

JTS

中华人民共和国行业标准

JTS 257-2-2012

海港工程高性能混凝土质量控制标准

Quality Control Standard of
High Performance Concrete for Sea Port Engineering

2012-07-19 发布

2012-08-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业标准

海港工程高性能混凝土质量控制标准

JTS 257—2—2012

主编单位：中交四航工程研究院有限公司

中交第三航务工程局有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2012 年 8 月 1 日

人民交通出版社

2012 · 北京

中华人民共和国行业标准

书 名：海港工程高性能混凝土质量控制标准

著 作 者：中交四航工程研究院有限公司

中交第三航务工程局有限公司

责任编辑：董 方

出版发行：人民交通出版社

地 址：(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址：<http://www.chinasybook.com>

销售电话：(010) 64981400, 59757915

总 经 销：北京交实文化发展有限公司

印 刷：北京鑫正大印刷有限公司

开 本：880×1230 1/16

印 张：4.25

字 数：90 千

版 次：2012 年 7 月 第 1 版

印 次：2012 年 7 月 第 1 次印刷

统一书号：15114·1718

定 价：35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

关于发布《海港工程高性能混凝土质量控制标准》 (JTS 257—2—2012)的公告

2012 年第 27 号

现发布《海港工程高性能混凝土质量控制标准》(以下简称《标准》)。本《标准》为强制性行业标准,编号为 JTS 257—2—2012,自 2012 年 8 月 1 日起施行。

本《标准》第 3.4.8 条中的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

本《标准》由交通运输部组织中交四航工程研究院有限公司和中交第三航务工程局有限公司等单位编制完成,由交通运输部水运局负责管理和解释,由人民交通出版社出版发行。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部

二〇一二年七月十九日

制定说明

本标准是在深入调查研究和总结我国海港工程高性能混凝土应用实践经验的基础上,结合海港工程建设发展需要,借鉴国内外相关技术标准并吸收新的研究成果,经广泛征求意见编制而成。主要包括高性能混凝土原材料质量控制、配合比控制、施工过程质量控制、质量合格控制等技术内容。

本标准主编单位为中交四航工程研究院有限公司和中交第三航务工程局有限公司,参编单位为中国交通建设股份有限公司、中交第四航务工程局有限公司、中交上海三航科学研究院有限公司、中交天津港湾工程研究院有限公司和中交武汉港湾工程设计研究院有限公司。

随着我国港口工程建设的持续发展,海港的规模不断扩大,外海化、深水化趋势不断增强,结构耐久性要求不断提高,为提高海港工程建设技术水平,保证工程质量,交通运输部水运局组织制定本标准。

本标准第 3.4.8 条的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

本标准共分 7 章和 5 个附录,并附条文说明。本标准编写人员分工如下:

- 1 总则:潘德强
 - 2 术语:潘德强
 - 3 基本规定:潘德强 王胜年 田俊峰
 - 4 原材料质量控制:金建昌 胡力平 黄君哲
 - 5 配合比控制:王胜年 黄君哲 黄孝衡 张国志
 - 6 施工过程质量控制:罗碧丹 胡力平
 - 7 质量合格控制:黄君哲 黄孝衡 张国志 田俊峰
- 附录 A~E:潘德强 王胜年 黄君哲

本标准于 2011 年 9 月 20 日通过部审,于 2012 年 7 月 19 日发布,自 2012 年 8 月 1 日起实施。

本标准由交通运输部水运局负责管理和解释。请各有关单位在使用过程中,将发现的问题和意见及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街 11 号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本标准管理组(地址:广东省广州市前进路 157 号,中交四航工程研究院有限公司,邮政编码:510230),以便修订时参考。

目次

1 总则 (1)

2 术语 (2)

3 基本规定 (3)

 3.1 一般规定 (3)

 3.2 混凝土拌合物 (3)

 3.3 高性能混凝土强度等级 (3)

 3.4 高性能混凝土耐久性要求 (4)

4 原材料质量控制 (8)

 4.1 一般规定 (8)

 4.2 水泥 (8)

 4.3 掺合料 (8)

 4.4 细骨料 (9)

 4.5 粗骨料 (10)

 4.6 拌和用水 (12)

 4.7 外加剂 (13)

5 配合比控制 (14)

 5.1 一般规定 (14)

 5.2 高性能混凝土配合比设计 (15)

 5.3 大体积高性能混凝土配合比设计 (15)

 5.4 抗冻高性能混凝土配合比设计 (16)

6 施工过程质量控制 (17)

 6.1 配料 (17)

 6.2 搅拌 (18)

 6.3 运输 (18)

 6.4 浇筑 (18)

 6.5 养护 (19)

 6.6 高性能混凝土防裂措施 (19)

7 质量合格控制 (21)

 7.1 高性能混凝土外观质量 (21)

 7.2 高性能混凝土强度 (21)

 7.3 高性能混凝土耐久性 (22)

 7.4 高性能混凝土质量问题的处理 (23)

附录 A	高性能混凝土坍落扩展度试验方法	(25)
附录 B	混凝土抗氯离子渗透性扩散系数电迁移试验方法	(26)
附录 C	硬化混凝土氯离子扩散系数浸泡试验方法	(30)
附录 D	混凝土结构使用年限计算	(33)
附录 E	本标准用词用语说明	(36)
附加说明	本标准主编单位、参编单位、主要起草人、总校人员和管理组 人员名单	(37)
附 条文说明		(39)

1 总 则

1.0.1 为加强海港工程高性能混凝土质量控制,做到质量可靠、技术先进和经济合理,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于海港工程高性能混凝土的质量控制。其他海水环境高性能混凝土可参照执行。

1.0.3 海港工程高性能混凝土质量控制应配备必要的检验和试验设备,建立必要的技术管理与质量控制制度。

1.0.4 海港工程高性能混凝土的质量控制除应符合本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 高性能混凝土 high performance concrete

采用常规材料和常规工艺,在常温下,以低水胶比、大掺量活性掺合料制作的抗氯离子渗透性高、尺寸稳定性好、工作性优良并具有较高强度的混凝土。

2.0.2 胶凝材料 cementitious material

用于配制混凝土的水泥或水泥与粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等活性矿物掺合料的总称。

2.0.3 高性能混凝土耐久性设计 durability design of high performance concrete

为保证高性能混凝土具有要求的耐久性能,根据使用条件,确定有关技术指标和选择各种措施的过程。

2.0.4 氯离子扩散系数 chloride ion diffusion coefficient

表示氯离子在混凝土中从高浓度区向低浓度区传输速率的参数。

2.0.5 预拌胶凝材料 pre-mixed cementitious material

由硅酸盐水泥和粒化高炉矿渣粉、粉煤灰、硅灰等按不同组合,经机械混合均匀而成的胶凝材料。

2.0.6 坍落扩展度 slump spread

新拌混凝土拌合物最终坍落扩展后的直径。

2.0.7 高性能混凝土工作性 high performance concrete workability

高性能混凝土拌合物流动性、粘聚性和保水性的统称。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 对于海港工程钢筋混凝土和预应力混凝土结构,浪溅区应采用高性能混凝土,水位变动区和大气区根据需要可采用高性能混凝土。

3.1.2 配制高性能混凝土应选用质量稳定的优质水泥和掺合料、级配良好的优质骨料、与水泥匹配的高效减水剂。

3.2 混凝土拌合物

3.2.1 高性能混凝土拌合物应检验下列内容:

- (1)稠度和稠度损失;
- (2)氯离子含量;
- (3)当混凝土配合比、组成材料、搅拌设备、搅拌时间变更时,检验均匀性;
- (4)有抗冻要求的混凝土拌合物检验含气量;
- (5)有温度控制要求的混凝土拌合物检测温度。

3.2.2 高性能混凝土拌合物的稠度应以坍落度或坍落扩展度表示。坍落度检测方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定。当坍落度大于180mm时,其稠度宜采用坍落扩展度表示,其检测方法应符合附录A的有关规定。

3.2.3 高性能混凝土拌合物应考虑稠度损失,其在浇筑地点的坍落度不宜小于120mm。

3.2.4 坍落度和坍落扩展度实测值应满足下列要求:

- (1)坍落度与设计值的允许偏差值为 $\pm 20\text{mm}$;
- (2)坍落扩展度与设计值的允许偏差值为 $\pm 30\text{mm}$;
- (3)当设计值为某一数值区间时,实测值满足规定区间的要求。

3.2.5 高性能混凝土拌合物应拌合均匀、颜色一致,不得有离析和明显泌水现象。

3.2.6 高性能混凝土拌合物均匀性的检测方法应符合现行国家标准《混凝土搅拌机》(GB/T 9142)的有关规定。

3.2.7 高性能混凝土拌合物均匀性检测结果应满足下列要求:

- (1)混凝土中的砂浆密度测值的相对误差不大于0.8%;
- (2)单位体积混凝土中粗骨料含量测值的相对误差不大于5%。

3.3 高性能混凝土强度等级

3.3.1 高性能混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定,其等级划分应符合表

3.3.1 的规定。

高性能混凝土强度等级 表 3.3.1

高性能混凝土	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80
引气高性能混凝土	C40	C45	C50	C55	—	—	—

3.3.2 高性能混凝土的强度检测应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定。

3.3.3 高性能混凝土生产质量水平,可按强度等级对验收合格的混凝土分批定期统计计算其样本数不少于 25 的抗压强度标准差,并按表 3.3.3 划分,生产质量水平应达到中等及以上等级。

混凝土生产质量水平 表 3.3.3

混凝土强度等级	混凝土强度标准差 (MPa)		
	优良	中等	较差
C40 ~ C60	≤3.5	≤4.5	>4.5
> C60	≤4.5	≤5.5	>5.5

3.4 高性能混凝土耐久性要求

3.4.1 海港工程高性能混凝土应根据其所处的环境、在建筑物上的部位等条件进行耐久性设计。

3.4.2 海水环境混凝土在建筑物上部位的划分应符合表 3.4.2 的规定。

海水环境混凝土部位划分 表 3.4.2

掩护条件	划分类别	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
有掩护条件	按港工设计水位	设计高水位加1.5m以上	大气区下界至设计高水位减 1.0m 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区下界至泥面
	按港工设计水位	设计高水位加 (η_0 + 1.0m) 以上	大气区下界至设计高水位减 η_0 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区下界至泥面
无掩护条件	按天文潮潮位	最高天文潮位加0.7倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 以上	大气区下界至最高天文潮位减百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	浪溅区下界至最低天文潮位减 0.2 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	水位变动区下界至泥面

注:① η_0 值应取设计高水位时的重现期 50 年 $H_{1\%}$ (波列累积频率为 1% 的波高)波峰面高度(m);
②当浪溅区上界计算值低于码头面高程时,应取码头面高程为浪溅区上界;
③当无掩护条件的海港工程混凝土结构无法按港工有关规范计算设计水位时,可按天文潮潮位确定混凝土结构的部位划分;
④无法分段的同一构件处于不同部位应按耐久性要求高的部位划分。

3.4.3 海水环境钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合表 3.4.3 的规定。

海水环境钢筋的混凝土保护层最小厚度(mm) 表 3.4.3

建筑物所处地区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
北方	50	60	50	40
南方	50	65	50	40

- 注：①混凝土保护层厚度系指主筋表面与混凝土表面的最小距离；
②表中数值系箍筋直径为 6mm 时主筋的保护层厚度，当箍筋直径大于 6mm 时，保护层厚度应按表中规定增加 5mm；
③位于水位变动区、浪溅区的现浇混凝土构件，其保护层厚度应按表中规定增加 10 ~ 15mm；
④位于浪溅区的码头面板、桩等细薄构件的混凝土最小保护层厚度，南、北方一律取用 50mm；
⑤南方指历年最冷月月平均气温大于 0℃ 的地区。

3.4.4 海水环境预应力筋的混凝土保护层最小厚度应符合下列规定。

3.4.4.1 当构件厚度不小于 0.5m 时应符合表 3.4.4 的规定。

海水环境预应力筋的混凝土保护层最小厚度(mm) 表 3.4.4

所在部位	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
保护层厚度	65	80	65	65

- 注：①构件厚度系指规定保护层最小厚度的方向上的构件尺寸；
②后张法的预应力筋保护层厚度系指预留孔道壁至构件表面的最小距离；
③制作构件时，如采取特殊施工工艺或专门防腐措施，应经充分技术论证，对钢筋的防腐蚀作用确有保证时，保护层厚度可不受上述规定的限制；
④有效预应力小于 400MPa 的预应力筋的保护层厚度按表 3.4.3 执行，但不宜小于 1.5 倍主筋直径。

3.4.4.2 当构件厚度小于 0.5m 时，预应力筋的混凝土保护层最小厚度应为 2.5 倍预应力筋直径，但不得小于 50mm。

3.4.5 配置构造钢筋的素混凝土结构，构造筋的混凝土保护层厚度不应小于 40mm，且不小于 2.5 倍构造钢筋的直径。

3.4.6 施工期钢筋混凝土最大裂缝宽度不应超过表 3.4.6 中所规定的限值。当出现表面裂缝时，应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202) 的有关规定进行处理。

钢筋混凝土构件最大裂缝限值(mm) 表 3.4.6

大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
0.20	0.20	0.25	0.30

3.4.7 高性能混凝土拌合物的氯离子最高限值应符合表 3.4.7 的规定，其检测方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 的有关规定。

高性能混凝土拌合物中氯离子的最高限值(按胶凝材料质量百分比计) 表 3.4.7

预应力混凝土	钢筋混凝土
0.06	0.10

3.4.8 高性能混凝土对所用骨料应进行碱活性检验，当检验表明骨料具有活性时严禁使用。骨料碱活性检验方法应按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 的有关规定执行。

3.4.9 海水环境钢筋混凝土、预应力混凝土抗氯离子渗透性指标最高限值应符合表 3.4.9 中电通量或扩散系数的规定,电通量检测方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2) 的有关规定,扩散系数检测方法应符合附录 B 的有关规定。

高性能混凝土氯离子渗透性最高限值 表 3.4.9

混凝土氯离子渗透性	钢筋混凝土	预应力混凝土
电通量法 (C)	1000	800
扩散系数法 ($10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	4.5	4.0

注:试验用的混凝土试件,对掺加粉煤灰或粒化高炉矿渣粉的混凝土,应按标准养护条件下 56d 龄期的试验结果评定;其他混凝土应按标准养护条件下 28d 龄期的结果评定,试验应在 35d 内完成。

3.4.10 对于设计使用年限超过 50a 的工程,宜按附录 C 规定方法测定高性能混凝土的扩散系数,并宜按附录 D 的规定对使用年限进行校核。

3.4.11 海港工程高性能混凝土结构的混凝土强度应同时满足承载能力和耐久性的要求,且浪溅区混凝土最低强度等级不应小于 C45,其他部位不应小于 C40。

3.4.12 水位变动区有抗冻要求的高性能混凝土,其抗冻等级不应低于表 3.4.12 的规定。

混凝土抗冻等级选定标准 表 3.4.12

建筑物所在地区	钢筋混凝土及预应力混凝土
严重受冻地区(最冷月月平均气温低于 -8℃)	F350
受冻地区(最冷月月平均气温为 -4℃ ~ -8℃)	F300
微冻地区(最冷月月平均气温为 0℃ ~ -4℃)	F250

注:①试验过程中试件所接触的介质应与建筑物实际接触的介质相同;
②开敞式码头和防波堤等建筑物混凝土宜选用高一级的抗冻等级或采取其他措施。

3.4.13 有抗冻要求的高性能混凝土应掺入适量引气剂,其拌合物的含气量应满足表 3.4.13 规定的范围。

有抗冻要求的混凝土拌合物含气量控制范围 表 3.4.13

骨料最大粒径 (mm)	含气量范围 (%)	骨料最大粒径 (mm)	含气量范围 (%)
10.0	5.0 ~ 8.0	25.0	3.5 ~ 7.0
20.0	4.0 ~ 7.0	—	—

3.4.14 当要求的含气量为某一定值时,其检查结果与要求值的允许偏差范围应为 $\pm 1.0\%$ 。当含气量要求值为某一范围时,检测结果应满足规定范围的要求。

3.4.15 混凝土抗冻性试验方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 的有关规定。

3.4.16 有抗渗要求的高性能混凝土,根据最大作用水头与混凝土壁厚之比,其抗渗等级应符合表 3.4.16 的规定。

混凝土抗渗等级选定标准

表 3.4.16

最大作用水头与混凝土壁厚之比	抗渗等级	最大作用水头与混凝土壁厚之比	抗渗等级
<5	P4	26 ~ 30	P14
5 ~ 10	P6	31 ~ 35	P16
11 ~ 15	P8	36 ~ 40	P18
16 ~ 20	P10	>40	P20
21 ~ 25	P12		

3.4.17 混凝土抗渗性试验方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定。

3.4.18 按耐久性要求,海水环境高性能混凝土水胶比最大允许值浪溅区应为 0.35,其他区应为 0.40。

3.4.19 按耐久性要求,海水环境高性能混凝土的最低胶凝材料用量浪溅区不宜小于 $400\text{kg}/\text{m}^3$,其他区不宜小于 $380\text{kg}/\text{m}^3$,且胶凝材料最高用量均不宜超过 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 。

3.4.20 高性能混凝土胶凝材料的组成中矿物掺合料的掺量应符合下列规定。

3.4.20.1 单掺一种掺合料时掺量范围宜符合表 3.4.20 的规定。

单掺一种掺合料时掺量控制范围(按胶凝材料质量百分比计)

表 3.4.20

组成胶凝材料的水泥品种	掺合料品种		
	粒化高炉矿渣粉	粉煤灰	硅灰
PI 或 PII 型硅酸盐水泥	50 ~ 80	25 ~ 40	3 ~ 8
P0 型普通硅酸盐水泥	40 ~ 70	20 ~ 35	3 ~ 8

3.4.20.2 同时掺入粉煤灰、粒化高炉矿渣粉时,其总量不宜大于胶凝材料总量的 70%,其中粉煤灰掺入量不宜大于 25%。

3.4.21 高性能混凝土在生产控制中,可根据需要检测混凝土拌合物的水胶比和胶凝材料用量,其检测方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定。

3.4.22 海水环境钢筋混凝土结构的混凝土保护层垫块应符合下列规定。

3.4.22.1 垫块宜为工字形或锥形,其强度应高于构件本体混凝土,抗氯离子渗透性应满足构件本体混凝土的限值要求。

3.4.22.2 垫块可采用水胶比不大于 0.35 的砂浆或细石混凝土制作,也可采用耐碱性和耐老化性能好、抗压强度不小于 50MPa 的工程塑料制作。

3.4.22.3 垫块厚度尺寸应在耐久性要求的最小保护层厚度基础上加施工允许偏差。垫块的厚度尺寸允许偏差为 $^{+2}_0\text{mm}$ 。

4 原材料质量控制

4.1 一般规定

- 4.1.1 高性能混凝土原材料中有害成分含量不得对混凝土强度、耐久性等产生不利影响。
- 4.1.2 高性能混凝土所用的原材料应附有质量证明文件或检验报告单,使用时应按国家现行有关标准进行检验。
- 4.1.3 材料在运输与储存过程中,应按品种、规格分别堆放,不得混杂,不得接触海水,并应防止其他污染。

4.2 水 泥

- 4.2.1 高性能混凝土宜选用标准稠度用水量低的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥,其质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175)的有关规定。普通硅酸盐水泥和硅酸盐水泥在熟料中铝酸三钙含量宜在 6% ~ 12% 范围内。高性能混凝土不宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。
- 4.2.2 水泥进场时,应对其品种、等级、包装或散装仓号、包重、出厂日期等进行检查验收,并应按国家现行有关标准对其质量进行复验。当因储存不当等引起质量有明显改变或水泥出厂超过 3 个月时,应在使用前对其质量进行复验,并按复验的结果处理。
- 4.2.3 高性能混凝土预拌胶凝材料宜采用符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175)规定的 PI 52.5 级水泥。

4.3 掺 合 料

- 4.3.1 高性能混凝土中掺加的硅灰应符合下列规定。

- 4.3.1.1 硅灰品质应符合表 4.3.1 的规定。

硅 灰 品 质 指 标

表 4.3.1

化 学 性 能		物 理 性 能		
SiO ₂ 含量 (%)	≥90	火山灰活性指数(28d, %)		≥90
含水率 (%)	≤3	细度	比表面积(m ² /kg)	≥15000
烧失量 (%)	≤6	需水量比	(%)	≤125

- 4.3.1.2 硅灰进场检验应符合现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)和《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定。
- 4.3.2 高性能混凝土宜使用干排法原状粉煤灰,其质量应符合下列规定。

4.3.2.1 粉煤灰的质量应满足下列要求：

- (1)粉煤灰的质量符合表 4.3.2 的规定；
- (2)粉煤灰中 CaO 含量不大于 10% ,大于 5% 时需经试验证明安定性合格；
- (3)粉煤灰含水率不大于 1% 。

粉煤灰质量指标 表 4.3.2

粉煤灰 等级	细度(45 μm 方孔筛 筛余,%)	烧失量 (%)	需水量比 (%)	SO ₃ 含量 (%)	活性指数(%)	
					7d	28d
I	≤12	≤5	≤95	≤3	≥80	≥90
II	≤25	≤8	≤105	≤3	≥75	≥85

4.3.2.2 预应力高性能混凝土或浪溅区的钢筋混凝土应采用 I 级粉煤灰或烧失量不大于 5%、需水量比不大于 100% 的 II 级粉煤灰。

4.3.2.3 粉煤灰进场检验应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257) 的有关规定。

4.3.2.4 粉煤灰进场检验时,当有一项指标达不到规定要求,应从同一批中加倍取样进行复验,复验后仍不符合要求时,该批粉煤灰应作不合格品或降级处理。

4.3.3 高性能混凝土中掺加的粒化高炉矿渣粉应符合下列规定。

4.3.3.1 粒化高炉矿渣粉的质量应符合表 4.3.3 的规定。

粒化高炉矿渣粉质量指标 表 4.3.3

项 目		级 别	
		S105	S95
密度(kg/m ³)		≥2800	≥2800
比表面积(m ² /kg)		≥500	≥400
活性指数(%)	7d	≥95	≥75
	28d	≥105	≥95
流动度比(%)		≥95	
含水率(%)		≤1.0	
三氧化硫含量(%)		≤4.0	
氯离子含量(%)		≤0.02	
烧失量(%)		≤3.0	
玻璃体含量(%)		≥85	

4.3.3.2 粒化高炉矿渣粉进场检验应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)和现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257) 的有关规定。

4.4 细 骨 料

4.4.1 高性能混凝土中使用的细骨料应采用质地坚固、公称粒径在 5.00mm 以下的砂，

其杂质含量限值应符合表 4.4.1 的规定。

细骨料杂质含量限值 表 4.4.1

项次	项 目	有抗冻性要求	无抗冻性要求
1	总含泥量(按质量计,%)	≤2.0	≤2.0
	其中泥块含量(按质量计,%)	<0.5	≤0.5
2	云母含量(按质量计,%)	<1.0	≤2.0
3	轻物质含量(按质量计,%)	≤1.0	≤1.0
4	硫化物及硫酸盐含量(按 SO ₃ 质量计,%)	≤1.0	≤1.0
5	有机物含量(比色法)	颜色不应深于标准色,当深于标准色时,应采用水泥胶砂法进行砂浆强度对比试验,相对抗压强度不应低于 95 %	

注：①对所用砂的坚固性有怀疑时,应用硫酸钠法进行检验,经浸烘 5 次循环的失重率不应大于 8%；

②轻物质是指表观密度小于 2000kg/m³ 的物质。

4.4.2 高性能混凝土使用的细骨料宜使用细度模数为 3.2 ~2.6 的中粗砂。颗粒级配分区应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2)的有关规定。当砂颗粒级配不满足要求时,应采取相应的技术措施,经试验证明能确保工程质量后方可采用。

4.4.3 细骨料应采用河砂、机制砂或混合砂。

4.4.4 当采用机制砂或混合砂时,应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52)的有关规定。机制砂和混合砂中石粉含量应符合表 4.4.4 的规定。

机制砂和混合砂中石粉含量限值 表 4.4.4

混凝土强度等级		≥C60	C55 ~ C40
石粉含量(%)	MB <1.4	≤3.0	≤5.0
	MB ≥1.4	≤2.0	≤3.0

注:MB 为机制砂中亚甲蓝测定值。

4.4.5 细骨料的质量检验应按下列规定执行。

4.4.5.1 细骨料应按现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定,按批检验颗粒级配、堆积密度、含泥量、泥块含量、氯离子含量等指标。

4.4.5.2 机制砂或混合砂应检验其石粉含量。

4.4.5.3 已检验合格并堆放于场内或搅拌楼料仓内的细骨料,必要时应对其颗粒级配、含泥量等进行复验。

4.4.5.4 采用新产源的细骨料应进行全面质量检验。

4.5 粗 骨 料

4.5.1 粗骨料质量应符合下列规定。

4.5.1.1 配制高性能混凝土应采用质地坚硬的碎石、卵石、碎石与卵石的混合物作为粗骨料,其强度可用岩石抗压强度或压碎值指标进行检验。在选择采石场、对粗骨料强度有严格要求或对质量有争议时,宜用岩石抗压强度作检验;常用的石料质量控制可用压碎指标进行检验。强度值或压碎值宜符合表 4.5.1-1 的规定。卵石压碎值指标宜符合表 4.5.1-2的规定。

岩石抗压强度或压碎值指标 表 4.5.1-1

岩石品种	混凝土强度等级	岩石的立方体抗压强度(MPa)	碎石压碎指标(%)
沉积岩	> C60	≥100	≤8
	C60 ~ C40	≥80	≤10
变质岩或 深成的火层岩	> C60	≥120	≤10
	C60 ~ C40	≥100	≤12
喷出的火成岩	> C60	≥140	≤11
	C60 ~ C40	≥120	≤13

注:沉积岩包括石灰岩、砂岩等;变质岩包括片麻岩、石英岩等;深成的火层岩包括花岗岩、正长石和橄榄岩等;喷出的火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。

卵石的压碎值指标 表 4.5.1-2

混凝土强度等级	> C60	C60 ~ C40
压碎指标(%)	≤8	≤12

4.5.1.2 卵石中软弱颗粒含量应符合表 4.5.1-3 的规定。

软弱颗粒的含量 表 4.5.1-3

指标名称	有抗冻要求	无抗冻要求
软弱颗粒含量(按质量计,%)	≤3	≤8

4.5.1.3 粗骨料的其他物理性能宜符合表 4.5.1-4 的规定。

粗骨料物理性能 表 4.5.1-4

指标名称	有抗冻要求		无抗冻要求	
	> C60	C60 ~ C40	> C60	C60 ~ C40
针片状颗粒含量(按质量计,%)	≤10	≤15	≤10	≤15
山皮水锈颗粒含量(按质量计,%)	≤20		≤25	
颗粒密度(kg/m³)	≥2300		≥2300	

注:①针状颗粒是指颗粒的长度大于该颗粒所属粒级的平均粒径 2.4 倍者;片状颗粒是指颗粒的厚度小于平均粒径 0.4 倍者;平均粒径是指该粒级上、下限粒径的平均值;
②山皮水锈颗粒是指风化面积超过 1/4 的颗粒;
③用卵石、卵石与碎石混合物配制受拉、受弯构件的混凝土时,应进行混凝土的抗拉强度试验;若试验结果不合格,则应采取相应措施提高其抗拉强度;
④对粗骨料的坚固性有怀疑时,应采用硫酸钠溶液法进行检验,经浸烘 5 次循环后的失重率应不大于 3%。

4.5.2 粗骨料的杂质含量限值应符合表 4.5.2 的规定。

粗骨料杂质含量限值 表 4.5.2

项 次	杂 质 名 称	有抗冻要求	无抗冻要求	
			≥C60	C55 ~ C40
1	总含泥量(按质量计,%)	≤0.5	≤0.5	≤1.0
2	泥块含量(按质量计,%)	≤0.2	≤0.2	≤0.5
3	水溶性硫酸盐及硫化物含量(按质量计,%)	≤0.5	≤1.0	
4	有机物含量(比色法)	颜色不应深于标准色。当深于标准色时,应进行混凝土对比试验,其强度降低率不应大于 5%		

注:粗骨料中不得混入煅烧过的石灰石块、白云石块,骨料颗粒表面不宜附有粘土薄膜。

- 4.5.3 粗骨料的最大粒径不宜大于 25mm。
- 4.5.4 粗骨料应采用连续级配,颗粒级配应符合表 4.5.4 的规定。

碎石或卵石的颗粒级配范围 表 4.5.4

公称粒径 (mm)	累计筛余量(按质量计)(%)					
	方孔筛筛孔边长尺寸(mm)					
	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5
5 ~ 10	95 ~ 100	80 ~ 100	0 ~ 15	0	—	—
5 ~ 16	95 ~ 100	85 ~ 100	30 ~ 60	0 ~ 10	0	—
5 ~ 20	95 ~ 100	90 ~ 100	40 ~ 80	—	0 ~ 10	0
5 ~ 25	95 ~ 100	90 ~ 100	—	30 ~ 70	—	0 ~ 5

- 4.5.5 粗骨料进场应按现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定进行检验。
- 4.5.6 对已检验合格并堆放于场内的骨料,必要时应对其颗粒级配、含泥量等进行复验。
- 4.5.7 采用新产源的粗骨料应进行全面质量检验。

4.6 拌 和 用 水

- 4.6.1 高性能混凝土拌和用水宜采用饮用水,不得使用影响水泥正常凝结、硬化和促使钢筋锈蚀的拌和水,并应符合表 4.6.1 中的规定。

拌和用水质量指标 表 4.6.1

项 目	指 标 要 求	项 目	指 标 要 求
pH 值	>5.0	氯化物(以 Cl ⁻ 计,mg/L)	<200
不溶物(mg/L)	<2000	硫酸盐(以 SO ₄ ²⁻ 计,mg/L)	<600
可溶物(mg/L)	<2000	—	—

- 4.6.2 高性能混凝土不得采用海水拌和。
- 4.6.3 拌和用水的检验规则及检验方法应符合现行行业标准《混凝土用水标准》(JGJ 63)的有关规定。

4.7 外加剂

4.7.1 高性能混凝土应根据要求选用高效减水剂、引气剂、防冻剂等。外加剂的品质应符合国家现行标准《混凝土外加剂》(GB 8076)和《混凝土防冻剂》(JC 475)的有关规定。在所掺用的外加剂中,按胶凝材料质量百分率计的氯离子含量不宜大于 0.02%。

4.7.2 混凝土外加剂的应用应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)的有关规定。

4.7.3 高性能混凝土采用的高效减水剂应满足下列要求:

- (1)减水率不小于 25% ;
- (2)与水泥匹配;
- (3)配制的混凝土坍落度损失小;
- (4)符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的进场检验规定。

5 配合比控制

5.1 一般规定

5.1.1 高性能混凝土的配合比应使混凝土能达到设计要求的强度等级、耐久性指标、体积稳定性和工作性指标等,并做到经济合理。

5.1.2 高性能混凝土施工配合比,应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定通过计算和试配确定。

5.1.3 高性能混凝土的施工配制强度应按下式确定:

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (5.1.3)$$

式中 $f_{cu,0}$ ——混凝土施工配制强度(MPa);

$f_{cu,k}$ ——设计要求的混凝土立方体抗压强度标准值(MPa);

σ ——工地实际统计的混凝土立方体抗压强度标准差(MPa)。

5.1.4 混凝土立方体抗压强度标准差的确定应符合下列规定。

5.1.4.1 施工单位有近期混凝土强度的统计资料时,可按下式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{fcu}^2}{n-1}} \quad (5.1.4)$$

式中 σ ——混凝土立方体抗压强度标准差(MPa);

$f_{cu,i}$ ——第*i*组混凝土立方体抗压强度(MPa);

n ——统计批内的试件组数, $n \geq 25$;

m_{fcu} —— n 组混凝土立方体抗压强度的平均值(MPa)。

5.1.4.2 当混凝土强度等级为 C40 ~ C50, 统计的强度标准差小于 4.0MPa 时,计算配制强度采用的标准差应取 4.0MPa;当混凝土强度等级为 C55 ~ C60,统计的强度标准差小于 5.0MPa 时,计算配制强度采用的标准差应取 5.0MPa;当混凝土强度等级大于 C60,统计的强度标准差小于 6.0MPa 时,计算配制强度用的标准差应取 6.0MPa。

5.1.4.3 施工单位没有近期混凝土强度统计资料时,混凝土立方体抗压强度标准差可按表 5.1.4 混凝土抗压强度标准差的平均水平选取。开工后应尽快积累统计资料,对混凝土立方体抗压强度标准差进行修正。

混凝土抗压强度标准差的平均水平 σ_0

表 5.1.4

混凝土强度等级	C40 ~ C50	C55 ~ C60	> C60
σ_0 (MPa)	5.5	6.5	7.0

5.1.5 按早期推定的混凝土强度进行配合比设计时,强度推定式应有足够的精度和较好

的适用性。

5.1.6 按耐久性要求的水胶比最大允许值和最低胶凝材料用量,应分别符合第 3.4.18 条和第 3.4.19 条的规定。

5.2 高性能混凝土配合比设计

5.2.1 高性能混凝土的水胶比应根据配制强度、抗氯离子渗透性能、抗渗性能和抗冻性能等要求确定。

5.2.2 高性能混凝土在满足国家现行标准的条件下,宜降低胶凝材料的用量,胶凝材料浆体体积不宜大于混凝土体积的 35%。

5.2.3 高性能混凝土在满足工作性的条件下,宜降低用水量,并控制在 $130 \sim 160\text{kg/m}^3$ 范围。

5.2.4 高性能混凝土配合比设计应通过调整水胶比、掺合料的掺量和品种使混凝土的性能指标达到规定要求。

5.2.5 高性能混凝土配合比设计应通过试验确定最佳砂率。

5.2.6 高性能混凝土使用的外加剂应符合下列规定。

5.2.6.1 根据工程需要可掺加适量的阻锈剂、缓凝剂、膨胀剂等,高效减水剂应与其他外加剂相适应。

5.2.6.2 高效减水剂、阻锈剂、缓凝剂、膨胀剂等外加剂与水泥的适应性应通过试拌确定。

5.2.7 高性能混凝土的坍落度和坍落扩展度应根据运输距离、气温、施工要求等确定,混凝土入模稠度应满足设计要求。

5.2.8 高性能混凝土配合比应按要求的工作性能、力学性能、耐久性能进行初步设计和试配,并根据试配结果进行必要的调整,确定满足设计要求的配合比。

5.2.9 试验室配合比确定后,混凝土生产前应按照生产条件进行搅拌站试拌和,混凝土拌合物的性能及生产能力等指标应满足设计要求。

5.3 大体积高性能混凝土配合比设计

5.3.1 大体积高性能混凝土采用的原材料除应符合第 4 章中的有关规定外,尚应满足下列要求:

(1) 胶凝材料由水化热较低的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等组成;

(2) 必要时掺入适量缓凝剂;

(3) 骨料选用级配良好的洁净中砂和孔隙率较小的粗骨料。

5.3.2 在设计允许的条件下,宜采用 60d 或 90d 强度作为混凝土验收强度进行配合比设计。

5.3.3 大体积高性能混凝土在满足设计和施工要求的前提下,宜提高掺合料及骨料的用量,降低水泥用量。

5.3.4 配合比确定后宜进行胶凝材料水化热的测定或验算。

5.4 抗冻高性能混凝土配合比设计

5.4.1 抗冻混凝土所用原材料应符合第4章的有关规定。

5.4.2 抗冻混凝土配合比设计,除应遵守5.1节的有关规定外,尚应满足下列要求:

(1)抗冻混凝土掺用引气剂、混凝土的含气量符合第3.4.13条的规定;

(2)抗冻混凝土水胶比符合第3.4.18条的规定;

(3)海水环境抗冻混凝土最低胶凝材料用量符合第3.4.19条的规定。

5.4.3 抗冻混凝土配合比计算方法应按第5.1节的有关规定执行,采用绝对体积法进行计算应计入混凝土拌合物的含气量。

5.4.4 抗冻高性能混凝土应进行抗冻融性能试验,试验应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定。

6 施工过程质量控制

6.1 配 料

- 6.1.1 存放水泥、掺合料的储罐应具有良好的防水、防潮功能。
- 6.1.2 骨料的堆放场地应坚固平整、排水功能良好,宜采用混凝土地坪。
- 6.1.3 夏天温度较高时,宜对骨料采取相关的遮盖措施。
- 6.1.4 混凝土拌制前,应测定骨料含水率并根据测试结果调整材料用量。原材料配料时,应按配料单进行称量。
- 6.1.5 减水剂浓度应定期检查并应恒定。
- 6.1.6 混凝土原材料称量偏差应符合表 6.1.6 的规定。

原材料称量的允许偏差(%) 表 6.1.6

原材料名称	水上拌制	陆上拌制	
		单罐计量允许偏差	累计计量允许偏差
水泥、掺合料	±2	±2	±1
粗、细骨料	±3	±3	±2
水	±2	±2	±1
外加剂	±1	±1	±1

注:①表中“水上拌制”指混凝土搅拌船在水上工程现场拌制混凝土;“陆上拌制”指陆上混凝土集中搅拌站拌制混凝土;

②表中“累计计量允许偏差”是指每一运输车中各罐混凝土的每种材料计量偏差的平均值,该项指标仅适用于采用微机控制的陆上搅拌站。

- 6.1.7 各种衡器应定期校验,每一工作班正式称量前,应对称量设备进行零点校核,对配料设备应进行良好的维护和检查。
- 6.1.8 原材料称量示值每一工作班检查次数应符合表 6.1.8 的规定。

每一工作班原材料称量示值检查次数 表 6.1.8

材料名称	检查次数	材料名称	检查次数
水泥、掺合料	≥4	水、外加剂	≥4
粗、细骨料	≥2	—	—

6.1.9 施工过程中应检测骨料含水率,每一工作班应至少测定 2 次。雨天或骨料含水率有显著变化时,应增加检测次数,并及时调整用水量和骨料用量。

6.2 搅 拌

6.2.1 高性能混凝土应在专设的混凝土搅拌站或搅拌船集中搅拌,宜采用有自动称量、根据骨料含水率及时调整加水量的搅拌系统,并应采用搅拌效率高、均质性好的非立轴强制式搅拌机,不得使用自落式搅拌机。

6.2.2 高性能混凝土拌合物宜采用先以掺合料和细骨料干拌,再加水泥与部分拌和用水,最后加粗骨料、减水剂溶液和余下的拌和用水的加料顺序。其连续搅拌的最短时间除经试验确定外,应按搅拌设备说明书的规定比普通混凝土延长 40s 以上。混凝土的搅拌时间,每一工作班应至少检查 2 次。

6.2.3 混凝土搅拌完毕后应按下列要求检测拌合物的质量指标。

6.2.3.1 混凝土拌合物的稠度和含气量应在搅拌地点和浇筑地点分别取样检测,每一工作班应对稠度至少检查 2 次,对含气量至少检查 1 次。

6.2.3.2 当混凝土拌合物从搅拌机出料起至浇筑入模的时间不超过 15min 时,可在搅拌地点取样检测。

6.2.4 混凝土拌合物的稠度和含气量检测结果应分别符合第 3.2.4 条和第 3.4.14 条的规定。

6.3 运 输

6.3.1 高性能混凝土的运输设备应符合下列规定。

6.3.1.1 采用混凝土搅拌车运输高性能混凝土时,罐体的转速应满足相应的技术要求。

6.3.1.2 在运输距离较近的地方可使用料斗、吊罐。料斗、吊罐的活门应开启方便、关闭严密,不得漏浆。吊罐的装料量宜为其容积的 90% ~ 95%。

6.3.1.3 夏天气温较高时,应对运输工具采取覆盖、浇水等降温措施。

6.3.2 混凝土拌合物运送到浇筑地点时,不应出现离析或分层,并应具有施工所要求的稠度。

6.3.3 混凝土的运输时间应能保证浇筑点混凝土的凝结时间,稠度、入模温度等满足规定要求。

6.3.4 混凝土从搅拌机卸出后到浇筑完毕的延续时间应通过试验确定。

6.3.5 预拌混凝土的运送应符合现行国家标准《预拌混凝土》(GB/T 14902)的有关规定。

6.3.6 采用泵送混凝土时,供应的混凝土量应能保证混凝土泵的连续工作。

6.4 浇 筑

6.4.1 高性能混凝土振捣应符合下列规定。

6.4.1.1 每一振点的振动持续时间应能保证混凝土获得足够的捣实,以表面泛浆为准。

6.4.1.2 插入式振捣器的振捣顺序宜从近模板处开始,先外后内,移动间距不应大于振捣器有效半径的 1.5 倍。振捣器有效半径应根据试验确定,缺乏试验资料时,可采用 250 ~ 300mm。

6.4.1.3 插入式振捣器至模板的距离不应大于振捣器有效半径的 1/2。

6.4.1.4 插入式振捣器应垂直插入混凝土中,振捣器应插入下层混凝土中不少于 50mm。

6.4.1.5 表面振动器的移动间距应能保证覆盖已振实部分的边缘。

6.4.1.6 附着式振动器应与模板紧密连接,其设置间距应通过试验确定。

6.4.1.7 振捣引气混凝土时应使用振动频率不大于 6000 次/min 的中低频振捣棒,并应控制振捣时间避免过振。

6.4.2 混凝土浇筑至顶部时,宜采用二次振捣及二次抹面,并应刮去顶部多余的浮浆。

6.4.3 在浇筑混凝土时,应同时制作吊运、张拉、放松、加荷、强度合格评定的立方体抗压强度试件和抗氯离子渗透性能的试件。必要时还应制作抗冻、抗渗或其他性能的试件。试件的取样与制作应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定。

6.5 养 护

6.5.1 高性能混凝土在养护过程中,混凝土应处于有利于硬化及强度增长的温度和湿度环境中。

6.5.2 新浇筑混凝土应及时开始养护,并应采取避免水分蒸发措施。

6.5.3 混凝土抹面后,应立即覆盖。对不同构件,在不同季节应在混凝土初凝前采取不同的初始湿养护和温控措施。混凝土终凝后应立即开始持续潮湿养护。

6.5.4 混凝土养护方法应根据构件外型选定,可采用洒水、土工布覆盖浇水、包裹塑料薄膜、喷涂养护液等措施进行养护。当日平均温度低于 5℃ 时,不宜洒水养护。

6.5.5 预应力混凝土、钢筋混凝土构件不得使用海水养护。

6.5.6 养护混凝土时,应每天记录天气的最高温度、最低温度和天气变化情况。

6.5.7 在常温下混凝土潮湿养护时间不应少于 14d,气温较低时应适当延长潮湿养护时间。

6.6 高性能混凝土防裂措施

6.6.1 高性能混凝土施工前应根据结构尺寸、类型、配筋情况、环境条件等因素对混凝土可能产生的裂缝类型、程度进行分析,有针对性地采取防裂措施。

6.6.2 高性能混凝土应采取下列防裂措施:

(1) 选用与胶凝材料匹配,且减水率较高的高效减水剂,尽量降低混凝土拌合物用水量和胶凝材料用量;

(2) 在保证混凝土工作性满足要求的前提下选择较低的坍落度;

(3) 使用合适的混凝土搅拌时间,使混凝土拌合物具有良好的均匀性;

(4)混凝土初凝前进行二次抹面并及时覆盖,终凝后立即潮湿养护。

6.6.3 大体积高性能混凝土,除应符合第 6.6.2 条的规定外,宜采取下列措施:

- (1)混凝土入模温度,热天施工不大于 30°C ,冷天施工不小于 5°C ;
- (2)混凝土内表温差不大于 25°C ,混凝土块体降温速率不大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$;
- (3)采取防止混凝土表面温度骤降的措施,混凝土表层与大气温差不大于 20°C ;
- (4)混凝土表面与养护水的温差不大于 15°C ;
- (5)控制浇筑程序,采取分块、分段或分层施工;
- (6)不在混凝土内部最高温度出现前拆模,拆模后注意保温,避免降温速度过快;
- (7)必要时在收缩应力最大部位增配构造筋。

7 质量合格控制

7.1 高性能混凝土外观质量

7.1.1 混凝土结构、构件拆模后应对其外观质量及外形尺寸进行检查,其检查数量和方法应按现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定执行,检查应详细记录。

7.1.2 混凝土施工生产过程中产生的表面缺陷、裂缝等,应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定进行修补。

7.2 高性能混凝土强度

7.2.1 高性能混凝土试件留置、制作、养护和试验应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)和《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定执行。

7.2.2 高性能混凝土抗压强度合格评定应符合下列规定。

7.2.2.1 混凝土强度的评定验收应分批进行。同一验收批的混凝土应强度等级相同、配合比和生产工艺基本相同。现浇混凝土应按分部工程划分验收批;预制混凝土构件应按月划分验收批。

7.2.2.2 对同一验收批的混凝土强度,应以该批内全部留置标准试件组数强度代表值作为统计数据评定,除非查明确系试验失误,不得任意抛弃一个统计数据。

7.2.2.3 留置的每组抗压强度试件应由 3 个立方体试块组成,试样应取自同一罐混凝土,并应以 3 个试件强度的平均值作为该组试件强度的代表值。当 3 个试件强度中的最大值或最小值之一,与中间值之差超过中间值的 15% 时,代表值应取中间值;当 3 个试件强度中的最大值和最小值,与中间值之差均超过中间值的 15% 时,该组试件不应作为强度评定的依据。

7.2.3 当验收批内混凝土试件组数不少于 5 组时,混凝土抗压强度的合格评定应符合下列规定。

7.2.3.1 混凝土抗压强度的统计数据应同时满足下列公式的要求:

$$m_{fcu} - s_{fcu} \geq f_{cu,k} \quad (7.2.3-1)$$

$$f_{cu,min} \geq f_{cu,k} - C\sigma_0 \quad (7.2.3-2)$$

式中 m_{fcu} ——混凝土抗压强度平均值(MPa);

s_{fcu} ——混凝土抗压强度标准差(MPa);

$f_{cu,k}$ ——混凝土抗压强度标准值(MPa);

$f_{cu,min}$ ——验收批内混凝土抗压强度中的最小值(MPa);

C ——混凝土验收系数,按表 7.2.3-1 选取;
 σ_0 ——混凝土抗压强度标准差的平均水平 (MPa),按表 5.1.4 选取。

7.2.3.2 混凝土抗压强度标准差应按下式计算:

$$s_{fcu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{fcu}^2}{n-1}} \tag{7.2.3-3}$$

式中 s_{fcu} ——混凝土抗压强度标准差 (MPa),不得低于 $(\sigma_0 - 2.0)$ MPa;
 $f_{cu,i}$ ——第 i 组混凝土的抗压强度值 (MPa);
 n ——验收批内混凝土试件的组数,不少于 5 组;
 m_{fcu} ——混凝土抗压强度平均值 (MPa)。

7.2.3.3 混凝土验收系数应按表 7.2.3-1 选定。

混凝土验收系数 C			表 7.2.3-1
n	5 ~ 9	10 ~ 19	≥ 20
C	0.7	0.9	1.0

7.2.3.4 当只有抗压强度最小值不能满足要求时,可将混凝土试件抗压强度值按时间顺序排列,并结合生产过程管理图表,在分析低抗压强度数据出现原因和规律的基础上,可适当将验收批划小,再按式(7.2.3-1)和式(7.2.3-2)重新进行合格评定。

7.2.4 当验收批内混凝土试件组数为 2 ~ 4 组时,混凝土抗压强度的合格评定统计数据应同时满足下列公式的要求:

$$m_{fcu} \geq f_{cu,k} + D \tag{7.2.4-1}$$

$$f_{cu,min} \geq f_{cu,k} - 0.5D \tag{7.2.4-2}$$

式中 m_{fcu} ——混凝土抗压强度平均值 (MPa);
 $f_{cu,k}$ ——混凝土抗压强度标准值 (MPa);
 D ——修正标准差 (MPa),其取值与表 5.1.4 中的 σ_0 值相同;
 $f_{cu,min}$ ——验收批内混凝土抗压强度中的最小值 (MPa)。

7.3 高性能混凝土耐久性

7.3.1 高性能混凝土抗冻性、抗渗性试块留置组数和合格检验应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定。

7.3.2 高性能混凝土抗氯离子渗透性试件的制作、养护和试验应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2)或附录 B 的有关规定。

7.3.3 高性能混凝土抗氯离子渗透性试件的留置应符合下列规定。

7.3.3.1 同一配合比的混凝土每浇筑 1000m³ 应留置 1 组试件,每个混凝土分项工程应至少留置 3 组试件。

7.3.3.2 当对留置试件混凝土抗氯离子渗透性合格评定结论有异议时,可采用在构件上钻取芯样法进行验证性检测,同类构件的芯样试件数量不宜少于 3 个,混凝土构件龄期不宜超过标准养护试件 30d。

7.3.4 高性能混凝土抗氯离子渗透性试件的评定应符合下列规定。

7.3.4.1 试件组数为 3 组时,任何 1 组的代表值均应符合设计规定的限值。

7.3.4.2 试件组数为 4 ~ 10 组时,总平均值不得大于设计规定的限值,其中任何 1 组的代表值不得超过限值的 10%。

7.3.4.3 试件组数大于 10 组时,总平均值不得大于设计规定的限值,其中任何 1 组的代表值不得超过限值的 15%。

7.3.5 大气区、浪溅区、水位变动区混凝土主要构件保护层厚度检测的检测范围、抽样数量和允许偏差值应符合下列规定。

7.3.5.1 混凝土保护层厚度检测的结构部位应根据结构构件的重要性选定。检验批可按构件类型或时间段划分。

7.3.5.2 检验批构件应各抽取构件数量的 2% 且不少于 5 个构件进行检测。

7.3.5.3 受检构件应选择有代表性的最外侧 4 根纵向受力钢筋进行混凝土保护层厚度无破损检测,对每根钢筋应选取 5 个代表性部位检测。

7.3.5.4 混凝土保护层厚度的允许偏差应为 $\pm_{-5}^{+10}$ mm。

7.3.6 混凝土保护层厚度检测宜采用非破损方法,并采用局部破损方法校准。采用非破损方法检测时,所用仪器应进行校准。检测误差应满足表 7.3.6 的要求。

混凝土保护层测厚仪检测误差 表 7.3.6

设计保护层厚度 δ (mm)	检测误差 (mm)	设计保护层厚度 δ (mm)	检测误差 (mm)
$\delta < 50$	± 1	$\delta \geq 60$	± 3
$50 \leq \delta < 60$	± 2	—	—

7.3.7 构件保护层厚度检测的合格判定标准应符合下列规定。

7.3.7.1 受检构件保护层厚度检测的合格点率为 90% 及以上时,保护层厚度的检测结果应判定为合格。

7.3.7.2 保护层厚度检测的合格点率为 80% ~ 90% 时,可再增加 4 根钢筋进行检测,当按两次抽样数量总和计算的合格点率为 90% 及以上时,保护层厚度的检测结果应判定为合格。

7.3.7.3 每次抽样检测结果中不合格点的最大偏差均不应大于第 7.3.5.4 款规定允许偏差的 1.5 倍。

7.3.7.4 受检构件保护层厚度的检测结果不合格时,应判定检验批不合格,并应对检验批构件全部检测,对保护层厚度检测结果不合格构件,应确定补救措施。

7.4 高性能混凝土质量问题的处理

7.4.1 高性能混凝土外观缺陷不符合第 7.1.1 条的规定时的处理方法应符合下列规定。

7.4.1.1 不影响结构的使用性能时,应提出处理方案,经整修后重新检验评定。

7.4.1.2 对混凝土试件强度的代表性或强度合格评定结论有怀疑时,可采用非破损检测方法检测,必要时应从结构、构件中钻取芯样对结构、构件的混凝土强度等级进行评估。

7.4.2 用超声一回弹综合法对结构中混凝土强度进行检测和评估应符合下列规定。

7.4.2.1 出现下列情况之一可采用超声—回弹综合法：

- (1)标准立方体试件的强度被评定为不合格,但对结论有怀疑;
- (2)标准立方体试件强度缺乏代表性;
- (3)混凝土浇筑、养护不当而造成结构物施工质量不良。

7.4.2.2 出现下列情况之一不宜采用超声—回弹综合法：

- (1)遭受冻害、化学腐蚀和火灾损伤;
- (2)埋有块石或有明显缺陷、孔洞。

7.4.2.3 对超声—回弹综合法的评估结论有怀疑或争议时,可在结构、构件上钻取芯样校准。

7.4.3 混凝土结构实体检测保护层厚度不合格应另采取有效的防腐蚀措施。

附录 A 高性能混凝土坍落扩展度试验方法

A.0.1 试验设备应满足下列要求:

- (1) 坍落度筒满足现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定;
- (2) 捣棒为直径 16mm,长度 650mm 的钢棒,一端做成弹头状;
- (3) 钢板尺寸为 1000mm × 1000mm,厚度至少为 3mm 且表面平整;
- (4) 钢直尺最大量程不小于 700mm,最小刻度不大于 1mm;
- (5) 秒表测量精度不大于 0.1s。

A.0.2 试验应按下列步骤进行:

- (1) 用湿布擦拭坍落度筒内外表面和钢板表面,将坍落度筒放在水平放置的钢板上;
- (2) 在拌和均匀的混凝土拌合物中取出试样,尽快地分三层均匀地装入坍落度筒中,使捣实后每层高度约为筒高的 1/3 左右;
- (3) 每装 1 层,用捣棒在混凝土全部截面积上均匀插捣 25 次,插捣沿螺旋线由边缘逐渐向中心进行。插捣底层时捣棒贯穿至底部,插捣第 2 层和顶层时捣棒插透本层至下层表面;
- (4) 三层捣完后抹平混凝土上表面,使其与坍落度筒的上边缘齐平,然后在 5 ~ 10s 内均匀垂直向上提起坍落度筒;
- (5) 从开始装料到提起坍落度筒的整个过程中无间断地进行,并在 150s 内完成;
- (6) 采用秒表计时测定自坍落度筒完全提起至 30s 时,测量混凝土坍落扩展最大直径和与其垂直方向的直径,测量精确至 1mm。

A.0.3 试验结果的评定应满足下列要求:

- (1) 坍落扩展度试验结果取两个垂直方向直径测值的算术平均值,计算精确到 5mm;
- (2) 两个垂直方向的坍落扩展度直径的差值超过 50mm 时,从同一批次的混凝土中重新取样试验。

附录 B 混凝土抗氯离子渗透性扩散系数 电迁移试验方法

B.0.1 本试验方法可用于测定非稳态电迁移试验中混凝土或水泥基修补材料的氯离子扩散系数。

B.0.2 试验仪器设备和化学试剂应满足下列要求：

- (1) 试验装置如图 B.0.2-1 所示；
- (2) 试验装置各部件如图 B.0.2-2、图 B.0.2-3 和图 B.0.2-4 所示，其中橡胶套筒、电解质水槽、阳极和阴极各 6 个，不锈钢管卡 12 个；

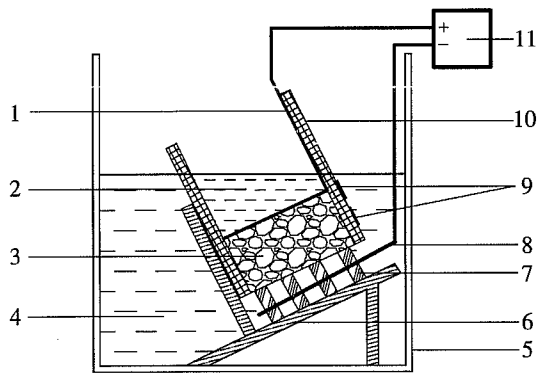


图 B.0.2-1 试验装置示意图

1-阳极;2-阳极溶液;3-试件;4-阴极溶液;5-电解质水槽;6-有机玻璃支架;7-阴极架;8-阴极;9-不锈钢管卡;10-橡胶套筒;11-直流稳压电源

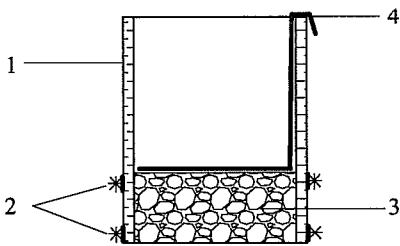


图 B.0.2-2 橡胶套筒、不锈钢管卡、试件和阳极

1-橡胶套筒;2-不锈钢管卡;3-试件;4-阳极(不锈钢网)

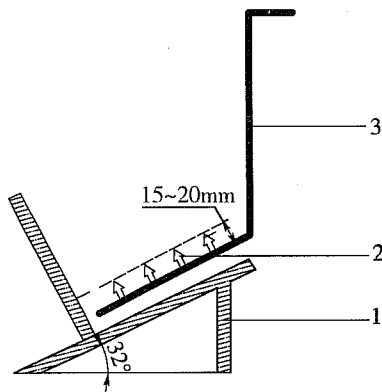


图 B.0.2-3 有机玻璃支架和阴极

1-有机玻璃支架;2-阴极架;3-阴极(不锈钢板)

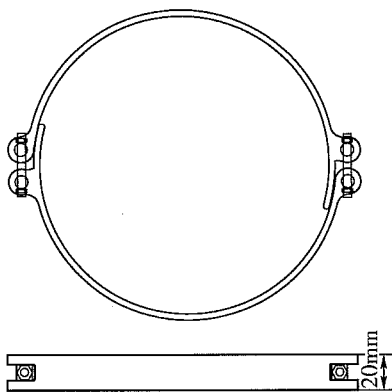


图 B.0.2-4 不锈钢管卡

- (3) 真空泵,真空度不大于 1000Pa;
- (4) 真空容器,内径不小于 250mm;
- (5) 温度计或可读热电偶,精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$;
- (6) 两脚规和游标卡尺,游标卡尺精度 $\pm 0.1\text{mm}$;
- (7) 符合标准的蒸馏水或去离子水;
- (8) 分析纯试剂配制的饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液;
- (9) 化学纯试剂配制的 10% NaCl 溶液 12L;
- (10) 化学纯试剂配制的 0.3mol/L NaOH 溶液约 300ml;
- (11) 显色指示剂,分析纯试剂配制的 0.1 mol/L AgNO_3 溶液。

B.0.3 试验应按下列步骤进行:

- (1) 制作直径 100mm、厚度 100mm、骨料最大粒径不大于 25 mm 的混凝土试件,试件用内径 100mm、高度 100mm 的圆柱体钢模按标准方法成型,或对硬化混凝土钻芯取样,试验以 3 块试件为一组;
- (2) 试件成型后立即用塑料薄膜覆盖并放入标准养护室,24h 后拆模并进行标准养护;
- (3) 试件到达养护龄期,沿试块中间切成两个直径 100mm、厚度 50mm 的圆柱形试件;当试件在实体混凝土结构中钻取时,先切割成标准试件尺寸,然后在标准养护室水池中浸泡 72h 后进行试验;
- (4) 用刷子清洗表面及缝隙的浮灰,擦去试件表面多余的水分,当试件暴露于空气中至表面干燥后,将试件放入真空容器中进行抽真空处理;
- (5) 试件抽真空时,每个试件的表面暴露在真空中,在 5min 内将真空容器中的绝对压力减少到 1000Pa 以下,保持真空 3h 后,维持这一真空度将饱和的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液吸入真空容器,直至淹没试件,试件浸泡 1h 后恢复常压,再继续浸泡 $(18 \pm 2)\text{h}$;
- (6) 将试块从 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中取出后,用干抹布擦干表面水分,用游标卡尺测量试件的厚度,精确到 0.1mm,当试件达到表面干燥的状态后将试件塞进橡胶套筒内,新鲜的切割面朝下,用两个不锈钢管卡将试块与橡胶套筒箍紧至不渗漏;
- (7) 将浓度为 10% 的 NaCl 溶液注入阴极电解质水槽中,将 0.3mol/L 的 NaOH 溶液注入橡胶套筒内约 300ml,将橡胶套筒放入阳极电解质水槽中,测量此时 NaOH 溶液的初始温度;注入 NaCl 溶液的电解质水槽中的阴极连接电源负极,注入 NaOH 溶液的橡胶套筒中的阳极连接电源正极;
- (8) 每次试验 6 个试件,其中平行比较样 3 个,检测试样 3 个,分别与电源的 6 个接口相连;
- (9) 接通电源,调节各回路电压到 30V,分别观察各回路初始电流,根据初始电流值从表 B.0.3-1 中选择试验电压;根据实际施加的试验电压测得的试验电流,选择试验时间进行试验;
- (10) 通电结束测量 NaOH 溶液的最终温度;
- (11) 取出试件并用自来水冲洗试件表面,再用干抹布擦干表面,立即用压力试验机

沿轴向劈裂成两半；

初始电流与时间关系

表 B.0.3-1

初始电流 I_0 (mA)	试验电压 U (V)	试验电流 I_i (mA)	试验时间 t (h)
$I_0 < 5$	60	$I_i < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_i < 20$	48
$10 \leq I_0 < 15$	60	$20 \leq I_i < 30$	24
$15 \leq I_0 < 20$	50	$25 \leq I_i < 35$	24
$20 \leq I_0 < 30$	40	$25 \leq I_i < 40$	24
$30 \leq I_0 < 40$	35	$35 \leq I_i < 50$	24
$40 \leq I_0 < 60$	30	$40 \leq I_i < 60$	24
$60 \leq I_0 < 90$	25	$50 \leq I_i < 75$	24
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_i < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_i < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_i < 120$	24
$I_0 \geq 360$	10	$I_i \geq 120$	6

(12) 在新劈裂的断面喷涂 0.1mol/L 的 AgNO_3 溶液,放置 15 min;

(13) 用两脚规和游标卡尺测量白色 AgCl 标示的渗透深度,从正中间向两边每隔 10mm 测量一个数据,精确到 0.1mm,共测得 7 个数据,测量位置如图 B.0.3 所示,渗透深度记录表如表 B.0.3-2 所示。

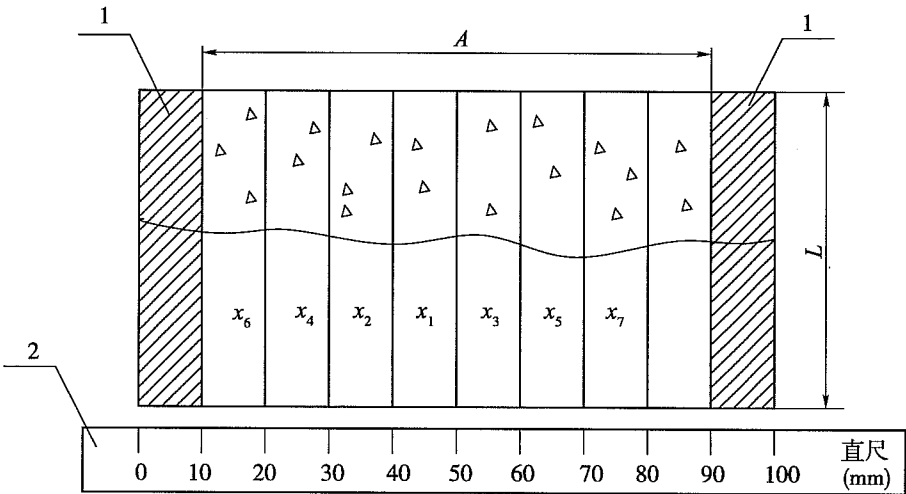


图 B.0.3 氯离子渗透深度测量示意图

1-试件边缘部分;2-直尺

A-测量范围;L-试件厚度

渗透深度记录表

表 B.0.3-2

试件 编号	试件 直径 (mm)	试件 厚度 (mm)	试验 电压 (V)	试验 时间 (h)	溶液 温度 (℃)	氯离子渗透深度(mm)							
						测点值							平均值
						1	2	3	4	5	6	7	

B.0.4 试验结果计算应符合下列规定。

B.0.4.1 混凝土非稳态氯离子扩散系数应按下列式计算：

$$D_{nssm} = \frac{0.0239 \times (273 + T)L}{(U - 2)t} \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)LX_d}{U - 2}} \right) \quad (\text{B.0.4})$$

式中 D_{nssm} ——混凝土非稳态氯离子扩散系数($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)；

T ——氢氧化钠溶液的初始温度和最终温度的平均值(℃)；

L ——试件厚度(mm)；

U ——试验电压(V)；

t ——试验时间(h)；

X_d ——氯离子渗透深度平均值(mm)。

B.0.4.2 试验结果的评定应满足下列要求：

(1) 取同组 3 个试件扩散系数的算术平均值；

(2) 同组 3 个试件扩散系数的最大值或最小值之一,与中间值之差有一个超过平均值的 15% 时,取中间值；

(3) 同组 3 个试件扩散系数的最大值和最小值,与中间值之差均超过平均值的 15% 时,该组数据无效。

附录 C 硬化混凝土氯离子扩散系数浸泡试验方法

C.0.1 本试验方法测定的混凝土氯离子扩散系数可用于氯盐环境中混凝土耐久性设计,或对已建混凝土结构耐久性进行评估。

C.0.2 本试验方法可用于已建混凝土构件所取的混凝土芯样,或试验室成型的混凝土养护龄期达到 28d 及以上的试件。

C.0.3 试件应满足下列要求:

- (1) 试件直径不小于粗骨料最大粒径 3 倍;
- (2) 芯样试件直径不小于 75mm、高度不小于 100mm,混凝土立方体试件边长不小于 100mm。

C.0.4 试验仪器设备和化学试剂应包括下列内容:

- (1) 水冷金刚石锯片类的混凝土切割设备;
- (2) 天平,精确至 0.01g;
- (3) 温度计,最小刻度 1℃;
- (4) 带盖密封性好的塑料容器,最小容量 15L;
- (5) 混凝土粉样分层研磨和收集专用设备;
- (6) 标准筛,网眼孔径 1.0mm;
- (7) 游标卡尺,精度 $\pm 0.1\text{mm}$;
- (8) 分析纯试剂配制的饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液;
- (9) 化学纯试剂配制的浓度为 165g/L 的 NaCl 溶液;
- (10) 硅橡胶或树脂类密封材料。

C.0.5 混凝土试件制备应符合下列规定。

C.0.5.1 现场钻芯取样的混凝土试件应按下列步骤制备:

(1) 从混凝土表面起切割取 70mm 高度芯样,切除表层 10mm 厚度混凝土弃用,以剩余高度 60mm 芯样作为 1 个试件,以朝向混凝土表层的端面作为暴露试验表面,试验以 3 个试件为 1 组,并在剩余的混凝土芯样中另外切割厚度不小于 20mm 的混凝土层,作为测定混凝土初始氯离子浓度试件;

(2) 芯样切割时,保持切割面垂直于圆柱体芯样的中轴线。

C.0.5.2 试验室成型的混凝土立方体试件应按下列步骤制备:

(1) 成型边长不小于 100mm 的立方体混凝土试件,在达到规定的养护龄期后,切割高度 60mm 样品作为 1 个试件,以切割面作为暴露试验表面,试验以 3 个试件为 1 组;

(2) 在剩余的混凝土芯样或混凝土立方体试件中,另外切割厚度不小于 20mm 的混凝土层,干燥后压碎研磨成粉状,直至全部通过 1.0mm 孔径标准筛,作为测定混凝土初始

氯离子浓度样品。

C.0.6 试验应按下列步骤进行：

(1) 将高度 60mm 试件浸没于温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中, 溶液盛放在密封的塑料容器中并装满;

(2) 试件浸泡 24h 后取出, 待试件表面干燥时称量混凝土质量;

(3) 试件继续浸泡于饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中, 浸泡 24h 后取出, 待试件表面干燥时称重, 如此重复上述试验, 直至试件每次称量的质量变化不超过试件质量的 0.1%;

(4) 除暴露试验表面外, 当试件的其余表面在室温下完全干燥后, 在试件表面涂敷一层厚度约 1mm 的硅橡胶或者环氧密封材料, 必要时填补表面的孔隙以保证试件表面完全达到密封状态;

(5) 试件表面密封材料硬化以后, 将试件重新置于饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中, 按上述方法试验直至表干状态的试件质量变化不超过试件质量的 0.1%;

(6) 将处理完毕的试件浸泡于 165g/L 的 NaCl 溶液中, 试件的暴露试验面朝上垂直放置, 使暴露表面的面积与溶液的体积之比介于 20 ~ 80, 溶液液面淹没至容器顶面, 并保持容器密封;

(7) 保持溶液温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, 每天测试 1 次溶液温度;

(8) NaCl 溶液使用超过 5 周需要重新配制, 每次使用前后检测 NaCl 溶液的浓度;

(9) 混凝土试件浸泡 35 ~ 40d, 记录浸泡试验开始时间和结束时间, 时间精确至 10min;

(10) 浸泡试验结束后, 立即用自来水轻轻冲洗试件表面, 将试件表面多余的水分擦干;

(11) 在混凝土粉样分层研磨机上, 按照与试件暴露面平行的方向分层磨取混凝土粉样, 磨粉范围第 1 层在试件中心至试件边缘 5mm 以内的区域, 并随着磨粉深度层逐渐加大, 从中心起逐层减小磨粉范围, 每层取样的有效范围不小于骨料最大粒径的 3 倍;

(12) 混凝土分层取样最少 8 层, 分层厚度根据水胶比参照表 C.0.6 选取或按估算的氯离子浓度分布情况确定, 第 1 层取样厚度不小于 1.0mm, 至少有 6 层样品的氯离子浓度高于初始氯离子浓度;

混凝土分层取样厚度 (mm)

表 C.0.6

水胶比 层号	≤ 0.25	0.26 ~ 0.30	0.31 ~ 0.35	0.36 ~ 0.40	0.41 ~ 0.50	≥ 0.60
第 1 层	0 ~ 1	0 ~ 1	0 ~ 1	0 ~ 1	0 ~ 1	0 ~ 1
第 2 层	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 3	1 ~ 3	1 ~ 3
第 3 层	2 ~ 3	2 ~ 3	2 ~ 3	3 ~ 5	3 ~ 5	3 ~ 6
第 4 层	3 ~ 4	3 ~ 4	3 ~ 5	5 ~ 7	5 ~ 8	6 ~ 10
第 5 层	4 ~ 5	4 ~ 6	5 ~ 7	7 ~ 10	8 ~ 12	10 ~ 15
第 6 层	5 ~ 6	6 ~ 8	7 ~ 9	10 ~ 13	12 ~ 16	15 ~ 20
第 7 层	6 ~ 8	8 ~ 10	9 ~ 12	13 ~ 16	16 ~ 20	20 ~ 25
第 8 层	8 ~ 10	10 ~ 12	12 ~ 16	16 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30

(13) 取样厚度值使用游标卡尺测量对角线 4 个点的平均深度计算;

(14) 掺加粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等活性掺合料试件,混凝土分层取样厚度按降低一档水胶比选用;

(15) 每一层的干燥样品质量不少于 5g,同一层的粉体样品混合均匀,并密封包装编号;

(16) 混凝土酸溶性氯离子含量测试,按照现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定执行。

C.0.7 试验结果计算应符合下列规定。

C.0.7.1 混凝土氯离子扩散系数、表面氯离子浓度可通过实验测定的分层氯离子浓度采用式(C.0.7)拟合得出,拟合方法应根据最小二乘法推导的非线性回归分析方法,在回归分析中应略去第一层数值,其余各层数值应按照相同的权重计算。

$$C(x, t) = C_s - (C_s - C_i) \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{4D_e t}}\right) \quad (\text{C.0.7})$$

式中 $C(x, t)$ ——混凝土经过浸泡时间 t 后在深度 x 中的氯离子浓度(%);

C_s ——混凝土表面氯离子浓度(%);

C_i ——混凝土初始氯离子浓度(%);

x ——距离混凝土浸泡表面的深度(mm);

D_e ——混凝土氯离子扩散系数($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$);

t ——浸泡时间(s);

erf ——误差函数。

C.0.7.2 混凝土氯离子扩散系数和表面氯离子浓度计算结果的处理,应满足下列要求:

(1) 取同组 3 个试件的平均值;

(2) 当同组 3 个试件的最大值或最小值之一,与中间值之差有一个超过平均值的 20% 时,取中间值;

(3) 当同组 3 个试件的最大值和最小值,与中间值之差均超过平均值的 20% 时,该组数据无效。

附录 D 混凝土结构使用年限计算

D.0.1 海洋环境下混凝土结构钢筋锈蚀劣化进程所经历的时间,应按混凝土中钢筋开始锈蚀阶段、混凝土保护层锈胀开裂阶段、混凝土功能明显退化阶段进行计算。

D.0.2 钢筋开始锈蚀阶段所经历的时间计算应符合下列规定。

D.0.2.1 钢筋开始锈蚀阶段所经历的时间可按下式计算:

$$t_i = \frac{c^2}{4D_t \left[\operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{cr} - C_0}{\gamma C_s - C_0} \right) \right]^2} \quad (\text{D.0.2-1})$$

式中 t_i ——混凝土从浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间(a);

c ——混凝土保护层厚度(mm);

D_t ——混凝土氯离子有效扩散系数($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$);

erf ——误差函数;

C_{cr} ——混凝土中钢筋开始发生腐蚀的临界氯离子浓度(%);

C_0 ——混凝土中的初始氯离子浓度(%);

γ ——氯离子双向渗透系数,角部区取 1.2,非角部区取 1.0;

C_s ——混凝土表面氯离子浓度(%)。

D.0.2.2 混凝土氯离子有效扩散系数可按下列公式计算:

$$D_t = D_{ref} k_e \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^n \quad (\text{D.0.2-2})$$

$$k_e = \exp \left[\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (\text{D.0.2-3})$$

式中 D_t ——混凝土氯离子有效扩散系数($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$);

D_{ref} ——快速试验方法测定的混凝土氯离子扩散系数($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$);

k_e ——环境系数;

t_{ref} ——参考试验时间(a);

t ——混凝土氯离子扩散系数的衰减期(a);

n ——混凝土氯离子扩散系数的衰减系数;

U ——混凝土氯离子扩散过程的活化能(J/mol),取 35000J/mol;

R ——理想气体常数(J/K/mol),取 8.314 J/K/mol;

T_0 ——参考温度(K),取 293K;

T ——环境温度(K)。

D.0.2.3 混凝土氯离子扩散系数的衰减期应根据工程实测或暴露试验数据确定,当

无可靠资料时可取 20a。

D.0.2.4 混凝土氯离子扩散系数的衰减系数应根据工程实测或暴露试验数据确定,当无可靠资料时可按表 D.0.2-1 选取。

氯离子扩散系数的衰减系数 表 D.0.2-1

硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥	单掺粉煤灰	单掺粒化高炉矿渣粉	粉煤灰和粒化高炉矿渣粉混掺	单掺硅灰
0.25	0.50	0.55	0.55	0.20

D.0.2.5 混凝土中钢筋开始发生腐蚀的临界氯离子浓度应根据工程实测或暴露试验数据确定,当无可靠资料时可按表 D.0.2-2 选取。

混凝土临界氯离子浓度 (按胶凝材料质量百分比计) 表 D.0.2-2

大气区	浪 溅 区			水位变动区
	$0.4 < W/B \leq 0.45$	$0.35 < W/B \leq 0.40$	$W/B \leq 0.35$	
0.55	0.35	0.40	0.45	0.50

注:W/B 为混凝土水胶比。

D.0.2.6 混凝土表面氯离子浓度应根据工程实测或暴露试验数据确定,当无可靠资料时可按表 D.0.2-3 选取。

混凝土表面氯离子浓度 (按胶凝材料质量百分比计) 表 D.0.2-3

混凝土品种	大气区	浪溅区与水位变动区	水下区
普通混凝土	3.6	4.5	4.5
高性能混凝土	3.6	5.4	5.4

D.0.2.7 混凝土初始氯离子浓度应按实测数据确定,当无可靠资料时按胶凝材料质量百分比计可取 0.09%。

D.0.3 混凝土保护层锈胀开裂阶段所经历的时间计算应符合下列规定。

D.0.3.1 混凝土保护层锈胀开裂阶段所经历的时间可按下式计算:

$$t_c = \frac{\delta_{cr}}{\lambda_1} \quad (\text{D.0.3-1})$$

式中 t_c ——钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间(a);

δ_{cr} ——保护层开裂时钢筋临界锈蚀深度(mm);

λ_1 ——保护层开裂前钢筋平均腐蚀速度(mm/a)。

D.0.3.2 混凝土保护层开裂时钢筋临界锈蚀深度可按下式计算:

$$\delta_{cr} = 0.012 \frac{c}{d} + 0.00084f_{cu,k} + 0.018 \quad (\text{D.0.3-2})$$

式中 δ_{cr} ——保护层开裂时钢筋临界锈蚀深度(mm);

c ——混凝土保护层厚度(mm);

d ——钢筋原始直径(mm);

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa)。

D.0.3.3 混凝土保护层开裂前钢筋平均腐蚀速度可按下式计算:

$$\lambda_1 = 0.0116i \quad (\text{D.0.3-3})$$

式中 λ_1 ——保护层开裂前钢筋平均腐蚀速度(mm/a);
 i ——钢筋腐蚀电流密度($\mu\text{A}/\text{cm}^2$),按表 D.0.3 选取。

混凝土保护层开裂前钢筋腐蚀电流密度($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) 表 D.0.3

混凝土品种	浪 溅 区	水位变动区	大 气 区
普通混凝土	1.00	0.50	0.50
高性能混凝土	0.50	0.25	0.25

D.0.4 混凝土功能明显退化阶段所经历的时间可按式计算:

$$t_d = \left(1 - \frac{3}{\sqrt{10}}\right) \cdot \frac{d}{2\lambda_2} \quad (\text{D.0.4})$$

式中 t_d ——自保护层开裂到钢筋截面面积减小至原截面面积 90% 所经历的时间(a);
 d ——钢筋原始直径(mm);
 λ_2 ——保护层开裂后钢筋平均腐蚀速度(mm/a),按表 D.0.4 选取。

钢筋平均腐蚀速度(mm/a) 表 D.0.4

浪 溅 区	水位变动区	大 气 区
0.20	0.06	0.05

注:浪溅区的钢筋混凝土板钢筋平均腐蚀速度取 0.05mm/a。

D.0.5 混凝土结构使用年限计算应符合下列规定。

D.0.5.1 钢筋混凝土结构使用年限应按下式计算:

$$t_e = t_i + t_c + t_d \quad (\text{D.0.5-1})$$

式中 t_e ——混凝土结构使用年限(a);
 t_i ——从混凝土浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间(a);
 t_c ——自钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间(a);
 t_d ——自保护层开裂到钢筋截面面积减小至原截面面积 90% 所经历的时间(a)。

D.0.5.2 预应力筋为螺纹钢筋的预应力混凝土结构使用年限应按下式计算:

$$t_e = t_i + t_c \quad (\text{D.0.5-2})$$

式中 t_e ——混凝土结构使用年限(a);
 t_i ——从混凝土浇筑到预应力钢筋开始锈蚀所经历的时间(a);
 t_c ——自预应力钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间(a)。

D.0.5.3 预应力筋为高强钢丝、钢绞线的预应力混凝土结构使用年限应按下式计算:

$$t_e = t_i \quad (\text{D.0.5-3})$$

式中 t_e ——混凝土结构使用年限(a);
 t_i ——从混凝土浇筑到预应力筋开始锈蚀所经历的时间(a)。

附录 E 本标准用词用语说明

E.0.1 为了便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度的用词用语说明如下:

(1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

表示有选择,在一定条件下可以这样做的采用“可”。

E.0.2 条文中指应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

附加说明

本标准主编单位、参编单位、 主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中交四航工程研究院有限公司

中交第三航务工程局有限公司

参 编 单 位:中国交通建设股份有限公司

中交天津港湾工程研究院有限公司

中交上海三航科学研究院有限公司

中交武汉港湾工程设计研究院有限公司

中交第四航务工程局有限公司

主要起草人:潘德强(中交四航工程研究院有限公司)

王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

金建昌(中交第三航务工程局有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

田俊峰(中国交通建设股份有限公司)

张国志(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

罗碧丹(中交第四航务工程局有限公司)

胡力平(中交上海三航科学研究院有限公司)

黄君哲(中交四航工程研究院有限公司)

黄孝蘅(中交天津港湾工程研究院有限公司)

总 校 人 员:胡 明(交通运输部水运局)

李德春(交通运输部水运局)

吴敦龙(中交水运规划设计院有限公司)

潘德强(中交四航工程研究院有限公司)

王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

黄君哲(中交四航工程研究院有限公司)

张夏虹(中交四航工程研究院有限公司)

董 方(人民交通出版社)

管理组人员:王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

黄君哲(中交四航工程研究院有限公司)

范志宏(中交四航工程研究院有限公司)

中华人民共和国行业标准

海港工程高性能混凝土质量控制标准

JTS 257—2—2012

条文说明

目 次

1 总则	(43)
2 术语	(44)
3 基本规定	(45)
3.1 一般规定	(45)
3.2 混凝土拌合物	(45)
3.3 高性能混凝土强度等级	(46)
3.4 高性能混凝土耐久性要求	(46)
4 原材料质量控制	(51)
4.2 水泥	(51)
4.3 掺合料	(51)
4.4 细骨料	(51)
4.5 粗骨料	(52)
4.6 拌和用水	(52)
4.7 外加剂	(52)
5 配合比控制	(53)
5.1 一般规定	(53)
5.2 高性能混凝土配合比设计	(53)
5.3 大体积高性能混凝土配合比设计	(53)
6 施工过程质量控制	(54)
6.1 配料	(54)
6.3 运输	(54)
6.4 浇筑	(54)
6.6 高性能混凝土防裂措施	(54)
7 质量合格控制	(56)
7.3 高性能混凝土耐久性	(56)
附录 D 混凝土结构使用年限计算	(57)

1 总 则

1.0.1 高性能混凝土质量控制包括耐久性设计及施工过程中的初步控制、生产控制和合格控制。通过耐久性设计,确定高性能混凝土的质量指标及选择必要的保护措施,保证混凝土建筑物的使用寿命;通过对原材料的质量检验与控制、混凝土配合比的确定与控制、生产和施工过程中的检验与控制以及合格性检验与控制,使高性能混凝土质量符合设计要求。

1.0.4 高性能混凝土质量控制涉及到原材料、混凝土配合比、施工生产工艺、生产设备、检验方法及结构设计等许多方面,故在进行质量控制时,除执行本标准的规定外,尚应执行国家现行有关标准。

2 术 语

2.0.1 海港工程混凝土结构腐蚀损坏的主要原因是氯盐腐蚀。高性能混凝土是通过在混凝土中掺加大掺量优质掺合料和低水胶比等措施,使混凝土具有高抗氯离子渗透性,显著提高了混凝土本身的护筋性能,同时高性能混凝土较高的密实性和良好的孔结构,也使其具有良好的抗冻融能力。

2.0.4 通常情况下处于氯盐环境中的氯离子,是通过扩散、渗透和吸附等不同机理侵入混凝土内部,并在传输过程中可有部分氯离子与胶凝材料及其水化产物相结合,所以通过试验和数学拟合计算得到的混凝土扩散系数在一定程度上也包括了其他传输机理与被结合等因素的影响,反映了氯离子侵入混凝土中的一个综合传输过程。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 对海港码头混凝土结构腐蚀调查表明:混凝土构件按腐蚀的严重程度顺序依次为:浪溅区、水位变动区、大气区、水下区。因此,为提高混凝土结构的耐久性,对混凝土浪溅区部位规定使用高性能混凝土,根据需要对水位变动区和大气区也采用高性能混凝土,以提高混凝土抗氯离子的腐蚀性能。

3.2 混凝土拌合物

3.2.1 混凝土拌合物的稠度根据构件尺寸、配筋密度、捣实设备以及环境条件等因素确定。混凝土的稠度将直接影响混凝土的浇筑质量和混凝土耐久性。因此,生产过程中加强对混凝土拌合物稠度的检验,有利于发现问题,及时采取措施,确保混凝土拌合物的质量。

由混凝土原材料带入混凝土拌合物中的氯离子将促进钢筋的锈蚀,影响混凝土结构耐久性,且含量越高,影响越大。因此,对于海水环境中的混凝土拌合物检验混凝土中的氯离子含量,将其控制在允许范围内。

均匀性差的混凝土,不仅对混凝土强度有明显影响,而且还会影响到混凝土的耐久性。混凝土拌合物中均匀性与混凝土配合比、组成材料、搅拌设备以及搅拌时间有关。因此,变更时根据需要检测拌合物的均匀性,确保配制匀质混凝土。

混凝土中掺入引气剂,使混凝土拌合物含有许多封闭的微小气泡,明显地提高混凝土抗冻融能力,其抗冻性与含气量有密切关系,但含气量超过一定范围,会明显地降低混凝土强度。因此,检验混凝土拌合物的含气量,以确保混凝土同时具有足够的强度和抗冻性。

有温度控制要求的混凝土,直接受混凝土拌合物温度影响,如大体积混凝土,在炎热气候条件下或冷天浇筑混凝土,检测混凝土拌合物的温度对混凝土温控至关重要。

3.2.2 高性能混凝土具有较高的工作性,混凝土稠度通常处于流动性或大流动性状态,因此通常以坍落度或坍落扩展度表示。在欧洲标准 EN206-1 中对于大流动性混凝土仅用扩展度表示,按扩展度的分级在我国电力行业标准《水下不分散混凝土试验规程》(DL/T 5117—2000)中对水下不分散混凝土的流动性采用扩展度表示,这是由于水下不分散混凝土加入絮凝剂后比较粘稠,流动性较慢,适用于扩展度表示。但在工程实际应用中扩展度测试流动性高性能混凝土并不能很好反映混凝土的工作性,对大流动性混凝土通常采用坍落扩展度测试方法更加实用简便,也使用与坍落度测定相同的试验设备《混

凝土坍落度仪》(JG 3021—1994),在中国土木工程学会标准《自密实混凝土设计与施工指南》(CCES 02—2004)中也使用坍落扩展度表述自密实混凝土的流动性。因此,本标准采用坍落度或坍落扩展度表述高性能混凝土的稠度。

3.2.7 高性能混凝土拌合物均匀性检测要求参照现行国家标准《混凝土搅拌机》(GB/T 9142—2000)提出。

3.3 高性能混凝土强度等级

3.3.1 海水环境中混凝土构件的耐久性能主要取决于混凝土抵抗氯离子、水分、氧气、二氧化碳等侵蚀介质的性能,而混凝土强度等级的影响则在其次。通常情况下混凝土强度等级愈高则混凝土更容易出现各种裂缝,配制高性能混凝土掺入的各种活性掺合料大部分都会不同程度降低混凝土的早期强度。因此,本标准将高性能混凝土的最低强度等级确定为 C40。

3.3.3 混凝土生产管理水平的划分原则是:以港工混凝土强度标准差的平均值 σ_0 作为中等管理水平的基准,具体分界线的确定见下表。

混凝土生产管理水平的划分原则			表 3.3.3
生产管理水平			备 注
优良	中等	较差	
$\leq \sigma_0 - 1.0$	$(\sigma_0 - 1.0, \sigma_0]$	$> \sigma_0$	以 σ_0 作为中等与较差的分界线

3.4 高性能混凝土耐久性要求

3.4.1 海港工程高性能混凝土处于十分恶劣的环境下,受海水的物理化学作用、波浪和漂流固态物的撞击以及磨耗等各种有害作用而逐渐破损,其中最为突出的是处于水位变动区的冻融破坏和浪溅区的钢筋腐蚀破坏,所以所处环境和结构部位对混凝土的使用寿命具有直接影响。因此,高性能混凝土除了拌合物的质量和强度要满足设计和施工要求外,规定根据建筑物所处的环境条件,在建筑物上的部位,按混凝土所要求的抗冻性、抗渗性或防止钢筋腐蚀等进行耐久性设计。

3.4.2 海水环境的港工结构按环境对钢筋腐蚀程度分为大气区、浪溅区、水位变动区和水下区 4 个区域。根据海港工程结构腐蚀调查表明,钢筋腐蚀损坏最严重的范围是从设计高水位以上 1.0m 到设计高水位以下 0.8m 的浪溅区,而水位变动区与海上大气区次之,水下区很少发生腐蚀损坏。为留有适当余地,取设计高水位加 1.5m、设计高水位减 1.0m、设计低水位减 1.0m 为其区域分界线。

本条依据《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)有关海水环境混凝土部位划分进行制定。

3.4.3 混凝土保护层厚度对钢筋防腐蚀极为重要,它有着双重作用。首先,增加它的厚度可明显地推迟腐蚀介质(氯离子等)到达钢筋表面的时间,其次可增强抵抗钢筋腐蚀造成的内应力。在相同的条件下,例如保护层厚度为 65mm 与 50mm 的混凝土结构相比较,理论上保护层厚度为 65mm 比 50mm 的使用寿命可延长 69%。因此,为防止海水环境中

的建筑物过早地发生钢筋腐蚀损坏,除了要求混凝土保护层有良好的质量外(抗氯离子渗透能力),尚需规定合适的混凝土保护层最小厚度值。本条规定的混凝土保护层最小厚度值系根据我国港口工程调查、暴露试验和室内试验等科研成果并参考国外有关规范规定制定的,需要强调的是本标准的混凝土保护层最小厚度是基本耐久性要求的最小厚度,未考虑施工允许偏差和结构设计计算的要求。

考虑到位于水位变动区、浪溅区的现浇混凝土构件施工过程中容易接触海水将影响其耐久性,采取提高现浇混凝土保护层厚度的方法对其耐久性的适度补偿。

3.4.4 基于近年来预应力混凝土采用的混凝土材料和生产工艺已有显著提高,如采用高性能混凝土、连续密封管道工艺等,国内外有关规范已适当降低了预应力混凝土最小保护层厚度值。本条制定时在《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)规定的基础上,参考《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476—2008)等规范,适当减少了海水环境构件厚度为0.5m以上的预应力混凝土保护层最小厚度值。对大气区、浪溅区、水位变动区在原规定值的基础上分别减小10mm。

3.4.5 海港工程某些素混凝土结构如重力式码头的方块、胸墙等大体积混凝土结构为了防止因水化热引起的温度应力或收缩引起的应力导致混凝土表面开裂,常配置构造钢筋。考虑到构造筋即使发生腐蚀,对结构的承载能力或安全性不会造成影响,但要防止因构造筋腐蚀产生表面锈胀裂缝。根据国内外研究成果表明,当混凝土保护层厚度大于2.5倍钢筋直径时,钢筋锈胀时不易产生顺筋裂缝。因此本条规定,海水环境配有构造筋的混凝土保护层厚度不小于40mm,且不小于2.5倍构造钢筋直径。

3.4.6 钢筋混凝土最大裂缝限值是引自现行行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)的规定。本条对原条文规定的钢筋混凝土最大裂缝宽度允许值明确规定为施工过程钢筋混凝土最大裂缝宽度限值,不包括使用过程中出现的应力裂缝。

3.4.7 混凝土拌合物中氯离子最高限值,系指由拌和用水、水泥掺合料、细骨料的海砂、粗骨料的海砾以及外加剂等各种材料带进混凝土中的氯离子。当氯离子含量在钢筋周围达到某一临界值时,钢筋的钝化膜开始破裂,丧失对钢筋的保护作用,从而引起钢筋锈蚀。对处于海水环境中的钢筋混凝土,由于海水中的氯离子还会不断渗入到钢筋周围。因此,对海水环境混凝土,拌合物中的氯离子含量应尽可能的少;对预应力混凝土结构,由于预应力筋对氯盐腐蚀非常敏感,容易发生应力腐蚀,更应严格限制拌合物中的氯离子含量。此外,氯离子的存在还会促进碱骨料反应。因此,对混凝土拌合物中的氯离子总量加以限制。

关于混凝土拌合物氯离子限值,目前看法尚不一致,国外一些主要规范规定混凝土拌合物中氯离子允许的最高限值如下:

(1) 日本土木学会《混凝土标准规范》(1986)规定,对于一般钢筋混凝土和后张预应力混凝土,混凝土拌合物中氯离子总量不大于 0.60kg/m^3 ;对于耐久性要求特别高的钢筋混凝土和后张预应力混凝土,在可能发生盐害和电腐蚀的场合以及采用先张预应力混凝土的场合,混凝土拌合物中氯离子总量不大于 0.30kg/m^3 ;

(2) 日本《预拌混凝土》(JIS A5308:2009)规定,混凝土拌合物中氯离子总量,在卸货

地点不大于 $0.30\text{kg}/\text{m}^3$;但在得到购货者同意时不大于 $0.60\text{kg}/\text{m}^3$;

(3) 国际预应力混凝土协会 (FIP) 《海工混凝土结构的设计与施工建议》 (1986) 考虑了气候条件的影响,混凝土拌合物中氯离子总量允许的最高限值见条文说明表 3.4.7 ;

(4) 美国混凝土学会《固定式离岸混凝土结构设计与施工指南》 (ACI 357R—97) 规定,对于钢筋混凝土,混凝土拌合物中可溶性氯离子总含量不得超过水泥质量的 0.10% ;对于预应力混凝土不大于 0.06% ;

本标准规定的混凝土拌合物中氯离子的最高限值,主要是参考上述国外相关标准和规范制订的。

FIP 对混凝土拌合物中氯离子的最高限值 (按水泥质量百分比计) 表 3.4.7

环境条件	钢筋混凝土	预应力混凝土
热带气候	0.1	0.06
温带气候	0.4	0.06
极冷地区	0.6	0.06

3.4.8 混凝土使用含有活性的骨料,有可能与来自水泥或其他来源的碱 (Na_2O 和 K_2O) 发生反应,反应产物会使混凝土膨胀引起混凝土开裂和破裂,通常发生这种反应需同时具备以下条件:

- (1) 混凝土湿度高;
- (2) 水泥的含碱高或有碱的其他来源;
- (3) 骨料中含有易与碱发生反应的物质,如活性 SiO_2 等。

当所用骨料经检验具有活性时,通常采用低碱水泥或限制混凝土中的碱总含量来防止发生碱—骨料反应,但对海工结构来说,混凝土经常处于饱水或干湿交替状态,有利于反应物产生较大的膨胀,即使采取限制水泥中的含碱量小于 0.6% (以 Na_2O 当量计) 的措施,由于海水不断提供新的碱来源,很难保证不会发生碱—骨料反应。因此,为保证海工混凝土结构的耐久性,严禁使用有可能产生碱—骨料反应的骨料。

3.4.9 混凝土抗氯离子渗透性指标是表示混凝土抗氯离子渗入的能力,其能力愈强,防止或延缓由于氯离子渗入引起混凝土结构发生钢筋腐蚀破坏的能力愈强。目前,混凝土抗氯离子渗透性指标国内外主要采用两种表示方法:一种是以美国 ASTM C 1202 电量测定方法为基础的电通量法,另一种是以欧洲 NT Build 492 法和 RCM 法为基础的扩散系数法。

表 3.4.9 规定的海水环境高性能混凝土氯离子渗透性最高限值是根据近 10 年来我国科研、工程调查成果进行制定的,混凝土氯离子渗透性以电通量或扩散系数两种方法表示,附录 B 的扩散系数法参照 NT Build 492 制定。

我国某研究院采用 NTBuild492 试验方法测试了大量不同类型的海工高性能混凝土氯离子扩散系数,并结合长期暴露试验结果,确定按 Build492 法测定的掺加粉煤灰或粒化高炉矿渣粉高性能混凝土 56d 龄期扩散系数在不大于 $4.5 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 的条件下,据此计算,我国氯盐腐蚀最严重的华南地区海港码头高性能混凝土结构可达到 50 年的设计使用年限。

3.4.10 海港工程混凝土耐久性使用年限的计算,目前国内外有多种预测模型。电通量法和附录 B 的扩散系数法属于快速试验方法,通常适用于混凝土耐久性指标的评定指标;附录 D 混凝土结构使用年限计算则适用于预测实体工程混凝土耐久性使用年限,计算的主要参数混凝土扩散系数和表面浓度值等,来源于实体工程混凝土结构或长期暴露试件取样结果,反映了混凝土中氯盐的自然腐蚀参数,比来源于试验室的快速试验得到的数据更加贴近实体工程混凝土结构的腐蚀特点。

3.4.11 近年来欧美等国的标准和规范如 FIP、Dura-Crete、BS 6439、ACI 6537 等都根据建筑物所处环境条件、使用年限规定了按耐久性要求的混凝土最低强度等级。这对保证混凝土结构的耐久性十分重要。本标准制定时根据海港工程环境条件、构件所在部位、按耐久性要求的水胶比最大允许值等因素综合考虑,确定了海港工程混凝土结构基于耐久性要求的混凝土最低强度等级。应该指出,它不同于结构按承载能力设计要求的混凝土强度等级。因此要求海港工程混凝土结构构件的混凝土强度等级同时满足承载能力和耐久性的要求。

3.4.12 水位变动区混凝土抗冻等级选定标准是按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)的规定制定。

3.4.13 本条参照现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)的有关规定制定。

3.4.18 海港工程钢筋腐蚀破坏最严重的是浪溅区,其次是水位变动区及大气区,水下区由于缺氧,钢筋腐蚀破坏很少发生;海港工程冻融破坏最严重的是水位变动区,其次是浪溅区。本条规定按耐久性要求,海水环境高性能混凝土水胶比最大允许值的确定是根据《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)及近十年来我国工程经验和科研成果制定的。

3.4.19 为了保证混凝土有足够的耐久性,国内外大多数规范对最低胶凝材料用量有具体规定,究其原因可归纳为以下几点:

(1)单位胶凝材料用量较高的混凝土,混凝土拌合物较均匀,可减少混凝土捣实过程中出现的局部缺陷;

(2)胶凝材料用量较高的混凝土,能经常保持钢筋周围有较高的碱度,使钢筋钝化膜不易破坏。

因此,本条根据海港工程混凝土结构所处的环境条件,耐久性要求的水胶比最大允许值及最低强度等级综合考虑,对海水环境混凝土最低胶凝材料用量做了规定。

3.4.20 海港工程高性能混凝土胶凝材料的组成中矿物掺合料的掺量规定是根据我国海港工程、跨海大桥工程施工经验及科研成果制定的,它考虑了水泥品种,掺合料品种等因素的影响,已有大量工程实践证明是可行的。

掺加硅灰会增大混凝土自身收缩和弹性模量,同时又提高混凝土的抗拉强度和弹塑性徐变。因此硅灰对混凝土早期裂缝的影响有利和不利的双重性。硅灰是否增大早期裂缝危险性,决定于增大自身收缩与提高抗拉强度何者取得优势。最新的试验研究结果表明,控制混凝土最高温度不超过 40℃,则硅灰掺量在 8% 内、水胶比不大于 0.4 的混凝土

土都具有优良的抗裂性能;混凝土最高温度超过 60℃,硅灰掺量不超过 5%,则硅灰不增加混凝土裂缝敏感性或危险性。

3.4.21 水胶比和胶凝材料用量不仅影响混凝土的强度,而且是影响混凝土耐久性的主要因素。因此,对有耐久性要求的重要工程,特别是处于海水环境中的结构用混凝土,根据需要检测其拌合物的水胶比和胶凝材料含量。

3.4.22 质量低劣或密实性差的混凝土保护层垫块,既不能保证规定的混凝土保护层厚度和质量,外界各种腐蚀介质也极易经此位置渗透到钢筋周围引起钢筋腐蚀。因此,为了保证混凝土构件的耐久性,对混凝土保护层垫块的强度和抗氯离子渗透性能进行规定。同时,为保证钢筋的混凝土保护层最小厚度值,垫块尺寸考虑了施工偏差。

4 原材料质量控制

4.2 水 泥

4.2.1 配制高性能混凝土的主要措施是使用优质活性矿物掺合料。矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥及复合硅酸盐水泥在生产过程中已掺入了各种掺合材料,而掺合材料的质量、掺入量和掺入方式难以被需方所掌握,且不同厂家、不同批次的水泥会有不同或是波动,用这些水泥拌制高性能混凝土质量风险比较大。

国内外大量研究和调查结果表明,水泥熟料中的 C_3A 含量达 9% ~ 17%,水胶比不大于 0.5 的低渗透性混凝土不会产生硫酸盐型化学腐蚀破坏,不影响混凝土结构的耐久性;此外 C_3A 还可与渗入混凝土中的氯离子结合,有利于延长钢筋周围水泥石孔隙液氯离子浓度达到临界浓度的时间。故此 C_3A 的含量定为 6% ~ 12%。

4.2.3 预拌胶凝材料是将水泥和其他掺合料以一定的比率,机械干拌使其混合成为均质性良好的用于配制高性能混凝土的胶凝材料。以机械预拌方式生产的预拌胶凝材料提高了胶凝材料的均匀性和可靠性,同时也解决了海工高性能混凝土现场生产和施工过程中的许多难题。

预拌胶凝材料的质量检验主要包括三氧化硫含量、初凝时间、终凝时间、安定性、强度和耐久性能等指标。

4.3 掺 合 料

4.3.1 ~ 4.3.3 硅灰、粉煤灰和粒化高炉矿渣粉的品质要求参照现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002)、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB 1596—2005)、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008)和《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011)的有关规定。

4.4 细 骨 料

4.4.4 天然河砂由于资源的有限性,有很多地区天然砂贮量不足或没有天然砂,或因环保政策禁采天然砂。国外有 30 多年应用机制砂作为混凝土细骨料历史,国内核电、公路、铁路等工程均有应用。所以增加机制砂或混合砂中石粉含量规定。

石粉指机制砂或混合砂中小于 0.075mm 以下的颗粒。研究证明,机制砂中石粉含量 0 ~ 30% 时,对普通混凝土性能影响很小。机制砂中的石粉如不夹泥土则不能视为有害物质,有没有夹泥土需通过亚甲蓝法判定。对于高性能混凝土石粉含量限值比《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006)作了更严格的规定。

4.5 粗 骨 料

4.5.1 随着混凝土强度等级的提高,岩石强度要大于配制的混凝土强度 1.5 倍的要求不易达到。而提高混凝土等级不仅仅只有依靠提高岩石的强度,可通过其他技术途径达到。因此,规定了岩石的立方体抗压强度比新配制的混凝土强度高 20% 以上。

4.5.3 颗粒小的骨料缺陷几率小,相对比较致密,骨料的表面积较小,与水泥石界面不会形成大面积缺陷,且骨料总面积的增大,有利于提高骨料与水泥石界面的粘结强度。因此,配制高性能混凝土通常要求骨料最大粒径不大于 25mm。但骨料最大粒径太小,混凝土在达到相同稠度时需要增加胶凝材料的用量,对高性能混凝土的抗裂性能不利。

4.6 拌 和 用 水

4.6.1 ~ 4.6.3 海港工程混凝土和预应力混凝土对水中氯离子含量、氯化物总含量有严格的限值规定,因此,拌和用水采用饮用水时也要按照现行行业标准《混凝土用水标准》(JGJ 63)对拌和用水进行检验。

4.7 外 加 剂

4.7.3 选用与水泥匹配和坍落度损失小以及减水率高的高效减水剂,是配制符合要求高性能混凝土的重要手段,同时由于高性能混凝土用水量较少,减水剂的质量稳定就更加显得非常重要。因此,需要对每批外加剂进场按现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)中有关规定检验。

5 配合比控制

5.1 一般规定

5.1.3 高性能混凝土抗压强度标准差 σ 是反映施工工地实际管理水平的强度标准差,根据本工地前期样本数不少于 25 的资料统计得到。

5.1.4 混凝土抗压强度标准差的平均水平 σ_0 ,是在港口工程混凝土实测资料统计的基础上确定的。当工地没有前期统计资料时,在开工初期按标准差的平均水平选取,开工后尽快积累实测资料进行统计,及时修正标准差。

5.2 高性能混凝土配合比设计

5.2.2 高性能混凝土中胶凝材料浆体体积在混凝土中约占 35%,主要是为了同时保证混凝土的高抗渗透性和高尺寸稳定性,大于 35% 可能对尺寸稳定性有不良的影响,使混凝土内外温差、湿度差引起的应力应变以及干缩和徐变增大;小于 35% 可能降低混凝土的均匀性、工作性和抗渗性。

5.3 大体积高性能混凝土配合比设计

5.3.1 配制大体积高性能混凝土尽量降低水化热温升,优选低热水泥,掺加优质掺合料,选择级配良好、热胀系数小的骨料等措施。

5.3.2 目前大体积高性能混凝土一般掺有大量矿物掺合料(粉煤灰、粒化高炉矿渣粉),混凝土早期强度发展较慢,而后期强度增长幅度较大,采用 60d 或 90d 龄期作为验收混凝土强度更加有利于充分发挥矿物掺合料的有效活性。

6 施工过程质量控制

6.1 配 料

6.1.6 高性能混凝土水胶比较低,单位用水量较少,高效减水剂的减水率较大。与普通混凝土相比较,原材料的称量偏差对高性能混凝土的质量影响更加明显。因此,严格控制高性能混凝土的称量偏差很有必要。

6.3 运 输

6.3.4 运输时间是指混凝土由搅拌机卸入运输车开始至运输车开始卸料为止的持续时间。

6.4 浇 筑

6.4.1 振捣引气混凝土时控制振捣时间,既要保证混凝土充分密实,又要防止过度振捣引起含气量损失过大。

6.6 高性能混凝土防裂措施

6.6.2 防止高性能混凝土出现塑性裂缝,主要是降低水泥化学收缩和减少新拌混凝土水分散失。降低水泥化学收缩措施包括优化混凝土配合比和降低胶凝材料用量等;减少新拌混凝土水分蒸发,主要是加强潮湿养护、喷雾和表面覆盖等措施。

6.6.3 大体积高性能混凝土浇注入模温度的规定,参照我国现行行业标准《水运工程大体积混凝土施工技术规范》(JTS 202—1—2010)中规定热天施工混凝土浇注温度不宜大于 32°C ,冷天施工不宜小于 5°C ;《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)中规定夏季浇筑温度应控制在 30°C 以下,冬季不应低于 5°C ;《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)中规定冬季不应低于 5°C ;《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01—2004)中规定夏季浇筑温度不超过 28°C ,负温不宜低于 12°C 。考虑到海港工程高性能混凝土抗氯离子侵入对裂缝限值要求较严的特点,规定了夏季混凝土浇筑温度不高于 30°C 。

混凝土内表温差的规定,我国现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)中规定内外温差不大于 25°C ;《块体基础大体积混凝土施工技术规范》(YBJ 224—91)中规定内外温差(不含混凝土收缩的当量温度)为不超过 25°C 。

混凝土块体降温速率的规定,我国现行行业标准《混凝土重力坝设计规范》(SL 319—2005)中规定坝体降温速度不宜大于 $1^{\circ}\text{C}/\text{d}$;《块体基础大体积混凝土施工技术规范

程》(YBJ224—91)中规定降温速度为 $1^{\circ}\text{C}/\text{d}$;《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01—2004)规定混凝土的最大降温速率不宜大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

本条对混凝土浇筑入模温度、内表温差和块体降温速率等主要是参照上述相关标准和规范制定。

7 质量合格控制

7.3 高性能混凝土耐久性

7.3.3 海水环境中钢筋混凝土或预应力混凝土的抗氯离子渗透性能,是反映混凝土抵抗氯离子浸入混凝土中引起钢筋锈蚀的能力。国内对海洋环境中混凝土的抗氯离子渗透性作为评价混凝土耐久性的重要指标。我国现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)对混凝土抗氯离子渗透性试件的留置未作规定。本条文根据近年来新建港口工程对混凝土抗氯离子渗透性试件留置及评定的通常做法,增加了混凝土抗氯离子渗透性试件的留置规定。当同一配合比的混凝土浇筑数量较大时,考虑混凝土的质量波动,根据构件浇筑总数量,每 1000m^3 增加 1 组取样。

在构件实体上钻取芯样检测混凝土抗氯离子渗透性,通常情况下掺加了粉煤灰或粒化高炉矿渣粉等掺合料的混凝土抗氯离子渗透性随着龄期的增长而逐渐提高,因此规定了混凝土构件养护龄期比标准养护试件不超过 30d。

7.3.4 混凝土抗氯离子渗透性的评定,根据留置数量确定验收标准。留置数量越多,合格保证率相对较高,则允许验收组内出现超出第 3.4.9 条规定的限值。

7.3.6 结构实体混凝土保护层厚度的检测范围主要是钢筋位置可能显著影响结构构件承载力和耐久性的构件和部位,如梁类和板类构件的纵向受力钢筋,特别是腐蚀严重的浪溅区部位。考虑到施工过程中各种不利因素的影响,结构实体混凝土保护层厚度检测时,其允许偏差在钢筋安装允许偏差的基础上作了适当调整。

7.3.7 考虑到实际工程中钢筋保护层厚度可能在某些部位出现较大偏差,以及抽样检测的偶然性,当一次检测结果的合格点率小于 90% 但不小于 80% 时,可在同一构件增加 4 根钢筋进行检测,并按两次抽样总和的检测结果进行判定。本条还对抽样检验不合格点最大偏差值作出了限制。当抽检构件的保护层厚度不合格时,则对验收批的构件全部检测,对保护层厚度检测结果不合格的构件确定补救措施。

附录 D 混凝土结构使用年限计算

D.0.1 本条参照我国现行行业标准《港口水工建筑物检测与评估技术规范》(JTJ 302—2006)按海水环境下混凝土结构钢筋腐蚀破坏过程划分为钢筋开始锈蚀、保护层锈胀开裂和功能明显退化三个阶段计算混凝土结构使用年限。

D.0.2 混凝土中钢筋开始锈蚀时间是指混凝土结构暴露于海水环境至氯离子渗入到钢筋周围达到引起钢筋腐蚀的临界含量所经历的时间,计算式根据费克第二律确定,计算参数与混凝土氯离子有效扩散系数、临界氯离子浓度、表面浓度、混凝土保护层和环境条件等因素有关。

(1)混凝土氯离子有效扩散系数 D_i 的确定:

混凝土扩散系数是一个随时间不断衰减的函数,美国 Life-365 预测暴露于氯离子环境下钢筋混凝土的使用年限和生命周期费用软件建立了扩散系数随时间衰减的关系式。其基本思路是随着时间的延长,混凝土的氯离子扩散系数逐渐降低,但幅度会越来越小。但是由于这一规律来自于对混凝土的暴露试验与工程结构的现场调查,试验龄期一般不超过 30a,并无实例证明扩散系数会随时间延长无限衰减,所以本标准参考 Life365 的规定取 20a 的衰减周期,一旦超过这一期限,假定扩散系数保持不变。

公式 D.0.2-3 是考虑到温度对于氯离子活动的影响,通过理论分析建立的公式,表达了温度对氯离子在混凝土中扩散过程的影响。

表 D.0.2-1 中的氯离子扩散系数的衰减系数是在分析我国华南海港码头暴露试验结果的基础上,借鉴美国 Life-365、欧洲 Duracrete 与 fib Model Code 关于衰减系数的规定(见条文说明表 D.0.2-1 和表 D.0.2-2)综合分析后确定。

欧洲 Duracrete 氯离子扩散系数的衰减系数 表 D.0.2-1

胶凝材料 海洋环境	硅酸盐水泥	粉煤灰	粒化高炉矿渣粉	硅灰
水下区	0.30	0.69	0.71	0.62
浪溅区及潮汐区	0.37	0.93	0.60	0.39
大气区	0.65	0.66	0.85	0.79

欧洲 fib Model Code 氯离子扩散系数的衰减系数 表 D.0.2-2

混凝土用胶凝材料	平均值	标准差	数值范围
硅酸盐 (W/C = 0.40 ~ 0.60)	0.30	0.12	0 ~ 1.0
粉煤灰 (W/C = 0.42 ~ 0.62)	0.60	0.15	0 ~ 1.0
矿渣 (W/C = 0.40 ~ 0.60)	0.45	0.20	0 ~ 1.0

美国 Life-365 对衰减系数按式 $n = 0.2 + 0.4 \left(\frac{FA}{0.5} + \frac{SG}{0.7} \right)$ 计算,其中 FA 为粉煤灰在胶凝材料中的质量百分比,SG 为粒化高炉矿渣粉在胶凝材料中的质量百分比。

(2)混凝土中钢筋腐蚀的临界氯离子浓度 C_s 的确定:

引起混凝土中钢筋开始腐蚀的临界氯离子浓度受到混凝土孔隙液中 $[OH^-]$ 浓度、环境条件等许多因素的影响。根据有关资料统计,临界氯离子浓度变动范围是 0.17% ~ 2.5% (以全部氯离子占胶凝材料质量百分比计),目前比较一致认同的范围是 0.2% ~ 0.6%。

根据对我国华南、华东与北方等地区的暴露试验和码头腐蚀调查结果分析得出的临界氯离子浓度见条文说明表 D.0.2-3。

我国不同地区的临界氯离子浓度 (按混凝土质量百分比计) 表 D.0.2-3

北 方	华 东	华 南
0.060	0.054	0.052

世界各国的标准和规范对临界氯离子浓度的规定差异很大,以浪溅区为例,按胶凝材料质量百分比计,欧洲 Durecrete 规定为 0.5% ~ 0.9% (与水灰比有关),英国为 0.4% ~ 1.5% (与饱水程度和水灰比有关),美国 life 365 为 0.3%,日本土木学会为 0.3%。因此,本标准根据国内调查结果,并借鉴国外标准和规范经过综合分析确定,对处于浪溅区的混凝土构件临界氯离子浓度按不同水胶比取 0.35% ~ 0.45%。

对混凝土结构实体检测和暴露试验结果表明,位于水位变动区的混凝土常处于饱水状态,由于缺氧等原因,临界氯离子浓度将明显提高,甚至可达胶凝材料质量的 1.0%;位于大气区的混凝土结构相对较为干燥,电阻率较大,阳极与阴极间的离子传导相对困难。因此,对水位变动区 and 大气区临界氯离子浓度取 0.55%。

(3)混凝土表面氯离子浓度。表面氯离子浓度的大小与暴露条件、混凝土结构物所处的暴露位置及时间长短有关,通常表面氯离子浓度是随混凝土暴露于海水环境的时间延长而增大。国外一些资料认为,当暴露年限超过 10a 后认为表面氯离子浓度基本恒定。

表 D.0.2-3 中所列的混凝土表面氯离子浓度,主要来源于我国各个地区典型腐蚀的码头耐久性调查与长期暴露试验得出的统计结果,并借鉴美国 Life-365 (见条文说明表 D.0.2-4)、英国 Bamforth 建议用于设计的混凝土表面氯离子浓度 (见条文说明表 D.0.2-5)、日本土木学会标准 (见条文说明表 D.0.2-6) 和欧洲 Duracrete 关于表面氯离子浓度的规定 (见条文说明表 D.0.2-7) 综合分析确定。

美国 Life-365 近海大气区混凝土表面氯离子浓度
(按混凝土质量百分比计)

表 D.0.2-4

环 境	每年增加速度	最 终 定 值	环 境	每年增加速度	最 终 定 值
潮汐浪溅区	瞬时到定值	0.80	离海岸 800m 内	0.04	0.60
海上盐雾区	0.10	1.00	离海岸 1.5km 内	0.02	0.60

英国用于设计的表面氯离子浓度(按混凝土质量百分比计) 表 D.0.2-5

环 境	海洋浪溅区	海洋浪雾区	海洋大气区
硅酸盐水泥混凝土	0.75	0.50	0.25
加有掺合料的水泥混凝土	0.90	0.60	0.30

日本土木学会近海大气区混凝土表面氯离子浓度
(按混凝土质量百分比计) 表 D.0.2-6

浪溅区	离海岸距离				
	岸线附近	0.10km	0.25km	0.50km	1.00 km
0.650	0.450	0.225	0.150	0.100	0.075

欧洲 Duracrete 混凝土表面氯离子浓度(按混凝土质量百分比计) 表 D.0.2-7

	大 气 区		浪 溅 区			水位变动区	
水胶比	0.55	0.50	0.50	0.40	0.35	0.45	0.50
表面氯离子浓度	0.18	0.20	0.61	0.54	0.51	0.60	0.61

表 D.0.2-3 是依据 Duracrete 对混凝土表面氯离子浓度取值规定(Duracrete 规定潮汐浪溅区表面氯离子浓度 $C_s = 7.76 \times (W/B) \% \times$ 胶凝材料重量,大气区 $C_s = 2.57 \times (W/B) \% \times$ 胶凝材料重量)和我国现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)规定的浪溅区、水位变动区、大气区的最大水灰比和最低水泥用量,按混凝土容重为 2300kg/m³ 计算得出的结果。

D.0.3 钢筋开始锈蚀至保护层开裂时间的公式,是引自我国现行行业标准《港口水工建筑物检测与评估技术规范》(JTJ 302—2006)。根据公式 D.0.3-1 计算,处于浪溅区的钢筋混凝土构件,对于普通混凝土保护层开裂时间约为 5 ~ 7a,高性能混凝土保护层开裂时间约为 13 ~ 16a,计算结果基本与已建海港混凝土结构检测结果相近。

钢筋从开始腐蚀到使混凝土保护层胀裂的时间与混凝土的强度、保护层厚度与钢筋直径的比值有极大关系。由于混凝土中钢筋发生锈蚀时,其锈蚀产物会发生膨胀,体积一般可比钢材体积增大 3 ~ 4 倍,当体积膨胀产生的拉应力超过混凝土自身的抗拉强度时就会产生顺筋裂缝,因此混凝土强度愈高或水胶比愈低的混凝土在相同条件下导致混凝土发生顺筋开裂的时间越长。当混凝土保护层相同时,钢筋愈粗,混凝土保护层厚度 c 与钢筋直径 d 的比值愈小,保护层开裂时间也就愈短。国外一些研究强调, c/d 值和混凝土立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 是影响保护层开裂时间 t_c 的主要参数, t_c 值随着 c/d 值和 $f_{cu,k}$ 增大而增大。

此外,钢筋从开始腐蚀到使混凝土保护层胀裂的时间与钢筋腐蚀速度有关,钢筋腐蚀速度可以按照 D.0.3-3 式由腐蚀电流密度得出,而钢筋腐蚀电流密度与环境温度、混凝土电阻率、钢筋周围氯离子含量等有关,表 D.0.3 的腐蚀电流密度是根据 Andrade 室内试验和现场实际结构检测结果对钢筋腐蚀等级划分的建议、结合海港工程环境条件和混凝土质量制定的。Andrade 等对钢筋腐蚀等级划分建议见条文说明表 D.0.3。

Andrade 等对钢筋腐蚀等级划分建议 表 D.0.3

钢筋的腐蚀电流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	钢筋腐蚀等级	混凝土电阻率 ($\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$)
<0.1	可忽略不计	>100
0.1 ~ 0.5	低	
0.5 ~ 1.0	中	10 ~ 100
>1.0	高	

D.0.4 混凝土结构功能明显退化时间 t_d 的确定。国内外大量试验结果表明:当混凝土中钢筋发生顺筋锈胀开裂,在截面损失率小于5%的范围内,只要结构细部设计考虑了箍筋长度和抗剪切性能,一般不会发生钢筋与混凝土界面的粘结破坏。对钢筋延伸率、钢筋屈服强度、抗拉极限强度都无明显影响,按极限承载力计算时可仅考虑截面的折减,当截面损失率在5%~10%的范围内,由于腐蚀不均匀,钢筋屈服强度、抗拉强度及延伸率开始降低,但锈胀后钢筋混凝土受弯构件截面的平均应变分布仍基本符合平截面假定,因此,计算公式与未锈胀构件相同,但计算时需要考虑钢筋截面面积减小、钢筋屈服强度降低以及钢筋与混凝土间粘结性能退化引起钢筋混凝土协同工作能力降低对承载能力的影响。当截面损失率在10%~60%范围内时,钢筋屈服点已不明显,钢筋的各项力学性能严重下降。因此,将钢筋混凝土结构自构件出现顺筋开裂至钢筋截面因锈蚀减少至原截面的90%的时间作为功能明显退化时间 t_d 。

影响钢筋腐蚀速度的因素十分复杂,表 D.0.4 是按裸露于海水环境中钢筋腐蚀平均速度的下限取值,这是基于 t_d 这段时间并不都处于裸露状态,对处于浪溅区的钢筋混凝土板一般较少出现顺筋开裂, t_d 这段时间钢筋腐蚀的通氧条件比顺筋开裂的要差很多,故钢筋腐蚀速度取值为 0.05mm/a。按上述原则计算,处于浪溅区发生顺筋开裂的构件功能明显退化时间取 2~4a,板取 8~10a,计算值与实际调查结果较为接近。

D.0.5 对于普通钢筋混凝土结构,一般设计使用年限取 $t_e = t_i + t_c + t_d$;对于预应力混凝土结构,当采用螺纹钢筋作为预应力筋时,腐蚀对预应力筋截面损失较小,应力腐蚀及预应力腐蚀疲劳敏感度相对较小,一旦出现开裂对构件承载能力影响不大,因此规定采用螺纹钢筋作为预应力筋时设计使用年限取 $t_e = t_i + t_c$;当采用高强钢丝或钢绞线作为预应力筋时,因预应力筋应力高和较脆,即使腐蚀轻微,由于预应力筋本身截面小,截面损失率已较大,而且对应力腐蚀和预应力腐蚀疲劳很敏感,因此对采用高强钢丝或钢绞线作为预力筋的预应力构件,规定其设计使用年限取 $t_e = t_i$ 。



统一书号：15114 · 1718

定 价：35.00元

网上购书 / www.chinasybook.com