

江苏省地方标准

DB32/T 2333-2013

水利工程混凝土耐久性技术规范

Technical specification for durability on concrete
of hydraulic engineering

2013-05-30 发布

2013-07-30 实施

江苏省质量技术监督局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总则 3

 4.1 一般规定 3

 4.2 设计使用年限 3

 4.3 环境作用等级 4

5 设计要求 5

 5.1 一般规定 5

 5.2 混凝土强度 5

 5.3 混凝土耐久性指标 6

 5.4 混凝土结构构造 7

 5.5 耐久性附加措施 8

6 施工要求 8

 6.1 一般规定 8

 6.2 原材料 8

 6.2.1 胶凝材料 8

 6.2.2 骨料 9

 6.2.3 外加剂 9

 6.2.4 水 9

 6.3 混凝土配合比 10

 6.4 混凝土施工 11

 6.4.1 模板制作安装 11

 6.4.2 混凝土保护层 12

 6.4.3 混凝土制备 12

 6.4.4 混凝土浇筑 12

 6.4.5 混凝土养护 12

 6.4.6 混凝土温度控制 13

 6.5 混凝土缺陷处理 13

7 检验评价 13

 7.1 检验 13

 7.2 评价 13

8 运行检测维修 14

 8.1 运行 14

 8.2 检测 14

 8.3 维修 14

前 言

江苏省地处江淮，滨临黄海，属亚热带向暖温带过渡地区，气温正负交替频繁，水环境复杂，水利工程混凝土受碳化、氯离子侵蚀、冻融侵蚀、化学侵蚀等劣化作用影响日益显现。

为提高水利工程混凝土耐久性，规范混凝土耐久性技术工作，参照国内相关标准，编制《水利工程混凝土耐久性技术规范》，规定了设计、施工、运行等阶段混凝土耐久性技术要求。

本规范依据 GB/T 1.1--2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》编制。

本规范附录 A 为规范性附录。

本规范由江苏省水利厅提出并归口。

本规范起草单位：江苏省水利科学研究院，江苏省水利工程质量监督中心站，南京水利科学研究院，江苏省水利勘测设计研究院有限公司，江苏省水利建设工程有限公司，江苏省江都水利工程管理处。

本规范主要起草人：朱炳喜，顾文菊，王珍兰，梅国兴，肖志远，张福贵，章新苏，刘伟宝，翟高明，姚文泉，黄根民，蔡一平，王小勇，陆明志。

本规范主要统稿人：朱炳喜，周金山。

本规范主要审稿人：樊志远，黄海田，吴忠，周金山，王朝俊，赵立华，张利昕。

本规范由江苏省水利工程质量监督中心站负责解释。

水利工程混凝土耐久性技术规范

1 范围

本规范规定了水利工程设计、施工、运行等阶段混凝土在碳化、冻融、氯化物、化学侵蚀等环境作用下的耐久性技术要求。

本规范适用于江苏省行政区域内大型、中型和小（1）型水利工程。其他小型水利工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- GB 50496 大体积混凝土施工规范
- GB/T 14902 预拌混凝土
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- GB/T 21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维
- GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范
- GB/T 50733 预防混凝土碱骨料反应技术规范
- SL 27 水闸施工规范
- SL 75 水闸技术管理规程
- SL 176 水利水电工程施工质量检验与评定规程
- SL 191 水工混凝土结构设计规范
- SL 214 水闸安全鉴定规程
- SL 234 泵站施工规范
- SL 255 泵站技术管理规程
- SL 316 泵站安全鉴定规程

SL 352 水工混凝土试验规程

DL/T 5144 水工混凝土施工规范

DL/T 5207 水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范

JGJ/T 259 混凝土结构耐久性修复与防护技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

环境条件 environmental condition

直接与混凝土表面接触的周围环境。

3.2

环境作用 environmental action

温度、湿度及其变化以及二氧化碳、氧、盐、酸等环境因素对结构的作用[GB/T 50476]。

3.3

环境类别 environmental type

按不同环境条件对钢筋和混凝土的腐蚀作用机理所进行的环境分类。

3.4

环境作用等级 environmental action grade

每一环境类别下，不同的环境条件对混凝土腐蚀作用的程度。

3.5

耐久性 durability

混凝土在正常使用和维护条件下，随时间变化而仍能满足预定功能要求的能力。

3.6

设计使用年限 design working life

作为结构耐久性设计的依据并具有足够安全裕度或保证率的目标使用年限。

3.7

胶凝材料 cementitious material

混凝土中水泥和粉煤灰、矿渣粉、硅灰等矿物掺合料的总称。

3.8

掺合料掺量 admixture concent

掺合料质量与胶凝材料质量的百分比。

3.9

大掺量矿物掺合料混凝土 concrete with high volume supplementary cementitious materials

胶凝材料中含有较大比例的粉煤灰、矿渣粉、硅灰等矿物掺合料，需要采取较低的水胶比和特殊施工措施的混凝土。

3.10

钢筋的混凝土保护层 concrete cover to reinforcement

从混凝土表面到钢筋（包括受力钢筋、箍筋、构造钢筋）外边缘的距离；对后张法预应力筋，为混凝土表面到套管或孔道外边缘的距离。

3.11

耐久性附加措施 additional protective measures

在改善混凝土密实性、增加保护层厚度等常规手段的基础上，为进一步提高混凝土耐久性所采取的混凝土表面涂层、防腐蚀面层、表面浸渍、透水衬里模板和钢筋阻锈剂等补充措施。

3.12

透水衬里模板 controlled permeability formwork

内侧设置专用织物，以排出混凝土表面的多余水分和裹入的气泡并保湿，可提高表层混凝土密实性的专用模板。

4 总则

4.1 一般规定

4.1.1 混凝土耐久性包括抗碳化性能、抗冻性能、抗渗性能、抗氯离子渗透性能、抗化学侵蚀性能等。

4.1.2 设计应根据工程规模和重要性，论证、确定混凝土设计使用年限。依据所在地的气候、水质、土质等环境条件，确定所处的环境类别及其作用等级。

4.1.3 应根据设计使用年限、混凝土所处的环境类别及其作用等级进行耐久性设计，提出混凝土耐久性指标和结构构造、施工措施、检查维护等要求。

4.1.4 设计使用年限为 100 年的混凝土，应在初步设计阶段对混凝土耐久性进行试验和论证。

4.1.5 采用新材料、新技术和新工艺时，应验证其对混凝土耐久性的影响。

4.1.6 设计使用年限为 50 年及以上的工程，应在现场留置并保存好专供耐久性检测用的试件。

4.1.7 设计使用年限内应定期对混凝土耐久性进行检测评估。

4.1.8 混凝土耐久性除应符合本规范规定外，还应符合国家有关标准的规定。

4.2 设计使用年限

4.2.1 混凝土设计使用年限一般分为 100 年、50 年、30 年等 3 个级别。

4.2.2 新建工程的混凝土设计使用年限应按表 1 选用。

表 1 混凝土设计使用年限

工程规模	设计使用年限	设计使用年限级别
大型工程	100 年	1
中型工程	50 年	2
小（I）型工程	30 年	3

4.2.3 扩建、改建、加固工程的混凝土设计使用年限宜选择 30 年或 50 年。

4.2.4 混凝土设计使用年限如有调整，应进行论证。

4.3 环境作用等级

4.3.1 环境类别分为碳化环境（I）、冻融环境（II）、氯化物环境（III）、化学侵蚀环境（IV）等 4 类。

环境类别划分见表 2。

表 2 环境类别划分

环境类别	名称	腐蚀机理
I	碳化环境	混凝土碳化引起钢筋锈蚀
II	冻融环境	反复冻融循环导致混凝土损伤
III	氯化物环境	氯化物引起钢筋锈蚀
IV	化学侵蚀环境	硫酸盐、镁盐和酸类等化学物质对混凝土的腐蚀

4.3.2 环境作用程度分为轻微（A）、轻度（B）、中度（C）、严重（D）、非常严重（E）等 5 级。

4.3.3 环境作用等级分为 I-A、I-B、I-C、II-C、II-D、III-C、IV-C、III-D、IV-D、III-E、IV-E 等 11 个等级。碳化、冻融、氯化物等环境作用等级按表 3 确定，化学侵蚀环境作用等级按表 4 确定。

表 3 碳化、冻融、氯化物等环境作用等级

环境类别	环境条件	环境作用程度	环境作用等级	构件示例
I	长期位于水下或土中	A	I-A	底板、消力池、护坦、铺盖、灌注桩等所有表面均处于水下或土中的构件
	室内潮湿环境，非干湿交替的露天环境，长期湿润环境	B	I-B	泵站电机层等中高湿度环境中的室内混凝土，经常露出水面的底板，不受雨淋或偶尔与雨水接触的露天构件
	干湿交替环境	C	I-C	闸墩、胸墙、翼墙等处于水位变化区构件，排架、工作桥等频繁淋雨的构件
II	淡水水位变化区、浪溅区、大气区；氯化物环境中大气区	C	II-C	内河工程中的闸墩、胸墙、翼墙等；内河和沿海工程中的排架、工作桥等构件
	氯化物环境水位变化区、浪溅区	D	II-D	沿海工程中的闸墩、胸墙、翼墙等
III	长期在水下或土中（氯化物环境）	C	III-C	底板、灌注桩、沉井、地下连续墙等沿海水下构件
	海水水位变化区，轻度盐雾作用区	D	III-D	闸墩、翼墙、胸墙、排架、工作桥
	海水浪溅区，重度盐雾作用区	E	III-E	闸墩、翼墙、胸墙、排架、工作桥

注：轻度盐雾作用区指距平均水位 15m 以上的海上大气区或离涨潮岸线 50m~500m 的陆上室外环境。重度盐雾作用区指距平均水位 15m 以下的海上大气区或离涨潮岸线 50m 内的陆上室外环境。

表 4 化学侵蚀环境作用等级

环境类别	环境作用程度	环境作用等级	水中 SO_4^{2-} 含量 (mg/L)	土中 SO_4^{2-} 含量 (水溶值) (mg/kg)	水中 Mg^{2+} 含量 (mg/L)	水的 pH 值	水中 CO_2 含量 (mg/L)
IV	C	IV-C	$\geq 200, < 1000$	$\geq 300, < 1500$	$\geq 300, < 1000$	$\geq 5.5, < 6.5$	$\geq 15, < 30$
	D	IV-D	$\geq 1000, < 4000$	$\geq 1500, < 6000$	$\geq 1000, < 3000$	$\geq 4.5, < 5.5$	$\geq 30, < 60$
	E	IV-E	≥ 4000	≥ 6000	≥ 3000	< 4.5	≥ 60

4.3.4 当有多种化学物质共同侵蚀时，应取其中最高的环境作用等级作为设计环境作用等级；长期浸没于地表水或地下水中的混凝土，环境作用等级可降低 1 级，但不应低于 IV-C 级；当构件处于弱透水土体中时，土中 SO_4^{2-} 、水中 Mg^{2+} 、水的 pH 值、水中 CO_2 的环境作用等级可降低 1 级，但不应低于 IV-C 级。

5 设计要求

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土耐久性设计应包含下列内容：

- a) 混凝土设计使用年限；
- b) 混凝土所处的环境类别及其作用等级；
- c) 混凝土强度等级；
- d) 混凝土抗碳化、抗渗、抗冻等耐久性能指标要求；
- e) 结构构造要求；
- f) 混凝土原材料、配合比、浇筑、养护等施工要求；
- g) 混凝土裂缝控制要求；
- h) 混凝土防腐蚀附加措施；
- i) 运行期检查维护要求。

5.1.2 混凝土强度等级、耐久性能指标、结构构造等，应根据设计使用年限、环境作用等级进行设计。

5.1.3 当混凝土受到多种环境共同作用时，应满足各种环境作用等级下的耐久性要求。

5.1.4 受高速水流冲刷、磨损的混凝土，耐久性设计应符合 SL 191、DL/T 5207 的要求。受机械磨耗、碰撞的构件，设计应采取相应的措施。

5.1.5 混凝土耐久性设计应考虑发生碱骨料反应的可能性。

5.2 混凝土强度

5.2.1 混凝土强度应同时满足承载能力和设计使用年限的要求。

5.2.2 钢筋混凝土最低强度等级应符合表 5 的规定。

表 5 钢筋混凝土最低强度等级

环境作用等级	混凝土最低强度等级		
	100 年	50 年	30 年
I -A	C30	C25	C20
I -B	C35	C30	C25
I -C	C40	C35	C30
II -C	C _a 35	C _a 30	C _a 25
II -D	C _a 40	C _a 35	C _a 30
III -C	C35	C30	C25
IV -C	C40	C35	C30
III-D、IV-D	C45	C40	C35
III-E、IV-E	C50	C45	C40

注：带脚标“a”的表示引气混凝土。

5.2.3 素混凝土最低强度等级,碳化环境宜按表 5 的 I -A 环境作用等级确定;氯化物环境宜按表 5 的 III-C 环境作用等级确定;冻融环境、化学侵蚀环境宜按表 5 相应环境作用等级确定。

5.3 混凝土耐久性指标

5.3.1 混凝土抗碳化性能等级应符合表 6 的规定,长期处于水下或土中的混凝土抗碳化性能不作要求。

表 6 混凝土抗碳化性能等级

设计使用年限	抗碳化性能等级	对应试验碳化深度
100 年	T-IV	<10 mm
50 年	T-III	<20 mm
30 年	T-II	<30 mm

注：抗碳化性能等级参照 GB 50164 划分。

5.3.2 混凝土抗冻性能等级应不低于表 7 的规定。

表 7 混凝土抗冻性能等级

环境作用等级	环境条件	混凝土抗冻性能等级					
		江南地区		江淮地区		淮北地区	
		100 年	50 年	100 年	50 年	100 年	50 年
II -C	淡水和氯化物环境的大气区	F50	F50	F50	F50	F100	F50
	淡水环境浪溅区、水位变化区	F50	F50	F100	F50	F150	F100
II -D	氯化物环境浪溅区、水位变化区	-	-	F100	F50	F200	F100

5.3.3 混凝土抗渗性能等级应不低于表 8 的规定。环境作用等级为 IV-C 的混凝土抗渗性能等级不宜低于 W8，环境作用等级为 IV-D、IV-E 的混凝土抗渗性能等级不宜低于 W10。

表 8 混凝土抗渗性能等级

水力梯度 i	抗渗性能等级
$i < 10$	W4
$10 \leq i < 30$	W6
$30 \leq i < 50$	W8
$i \geq 50$	W10

5.3.4 混凝土抗氯离子渗透性能应符合表 9 的规定。

表 9 混凝土氯离子扩散系数

环境作用等级	84d 龄期氯离子扩散系数 (m^2/s)	
	100 年	50 年
III-D	$\leq 4.5 \times 10^{-12}$	$\leq 5.0 \times 10^{-12}$
III-E	$\leq 3.0 \times 10^{-12}$	$\leq 4.5 \times 10^{-12}$

5.4 混凝土结构构造

5.4.1 混凝土结构构造应符合 SL 191 的规定。

5.4.2 相应环境作用等级下基桩、底板、梁、柱、墩等构件钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合表 10 的规定。板、墙等薄壁构件混凝土保护层厚度可相应减少 5mm ~ 10mm。预制构件钢筋的混凝土保护层厚度可比现浇构件减小 5mm。

表 10 钢筋的混凝土保护层最小厚度

环境作用等级	保护层最小厚度 (mm)		
	100 年	50 年	30 年
I - A	55	50	45
I - B、I - C、II - C	50	45	40
II - D	60	55	50
III - C、IV - C	55	50	45
III - D、IV - D	60	55	50
III - E、IV - E	65	60	55

5.4.3 钢筋混凝土中钢筋布置应便于混凝土浇筑振捣。

5.4.4 混凝土构件表面形状和构造应有利于排水，避免水、汽和有害介质在混凝土表面积聚。

5.4.5 采用合适的结构构造和温度控制技术措施，提高混凝土抗裂性能。

5.4.6 钢筋混凝土构件的最大裂缝宽度计算值应符合 SL 191 的规定。

5.4.7 止水材料性能应与相应部位混凝土的设计使用年限和环境条件匹配。

5.4.8 设计应考虑运行阶段混凝土检测、维修、构件更换的构造设施。

5.5 耐久性附加措施

5.5.1 设计使用年限为 50 年及其以上的混凝土，可采取耐久性附加措施。

5.5.2 不同环境下混凝土耐久性附加措施可按表 11 选择。

表 11 混凝土耐久性附加措施

环境作用等级	耐久性附加措施				
	表面涂层	防腐蚀面层	表面浸渍	透水衬里模板	钢筋阻锈剂
I -C、II -C、III -C、IV -C	√	-	-	√	-
II -D、III -D	√	-	√	√	-
III -E	√	√	√	√	√
IV -D、IV -E	√	√	-	√	√

6 施工要求

6.1 一般规定

6.1.1 施工单位应编制混凝土耐久性质量控制施工方案。

6.1.2 根据结构型式、施工条件和原材料状况进行混凝土配合比设计，并应满足工作性能、力学性能、长期性能、耐久性能等要求。

6.1.3 抗裂要求较高的混凝土构件，应按 GB/T 50082 进行混凝土抗裂性能试验。

6.1.4 预拌混凝土质量应符合 GB/T 14902 的规定。

6.1.5 混凝土施工应符合 SL 27、SL 234、DL/T 5144 的规定。

6.2 原材料

6.2.1 胶凝材料

6.2.1.1 水泥应符合 GB 175 的规定，且宜符合表 12 的要求。

表 12 水泥技术要求

项目	技术要求
比表面积	300 m ² /kg ~ 350 m ² /kg
游离氧化钙含量	≤1.5%
熟料中铝酸三钙含量	≤5%（硫酸盐侵蚀的 IV -D、IV -E 环境作用等级）
	≤10%（III -C、III -D、III -E 环境作用等级）
	≤8%（其他环境作用等级）
碱含量（等效 Na ₂ O 当量）	≤0.8%
标准稠度用水量	≤28%

- 6.2.1.2 水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。配制大掺量矿物掺合料混凝土宜使用硅酸盐水泥。混凝土有温度控制要求时，不宜使用早强水泥。
- 6.2.1.3 处于氯化物环境和化学侵蚀环境中的混凝土，水泥中的混合材宜为矿渣或粉煤灰。
- 6.2.1.4 粉煤灰应符合 GB 1596 F 类 I 级、II 级灰的规定。冻融环境混凝土粉煤灰的烧失量应不大于 3.0%。
- 6.2.1.5 磨细矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定。混凝土有温度控制要求时，磨细矿渣粉的比表面积宜小于 $450\text{m}^2/\text{kg}$ 。
- 6.2.1.6 硅灰应符合 GB/T 18736 的规定。
- 6.2.1.7 散装水泥现场入罐温度不宜高于 65°C 。

6.2.2 骨料

- 6.2.2.1 骨料应符合 SL 27、SL 234、DL/T 5144 的规定。
- 6.2.2.2 应选用质地坚硬密实、颗粒级配连续、吸水率低、空隙率小的骨料。
- 6.2.2.3 细骨料宜选用细度模数 2.5~3.0 的天然河砂或人工砂，不应使用海砂。
- 6.2.2.4 粗骨料宜采用单粒级石子二级配或三级配混合配制。
- 6.2.2.5 钢筋混凝土中粗骨料最大粒径应不大于表 13 的规定。

表 13 钢筋混凝土中粗骨料最大粒径

单位：mm

环境作用等级	混凝土保护层厚度						
	25	30	35	40	45	50	≥ 55
I-A、I-B	20	25	25	31.5	31.5	31.5	40
I-C、II-C、II-D、IV-C、IV-D、IV-E	16	20	25	25	31.5	31.5	31.5
III-C、III-D、III-E	16	16	20	20	25	25	31.5

- 6.2.2.6 未经专门论证，不应使用碱活性骨料。
- ## 6.2.3 外加剂
- 6.2.3.1 外加剂应符合 GB 8076、GB 50119 的规定。外加剂的品种、掺量应经试验确定。
- 6.2.3.2 高效减水剂的减水率不宜小于 20%。设计使用年限为 100 年及以上的混凝土宜优先使用减水率不低于 25%的聚羧酸系高性能减水剂。减水剂的引气量不应大于 3.0%。
- 6.2.3.3 钢筋混凝土不应使用含有氯化物的早强剂和防冻剂。预应力混凝土不应使用含有亚硝酸盐、碳酸盐的防冻剂。
- 6.2.3.4 不同品种外加剂之间、外加剂与水泥及矿物掺合料之间应具有良好的相容性。
- ## 6.2.4 水
- 6.2.4.1 混凝土拌和与养护宜使用符合国家标准的生活饮用水。
- 6.2.4.2 使用地表水、地下水和其他类型水时，应对水质进行检验，检验结果应符合 DL/T 5144 的规定。

6.3 混凝土配合比

6.3.1 混凝土配合比应按照 SL 352 进行设计与试验验证。

6.3.2 坍落度 $\leq 160\text{mm}$ 的混凝土最大用水量不宜超过表 14 的规定。坍落度 $> 160\text{mm}$ 的混凝土用水量可相应增加 $5\text{kg/m}^3 \sim 10\text{kg/m}^3$ 。

表 14 混凝土最大用水量

环境作用等级	最大用水量 (kg/m^3)		
	100 年	50 年	30 年
I -A	170	180	190
I -B	165	175	185
I -C、II -C、II -D、III -C、III -D、IV -C、IV -D	160	170	175
III -E、IV -E	155	160	165
注：骨料的含水状态为饱和面干状态。			

6.3.3 不同强度等级混凝土的最大水胶比、胶凝材料用量宜符合表 15 的规定。

表 15 混凝土的最大水胶比与胶凝材料用量

混凝土强度等级	最大水胶比	胶凝材料用量 (kg/m^3)	
		最小用量	最大用量
C20	0.60	260	360
C25	0.55	280	360
C30	0.55	300	400
C _a 30、C35	0.50	300	400
C _a 35、C40	0.45	320	420
C _a 40、C45	0.40	340	450
C50	0.36	360	480
$\geq \text{C55}$	0.34	380	500

6.3.4 混凝土中粉煤灰、矿渣粉的最大掺量宜不大于表 16 的规定，复掺时总掺量不宜大于矿渣粉的最大掺量。

表 16 混凝土中矿物掺合料最大掺量

环境作用等级	水胶比	掺合料最大掺量 (%)			
		硅酸盐水泥		普通硅酸盐水泥	
		粉煤灰	矿渣粉	粉煤灰	矿渣粉
I-A、I-B	> 0.4	30	55	15	40
	≤ 0.4	45	65	35	50
I-C、II-C	> 0.4	30	40	15	25
	≤ 0.4	35	50	20	35
II-D、III-C、III-D、III-E IV-C、IV-D、IV-E	> 0.4	30	50	20	35
	≤ 0.4	35	55	20	40

6.3.5 有抗冻要求的混凝土应掺加引气剂，混凝土拌和物的含气量宜符合表 17 的规定。水胶比 ≤ 0.4 时，含气量可相应降低 1 个百分点。

表 17 混凝土拌和物含气量

粗骨料最大粒径 (mm)	拌和物含气量 (%)	
	抗冻等级 $\leq F150$	抗冻等级 $\geq F200$
16	5.0~7.0	6.0~8.0
20	4.5~6.5	5.5~7.5
25	4.0~6.0	5.0~7.0
31.5	3.5~5.5	4.5~6.5
40	3.0~5.0	4.0~6.0

6.3.6 混凝土拌和物中水溶性氯离子最大含量应不大于表 18 的规定。

表 18 混凝土拌和物中水溶性氯离子最大含量

环境作用等级	水溶性氯离子最大含量 (%)		
	钢筋混凝土		预应力混凝土
	100 年	50 年	
I -A	0.06	0.3	0.06
I -B、I -C、II -C	0.06	0.2	0.06
II -D、III -C、III -D、IV -C、IV -D	0.06	0.1	0.06
III -E、IV -E	0.06	0.06	0.06
注：氯离子含量为混凝土中氯离子与胶凝材料的质量比。			

6.3.7 混凝土拌和物中最大碱含量应不大于表 19 的规定，混凝土碱含量按 GB/T 50733 计算。

表 19 混凝土中的最大碱含量

环境作用等级	最大碱含量 (kg/m ³)		
	100 年	50 年	30 年
I -A、I -B、I -C、II -C、II -D、III -C、IV -C	3.0	3.0	3.5
III -D、IV -D、III -E、IV -E	2.5	3.0	3.5

6.3.8 混凝土中三氧化硫最大含量应不大于胶凝材料总量的 4.0%。

6.4 混凝土施工

6.4.1 模板制作安装

6.4.1.1 模板、支架及对销螺栓应根据混凝土坍落度、初凝时间、浇筑速度等进行设计，满足强度、刚度和稳定性要求。

6.4.1.2 模板表面应光洁平整，接缝严密，不漏浆。

6.4.1.3 有温度控制要求的构件，应结合混凝土的养护方法采取模板保温等措施。

6.4.1.4 外露混凝土模板涂刷的脱模剂宜采用同一品种产品。不应使用影响混凝土外观和质量的脱模剂。涂刷脱模剂时不应沾污钢筋和接槎部位的混凝土。

6.4.2 混凝土保护层

6.4.2.1 钢筋的混凝土保护层厚度应不小于设计值，且正偏差不大于 10mm。

6.4.2.2 梁、柱等条形构件侧面和底面的垫块数量不宜少于 4 个/m²，墩、墙等面形构件的垫块数量不宜少于 2 个/m²。

6.4.2.3 混凝土保护层垫块的强度和耐久性能应高于结构本体，垫块的尺寸和形状应满足保护层厚度和定位要求，垫块厚度偏差 0~+2mm。

6.4.3 混凝土制备

6.4.3.1 混凝土应按照设计配合比配料，宜采用强制式搅拌机拌制。

6.4.3.2 应按 SL 27、SL 234、GB/T 14902 检查混凝土原材料称量、拌和时间、坍落度、含气量等。

6.4.3.3 混凝土运输过程中，应保持混凝土拌和物的均匀性，不产生离析，不应中途加水。

6.4.3.4 预拌混凝土应按 GB/T 14902 交货检验。

6.4.4 混凝土浇筑

6.4.4.1 浇筑前应对基础面或混凝土施工缝进行处理，对模板、钢筋、预埋件质量进行检查。

6.4.4.2 混凝土自由下落高度不宜大于 1.5m。超过 1.5m 时，应采用导管、溜管（槽）或其他缓降措施。

6.4.4.3 混凝土浇筑坯层厚度一般为 30cm~50cm。入仓的混凝土应及时平仓、振捣，不应使用振捣器平仓。

6.4.4.4 引气混凝土振捣宜使用振频不高于 6 000 次/min 的中低频振捣器。

6.4.4.5 混凝土浇筑过程中仓内积水应及时排除。应随时清除粘附在模板、钢筋和预埋件表面的砂浆。

6.4.4.6 混凝土浇筑过程中宜采取静置、覆盖等措施，防止混凝土产生沉降和塑性干缩裂缝。

6.4.5 混凝土养护

6.4.5.1 混凝土养护应符合 SL 27、SL 234 的要求。

6.4.5.2 混凝土浇筑完毕应进行覆盖，6h~18h 后应进行洒水养护。

6.4.5.3 混凝土拆模时间不宜早于 7d。带模养护期间宜松开模板补充养护水。

6.4.5.4 混凝土拆模后应采取塑料薄膜包裹、喷涂养护剂、喷淋洒水等保湿养护措施，人工洒水养护应能保持混凝土表面充分潮湿。

6.4.5.5 未掺矿物掺合料的混凝土养护时间应不少于 14d，掺矿物掺合料的混凝土养护时间应不少于 21d，大掺量矿物掺合料混凝土的养护时间应不少于 28d。

6.4.5.6 气温低于 5℃时，应按冬季施工技术措施进行保温养护，不应洒水养护。

6.4.5.7 混凝土浇筑 14d 后且强度大于设计强度的 70%，方可与海水、盐土等接触。

6.4.6 混凝土温度控制

6.4.6.1 有温度控制要求的混凝土施工前，宜对混凝土内部温度、温度应力进行计算，参照 GB 50496、DL/T 5144 的规定制定温度控制技术措施，并在施工过程中进行温度监测。

6.4.6.2 有温度控制要求的混凝土，可采取控制混凝土入仓温度、水管冷却、埋入块石等措施。

6.4.6.3 混凝土入仓前，模板、钢筋温度以及附近的局部气温不宜超过 35℃；新浇混凝土与接触的模板、邻接的已硬化混凝土或岩土介质之间的温差不宜大于 15℃。

6.4.6.4 混凝土入仓温度应符合设计要求。设计文件未规定的，入仓温度不宜大于 28℃，冬季不应低于 5℃。

6.4.6.5 混凝土内部最高温度不宜大于 65℃，且温升值不宜大于 50℃。混凝土内部温度与表面温度之差不得大于 25℃，表面温度与环境温度之差不得大于 20℃，混凝土表面温度与养护水温度之差不得大于 15℃。混凝土内部温度降温速率不得大于 2℃/d。

6.4.6.6 遇突然降温、急剧干燥天气，应采取暖棚保温、包裹保湿等措施。

6.5 混凝土缺陷处理

6.5.1 混凝土耐久性检验项目不符合设计和规范要求，经论证后采取表面涂层、防腐蚀面层、表面浸渍等方法处理，并按 SL 176 的规定进行质量缺陷备案。

6.5.2 缝宽未超出 SL 191 规定的非荷载裂缝，经论证后采用灌浆、填充密封、表面封闭等方法处理。

6.5.3 结构荷载裂缝及缝宽超出 SL 191 规定的非荷载裂缝，应制定专项处理方案。

6.5.4 有渗水潮湿现象的混凝土应采取灌浆、嵌填砂浆等方法处理。

6.5.5 混凝土缺陷处理材料的性能指标应符合设计要求或 GB 50367 的规定。

6.5.6 混凝土缺陷处理检验按设计要求或 GB 50367 的规定执行。

7 检验评价

7.1 检验

7.1.1 工程施工过程中，应对混凝土耐久性检验项目进行检验。

7.1.2 混凝土耐久性试件应在施工现场随机取样制作。

7.1.3 同一单位工程，设计要求的各个耐久性检验项目，具有相同设计强度等级的构件，每 3000m³ 混凝土为 1 批次，不足 3000m³ 的以 1 批次计，每批次抽检不少于 1 组。

7.1.4 实体混凝土保护层厚度，抽检数量为构件的 20%~30%且不少于 3 个，每构件不少于 10 个测点。每构件混凝土保护层厚度检测点合格率应大于 70%。

7.2 评价

7.2.1 施工过程中，应对混凝土耐久性检验项目进行分项评价，各分项评价结果应符合设计和规范要求。

7.2.2 单位工程完工后，应对混凝土的耐久性能进行评价。混凝土耐久性能检验评价表见附录 A 表 A.1。

7.2.3 单位工程混凝土耐久性评价时，应具备以下资料：

- a) 混凝土耐久性质量控制施工方案；
- b) 混凝土原材料试验报告；
- c) 混凝土配合比设计报告；
- d) 混凝土强度检测报告；
- e) 混凝土碳化、抗冻、抗渗、抗氯离子侵蚀等检测报告；
- f) 混凝土保护层厚度检测记录；
- g) 混凝土施工记录；
- h) 混凝土缺陷处理记录及质量缺陷备案表。

7.2.4 混凝土耐久性能评价结果符合设计和规范要求，是单位工程施工质量评定的基本条件。

8 运行检测维修

8.1 运行

8.1.1 水利工程应按 SL 75、SL 255 等规定运行管理。

8.1.2 应对混凝土所处的环境进行监测。

8.1.3 应避免混凝土上部结构长期遭受积水浸湿或经常处于干湿交替状态。及时清理附着物、污渍、垃圾，改善水质。

8.2 检测

8.2.1 应对现场留置的试件每隔 5 年 ~ 10 年进行 1 次耐久性检测。

8.2.2 新建、扩建工程，应按 SL 214、SL 316 规定，每隔 15 年 ~ 20 年对混凝土进行 1 次耐久性检测和鉴定。

8.2.3 加固、改建工程，每隔 5 年 ~ 10 年进行 1 次耐久性检测。

8.2.4 混凝土接近设计使用年限时，应及时进行安全鉴定。

8.2.5 混凝土所处环境条件发生较大变化后，应及时评估混凝土耐久性能。

8.3 维修

8.3.1 混凝土出现耐久性损伤后，应及时维修。

8.3.2 应更换经耐久性评估需要更换的构件。

8.4.3 混凝土维修所用的材料、施工工艺、质量检验应符合 GB 50367、SL 191、JGJ/T 259 等规定。

附录 A
(规范性附录)
混凝土耐久性能检验评价

表 A.1 给出了单位工程混凝土耐久性能检验评价表式。

表 A.1 单位工程混凝土耐久性能检验评价表

单位工程名称					施工单位	
施工日期		自 年 月 日至 年 月 日			监理单位	
项次	检验项目	结构部位	设计值	质量要求	质量评价	
1	混凝土碳化性能			符合设计要求		
2	混凝土抗冻性能			符合设计要求		
3	混凝土抗渗性能			符合设计要求		
4	混凝土抗氯离子渗透性能			符合设计要求		
5	混凝土保护层厚度			符合设计或规范要求		
6	耐久性附加措施			符合设计要求		
7	混凝土缺陷处理			符合要求		
施工单位自评意见		经自检,各检验项目_____设计和规范要求,耐久性资料_____,单位工程混凝土耐久性能_____设计和规范要求。 技术负责人(签字) 年 月 日 项目经理(签字) 年 月 日				
监理单位复核意见		经复核,各检验项目_____设计和规范要求,耐久性资料_____,单位工程混凝土耐久性能_____设计和规范要求。 总监理工程师(签字) 年 月 日				
项目法人认定意见		负责人(签字) 年 月 日				