌和用水加热可采用在水箱内蒸汽直接加热、蒸汽间接加热和电加热的方法，也可采用热水锅炉直接加热等方法。

9.2.4 为原标准第 9.3.7 条修改。本条增加了对外加剂的相关要求。

9.2.5 为原标准第 9.2.4 条修改。本条增加了对拌和机体的温度要求。

9.2.6 为原标准第 9.3.6 条、第 9.3.7 条修改。在施工过程中，应注意控制并及时调节混凝土出机口温度，尽量减少波动，保持浇筑温度均匀。提高和稳定混凝土拌和物温度，应首先考虑加热和调节拌和用水温度，当加热拌和用水尚不能满足浇筑温度要求时，

再加热骨料。

9.3 运输与浇筑

9.3.1 为新增条款。

9.3.2 为原标准第 9.2.5 条、第 9.2.6 条、第 9.2.7 条修改。原条文对混凝土、岩石基础加热，要求“加热深度不小于 10cm”，不好操作，本次修订取消了此要求。根据拉西瓦工程研究成果，改为“加热至仓面边角最冷处表面温度应高于 3℃”，实际上只要表面温度大于 3℃，即可满足 10cm 深度达到正温的要求。

9.3.3 为新增条款。

9.3.4 为新增条款。

9.3.5 为新增条款。

9.3.6 为原标准第 9.3.5 条修改。增加了保温后混凝土表面等效放热系数β值计算公式，引自全国水利水电工程施工技术信息网组编的《水利水电工程施工手册　第 3 卷　混凝土工程》。低温季节施工的保温模板，除应符合一般模板要求外，还应满足保温效果要求。外挂保温层应牢固地固定于模板上；模板内贴保温层应表面平整，拆模后能固定于混凝土表面，且内贴保温材料抗压强度满足混凝土表面不变形的要求。

9.3.7 为原标准第 9.3.9 条修改。混凝土结构有孔洞的部位应进行封堵挡风保温，防止冷空气对流；新老混凝土结合处保温范围，需超过施工缝或结构缝 1.0m～1.5m；基础混凝土（基岩面）保温范围，需超过四周 1.0m～1.5m。保温材料可使用保温被或聚乙烯卷材。

9.3.8 为原标准第 9.3.10 条修改。

9.3.9 为原标准第 9.3.11 条修改。

9.4 温度监测

9.4.1 将原标准第 9.4.1、第 9.4.2、第 9.4.3 条合并为该条款。本

条明确了低温季节混凝土施工期温度监测的要求。大体积混凝土内部的最高温升多出现在浇筑后的 3d 左右，因而规定了浇筑后 3d 内的测温要求。当出现气温骤降和寒潮时，要根据实际情况适当加密测量次数。

9.4.2 为新增条款。本条明确了低温季节混凝土养护期温度监测的要求，规定了养护期间应检测的项目内容和频率，以及监测时应注意的事项。

9.4.3 为新增条款。

10 预埋件施工

10.1 一般规定

10.1.1 为原标准同条。水工混凝土预埋件是埋设和安装在水工混凝土建筑物内的构件和仪器，为隐蔽工程，起着特定的作用，在施工中占有重要的位置。预埋件施工延续时间长，几乎贯穿工程的始终；预埋件种类多、数量大，可分为土建埋件、金属结构埋件和机电设备埋件三大类，本规范包含了这三种预埋件在一期混凝土中的施工安装。预埋件的结构、尺寸及埋设位置，应符合设计要求，如要代用，应经过批准。

10.1.2 为原标准同条修改。本条规定预埋件出厂和使用前进行材料品种、规格性能检测的要求。

10.1.3 为原标准同条修改。本条对预埋件的存放提出要求。为避免锈蚀、变形或者丢失，不要露天堆存，特别是内部监测仪器，怕振、怕潮、怕碰伤，应在库房存放，由专人管理、专人领用，并进行记录，做到可追溯。

10.1.4 为原标准同条修改。安装好的预埋件在埋入混凝土的过程中，受施工扰动易发生碰撞位移、变形，甚至损坏，且出现问题不易发现或发现后处理比较困难，所以需要制定专项保护措施。

10.2 止水、伸缩缝与排水

10.2.1 为原标准同条修改，将原标准附录 D 的内容并入该条款。止水片（带）主要设在施工缝及变形缝内，与混凝土结构成为一体，起防止结构漏渗及减震缓冲作用。本条除要求执行《水工建筑物止水带技术规范》DL/T 5215 外，对其加工、安装提出进一

步要求：

1 对铜止水片和不锈钢止水片的外观质量提出要求。铜带不同状态下的主要特性可参照表 15，紫铜片物理力学指标可参照表 16（摘自《铜及铜合金带材》GB/T 2059—2008）；橡胶止水带物理力学性能可参照表 17，PVC 止水带物理力学性能可参照表 18（摘自《水工建筑物止水带技术规范》DL/T 5215—2005）。

表 15 铜带不同状态下特性

型号	状态	厚度（mm）	抗拉强度（MPa）	延伸率（%）	宽度（mm）
T2、T3	M（软）	0.5～1.0	≥196	≥32	≤600
TP1、TP2	Y（半硬）	0.5～1.0	245～343	≥8	

表 16 紫铜片物理力学指标

项 目	单 位	指 标
抗拉强度	MPa	≥240
延伸率	%	≥30
冷弯		冷弯 180°，不出现裂缝。 在 0°～60° 范围内连续张闭 50 次不出现裂缝
比重		8.89
熔点	℃	1084.5

表 17 橡胶止水带物理力学性能

项 目		单位	指 标		
			B	S	J
硬度（邵尔 A）		度	60±5	60±5	60±5
拉伸强度		MPa	≥15	≥12	10
扯断伸长率		%	≥380	≥380	≥300
压缩永久变形	70℃，24h	%	≤35	≤35	≤35
	23℃，168h	%	≤20	≤20	≤20

表 17（续）

项 目			单位	指 标		
				B	S	J
撕裂强度			kN/m	≥30	≥25	≥25
脆性温度			℃	≤–45	≤–40	≤–40
热空气老化	70℃，168h	硬度变化（邵尔 A）	度	≤+8	≤+8	—
		拉伸强度	MPa	≥12	≥10	
		拉断伸长率	%	≥300	≥300	
	100℃，168h	硬度变化（邵尔 A）	度	—		≤+8
		拉伸强度	MPa			≥9
		拉断伸长率	%			≥250
臭氧老化 50pphm：20%，48h			—	2 级	2 级	0 级
橡胶与金属黏合			—	断面在弹性体内		

注：1. B 为适用于变形缝的止水带，S 为适用于施工缝的止水带，J 为适用于有特殊耐老化要求接缝的止水带。

2. “橡胶与金属黏合”项仅适用于具有钢边的止水带。

3. 若对止水带防霉性能有要求时，应考核霉菌试验，且其防毒性能应等于或高于 2 级。

4. 试验方法按照《高分子防水材料 第 2 部分：止水带》GB 18173.2 的要求执行。

表 18 PVC 止水带物理力学性能

项 目	单位	性能指标	测试方法
拉伸强度	MPa	≥14	《塑料拉伸性能的测定》GB/T 1040
扯断伸长率	%	≥300	
硬度（邵尔 A）	度	≥65	《塑料和硬橡胶使用硬度计测定压痕硬度（邵氏硬度）》GB 2411
低温弯折	℃	≤–20	《高分子防水材料 第 1 部分：片材》GB 18173.1（试片厚度 2mm）

表 18（续）

项　目		单位	性能指标	测试方法
热空气老化：70℃，168h	拉伸强度	MPa	≥12	《塑料拉伸性能的测定》GB/T 1040 Ⅱ型试件
	扯断伸长率	%	≥280	
耐碱性：10% $Ca(OH)_2$ 常温，(23±2)℃，168h	拉伸强度保持率	%	≥80	《硫化橡胶或热塑性橡胶　耐液体试验方法》GB/T 1690
	扯断伸长率保持率	%	≥80	

2　强调铜、钢止水十字接头应在工厂加工制作。

3　对止水片（带）现场接头连接质量及检查提出要求。铜止水片和不锈钢止水片接头除检查外观外还应做渗透检查，一般采用煤油滴在焊缝上，另一侧撒上粉笔灰的方法检验。为保证接头的抗拉强度和一定的渗透路径，规定了栓（搭）接长度不小于35cm。止水片（带）接头的抗拉强度是接头质量的主要控制指标之一，应确定量化指标，如二滩等工程的技术标准提出不低于母材 75%的抗拉强度。

4　对止水片（带）现场安装质量提出要求。“鼻子”空腔填料种类较多，三峡工程采用预制的沥青麻绳，溪洛渡工程采用厂家预制氯丁橡胶棒等。

5　对表面止水带安装提出要求。面板堆石坝钢筋混凝土面板与面板表面目前多采用止水带连接，其安装质量直接影响到面板堆石坝的漏水量，故增加表面止水带应采用专门的或经试验论证的紧固件固定，紧固件必须密闭、可靠。

6　对止水片（带）影响范围内混凝土浇筑面提出要求。如果无法避免在止水片（带）附近形成水平施工缝，一般采取措施把止水片（带）浇入或留出。根据工程实践，水平施工缝离水平止水片的距离一般要求在 30cm 以上。

10.2.2　为原标准同条修改。

1　接缝止水基座应是坝体的一部分，此部分面积不大，但结

构、施工较复杂，所以基座内基础应与建基面要求一样，甚至更高。

2　止水槽、止水堤（梗）是坝基坡面止水的两种型式。不但有与本条第 1 款一样的质量要求，而且施工时有其特别的要求，应认真做好。

10.2.3　为原标准同条修改。由于沥青止水井的应用越来越少，本条仅针对沥青止水井的施工提出原则性要求。一般沥青止水井，简称为沥青井；沥青和沥青混合物，简称为填料。

1　沥青井内填料性能除与井深、坝址区气温、运行温度、接缝变形状况等有关，还与混凝土壁的黏结强度、填料本身的耐久性等有关，所以要求对材料、填料配合比进行试验。当采用代用材料时，配合后的填料性能应满足设计要求。对于井内填料，不但要求同一井内填料材料和配合比一致，之后加灌和补充的填料也应一致。

2　由于沥青井形成后不加热熔化，将失去设置沥青井的意义，因此规定沥青井全部形成后应加热熔化 1 次，一是检查埋件质量、加热效果；二是补灌填料。

10.2.4　为原标准同条修改。本条针对伸缩缝缝面填料施工提出要求，与原标准相同。在进行坝体两道止水之间的排水槽畅通性检查时，时常会碰坏已施工的缝面填料，为此缝面填料施工一般安排在排水槽检查合格之后。近年也有些工程在运行期利用排水槽进行后期排水或作为发生异常情况时的封填手段。

10.2.5　为原标准同条修改。本条针对排水设施，特别是排水孔施工提出要求，较原标准增加了第 8 款的要求。根据目前的工程实践，坝体排水管管径一般不大于ϕ229，对于混凝土升层高度不大时，采取预埋钢管的方式成孔，混凝土凝固后将钢管拔出。混凝土浇筑升层厚度大于 3m 时，钢管拔出难度较大，此时采用预埋盲管或可拆卸模板的方式成孔。

10.3 冷却、接缝灌浆管路

10.3.1 为原标准同条修改。为避免固结灌浆、取芯检查等施工时将埋设的管路打断，管子埋设的走向应按照设计要求进行设计和控制，为后序施工的避让提供依据。

10.3.2 为原标准第 10.3.2 条、第 10.3.3 条修改。考虑预埋管路一旦断裂或堵塞，将无法挽救或补救成本高，所以管子的接头推荐丝扣连接。

10.3.5 为原标准第 10.3.6 条修改。在明确管路畅通且无漏水（气）现象时，混凝土才能开仓浇筑。由于混凝土下料（或碾压）有可能对管路（特别是塑料管）造成移位或破坏，因此还需要在埋入混凝土 30cm～50cm 后，进行通水（气）检查。

10.3.6 为原标准第 10.3.7 条修改。由于冷却、灌浆的进出管路多，布置集中，排列复杂，应用时造成很多困难，所以，不但要求详细记录、挂牌，还要求绘图说明。

10.4 金 属 件

10.4.1 为原标准第 10.4.1 条、第 10.4.2 条款修改。

10.4.2～10.4.4 为原标准第 10.4.3 条、第 10.4.4 条和第 10.4.5 条修改。由于预埋件的品种多，用途不一，安装精度应符合有关标准的规定，没有规范标准的，应按设计要求控制，并保证施工中不变形走样。

10.4.6 为原标准第 10.4.7 条修改。应保证安全，用于起重运输的吊钩或金属环，必须通过计算确定，并根据计算结果设计与加工，不得变更。必要时应做荷载试验。

10.5 内 部 监 测 仪 器

10.5.1 为原标准同条修改。内部监测仪器安装前，应详细阅读仪器说明书，并按设计要求和《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T

5178 的相关要求进行。

10.5.3 为原标准第 10.5.7 条修改。内观仪器埋入混凝土后，主要通过电缆来监测、检查仪器运用状况。所以电缆是仪器安全允许的生命线，应使用专用电缆，并使用专用的硫化仪连接电缆，并保证电缆接头的质量。

10.5.4 为原标准第 10.5.8 条修改。内观仪器埋设过程中应按规定的要求实施，这是几十年施工实践中总结的经验。

11 质量检查与控制

11.1 一 般 规 定

11.1.1 为原标准第 11.1.2 条修改。

11.1.2 为原标准第 11.1.1 条修改。提出混凝土质量全过程的检查要求。通过对原材料、混凝土生产、浇筑和养护各工序的质量检测，按要求进行有效的控制，以保证成型混凝土质量。

原材料检验规定了运至工地现场的各种原材料都应是通过验收检验的合格品。在混凝土拌和生产过程中，仍应对各种原材料易波动的指标进行检验，以掌握其变化状况，在必要时微调配合比参数。

11.1.3 为原标准同条修改。提出质量管理体系的检查要求。落实质量管理体系，具备足够与合格的资源配置，是混凝土质量的基本保证。

11.1.4 为新增条款。质量数据统计分析是质量控制的基础，可采用质量管理图表、统计分析等方法，并遵循“PDCA”循环原理，进行动态管理。

11.2 原 材 料 检 验

11.2.1 为原标准第 11.2.2 条修改。本条根据国家标准对水泥编号的规定，按 30 万 t 及以上的年生产能力，确定了不同水泥品种的取样频率，当该水泥品种的年生产能力低于 30 万 t 时可根据国家标准规定的编号规定取样。

日常检验项目简化为 4 项，首次进行水泥验收和每季度都应对水泥品质按国家标准要求或合同要求进行一次全面检验。

11.2.2 为原标准同条修改。粉煤灰检验项目和频率按《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》DL/T 5055—2007 确定，矿渣粉检验项目和频率参照《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046—2000 确定，磷渣粉检验项目和频率按《水工混凝土掺用磷渣粉技术规范》DL/T 5387—2007 确定，火山灰验收检验项目和频率按《水工混凝土掺用天然火山灰质材料技术规范》DL/T 5273—2012 确定。

11.2.3 为原标准第 11.2.4 条修改。外加剂检验项目和频率参照《水工混凝土外加剂应用规范》DL/T 5110 确定，减水率、泌水率比、含气量、凝结时间差、坍落度损失、抗压强度比、收缩率比和相对耐久性，应每季度至少检验 1 次。由于外加剂匀质性是生产厂家用于生产控制的参数，因此规定匀质性检验工地现场可在必要时进行。

11.2.4 为原标准第 11.2.5 条修改。骨料检验中将原标准天然骨料和人工骨料取样频率进行了统一，一是考虑天然骨料逐渐减少，使用的越来越少；二是同一种规格的料采用同样的取样频率较为合理；三是原天然骨料取样频率过高，如天然砂 600t 取样 1 次，只能生产约 1000m^3 混凝土。考虑到不同砂石加工系统生产规模的实际情况，对于规模较大、连续生产强度高的系统，按产量确定检验批会造成取样量过大；对于规模较小的系统，按产量确定检验批又会造成取样量过少，现场工作很难满足质量要求等情况，为此取样频次统一按生产时间段确定。由于砂石加工系统生产单位和产品使用单位可能不是一家单位，在骨料出场时，生产单位和使用单位均应按月进行全面性能检验，同时由于骨料虽经过多次转运可能导致超逊径等变化，但对有机质含量、坚固性等品质的影响不大，为此，拌和系统未提出进行全面性能检测要求。

11.3 混凝土拌和质量控制

11.3.1 为原标准同条修改。本条提出了混凝土施工配合比和配

料单的执行要求。

11.3.2 为原标准同条修改。混凝土拌和楼配料称量应保证达到称量精度的要求，其决定条件是称量设备的准确程度，因而对检验制度做了规定。除正常的定期检验外，当混凝土和易性异常或其他情况出现对计量准确性有怀疑时，应及时检测，必要时用砝码校核。

11.3.4 为原标准第 11.3.4 条、第 11.3.5 条修改。对拌和物的均匀性、拌和时间和称量设备的精度进行检验，如发现问题应立即处理。目前，混凝土拌和生产的称量设备一般自动化程度较高，每盘混凝土各种原材料的称量都具有打印记录装置，但试验和检查人员仍不能放松检查，每 8h 的检查记录应不少于 2 次。

11.3.5 为原标准第 11.3.7 条、第 11.3.11 条修改。水胶比（或水灰比）是决定混凝土强度和耐久性等性能的主要因素，在施工中应加强控制，对水胶比除按条文中提到的方法测试外，还可在抽测砂石含水量的同时，记录胶凝材料用量和拌和用水量（含加冰和外加剂溶液中的水量），据此计算混凝土的水胶比；如超出允许范围，则应及时分析原因采取措施。现场水胶比控制的允许范围，宜在±（0.02～0.03）内，当较小水胶比时按 0.02、较大水胶比时按 0.03 控制。一般统计资料表明，水胶比变动 0.01 时，混凝土强度波动在 0.4MPa～0.8MPa 左右。

11.3.7 为原标准第 11.3.9 条。混凝土抗冻融性能，在一定程度上，取决于混凝土的含气量。因而在混凝土拌和生产中，含气量是现场质量控制的重要内容之一。混凝土含气量允许的偏差范围应为要求值的±1%。例如 F100 抗冻等级，骨料最大粒径 40mm 的二级配混凝土含气量要求值为 5%，其允许波动范围为 4%～6%。

11.3.8 为新增条款。明确混凝土拌和生产中，应对混凝土拌和质量进行经常性检验，并明确了检验项目和检验频率。

11.4 浇筑质量检查与控制

11.4.1 为原标准同条修改。模板、钢筋、止水、伸缩缝和排水管安装等是混凝土施工的基本工序，因此在开仓浇筑混凝土前应按《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准》DL/T 5113.1 的要求检验合格。当有工序交叉时，也应按相关标准检验合格，并取得开仓浇筑许可证。

11.4.2 为原标准第 11.4.2 条、第 11.4.3 条修改。为了能及时发现并处理混凝土施工中的质量问题，应派专人在混凝土浇筑现场进行监控盯仓。混凝土拌和物运至浇筑部位后，应观察混凝土拌和物的均匀性和稠度变化等，当发现拌和不匀、坍落度过大或过小等异常情况时，应及时进行现场处理，或通知混凝土拌和楼（站）进行调整；若发现不合格的混凝土拌和物，应禁止入仓，已入仓的也应挖除。检查记录主要包括：

1 每一工程部位的高程、桩号和混凝土数量，混凝土所用原材料的种类、品质、混凝土强度等级和混凝土配合比。

2 建筑物各构件、块体的浇筑起止时间，施工期间发生的质量问题及处理结果，养护及表面保护时间、方式，模板和钢筋及各种预埋件的情况。

3 浇筑地点的气象情况（晴、阴、雨、风、气温等），原材料温度，混凝土浇筑温度，各部位模板拆除日期等。

11.4.3 为原标准第 11.4.4 条。拆模后及时组织进行外观检查，并记录混凝土缺陷及裂缝的部位、长度、宽度、深度、发现日期及发展情况等，视质量问题的严重程度，研究相应的处理措施。

11.5 混凝土性能检验

11.5.1 为原标准同条修改。水工混凝土的技术指标主要有抗压、抗渗、抗冻、极限拉伸值，以及抗冲磨、抗侵蚀等，在混凝土配合比设计阶段，应通过试验论证达到要求指标，确定施工配合比。

在现场混凝土施工中，均以 150mm 立方体试件的抗压强度为主要控制指标。

11.5.2 为原标准同条修改。《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107—2010 规定混凝土试样应在浇筑地点抽取。考虑到水工混凝土施工输送距离较短、输送设备多种多样等因素，仍以出机口取样为主，浇筑地点取样不少于机口取样数量的 1/20～1/10。强度评定时，浇筑地点和出机口的抽样试件强度具有同等效力。

本标准考虑当前的实际条件和习惯，规定每组由 3 个试件组成。由于受拌和物均匀性和试验误差影响，每组 3 个试件的强度并不相同，本条规定当组内 3 个试件强度的最大值或最小值与中间值之差，超过中间值的 15%时，取中间值为该组试件的强度代表值。当组内 3 个试件强度的最大值和最小值都超过中间值的 15%时，该组试件的强度不应作为评定依据，而予舍弃。这样的规定造成的检验误差，与取组平均值方案造成的检验误差比较，差别不大，但取中间值应用更加方便。

11.5.3 为原标准同条修改。混凝土的取样频率是保证预期检验效果的重要因素，为此本条根据水工混凝土量大的特点，规定了抽取试样的频率。

11.5.4 为原标准同条修改。为预测混凝土的强度，宜采用快速测强法，如不具备条件应做 7d 龄期强度检验。

11.6 混凝土生产质量控制水平评定

11.6.1 为原标准第 11.5.7 条修改。混凝土生产质量控制水平用 28d 龄期抗压强度离差系数 C_v 值表示。一般按月对相同强度等级、相同配合比连续机口取样的 28d 龄期抗压强度试验结果进行统计。当组数少于 30 组时，可适当延长统计时段，但不宜超过 3 个月。由于水工混凝土配合比设计多以耐久性为控制因素，一般抗压强度超强较多，原标准中还采用了“强度不低于强度标准值的百分率 p_s（%）”的指标。实际工程中出现了采用“强度离差系数”评定结果为“差”，采用“强度不低于强度标准值的百分率 p_s（%）”评定结果为“优”，评定结果截然相反。为避免出现双重标准导致评定结果的不一致，以及避免 28d 强度与设计龄期的不一致，本标准明确统一采用“28d 强度离差系数 C_v 值”评定混凝土生产质量控制水平。

11.6.2 为原标准第 11.5.11 条修改。本条明确了混凝土生产质量控制水平的评定标准，并采用“设计龄期”抗压强度标准值取代原标准特指“90d”设计龄期强度等级。

11.6.3 为原标准第 11.5.12 条修改。本条明确了试验误差水平的评定标准，采用混凝土盘内变异系数衡量试验误差评定。

11.7 混凝土质量评定

11.7.1 为原标准第 11.5.10 条修改。

11.7.2～11.7.4 为原标准第 11.5.6 条修改。本条明确了大坝混凝土和其他水工结构混凝土质量检查项目和质量标准，其中除大坝混凝土外，其他水工结构混凝土强度检验评定标准与国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107—2010 一致，但一个检验批的样本容量有所不同。

近十多年来，我国水工混凝土原材料生产质量的稳步提高和混凝土拌和设备性能不断更新，同时参考大中型水电工程混凝土实测统计资料，原标准提出的混凝土抗压强度保证率 P=80%偏低，应该适当予以提高。本次修订考虑到涉及混凝土坝设计规范的调整，仍维持原标准，但当设计有明确要求时，可提高到 85%或 90%。除大坝外的水轮机蜗壳、压力管道衬砌、隧洞衬砌，以及板、梁、柱等结构混凝土检验批混凝土抗压强度保证率明确为 P≥95%。并对检验批混凝土抗压强度最小值和平均值验收标准做了相应修订，对检验批样本容量和检验期提出了更严格的要求。

与《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准》DL/T 5113.1—2005 中评定混凝土的质量标准对照，本次修订提高

了部分项目混凝土质量检查标准，见表 19。

表 19　混凝土性能质量标准表

项类	检　查　项　目		质量标准
主控项目	1. 设计龄期抗渗性		满足设计要求
	2. 抗压强度保证率（%）	坝体混凝土	P≥80%或满足设计要求
		结构混凝土	P≥95%
一般项目	1. 混凝土强度最低值	≤20MPa	≥0.85$f_{cu,k}$
		>20MPa	≥0.90$f_{cu,k}$
	2. 设计龄期抗冻性合格率（%）		≥80%
	3. 设计龄期抗拉项目		满足设计要求
	4. 抗压强度标准差	≤20MPa	≤4.5
		20MPa～35MPa	≤5.0
		>35MPa	≤5.5

11.7.5　为原标准第 11.5.11 条修改。本条明确了混凝土质量等级评定的要求。

11.7.6　为原标准第 11.5.9 条修改。混凝土抗冻、抗渗性能应在混凝土设计中予以保证，但在施工中进行抽样检验是必要的。虽然混凝土的配合比设计试验可保证达到设计要求指标，但施工中原材料质量的变化、混凝土生产工艺的过程质量控制尤其是含气量控制的稳定性都会影响到混凝土的抗冻、抗渗性的变化。因此若抽样检验发现问题，应及时查找原因，认真处理。

11.8　水工混凝土建筑物质量检查

11.8.2　为原标准第 11.5.14 条修改。本标准规定对已建成的水工建筑物应适量取芯和进行压水试验，并推荐提出了大坝大体积混凝土每万立方米混凝土应钻孔取芯和压水试验 2m～10m。这是由

于无论在拌和楼出机口或浇筑地点抽样成型的试件，均代表混凝土拌和物的质量，未包括混凝土下料、平仓、振捣、泌水排除及层面处理和控制等因素影响。而这些工序作业的严谨程度，直接影响混凝土成型质量，所以建成的混凝土建筑物质量需要依靠钻孔取出芯样及压水试验成果最后做出判定，因而列为必测项目。具体取样数量一般总量较大时取下限值，总量较小时取上限值。对于钢筋混凝土结构物，一般不进行钻孔取芯和压水试验的检验，而是以无损检测（如超声波、回弹仪等）为主进行检测。