

# 水工混凝土施工规范

DL / T 5144—2001

## 前 言

本标准是根据原电力工业部科技司《关于下达 1996 年制定、修订电力行业标准计划项目(第一批)的通知》(技综 [1996] 40 号文)要求修订的。

SDJ 207—1982《水工混凝土施工规范》(简称“原标准”,下同)自 1982 年 4 月颁布至今,已实施 19 年,它对保证我国水工混凝土工程施工质量,推动其技术的发展,起到了很好的作用。随着科学技术的进步,施工装备水平的提高,国外先进技术的引进以及我国建设管理体制的变化等因素,有必要对原标准进行修订。

修订工作从 1998 年 10 月开始,专门组成“修订组”,修订组充分利用三峡工地集中全国众多具有国内先进水平的水电施工、设计、监理单位的优势,就近召开修订讨论会,广泛吸收全国有关单位和专家的有益建议和宝贵经验,加上修订人员外出调研,收集资料,于 1999 年 7 月完成初稿,9 月邀请专家进行审查讨论,根据专家的意见和建议,再次作了修改,于 1999 年 11 月完成征求意见稿,2000 年 5 月根据征求意见稿进行修订形成送审稿,2000 年 11 月,在宜昌召开送审稿审查会。2001 年 8 月形成报批稿。

按照主管部门“关于修订《水工混凝土施工规范》的通知”及“关于修订《水工混凝土施工规范》的几点意见”,在这次修订时,将“模板工程”和“钢筋工程”两章及“特种混凝土的施工”一节独立出去,另成标准。原标准 SDJ 207—1982《水工混凝土施工规范》的第一、四、五、六、七章及附录等废止。

根据 DL / T 600《电力标准编写的基本规定》中的规定,本次修订时,增加了“范围”、“引用标准”及“主要术语与符号”三章,原标准中第四章混凝土工程中的材料、配合比选定、施工(包括拌和、运输、浇筑、雨季施工和养护)、质量控制与检查均独立成章,连同原标准的总则、混凝土温度控制的措施、低温季节混凝土的施工、预埋件施工等章,共计 11 章 4 个附录。

本标准的附录 A 是标准的附录。

本标准的附录 B、附录 C、附录 D 都是提示的附录。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会提出、归口并负责解释。

本标准的主编单位:中国长江三峡工程开发总公司、中国葛洲坝水利水电工程集团公司。

本标准的参编单位:长江水利委员会、中国水利水电第四工程局。

本标准主要起草人： 陈福厚、周厚贵、史振寰、刘文彦、  
刘松柏、曾广耀、张小厅、刘玉山、  
周世明、陈果清、胡兴娥、张佑明、  
周 俊、严四海、席浩、周幼林、李百胜、

孙明伦。

目 次

前言

- 1 范围
- 2 引用标准
- 3 总则
- 4 术语、符号
  - 4.1 术语
  - 4.2 符号
- 5 材料
  - 5.1 水泥
  - 5.2 骨料
  - 5.3 掺合料
  - 5.4 外加剂
  - 5.5 水
- 6 配合比选定
- 7 施工
  - 7.1 拌和
  - 7.2 运输
  - 7.3 浇筑
  - 7.4 雨季施工
  - 7.5 养护
- 8 温度控制
  - 8.1 一般规定
  - 8.2 温度控制措施
  - 8.3 温度测量
- 9 低温季节施工

- 9.1 一般规定
- 9.2 施工准备
- 9.3 施工方法、保温措施
- 9.4 温度观测
- 10 预埋件施工
  - 10.1 一般规定
  - 10.2 止水、伸缩缝、排水
  - 10.3 冷却、接缝灌浆管路
  - 10.4 铁件
  - 10.5 内部观测仪器
- 11 质量控制与检查
  - 11.1 一般规定
  - 11.2 原材料的质量控制
  - 11.3 混凝土拌和与混凝土拌和物的质量控制
  - 11.4 浇筑质量检查与控制
  - 11.5 强度检验与评定

附录A(标准的附录)混凝土平均强度 $m_{fcu}$ 、标准差 $\sigma$ 、强度保证率 $P$ 和盘内变异系数 $\delta_b$ 计算方法

附录 B(提示的附录)混凝土碱含量的计算方法

附录 C(提示的附录) 用成熟度法计算混凝土早期强度

附录 D(提示的附录) 接缝止水材料性能指标

条文说明

## 1 范 围

本标准规定了水工混凝土施工行为和质量的基本要求，适用于大、中型水电水利工程中 1、2、3 级水工建筑物的混凝土和钢筋混凝土的施工。

## 2 引用标准

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

GB 175—1999 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥

GB / T 176—1996 水泥化学分析方法

GB 200—1989 中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥

GB 748—1996 抗硫酸盐硅酸盐水泥

GB / T 750—1992 水泥压蒸安定性试验方法

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

GB / T 1345—1991 水泥细度检验方法(80  $\mu$  m 筛筛析法)

GB / T 1346—2001 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法

GB / T 2022—1980 水泥水化热试验方法(直接法)

GB / T 2059—2000 铜及铜合金带材

GB / T 2847—1996 用于水泥中的火山灰质混合材料

GB 2938—1997 低热微膨胀水泥

GB 5749—1985 生活饮用水水质标准

GB / T 6645—1986 用于水泥中的粒化电炉磷渣

GB 8076—1997 混凝土外加剂

GB / T 9142—2000 混凝土搅拌机

GB 12573—1990 水泥的取样方法

GB / T 12959—1991 水泥水化热测定方法(溶解热法)

GB / T 14684—2001 建筑用砂

GB / T 14685—2001 建筑用卵石、碎石

GB / T 17671—1999 水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)

GB 50164—1992 混凝土质量控制标准

GBJ 80—1985 普通混凝土拌合物性能试验方法

GBJ 107—1987 混凝土强度评定标准

GBJ 119—1988 混凝土外加剂应用技术规范

GBJ 146—1990 粉煤灰混凝土应用技术规范

CECS 03: 1988 钻芯法检测混凝土强度技术规程

CECS 38: 1992 钢纤维混凝土设计与施工规程

DL 5017—1993 压力钢管制造安装及验收规范

DL / T 5055—1996 水工混凝土掺用粉煤灰技术规范

DL / T 5057—1996 水工混凝土结构设计规范

DL / T 5082—1998 水工建筑物抗冰冻设计规范

DL / T 5100—1999 水工混凝土外加剂技术规程

HG 2288—1992 橡胶止水带

JGJ / T 10—1995 混凝土泵送施工技术规程

JGJ 52—1992	普通混凝土用砂质量标准及检验方法
JGJ 53—1992	普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法
JGJ / T 55—1996	普通混凝土配合比设计规程
JGJ 63—1989	混凝土拌和用水标准
JGJ 104—1997	建筑工程冬期施工规程
SD 105—1982	水工混凝土试验规程
SDJ 12—1978	水利水电枢纽工程等级划分及设计标准(山区、丘陵区部分)
SDJ 17—1978	水利水电工程天然建筑材料勘察规程
SDJ 249.1—1988	水利水电基本建设工程单元工程质量等级评定标准
SDJ 336—1989	混凝土大坝安全监测技术规范(试行)
SDJ 338—1989	水利水电工程施工组织设计规范(试行)
SL 62—1994	水工建筑物水泥灌浆施工技术规范
SL 172—1996	小型水电站施工技术规范
SL 176—1996	水利水电工程施工质量评定规范(试行)
AGI 211.1—1995	普通混凝土、重质混凝土及大体积混凝土配合比选择的标准方法
AGI 214—1989	混凝土强度试验结果评定推荐方法

## 3 总 则

- 3.0.1** 本标准规范了水工建筑物混凝土的材料、配合比选定、施工、温度控制、低温季节施工、预埋件施工、质量控制与检查的基本要求。
- 3.0.2** 水工混凝土应满足抗压、抗拉、抗渗、抗冻、抗裂、抗冲耐磨和抗侵蚀等设计要求。
- 3.0.3** 水工混凝土的施工应采用新技术、新工艺、新材料和新设备。应建立完善的质量保证体系。
- 3.0.4** 本标准未规定的其他混凝土施工，按现行的有关国家标准或行业标准执行。

## 4 术语、符号

### 4.1 术 语

- 4.0.1** 掺合料 extender  
用于拌制水泥混凝土和砂浆时，掺入的粉煤灰等混合材料。
- 4.0.2** 水胶比 ratio of water to cementitious material

每立方米混凝土用水量与所用胶凝材料用量的比值。

**4.0.3 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。

**4.0.4 拌和时间      mixing time**

全部材料加入后经过拌和至出料开始的时间。

**4.0.5 混凝土运输时间      concrete transportation time**

从机口全部卸料完到混凝土卸入仓内的时间。

**4.0.6 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。

**4.0.7 毛面      rough surface**

经过处理、无乳皮、微露粗砂的混凝土表面。

**4.0.8 浇筑温度      concreting 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。

**4.0.9 气温骤降      suddenly drop in air temperature**

日平均气温在 2d~3d 内连续下降累计 6℃ 以上。

**4.0.10 寒潮      cold wave**

日平均气温 5℃ 以下时的气温骤降。

**4.0.11 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。

**4.0.12 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。

**4.0.13 严寒地区      severe cold region**

最冷月平均气温低于-10℃的地区。

**4.0.14 寒冷地区      cold region**

最冷月平均气温在-10℃与-3℃之间的地区。

**4.0.15 温和地区      mild region**

最冷月平均气温高于-3℃的地区。

**4.0.16 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。

**4.0.17 综合蓄热法      comprehensive method of heat accumulation**

“蓄热法”加早强或抗冻外加剂的施工方法。

## 4.2 符 号

$\alpha_T$	温度为 $T$ 的等效系数
$t_T$	温度为 $T$ 的养护时间
C <sub>90</sub> 20	设计龄期 90d, 强度标准值为 20MPa 的水工混凝土强度等级
$f_{\text{cuk}}$	混凝土设计强度标准值
$f_{\text{cu}0}$	混凝土的配制强度
$m_{f_{\text{cu}}}$	混凝土强度平均值
$\sigma$	混凝土强度标准差
$\sigma_0$	验收批混凝土强度标准差
$\delta$	混凝土强度变异系数
$\delta_b$	盘内混凝土强度变异系数
$f_{\text{cu},i}$	第 $i$ 组混凝土试件的强度
$\Delta f_{\text{cu},i}$	第 $i$ 组三个试件中最大值与最小值之差
$f_{\text{cu},\min}$	$n$ 组强度中的最小值
F100	表示抗冻为 100 级的抗冻等级
W2	表示抗渗为 2 级的抗渗等级

## 5 材 料

### 5.1 水 泥

**5.1.1** 每一个工程所用水泥品种以 1~2 种为宜, 并应固定供应厂家。

**5.1.2** 选择水泥品种应符合下列原则:

1 水位变化区外部混凝土、溢流面和经常受水流冲刷部位的混凝土及有抗冻要求的混凝土, 宜选用中热硅酸盐水泥或硅酸盐水泥, 也可选用普通硅酸盐水泥。

2 内部混凝土、水下混凝土和基础混凝土, 宜选用中热硅酸盐水泥, 也可选用低热矿渣硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥和低热微膨胀水泥。

3 环境水对混凝土有硫酸盐侵蚀性时, 应选择抗硫酸盐硅酸盐水泥。

**5.1.3** 选用的水泥强度等级应与混凝土设计强度等级相适应。水位变化区、溢流面及经常受水流冲刷部位、抗冻要求较高的部位, 宜使用较高强度等级的水泥。

**5.1.4** 选用的水泥必须符合现行国家标准的规定。并可根据工程的特殊需要对水泥的化学成分、矿物组成和细度等提出专门要求。

**5.1.5** 运至工地的每一批水泥, 应有生产厂的出厂合格证和品质试验报告, 使用单位应进

行验收检验(按每 200t~400t 同厂家、同品种、同强度等级的水泥为一取样单位,如不足 200t 也作为一取样单位),必要时应进行复验。

**5.1.6** 水泥品质的检验,按现行的国家标准进行。

**5.1.7** 水泥的运输、保管及使用,应遵守下列规定:

- 1 优先使用散装水泥。
- 2 运到工地的水泥,应按标明的品种、强度等级、生产厂家和出厂批号,分别储存到有明显标志的储罐或仓库中,不得混装。
- 3 水泥在运输和储存过程中应防水防潮,已受潮结块的水泥应经处理并检验合格方可使用。罐储水泥宜一个月倒罐一次。
- 4 水泥仓库应有排水、通风措施,保持干燥。堆放袋装水泥时,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 散装水泥运至工地的入罐温度不宜高于 65℃。
- 6 先出厂的水泥应先用。袋装水泥储运时间超过 3 个月,散装水泥超过 6 个月,使用前应重新检验。
- 7 应避免水泥的散失浪费,注意环境保护。

## **5.2 骨 料**

**5.2.1** 使用的骨料应根据优质、经济、就地取材的原则进行选择。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,有条件的地方宜选用石灰岩质的料源。

**5.2.2** 骨料料源在品质、数量发生变化时,应按现行建筑材料勘察规程进行详细的补充勘察和碱活性成分含量试验。未经专门论证,不得使用碱活性骨料。

**5.2.3** 应根据粗细骨料需要总量、分期需要量进行技术经济比较,制定合理的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防护和恢复环境措施,避免产生水土流失。

**5.2.4** 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。

**5.2.5** 根据实际需要和条件,可将细骨料分成粗细两级,分别堆存,在混凝土拌和时按一定比例掺配使用。

**5.2.6** 成品骨料的堆存和运输应符合下列规定:

- 1 堆存场地应有良好的排水设施,必要时应设遮阳防雨棚。
- 2 各级骨料仓之间应设置隔墙等有效措施,严禁混料,并应避免泥土和其他杂物混入骨料中。
- 3 应尽量减少转运次数。卸料时,粒径大于 40mm 骨料的自由落差大于 3m 时,



应设置缓降设施。

4 储料仓除有足够的容积外，还应维持不小于 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。

5 在粗骨料成品堆场取料时，同一级料应注意在料堆不同部位同时取料。

**5.2.7 细骨料(人工砂、天然砂)的品质要求：**

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

2 细骨料在开采过程中应定期或按一定开采数量进行碱活性检验，有潜在危害时，应采取相应措施，并经专门试验论证。

3 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。

4 细骨料的其他品质要求应符合表 5.2.7 的规定。

**表 5.2.7 细骨料的品质要求**

项 目		指 标		备 注
		天然砂	人工砂	
石粉含量 %		—	6~18	
含泥量 %	≥C <sub>90</sub> 30 和有抗冻要求的	≤3	—	
	<C <sub>90</sub> 30	≤5		
泥块含量		不允许	不允许	
坚固性 %	有抗冻要求的混凝土	≤8	≤8	
	无抗冻要求的混凝土	≤10	≤10	
表观密度 kg/m <sup>3</sup>		≥2500	≥2500	
硫化物及硫酸盐含量 %		≤1	≤1	折算成SO <sup>3</sup> ，按重量计
有机质含量		浅于标准色	不允许	
云母含量 %		≤2	≤2	
轻物质含量 %		≤1	—	

**5.2.8 粗骨料(碎石、卵石)的品质要求：**

- 1 粗骨料的最大粒径: 不应超过钢筋净间距的 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。
- 2 施工中, 宜将粗骨料按粒径分成下列几种粒径组合:
  - 1)当最大粒径为 40mm时, 分成D<sub>20</sub>、D<sub>40</sub>两级;
  - 2)当最大粒径为 80mm时, 分成D<sub>20</sub>、D<sub>40</sub>、D<sub>80</sub>三级;
  - 3)当最大粒径为 150(120)mm时, 分成D<sub>20</sub>、D<sub>40</sub>、D<sub>80</sub>、D<sub>150</sub>(D<sub>120</sub>)四级。
- 3 应严格控制各级骨料的超、逊径含量。以原孔筛检验, 其控制标准: 超径小于 5%, 逊径小于 10%。当以超、逊径筛检验时, 其控制标准: 超径为零, 逊径小于 2%。
- 4 采用连续级配或间断级配, 应由试验确定。
- 5 各级骨料应避免分离。D<sub>150</sub>、D<sub>80</sub>、D<sub>40</sub>和D<sub>20</sub>分别用中径(115mm、60mm、30mm和 10mm)方孔筛检测的筛余量应在 40%~70%范围内。
- 6 如使用含有活性骨料、黄锈和钙质结核等粗骨料, 必须进行专门试验论证。
- 7 粗骨料表面应洁净, 如有裹粉、裹泥或被污染等应清除。
- 8 碎石和卵石的压碎指标值宜采用表 5.2.8-1 的规定。

表 5.2.8-1 粗骨料的压碎指标值

骨 料 类 别		不同混凝土强度等级的压碎指标值	
		%	
		C <sub>90</sub> 55~C <sub>90</sub> 40	≤C <sub>90</sub> 35
碎石	水成岩	≤10	≤16
	变质岩或深成的火成岩	≤12	≤20
	火成岩	≤13	≤30
卵 石		≤12	≤16

- 9 粗骨料的其他品质要求应符合表 5.2.8-2 的规定。

表 5.2.8-2 粗骨料的品质要求

项 目		指 标	备 注
含泥量 %	D <sub>20</sub> 、D <sub>40</sub> 粒径级	≤1	
	D <sub>80</sub> 、D <sub>150</sub> (D <sub>120</sub> )粒径级	≤0.5	
泥块含量		不允许	
坚固性 %	有抗冻要求的混凝土	≤5	
	无抗冻要求的混凝土	≤12	

硫化物及硫酸盐含量 %	$\leq 0.5$	折算成 $\text{SO}_3$ ，按重量计
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
表观密度 $\text{kg/m}^3$	$\geq 2550$	
吸水率 %	$\leq 2.5$	
针片状颗粒含量 %	$\leq 15$	经试验论证，可以放宽至 25%

**5.2.9** 取样与检验方法按 SD105 和有关标准执行。

### 5.3 掺合料

**5.3.1** 水工混凝土中应掺入适量的掺合料。其品种有粉煤灰、凝灰岩粉、矿渣微粉、硅粉、粒化电炉磷渣、氧化镁等。掺用的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。

**5.3.2** 掺合料的品质应符合现行的国家和有关行业标准。

**5.3.3** 粉煤灰掺合料宜选用 I 级或 II 级粉煤灰。

**5.3.4** 掺合料每批产品出厂时应有产品合格证，主要内容包括：厂名、等级、出厂日期、批号、数量及品质检验结果等。

**5.3.5** 使用单位对进场使用的掺合料应进行验收检验。粉煤灰等掺合料以连续供应 200t 为一批(不足 200t 按一批计)，硅粉以连续供应 20t 为一批(不足 20t 按一批计)，氧化镁以 60t 为一批(不足 60t 按一批计)。掺合料的品质检验按现行国家和有关行业标准进行。

**5.3.6** 掺合料应储存在专用仓库或储罐内，在运输和储存过程中应注意防潮，不得混入杂物，并应有防尘措施。

### 5.4 外加剂

**5.4.1** 水工混凝土中必须掺加适量的外加剂。

**5.4.2** 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。外加剂品质必须符合现行的国家和有关行业标准。

**5.4.3** 外加剂选择应根据混凝土性能要求、施工需要、并结合工程选定的混凝土原材料进行适应性试验，经可靠性论证和技术经济比较后，选择合适的外加剂种类和掺量。一个工程掺用同种类外加剂的品种宜选用 1~2 种，并由专门生产厂家供应。

**5.4.4** 有抗冻性要求的混凝土应掺用引气剂。混凝土的含气量应根据混凝土的抗冻等级和骨料最大粒径等，通过试验确定。表 5.4.4 的规定供参考。

表 5.4.4 掺引气剂型外加剂混凝土的含气量

骨料最大粒径 mm		20	40	80	150(120)
含气量 %	≥F200 混凝土	5.5	5.0	4.5	4.0
	≤F150 混凝土	4.5	4.0	3.5	3.0

\* F50 混凝土掺用与否，根据试验确定

**5.4.5** 外加剂应配成水溶液使用。配制溶液时应称量准确，并搅拌均匀。根据工程需要，外加剂可复合使用，但必须通过试验论证。有要求时，应分别配制使用。

**5.4.6** 外加剂每批产品出厂时应有检验报告和合格证。使用单位应进行验收检验。

**5.4.7** 外加剂的分批以掺量划分。掺量大于或等于 1%的外加剂以 100t 为一批，掺量小于 1%的外加剂以 50t 为一批，掺量小于 0.01%的外加剂以 1t~2t 为一批，一批进场的外加剂不足一个批号数量的，应视为一批进行检验。

**5.4.8** 外加剂的检验按现行的国家和行业标准进行。

**5.4.9** 外加剂应存放在专用仓库或固定的场所妥善保管，不同品种外加剂应有标记，分别储存。粉状外加剂在运输和储存过程中应注意防水防潮。当外加剂储存时间过长，对其品质有怀疑时，必须进行试验认定。

5.5 水

**5.5.1** 凡符合国家标准的饮用水，均可用于拌和与养护混凝土。未经处理的工业污水和生活污水不得用于拌和与养护混凝土。

**5.5.2** 地表水、地下水和其他类型水在首次用于拌和与养护混凝土时，须按现行的有关标准，经检验合格方可使用。检验项目和标准应符合以下要求：

1

待检验水与标准饮用水试验所得的水泥初凝时间差及终凝时间差均不得大于 30min。

2

待检验水配制水泥砂浆 28d 抗压强度不得低于用标准饮用水拌和的砂浆抗压

强度的 90%。

3 拌和与养护混凝土用水的 pH 值和水中的不溶物、可溶物、氯化物、硫酸盐的含量应符合表 5.5.2 的规定。

表 5.5.2 拌和与养护混凝土用水的指标要求

项 目	钢筋混凝土	素混凝土	项 目	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	>4	>4	氯化物(以Cl <sup>-</sup> 计) mg/L	<1200	<3500
不溶物 mg/L	<2000	<5000	硫酸盐(以SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 计) mg/L	<2700	<2700
可溶物 mg/L	<5000	<10000			

6 配合比选定

6.0.1 为满足混凝土设计强度、耐久性、抗渗性等要求和施工和易性需要，应进行混凝土施工配合比优选试验。混凝土施工配合比选择应经综合分析比较，合理地降低水泥用量。主体工程混凝土配合比应经审查选定。

6.0.2 混凝土配制强度

1 混凝土配制强度按下式计算：

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

(6.0.2-1)

式中  $f_{cu,0}$ ——混凝土的配制强度，MPa；

$f_{cu,k}$ ——混凝土设计龄期的强度标准值，MPa；

$t$ ——概率度系数，依据保证率  $P$  选定，其值见附录 A 表 A1；

$\sigma$  ——混凝土强度标准差，MPa。

2 混凝土强度标准差(  $\sigma$  )按以下规定确定：

1)当没有近期的同品种混凝土强度资料时，  $\sigma$  可参照表 6.0.2 取用。

表 6.0.2 标准差  $\sigma$  值

混凝土强度标准值	$\leq C_{90}15$	$C_{90}20\sim C_{90}25$	$C_{90}30\sim C_{90}35$	$C_{90}40\sim C_{90}45$	$\geq C_{90}50$
$\sigma$ (90d)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5

MPa					
-----	--	--	--	--	--

2)根据前一个月(或三个月)相同强度等级、配合比的混凝土强度资料，混凝土强度标准差  $\sigma$  按下式计算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{fcu}^2}{n-1}} \quad (6.0.2-2)$$

式中  $f_{cu,i}$ ——第*i*组的试件强度，MPa；  
 $m_{fcu}$ ——*n*组试件的强度平均值，MPa；  
*n*——试件组数，*n* 值应大于 30。

$\sigma$  的下限取值：对小于和等于C<sub>90</sub>25 级混凝土，计算得到的  $\sigma$  小于 2.5MPa时， $\sigma$  取 2.5MPa；对大于和等于C<sub>90</sub>30 级混凝土，计算得到的  $\sigma$  小于 3.0MPa时， $\sigma$  取 3.0MPa。

施工过程中，应根据施工时段强度的统计结果，调整  $\sigma$  值，进行动态控制。

**6.0.3** 混凝土设计强度标准值，按设计龄期提出的混凝土强度标准，以按标准方法制作养护的边长为 150mm 立方体试件的抗压强度值确定，用 MPa 表示。

**6.0.4** 大体积内部混凝土的胶凝材料用量不宜低于 140kg / m<sup>3</sup>。水泥熟料含量不宜低于 70kg / m<sup>3</sup>。

**6.0.5** 混凝土的水胶比(或水灰比)，根据设计对混凝土性能的要求，应通过试验确定，并不应超过表 6.0.5 的规定。

表 6.0.5 水胶比最大允许值

部 位	严寒地区	寒冷地区	温和地区
上、下游水位以上(坝体外部)	0.50	0.55	0.60
上、下游水位变化区(坝体外部)	0.45	0.50	0.55
上、下游最低水位以下(坝体外部)	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：在有环境水侵蚀情况下，水位变化区外部及水下混凝土最大允许水胶比(或水灰比)应减小 0.05。

**6.0.6** 粗骨料级配及砂率的选择应根据混凝土的性能要求、施工和易性及最小单位用水量并结合骨料生产的平衡等要求，通过试验进行综合分析确定。

**6.0.7** 混凝土的坍落度，应根据建筑物的结构断面、钢筋含量、运输距离、浇筑方法、运输方式、振捣能力和气候等条件决定，在选定配合比时应综合考虑，并宜采用较小的坍落度。混凝土在浇筑地点的坍落度，可参照表 6.0.7 选用。

表 6.0.7 混凝土在浇筑地点的坍落度

混凝土类别	坍落度 cm	混凝土类别	坍落度 cm
素混凝土或少筋混凝土	1~4	配筋率超过 1%的钢筋混凝土	5~9
配筋率不超过 1%的钢筋混凝土	3~6		

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。

**6.0.8** 混凝土使用有碱活性反应的骨料时，配合比选择应严格控制混凝土中的总含碱量(混凝土含碱量的计算方法见附录 B)，以保证混凝土的耐久性。

**6.0.9** 混凝土配合比设计方法和混凝土试验按 SD105—1982《水工混凝土试验规程》的规定进行。抗冻性能以快冻法试验确定。

7 施 工

7.1 拌 和

**7.1.1** 拌和设备投入混凝土生产前，应按经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试验。

**7.1.2** 混凝土拌和必须按照试验部门签发并经审核的混凝土配料单进行配料，严禁擅自更改。

**7.1.3** 混凝土组成材料的配料量均以重量计。称量的允许误差，不应超过表 7.1.3 的规定。

表 7.1.3 混凝土材料称量的允许误差

材 料 名 称	称量允许误差 %	材 料 名 称	称量允许误差 %
---------	-------------	---------	-------------

水泥、掺合料、水、冰、外加剂溶液	±1	骨 料	±2
------------------	----	-----	----

**7.1.4**      混凝土拌和时间应通过试验确定。表 7.1.4 中所列最少拌和时间，可参考使用。

**表 7.1.4      混凝土最少拌和时间**

拌和机容量 $Qm^3$	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
$0.8\leq Q\leq 1$	80	90	60
$1< Q\leq 3$	150	120	75
$Q>3$	150	150	90

注

- 1      入机拌和量应在拌和机额定容量的 110% 以内。
- 2      加冰混凝土的拌和时间应延长 30s(强制式 15s)，出机的混凝土拌和物中不应有冰块。

**7.1.5**      每台班开始拌和前，应检查拌和机叶片的磨损情况。在混凝土拌和过程中，应定时检测骨料含水量，必要时应加密测量。

**7.1.6**      混凝土掺合料在现场宜用干掺法，且应保证拌和均匀。

**7.1.7**      外加剂溶液中的水量，应在拌和用水量中扣除。

**7.1.8**      拌和楼进行二次筛分后的粗骨料，其超逊径应控制在要求范围内。

**7.1.9**      混凝土拌和物出现下列情况之一者，按不合格料处理：

- 1      错用配料单已无法补救，不能满足质量要求；
- 2      混凝土配料时，任意一种材料计量失控或漏配，不符合质量要求；
- 3      拌和不均匀或夹带生料；
- 4      出机口混凝土坍落度超过最大允许值。

## **7.2      运                  输**

**7.2.1**      选择混凝土运输设备及运输能力，应与拌和、浇筑能力、仓面具体情况相适应。

**7.2.2**      所用的运输设备，应使混凝土在运输过程中不致发生分离、漏浆、严重泌水、过多温度回升和坍落度损失。

**7.2.3**      同时运输两种以上强度等级、级配或其他特性不同的混凝土时，应设置明显的区分标志。

**7.2.4**      混凝土在运输过程中，应尽量缩短运输时间及减少转运次数。掺普通减水剂的混凝



土运输时间不宜超过表 7.2.4 的规定。因故停歇过久，混凝土已初凝或已失去塑性时，应作废料处理。严禁在运输途中和卸料时加水。

表 7.2.4      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

**7.2.5**      在高温或低温条件下，混凝土运输工具应设置遮盖或保温设施，以避免天气、气温等因素影响混凝土质量。

**7.2.6**      混凝土的自由下落高度不宜大于 1.5m。超过时，应采取缓降或其他措施，以防止骨料分离。

**7.2.7**      用汽车、侧翻车、侧卸车、料罐车、搅拌车及其他专用车辆运送混凝土时，应遵守下列规定：

- 1      运输混凝土的汽车应为专用；运输道路应保持平整。
- 2      装载混凝土的厚度不应小于 40cm，车箱应平滑密闭不漏浆。
- 3      每次卸料，应将所载混凝土卸净，并应适时清洗车箱(料罐)。
- 4      汽车运输混凝土直接入仓时，必须有确保混凝土施工质量的措施。

**7.2.8**      用门式、塔式、缆式起重机以及其他吊车配吊罐运输混凝土时，应遵守下列规定：

- 1      起重设备的吊钩、钢丝绳、机电系统配套设施、吊罐的吊耳及吊罐放料口等，应定期进行检查维修，保证设备完好。
- 2      吊罐不得漏浆，并应经常清洗。
- 3      起重设备运转时，应注意与周围施工设备保持一定距离和高度。

**7.2.9**      用各类皮带机(包括塔带机、胎带机等)运输混凝土时，应遵守下列规定：

- 1      混凝土运输中应避免砂浆损失；必要时适当增加配合比的砂率。
- 2      当输送混凝土的最大骨料粒径大于 80mm 时，应进行适应性试验，满足混凝土质量要求。
- 3      皮带机卸料处应设置挡板、卸料导管和刮板。
- 4      皮带机布料应均匀，堆料高度应小于 1m。
- 5      应有冲洗设施及时清洗皮带上粘附的水泥砂浆，并应防止冲洗水流入仓内。
- 6      露天皮带机上宜搭设盖棚，以免混凝土受日照、风、雨等影响；低温季节施

工时，应有适当的保温措施。

**7.2.10** 用溜筒、溜管、溜槽、负压(真空)溜槽运输混凝土时，应遵守下列规定：

- 1 溜筒(管、槽)内壁应光滑，开始浇筑前应用砂浆润滑筒(管、槽)内壁；当用水润滑时应将水引出仓外，仓面必须有排水措施。
- 2 使用溜筒(管、槽)，应经过试验论证，确定溜筒(管、槽)高度与合适的混凝土坍落度。
- 3 溜筒(管、槽)宜平顺，每节之间应连接牢固，应有防脱落保护措施。
- 4 运输和卸料过程中，应避免混凝土分离，严禁向溜筒(管、槽)内加水。
- 5 当运输结束或溜筒(管、槽)堵塞经处理后，应及时清洗，且应防止清洗水进入新浇混凝土仓内。

### 7.3 浇 筑

**7.3.1** 建筑物地基必须经验收合格后，方可进行混凝土浇筑仓面准备工作。

**7.3.2** 岩基上的松动岩块及杂物、泥土均应清除。岩基面应冲洗干净并排净积水；如有承压水，必须采取可靠的处理措施。清洗后的岩基在浇筑混凝土前应保持洁净和湿润。

**7.3.3** 软基或容易风化的岩基，应作好下列工作：

- 1 在软基上准备仓面时，应避免破坏或扰动原状土壤。如有扰动，必须处理。
- 2 非黏性土壤地基，如湿度不够，应至少浸湿 15cm 深，使其湿度与最优强度时的湿度相符。
- 3 当地基为湿陷性黄土时，应采取专门的处理措施。
- 4 在混凝土覆盖前，应做好基础保护。

**7.3.4** 浇筑混凝土前，应详细检查有关准备工作，包括地基处理(或缝面处理)情况，混凝土浇筑的准备工作，模板、钢筋、预埋件等是否符合设计要求，并应作好记录。

**7.3.5** 基岩面和新老混凝土施工缝面在浇筑第一层混凝土前，可铺水泥砂浆、小级配混凝土或同强度等级的富砂浆混凝土，保证新混凝土与基岩或新老混凝土施工缝面结合良好。

**7.3.6** 混凝土的浇筑，可采用平铺法或台阶法施工。应按一定厚度、次序、方向，分层进行，且浇筑层面平整。台阶法施工的台阶宽度不应小于 2m。在压力钢管、竖井、孔道、廊道等周边及顶板浇筑混凝土时，混凝土应对称均匀上升。

**7.3.7** 混凝土浇筑坯层厚度，应根据拌和能力、运输能力、浇筑速度、气温及振捣能力等因素确定，一般为 30cm~50cm。根据振捣设备类型确定浇筑坯层的允许最大厚度可参照表 7.3.7 规定；如采用低塑性混凝土及大型强力振捣设备时，其浇筑坯层厚度应根据试验确定。

表 7.3.7 混凝土浇筑坯层的允许最大厚度

振捣设备类别		浇筑层允许最大厚度
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

**7.3.8** 入仓的混凝土应及时平仓振捣，不得堆积。仓内若有粗骨料堆叠时，应均匀地分布至砂浆较多处，但不得用水泥砂浆覆盖，以免造成蜂窝。在倾斜面上浇筑混凝土时，应从低处开始，浇筑面应水平，在倾斜面处收仓面应与倾斜面垂直。

**7.3.9** 混凝土浇筑的振捣应遵守下列规定：

1 混凝土浇筑应先平仓后振捣，严禁以振捣代替平仓。振捣时间以混凝土粗骨料不再显著下沉，并开始泛浆为准，应避免欠振或过振。

2 振捣设备的振捣能力应与浇筑机械和仓位客观条件相适应，使用塔带机浇筑的大仓位，宜配置振捣机振捣。使用振捣机时，应遵守下列规定：

1)振捣棒组应垂直插入混凝土中，振捣完应慢慢拔出。

2)移动振捣棒组，应按规定间距相接。

3)振捣第一层混凝土时，振捣棒组应距硬化混凝土面 5cm。振捣上层混凝土时，振捣棒头应插入下层混凝土 5cm~10cm。

4)振捣作业时，振捣棒头离模板的距离应不小于振捣棒的有效作用半径的 1 / 2。

3 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。如略有倾斜，则倾斜方向应保持一致，以免漏振。

3)振捣时，应将振捣器插入下层混凝土 5cm 左右。

4)严禁振捣器直接碰撞模板、钢筋及预埋件。

5)在预埋件特别是止水片、止浆片周围，应细心振捣，必要时辅以人工捣固密实。

6)浇筑块第一层、卸料接触带和台阶边坡的混凝土应加强振捣。

**7.3.10** 混凝土浇筑过程中，严禁在仓内加水；混凝土和易性较差时，必须采取加强振捣等措施；仓内的泌水必须及时排除；应避免外来水进入仓内，严禁在模板上开孔赶水，带走灰浆；应随时清除粘附在模板、钢筋和预埋件表面的砂浆；应有专人做好模板维护，防止模板位移、变形。

**7.3.11** 混凝土浇筑应保持连续性。

1 混凝土浇筑允许间歇时间应通过试验确定。掺普通减水剂混凝土的允许间歇时间可参照表 7.3.11。如因故超过允许间歇时间，但混凝土能重塑者，可继续浇筑。

表 7.3.11 混凝土的允许间歇时间

混凝土浇筑时的气温 ℃	允许间歇时间 min	
	中热硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥	低热矿渣硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥
20~30	90	120
10~20	135	180
5~10	195	—

2 如局部初凝，但未超过允许面积，则在初凝部位铺水泥砂浆或小级配混凝土后可继续浇筑。

**7.3.12** 浇筑仓面出现下列情况之一时，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 1 小时内无法调整至允许温度范围内。

**7.3.13** 浇筑仓面混凝土料出现下列情况之一时，应予挖除：

- 1 出现 7.1.9 第 1、2、3 款情况的不合格料；
- 2 下到高等级混凝土浇筑部位的低等级混凝土料；
- 3 不能保证混凝土振捣密实或对建筑物带来不利影响的级配错误的混凝土料；
- 4 长时间不凝固超过规定时间的混凝土料。

**7.3.14** 混凝土施工缝处理，应遵守下列规定：

- 1 混凝土收仓面应浇筑平整，在其抗压强度尚未到达 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，微露粗砂。
- 3 毛面处理宜采用 25MPa~50MPa 高压水冲毛机，也可采用低压水、风砂枪、刷毛机及人工凿毛等方法。毛面处理的开始时间由试验确定。采取喷洒专用处理剂时，应通过试验后实施。

**7.3.15** 结构物混凝土达到设计顶面时，应使其平整，其高程必须符合设计要求。

## 7.4 雨季施工

**7.4.1** 雨季施工应做好下列工作：

- 1 砂石料仓的排水设施应畅通无阻；

- 2 运输工具应有防雨及防滑措施;
- 3 浇筑仓面应有防雨措施并备有不透水覆盖材料;
- 4 增加骨料含水率测定次数, 及时调整拌和用水量。

**7.4.2** 中雨以上的雨天不得新开混凝土浇筑仓面, 有抗冲耐磨和有抹面要求的混凝土不得在雨天施工。

**7.4.3** 在小雨天气进行浇筑时, 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, 必要时应适当缩小混凝土的水胶比;
- 2 加强仓内排水和防止周围雨水流入仓内;
- 3 做好新浇筑混凝土面尤其是接头部位的保护工作。

**7.4.4** 在浇筑过程中, 遇大雨、暴雨, 应立即停止进料, 已入仓混凝土应振捣密实后遮盖。雨后必须先排除仓内积水, 对受雨水冲刷的部位应立即处理, 如混凝土还能重塑, 应加铺接缝混凝土后继续浇筑, 否则应按施工缝处理。

**7.4.5** 及时了解天气预报, 加强施工区气象观测, 合理安排施工。

## 7.5 养 护

**7.5.1** 混凝土浇筑完毕后, 应及时洒水养护, 保持混凝土表面湿润。

**7.5.2** 混凝土表面养护的要求:

- 1 混凝土浇筑完毕后, 养护前宜避免太阳光曝晒。
- 2 塑性混凝土应在浇筑完毕后 6~18h 内开始洒水养护, 低塑性混凝土宜在浇筑完毕后立即喷雾养护, 并及早开始洒水养护。
- 3 混凝土应连续养护, 养护期内始终使混凝土表面保持湿润。

**7.5.3** 混凝土养护时间, 不宜少于 28d, 有特殊要求的部位宜适当延长养护时间。

**7.5.4** 混凝土养护应有专人负责, 并应作好养护记录。

## 8 温 度 控 制

### 8.1 一 般 规 定

**8.1.1** 有温度控制要求的混凝土应符合本章规定。有关低温季节混凝土施工的温度控制规定见第 9 章。

**8.1.2** 混凝土浇筑的纵横缝设置、分层厚度及浇筑间歇时间等, 应符合设计规定。

**8.1.3** 为了防止混凝土裂缝, 必须从结构设计、原材料选择、配合比设计、施工安排、施

工质量、混凝土温度控制、养护和表面保护等方面采取综合措施。混凝土应避免薄块长间歇和块体早期过水，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。

**8.1.4** 为提高有抗裂要求工程部位混凝土的抗裂能力，混凝土的质量除应满足强度保证率的要求外，施工质量均匀性应达到表 11.5.11 中的良好以上标准。

**8.1.5** 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要求。

**8.1.6** 应控制混凝土的出机口温度及运输、浇筑过程中的温度回升。混凝土允许浇筑温度应符合设计规定。设计文件未规定允许浇筑温度时，可根据允许最高温度计算允许浇筑温度。混凝土浇筑温度不宜大于 28℃。应采取综合措施，使混凝土最高温度控制在设计允许范围内。

**8.1.7** 施工过程中，坝块宜均匀上升，相邻坝块的高差不宜超过 10m~12m。如因施工特殊需要，应论证并经批准后可适当放宽。

## **8.2 温度控制措施**

### **8.2.1 降低混凝土浇筑温度**

1 降低料仓骨料温度，宜采取下列措施：

1)成品料仓骨料的堆高不宜低于 6m，并应有足够的储备；

2)通过地弄取料；

3)搭盖凉棚，喷洒水雾降温(砂子除外)等。

2 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，使骨料含水量保持稳定。采用风冷法时，应采取措施防止骨料(尤其是小石)冻仓。

3 为防止温度回升，骨料从预冷仓到拌和楼，应采取隔热、保温措施。

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，并适当延长拌和时间。

5 在高温季节施工时，应根据具体情况，采取下列措施，减少混凝土的温度回升：

1)缩短混凝土运输及等待卸料时间，入仓后及时进行平仓振捣，加快覆盖速度，缩短混凝土的暴露时间；

2)混凝土运输工具有隔热遮阳措施；

3)采用喷雾等方法降低仓面气温；

4)混凝土浇筑宜安排在早晚、夜间及利用阴天进行；

5)当浇筑块尺寸较大时，可采用台阶式浇筑法，浇筑块分层厚度小于 1.5m；

6)混凝土平仓振捣后，采用隔热材料及时覆盖。

6 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。

### 8.2.2 降低混凝土的水化热温升

1 在满足混凝土各项设计指标的前提下，应采用水化热低的水泥，优化配合比设计，采取综合措施，减少混凝土的单位水泥用量。

2 基础混凝土和老混凝土约束部位浇筑层厚以 1m~2m 为宜，上下层浇筑间歇时间宜为 5d~10d。若在浇筑层中埋设冷却水管，分层厚度可采用 3m，层间间歇时间可适当延长。在高温季节，可采用表面流水养护混凝土，有利于表面散热。

3 采用冷却水管进行初期冷却，通水时间由计算确定，一般为 15d~20d。混凝土温度与水温之差，不宜超过 25℃，管中水的流速以 0.6m/s 为宜。水流方向应每 24h 调换 1 次，每天降温不宜超过 1℃。

### 8.2.3 降低坝体内外温差

为降低坝体内外温差，防止或减少表面裂缝，应在低温季节前，将坝体温度降至设计要求的温度。如采用坝体中期通水冷却，通水冷却时间由计算确定，一般为 2 个月左右。通水水温与混凝土内部温度之差，不应超过 20℃，日降温速度不超过 1℃。

### 8.2.4 表面保护

1 在低温季节和气温骤降季节，混凝土应进行早期表面保护。

2 在气温变幅较大的季节，长期暴露的基础混凝土及其他重要部位混凝土，必须加以保护。寒冷地区的老混凝土，其表面保护措施和时间可根据具体情况确定。

3 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，并应避免在夜间或气温骤降时拆模。在气温较低季节，当预计拆模后有气温骤降，应推迟拆模时间；如必须拆模，应在拆模的同时采取保护措施。

4 混凝土侧面保护，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。

5 混凝土表面保护层材料及其厚度，应根据不同部位、结构的混凝土内外温度和气候条件，经计算、试验选择确定。

6 已浇好的底板、护坦、闸墩等薄板(壁)建筑物，其顶(侧)面宜保护到过水前。对于宽缝重力坝、支墩坝、空腹坝的空腔，在进入低温、气温骤降频繁的季节前，宜将空腔封闭并进行表面保护。

隧洞、竖井、调压井、廊道、尾水管、泄水孔及其他孔洞的进出口在进入低温季节前应封闭。浇筑块的棱角和突出部分应加强保护。

7 28d 龄期内的混凝土，应在气温骤降前进行表面保护。浇筑面顶面保护至气温骤降结束或上层混凝土开始浇筑前。

### 8.2.5 特殊部位的温度控制措施

1 对岩基深度超过 3m 的塘、槽回填混凝土，应采用分层浇筑或通水冷却等温

控措施，控制混凝土最高温度，将回填混凝土温度降低到设计要求的温度后，再继续浇筑上部混凝土。

2 预留槽必须在两侧老混凝土温度达到设计规定后，才能回填混凝土。回填混凝土应在有利季节进行或采用低温混凝土施工。

3 并缝块浇筑前，其下部混凝土温度应达到设计要求。并缝块混凝土浇筑，除应严格控制浇筑温度外，可采用薄层、短间歇均匀上升的施工方法，并应安排在有利季节进行。必要时，采用初期通水冷却或其他措施。

4 自然冷却不能达到坝体的接缝灌浆温度要求时，应在混凝土浇筑时埋设冷却水管进行后期冷却。

5 孔洞封堵的混凝土宜采用综合温控措施，以满足设计要求。

### 8.3 温 度 测 量

8.3.1 在混凝土施工过程中，应至少每 4h 测量一次混凝土原材料的温度、机口混凝土温度以及坝体冷却水的温度和气温，并做好记录。

8.3.2 混凝土浇筑温度的测量，每 100m<sup>2</sup>仓面面积应不少于一个测点，每一浇筑层应不少于 3 个测点。测点应均匀分布在浇筑层面上。

8.3.3 浇筑块内部的温度观测，除按设计规定进行外，可根据混凝土温度控制的需要，补充埋设仪器进行观测。

## 9 低温季节施工

### 9.1 一 般 规 定

9.1.1 日平均气温连续 5d 稳定在 5℃ 以下或最低气温连续 5d 稳定在 -3℃ 以下时，按低温季节施工。

9.1.2 低温季节施工，必须编制专项施工组织设计和技术措施，以保证浇筑的混凝土满足设计要求。

9.1.3 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 7.0MPa(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%。

9.1.4 低温季节，尤其在严寒和寒冷地区，施工部位不宜分散。已浇筑的有保温要求的混凝土，在进入低温季节之前，应采取保温措施。

9.1.5 进入低温季节，施工前应先准备好加热、保温和防冻材料(包括早强、防冻外加剂)，



并应有防火措施。

## 9.2 施 工 准 备

**9.2.1** 原材料的储存、加热、输送和混凝土的拌和、运输、浇筑仓面，均应根据气候条件通过热工计算，选择适宜的保温措施。

**9.2.2** 骨料宜在进入低温季节前筛洗完毕。成品料应有足够的储备和堆高，并要有防止冰雪和冻结的措施。

**9.2.3** 低温季节混凝土拌和宜先加热水。当日平均气温稳定在 $-5^{\circ}\text{C}$ 以下时，宜加热骨料。骨料加热方法，宜采用蒸汽排管法，粗骨料可以直接用蒸汽加热，但不得影响混凝土的水灰比。

骨料不需加热时，应注意不能结冰，也不应混入冰雪。

**9.2.4** 拌和混凝土之前，应用热水或蒸汽冲洗拌和机，并将积水排除。

**9.2.5** 在岩基或老混凝土上浇筑混凝土前，应检测其温度，如为负温，应加热至正温，加热深度不小于10cm或以浇筑仓面边角(最冷处)表面测温为正温(大于 $0^{\circ}\text{C}$ )为准，经检验合格后方可浇筑混凝土。

**9.2.6** 仓面清理宜采用热风枪或机械方法，不宜用水枪或风水枪。

**9.2.7** 在软基上浇筑第一层基础混凝土时，基土不能受冻。

## 9.3 施工方法、保温措施

**9.3.1** 低温季节混凝土的施工方法宜符合下列要求：

1 在温和地区宜采用蓄热法，风沙大的地区应采取防风设施。

2 在严寒和寒冷地区预计日平均气温 $-10^{\circ}\text{C}$ 以上时，宜采用蓄热法；预计日平均气温 $-15^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ 时可采用综合蓄热法或暖棚法；对风沙大，不宜搭设暖棚的仓面，可采用覆盖保温被下布置供暖设备的办法；对特别严寒地区(最热月与最冷月平均温度差大于 $42^{\circ}\text{C}$ )，在进入低温季节施工时要认真研究确定施工方法。

3 除工程特殊需要，日平均气温 $-20^{\circ}\text{C}$ 以下不宜施工。

**9.3.2** 混凝土的浇筑温度应符合设计要求，但温和地区不宜低于 $3^{\circ}\text{C}$ ；严寒和寒冷地区采用蓄热法不应低于 $5^{\circ}\text{C}$ ，采用暖棚法不应低于 $3^{\circ}\text{C}$ 。

**9.3.3** 当采用蒸汽加热或电热法施工时，应进行专门的设计。

**9.3.4** 温和地区和寒冷地区采用蓄热法施工，应遵守下列规定：

1 保温模板应严寒，保温层应搭接牢靠，尤其在孔洞和接头处，应保证施工质量；

- 2 有孔洞和迎风面的部位，应增设挡风保温设施；
- 3 浇筑完毕后应立即覆盖保温；
- 4 使用不易吸潮的保温材料。

**9.3.5** 外挂保温层必须牢固地固定在模板上。模板内贴保温层表面应平整，并有可靠措施保证在拆模后能固定在混凝土表面。

**9.3.6** 混凝土拌和时间应比常温季节适当延长，具体通过试验确定。已加热的骨料和混凝土，应尽量缩短运距，减少倒运次数。

**9.3.7** 在施工过程中，应注意控制并及时调节混凝土的机口温度，尽量减少波动，保持浇筑温度均匀。控制方法以调节拌和水温为宜。提高混凝土拌和物温度的方法：首先应考虑加热拌和用水；当加热拌和用水尚不能满足浇筑温度要求时，要加热骨料。水泥不得直接加热。

**9.3.8** 拌和用水加热超过 60℃时，应改变加料顺序，将骨料与水先拌和，再加入水泥，以免假凝。

**9.3.9** 混凝土浇筑完毕后，外露表面应及时保温。新老混凝土接合处和边角应加强保温，保温层厚度应是其他面保温层厚度的 2 倍，保温层搭接长度不应小于 30cm。

**9.3.10** 在低温季节浇筑的混凝土，拆除模板必须遵守下列规定：

- 1 非承重模板拆除时，混凝土强度必须大于允许受冻的临界强度或成熟度值；
- 2 承重模板拆除应经计算确定。
- 3 拆模时间及拆模后的保护，应满足温控防裂要求，并遵守内外温差不大于 20℃或 2d~3d 内混凝土表面温降不超过 6℃。

**9.3.11** 混凝土质量检查除按规定成型试件检测外，还可采取无损检测手段或用成熟度法随时检查混凝土早期强度(用成熟度法计算混凝土早期强度见附录 C)。

## 9.4 温 度 观 测

**9.4.1** 施工期间，温度观测规定如下：

- 1 外界气温宜采用自动测温仪器，若人工测温每天应测量 4 次。
- 2 暖棚内气温每 4 小时一次，以距混凝土面 50cm 的温度为准，测四边角和中心温度的平均数为暖棚内气温值。
- 3 水、外加剂及骨料的温度每小时测一次。测量水、外加剂溶液和砂的温度，温度传感器或温度计插入深度不小于 10cm，测量粗骨料温度，插入深度不小于 10cm 并大于骨料粒径 1.5 倍，周围要用细粒径充填。用点温计测量，应自 15cm 以下取样测量。
- 4 混凝土的机口温度、运输过程中温度损失及浇筑温度，根据需要测量或每 2h 测量一次。温度传感器或温度计插入深度不小于 10cm。
- 5 已浇混凝土块体内部温度，可用电阻式温度计或热电偶等仪器观测或埋设测

温孔(孔深应大于 15cm, 孔内灌满液体介质), 用温度传感器或玻璃温度计测量。

**9.4.2** 大体积混凝土浇筑后三天内应加密观测温度变化: 外部混凝土每天应观测最高、最低温度; 内部混凝土 8h 观测一次。其后宜 12h 观测一次。

**9.4.3** 气温骤降和寒潮期间, 应增加温度观测次数。

## **10 预埋件施工**

### **10.1 一般规定**

**10.1.1** 水工混凝土预埋件的结构型式、位置、尺寸以及所用材料的品种、规格、性能指标必须符合设计要求和有关标准。

**10.1.2** 预埋件所用材料应有生产厂家的性能检测报告和出厂合格证。在使用前, 应对其进行抽样(或全部)检测。不合格者严禁使用。

**10.1.3** 预埋件材料及构件均不宜露天堆存, 要防晒防潮。各种内部观测仪器应有库房存放和专人管理。

**10.1.4** 对已安装的埋件设施, 在施工中应加强保护, 保证不受损、不移位、不变形。

### **10.2 止水、伸缩缝、排水**

#### **10.2.1 止水片(带)连接与安装**

1 铜止水片应平整, 表面的浮皮、锈污、油渍均应清除干净, 如有砂眼、钉孔、裂纹应予补焊。

2 铜止水片的现场接长宜用搭接焊接。搭接长度应不小于 2cm, 且应双面焊接(包括“鼻子”部分)。经试验能够保证质量亦可采用对接焊接, 但均不得采用手工电弧焊。

3 焊接接头表面应光滑、无砂眼或裂纹, 不渗水。在工厂加工的接头应抽查, 抽查数量不少于接头总数的 20%。在现场焊接的接头, 应逐个进行外观和渗透检查合格。

4 铜止水片安装应准确、牢固, 其鼻子中心线与接缝中心线误差为 $\pm 5\text{mm}$ 。定位后应在鼻子空腔内满填塑性材料。

5 不得使用变形、裂纹和撕裂的聚氯乙烯(PVC)或橡胶止水带。

6 橡胶止水带连接宜采用硫化热粘接; PVC 止水带的连接, 按厂家要求进行, 可采用热粘接(搭接长度不小于 10cm)。接头应逐个进行检查, 不得有气泡、夹渣或假焊。

7 对止水片(带)接头必要时进行强度检查, 抗拉强度不应低于母材强度的 75%。

8 铜止水片与 PVC 止水带接头, 宜采用螺栓栓接法(俗称塑料包紫铜), 栓接长度不宜小于 35cm。

9 止水带安装应由模板夹紧定位，支撑牢固。

10 水平止水片(带)上或下 50cm 范围内不宜设置水平施工缝。如无法避免，应采取措施把止水片(带)埋入或留出。

### 10.2.2 止水基座施工

1 接缝止水基座，应按设计要求的尺寸挖槽，并按建基面要求清除松动岩块和浮渣，冲洗干净。基座混凝土必须振捣密实，混凝土抗压强度达 10MPa 后，方可浇筑上部混凝土(混凝土抗压强度达 2.5MPa 后可开始下道工序准备工作)。

2 坝基止水槽、止水堤(埂)基础，应按建基面要求验收合格。在混凝土面上应刷隔离剂，但不得污染其他部位。

### 10.2.3 沥青止水井制作和安装

1 沥青止水井(简称沥青井)内所用沥青和沥青混合物(简称填料)的配合比应按设计要求通过试验确定。同一口沥青井内填料的材料和配合比应一致。

2 宜采用预制的止水沥青(填料)柱。

3 采用预留沥青井时，应注意：

- 1)混凝土预制井壁内、外面应是粗糙面，并保持干燥清洁，各节头处应座浆严密；
- 2)电热元件(或蒸汽管道)的位置应埋设准确，固定牢靠，逐段灌注填料。

4 沥青井全部形成后，沥青填料应通电(或蒸汽)加热融化一次，再加满填料，井口加盖，详细记录各项资料。

### 10.2.4 伸缩缝缝面填料施工

1 伸缩缝缝面应平整、洁净，如有蜂窝麻面，应填平，外露铁件应割除。

2 缝面填料的材料、厚度应符合设计要求。

3 缝面应干燥，先刷冷底子油，再按序粘贴。其高度不得低于混凝土收仓高度。

4 贴面材料要粘贴牢靠，破损的应随时修补。

### 10.2.5 排水设施施工

1 坝基排水孔的施工应在相邻 30m 范围内的帷幕灌浆施工完毕后进行。排水孔的钻进应按设计图纸及有关文件要求统一编号并作好原始记录。

岩基排水孔的允许误差，按设计要求控制，当设计未作规定时，应按表 10.2.5 的规定控制。

表 10.2.5 基岩排水孔的允许误差

分 项	孔口位置	孔的倾斜度		孔的深度
		孔深>8m	孔深<8m	
允许误差	10cm	1%	2%	±0.5%

3 坝基排水孔钻好后,应进行冲洗,直至回水澄清并持续 10min 方可结束。应对孔口妥加保护,防止污水、污物等流进孔内。

4 排水孔的孔口装置应按设计要求加工、安装,并进行防锈处理。孔口装置连接件应安装牢固,不得有渗水、漏水现象。

5 岩基水平排水管(道)和岩基排水廊道的接头及与基岩面的接触处必须密合。接头密合连接前应将管(道)内清除干净,保证通畅。

6 坝体排水孔宜采用拔管法造孔。拔管时间由试验确定。平面位置应符合设计规定。

7 当坝体排水孔采用预制无砂混凝土管时,应达到设计强度后才能安装。应做好管段接头的密封,施工中应有专人维护,管身不得淤堵、碰撞。

### **10.3 冷却、接缝灌浆管路**

**10.3.1** 埋设的管子应无堵塞现象。管子表面的锈皮、油渍等应清除干净。

**10.3.2** 管子的接头必须牢固,不得漏水、漏气,宜选用丝扣连接。不同形状的管、盒的连接可用包扎的方法,不得漏入水泥浆。

**10.3.3** 管路安装应牢固、可靠。经过伸缩缝的管道,应设置伸缩节或过缝处理。

**10.3.4** 所有埋管出口应妥善保护,埋管出口集中处,应作好识别标志。出口段宜露出模板外面 30cm~50cm。

**10.3.5** 管路安装完毕,应以压力水或通气的方法检查是否通畅。如发现有堵塞或漏水(气)现象,应进行处理,直至合格。

**10.3.6** 管路在混凝土浇筑过程中,应有专人维护,以免管路变形或发生堵塞。在埋入混凝土 30cm~50cm 后,应通水(气)检查,发现问题,应及时处理。

**10.3.7** 各种预埋管路的位置、高程、进出口等均应作好详细记录并绘图说明。

### **10.4 铁 件**

**10.4.1** 各类预埋铁件,应事先按图加工、分类堆放。

**10.4.2** 各类预埋铁件,在埋设前,应将表面的锈皮、油污等清除干净。

**10.4.3** 各种预埋铁件的规格、数量、高程、方位、埋入深度及外露长度等均应符合设计要求,安装必须牢固可靠,精度应符合有关规程、标准的要求。

**10.4.4** 在混凝土浇筑过程中,各类埋设的铁件不得移位或松动。周围混凝土应振捣密实。

**10.4.5** 安装螺栓或精度要求高的铁件,可采用样板固定,或采用二期混凝土施工方法,以保证安装精度。

**10.4.6** 锚固在岩基或混凝土上的锚筋，应遵守下列规定：

- 1 钻孔位置允许偏差：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 $d_0+20\text{mm}$ 为宜( $d_0$ 为锚筋直径)。
- 3 在岩石部分的钻孔深度，不得浅于设计孔深。
- 4 钻孔的倾斜度对设计轴线的偏差在全孔深度范围内不得超过 5%。
- 5 锚筋埋设后不得晃动，应在孔内砂浆强度达到 2.5MPa 时，方可进行下道工序。

**10.4.7** 用于起重运输的吊钩或铁环，应经计算确定，必要时应做荷载试验。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。埋入的吊钩、铁环，在混凝土浇筑过程中，应有专人维护，防止移动或变形。待混凝土达到设计强度后，方可使用。

**10.4.8** 各种爬梯、扶手及栏杆预埋铁件，埋入深度应符合设计要求。未经安全检查，不得启用。

## **10.5 内部观测仪器**

**10.5.1** 各种观测仪器的安装，应严格按照设计图纸和 SDJ336 及制造厂家的说明书进行，如需变更，应征得有关单位同意。

**10.5.2** 所有观测仪器在埋设之前，均应按 SDJ336 的规定对厂家提供的仪器(设备)重新率定或检验，合格后方可进行埋设。

**10.5.3** 仪器电缆接长应用专用电缆和硫化仪硫化连接。接头应绝缘、不透气、不渗水。

**10.5.4** 仪器按图在电缆上编号，每个仪器不得少于 3 处，再根据电缆长度每 20m 结扎一个，埋设前必须逐个查对，做到准确无误。

**10.5.5** 仪器埋设前，应清查仪器及其附件的数量、规格、尺寸是否符合设计要求；需用的工具和材料应满足埋设安装的需要。

**10.5.6** 埋设仪器应轻拿轻放。安装时，要保证仪器位置、方向和角度准确。仪器安装定位后，应检查合格，方可埋入混凝土，并将周围混凝土中粒径大于 4cm 的骨料剔除，再振捣密实。

**10.5.7** 仪器的电缆走向，在平面上按平行于坝轴线和垂直于坝轴线呈直线进行埋设。电缆应距施工缝面 15cm 以上，上游面仪器电缆应分散进行埋设。电缆过缝、进观测站应分别进行过缝、防剪切和防渗处理。

**10.5.8** 仪器和电缆在埋设中应有专人看护，埋入后应提供仪器编号、坐标和方向、埋设日期、埋设前后观测数据及环境情况等资料，及时绘制竣工图。

## **11 质量控制与检查**

## 11.1 一般规定

**11.1.1** 混凝土原材料、配合比、施工各环节及硬化后的混凝土质量均应进行控制与检查。

**11.1.2** 在混凝土施工过程中，应进行质量检验，掌握质量动态信息，应用质量管理图表进行统计分析，及时制定改进与提高质量的措施。

**11.1.3** 应建立和健全质量管理和保证体系，并根据工程规模和质量控制及管理的需要，配备相应的技术人员和必要的检验、试验设备，建立健全必要的技术管理与质量控制制度。

## 11.2 原材料的质量控制

**11.2.1** 混凝土的各种原材料，应经检验合格后方可使用。

**11.2.2** 混凝土生产过程中，必要时在拌和楼抽样检验水泥的强度、凝结时间和掺合料的主要品质。

**11.2.3** 拌和与养护混凝土用水，在水源改变或对水质有怀疑时，应随时进行检验。

**11.2.4** 对配制外加剂溶液的浓度，每天应检测 1~2 次。必要时可采用水泥净浆(或砂浆)流动度检测减水剂溶液的减水率和引气剂溶液的表面张力。

**11.2.5** 骨料品质检验：

1 骨料生产成品的品质检验：

1)骨料生产成品的品质，每 8h 应检测一次。检测项目：细骨料的细度模数、石粉含量(人工砂)、含泥量和泥块含量；粗骨料的超径、逊径、含泥量和泥块含量。

2)成品骨料出厂品质检测：细骨料应按同料源每 600t~1200t为一批，检测细度模数、石粉含量(人工砂)、含泥量、泥块含量和含水率；粗骨料应按同料源、同规格碎石每 2000t为一批，卵石每 1000t为一批，检测超径、逊径、针片状、含泥量、泥块含量和 $D_{20}$ 粒级骨料的中径筛筛余量。

3)每批产品出厂时，应有产品品质检验报告(内容应包括产地、类别、规格、数量、检验日期、检测项目及结果、结论等)。

4)使用单位每月按表 5.2.7、表 5.2.8-1 和表 5.2.8-2 中的指标进行 1~2 次抽样检验。必要时应定期进行碱活性检验。

2 在拌和楼抽样检测：

1)砂子、小石的含水量每 4h 检测 1 次，雨雪后等特殊情况下应加密检测。

2)砂子的细度模数和人工砂的石粉含量、天然砂的含泥量每天检测 1 次。

当砂子细度模数超出控制中值 $\pm 0.2$ 时，应调整配料单的砂率。

- 3)粗骨料的超逊径、含泥量每 8h 应检测 1 次。
- 4)每月应在拌和楼取砂石骨料按表 5.2.7、表 5.2.8-1 和表 5.2.8-2 所列项目进行一次检验。

**11.3     混凝土拌和与混凝土拌和物的质量控制**

- 11.3.1**     混凝土施工配合比必须通过试验，满足设计技术指标和施工要求，并经审批后方可使用。混凝土施工配料单必须经校核后签发，并严格按签发的混凝土施工配料单进行配料，严禁擅自更改。
- 11.3.2**     混凝土拌和楼(站)的计量器具应定期(每月不少于一次)校验校正，在必要时随时抽验。每班称量前，应对称量设备进行零点校验。
- 11.3.3**     在混凝土拌和和生产中，应定期对混凝土拌和物的均匀性、拌和时间和称量衡器的精度进行检验，如发现问题应立即处理。
- 11.3.4**     在混凝土拌和和生产中，应对各种原材料的配料称量进行检查并记录，每 8h 不应少于 2 次。
- 11.3.5**     混凝土组成材料计量的允许误差按表 7.1.3 控制。
- 11.3.6**     混凝土拌和时间，每 4h 应检测 1 次。
- 11.3.7**     混凝土拌和物应拌和均匀，其检测方法应按 GB / T 9142 和 SD105—1982 进行。
- 11.3.8**     混凝土坍落度每 4h 应检测 1~2 次。其允许误差应符合表 11.3.8 的规定。

表 11.3.8     坍落度允许误差

坍落度	允许偏差	坍落度	允许偏差	坍落度	允许偏差
cm	cm	cm	cm	cm	cm
≤4	±1	4~10	±2	>10	±3

- 11.3.9**     引气混凝土的含气量，每 4h 应检测 1 次。含气量允许的偏差范围为±1.0%。
- 11.3.10**    混凝土拌和物温度、气温和原材料温度，每 4h 应检测 1 次。
- 11.3.11**    混凝土拌和物的水胶比(或水灰比)在必要时按 GBJ80 和 SD105—1982 进行检测。

**11.4     浇筑质量检查与控制**

**11.4.1     混凝土浇筑前准备工作检查**

- 1     应按 SDJ249.1—1988 的要求对基础面或混凝土施工缝面进行处理；对模板、钢筋、预埋件质量进行检查，取得开仓证方可进行混凝土浇筑。
- 2     有金属结构、机电安装和仪器埋设时，签发开仓证前，应按相关规程或标准进行验收。



**11.4.2** 混凝土拌和物入仓后，应观察其均匀性与和易性，发现异常应及时进行处理。

**11.4.3** 浇筑混凝土时，应有专人在仓内检查并对施工过程与出现的问题及其处理进行详细记录。

**11.4.4** 混凝土拆模后，应检查其外观质量。有混凝土裂缝、蜂窝、麻面、错台和模板走样等质量问题或事故时应及时检查和处理。对混凝土强度或内部质量有怀疑时，可采取无损检测法(如回弹法、超声回弹综合法等)或钻孔取芯、压水试验等进行检查。

## 11.5 强度检验与评定

**11.5.1** 现场混凝土质量检验以抗压强度为主，并以 150mm 立方体试件的抗压强度为标准。

**11.5.2** 混凝土试件以机口随机取样为主，每组混凝土的 3 个试件应在同一储料斗或运输车箱内的混凝土中取样制作。浇筑地点试件取样数量宜为机口取样数量的 10%，并按下列规定确定其强度代表值。

1 以每组 3 个试件的算术平均值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 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 15% 时，该组试件的强度不应作为评定的依据。

**11.5.3** 同一强度等级混凝土试件取样数量应符合下列规定：

1 抗压强度：大体积混凝土 28d 龄期每 500m<sup>3</sup> 成型一组，设计龄期每 1000m<sup>3</sup> 成型一组；非大体积混凝土 28d 龄期每 100m<sup>3</sup> 成型一组，设计龄期每 200m<sup>3</sup> 成型一组。

2 抗拉强度：28d 龄期每 2000m<sup>3</sup> 成型一组，设计龄期每 3000m<sup>3</sup> 成型试件一组。

3 抗冻、抗渗或其他主要特殊要求应在施工中适当取样检验，其数量可按每季度施工的主要部位取样成型 1~2 组。

**11.5.4** 为预测混凝土的强度，宜采用快速测强法，或进行 7d 龄期强度试验。

**11.5.5** 混凝土试件的成型、养护及试验，按 SD105—1982 进行。

**11.5.6** 混凝土强度的检验评定：验收批混凝土强度平均值和最小值应同时满足下列要求：

$$m_{f_{cu}} \geq f_{cu,k} + K t \sigma_0 \quad (11.5.6-1)$$

$$f_{cu,min} \geq \begin{cases} 0.85 f_{cu,k} (\leq C_{90} 20) \\ 0.90 f_{cu,k} (> C_{90} 20) \end{cases} \quad (11.5.6-2)$$

$$(11.5.6-3)$$

式中  $m_{f_{cu}}$ ——混凝土强度平均值，MPa；

$f_{cu,k}$ ——混凝土设计龄期的强度标准值，MPa；

$K$ ——合格判定系数，根据验收批统计组数  $n$  值，按表 11.5.6 选取；

$t$ ——概率度系数，取用值见附录 A 表 A1；

$\sigma_0$ ——验收批混凝土强度标准差，MPa；

$f_{cu,min}$ —— $n$ 组强度中的最小值，MPa。

表 11.5.6 合格判定系数  $K$  值表

$n$	2	3	4	5	6~10	11~15	16~25	>25
$K$	0.71	0.58	0.50	0.45	0.36	0.28	0.23	0.20

注：

1 同一验收批混凝土，应由强度标准相同、配合比和生产工艺基本相同的混凝土组成，对现浇混凝土宜按单位工程的验收项目或按月划分验收批。

2 验收批混凝土强度标准差  $\sigma_0$  计算值小于  $0.06f_{cu,k}$  时，应取  $\sigma_0=0.06f_{cu,k}$ 。

**11.5.7** 混凝土质量验收取用混凝土抗压强度的龄期应与设计龄期相一致。混凝土生产质量的过程控制应以标准养护 28d 试件抗压强度为准。混凝土不同龄期抗压强度比值由试验确定。

**11.5.8** 混凝土抗压强度试件的检测结果未满足 11.5.6 合格标准要求或对混凝土试件强度的代表性有怀疑时，可从结构物中钻取混凝土芯样试件或采用无损检验方法，按有关标准规定对结构物的强度进行检测；如仍不符合要求，应对已完成的结构物，按实际条件验算结构的安全度，根据需要采取必要的补救措施或其他处理措施。

**11.5.9** 混凝土设计龄期抗冻检验的合格率不应低于 80%，混凝土设计龄期的抗渗检验应满足设计要求。

**11.5.10** 混凝土强度除应分期分批进行质量评定外，尚应对每一个统计周期内的同一强度标准和同一龄期的混凝土强度进行统计分析，统计计算混凝土强度平均值( $m_{fcu}$ )、标准差( $\sigma$ )及保证率( $P$ )，并计算出不低于设计强度标准值的百分率( $P_s$ )，计算方法见附录A。

**11.5.11** 衡量混凝土生产质量水平以现场试件 28d 龄期抗压强度标准差  $\sigma$  值表示，其评定标准见表 11.5.11。

表 11.5.11 混凝土生产质量水平

评 定 指 标		质 量 等 级			
		优 秀	良 好	一 般	差
不同强度等级下的	$\leq C_{90}20$	<3.0	3.0~3.5	3.5~4.5	>4.5

混凝土强度标准差 Mpa	C <sub>90</sub> 20~C <sub>90</sub> 35	<3.5	3.5~4.0	4.0~5.0	>5.0
	>C <sub>90</sub> 35	<4.0	4.0~4.5	4.5~5.5	>5.5
强度不低于强度标准值的百分率 $P_s$ %		$\geq 90$		$\geq 80$	<80

**11.5.12** 衡量试验系统误差的盘内混凝土强度的变异系数( $\delta_b$ )不应大于 5%。计算方法和评定标准见附录A.0.4 和A.0.5。当  $\delta_b$ 大于 5%时, 应查明原因并采取改进措施。

**11.5.13** 在混凝土施工期间, 各项试验结果应及时整理, 并按月报主管部门。出现重要质量问题应及时上报。

**11.5.14** 已建成的混凝土建筑物, 应适量地进行钻孔取芯和压水试验。大坝大体积混凝土取芯和压水试验可按每万立方米混凝土钻孔 2m~10m, 具体钻孔取样部位、检测项目与压水试验的部位、吸水率的评定标准, 应由监理、设计和业主共同研究确定。钢筋混凝土结构物应以无损检测为主, 在必要时采取钻孔法检测混凝土。

混凝土芯样的钻取、加工和试验可参考 CECS03 进行。

## 附 录 A

(标准的附录)

### 混凝土平均强度 $m_{fcu}$ 、标准差 $\sigma$ 、 强度保证率 $P$ 和盘内变异系数 $\delta_b$ 计算方法

**A.0.1** 混凝土平均强度( $m_{fcu}$ )按下式确定:

$$m_{f, cu} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}}{n} \quad (A1)$$

式中  $m_{fcu}$ —— $n$ 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( $\sigma$ )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:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{fcu}^2}{n-1}} \quad (A2)$$

2 百分率

$$P_s=\frac{n_0}{n}\times 100\%$$

(A3)

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标准值的混凝土试件组数；  
 $m_{fcu}$ ——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标准值的组数。

验收批混凝土强度标准差  $\sigma_0$ 的计算公式和  $\sigma$  计算公式相同。

A.0.3 强度保证率 *P*：

1 计算概率度系数

$$t=\frac{m_{fcu}-f_{cu,k}}{\sigma}$$

(A4)

式中  $t$ ——概率度系数；  
 $m_{fcu}$ ——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；  
 $\sigma$  ——混凝土强度标准差， MPa。

2 保证率 *P* 和概率度系数 *t* 的关系

可由表 A1 查得。

表 A1 保证率和概率度系数关系

保证率 <i>P</i> %	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 <i>t</i>	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.0.4 盘内混凝土变异系数(  $\delta_b$ )按下列公式确定：

$$\delta_b=\frac{\sigma_b}{m_{fcu}}$$

(A5)

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

$$m_{fcu}=\frac{\sum_{i=1}^nf_{cu,i}}{n}$$

(A6)

$$\sigma_b=\frac{0.59}{n}\sum_{i=1}^n\Delta f_{cu,i}$$

(A7)

式中  $\delta_b$ ——盘内混凝土强度的变异系数；  
 $\sigma_b$ ——盘内混凝土强度的标准差，MPa；  
 $m_{fcu}$ —— $n$ 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。

**A.0.5** 用盘内混凝土强度变异系数(  $\delta_b$ )评定试验水平等级见表A2。

表 A2 试验水平等级

试 验 水 平		优 秀	良 好	一 般	差
盘内变异系数 $\delta_b$ %	现 场	<4	4~5	5~6	>6
	室 内	<3	3~4	4~5	>5

附 录 B

(提示的附录)

混凝土碱含量的计算方法

**B.0.1** 中热水泥混凝土碱含量

混凝土碱含量(kg / m<sup>3</sup>) =中热水泥碱含量(%)×水泥用量(kg / m<sup>3</sup>) +0.2×粉煤灰碱含量(%)×粉煤灰用量(kg / m<sup>3</sup>) +外加剂中碱含量(%)×外加剂用量(kg / m<sup>3</sup>)

**B.0.2** 低热水泥混凝土碱含量

混凝土碱含量(kg / m<sup>3</sup>) =低热水泥熟料中碱含量(%)×水泥熟料用量(kg / m<sup>3</sup>) +0.5×矿渣中碱含量(%)×矿渣用量(kg / m<sup>3</sup>)+0.2×粉煤灰碱含量(%)×粉煤灰用量(kg / m<sup>3</sup>) +外加剂中碱含量(%)×外加剂用量(kg / m<sup>3</sup>)

附 录 C

(提示的附录)

## 用成熟度法计算混凝土早期强度

### C.0.1 成熟度法:

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。本标准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, 可以求出所要知道的混凝土强度。

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, 即是所要知道的混凝土的成熟度。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。

### C.0.2 成熟度法的适用范围及条件:

- 1 本法适用于蓄热法、暖棚法或综合蓄热法施工的混凝土。
- 2 本法适用于预测混凝土强度标准值 60% 以内的强度。
- 3 使用本法预测混凝土强度, 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 使用本法需取得现场养护混凝土时间和温度实测资料(温度、时间)。

### C.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, 经回归分析拟合成下列形式曲线方程:

$$f_{cu} = ae^{-\frac{b}{d}} \quad (C1)$$

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。

- 2 根据现场的实测混凝土养护温度资料, 用公式(C2)计算混凝土已达到的等效龄期(相当于 20℃标准养护的时间)。

$$t = \sum \alpha_T t_T \quad (C2)$$

式中  $t$ ——等效龄期, h;

$\alpha_T$ ——温度为 $T$ 的等效系数, 按表C1 采用;

表C1 温度 $T$ 与等效系数 $\alpha_T$ 表

温度 $T$ ℃	等效系数 $\alpha_T$	温度 $T$ ℃	等效系数 $\alpha_T$	温度 $T$ ℃	等效系数 $\alpha_T$
50	3.16	28	1.45	6	0.43
49	3.07	27	1.39	5	0.40
48	2.97	26	1.33	4	0.37
47	2.88	25	1.27	3	0.35
46	2.80	24	1.22	2	0.32
45	2.71	23	1.16	1	0.30
44	2.62	22	1.11	0	0.27
43	2.54	21	1.05	-1	0.25
42	2.46	20	1.00	-2	0.23
41	2.38	19	0.95	-3	0.21
40	2.30	18	0.91	-4	0.20
39	2.22	17	0.86	-5	0.18
38	2.14	16	0.81	-6	0.16
37	2.07	15	0.77	-7	0.15
36	1.99	14	0.73	-8	0.14
35	1.92	13	0.68	-9	0.13
34	1.85	12	0.64	-10	0.12
33	1.78	11	0.61	-11	0.11
32	1.71	10	0.57	-12	0.11
31	1.65	9	0.53	-13	0.10
30	1.58	8	0.50	-14	0.10
29	1.52	7	0.46	-15	0.09

$t_T$ ——温度为 $T$ 的持续时间，h。

3 以等效龄期 $t$ 作为 $d$ 代入公式(C1)可算出强度。

**C.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可按以下步骤。

1 用标准养护试件各龄期强度数据，经回归分析拟合成成熟度—强度曲线方程：

$$f_{cu} = ae^{-\frac{b}{N}} \quad (C3)$$

$$N = \sum (T + 15)t \quad (C4)$$

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， $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$ ；

$T$ ——在时间段  $t$  内混凝土平均温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t$ ——温度为  $T$  的持续时间，h。

2 取成熟度 $N$ 代入公式(C3)可算出强度 $f_{cu}$ 。

附 录 D

(提示的附录)

接缝止水材料性能指标

D1 金属止水片

铜带不同状态下的主要特性见表 D1。

表 D1 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	$\geq 196$	$\geq 32$	$\leq 600$
TP1、TP2	Y(半硬)	0.5~1.0	245~343	$\geq 8$	

紫铜片的物理力学指标见表 D2。

表 D2 紫铜片物理力学指标

项 目	单 位	指 标
抗拉强度	MPa	$\geq 240$
延伸率	%	$\geq 30$
冷 弯		冷弯 $180^{\circ}$ ，不出现裂缝在 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 范围内 连续张闭 50 次不出现裂缝
相对密度		8.89
熔 点	$^{\circ}\text{C}$	1084.5

D2 橡胶止水带

橡胶止水带的性能指标见表 D3。



表 D3 橡胶止水带胶料和成品性能指标

项    目			单位	天然橡胶	合成橡胶	橡胶止水带成品
硬度(邵氏 A)			度	60±5	60±5	60±5
拉伸强度			MPa	≥18	≥16	14
扯断伸长率			%	≥450	≥400	≥450
定伸永久变形			%	≤20	≤25	28±2
撕裂强度			kN/m	≥35	≥35	
脆性温度			℃	≤-45	≤-40	
热空气老化	70℃×72h	硬度变化(邵氏 A)	度	≤+8		
		拉伸强度变化率(降低)	%	≤10		
		伸长率变化率(降低)	%	≤20		
臭氧老化 50pphm  20%  48h				2 级	0 级	

D3 PVC 止 水 片

PVC 止水带的物理力学性能见表 D4。

表 D4 PVC 止水带物理力学性能

项 目	单位	测 试 方 法	性能指标	项 目		单位	测 试 方 法	性能指标
拉伸强度	MPa	GB1040	>14	加速耐碱	质量变化率	%	JIS K6773	±5
断裂伸长率	%	GB1040	≥300		强度变化率	%	JIS K6773	±20
硬度(邵氏)		GB2411	>65		伸长变化率	%	JIS K6773	±20
相对密度		ASTM D792	1.07	加速耐盐	质量变化率	%	JIS K6773	±5
脆性温度	℃	ASTM D746	≤-37.2		强度变化率	%	JIS K6773	±10
吸水率	%	GB1034	<0.5		伸长变化率	%	JIS K6773	±10
挥发损失	%	ASTM D1023~89	<0.5					

# 水工混凝土施工规范

DL / T 5144—2001

## 条 文 说 明

## 目 录

- 1 范围
- 2 引用标准
- 3 总则
- 4 术语、符号
- 5 材料
  - 5.1 水泥
  - 5.2 骨料
  - 5.3 掺合料
  - 5.4 外加剂
  - 5.5 水
- 6 配合比选定
- 7 施工
  - 7.1 拌和
  - 7.2 运输
  - 7.3 浇筑
  - 7.4 雨季施工
  - 7.5 养护
- 8 温度控制
  - 8.1 一般规定
  - 8.2 温度控制措施
  - 8.3 温度测量
- 9 低温季节混凝土的施工
  - 9.1 一般规定

- 9.2 施工准备
- 9.3 施工方法、保温措施
- 9.4 温度观测
- 10 预埋件施工
  - 10.1 一般规定
  - 10.2 止水、伸缩缝、排水
  - 10.3 冷却、接缝灌浆管路施工
  - 10.4 铁件
  - 10.5 内部观测仪器
- 11 质量控制与检查
  - 11.1 一般规定
  - 11.2 原材料的质量控制
  - 11.3 混凝土拌和与混凝土拌和物的质量控制
  - 11.4 浇筑质量检查与控制
  - 11.5 强度检验与评定

## 1 范 围

本章是根据 DL / T600—1996《电力标准编写的基本规定》的要求增加的章节。它明确了本标准的内容与适用范围。

水利水电枢纽工程等级的规定系根据GB201—1994《防洪标准》确定，即大、中型水利水电工程为装机容量 5 万kW以上，总库容 1000 万m<sup>3</sup>以上，保护城镇及工厂区为中等以上城市、工矿区，保护农田面积 30 万亩以上，灌溉面积 5 万亩以上。其中装机容量 5 万kW以上与SDJ12—1978《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准(山区、丘陵区部分)》(试行)中规定的 2.5 万kW有所区别。

本标准适用于水利水电大、中型工程中 1、2、3 级水工建筑物的混凝土和钢筋混凝土的施工，特种混凝土施工另见标准。

## 2 引用标准

本章是根据 DL / T600—1996《电力标准编写的基本规定》的要求增加的章节。本章列出了本标准条文中引用到的标准。

## 3 总 则

- 3.0.1** 本条明确了本标准的主要内容。
- 3.0.2** 本条明确了水工混凝土应满足的各项设计指标。

## 4 术语、符号

本章列出了本标准条文中涉及到的术语、符号及其含义。

## 5 材 料

### 5.1 水 泥

**5.1.1** 为方便混凝土施工和质量管理，选用水泥品种以 1~2 种为好，并应通过招标，选择水泥品质优良、供应可靠的 1~2 个厂家供应。

**5.1.2** 选择水泥品种的原则主要是根据工程部位、技术要求和环境条件。水工混凝土应优先选用中热硅酸盐水泥，既可满足混凝土各项性能要求，又可降低混凝土发热量，减少温度裂缝。

**5.1.3** 根据水工混凝土的重要性的和混凝土耐久性的要求，选用水泥强度等级(或标号)应与混凝土设计的强度等级相适应。对于特殊部位和抗冻要求较高的混凝土，应选用较高的水泥强度等级(或标号)。目前部分水泥已采用 1999 年颁发的新标准，改用“强度等级”，未颁发新标准的水泥仍使用“标号”。

**5.1.4** 本条强调水工混凝土使用的水泥必须符合现行的国家标准， 这些标准主要包括：GB175—1999《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》，GB1344—1999《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥》，GB748—1983《抗硫酸盐硅酸盐水泥》，GB200—1989《中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》，GB2938—1997《低热微膨胀水泥》。

为方便对照，兹把水工混凝土几种常用水泥的主要技术要求汇总如下：

#### (1)氧化镁

熟料中氧化镁含量不宜超过 5%，宜在 3.5%~5%范围，如水泥经压蒸安定性试验合格，允许放宽到 6%。

#### (2)碱

水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算，若使用活性骨料时，碱含量不应大于 0.6%。

#### (3) $\text{SO}_3$

抗硫酸盐硅酸盐水泥中 $\text{SO}_3$ 含量不得超过 2.5%；矿渣硅酸盐水泥中 $\text{SO}_3$ 含量不得超过 4.0%；低热微膨胀水泥中 $\text{SO}_3$ 含量为 4%~7%；其他品种水泥中 $\text{SO}_3$ 含量不得超过 3.5%。

#### (4)细度

0.08mm方孔筛筛余不得超过 10%，宜在 3%～6%范围内。硅酸盐水泥比表面积宜大于 300m<sup>2</sup> / kg。

(5)安定性

用沸煮法检验必须合格。

(6)凝结时间

各种水泥的初凝时间和终凝时间应符合表 1 中的规定。

表 1      水泥的初凝时间和终凝时间

水泥品种	初凝时间 min	终凝时间 min
硅酸盐水泥	≥45	≤390
普通硅酸盐水泥		≤600
矿渣硅酸盐水泥	≥45	≤600
火山灰质硅酸盐水泥		
粉煤灰硅酸盐水泥		
抗硫酸盐硅酸盐水泥	≥45	≤720
中热硅酸盐水泥	≥60	≤720
低热矿渣硅酸盐水泥		
低热微膨胀水泥	≥45	≤720

水泥的各龄期强度不得低于表 2 中的数值。

表 2      水泥各龄期强度

品 种	强度等级 (或标号)	抗压强度 MPa			抗折强度 MPa		
		3d	7d	28d	3d	7d	28d
硅酸盐水泥	42.5	17.0	—	42.5	3.5	—	6.5
	52.5	23.0	—	52.5	4.0	—	7.0
普通硅酸盐水泥	32.5	11.0	—	32.5	2.5	—	5.5
	42.5	16.0	—	42.5	3.5	—	6.5
	52.5	22.0	—	52.5	4.0	—	7.0
矿渣硅酸盐水泥	32.5	10.0		32.5	2.5	—	5.5
火山灰质硅酸盐水泥	42.5	15.0	—	42.5	3.5	—	6.5

粉煤灰硅酸盐水泥	52.5	21.0	—	52.5	4.0	—	7.0
抗硫酸盐硅酸盐水泥	425	16.0	24.5	42.5	3.5	4.5	6.5
	525	21.0	31.5	52.5	4.0	5.5	7.0
中热硅酸盐水泥	425	15.7	24.5	42.5	3.3	4.5	6.3
	525	20.6	31.4	52.5	4.1	5.3	7.1
低热矿渣硅酸盐水泥	425	—	18.6	42.5	—	4.1	6.3
低热微膨胀水泥	425	—	26.0	42.5	—	6.0	8.0

### (8)水化热

中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥和低热微膨胀水泥，各龄期水化热不得超过表 3 中的数值。

**表 3 水泥各龄期水化热 kJ / kg**

水泥标号	中热硅酸盐水泥		低热矿渣硅酸盐水泥		低热微膨胀水泥	
	3d	7d	3d	7d	3d	7d
425	251	293	197	230	185	205
525	251	293	—	—	—	—

水泥熟料中适当的氧化镁含量可使混凝土体积具有微膨胀性质，部分地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的这一性能，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。

关于水泥细度问题，根据三峡工程实际检测情况，水泥细度过小，混凝土早期发热快，不利于温度控制，因此提出了 0.08mm 方孔筛筛余宜在 3%~6% 范围内。

**5.1.5** 本条强调，运到工地的每一批水泥除了要有生产厂家的品质检验报告以外，使用单位也必须按批验收检验，必要时还应进行复验。

**5.1.6** 水泥的取样方法按 GB12573—1990《水泥的取样方法》进行，细度的测定按 GB1345—1991《水泥细度检验方法(80 μ m 筛筛析法)》进行，安定性和凝结时间的测定按 GB / T750—1992《水泥压蒸安定性试验方法》和 GB1346—1989《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》进行，强度的测定按 GB / T17671—1999《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》进行，水化热的测定按 GB / T12959—1991《水泥水化热测定方法(溶解热法)》或 GB2022—1980《水泥水化热试验方法(直接法)》进行，氧化镁、碱、三氧化硫含量的测定按 GB / T176—1996《水泥化学分析方法》进行。

**5.1.7** 与原标准第 4.1.7 条对应，增加了以下几点：

强调优先使用散装水泥，使用散装水泥可方便施工、节约成本、改善环境，已有丰

富使用经验，应普遍采用。

对已经受潮结块的水泥，必须经加工处理、并检验合格方可使用。

在混凝土温控计算中，水泥温度一般采用  $60^{\circ}\text{C}$ ，即要求水泥进入拌和机拌和时的最高温度不超过  $60^{\circ}\text{C}$ ，否则会影响温控混凝土施工。根据三峡、小浪底等工地的情况，发现有些散装水泥运到工地的入罐温度最高时达到  $80^{\circ}\text{C}$  左右，虽然在储存和输送过程中可以降低，但有时进入拌和机的水泥温度仍超过  $60^{\circ}\text{C}$ ，必须限制水泥进入工地储罐的温度。因此规定水泥进入工地储罐的温度不宜高于  $65^{\circ}\text{C}$ 。三峡工程施工中规定一般情况下不宜超过  $65^{\circ}\text{C}$ ，当混凝土施工高峰期，生产厂家确因供不应求时，允许放宽到  $70^{\circ}\text{C}$ 。

## 5.2 骨 料

**5.2.1** 本条强调骨料料源选择的原则。在优质、经济、就近取材的原则下，可分别选择天然骨料、人工骨料，或两者相互补充。所谓两者相互补充，是指天然骨料(或人工骨料)中某一级料不够时用人工骨料(或天然骨料)替代，或是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械制砂部分。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种类岩石，因此，当选用人工骨料时，有条件的地方宜选用石灰岩质的人工骨料。

**5.2.2** 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，还必须进行碱活性骨料成分含量的勘察和检验。自混凝土建筑物因碱骨料反应造成破坏的情况出现以后，国内外都非常重视并进行了深入研究，发现造成碱骨料反应的原因是：骨料的活性 $\text{SiO}_2$ 、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产生有害膨胀，造成混凝土破坏。有潜在的碱骨料反应时，限制水泥、外加剂、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的骨料，如从经济考虑或料源困难需采用碱活性骨料，必须经过专门试验论证。碱骨料反应试验应按《水工混凝土试验规程》等试验方法进行。

**5.2.3** 本条强调应重视料源覆盖剥离和弃渣的堆存，应避免水工流失，还应采取恢复环境的措施。当在河滩开采时，还应对河道冲淤、航道影响进行论证。

**5.2.4** 强调砂石加工系统的工艺流程、设备选型应合理可靠，系统的生产能力和成品料仓的堆存容积应满足混凝土施工高峰期的需要，并要有调节余地。骨料生产的废水应按国家有关规定进行处理。

**5.2.5** 二滩和小浪底等工程在混凝土施工时将人工砂分成粗细两级(如二滩为  $4.8\text{mm}\sim 1.2\text{mm}$ ， $1.2\text{mm}\sim 0.074\text{mm}$ )，效果较好，但工艺稍复杂，有条件的地方宜提倡采用。如能保证砂子细度模数符合质量要求，并且稳定，也可不分级。

**5.2.6** 成品骨料特别是细骨料在堆存和运输过程中，为了使含水量不因下雨超标准或不稳

定，可搭设防雨棚，三峡工程施工中人工砂仓都搭设了防雨棚。

粗骨料用胶带机堆料时，一般卸料高度都大于 3m，骨料因冲击破碎，使骨料中逊径超标，在没有二次筛分设施时，应设置缓降器。堆料厚度要求不小于 6m，主要是为了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。同时也可防止骨料因冲击破碎，防止分离和有利脱水。

粗骨料在堆存时可能造成分离，因而无论用挖装机械取料，还是在地弄下料漏斗放料，应在同一料堆选 2~3 个不同取料点同时取料，以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，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，一般情况下，细骨料仓的数量应不少于 3 个，即 1 个仓堆料，1~2 个仓脱水，1 个仓使用，互相轮换。细骨料仓的堆料容积应满足混凝土浇筑高峰期 10d 以上的需要；粗骨料仓的活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活容积应满足 3~5d 的需用量。

**5.2.7** 本条规定了细骨料(砂)的品质要求。

根据水电施工行业习惯用法，粗骨料的粒径范围为 5mm~150mm(或 120mm)。根据 GB / T14684—2001《建筑用砂》，细骨料的粒径为小于 4.75mm 的砂石颗粒，人工砂石粉的粒径为小于 0.075mm 的颗粒。二滩水电站工程国外承包商把细骨料的范围定为 4.8mm~0.074mm。

根据细度模数的大小，可将细骨料分为粗、中、细三种砂，水工混凝土宜使用中砂，人工砂细度模数为 2.4~2.8，天然砂的细度模数为 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。中砂颗粒级配应满足表 4 要求。当颗粒级配不符合上表要求时，应采取相应措施，经试验确实保证混凝土质量。

**表 4 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

控制成品砂含水率稳定(如人工砂饱和面干含水率不超过 6%)，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、三峡等工程施工中，均采用了包括真空脱水机、脱水筛等加速脱水的综合措施。本条特别指明砂子含水率为饱和面干含水率，是为了统一计算标准，也是与后面“配合比选定”中混凝土水胶比(或水灰比)的定义相一致。



原规范的人工砂石粉是指小于 0.16mm 的颗粒,经过许多工程试验研究和实际应用证明,石粉含量由原标准中的 6%~12%放宽到 6%~18%时,不仅可改善混凝土和易性、抗分离性,还可提高混凝土抗压强度和抗渗能力,同时还能降低人工砂生产成本。超过此含量时,对混凝土干缩性有不利影响,若要使用,必须进行充分试验论证。石粉含量增加,使人工砂脱水更困难,应予以重视。

GB / T14684—2001 中把人工砂石粉含量定义为人工砂中粒径小于 75  $\mu\text{m}$  的颗粒含量,并根据亚甲蓝试验结果,规定了人工砂的石粉含量和泥块含量的限制。本规范所指的人工砂石粉含量是指粒径小于 0.16mm 的颗粒含量,其中包括了小于 75  $\mu\text{m}$  的颗粒,应注意控制。砂中的含泥量指小于 0.08mm 颗粒的总量。泥块的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,因而在有水工混凝土中,特别是有抗冲耐磨和抗冻要求的高标号混凝土必须严格限制。

骨料的坚固性是指在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗破碎的能力,采用硫酸钠溶液法 5 次循环后的重量损失率来表示。根据 GB / T14685—2001《建筑用卵石、碎石》的规定,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,细骨料重量损失率应不大于 8%,其他条件下的混凝土细骨料重量损失率应不大于 10%。

硫化物及硫酸盐、有机质、云母、轻物质(表观密度小于 2000kg /  $\text{m}^3$ )等有害物质,在水工混凝土使用的骨料中对其含量必须严格限制。

**5.2.8** 本条规定了粗骨料(碎石、卵石)的品质要求。

粗骨料最大粒径确定原则、粗骨料粒径分级范围与原标准相同。粗骨料宜按 5mm~20mm(小石)、20mm~40mm(中石)、40mm~80mm(大石)、80mm~150(120)mm(特大石)粒径分级,各粒径分级的代号分别为 $D_{20}$ 、 $D_{40}$ 、 $D_{80}$ 、 $D_{150}$ (120)。

超径、逊径含量应严格控制,控制限值按原标准不变。

由于堆存、取料、运输不当可能会造成某一级骨料分离,出现粒径偏小或偏大,这种粒径搭配不均匀,影响混凝土质量。为了有效监测与控制各粒级料的分离,规定采用各粒级料的中径筛,即 $D_{150}$ 、 $D_{80}$ 、 $D_{40}$ 、 $D_{20}$ 各粒级的中径筛为 115mm、60mm、30mm、10mm 方孔筛的筛余量作检验,筛余量应在 40%~70%范围,超出范围时必须及时查找原因并采取抗分离措施,必要时还需及时调整混凝土配合比参数。

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近十多年的统计数据并参考国外有关标准修订的,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为复杂,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。

表 5.2.8-1 岩石品种中:水成岩包括石灰岩、砂岩等;变质岩包括片麻岩、石英岩

等；深成的火成岩包括花岗岩、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。

碎石或卵石中的含泥量是指粒径小于 0.08mm 颗粒的含量。被含泥包裹的石料，会影响骨料与水泥的黏结，降低和易性，增加用水量，影响混凝土的干缩和抗冻性。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，混凝土的抗冻、抗渗等性能有影响，因此对水工混凝土，规定其含泥量： $D_{20}$ 、 $D_{40}$  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。

泥块含量系指原颗粒大于 5mm、经水洗手捏后变成小于 2.5mm 颗粒的含量。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，特别对抗拉、抗渗、收缩的影响更为显著。因此对于水工混凝土，泥块含量应严格按照规定控制。

根据 GB / T14685—2001《建筑用卵石、碎石》规定，有抗冻要求，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重量损失率不大于 5%，其他混凝土为不大于 12%。

针片状颗粒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 倍者为针状颗粒；厚度小于平均粒径 0.4 倍者为片状颗粒。平均粒径指该粒级上、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%。

**5.2.9** 强调成品粗细骨料在生产、出厂时应按时按批进行抽样检验。

**5.2.10** 取样与检验方法按 GB / T14684—2001《建筑用砂》、GB / T 14685—2001《建筑用卵石、碎石》和 SD105—1982《水工混凝土试验规程》中的规定进行。

## 5.3 掺合料

**5.3.1** 水工混凝土中掺入适量的掺合料，具有改善混凝土的性能，提高混凝土质量，减少混凝土水化热，抑制碱骨料反应，节约水泥，降低成本等作用。因而，大中型水利水电工程已普遍掺用掺合料。目前混凝土中掺入粉煤灰、抗冲磨部位掺入硅粉，已大量采用，高炉矿渣微粉，已开始应用，也有选用其他品种掺合料的，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等等。选用何种掺合料，应遵循就近取材、技术可靠、经济合理的原则。

**5.3.2** 各种主要掺合料的品质指标：

(1) 根据 GBJ140—1990《粉煤灰混凝土应用技术规范》和 DL / T5055—1996《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》，水工混凝土中掺用的粉煤灰的品质指标和等级应符合表 5 中的规定。

表 5 粉煤灰的品质指标和等级

指 标		等 级		
		I 级	II 级	III 级
细度(45 $\mu$ m 方孔筛筛余) %		$\leq 12$	$\leq 20$	$\leq 45$
烧失量 %		$\leq 5$	$\leq 8$	$\leq 15$
需水量比 %		$\leq 95$	$\leq 105$	$\leq 115$
SO <sub>3</sub> %		$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 3$
碱含量(以Na <sub>2</sub> O当量计) <sup>1)</sup> 10%		$\leq 1.5$	$\leq 1.5$	$\leq 1.5$
含水量 %	干排法	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$
	湿排法	$\leq 15$	$\leq 15$	$\leq 15$

1)只有在使用碱活性骨料时，采用“碱含量”限制指标。

(2)根据 GB2847—1981《用于水泥中的火山灰质混合材料》，水工混凝土中掺用的火山灰的品质指标应符合表 6 中的规定。

表 6 火山灰的品质指标

项 目	指 标	备 注	项 目	指 标	备 注
烧失量 %	$\leq 10$	指人工的火山灰	细度(0.08mm 方孔筛筛余)%	5~7	
SO <sub>3</sub> 含量 %	$\leq 3$		含水率	$\leq 1$	
火山灰性试验	合格				

(3)根据《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣微粉》(征求意见稿)，水工混凝土中掺用的矿渣微粉的品质指标应符合表 7 中的规定。

表 7 矿渣微粉的品质指标

品 质	等 级		
	I 级	II 级	III 级

密度 g/cm <sup>3</sup>		>2.8	>2.8	>2.8
比表面积 cm <sup>2</sup> /g		5500~6500	4500~5500	3500~4500
活性指数 %	7d	>95	>75	>55
	28d	>115	>95	>75
流动度比 %		>95	>95	>95
氧化镁 %		<10	<10	<10
SO <sub>3</sub> %		<4	<4	<4
Cl %		<0.02	<0.02	<0.02
烧失量 %		<3	<3	<3

(4)根据《水工混凝土硅粉品质标准暂行规定》水规科(1991)10 号，水工混凝土中掺用的硅粉的品质指标应符合表 8 中的规定。

表 8      硅粉的品质指标

项      目			指标	备    注
化学 指标	SiO <sub>2</sub> 含量 %		≥85	
	含水率 %		≤3	
	烧失量 %		≤6	
物理 指标	火山灰活性指数 %		≥90	
	细度	45 μ m 筛筛余量 %	≤10	两项指标 满足其中 一项即可

		比表面积 cm <sup>2</sup> /g	≥15	
	均匀性	密度：与均值的偏差 %	≤5	
		细度：筛余量与均值的 偏差%	≤5	

(5)根据 GB6645—1986 《用于水泥中的粒化电炉磷渣》，水工混凝土中掺用粒化电炉磷渣的品质指标应符合表 9 中的规定。

表 9 粒化电炉磷渣的品质指标

项 目	指 标	备 注
质量系数 K 值	≥1.10	$K = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5}$ 式中化学成分均为重量百分比
干磷渣松散密度 kg/L	≤1.3	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量 %	≤3.5	

注：不得混有磷泥等外来夹杂物，不应出现有元素磷氧化时，产生的明显冒白烟现象。

(6)根据《水利水电工程轻烧氧化镁材料品质技术要求》(水规科(1994)0035 号)，水工混凝土中掺用的氧化镁的品质指标应符合表 10 中的规定。

表 10 氧化镁材料品质的物化控制指标

项 目	指 标	备 注	项 目	指 标	备 注
MgO 含量	≥90%	纯 度	筛余量	≤3%	
活性指标	240s±40s		烧失量	≤4%	
CaO 含量	<2%		SiO <sub>2</sub> 含量	<4%	
细 度	180 孔目/英寸	0.077mm 标准筛			

5.3.3 我国的Ⅰ级、Ⅱ级粉煤灰，特别是Ⅰ级灰，具有明显减水增强和显著改善混凝土多种性能的效果，并可降低混凝土水化热温升。因此各种混凝土应优先选用等级较高的灰，以获得更大的技术经济效益。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。由于科技进步和发展，多年以来新建的大型火电厂机组，锅炉的燃煤条件好，多数采用静电收尘装置，煤灰的分选设施较完善，一般均具有生产Ⅰ级

或Ⅱ级粉煤灰的条件。因而提出应选用Ⅰ级和Ⅱ级粉煤灰使用。

5.3.4 强调各种掺合料出厂时应符合品质要求。

5.3.5 强调使用单位对接收的每一批产品应进行检验，确保每批掺合料符合质量要求。

5.3.6 规定了掺合料运输和储存中的要求。

5.4 外加剂

5.4.1 在水工混凝土中掺入品种适宜的外加剂，能改善混凝土和易性、可调节凝结时间、提高强度和耐久性。我国大中型水利水电工程早已普遍掺用外加剂，成为混凝土配合比优化设计的一项重要措施。因此，本标准提出了水工混凝土中必须掺用外加剂。

5.4.2 根据 GB8076—1997《混凝土外加剂》、GB119—1988《混凝土外加剂应用技术规范》、DL / T5100—1999《水工混凝土外加剂技术规程》，常用掺外加剂混凝土性能指标应符合表 11 中的规定。

表 11 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
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		≥	≥F50	≥F50	≥F50	≥F200	≥F50	—	≥F50	—

	F200								
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。

- 5.4.3** 强调选择外加剂种类和确定其掺量的原则。提出一个工程选用的外加剂的品种宜尽可能少和要求专门生产厂家供应以保证混凝土质量。
- 5.4.4** 混凝土在搅拌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，可以改善混凝土和易性，显著提高硬化混凝土抗冻融性，因而对有抗冻融要求的混凝土，必须掺用引气剂。不同级配混凝土其要求含气量不一样，可通过调节引气剂的掺量来控制。不同抗冻等级、不同级配混凝土的含气量应通过试验确定。表 5.4.5 提出的不同抗冻等级、不同级配的含气量要求供参考。
- 5.4.5** 外加剂使用中的有关规定。两种外加剂复合使用，如减水剂和引气剂联掺使用时，应分别配制成溶液，在混凝土拌和配料时应分别称量、入机拌和使用。
- 5.4.6** 强调外加剂出厂时应有相应的品质检验报告和合格证等文件，使用单位应按规定检查验收，确保外加剂品质符合要求。
- 5.4.7** 外加剂的检验按 GB8076—1997《混凝土外加剂》、DL / T5100—1999《水工混凝土外加剂技术规程》和 SD105—1982《水工混凝土试验规程》执行。
- 5.4.8** 本条强调外加剂运输和储存过程中应注意的问题。

5.5 水

**5.5.1** 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；有损于混凝土强度发展；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。因而符合国家标准的生活饮用水适用于拌和和养护混凝土，未经处理的各类污水不得用于拌和和养护混凝土。根据 GB5749—1985《生活饮用水水质标准》，生活饮用水水质标准见表 12。

表 12 生活饮用水水质标准

项 目			项 目		
感官性状 和一般化学 指标	色	色度不超过 15 度，并不得呈现其他异色	毒理学 指标	汞	0.001mg / L
	浑浊度	不超过 3 度，特殊情况不超过 5 度		镉	0.01mg / L
	臭和味	不得有异臭、异味		铬(六价)	0.05mg / L
	肉眼可见物	不得含有		铅	0.05mg / L
	pH	6.5~8.5		银	0.05mg / L
	总硬度(以碳酸钙计)	450mg/L		硝酸盐(以氮计)	20mg / L
	铁	0.3mg/L		氯仿*	60 μ g / L
	锰	0.1mg/L		四氯化碳*	3 μ g / L
	铜	1.0mg/L		苯并(α)芘*	0.01 μ g / L
	锌	1.0mg/L		滴滴涕	1 μ g / L
	挥发酚类(以苯酚计)	0.002mg/L		六六六*	5 μ g / L
	阴离子合成洗涤剂	0.3mg/L	细菌学 指标	细菌总数	100 个 / mL
	硫酸盐	250mg/L		总大肠菌群	3 个 / L
	氯化物	250mg/L		游离余氯	在与水接触 300min 后应不低于 0.3mg / L。集中式给水除出厂水应符合上述要求外，管网末梢水不应低于 0.05mg / L
	溶解性总固体	1000mg/L			
毒理学指 标	氟化物	1.0mg/L	放射性 指标	总 α 放射性	0.1Bq / L
	氰化物	0.05mg/L		总 β 放射性	1Bq / L
	砷	0.05mg/L			
	硒	0.01mg/L			

\*试行标准。

**5.5.2** 地表水、地下水和其他类型水是否适用于拌和和养护混凝土，必须按 JGJ63—1989《混凝土拌和用水标准》检验以下三项限制指标：一是拌和用水对水泥凝结时间影响的限值；二是拌和用水对砂浆或混凝土抗压强度影响的限值；三是对水中有害物质的含量限值。如果满足这三项限制指标，则可用于拌和和养护混凝土。

混凝土的拌和用水决不应使水泥的凝结不正常，不应使混凝土有较大的强度损失。JGJ63—1989《混凝土拌和用水标准》中规定，用被检测水试验所得的水泥初凝与终凝时间，与用符合国家标准的饮用水或用蒸馏水，在相同水泥、同一配合比时所获得的初凝和终凝时间的差值均不得大于 30min，且初凝和终凝时间还应符合水泥国家标准的规定。

凝结时间差、抗压强度比是从拌和用水对混凝土物理力学性能的影响来控制拌和用水品质， 但水中某些物质对混凝土其他性能如耐久性、钢筋锈蚀、混凝土饰面等的影响还不能体现出来，标准又规定了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、硫酸盐和硫化物含量，按混凝土类别(素混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土)规定不同的限值。



水的 pH 值应大于 4，虽然没有规定上限值，拌和水的品质还是可以保证的。

不溶物、可溶物的含量限值与 ISO 标准一致。

混凝土中氯离子含量允许限值是国际上争论激烈的问题，各国标准规定的松严程度有很大的差别。我国允许在普通钢筋混凝土中掺加水泥量 1% 的无水  $\text{CaCl}_2$ ，即相当于 0.667 的水溶性  $\text{Cl}^-$ ，拌和用水标准中允许的  $\text{Cl}^-$  含量限值相比之下是低的，不应对水中的 Cl 含量限制过严。因此，钢筋混凝土与素混凝土拌和水中  $\text{Cl}^-$  含量的限值分别为 1200mg / L 与 3500mg / L。当水中氯离子含量超过规定限值时，必须核对混凝土中氯离子总含量是否超过有关标准允许值，如未超过时，采用一定的技术措施(如加大钢筋保护层，提高混凝土的密实度等)，仍可拌制混凝土。

硫酸根离子与水泥中的  $\text{C}_3\text{A}$  反应生成水化硫铝酸钙，若此反应过程在混凝土塑性状态下进行，不会因反应产物体积的增大产生有害的内应力，否则会发生很大的膨胀变形和有害内应力，降低混凝土耐久性。考虑到  $\text{SO}_4^{2-}$  对钢筋有腐蚀作用，钢筋混凝土与素混凝土小于 2700mg / L，较为符合实际。

## 6 配合比选定

**6.0.1** 混凝土配合比设计包括了混凝土原材料的优选和混凝土配合比选择试验两个阶段。对混凝土配合比选定提出了以技术指标、和易性和经济性三项内容进行综合比较优选。对于主体工程的混凝土配合比，应经过组织审查选定。

**6.0.2** 混凝土强度的有关内容做了改动。

1 名称的改变。强度分级的名称，过去叫“标号”，依据 SL / T191—1996《水工混凝土结构设计规范》已改按强度等级划分。现在称为“强度等级”，这种名称上的改变，使其与国家标准、与其他类型的建筑材料按强度分级的表达相一致。

2 等级符号的改变。过去是以立方体抗压强度标准值的数值在右上角加符号“#”表达，如 200#、150#……等。据国家和国际通用的规定，建筑材料强度，均以英文名称的第一个字母加强度标准值来表达。故混凝土强度等级以英文混凝土 Concrete 的第一个字母及其后面的立方体抗压强度标准值来表达，如 C15、C20……等，因建工系统混凝土均采用 28d 龄期，因而在强度等级符合上不再注明龄期值，C15、C20……系指 28d 的强度标准值为 15MPa、20MPa……强度等级。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  $\text{C}_{90}15$ 、 $\text{C}_{90}20$ ……系指 90d 龄期的强度标准值为 15MPa、20MPa……的水工混凝土强度等级。如  $\text{C}_{180}15$  则为 180d 龄期的强度标准值为 15MPa。

3 混凝土强度及其标准符号的变化。过去混凝土立方体强度用符号“R”来表达，现据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“ $f_{\text{cu}}$ ”表达，其中“cu”是立方体的意思。而混凝土立方体抗压强度标准值以符合“ $f_{\text{cu,k}}$ ”

表达，其中k是标准值的意思。

4 计量单位的变化。过去我国采用公制计量单位，力值的基本单位为kgf(公斤、千克力)、长度的基本单位是cm(厘米、公分)，因此混凝土强度单位为kgf / cm<sup>2</sup>(公斤力每平方厘米)。现按国务院已公布有关法令，推行以国际单位制为基础的法定计量单位制。在该单位体系中，力值的基本单位是N(牛)，因此，强度的基本单位为 1N / m<sup>2</sup>(牛每平方米)，也可写作 1Pa(帕斯卡简称帕)。

标号改为强度等级后，混凝土强度计量单位改以国际单位制表达。由于N / m<sup>2</sup>(Pa)量值太小，一般以 1N / mm<sup>2</sup>=10<sup>6</sup>N / m<sup>2</sup>(MPa)作为混凝土强度的实际使用的计量单位，读作“牛顿每平方米”或“兆帕”。

本标准中强度计量单位多采用 MPa 表达。

5 选择混凝土配制强度计算公式的变更：

由原标准： $R_{配}=R_{标} / (1-tC_v)$

(1)

变更为： $f_{cu,0}=f_{cu,k}+t \sigma$

(2)

现行国家标准及国内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( $\sigma$ )为主要参数的计算方法。混凝土配制强度都采用变更后的公式(2)形式。因适用于工民建工程的 JGJ / T55—1996《普通混凝土配合比设计规程》，基于混凝土强度保证率均采用 95%，故  $t$  值只采用 1.645 一个数值，因而混凝土配制强度的计算公式为：

$$f_{cu,0}=f_{cu,k}+1.645 \sigma$$

(3)

而水利枢纽混凝土工程，结构复杂，不同工程部位有不同保证率( $P$ )要求。如大体积混凝土一般要求  $P=80\%$ ，体积较大的钢筋混凝土工程  $P$  要求 85%~90%，薄壁结构工程  $P$  要求为 95%等，因而不同保证率的要求，必须采用不同的  $t$  值。本条已给出了不同保证率要求时的  $t$  值取用表。

原公式和变更的公式，计算的结果没有实质上的差别，两个公式计算的配制强度的结果相近。只是原公式采用离差系数 $C_v$ 值计算，变更后公式则采用标准差 $\sigma$ 值计算。

由于 SL / T191—1996《水工混凝土结构设计规范》已按国家标准规定将混凝土标号改为混凝土强度等级，混凝土强度等级值确定原则由原标准规定的强度总体分布的平均值减去 1.27 倍标准差(保证率 90%)，改为强度总体分布的平均值减去 1.645 倍标准差(保证率 95%)。用公式表示，即：

$$f_{cu,k}=\mu_{f_{cu},15}-1.645 \sigma_{f_{cu}}=\mu_{f_{cu},15}(1-1.645 \delta_{f_{cu}})$$

(4)

式中  $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值，即混凝土强度等级值，MPa；

$\mu_{f_{cu,15}}$ ——混凝土立方体(边长 150mm)抗压强度总体分布的平均值；

$\sigma_{f_{cu}}$ ——混凝土立方体抗压强度标准差；

$\delta_{f_{cu}}$ ——混凝土立方体抗压强度的变异系数。

R(原标准的混凝土标号)与 C(本标准的混凝土强度等级)之间的换算关系为：

$$C = \frac{1 - 1.645\delta_{f_{cu,15}}}{0.95(1 - 1.27\delta_{f_{cu,15}})} \times (0.1R) \tag{5}$$

式中 0.95 为试件尺寸由 200mm 立方体改为 150mm 立方体的尺寸效应系数；

0.1 为计量单位换算系数。

由此得出 R 与 C 的换算关系如表 13 所列。

表 13 R 与 C 换算表

原标准混凝土标号R(kg/cm <sup>2</sup> )	100	150	200	250	300	350	400
混凝土立方体抗压强度变异系数 $\delta_{f_{cu,15}}$	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
本标准混凝土强度等级 C(计算值)	9.24	14.20	19.21	24.33	29.56	34.89	40.28
本标准混凝土强度等级 C(取用值)	C9	C14	C19	C24	C29.5	C35	C40

注：表中混凝土立方体抗压强度的变异系数是取用全国 28 个大中型水利水电工程合格水平的混凝土立方体抗压强度的调查统计分析的结果。

**6.0.5** 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必须掺用减水剂，对有抗冻性要求的混凝土必须掺用引气剂的措施，否则表 6.0.6 的最大允许值应酌情减小 0.05。为了保证和提高上、下游水位以上(坝体外部)混凝土的耐久性以及为保证内部混凝土的和易性、减少泌水率并提高耐久性的需要，这两个部位混凝土的水胶比均在原标准的基础上缩小 0.05，这样规定是为保证混凝土耐久性的需要考虑的。

**6.0.7** 对于混凝土以坍落度进行分类的方法及名称是依据 GB50164—1992《混凝土质量控制标准》进行的，其分级标准见表 14。水工混凝土主要采用低塑性和塑性混凝土施工，即 T1 和 T2，对配筋率不超过 1%的钢筋混凝土为中间插入，即采取 3cm~6cm 范围。

表 14 混凝土坍落度的分级

级 别	名 称	坍落度	级 别	名 称	坍落度
-----	-----	-----	-----	-----	-----

		cm			cm
T1	低塑性混凝土	1~4	T3	流动性混凝土	10~15
T2	塑性混凝土	5~9	T4	大流动性混凝土	≥16

**6.0.8** 混凝土的耐久性是指混凝土建筑物所处的自然环境及使用条件下经久耐用的性能，以延长建筑物的使用年限。尤其是水工混凝土建筑物更有其特殊的重要意义。因而，必须采取措施提高混凝土的密实程度、改善孔隙结构、提高混凝土的抗冻融、抗渗透、抗水侵蚀性的能力。必要时应控制组成材料的碱含量、氯离子和硫酸根离子含量，本条提出了当使用有碱活性反应的骨料应控制混凝土中的总含碱量。

**6.0.9** 在混凝土配合比选定时必须通过充分试验论证，满足设计对混凝土耐久性提出的各项指标要求。水工混凝土有些部位的混凝土配合比往往受耐久性指标的控制。根据 DL / T5082—1998《水工建筑物抗冰冻设计规范》6.1.1 规定抗冻试验不再采用慢冻法而用快冻法试验测定混凝土的抗冻等级。

7 施 工

7.1 拌 和

**7.1.1** 主要规定在拌和设备安装完成正式投产前，应进行有关试验。通过试验，掌握所选定的混凝土配合比与拌和设备之间的适配关系。

**7.1.2** 规定了配料单的严肃性，可避免因不严格遵守混凝土配料单而造成的混乱现象，从而有利于保证混凝土拌和物的质量。本条还增加了审核配料单的内容，在现行工程建设体制下，试验部门签发的配料单应经监理工程师审核。

**7.1.3** 规定了混凝土原材料的称量方法及精度要求。由于重量法配料对混凝土强度的影响比体积法小，故采用重量法配料。表 7.1.3 对拌和称量提出了允许误差范围。

**7.1.4** 鉴于各水电工程所用拌和设备型号各异，混凝土配合比不同，对混凝土施工性能的要求，以及高、低温季节施工的特点等原因，要求拌和时间通过试验确定。混凝土的拌和时间与混凝土坍落度、拌和机的容量有关系，本条对混凝土最少纯拌和时间简化后提出了参考表。

**7.1.5** 规定了每班开始拌和混凝土前应进行衡器零点校核和配料量的检查。要注意初拌几罐混凝土按规定要求调整到正常状态。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的影响较大，因此，规定了在拌和过程中对骨料含水量进行检测的要求。原标准第 4.3.3 条，由于拌和设备的速度和叶片结构是在生产厂家定型的，施工现场不宜改变，故未列入。

**7.1.6** 是关于现场掺加掺合料进行拌和的规定。近些年来，水工混凝土采取在现场掺加掺

和料如粉煤灰等已非常普遍，它可降低混凝土中水泥用量，有利于提高混凝土质量并降低成本。推荐混凝土加掺合料时，优先采用干掺。

**7.1.7** 规定了外加剂使用过程中溶液掺入时的水量计算方式。

**7.1.8** 新增条款，由于已经有不少工程采用了在拌和系统粗骨料进行二次筛分的工艺，本条规定了对二次筛分后的骨料进行超逊径的控制和检验。

**7.1.9** 新增条款，规定了混凝土拌和物不合格料的判别标准及其处理。为解决施工中经常出现对拌和料合格与否的争议而制订。其中，拌和不均匀主要指明显夹杂生料或拌和物的某种组分严重集中和短缺的状况。

## **7.2 运 输**

**7.2.1** 规定了混凝土运输设备及运输能力配备的原则。对设备资源优化配置是保证混凝土施工质量和速度的重要因素，因此，混凝土拌和、运输、浇筑能力三者之间必须配套，充分发挥整个系统施工机械的设备效率。

**7.2.2** 增加了减少混凝土温度回升、坍落度损失的内容。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不同程度的影响，都应予以避免。

**7.2.3** 提出了多种混凝土同时运输中的识别要求。当采用车辆运输时，应在车前(如挡风玻璃)或车箱上设置代表所运输混凝土品种的明显标志，有条件的，应采用计算机条码识别系统，以增加识别的准确性。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。

**7.2.4** 规定了混凝土在运输过程中，应尽量缩短运输时间和减少转运次数。表 7.2.4 所定时间是适宜的运输时间，如超出时，应积极采取相应措施。

**7.2.5** 与原标准第 4.4.5 条对应，是关于混凝土运输工具设置保护的规定。本条将原标准的“必要时”的要求提高到了“应”。

**7.2.6** 根据施工实践，为确保浇筑质量，对混凝土下料高度限制比原标准更严。对于缆机入仓，下料高度是指下料开始时的高度，在混凝土下料过程中，下料高度会渐渐增大。对于塔(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。原标准第 4.4.6 条，提出“应优先采用吊罐直接入仓的运输方式”，随着水工混凝土技术工艺的进步，已远不能满足现代化施工的进度和质量要求，故予取消。

**7.2.7** 给出了各类混凝土专用机动车辆运输混凝土时应遵守的规定。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。

**7.2.8** 新增条款，给出了各类非连续垂直运输工具运输混凝土时应遵守的规定。运送混凝土的车辆，在用于运送混凝土期间，不允许抽调去运送其他物件，必须专用。要求运输道路

平整，目的是避免混凝土运输中过分振动，使混凝土发生液化作用而造成分离和泌水。装载混凝土的厚度不应小于 40cm，可避免造成混凝土卸料困难和发生分离。

7.2.9 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。塔带机(或顶带机)及常规运送混凝土的皮带机的有关参数可参照表 15。

表 15 皮带机运输混凝土有关参数表

皮带机类型	最大骨料粒径 mm	皮带机速度 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	150	3.4		

表 17 中的数据均为工程实际已使用过的数据，其中，皮带机速度一栏中有起止两个值的，其起点值为主皮带的速度，终点值为上料皮带的速度。

皮带机运输混凝土的一个难点就是控制砂浆损失。如不能控制在 1%以内，则应调整混凝土配合比中的砂率。当皮带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。

7.2.10 新增条文。由于水工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，所以，带来了常规浇筑手段入仓的困难。本条文中溜管(槽)运输的经验数据主要取自于北京十三陵抽水蓄能电站等工程，负压(真空)溜槽运输的经验数据主要取自广西荣地、湖南江垭和贵州普定等工程。

1 十三陵抽水蓄能电站有闸门井、出线井等垂直竖井 11 条，竖井最大高度 160m，混凝土衬砌采用滑模工艺，混凝土运输全部用 159mm×6mm 钢管(溜管)垂直运输。钢管每节 5m~6m，法兰螺栓连接。料管下口有一节外包厚橡胶的“S”型缓冲钢管，下接串筒至仓面。专有小吊篮上下跟随，及时解决堵管及撤换磨损严重的料管。混凝土料对最下层料管磨损严重，平均 800m<sup>3</sup>~1000m<sup>3</sup>混凝土就要磨坏一节钢管。

施工用的混凝土，最大骨料粒径 3.2cm，坍落度 7cm~9cm；掺有木钙减水剂，坍落度损失较小，出线竖井 160m 深，供料至仓面，正常情况坍落度损失 1cm~2cm；混凝土用钢管输送，要保证骨料不离析，混凝土坍落度是关键，输送高度越大，坍落度应越小，但不宜小于 5cm~7cm。

2 十三陵抽水蓄能电站引水系统的高压管道全长 598.94m，分上斜段 357.5m 和下斜段 241.44m；高压管道倾斜角为 50°，开挖断面直径 7.2m，钢衬直径 5.2m，回填混凝土

土设计的强度等级为 C18。其中，上斜段采用 U 型溜槽入仓，下斜段采用 350mm 钢管(溜管)入仓。

上斜段 U 型溜槽，槽底宽 50cm，高 30cm，每节长 2m，用 3mm 钢板制成。槽内设带斜角度的缓冲挡板，在实际施工中，最大骨料粒径 3.2cm，水胶比 0.46，坍落度 14cm~16cm，混凝土流速控制在 1.6m/s 以内。为防止骨料飞溅伤人，溜槽罩上了安全网。前期混凝土和易性掌握得较好，后期由于溜槽残料清理不及时，造成槽面不光滑引起骨料离析，只能人工将粗骨料摊开加强振捣解决。施工中发现坍落度大于 16cm 也易使骨料离析。

结合十三陵抽水蓄能电站的实践经验，当混凝土坍落度 5cm~7cm 时，溜管垂直运输可在 150m 以内，斜管运输倾角宜大于 30°，长度可在 250m 以内。采用溜槽运输时，倾角 30°~60°，长度宜在 100m 以内，当超过此长度应改用溜管。

3 江垭工程碾压混凝土浇筑全部采用深槽皮带接负压(真空)溜槽入仓，最大入仓高度 73m，分两段接力入仓，最大单段高度 40m，倾角 47°，共浇筑混凝土 85 万 m<sup>3</sup>。

普定工程碾压混凝土浇筑，部分采用负压(真空)溜槽入仓，入仓高度 40m，倾角 45°，共浇筑混凝土 5.31 万 m<sup>3</sup>。

荣地工程碾压混凝土浇筑，采用负压(真空)溜槽入仓，入仓高度 36m，坡度 1:0.8，共浇筑混凝土 3.3 万 m<sup>3</sup>。

## 7.3 浇 筑

**7.3.1** 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。

**7.3.2~7.3.3** 具体规定了建筑物地基在混凝土浇筑前的各项准备工作和要求。其中，7.3.2 针对岩基基础，7.3.3 则针对非岩基基础。为了对非岩基基础做好保护，可经审批后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 3 款对湿陷性黄土地基作出了“应采取专门的处理措施”的规定。

**7.3.4** 规定了混凝土浇筑前仓面各项准备工作和要求。有关模板、钢筋的具体规定，未列在本标准中，另见有关标准；预埋件的具体规定，详见本标准第 10 章。

**7.3.5** 根据大量现场资料和工程经验，对于浇筑基岩面、老混凝土面或浇筑层面接缝问题作出了规定。传统的铺设砂浆的办法由于增加工序、不易掌握而逐步被小级配混凝土或同一强度等级的富浆混凝土所替代。在目前尚不能完全替代的情况下，本条中仍保留了铺设砂浆的方法。对于不铺砂浆的区，要采取措施保证结合面质量，包括采用适当加大砂率和坍落度的接缝混凝土等办法，可根据各工地具体情况，必要时通过试验确定。三峡工程目前已普遍

采用同标号富砂浆混凝土作为接缝混凝土，混凝土厚度为 20cm~40cm。

**7.3.6** 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。

**7.3.7** 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混凝土浇筑强度和气温等。由于大规模的水工混凝土浇筑中已广泛采用振捣机作业，故在表 4.5.7 中增加了相应内容。

**7.3.8** 规定了混凝土浇筑过程中仓面作业的有关注意事项。不及时平仓或平仓不好会造成骨料分离、泌水、漏振等，影响浇筑质量。有条件时，应采用平仓机平仓。仓内骨料堆叠会造成混凝土不密实。在倾斜面上浇筑时，靠近倾斜面部位约 50cm 范围，收仓面应与倾斜面垂直，以免混凝土在倾斜面部位形成小于 45° 的尖角。

**7.3.9** 对混凝土浇筑的振捣进行了全面规定。条文中增加了采用振捣机作业的规定，为配合振捣机振捣施工，在振捣机不能靠近的部位如模板边等，应采用手持式振捣器振捣，以防漏振。

**7.3.10** 对混凝土浇筑过程中的注意事项作了规定。在仓内加水会改变混凝土性能，降低混凝土质量，必须严禁；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，必须及时排除；浇筑中的外来水无异于仓内加水，应避免；赶水浇筑将带走灰浆，造成蜂窝麻面等，也需严禁；模板、钢筋和预埋件表面粘附的混凝土应随时清除，以免造成质量缺陷；浇筑中的模板维护直接影响浇筑质量，应安排专人看护。

**7.3.11** 规定了“混凝土浇筑应保持连续性”。在混凝土施工中，一个常有争议的问题就是如何确定混凝土的初凝。由于大面积初凝会造成施工“冷缝”，它可以破坏结构物的整体性、耐久性，造成漏水等，且不易处理好，因此，规定了“能重塑着者，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 内能泛浆且不留孔洞者。表 7.3.11 给出了混凝土的允许间歇时间，可供参照使用。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。允许初凝面积详见 SDJ249.1—1988《水利水电基本建设工程单元质量等级评定标准》中的规定。

**7.3.12** 新增条款。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。

**7.3.13** 新增条款。规定了混凝土浇筑过程中入仓混凝土应挖除的判定标准。规定中，将原标准第 4.5.10 条的内容作为本条款中的判定标准之一。

**7.3.14** 给出了混凝土工作缝处理的规定。由于近几年来发展起来的高压水冲毛技术已被证实是一种高效、经济而又能保证质量的缝面处理技术，在本条款中推荐采用该项技术。

在三峡工程施工中，试验表明高压水冲毛时间以收仓后 24h~36h 为最佳，每平方米冲毛时间以 0.75min~1.25min 为最佳。

**7.3.15** 对混凝土浇筑达到设计高程的仓面作出了规定。



7.4 雨季施工

7.4.1 原标准 4.7.1 条提出“运输工具应有防雨及防滑设备”，将“设备”一词改为“措施”。“设备”则仅指运输工具本身而忽略了改善外部环境。还可采取道路防滑措施。

从水工混凝土的施工来看，采用防雨棚的做法显然较难实现，但雨季施工中，仓面突遇大雨是常有的事，因此强调了“浇筑仓面应有防雨措施并备有不透水覆盖材料”。

原标准第 4.7.1 条第 4 款的“加强骨料含水量的测定工作”，本次修订为“增加骨料含水率的测定次数，及时调整拌和用水量”，至于增加次数应依据骨料储仓地形、排水情况、骨料储量以及降雨强度、降雨量而定，尤其是细骨料的细度模数和脱水状况有密切关系，这就要求施工单位根据实际情况掌握，一般每隔两小时不少于一次，并根据骨料含水率的变化及时调整拌和用水量，以确保混凝土的质量。

7.4.2 属增补内容，明确规定了当降雨强度(日或半日或小时的降雨总量)达到某一限值时就得不得进行混凝土施工。大、中、小雨的判断和划分见表 16，同时将原标准的第 4.7.4 条也纳入本条文中。

表 16 降雨等级表

降雨等级	现 象 描 述	降 雨 量		
		mm		
		一天内总量	半天内总量	h
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	

所提及的不得进行混凝土施工，系指正在下着中雨以上的天气，对于尚未开始浇筑的仓位，不得开仓。对于已开仓浇筑混凝土而中途遇上大雨时，应立即停止浇筑，雨后可否恢复浇筑按 7.4.4 执行。

7.4.3 本条是原标准的第 4.7.2 条，内容有增补，如雨天施工措施中，应减少混凝土单位用水量，出机口混凝土坍落度按下限控制。如下雨施工持时间较长，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。原标准中的“无防雨棚仓面”予以取消，因水工混凝土施工大多无防雨棚，以露天

浇筑为主(除特殊要求外),即便有防雨棚的仓面也只是局部的措施,很难对全部浇筑系统采取防雨措施,仍需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。

**7.4.4** 本条规定了大雨、暴雨必须停止浇筑。在浇筑过程中如遇中雨,应视下雨的持续时间和仓内的实际状况机动处置。一般如下雨持续时间长、仓内面积小,且积水无法排除干净时,应停止浇筑。根据工程的施工实践,增加了停止浇筑前,应将已入仓的混凝土立即振捣密实的要求,以减少恢复浇筑时仓面的处理难度。

**7.4.5** 属增补条,此条提出雨季施工应注意随时掌握天气情况,做到主动、合理安排施工。

## 7.5 养 护

**7.5.1** 同原标准的第 4.8.1 条。

**7.5.2** 第 2 款,原标准的“一般应在混凝土浇筑完毕后 12h~18h 内开始养护”,改为 6h~18h 内更具有合理性、灵活性,同时增加了“对于低塑性混凝土在浇筑完毕后宜立刻喷雾养护”的要求,此举在三峡工程实施,效果很好,宜推广采用。此外,对于低塑性混凝土还规定了浇完后应及时开始洒水养护,这是预防干缩裂缝的措施。

第 3 款原标准“如采用特种水泥”,本标准将“水泥”改为“混凝土”提法更妥当,因为混凝土的养护不仅与水泥品种有关,还与掺和料、外加剂有关,也含有采用特种水泥的混凝土。

第 4 款为增补条款,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。

**7.5.3** 关于混凝土的养护时间,原标准按水泥品种不同规定了两个标准,即硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥养护期为 14d,矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸水泥等其他水泥养护期为 21d。现在大多数大中型水利水电工程均在混凝土中掺用了粉煤灰等掺和料,在硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥中可更多地增加掺和料。因而,需要养护的时间差别在缩小。鉴于水工大体积混凝土存在着表面散热以及容易产生干缩裂缝等问题,为有利于表面散热和后期强度增长,本标准要求无论采用何种水泥,养护时间均不宜少于 28d,对于重要部位,宜适当延长养护时间。

**7.5.4** 属原标准的第 4.8.4 条。只将有温控要求的混凝土和低温季节施工混凝土的养护分条写入本节,并加进原标准 5.2.8 条和 6.0.20、6.0.21 条的有关内容,更具有可操作性。

**7.5.5** 对混凝土养护的实施作了专门要求。

## 8 温 度 控 制

### 8.1 一 般 规 定

**8.1.1** 文理已明。

**8.1.2** 文理已明。

**8.1.3** 本条与原标准相比，作了一些修改：

1 在必须采取的综合措施中增加了“配合比设计”一项，主要考虑到这项措施对尽量减少水泥水化热温升方面起重要作用，在工程开始阶段进行混凝土配合比设计时就应考虑温度控制这一重要因素。

2 混凝土温度控制的关键是控制混凝土最高温度，关于浇筑温度的论述见条文说明 8.1.6。

3 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。在调研过程中，很多专家提出，混凝土表面保温和养护应作为一项工程来对待，并且一定要把混凝土的保温和养护落到实处。

4 在原标准基础上增加了“避免薄层长间歇”的文字表述，这是由于国内许多工程经验表明，在基岩或老混凝土块上浇筑一薄块而后长期停歇是极易产生裂缝的。混凝土块体龄期在 28d 以前，尤其是不足 7d 龄期时过水也容易产生裂缝。

5 在满足国家有关标准和规定的前提下，使用微膨胀型混凝土，能有效补偿混凝土温降过程的收缩，减少裂缝。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。

**8.1.4** 混凝土的抗裂能力不仅与其强度有关，还与其强度均匀性有密切关系，混凝土强度标准差  $\sigma$  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。

**8.1.5** 本条为新增条款，主要考虑到目前随着技术进步，水工混凝土的设计龄期已延至 90d~180d，在此情况下，在配合比设计时就应考虑混凝土 28d 前的抗裂能力。

**8.1.6** 本条增加了“混凝土允许浇筑温度应符合设计规定”及应根据规定的允许最高温度，计算最高浇筑温度等，主要考虑到最高浇筑温度是施工现场的主要温控指标，必须明确并加以严格控制。

混凝土最高浇筑温度，有些工程设计对各部位有明确规定，如：五强溪规定为 12℃~17℃(基础约束区)；隔河岩规定为 20℃~25℃；万安规定为不高于 22℃；高坝洲规定为 20℃~24℃；王甫洲规定为约束区 18℃、非约束区 28℃；而目前一些工程如：二滩、小浪底、三峡等因设计上并未明确各部位混凝土最高浇筑温度，仅提出了混凝土最高允许温度，因此需据此进行计算。

另外，实践表明，当浇筑温度过高时，混凝土会出现一种假凝现象，影响浇筑质量，因此保留了原条款中不得大于 28℃的要求。

**8.1.7** 本条增加了经专门论证可突破高差限制。考虑到坝体施工各相邻坝块高差都控制在规定范围内有一定困难。国外一些工程对高差限制要比国内严一些，如美国垦务局规定允

许高差不大于 9.2m，美国陆军工程师团规定允许高差为 6.9m。考虑到目前我国施工现状，增加了经过专门论证可突破高差限制的文字。现国内有些工程实际上也没有全部做到控制在 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 坝段由于门塔机占压，高差超过 12m，实际达到 18m；三峡工程由于地形及占压等原因，多处超过 12m。

## 8.2 温度控制措施

### 8.2.1 降低混凝土浇筑温度

1 料场骨料降温措施基本上为条文规定的 3 项，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。随着施工手段的改善，施工工艺的改进，混凝土浇筑速度在不断提高，骨料堆高由 6m~8m 改为不低于 6m。

2 按目前施工采用措施的状况，将粗骨料预冷方法进行重新排序，并加入应防止骨料冻仓的条文。

3 本条与原标准相同。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℃。

4 本条将原标准“冰块”改为“冰屑”。近 20 年来，我国混凝土温控技术发展很快，进口或国产片冰机的大量使用，使加冰技术大大提高，目前已很少采用加冰块的方法。另外，二滩、小浪底等工程已改为加冰屑(或称冰粒)。国内工程在采用加片冰技术时，为保证搅拌均匀，一般延长拌和时间 30s。并将原标准中“可用”改为“宜用”片冰或冰屑。

5 本条增加了仓面隔热保温材料覆盖的措施，这 6 项措施已在国内各工程广泛应用。为有利于减少混凝土温度回升，强调了混凝土及时平仓振捣，增加了混凝土阴天浇筑等措施。

6 本条将原标准条款中的“应”改为“宜”，主要考虑到国内许多工程做不到基础部位混凝土在低温季节浇筑。如在高温季节浇筑基础部位混凝土时，应采取必要的措施，一方面减小混凝土最高温升，如采取低温混凝土、冷却水管、养护及保温措施等；另一方面减少混凝土变形约束，如适当分缝，减小混凝土的浇筑块大小。上述两方面都要会同设计、监理研究决定。

### 8.2.2 减少混凝土温升

1 本条与原标准相比，将“满足混凝土设计强度”改为“满足混凝土各项设计指标”，随着水工混凝土技术的发展，单一的强度指标已不能反映出对混凝土的要求。耐久性也是衡量混凝土质量的一个重要指标。

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。

2 本条在原标准基础上加入了“若在浇筑层中埋设冷却水管、分层厚度可采用3m”，主要考虑随着高密聚乙烯塑料冷却水管的使用，使浇筑块间埋设冷却水管成为可能，二滩工程采用 $\phi 28\text{mm}$ 高密聚乙烯冷却水管，管中流速 $0.5\text{m/s} \sim 1.0\text{m/s}$ ，已成功地应用了这项技术，并将浇筑层厚提高到3m。

3 本条在原标准基础上做了以下改动：

1)将通水时间略为延长，主要是根据二滩(通水14d~19d)、隔河岩(要求通12d~15d)、三峡(通水15d~20d)等工程经验，通水后混凝土块体应在最高温度基础上下降 $3^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ 为宜，此时二次温升的峰值再不可能成为最高温度。

2)增加每天温降不超过 $1^{\circ}\text{C}$ 的内容。当混凝土内部温降梯度过大时会引起混凝土温度应力不平衡而产生裂缝。

3)删除“埋管应被覆盖一层混凝土后开始通水”。在使用塑料冷却水管时，如果下料前通水，即可提前发现漏水情况，又可避免管子被压扁。另外通过二滩工程的实践证明，下料前通水，还可减少管子被砸破的机率。

**8.2.3** 为新增条款。中期通水冷却是指在秋季对高温季节所浇筑的混凝土进行通水冷却，以减少坝体内外温差。坝体中期通水冷却措施已在许多工程(如隔河岩、三峡等)中应用。二滩工程中要求大坝混凝土一期冷却须将坝体温度降至 $20^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$ ，相当于初期冷却与中期冷却一次完成。实践表明，中期通水冷却对减小混凝土内外温度梯度、防止裂缝的发生有明显作用。

#### **8.2.4 同原标准表面保护和养护**

考虑到混凝土养护已在第七章第5节叙述，本章不再重复。但在施工过程中应强调混凝土的养护。二滩工程经验证明，混凝土流水养护，不但能降低混凝土表面温度，还能防止混凝土干裂。

1 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。工程实践证明，早龄期的混凝土要特别注意防止气温骤降引起的损害，在寒冷地区即使是龄期较长的混凝土也要特别注意首次越冬的保护。

2 本条与原标准相比，将“应妥加保护”改为“必须妥加保护”。

3 混凝土表面温降在短时间内达到 $6^{\circ}\text{C} \sim 9^{\circ}\text{C}$ 可用“气温骤降代替”。本条内“模板”指木模板或附木夹板的钢模板，如内层为钢模板，遇气温骤降时，应拆除后即行保护。

4 考虑到保温材料技术的进步，本条在原标准基础上加入了“必要时应考虑采用模板内贴保温材料”的条文。这样，保温材料与混凝土贴合更紧密，保温效果更好。

5 为新增条款。不同的保护对象，因其形状不同、方位不同而采用不同的保护

层厚度，如棱角处应加厚。另外，保护层厚度还与保温材料的性能、气温条件有关。

6 条文中列出的这些部位及浇筑块的棱角和边缘部位，最易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开裂，因此应及时封闭和保护。

7 为新增条款，主要考虑到早龄期混凝土抗裂能力差，一遇寒潮极易产生裂缝，而国内许多工程(葛洲坝、万安、王甫洲、高坝洲、隔河岩、五强溪、三峡等)均明确有此要求。

#### **8.2.5 特殊部位的温控措施**

1 本条基本为原标准，但将采用通水冷却降低填塘混凝土的要求从“可”改为“应”，主要考虑到应重视填塘部位的混凝土温度要求。

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，温度应力也较复杂，因此宜从严要求，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也应更加注意。有的工程在这些部位专门埋设冷却水管进行冷却是很有必要的。

2 本条在原标准基础上增加了“回填混凝土应安排在有利季节进行”，主要参照了葛洲坝、隔河岩、万安、三峡等工程对预留槽混凝土提出在低温季节或使用低温混凝土回填的技术要求。

坝体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。

3~4 文理已明。

5 本条文中“孔洞封堵的混凝土”指大体积混凝土，如导流孔、隧洞的堵头。

### **8.3 温 度 测 量**

**8.3.1~8.3.3** 是对混凝土施工过程测温及浇筑块内部温度观测的要求。

如果只有温控措施，没有必要的测温及观测手段，对于温控措施的效果就无从评价，也不便于分析发生裂缝的原因。因此，为了保证温控措施的效果，应对混凝土施工全过程进行温度测量，对所采取的温控措施进行监测，以及对已浇筑混凝土的内部温度状况进行观测。

大、中型工程应有专门人员从事这方面的工作。

## **9 低温季节混凝土的施工**

本章对应原标准第六章“低温季节混凝土的施工”。主要修订内容如下：

1 将低温季节施工的气温标准、各种使用温度的定义及温度观测标准做了统一

的规定，强调了温度观测的重要性。

2 在低温季节施工养护方法中增加了允许采用综合蓄热法及使用防冻剂的有关条款。

3 根据水工混凝土施工的实践和需要以及国内外相关行业标准的规定，增加了采用成熟度法推算混凝土早期强度的条款。

## 9.1 一 般 规 定

### 9.1.1 低温季节混凝土施工的气温标准。

本条文将原标准严寒地区和温地区的气温标准统一规定为“日平均气温稳定在 5℃以下或最低气温稳定在-3℃以下时，即按低温季节施工”。理由是：

1 混凝土受冻害只与温度有关，而与地区无关。

2 从近年来新编制或修订的标准中，如 SDJ338—1989、SL172—1996 等凡涉及低温季节施工的，对气温标准都趋向于不提地区。

确定低温季节施工期要依据当地 10 年以上气象资料。当地缺少资料可借鉴邻近地区气象部门资料。

本条文用的“气温稳定”是气象部门用语，在降温的低温季节连续 5d 通过某一温度，之后很难再恢复这一温度。气象部门可以提供气温稳定在某一温度的资料，对科学合理地确定施工期较为方便。

9.1.2 本条强调必须制定专项混凝土在低温季节施工组织设计和技术措施，并至少应包括下列基本内容：

1 确定低温季节施工起止日期。

2 要求进行施工环境及各环节的热工计算。

3 保温材料调查。

4 配合比、外加剂试验。

5 低温季节施工中掺有防冻剂的混凝土对骨料的要求：

碱-骨料反应导致混凝土破坏的事故在国内外发现后，已引起人们的关注。在施工之前，一是要检查骨料中的活性二氧化硅等活性成分，判别是否属于碱活性骨料；二是使用碱活性骨料必须控制每立方米混凝土的总含碱量，并要通过专门试验论证确定。

防冻剂的含碱量较高，所以要在施工中控制总的含碱量。一般工程每立方米混凝土含碱量( $\text{Na}_2\text{O}$ 当量计)2kg~3kg。

水泥的含碱量应小于 0.6%，生产厂家应提供检测数据。对防冻剂或早强剂必须测试其含碱量，一般防冻剂和早强剂成分中的含碱量可参见表 17。

表 17 防冻、早强剂中几种成份的碱含量

序	名 称	化 学 式	每千克物质含碱量 kg
1	硫酸钠	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0.436
2	亚硫酸钠	$\text{NaNO}_2$	0.449
3	碳酸钾	$\text{K}_2\text{CO}_3$	0.448
4	硝酸钠	$\text{NaNO}_3$	0.365
5	氯化钠+氯化钙(1：1)	$\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$	0.464
6	氯化钠+亚硝酸钠(1：1)	$\text{NaCl}+\text{NaNO}_2$	0.486

为保证混凝土质量，低温季节施工中决定掺用防冻剂和早强剂，不应使用活性的骨料，除非有专门的论证。

6 混凝土质量检查、测量方法及设备的准备。

7 采用成熟度法计算混凝土强度。

8 气温骤降的施工保护措施。

**9.1.3** 本条文修改较大，主要有：

1 参考 DL / T5082—1998《水工建筑物抗冰冻设计规范》中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，理由是低温季节施工是不允许有外来水(包括拆模后)；另外，内外部混凝土大部分是一仓施工的，只要控制更求高的外部混凝土 7MPa 的允许受冻控制值就可以了。所以本标准只给出一个允许受冻指标，不再给出内部、外部混凝土允许受冻指标。

2 本条参考SDJ338—1989《水利水电工程施工组织设计规范》中内容，增加了用成熟度值  $1800(^{\circ}\text{C} \cdot \text{h})$  确定允许受冻的临界强度标准。成熟度  $1800(^{\circ}\text{C} \cdot \text{h})$  是北方严寒地区电站桓仁、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 标准养护的 40% 以上，同大体积C<sub>90</sub>15~C<sub>90</sub>20 混凝土达到允许受冻临界的强度基本一致。

3 增加了非大体积混凝土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  $M \geq 3$  的钢筋结构混凝土，早期允许受冻的临界强度标准，参照 DL / T 5082—1998《水工建筑物抗冰冻设计规范》中的钢筋混凝土标准给出。

4 关于大体积混凝土，目前仍没有一个统一的定义。用表面积系数  $M$  值表示仅是一种观点，由于表示方法简单、直观，北方施工单位技术人员多用此方法划分大体积混凝土，用于一些热工计算，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。

现在建工系统大体积混凝土施工也越来越多，他们用  $M < 5$  来划分为大体积混凝土。



JGJ / T55—1996《普通混凝土配合比设计规程》6.5 条中规定“混凝土结构物中实体最小尺寸大于或等于 1m 的部位所用的混凝土为大体积混凝土”，用表面积系数表示，即  $M < 5$ 。

5 钢筋混凝土为断面配筋率大于 0.15% 的混凝土，素混凝土为断面配筋率不大于 0.15% 的混凝土。

9.1.4 内容同原标准。

9.1.5 基本内容未变，仅在准备材料中加入了防冻外加剂内容。

## 9.2 施 工 准 备

9.2.1 基本内容未变。仅增加热工计算的要求。

9.2.2 本条未写入“宜进行覆盖”的内容，因包括在防止冰雪和骨料冻结的措施中。

9.2.3 在本条中写明骨料加热的方法和要求。对骨料加热的气温界线根据工程实践明确为“日平均气温稳定在  $-5^{\circ}\text{C}$  以下时，宜加热骨料”。这意味着日平均气温稳定在  $-5^{\circ}\text{C}$  以上时骨料可不加热，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  $-5^{\circ}\text{C}$  以下时，应对骨料及拌和用水全面加热”。前苏联在施工标准中允许平均  $-5^{\circ}\text{C}$  气温时使用没有冰雪、不预热的粗骨料，仅靠热水拌和施工。白山工程在负温骨料试验中证实，最大粒径 80mm 的骨料，在负温环境中实测温度为  $-9^{\circ}\text{C} \sim -18^{\circ}\text{C}$ ，加热水  $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$  拌和，拌和 2.5min 出机混凝土温度稳定在正温  $13^{\circ}\text{C} \sim 8^{\circ}\text{C}$ ，混凝土试件 28d 强度是标准养护正温骨料试件的 1.17~1.14 倍，抗渗标号均大于 S8(0.8MPa)，结论是骨料(无冰雪)温度为  $-8^{\circ}\text{C}$  时，采用热水拌和，只要在混凝土出机时稳定于  $0^{\circ}\text{C}$  以上，混凝土的品质就可以得到保证。

9.2.4 基本按原标准内容未变。

9.2.5 原条文对混凝土、岩石基础加热，要求加热深度不小于 10cm，此条执行起来不好操作，根据桓仁工程研究成果，改为“以浇筑仓面边角(最冷处)表面测温为正温( $>0^{\circ}\text{C}$ )为准。”实际经验认为只要表面温度大于  $0^{\circ}\text{C}$ ，10cm 深度能达到正温的要求，本标准将原条文和桓仁工程经验结合采用。

9.2.6 原文未变。

9.2.7 基本内容未变动，仅将“防止与地基接触的混凝土遭受冻害和地基受冻变形”简化为“确保地基不能受冻。”

## 9.3 施工方法、保温措施

9.3.1 此条对原标准进行了以下补充：

1 明确了各地区的低温季节施工方法，根据桓仁、白山工程经验将原标准中蓄

热法的气温标准降低  $5^{\circ}\text{C}$ ，允许日平均气温  $-10^{\circ}\text{C}$  以上采用蓄热法施工。

## 2 增加了综合蓄热法施工的内容。

严寒和寒冷地区风沙大的地方不适用暖棚法，可采用保温被覆盖下设供热设备的方法。此经验来自龙羊峡工程，低温季节施工风大不易搭设保温暖棚，他们就采取了搭简易防风棚，浇筑完成后立即在混凝土上铺塑料隔水层、设置供热暖气管、上盖保温被，以代替暖棚法。

特别严寒地区是指青、藏高原和黑龙江漠河一带等年温差大于  $42^{\circ}\text{C}$  的地区，由于缺少这些地区低温季节施工调查资料，所以提出要认真研究施工方法的意见。

本条增加的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散失，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。一般综合蓄热法分高、低蓄热法两种养护方法，高蓄热养护过程，主要以短时加热为主，使混凝土在养护期间达到要求的受荷强度；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方主，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。在十三陵抽水蓄能电站的冬季施工中，上池边坡加固工程混凝土  $2.6\text{万m}^3$ ，在  $-16^{\circ}\text{C}$  的气温下，掺用 3%MRT 复合防冻剂，采用综合蓄热法获得成功。

3 介绍的各种低温季节施工方法的选定，可依据当地多年气温资料或预计  $10\text{d}\sim 15\text{d}$  日平均气温来决定。

4 特别提出经济合理的低温季节施工的温度范围：日平均气温  $5^{\circ}\text{C}\sim -20^{\circ}\text{C}$  之间。从理论上讲只要供热保温符合要求，在任何负温条件下，都可以进行混凝土施工。但比较经济的还是施工期平均气温在  $-20^{\circ}\text{C}$  之内。根据桓仁、白山、红石水电工程经验，日平均气温低于  $-20^{\circ}\text{C}$  时，施工设备、建筑材料及施工各环节出现问题的机率成倍增加。比如：暖棚法、电热法或蒸汽法在低于  $-20^{\circ}\text{C}$  条件下施工，供热管的接头、运料皮带、电器开关出毛病机率增加，施工人员的劳动生产率也将大大降低。要坚持在此条件下施工，增加人力物力将使成本造价提高。提出经济合理的施工温度范围是根据当前水利水电工程施工企业通常使用的设备、建材及施工工艺水平提出的。

根据水利水电工程的经验并参考建筑行业综合蓄热法的标准，综合蓄热法适用于日平均  $-10^{\circ}\text{C}$  或最低气温  $-15^{\circ}\text{C}$  以上，防冻外加剂掺量应按预计浇筑后  $5\text{d}\sim 7\text{d}$  的最低气温选择。

JGJ104—1997《建筑工程冬期施工规程》中有混凝土蓄热法和综合蓄热法养护规定，以下列出供参阅：

当室外最低温度不低于  $-15^{\circ}\text{C}$  时，地面以下的工程，或表面系数  $M$  不大于 5 的结构，应优先采用蓄热法养护。

当采用蓄热法不能满足要求时，应选用综合蓄热法养护。当围护层的总传热系数与结构表面系数的乘积 $KM$ 在  $50\text{kJ} / (\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot \text{K}) \sim 200\text{kJ} / (\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ 的范围时，应符合下列公式要求：

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

(6)

式中  $T_{\text{m,a}}$ ——冷却期间平均气温，且不应低于  $-12^{\circ}\text{C}$ ；

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

$$K \text{——围护层的总传热系数，} \text{kJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K});$$

$a, b$ ——系数，宜按表 18 采用。

表 18      系数  $a、b$  值

水泥用量 kg/m <sup>3</sup>	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
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

综合蓄热法施工应选用早强剂或早强防冻复合型外加剂，并应具有减水、引气作用。

**9.3.2**      基本内容未变。在严寒和寒冷地区施工中注明了“蓄热法不宜低于  $5^{\circ}\text{C}$ ”，增加了“暖棚法不宜低于  $3^{\circ}\text{C}$ ”的要求。

**9.3.3~9.3.6**      原文基本未变。

**9.3.7**      原文未变。

**9.3.8**      基本内容未变。

**9.3.9**      基本内容未变，仅将“新老混凝土的接合处和易受冻的边角部分应加强保温”具体明确为“保温层厚度应是其他面保温层厚度的 2 倍，保温层搭接长度不应少于 30cm”。这是根据北方水电工程经验和建工标准内容编写的。

**9.3.10**      即原标准第 6.0.25 条内容。

**9.3.11** 此为新增条文，强调外观质量检查的重要性。增加了可以用成熟度法计算混凝土早期强度的内容。低温季节施工养护的混凝土由于养护温度是变化的，要想了解混凝土的温度很不方便，成熟度法就解决了不需混凝土试块只要测得养护温度和龄期，计算出成熟度就可以查出或计算出混凝土强度。此法特别适用于早期强度，各国标准中在冬期施工都给予了承认，本次修编也将成熟度法引进施工标准。

本标准引进成熟度方法主要参考建工系统冬季施工规程。 $N = \sum (T + 15)t$  是建工系统北京市建工局组织 6 个施工单位、一个研究所经三年多的试验研究得出的结果，并由建设部组织了部级鉴定通过，而且在北京市已经七、八年应用，误差较小，专家建议采用。

水工系统早在 20 世纪 60 年代就研究过成熟度，也曾提出自己的成熟度公式，普通水泥为  $\sum (T + 5)t$ ，矿渣水泥为  $\sum (T + 8)t$ ，从 70 年代以来水工系统没有更深入地根据水泥的发展情况进行总结研究，要在本标准中列出 60 年代的成果显然不合适。由于建筑业的发展，建工也有大体积混凝土冬季施工，现在水工和建工在低温季节施工方面采用的材料、技术、施工方法越来越近，但是，我们采用建工的成果仍要在实践中给予检验。

## 9.4 温 度 观 测

**9.4.1** 施工期间的温度检测必须高度注意，它是质量控制的重要内容之一。本条根据在建工程的实际要求规定了应检测的项目内容和频率以及检测时应注意的事项。

**9.4.2** 大体积混凝土内部的最高温升多出现在浇筑后的 3 天左右。因而，本条规定了浇筑后三天的测温要求。

**9.4.3** 当出现气温骤降和寒潮时，本条强调了要增加检测次数，具体应根据实际情况安排加密测量次数。

# 10 预埋件施工

## 10.1 一 般 规 定

**10.1.1** 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。它是建筑物的组成部分，起着特定的作用，在建筑施工中占有重要的位置。

水工混凝土预埋件种类很多，一般按其作用分为土建、金属结构、机电设备的埋件等三大类。

本标准包涵了这三种预埋件在二期混凝土中的施工安装。

**10.1.2** 水工混凝土预埋件种类多、数量大、延续时间长(几乎是从基础到坝顶)，而且均为隐蔽工程，所以规定材料品种、规格性能必须持有出厂合格证并符合有关的标准；预埋件

的结构、尺寸及埋设位置，必须符合设计要求，如要代用，必须经过批准。

**10.1.3** 预埋件一般都是事先加工，为避免锈蚀、变形或者丢失，不要露天堆存，特别是内部观测仪器，怕震、怕潮、怕碰伤，应在库房存放，由专人管理，专人领用。

**10.1.4** 预埋件在埋入混凝土的过程中，受施工影响易发生碰撞位移、变形甚至损坏，加之预埋件均为隐蔽工程，不易发现问题，有了问题处理比较困难，所以，要求在埋入过程中必须派人值班守护。为保证预埋件可靠工作，周围混凝土必须加强振捣，剔除大于 40mm 以上的骨料。

## **10.2 止水、伸缩缝、排水**

### **10.2.1 止水片(带)加工与安装**

1 文理已明。

2 铜止水片的止水，除埋设质量外，还应确保接头连接质量。现场连接铜止水片的方法有搭接、对接等，经过调查和比较推荐搭接双面氧焊。通过试验，接头处经过高温烧烤、熔化，材质发生了变化(变硬、变脆)，抗拉时断口均在接头两侧一定的范围内，所以规定搭接宽度应大于 20mm，这是最低限制。

在工厂加工接头，推荐钨极氩弧焊。

如能保证接头焊接质量，也可采用对接焊接，但禁止采用手工电弧焊。

3 铜止水片接头除检查外观还应作渗漏检查，在工厂加工的接头，应抽样(不少于 20%)检验；为确保接头现场焊接质量，应逐个检验。一般采用煤油滴在焊缝上，另一侧洒上粉笔灰的方法检验。

4 在施工前都应该考虑可靠的不变形、不移位的措施。此条规定的中心误差是指相对误差，更主要的是模板固定牢靠不变位。

“鼻子”空腔内的塑性材料种类较多，填满即可。三峡工程采用预制的沥青麻绳，使用方便。

5 在 PVC(或橡胶)止水带使用前，因保管不当、曝晒、油浸等发生变形或撕裂的都不能使用。

6 止水带的连接推荐对接焊接，可用电热焊或热粘接。此两种方法均可达到要求，但关键要严格按照焊接工艺和焊接参数施焊。橡胶止水带推荐硫化热粘合，PVC 止水带推荐电热焊。

接头内不得有气泡、夹渣，特别不得有假焊，因为在实际工作中，检查焊缝表面还好，但撕开一点，有时出现里面根本未焊牢，是首先破坏、渗漏的通道。

7 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，必须定一个量的指标，根据其他工程的技术标准(如二滩工程)提出不低于母材 75%的抗拉强度。

8 异形接头中,两种不同材料(铜止水片和 PVC 止水带)的连接比较困难,是很难保证质量的部位,根据实际工程施工经验的积累,有用螺栓连接或铆接,搭接部分有用热粘或冷粘。本标准推荐螺栓栓接法(俗称“塑料包紫铜”),如葛洲坝、天生桥及巴西的辛戈(Xingo)坝等均采用螺栓连接。

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。

9 其理由同 4。

10 如无法避免在止水片(带)附近形成水平施工缝,一般采取图 1 之形式把止水片(带)浇入或留出。

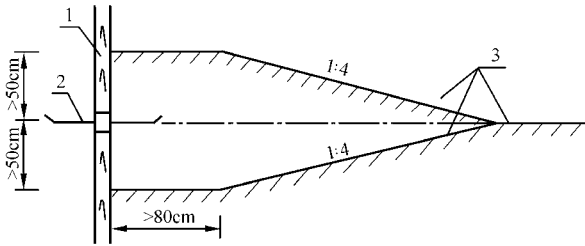


图 1 止水片(带)浇入或留出形式

1—模板; 2—止水片(带); 3—施工缝

### 10.2.2 止水基座施工

1 接缝止水基座应该是坝体的一部分,所以基座内基础应与建基面要求一样,甚至更高。此部位面积不大,但结构、施工较复杂,必须严格按设计要求施工,并随时检查验收。

2 止水槽、止水堤(埂)是坝基坡面止水的两种形式。有着与 1 款一样的质量要求,而且施工时有其特别的要求,应该认真做好。

### 10.2.3 沥青止水井制作和安装

1 沥青井内填料性能与井深、坝址区气温、运行温度、接缝变形状况等均有影响,还要求与混凝土壁的粘接强度以及填料本身的耐久性等,所以要求对材料、填料配合比进行试验。当采用代用材料时应进行配合后的填料的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,以后加灌、补充的填料也应一致。

2 预制的沥青井止水填料柱,可以减少对环境的污染和避免烫伤,也减轻工人劳动强度,可以推荐。

3 文理已明。

4 由于以往沥青井形成后都未加热熔化,工程不出问题,也不加热熔化,失去

了设置沥青井的意义。因此规定沥青井全部形成后应加热熔化一次，一方面检查埋件质量、加热效果；一方面补灌填料，详细记录各项资料，将是工程验收时沥青井运用与管理的最基础的资料。

**10.2.4** 文理已明。

**10.2.5** 排水设施施工

1 在实际工程中，由于排水孔先于帷幕灌浆施工，而导致排水孔堵塞的发生，所以规定必须在帷幕灌浆后再钻排水孔。

2 随着采用先进的钻孔机具和操作人员熟练程度的提高，钻孔精度要求比原来略有提高。

3~7 文理已明。

### **10.3 冷却、接缝灌浆管路施工**

**10.3.1** 文理已明。

**10.3.2** 管子的接头推荐丝扣连接，尽管加工工作量大，施工复杂，成本高，从保证混凝土质量角度，还是值得的，不得绑扎。

其他文理已明。

**10.3.3~10.3.6** 文理已明。

**10.3.7** 由于冷却、灌浆的进出管路多，又很集中，排列又无规律，造成了应用时很多困难，所以，要求不但要详细记录、挂牌，还要求绘图说明。

### **10.4 铁 件**

**10.4.1** 由于预埋铁件虽然构件小，但数量多，品种多，必须事先做好充分的准备工作，既不能漏埋，也不能埋错(构件或位置)，这是保证埋件质量的基础，必须做好。

**10.4.2** 文理已明。

**10.4.3~10.4.5** 由于预埋铁件的品种多，用途不一，安装精度应符合有关标准的规定，如水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范(SLJ201—1980、DLJ201—1980，1983年11月)。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** 文理已明。

**10.4.7** 用于起重运输的吊钩或铁环，应绝对保证安全，所以要经计算确定。必要时应作荷载试验。并按计算结果设置，不得变更。

**10.4.8** 文理已明。

### **10.5 内部观测仪器**

**10.5.1** 文理已明。

**10.5.2** 内部观测仪器埋设前的率定或检验，是必不可少的一道重要工序，它是计算成果的基础，必须按 SDJ336—1989 进行。

**10.5.3** 内观仪器是隐蔽工程，埋入后主要通过电缆来观测、检查仪器运用状况，所以电缆是仪器安全运行的生命线，应使用专用电缆，用专用的硫化仪连接电缆，并保证电缆接头的质量。

**10.5.4~10.5.5** 内观仪器埋设过程中应按规定的要求做，这是几十年施工实践中总结的经验。

**10.5.6** 观测仪器埋设安装的偏差，应按设计要求从严控制，也可参照二滩水电工程技术规范中有关条文执行，见表 19。

表 19 观测仪器埋设允许偏差

序号	仪器埋设件	测量位置	允许偏差 mm		方向精度
			水平向		垂直向
1	应变计组	几何图形中心点	±50	±50	
2	无应力应变计	圆锥筒中心	±50	±50	
3	压应力应变计	圆盘中心点	±50	±50	
4	测缝计	仪器中心点	±30	±10	
5	渗压计	仪器中心点	±50	±30	
6	温度计	仪器中心点	±50	±50	
7	多点变位计	传感器中心点	±100	±50	钻孔倾角小于 1°
8	弦矢导线测量点	测量点中心	±5	±5	水平
9	倾斜仪	预埋螺栓	±5	±5	

**10.5.7~10.5.8** 文理已明。

## 11 质量控制与检查

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 本条说明混凝土质量控制的过程是通过对混凝土生产和施工各工序的质量检测，并按要求进行有效地控制，以保证混凝土的施工质量。



**11.1.2** 质量数据统计分析是质量控制的基础。因此，本条增加了应对各工序取得的质量数据(包括对材料的质量检测结果，生产过程中工序生产工艺参数，产品质量参数等)进行统计分析，并遵循升级循环的原则，根据质量动态及时制定改进与提高的措施。

**11.1.3** 由于质量管理和足够的资源配置是混凝土质量的基本保证。因此，本条增加了质量管理和资源配置方面的要求。

## **11.2 原材料的质量控制**

**11.2.1~11.2.5** 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。在混凝土拌制生产过程中，仍应对各种原材料的易波动的指标进行检验，以掌握其变化状况，在必要时调整配合比参数，以保证混凝土质量。因此本条对混凝土拌和与生产中所使用的原材料应重点检测的项目、频率和注意事项作了规定。

## **11.3 混凝土拌和与混凝土拌和物的质量控制**

**11.3.1** 明确了混凝土配合比设计应充分论证并通过审查。施工单位的混凝土施工配合比必须通过试验并经审批，同时对施工配合比的签发程序及执行作了明确规定。

**11.3.2** 混凝土拌和楼配料称量必须保证达到称量精度的要求，其决定条件是计量器具的准确程度，因而对检测制度作了规定。除正常的定期检测外，当混凝土和易性异常或其他情况出现对计量有怀疑时，应及时检测，必要时用砝码校验。

**11.3.3** 文理已明。

**11.3.4** 混凝土拌和生产的称量系统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。但试验和检查人员不能放松检查，每 8h 的检查记录应不少于 3 次。

**11.3.5** 国家标准对混凝土拌和时原材料称量的允许误差，对水泥、水、外加剂、掺和料规定为 2%，骨料为 3%，这项规定主要用于工民建，根据水工建筑物混凝土工程量大、混凝土拌和系统自动化和精度均较高，因而仍维持原标准的 1% 和 2% 两级的允许误差。

**11.3.6** 文理已明。

**11.3.7** 检查混凝土均匀性时，应在拌和机卸料过程中，从卸料流中约在 1 / 4 和 3 / 4 的部位抽取试样进行试验，其检测结果应符合下列规定：

- 1 混凝土中砂浆密度的两次测值的相对误差不应大于 0.8%。
- 2 单位体积混凝土中粗骨料含量两次测值的相对误差不应大于 5%。

**11.3.8** 文理已明。

**11.3.9** 混凝土抗冻融性能，在一定程度上，主要决定于混凝土的含气量。因而在混凝土拌和和生产中，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 $\pm 1\%$ 。举例如 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%。

**11.3.10** 文理已明。

**11.3.11** 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，在施工中必须加强控制，对水胶比的测试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)，可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 $\pm(0.02\sim 0.03)$ ，在较小水胶比时按 0.02，较大水胶比时按 0.03 进行控制。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。

## **11.4 浇筑质量检查与控制**

**11.4.1** 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 SDJ249.1—1988 的要求检验合格。当有交叉工序时，亦应按相关标准检验合格，并取得开仓浇筑许可证。

**11.4.2** 为保证混凝土浇筑质量，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，当发现异常(如拌和不匀、坍落度过大或过小等)，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严禁入仓，已入仓的也要挖除。

**11.4.3** 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。同时，应认真做好检查记录，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、块体的浇筑顺序、浇筑起迄时间，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。
- 4 混凝土试件的试验结果及其分析。
- 5 混凝土裂缝的部位、长度、宽度、深度、发现日期及发展情况。

**11.4.4** 文理已明。

## **11.5 强度检验与评定**

**11.5.1** 水工混凝土的技术指标要求较多，如抗压、抗渗、抗冻、极限拉伸值以及抗冲耐

磨、抗侵蚀等，在混凝土配合比设计阶段，必须通过试验论证达到要求指标，确定施工配合比。SL / T191—1996《水工混凝土结构设计规范》把立方体抗压强度标准值作为其他力学指标的基本代表值。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** GBJ107—1987《混凝土强度检验评定标准》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特点，混凝土输送距离较短、混凝土输送设备多种多样，故仍以机口取样为主，浇筑地点取样应不少于机口取样数量的 1 / 10，强度评定时，浇筑地点和机口的抽样试件强度具有同等效力。

目前各国对每组混凝土试件数量规定不一，有的规定每组 2 个试件，也有的规定每组 1 个试件。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。由于试验误差每组 3 个试件的强度并不相同，试验误差可用盘内变异系数衡量。国内外试验结果表明，盘内变异系数一般在不应大于 5%。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，但取中间值应用方便。

**11.5.3** 混凝土的取样频率是保证预期检验效果的重要因素，为此本条充分考虑水工混凝土量大的特点，规定了抽取试样的频率。

**11.5.4** 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。

**11.5.5** 文理已明。

**11.5.6** 大中型水电工程的混凝土工程量巨大，工期长达几年，这种工程均设有大型的混凝土拌和系统。所使用原材料质量相对比较稳定，具备较好的生产条件。因而，除开工的初期，均采用标准差已知的设计方法来评定混凝土强度。

标准差统计一般均以一个月为一个统计周期，只是一些零星少量的工程部位，在一个月时间内统计组数  $n$  值达不到 30，这种情况可以 3 个月为一个统计周期。

依据统计计算的标准差  $\sigma$  值来评定混凝土生产质量水平，并在必要时调整混凝土配制强度，即进行动态控制。

混凝土强度的评定，系参考 ACI214—1977《混凝土强度试验结果评定推荐方法》，该标准系 1989 年重新批准。据最近的检索，该标准仍在执行中，未有修订。

对于任何设计，其需要的平均强度可根据使用的标准差  $\sigma$  由下式计算：

$$f_{cr} = f'_c + t \sigma \quad (7)$$

如果标准中牵扯到  $n$  次试验的平均值，则公式为

$$f_{cr} = f'_c + \frac{t \sigma}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

式中  $f_{cr}$ ——需要的平均强度；  
 $f'_c$ ——规定的设计强度；  
 $t$ ——概率度；  
 $\sigma$ ——标准差的预测值。

把式(8)中的  $\frac{1}{\sqrt{n}}$  作为常数  $K$ ，则式(8)变为

$$f_{cr} = f'_c + Kt \sigma \quad (9)$$

$K$  值大于 5 时，按区间划分，取其中值，构成表 11.5.6 的合格判定系数  $K$  值表。

对于同一工厂出来的，满足同一性能，即使用的原材料相同，混凝土强度等级、级配、配合比相同的混凝土，则可使用  $\sigma$  的近似值以式(9)来确定需要的平均强度。

混凝土的强度评定，除验收批的强度平均值应满足(11.5.6-1)式外，对该验收批  $n$  组试件中的最小值( $f_{cu,min}$ )应同时满足下列要求，即小于和等于 C<sub>90</sub>20 的混凝土的  $f_{cu,min}$  值应大于或等于  $0.85f_{cu,k}$ ；大于 C<sub>90</sub>20 的混凝土的  $f_{cu,min}$  值应大于或等于  $0.90f_{cu,k}$ 。

当验收批的平均强度的各组中的最小值都满足了要求时，评为合格。即强度验收实施双控标准。

#### 11.5.7~11.5.8 文理已明。

**11.5.9** 混凝土抗冻抗渗的要求指标，应在混凝土设计中予以保证。但在施工过程中进行检验是必要的。虽然混凝土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。因此抽样检验发现问题，应及时查找原因，认真处理。原标准未提合格控制的要求，现参照 SL211—1998《水工建筑物抗冻设计规范》提出了合格率控制指标要求。其和混凝土抗压强度控制指标基本相同，这是保证混凝土耐久性的需要。

**11.5.10** 为确保混凝土质量，本标准要求施工单位定期统计混凝土强度的有关重要参数变异状况。对混凝土质量进行控制，也是混凝土配合比设计时，采用标准差的依据。附录 A 给出了本标准的混凝土生产质量水平的评定指标，作为考核混凝土生产单位在一个统计周期内混凝土生产的管理和质量水平。

**11.5.11** 混凝土的质量水平，一般可用其强度均值和标准差描述，评定一批混凝土的强度质量时，不可能采用全数的破坏性试验，只能从检验批的总体中，随机抽取若干组试件进行破型试验，并以此试验结果来推断总体的质量状况。根据抽样统计理论，试样的统计参数与总体的统计参数之间的关系，有一定的规律可循。因此，在合格性控制上采用统计方法能

较好地反映验收批的质量状况，是实行质量管理的一个组成内容。混凝土结构的可靠度与混凝土强度的变异程度有关，混凝土强度变异程度能综合地反映混凝土生产单位的质量管理水平。根据对全国混凝土强度的调查结果表明，质量管理水平越高，反映强度变异的强度标准差越小。表 11.5.11 划分了四个不同的质量水平，这些档次的划分反映了推行全面质量管理体系，是管理水平的综合反映。

表 20 汇入了三峡二期工程截止 1999 年 6 月前及五强溪和乌江渡水电站混凝土的试验统计资料，可以看出当实测强度在 25MPa 以上时，强度标准差在 4MPa~5MPa 之间，变化较小。

表 20      实测混凝土抗压强度与均匀性统计

实测强度范围 MPa	长江三峡工程				五强溪工程		乌江渡工程	
	28d		90d		28d		28d	
	$\sigma$	$C_v$	$\sigma$	$C_v$	$\sigma$	$C_v$	$\sigma$	$C_v$
15~20	2.97	0.150			3.5	0.189	3.44	0.195
20~25	3.11	0.135			4.03	0.185	3.74	0.165
25~30	3.93	0.135	4.75	0.173	4.61	0.176	4.59	0.173
30~35	4.10	0.126	4.64	0.141	5.09	0.148	4.43	0.138
35~40	6.1	0.168	4.80	0.126				
40~45			4.74	0.111	5.39	0.131		
45~50			4.53	0.11				

混凝土强度标准差与混凝土强度平均值的关系，根据调查结果表明，当平均值小于 30MPa 时，标准差与均值有明显关系，即随均值的增大，标准差按对数关系递增。当均值大于和等于 30MPa 时，标准差随均值增大而递增的关系不明显。综合考虑目前实际情况提出了表 11.5. 11，给出了衡量混凝土质量水平的标准差指标。

混凝土强度等于和大于规定强度等级的百分率，即常称的合格率，是按强度分布规律确定的。统计数据说明当统计组数 $n$ 值足够大时(如 $n>30$ )，保证率 $P$ 和合格率 $P_s$ (即强度不低于规定强度等级的百分率)两者的结果相近。因而，为便于现场混凝土质量控制的计算，在表 11.5.11 中把 $P_s$ 列为衡量管理生产水平的指标之一，以避免出现标准差达到优良而合格率或保证率却很低时，误评为较高水平。

当采用标准差已知统计法评定混凝土强度时，其验收批的强度标准差  $\sigma_0$  使用时间可按一个季度考虑。即第一季度统计计算的同类混凝土强度标准差  $\sigma_0$  在第二季度使用；三、四季度以此类推。对具备采用标准差已知统计法条件的一般单位，混凝土验收批的标准差  $\sigma$

$\sigma_0$ 使用时间可按一个月考虑。即用前三个月同类混凝土强度计算所得的标准差( $\sigma_0$ )在本月计算验收界限使用。例如,由1~3月强度数据计算出的 $\sigma_0$ ,4月份使用;由2~4月的强度数据计算出的 $\sigma_0$ ,为5月份使用,……以此类推。

**11.5.12** 国内外研究表明,混凝土强度的试验系统的误差,可以采用同盘内混凝土试件强度的变异系数来衡量。混凝土抽取试样后,在拌和盘内人工拌匀,分装三个试件,养护至龄期破型检验,三个试件强度产生的误差,称为盘内试验误差。表达这种试验误差多采用盘内变异系数 $\delta_b$ 表示。盘内变异系数对于不同强度等级的混凝土,其值基本稳定。试验系统的误差,包含在现场抽检试件强度标准差的范围内,过大的试验误差会干扰和影响现场试件强度标准差统计的可信度,因而必须努力提高试验精度,减小试验误差。因此,本标准把混凝土强度的盘内变异系数 $\delta_b$ 作为考核试验室试验管理水平的综合指标,评定指标列入附录A并规定在一般情况下不大于5%。三峡总公司试验中心对1999年上半年自身试验系统的误差和对西北院、长江委、华东院各监理中心成型的试件,送试验中心破型的数据,进行的试验系统的误差统计结果并把乌江渡电站施工期间的现场和室内试验的设计资料一并列入表21。可以看出,只要严格遵守操作规程可以达到较高试验水平。

表 21 1999 年上半年试验误差统计

		时 间	组 数	$\delta_b$
		1999 年 1~2	81	0.039
三峡总公司试验中心	室内成型混凝土抗压试验	3	111	0.039
		4	164	0.030
		5	142	0.040
		6	75	0.044
	外业抽检的混凝土抗压试验	1999 年 1~6	144	0.040
	水泥抗压试验	1~6	90	0.045
	水泥抗折试验	1~6	90	0.046
监理送样混凝土抗压试验	华 东 院	1999 年 1~6	51	0.038
	西 北 院	1999 年 1~2	50	0.042
		3~4	37	0.040
		5~6	62	0.044
	长 江 委	1999 年 1~2	108	0.042
		3~4	189	0.037
		5~6	65	0.036
水电八局乌江渡试验室	室混凝土成型抗压试验	1997 年	592	0.048
		78	445	0.037
		79	481	0.034
		80	788	0.036
		81	301	0.038

	左岸混凝土系统	1997 年	528	0.051
		78	1103	0.041
		79	936	0.042
		80	1135	0.046
		81	770	0.040
	右岸混凝土系统	1997 年	378	0.047
		78	786	0.036
		79	662	0.034
		80	365	0.038
		81	347	0.031

**11.5.13** 文理已明。

**11.5.14** 原施工标准规定，对已建成的混凝土建筑物，是否需要钻孔取样、压水试验，应由设计、施工等单位共同研究决定。本标准规定，应适量地钻孔取芯和压水试验，并按一定比例进行，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机口或浇筑地点抽样成型的试件，是代表混凝土拌和物的质量，但混凝土施工的下料、平仓、振捣、泌水排除及层面处理和控制均未包含在内。而这些工序作业的严谨程度，对混凝土的质量有重要影响，建成的混凝土建筑物的质量要依靠钻孔取出芯样的检验及压水试验成果最后作出判定，因而被列为必测项目。具体取样数量一般混凝土总量较大时取小值，混凝土总量较小时取大值。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。