

JTS

中华人民共和国行业标准

JTS 202-2 -2011

水运工程混凝土质量控制标准

Quality Control Standard

of Concrete for Port and Waterway Engineering

2011—08—29 发布

2012—01—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

水运工程混凝土质量控制标准

Quality Control Standard

of Concrete for Port and Waterway Engineering

JTS 202-2-2011

主编单位：中交四航工程研究院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2012年1月1日

人民交通出版社

2011·北京

修订说明

本标准是在《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269-96)的基础上,通过深入调查研究,总结我国近年来水运工程混凝土质量控制的实践经验,借鉴国内外有关技术标准,广泛征求有关单位和专家的意见,并结合我国水运工程混凝土质量控制的发展需求编制而成。本标准主要包括混凝土组成材料质量控制、混凝土配合比控制、混凝土施工过程质量控制、硬化混凝土质量控制等技术内容。

本标准主编单位为中交四航工程研究院有限公司,参加单位分别为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、中交四航局第二工程有限公司。

《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269-96)自发布实施以来,为提高水运工程混凝土质量水平,保证工程安全、推动技术进步和提高综合经济效益发挥了重要作用。随着我国水运工程混凝土施工技术水平的不断进步,大量新技术、新材料、新工艺广泛应用于工程实践,水运工程建设水平整体提高,《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ269-96)已不能适应水运建设行业混凝土工程的发展需要。为此,交通部水运司组织中交四航工程研究院有限公司等单位对该标准进行修订。

本标准第 3.3.10 条、第 4.2.4 条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 2 个附录,并附条文说明。本标准编写组人员分工如下:

- 1 总则:潘德强
- 2 术语:潘德强
- 3 基本规定:潘德强、王胜年
- 4 混凝土组成材料质量控制:王胜年、周庆华、黄孝蘅、胡力平
- 5 混凝土配合比控制:周庆华、王胜年、张国志
- 6 混凝土施工过程质量控制:罗碧丹
- 7 硬化混凝土质量控制:黄君哲、黄孝蘅、罗碧丹

附录 A:黄君哲

附录 B:王胜年

本标准于 2010 年 3 月 18 日通过部审,于 2011 年 8 月 29 日发布,自 2012 年 1 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。请各单位在执行过程中,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），以便再修订时参考。

目次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
3.1	混凝土拌合物.....	3
3.2	混凝土强度	4
3.3	混凝土耐久性要求.....	5
4	混凝土组成材料质量控制	12
4.1	一般规定	12
4.2	水泥.....	12
4.3	掺合料	12
4.4	细骨料	14
4.5	粗骨料	16
4.6	拌和用水	19
4.7	外加剂.....	19
5	混凝土配合比控制	21
5.1	一般规定	21
5.2	泵送混凝土	22
5.3	抗冻混凝土	23
5.4	大体积混凝土.....	23
5.5	水下混凝土	24
5.6	水下不分散混凝土.....	25
6	混凝土施工过程质量控制	27
6.1	配料.....	27
6.2	搅拌.....	27
6.3	运输.....	28
6.4	浇筑.....	28
6.5	养护.....	30

7 硬化混凝土质量控制	31
7.1 混凝土外观质量.....	31
7.2 混凝土强度.....	31
7.3 混凝土耐久性.....	33
7.4 混凝土质量问题的处理.....	35
附录 A 混凝土抗氯离子渗透性标准试验方法-电通量法	36
A.1 适用范围.....	36
A.2 试验设备及试剂.....	36
A.3 试验步骤.....	37
A.4 结果计算.....	38
附录 B 本标准用词说明	40
附加说明 本标准主编单位、参加单位、主要起草人、总校人员和 管理组人员名单	41
附 条文说明	43

1 总 则

1.0.1 为统一水运工程混凝土质量控制技术要求，做到技术先进、经济合理和确保质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水运工程永久性水工建筑物普通混凝土的质量控制。不适用于用特殊工艺、特殊材料制成的混凝土。

1.0.3 水运工程混凝土质量控制，应配备必要的检验和试验设备，建立技术管理与质量控制制度。

1.0.4 水运工程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 海水环境 marine environment

受海水影响的水运工程建筑物所处的环境。

2.0.2 胶凝材料 cementitious material, or binder

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

2.0.3 水胶比 water to binder ratio

用于配制混凝土的单位体积用水量与单位体积胶凝材料总量的比值。

2.0.4 混凝土抗氯离子渗透性指标 resistance of concrete to chloride penetration

表达环境中的氯离子侵入混凝土内部难易程度的指标。

2.0.5 机制砂 manufactured-sand

非软质页岩、风化的岩石经除尘处理、机械破碎、筛分制成的公称粒径小于5.00mm的岩石颗粒。

2.0.6 混合砂 mixed sand

由机制砂和天然砂按一定比例混合而成的砂。

2.0.7 大体积混凝土 mass concrete

预计因胶凝材料水化热等因素引起混凝土温度变化导致裂缝，或结构断面最小尺寸等于或大于1m的混凝土。

2.0.8 素混凝土结构 plain concrete structure

无筋或仅配置构造钢筋不配置受力钢筋的混凝土结构。

3 基本规定

3.1 混凝土拌合物

3.1.1 混凝土拌合物应对下列内容进行检验：

- (1) 混凝土拌合物的稠度；
- (2) 流动性和大流动性混凝土拌合物的稠度损失；
- (3) 混凝土配合比、组成材料、搅拌设备、搅拌时间变更时，混凝土拌合物的均匀性；
- (4) 有抗冻要求的混凝土拌合物的含气量；
- (5) 用于海水环境中的混凝土拌合物的氯离子含量；
- (6) 有温度控制要求的混凝土拌合物的温度。

3.1.2 混凝土拌合物的稠度宜采用坍落度或维勃稠度表示。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) 的规定。

3.1.3 塑性和流动性混凝土拌合物按其坍落度大小宜分为 4 个级别，并应符合表 3.1.3 的规定。

混凝土拌合物按坍落度的分级 表 3.1.3

名称	级别	坍落度 (mm)	名称	级别	坍落度 (mm)
低塑性混凝土	S1	10~40	流动性混凝土	S3	100~160
塑性混凝土	S2	50~90	大流动性混凝土	S4	>160

注：坍落度检测结果，在分级评定时，其表达取舍至临近的 10mm。

3.1.4 干硬性混凝土拌合物按其维勃稠度大小宜分为 3 个级别，并应符合表 3.1.4 的规定。

混凝土拌合物按维勃稠度的分级 表 3.1.4

名称	级别	维勃稠度 (s)
特干硬性混凝土	V1	>20
干硬性混凝土	V2	20~11
半干硬性混凝土	V3	10~5

3.1.5 当要求的坍落度或维勃稠度为某一定值时，检测结果的允许偏差值应分别符合表 3.1.5-1 和表 3.1.5-2 的规定。当要求值为某一范围时，检测结果应满足规定范围的要求。

坍落度允许偏差

表 3.1.5-1

坍落度 (mm)	允许偏差 (mm)
≤40	±10
50~90	±20
≥100	±30

维勃稠度允许偏差

表 3.1.5-2

维勃稠度 (s)	允许偏差 (s)
≤10	±3
11~20	±4
21~30	±6

3.1.6 对流动性和大流动性混凝土拌合物应考虑坍落度损失，保证满足浇筑时的坍落度符合要求，其在浇筑地点的坍落度应按有关规定选用。

3.1.7 混凝土拌合物坍落度损失检测方法，应按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 的规定执行。

3.1.8 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。

3.1.9 混凝土拌合物均匀性的检测方法应符合现行国家标准《混凝土搅拌机性能试验方法》(GB/T 4477) 的有关规定。

3.1.10 混凝土拌合物均匀性检测结果应符合下列规定。

3.1.10.1 混凝土中砂浆密度测值的相对误差不应大于 0.8%。

3.1.10.2 单位体积混凝土中粗骨料含量测值的相对误差不应大于 5%。

3.2 混凝土强度

3.2.1 混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。等级划分应符合表 3.2.1 的规定。

混凝土强度等级

表 3.2.1

普通混凝土	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80
引气混凝土	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	-	-	-

3.2.2 混凝土强度的检测，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。

3.2.3 混凝土生产管理水平，可根据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小于 25 的大样本抗压强度标准差，按表 3.2.3 划分。

混凝土生产管理水平

表 3.2.3

生产场地	强度等级	混凝土强度标准差 (MPa)		
		优良	中等	较差
预制场	<C20	≤ 2.5	≤ 3.5	> 3.5
	C20~ C40	≤ 3.5	≤ 4.5	> 4.5
	>C40	≤ 4.5	≤ 5.5	> 5.5
现场	<C20	≤ 3.0	≤ 4.0	> 4.0
	C20~ C40	≤ 4.0	≤ 5.0	> 5.0
	>C40	≤ 5.0	≤ 6.0	> 6.0

3.3 混凝土耐久性要求

3.3.1 水运工程混凝土耐久性应包括抗冻性、抗渗性、防止钢筋腐蚀和防止碱骨料反应等性能。混凝土应根据其所处的环境、在建筑物上的部位等使用条件进行耐久性设计。

3.3.2 海水环境混凝土在建筑物上的部位划分应符合表 3.3.2 的规定。

海水环境混凝土部位划分

表 3.3.2

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
无掩护条件	按港工设计水位	设计高水位加 ($\eta_0 + 1.0m$) 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
	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 为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。

3.3.3 淡水环境混凝土在建筑物上的部位划分，应符合表 3.3.3 的规定。

淡水环境混凝土部位划分

表 3.3.3

水上区	水下区	水位变动区
设计高水位以上	设计低水位以下	水上区与水下区之间

注：水上区也可按历年平均最高水位以上划分。

3.3.4 海水环境钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合表 3.3.4 的规定。

海水环境钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)

表 3.3.4

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时主钢筋的保护层厚度，当箍筋直径大于6mm时，保护层厚度应按表中规定增加5mm；

③ 位于浪溅区的码头面板、桩等细薄构件的混凝土保护层，南方和北方一律取50mm；

④ 南方指历年最冷月月平均气温大于0℃的地区。

3.3.5 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。

3.3.5.1 当构件厚度为0.5m以上时应符合表3.3.5的规定。

海水环境预应力筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)

表 3.3.5

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方向上的构件尺寸；

② 后张法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，如采取特殊工艺或专门防腐措施，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应按表3.3.4执行，但不宜小于1.5倍主筋直径。

3.3.5.2 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，且不得小于50mm。

3.3.6 淡水环境钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合表3.3.6的规定。

淡水环境钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)

表3.3.6

水上区		水位变动区	水下区
水汽积聚	无水汽积聚		
40	35	40	35

注：① 箍筋直径大于6mm时，保护层厚度可按表中规定增加5mm，板等无箍筋的构件保护层厚度宜按表中规定减少5mm；

② 预应力钢筋的保护层厚度不宜小于1.5倍主筋直径；碳素钢丝、钢绞线的保护层厚度宜按表中规定增加20mm，如采取特殊工艺或专门防腐措施，经充分技术论证，对预应力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。

3.3.7 配置构造钢筋的素混凝土结构，海水环境构造筋的混凝土保护层最小厚度不应小于40mm，且不小于2.5倍构造筋直径；淡水环境构造筋的混凝土保护层最小厚度不应小于30mm。

3.3.8 施工期钢筋混凝土最大裂缝宽度不应超过表3.3.8中所规定的限值。当出现裂缝时，应按现行业标准《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202）的有关规定及时修补。

钢筋混凝土最大裂缝宽度限值 (mm)

表3.3.8

海水环境				淡水环境		
大气区	浪溅区	水位变动区	水下区	水上区	水位变动区	水下区
0.20	0.20	0.25	0.30	0.25	0.25	0.40

3.3.9 混凝土拌合物的氯离子含量的最高限值应符合表3.3.9的规定，其检测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。

混凝土拌合物中氯离子含量的最高限值 (%)

表3.3.9

环境条件	预应力混凝土结构	钢筋混凝土结构	素混凝土结构
海水环境	0.06	0.10	1.30
淡水环境	0.06	0.30	1.30

注：混凝土拌合物中氯离子含量按胶凝材料质量百分比计。

3.3.10 骨料应按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定进行碱活性检验。海水环境严禁采用碱活性骨料；淡水环境下，当检验表明骨料具有碱活性时，混凝土的总含碱量不应大于 3.0 kg/m^3 。

3.3.11 海港工程浪溅区采用普通混凝土时，其抗氯离子渗透性指标不应大于2000C。混凝土的抗氯离子渗透性检测方法应符合附录A的规定。

3.3.12 水运工程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，按耐久性要求的混凝土最低强度等级应符合表3.3.12的规定。

按耐久性要求的混凝土最低强度等级

表3.3.12

所在部位	海水环境		淡水环境	
	钢筋混凝土	素混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
大气区	C30	C20	C25	C20
浪溅区	C40	C25	-	-
水位变动区	C35	C25	C25	C20
水下区	C30	C25	C25	C20

3.3.13 有掩护条件的水位变动区及浪溅区下部1m范围、无掩护条件的设计高水位至设计低水位之间有抗冻要求的混凝土的抗冻等级，应按表3.3.13的规定选取；开敞式码头结构和防波堤等建筑物混凝土宜选用高1级的抗冻等级或采取其他措施。码头面层混凝土应选用比同一地区低2~3级的抗冻等级。

混凝土抗冻等级选定标准

表3.3.13

建筑物所在地区	海水环境		淡水环境	
	钢筋混凝土及预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土及预应力混凝土	素混凝土
严重受冻地区（最冷月月平均气温低于-8℃）	F350	F300	F250	F200
受冻地区（最冷月月平均气温在-4℃~-8℃之间）	F300	F250	F200	F150
微冻地区（最冷月月平均气温在0℃~-4℃之间）	F250	F200	F150	F100

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应选用比同一地区高一级的抗冻等级或采取其它措施。

3.3.14 有抗冻性要求的混凝土应掺入适量引气剂，其拌合物的含气量应符合表3.3.14的规定。

有抗冻性要求的混凝土拌合物含气量控制范围

表3.3.14

骨料最大粒径（mm）	含气量（%）	骨料最大粒径（mm）	含气量（%）
10.0	5.0~8.0	31.5	3.5~6.5
20.0	4.0~7.0	40.0	3.0~6.0
25.0	3.5~7.0	63.0	3.0~5.0

注：泵送混凝土含气量应控制在5.0%~7.0%。

3.3.15 当要求的含气量为某一定值时，检测结果与要求值的允许偏差应为 $\pm 1.0\%$ 。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。

3.3.16 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》（JTJ270）的有关规定。

3.3.17 有抗渗要求的混凝土抗渗等级应符合表3.3.17的规定。

混凝土抗渗等级选定标准

表3.3.17

最大作用水头与混凝土壁厚之比	抗渗等级
<5	P4
5~10	P6
11~15	P8
16~20	P10
>20	P12

3.3.18 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》（JTJ270）的有关规定。

3.3.19 按耐久性要求，海水环境和淡水环境混凝土水胶比最大允许值应分别满足表3.3.19-1和表3.3.19-2的规定。

海水环境混凝土的水胶比最大允许值

表3.3.19-1

环境条件		钢筋混凝土及 预应力混凝土结构		素混凝土结构		
		北方	南方	北方	南方	
大气区		0.55	0.50	0.65	0.65	
浪溅区		0.40	0.40	0.65	0.65	
水位 变动 区	严重受冻	0.45	-	0.45	-	
	受冻	0.50	-	0.50	-	
	微冻	0.55	-	0.55	-	
	不冻	-	0.50	-	0.65	
水 下 区	不受水头作用		0.55	0.55	0.65	0.65
	受水 头作用	最大作用水头与混凝土壁厚之比 <5	0.55			
		最大作用水头与混凝土壁厚之比 $5\sim 10$	0.50			
		最大作用水头与混凝土壁厚之比 >10	0.45			

注：除全日潮型港口外，其他海港有抗冻性要求的细薄构件水胶比最大允许值应酌情减小。

淡水环境混凝土的水胶比最大允许值

表3.3.19-2

环境条件		钢筋混凝土及 预应力混凝土结构		素混凝土结构		
		北方	南方	北方	南方	
水上区	水汽积聚或通风不良	0.60		0.65		
	无水汽积聚或通风良好	0.65		0.65		
水位 变动区	严重受冻	0.55		0.55		
	受冻	0.60		0.60		
	微冻	0.65		0.65		
	不冻	0.65		0.65		
水 下 区	不受水头作用		0.65		0.65	
	受水头 作用	最大作用水头与混凝土壁厚之比 <5	0.60			
		最大作用水头与混凝土壁厚之比 $5\sim 10$	0.55			
		最大作用水头与混凝土壁厚之比 >10	0.50			

3.3.20 水运工程混凝土采用的胶凝材料组成中，矿物掺合料用量占胶凝材料总量的比值应符合下列规定。

3.3.20.1 单掺一种掺合料时，其掺量应符合表 3.3.20 的规定。

混凝土胶凝材料中矿物掺合料掺量的最大限值

表 3.3.20

组成胶凝材料 的水泥品种	掺合料品种		
	磨细粒化高炉矿渣	粉煤灰	硅灰
PI 和 PII 型硅酸盐水泥	≤ 70	≤ 30	≤ 8
PO 型普通硅酸盐水泥	≤ 60	≤ 20	≤ 8

注：混凝土拌合物中矿物活性掺合料含量按胶凝材料质量百分比计。

3.3.20.2 同时掺入粉煤灰、磨细粒化高炉矿渣或硅灰时，其总量不宜大于胶凝材

料总量的 60%，其中粉煤灰掺入量不宜大于 20%，硅灰掺入量不宜大于 8%；超出上述范围的掺合料，配合比设计时，不得作为胶凝材料。

3.3.20.3 采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥拌制的混凝土，不宜外掺矿物掺合料，需要掺加时应通过试验确定。

3.3.21 海水环境及淡水环境混凝土的最低胶凝材料用量应符合表 3.3.21-1 和表 3.3.21-2 的规定，但胶凝材料最高用量不宜超过 500kg/m³。

海水环境混凝土的最低胶凝材料用量 (kg/m³) 表 3.3.21-1

环境条件	钢筋混凝土及 预应力混凝土结构		素混凝土结构			
	北方	南方	北方	南方		
大气区	320		280		280	
浪溅区	400		280		280	
水位变动区	F350	400	360	F350	400	280
	F300	360	360	F300	360	280
	F250	330	360	F250	330	280
	F200	300	360	F200	300	280
水下区	320		280		280	

注：①有耐久性要求的大体积混凝土，胶凝材料用量应按混凝土的耐久性和降低水泥水化热综合考虑。

淡水环境混凝土的最低胶凝材料用量 (kg/m³) 表 3.3.21-2

环境条件	钢筋混凝土及 预应力混凝土结构		素混凝土结构			
	北方	南方	北方	南方		
水上区	300		260		260	
水位 变动区	F250	330	300	F200	300	280
	F200	300	300	F150	280	280
	F150	280	300	F100	280	280
水下区	300		280		280	

3.3.22 有耐久性要求的混凝土，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。

3.3.23 海水环境钢筋混凝土结构的混凝土保护层垫块质量应符合下列规定。

3.3.23.1 垫块可采用砂浆或细石混凝土制作，其强度和抗氯离子渗透性应高于构件本体混凝土。

3.3.23.2 当采用工程塑料制作垫块时，应具有较好的耐碱性和耐老化性能，且抗压强度不小于 50MPa。

3.3.23.3 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 ${}^+2_0$ mm。

4 混凝土组成材料质量控制

4.1 一般规定

4.1.1 水运工程混凝土所用的原材料，应充分考虑环境的影响，满足新拌混凝土和硬化混凝土规定的性能要求。

4.1.2 水运工程混凝土所用的原材料进场时应附有检验报告单等质量证明文件，并按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》（JTJ 270）的有关规定进行产品质量检验，其质量应符合国家现行有关标准的规定，并满足设计要求。

4.1.3 材料在运输与贮存过程中，应按品种、规格分别堆放，不得混杂，不得接触海水，并防止其他污染。

4.2 水泥

4.2.1 水运工程混凝土宜采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，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熟料中铝酸三钙含量宜在6%~12%。

4.2.2 有抗冻要求的混凝土宜采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，不宜采用火山灰质硅酸盐水泥。

4.2.3 不受冻地区海水环境的浪溅区混凝土宜采用矿渣硅酸盐水泥。

4.2.4 水运工程严禁使用烧粘土质的火山灰质硅酸盐水泥。

4.2.5 与其他侵蚀性水接触的混凝土所用水泥，应按有关规定选用。

4.2.6 水泥进场时，应对其品种、等级、出厂日期等检查验收，水泥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。当因贮存不当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。

4.3 掺合料

4.3.1 混凝土中掺加的硅灰应符合下列规定。

4.3.1.1 硅灰的品质应符合表4.3.1的规定。

硅灰品质指标

表4.3.1

项目		指标
SiO ₂ 含量(%)		≥85
含水量(%)		≤3
烧失量(%)		≤6
活性指数(%)		≥90
细度	45μm方孔筛筛余(%)	≤10
	比表面积(m ² /g)	≥15
均匀性	密度与均值的偏差(%)	≤5
	细度的筛余量与均值的偏差(%)	≤5

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 混凝土中掺加的粉煤灰应符合下列规定。

4.3.2.1 粉煤灰的品质应满足下列要求：

- (1) 粉煤灰的质量符合表4.3.2的规定；
- (2) 粉煤灰中CaO含量不得大于10%，大于5%时，经试验证明安定性合格方可使用；
- (3) 采用干排法的粉煤灰，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
III	≤45	≤15	≤115	≤3	-	-

4.3.2.2 预应力混凝土应采用 I 级粉煤灰。钢筋混凝土和C30及C30以上的素混凝土应采用 I 级或 II 级粉煤灰，海水环境浪溅区的钢筋混凝土应采用 I 级粉煤灰或需水量比不大于100%的 II 级粉煤灰。

4.3.2.3 C30以下的素混凝土可采用 III 级粉煤灰。

4.3.2.4 有抗冻要求的混凝土可采用 I 级和 II 级粉煤灰。

4.3.2.5 粉煤灰试验方法应按国家现行标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)和《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)的有关规定执行。粉煤灰进场检验，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。

4.3.2.6 检验时，如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 混凝土中掺加的磨细粒化高炉矿渣应符合下列规定。

4.3.3.1 磨细粒化高炉矿渣的质量应符合表4.3.3的规定。

磨细粒化高炉矿渣质量指标

表4.3.3

项 目	级 别			
	S105	S95	S75	
密度 (kg/m ³)	≥2800			
比表面积 (m ² /kg)	≥400			
活性指数 (%)	7d	≥95	≥75	≥55
	28d	≥105	≥95	≥75
流动度比 (%)	≥85	≥90	≥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			

4.3.3.2 粒化高炉矿渣进场检验应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的磨细粒化高炉矿渣》(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 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4.4.1-1的规定。

细骨料杂质含量限值

表4.4.1-1

项次	项 目	有抗冻性要求		无抗冻性要求		
		>C40	≤C40	≥C60	C55~C30	<C30
1	总含泥量(按质量计, %)	≤2.0	≤3.0	≤2.0	≤3.0	≤5.0
	其中泥块含量(按质量计, %)	<0.5		≤0.5	≤1.0	<2.0
2	云母含量(按质量计, %)	<1.0		≤2.0		
3	轻物质含量(以质量计, %)	≤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, 应进行砂浆强度(按水泥胶砂方法)对比试验, 相对抗压强度不应低于95%				

注: ①有抗冻要求和强度大于等于 C30 的混凝土, 对砂的坚固性有怀疑时, 应采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对于惯用的砂源, 可不进行表中 2、4、5 项试验;

③轻物质是指表观密度小于 2000kg/m³ 的物质。

4.4.2 细骨料的粗细程度和级配分区宜符合下列规定。

4.4.2.1 砂的粗细程度应根据细度模数按表4.4.2-1划分:

砂的粗细程度划分

表 4.4.2-1

粗细程度	细度模数 μ_f
粗砂	3.7~3.1
中砂	3.0~2.3
细砂	2.2~1.6
特细砂	1.5~0.7

4.4.2.2 砂颗粒级配分区应符合表4.4.2-2的规定。

砂颗粒级配分区

表 4.4.2-2

公称粒径 (mm)	方孔筛筛孔 边长(mm)	级配区		
		I 区	II 区	III区
		累计筛余 (%)		
5.00	4.75	10~0	10~0	10~0
2.50	2.36	35~5	25~0	15~0
1.25	1.18	65~35	50~10	25~0
0.63	0.60	85~71	70~41	40~16
0.315	0.30	95~80	92~70	85~55
0.16	0.15	100~90	100~90	100~90

注：①砂的实际颗粒级配与表中所列的累计筛余百分比相比，除公称粒径为 5.00mm 和 0.63mm 的累积筛余外，其余公称粒径的累积筛余允许超出表列范围，但超出总量不大于 5%；

②当使用 I 区砂，特别是当级配接近上限时，宜适当提高混凝土的砂率，确保混凝土不离析；当使用 III 区砂时，应适当降低混凝土的砂率或掺入减水剂，提高拌合物的和易性并便于振实；

③当采用特细砂时，应符合有关的规定；

④ I 区砂宜配制低流动性混凝土、II 区砂宜配制不同强度等级混凝土、III 区砂宜降低砂率配制不同强度等级混凝土。

4.4.2.3 当砂颗粒级配不符合要求时，宜采取相应的技术措施，并经试验证明能确保工程质量后，方允许使用。

4.4.3 细骨料不宜采用海砂。采用海砂时，海砂中氯离子含量应符合下列规定。

4.4.3.1 浪溅区、水位变动区的钢筋混凝土，海砂中氯离子含量以胶凝材料的质量百分率计不宜超过 0.07%。当含量超过限值时，宜通过淋洗降至限值以下；淋洗确有困难时可在所拌制的混凝土中掺入适量的经论证的缓蚀剂。

4.4.3.2 预应力混凝土，海砂中氯离子含量以胶凝材料的质量百分率计不宜超过 0.03%。

4.4.3.3 如拌和用水和外加剂中氯离子含量低于限定值时，砂中氯离子的含量可适当放宽，但应满足第 3.3.9 条规定。

4.4.4 采用特细砂、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)中的有关规定。机制砂或混合砂中石粉含量应符合表4.4.4的规定。

机制砂或混合砂中石粉含量 表 4.4.4

混凝土强度等级		≥C60	C55~C30	≤C25
石粉含量(%)	MB<1.4(合格)	≤5.0	≤7.0	≤10.0
	MB≥1.4(不合格)	≤2.0	≤3.0	≤5.0

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、泥块含量和氯离子含量等指标,必要时尚应检验其他质量指标。

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的质量检验。

4.4.6 细骨料质量检验结果不符合本标准规定的指标时,应采取措施,并经试验证明能确保工程质量时,方可使用。

4.5 粗骨料

4.5.1 粗骨料质量应符合下列规定。

4.5.1.1 配制混凝土应采用质地坚硬的碎石、卵石或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指标值进行检验。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。碎石、卵石的抗压强度或压碎指标宜符合表4.5.1-1和表4.5.1-2的规定。

岩石抗压强度或压碎指标值 表 4.5.1-1

岩石品种	混凝土等级	岩石的立方体抗压强度(MPa)	碎石压碎指标(%)
沉积岩	C60~C40	≥80	≤10
	C35~C10	≥60	≤16
变质岩或深成的火成岩	C60~C40	≥100	≤12
	C35~C10	≥60	≤20
喷出的火成岩	C60~C40	≥120	≤13
	C35~C10	≥80	≤30

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

卵石的压碎指标值

表 4.5.1-2

混凝土等级	C60~C40	C35~C10
压碎指标(%)	≤12	≤16

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,%)	≤5	≤10

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	
	≥C30	<C30	≥C30	<C30
针片状颗粒含量(按质量计,%)	≤15	≤25	≤15	≤25
山皮水锈颗粒含量(按质量计,%)	≤25		≤30	
颗粒密度(kg/m ³)	≥2300		≥2300	

注：①针片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用卵石或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；试验结果不合格时，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 次循环后的失重率有抗冻要求的混凝土应不大于 3%，强度等级大于等于 C30 的混凝土应不大于 5%。

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		
		>C40	≤C40	≥C60	C55~C30	<C30
1	总含泥量(按质量计,%)	≤0.5	≤0.7	≤0.5	≤1.0	≤2.0
2	泥块含量(按质量计,%)	≤0.2		≤0.2	≤0.5	≤0.7
3	水溶性硫酸盐及硫化物含量(折算成 SO ₃ ,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：①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；

②对于惯用的石矿，可不进行表中第 3、4 项检验；

③含泥基本是非粘土质的石粉时，对无抗冻性要求的混凝土所用粗骨料的总含泥量可由 1.0%、2.0% 分别提高到 1.5%、3.0%。

4.5.3 粗骨料的最大粒径应满足下列要求：

- (1) 不大于 80mm；
- (2) 不大于构件截面最小尺寸的 1/4；

(3) 不大于钢筋最小净距的3/4;

(4) 不大于混凝土保护层厚度的4/5; 在南方地区浪溅区不大于混凝土保护层厚度的2/3。

4.5.4 粗骨料的颗粒级配应满足表 4.5.4 的要求, 并符合下列规定。

4.5.4.1 当最大粒径不大于 40mm 且级配适当时, 可不分级; 但对装配式薄壁结构所用的粗骨料, 通过 1/2 最大粒径的筛余率应为 30%~60%。

4.5.4.2 在保证混凝土不离析的情况下, 可采用间断级配。根据粗骨料开采和制备的具体情况, 也可采用其他分级方法, 但在确定各粒径级配的数量尺寸时, 应保证粗骨料运输和堆放不发生显著分离现象。

4.5.4.3 当卵石的颗粒级配不符合表 4.5.4 要求时, 应采取措施并经试验证明能确保工程质量后, 方可使用。

碎石或卵石的颗粒级配范围

表 4.5.4

级配情况	公称粒径 (mm)	累积筛余量 (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	31.5	37.5	53	63	75	90
连续粒级	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	0	—	—	—	—	—
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0	—	—	—	—
	5~40	—	95~100	70~90	—	30~65	—	—	0~5	0	—	—	—
单粒级	10~20	—	95~100	85~100	—	0~15	0	—	—	—	—	—	—
	16~31.5	—	95~100	—	85~100	—	—	0~10	0	—	—	—	—
	20~40	—	—	95~100	—	80~100	—	—	0~10	0	—	—	—
	31.5~63	—	—	—	95~100	—	—	75~100	45~75	—	0~10	0	—
	40~80	—	—	—	—	95~100	—	—	70~100	—	30~60	0~10	0

注: 公称粒级的上限为该粒径的最大粒径。

4.5.5 粗骨料质量检验应按下列规定执行。

4.5.5.1 粗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、含泥量、针片状颗粒含量和压碎指标等, 必要时尚应检验其他质量指标。

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

4.5.5.3 采用新产源的粗骨料时, 应进行全面的质量检验。

4.5.6 粗骨料质量检验结果不符合本标准规定的指标时，应采取措施，并经试验证明能确保工程质量时，方可使用。

4.6 拌和用水

4.6.1 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	钢筋混凝土、预应力混凝土	素混凝土
pH 值	>5.0	>4.5
不溶物 (mg/L)	<2000	<5000
可溶物 (mg/L)	<2000	<5000
氯化物 (以 Cl ⁻ 计、mg/L)	<200	<2000
硫酸盐(以 SO ₄ ²⁻ 计、mg/L)	<600	<2200

4.6.2 钢筋混凝土和预应力混凝土均不得采用海水拌和。在缺乏淡水的地区，素混凝土允许采用海水拌和，但混凝土拌合物中总氯离子含量应符合表 3.3.9 的规定，有抗冻要求的其水胶比应降低 0.05。

4.6.3 拌和用水的检验规则和检验方法应根据现行行业标准《混凝土用水标准》(JGJ 63) 的有关规定执行。

4.7 外加剂

4.7.1 混凝土应根据要求选用减水剂、引气剂、早强剂、防冻剂、泵送剂、缓凝剂、膨胀剂等外加剂。外加剂的品质应符合国家现行标准《混凝土外加剂》(GB8076)、《混凝土泵送剂》(JC 473)、《砂浆和混凝土防水剂》(JC 474)、《混凝土防冻剂》(JC 475) 和《混凝土膨胀剂》(JC 476) 的有关规定。在所掺用的外加剂中，以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 混凝土外加剂应检验其碱含量，混凝土拌合物碱含量应符合第 3.3.10 条的规定。

4.7.4 冷天施工时掺用外加剂应符合下列规定。

4.7.4.1 采用三乙醇胺作早强剂时，掺量不得超过胶凝材料用量的 0.05%。

4.7.4.2 素混凝土中掺用氯盐或以氯盐为主的防冻剂时，氯盐质量总和不得超过胶凝材料用量的 2%。

4.7.4.3 海水环境钢筋混凝土和预应力混凝土不得掺用氯盐防冻剂。

4.7.5 引气剂应进行溶液泡沫度检测，检测方法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。

4.7.6 每批外加剂进场的检查验收，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。

5 混凝土配合比控制

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土的配合比应使混凝土能达到设计要求的强度等级、耐久性指标和稠度等质量指标，并做到经济合理。

5.1.2 普通混凝土施工配合比，应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202）的规定，通过计算和试配确定。

5.1.3 混凝土设计强度等级应按同时满足承载能力和表3.3.12基于耐久性要求的混凝土强度等级确定。

5.1.4 混凝土的施工配制强度应按下式确定：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (5.1.4)$$

式中 $f_{cu,0}$ ——混凝土施工配制强度（MPa）；

$f_{cu,k}$ ——设计混凝土强度等级（MPa）；

σ ——工地实际统计的混凝土立方体抗压强度标准差（MPa）。

5.1.5 混凝土立方体抗压强度标准差的选取应符合下列规定。

5.1.5.1 施工单位有近期混凝土强度的统计资料时，混凝土立方体抗压强度标准差按下式确定：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{fcu}^2}{n-1}} \quad (5.1.5)$$

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）。

5.1.5.2 当混凝土强度等级为 C20 或 C25，计算的强度标准差小于 2.5MPa 时，计算配制强度用的混凝土立方体抗压强度标准差应取 2.5MPa；当混凝土强度等级大于

或等于 C30，计算的强度标准差小于 3.0MPa 时，计算配制强度用的混凝土立方体抗压强度标准差应取 3.0 MPa。

5.1.5.3 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 5.1.5 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值进行修正。

混凝土抗压强度标准差的平均水平 σ_0 表5.1.5

强度等级	<C20	C20~C40	>C40
σ_0 (MPa)	3.5	4.5	5.5

5.1.6 减水剂应通过试验选择，并应与胶凝材料匹配良好。

5.1.7 确定的配合比应根据指定的要求制作试件，进行试验校核。

5.1.8 试验室试拌和完成验收合格后，尚应按照混凝土生产使用的设备、人员及管理进行搅拌站试拌和，经检验混凝土拌合物质量、强度、耐久性等指标，满足设计要求后才能用于生产。

5.2 泵送混凝土

5.2.1 泵送混凝土使用的原材料除应符合第4章的规定外，尚应符合下列规定。

5.2.1.1 泵送混凝土应选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥，不宜采用火山灰质硅酸盐水泥。

5.2.1.2 粗骨料宜采用连续级配，针片状颗粒含量不宜大于10%；粗骨料最大粒径与输送管径之比应符合表5.2.1-1的规定，并不得超过混凝土构件截面最小尺寸的1/4和钢筋最小净距的3/4。

粗骨料最大粒径与输送管径之比 表5.2.1-1

粗骨料品种	泵送高度 (m)	粗骨料最大粒径与输送管径比
碎石	<50	$\leq 1: 3.0$
	50~100	$\leq 1: 4.0$
卵石	<50	$\leq 1: 2.5$
	50~100	$\leq 1: 3.0$
	>100	$\leq 1: 4.0$

5.2.1.3 细骨料细度模数宜为2.4~2.9，0.315mm 筛孔的累计筛余量不宜大于85%。

5.2.1.4 掺用的泵送剂、减水剂和活性矿物掺合料的质量应符合国家现行有关标准的规定，其品种及掺量应由试验确定。

5.2.2 泵送混凝土配合比设计应符合下列规定。

5.2.2.1 拌合物的坍落度应考虑泵送高度、水平距离和气候等因素的影响，不宜少于100mm，对不同泵送高度可按表5.2.2选用。

混凝土拌合物的坍落度选用值

表5.2.2

泵送高度 (m)	坍落度 (mm)
<30	100~140
30~60	140~160
60~100	160~180
>100	180~200

5.2.2.2 泵送混凝土最小胶凝材料用量应根据管径、距离、坍落度、骨料种类、气候条件等因素确定，无抗冻要求的混凝土不得小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，有抗冻要求的混凝土不得小于 $340\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.2.2.3 泵送混凝土最大水胶比不宜大于0.60。

5.2.2.4 砂率应根据骨料粒径、胶凝材料用量和拌合物的和易性等综合分析确定，宜为35%~45%。

5.3 抗冻混凝土

5.3.1 抗冻混凝土使用的原材料除应符合第4章的规定外，尚应符合下列规定。

5.3.1.1 水泥宜采用普通硅酸盐水泥和硅酸盐水泥，不宜采用火山灰质硅酸盐水泥。

5.3.1.2 抗冻混凝土宜选用连续级配的粗骨料，并应进行坚固性试验。

5.3.2 抗冻混凝土应掺用引气剂。引气剂的掺量应通过试验确定。

5.3.3 抗冻混凝土配合比计算应采用绝对体积法计算，并应计入混凝土拌合物的含气量。

5.4 大体积混凝土

5.4.1 大体积混凝土使用的原材料除应符合第4章的规定外，尚应符合下列规定。

5.4.1.1 水泥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、复合硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。

5.4.1.2 采用普通硅酸盐水泥时，宜掺入粉煤灰、磨细粒化高炉矿渣等活性掺合料。

5.4.1.3 大体积混凝土宜选用减水率较高、与水泥匹配好的高效减水剂或缓凝型高效减水剂。必要时可掺入适量缓凝剂。

5.4.1.4 骨料应选用级配良好的洁净中砂和孔隙率较小的粗骨料。粗骨料最大粒径

在满足第4.5.3条基础上宜选用较大值。

5.4.1.5 最终配合比宜经胶凝材料水化热总量的测定和验算确定。

5.4.2 大体积混凝土配合比设计在满足设计和施工要求的前提下，宜提高骨料的用量，减少每立方米混凝土的水泥用量。

5.5 水下混凝土

5.5.1 水下混凝土使用的原材料除应符合第4章的规定外，尚应符合下列规定。

5.5.1.1 水泥可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、普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥。水泥的初凝时间不宜早于2.5h，水泥的强度等级不宜低于42.5。

5.5.1.2 粗骨料的最大粒径不应大于导管内径的1/6、混凝土输送管的1/3和钢筋最小净距的1/4，同时不应大于40mm。

5.5.1.3 细骨料宜采用级配良好的中砂。

5.5.2 水下混凝土配合比设计应符合下列规定。

5.5.2.1 水下混凝土的配合比设计必须满足混凝土的设计强度、水陆强度比、水下自密实性、耐久性和施工和易性的要求，并应经济合理。

5.5.2.2 水下混凝土水胶比的选择应同时满足强度和耐久性要求。按强度要求得出的水胶比与按耐久性要求规定的水胶比相比较，应取其较小值作为配合比的设计依据。

5.5.2.3 水下混凝土的施工配制强度应比设计强度标准值提高40%~50%，或按下式计算：

$$f_{cu,0} = \alpha f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad 5.5.2$$

式中 $f_{cu,0}$ -----混凝土施工配制强度（MPa）；

α -----水下混凝土的水陆强度比，为水陆强度比的倒数，可根据工程所用材料的情况按经验取值，如无可靠数据时，应通过试验确定；

$f_{cu,k}$ -----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）。

5.5.2.4 施工单位没有近期混凝土强度统计资料时，宜按表5.5.2中混凝土强度标准差的平均水平，结合本单位的生产管理水平，酌情选取混凝土立方体抗压强度标准差

值。开工后则应尽快积累统计资料，对混凝土立方体抗压强度标准差值进行修正。

水下混凝土强度标准差平均水平 σ_0 表5.5.2

强度等级	<C20	C20~C40	>C40
σ_0 (MPa)	4.0	5.0	6.0

5.5.3 水下混凝土的配合比设计应符合下列规定。

5.5.3.1 混凝土配合比的含砂率宜采用40%~50%，有试验依据时含砂率可酌情增大或减小。

5.5.3.2 混凝土拌合物应有良好的和易性，在运输和灌注过程中应无显著离析、泌水现象。灌注时应保持足够的流动性，其坍落度宜为160~220mm。

5.5.3.3 每立方米水下混凝土的胶凝材料用量不宜小于350kg，掺有适宜数量的减水缓凝剂或粉煤灰时，水泥用量不宜少于300kg。

5.5.3.4 混凝土的初凝时间不得早于全部混凝土浇筑完成时间，当混凝土数量较大或浇筑量受到限制而需浇筑时间较长时，可经试验确定掺入适量的缓凝剂。

5.6 水下不分散混凝土

5.6.1 水下不分散混凝土使用的原材料除应符合第4章的规定外，尚应符合下列规定。

5.6.1.1 水泥可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、普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥。水泥的初凝时间不宜早于2.5h，水泥的强度等级不宜低于42.5。

5.6.1.2 粗骨料的最大粒径不应大于导管内径的1/6、混凝土输送管的1/3和钢筋最小净距的1/4，同时不应大于31.5mm。

5.6.1.3 细骨料宜采用级配良好的中砂。

5.6.2 水下不分散混凝土的配合比设计应符合下列规定。

5.6.2.1 单位用水量应根据所用的砂石情况、高效减水剂或复合型水下不分散剂的情况和确定的扩展度值选择，在达到要求的工作性时，宜减少单位用水量。

5.6.2.2 水下不分散混凝土胶凝材料用量不宜小于500kg/m³。

5.6.2.3 水下不分散混凝土的扩展度不宜小于400mm，30min扩展度损失不应大于50mm。

5.6.2.4 水下不分散混凝土的砂率宜为38%~42%，也可根据经验在保证水下不分散混凝土的和易性和抗分散性的情况下选取最佳砂率。

5.6.2.5 有抗冻要求的水下不分散混凝土，含气量宜为4.0%~6.0%。

5.6.3 水下不分散混凝土配制强度计算应符合第5.5.2.3款和第5.5.2.4款规定。

5.6.4 水下不分散混凝土的试验宜按现行行业标准《水下不分散混凝土试验规程》（DL/T 5117）的有关规定执行。

6 混凝土施工过程质量控制

6.1 配料

6.1.1 混凝土拌制前应测定砂、石含水率并根据测试结果调整材料用量，提出施工配合比，填写配料单。原材料配料时，应按配料单进行称量，不得改动。

6.1.1 混凝土原材料进行称量时，其偏差应符合表 6.1.2 的规定。

原材料称量的允许偏差（%）

表 6.1.2

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。

6.1.3 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。

6.1.4 原材料称量示值每一工作班检查次数应符合表 6.1.4 的规定。

每一工作班原材料称量示值检查次数

表 6.1.4

材 料 名 称	检 查 次 数
水泥、掺合料	≥4
粗、细骨料	≥2
水、外加剂	≥4

6.1.5 施工过程中应检测骨料含水率，每一工作班至少测定 2 次。当遇雨天或含水率有显著变化时，应增加检测次数，并应及时调整用水量和骨料用量。

6.2 搅拌

6.2.1 混凝土拌合物应搅拌均匀，连续搅拌的最短时间应按搅拌设备出厂说明书的规定并经试验确定。

6.2.2 混凝土搅拌完毕后，应按下列要求检测拌合物的质量指标。

6.2.2.1 混凝土拌合物的坍落度和含气量，应在搅拌地点和浇筑地点分别取样检测，每一工作班应对坍落度至少检查 2 次，含气量至少检查 1 次。在混凝土预制构件

场，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坍落度和含气量。

6.2.2.2 混凝土拌合物的稠度和含气量检测结果应分别符合第 3.1.5 条和第 3.3.14 条的规定。

6.2.2.3 必要时应检测混凝土拌合物的其他质量指标。

6.3 运输

6.3.1 混凝土拌合物运送到浇筑地点时，应不离析、不分层，并满足施工所要求的稠度。

6.3.2 混凝土拌合物运送至浇筑地点如出现离析、分层或稠度不满足要求等现象，应对混凝土拌合物进行二次搅拌。二次搅拌时不得任意加水。稠度不足时可同时加入水和胶凝材料，保持其水胶比不变。

6.3.3 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。

6.3.4 采用皮带输送机运送混凝土拌合物时，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。

6.3.5 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。如因故间歇，间歇时间不应超过 45min。

6.4 浇筑

6.4.1 浇筑混凝土前，应检查模板、钢筋、预埋件和预留孔等的尺寸、规格、数量和位置，其偏差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，并应检查模板支撑的稳定性、接缝的密合情况、脱模剂涂刷情况，并清除模内杂物、积水。

6.4.2 钢筋的混凝土保护层厚度应符合设计要求，其允许偏差应为 ${}_{0}^{+10}$ mm。

6.4.3 混凝土浇筑前应检查垫块的位置和数量，垫块的位置应符合要求，构件侧面或底面的垫块数量不应少于 4 个/m²，并应绑扎牢固。绑扎垫块的铁丝头不得伸入保护层内。

6.4.4 钢筋表面不得有锈屑、油污、水泥浆、盐渍或其他可能影响耐久性及握裹力的

有害物质。

6.4.5 混凝土在浇筑过程中应控制混凝土的均匀性和密实性，不应出现露筋、空洞、冷缝、夹渣、松顶等现象。

6.4.6 混凝土在浇筑过程中发现原材料、稠度不符合规定，或有分层离析等异常现象时，应立即查明原因妥善处理后方可继续浇筑。

6.4.7 浇筑混凝土时，应随时检查模板、支架、钢筋、预埋件、预留孔和垫块的固定情况，发现有变形、位移时应立即停止浇筑，并应在已浇筑的混凝土凝结前进行修整。

6.4.8 混凝土拌合物倾落自由高度不宜超过 2m。

6.4.9 混凝土应振捣成型。振捣器应根据施工对象和混凝土拌合物性质选择，并确定振捣时间。

6.4.10 浇筑混凝土的分层厚度宜符合表 6.4.10 的规定。

浇筑混凝土的分层最大允许厚度

表 6.4.10

捣实方法	分层允许最大厚度 (mm)
插入式振捣器振实	500
表面振捣器振实	200
附着式振捣器振实	300
人工振实	200

注：分层厚度系指振实后的混凝土厚度。

6.4.11 混凝土拌合物运至浇筑地点的温度，最高不宜高于 35℃；最低不宜低于 5℃。大体积混凝土的浇筑应合理分段分层进行，使混凝土沿高度均匀上升；应在室外气温较低时段进行浇筑，混凝土浇筑温度不宜超过 28℃。

6.4.12 混凝土的浇筑应连续进行。如因故中断，其允许间歇时间应根据混凝土硬化速度和振捣能力经试验确定或按表 6.4.12 的规定执行。

浇筑混凝土的允许间歇时间

表 6.4.12

混凝土的入模温度 (℃)	允许间歇时间 (h)	
	硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉 煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥
30~35	1.5	2.0
20~29	2.0	2.5
10~19	2.5	3.0
5~9	3.0	3.5

注：① 允许间歇时间为混凝土从搅拌机卸出到浇筑完毕的延续时间；

② 表列数值未考虑掺用外加剂的影响；

③ 如间歇时间过长，应在现场进行重塑试验，如混凝土不能重塑时，应按施工缝处理；

④ 重塑试验可用插入式振捣器在振动下靠自重插入混凝土中，并经振捣 15s 后，在振捣器周围 100mm 处仍

能翻浆，即认为能重塑。

6.4.13 混凝土在浇筑和静置过程中，应采取措施防止产生裂缝。由于混凝土的沉降和塑性干缩产生的表面裂缝，应及时予以修整。

6.4.14 在浇筑混凝土时，应同时制作吊运、张拉、放松、加荷和强度合格评定的立方体抗压强度试件。必要时还应制作抗冻、抗渗、抗氯离子渗透或其他性能的试件，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 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 混凝土浇筑完毕后应及时加以覆盖，终凝后应保湿养护。养护方法应根据构件外型选定，宜采用洒水、土工布覆盖浇水、包裹塑料薄膜、喷涂养护液进行养护。当日平均温度低于 5℃ 时，不宜洒水养护。

6.5.3 预应力混凝土、钢筋混凝土构件不得使用海水养护。

6.5.4 养护混凝土时，应每天记录天气的最高、最低温度和天气变化情况，并形成养护记录。

6.5.5 采用塑料薄膜或养护剂进行养护时应覆盖严密，并经常检查塑料薄膜或养护液薄膜的完整情况和混凝土的保湿效果。有损坏时应及时修补。

6.5.6 大体积混凝土的养护应通过热工计算，确定其保温、保湿或降温措施，并宜设置测温孔或埋设热电偶等方法测定混凝土内部和表面温度，温度应控制在设计要求的温差内。设计无要求时温差不宜大于 25℃。

6.5.7 混凝土潮湿养护的时间不应少于表 6.5.7 的规定。

混凝土潮湿养护时间

表 6.5.7

水泥品种	混凝土潮湿养护时间 (d)
硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥	≥10
矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、 粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥	≥14

注：① 对有抗冻要求的混凝土，按表列规定进行潮湿养护之后，宜在空气中放置 14d~21d；

② 对厚大结构的混凝土，使用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥时，潮湿养护不得少于 14d；使用矿渣硅酸盐水泥、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时，潮湿养护不得少于 21d。

7 硬化混凝土质量控制

7.1 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和外形尺寸进行检查，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）的有关规定进行，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 混凝土强度

7.2.1 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 评定混凝土抗压强度的原始资料应按下列规定统计。

7.2.2.1 混凝土强度的评定应分批进行。同一验收批的混凝土应由强度等级相同、配合比和生产工艺基本相同的混凝土组成。对现浇混凝土，宜按分项工程划分验收批；对预制混凝土构件，宜按月划分验收批。

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，作为统计数据来进行评定，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。

7.2.2.4 试件抗压强度应以 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 试件的抗压值为标准值，其他尺寸试件测得的强度值均应乘以尺寸换算系数。 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 的试件和 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的试件，换算系数应分别为 1.05 和 0.95。

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按下列规定执行。

7.2.3.1 混凝土抗压强度的统计数据应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} —— n 组混凝土抗压强度的平均值 (MPa);

S_{fcu} —— n 组混凝土抗压强度的标准差值 (MPa);

$f_{cu,k}$ ——验收批混凝土抗压强度标准值 (MPa);

$f_{cu,min}$ —— n 组混凝土抗压强度中的最小值 (MPa);

C ——验收系数, 按表 7.2.3 选取;

σ_0 ——混凝土抗压强度标准差的平均水平 (MPa), 可按表 5.1.5 选取。

7.2.3.2 n 组混凝土抗压强度的标准差应按下式计算。

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

式中 S_{fcu} —— n 组混凝土抗压强度的标准差值 (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);

m_{fcu} —— n 组混凝土抗压强度的平均值 (MPa);

n ——验收批内混凝土试件的组数, 至少要有 5 组。

验收系数 C

表 7.2.3

n	5~9	10~19	≥ 20
C	0.7	0.9	1.0

7.2.3.3 当只有抗压强度最小值不满足式 (7.2.3-2) 要求时, 可将混凝土试件抗压强度值按时间顺序排列, 再结合生产过程管理图表, 分析低抗压强度数据出现原因和规律的基础上, 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应按下列规定执行。

7.2.4.1 混凝土抗压强度的统计数据应满足下列公式的要求:

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

$$f_{cu,min} \geq f_{cu,k} - 0.5D \quad (7.2.4-2)$$

式中 m_{fcu} —— n 组混凝土抗压强度的平均值 (MPa);

$f_{cu,k}$ ——验收批混凝土抗压强度标准值 (MPa);

D ——验收常数, 其取值与表 5.1.5 中的 σ_0 值相同;

$f_{cu,min}$ —— n 组混凝土抗压强度中的最小值 (MPa)。

7.2.5 混凝土抗折强度的评定应按下列规定执行。

7.2.5.1 试件组数为 6~25 组时, 混凝土平均抗折强度应满足下式要求:

$$f_{mn} \geq f_{cm} + K\sigma \quad (7.2.5)$$

式中 f_{mn} ——混凝土平均抗折强度 (MPa);

f_{cm} ——混凝土设计抗折强度 (MPa);

K ——合格判断系数, 按表 7.2.5 选取;

σ ——混凝土抗折强度实际标准差 (MPa)。

合格判断系数

表 7.2.5

n	5~9	10~14	15~24	>25
K	0.35	0.45	0.55	0.65

7.2.5.2 试件组数大于 25 组时, 每 25 组允许有 1 组小于 0.85 倍混凝土设计抗折强度, 但不得小于 0.75 倍混凝土设计抗折强度。

7.2.5.3 试件组数小于或等于 5 组时, 其平均抗折强度不得小于 1.05 倍混凝土设计抗折强度, 任意一组最低强度不得小于 0.85 倍混凝土设计抗折强度。

7.3 混凝土耐久性

7.3.1 混凝土抗冻性和抗渗性试件的留置组数, 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 混凝土抗冻性试件的评定应按下列规定执行。

7.3.2.1 当试件组数为 3 组时, 至少应有 2 组达到设计抗冻等级; 当试件组数大于 3 组时, 达到设计等级的组数不得低于总组数的 75%。

7.3.2.2 当设计抗冻等级不大于 F250 时, 最低 1 组的抗冻等级不得比设计抗冻等级低 50 次循环; 当设计抗冻等级大于 F300 时, 最低 1 组的抗冻等级不得比设计抗冻等级低 100 次循环。

7.3.3 混凝土各组抗渗试件的抗渗等级应达到设计抗渗等级。

7.3.4 混凝土抗氯离子渗透性试件的制作、养护和试验应按附录 A 的有关规定执行。

7.3.5 混凝土抗氯离子渗透性试件的留置应按下列规定执行。

7.3.5.1 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。

7.3.5.2 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,但混凝土构件龄期不宜超过标准养护试件 30d。

7.3.6 混凝土抗氯离子渗透性试件的评定按下列规定执行。

7.3.6.1 试件组数为 3 组时,任何 1 组的平均值均不应大于 2000C。

7.3.6.2 试件组数为 4~10 组时,总平均值不得大于 2000C,其中任何 1 组的平均值不得大于 2200C。

7.3.6.3 试件组数大于 10 组时,总平均值不得大于 2000C,其中任何 1 组的平均值不得大于 2300C。

7.3.7 海水环境大气区、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。

7.3.7.1 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。

7.3.7.2 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。

7.3.7.3 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,每根钢筋应选取 5 个代表性部位检测。

7.3.7.4 混凝土保护层厚度的允许偏差应为 $\begin{matrix} +10 \\ -5 \end{matrix}$ mm。

7.3.8 混凝土保护层厚度检测宜采用非破损方法并用局部破损方法进行校准。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 7.3.8 的要求。

混凝土保护层测厚仪检测误差

表 7.3.8

设计保护层厚度 δ (mm)	检测误差 (mm)
$\delta < 50$	± 1
$50 \leq \delta < 60$	± 2
$60 \leq \delta < 80$	± 3

7.3.9 构件实体保护层厚度检测的合格判定标准应符合下列规定。

7.3.9.1 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。

7.3.9.2 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仍应

判定为合格。

7.3.9.3 每次抽样检测结果中不合格点的最大偏差均不应大于第 7.3.7.4 款规定允许偏差的 1.5 倍；

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

7.4 混凝土质量问题的处理

7.4.1 混凝土外观缺陷不符合第 7.1.1 条的规定时，应按下列规定处理。

7.4.1.1 不影响结构的使用性能时，可提出处理方案，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，可采用非破损检验方法，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-回弹综合法对结构中混凝土强度进行检测和评估时，应符合下列规定。

7.4.2.1 出现下列情况之一时，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 出现下列情况之一时，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，应研究采取增加有效的防腐蚀措施。

附录 A 混凝土抗氯离子渗透性标准试验方法— 电通量法

A.1 适用范围

A.1.1 本试验方法以电量指标快速测定混凝土的抗氯离子渗透性,适用于检验混凝土原材料和配合比对混凝土抗氯离子渗透性的影响。

A.1.2 电通量法应采用直径为 $95 \pm 2\text{mm}$, 厚度为 $51 \pm 3\text{mm}$ 的素混凝土试件或芯样。

A.1.3 本试验方法不得用于掺亚硝酸盐和钢纤维等良导电材料的混凝土。掺其他外加剂或表面处理过的混凝土,当有疑问时,应进行氯化物溶液的长期浸渍试验。

A.2 试验设备及试剂

A.2.1 电通量法应采用图 A.2.1 所示的试验装置。

A.2.2 试验用仪器设备和化学试剂应满足下列要求:

- (1) 直流稳压电源,输出 60V 直流电压,精度 $\pm 0.1\text{V}$;
- (2) 塑料或有机玻璃试验槽,其结构尺寸如图 A.2.2 所示;
- (3) 紫铜垫板和铜网:紫铜垫板宽度为 $12 \pm 2\text{mm}$,厚度为 0.51mm ;铜网孔径为 0.95mm 或者 20 目;
- (4) 数字式电流表,量程 20A ,精度 $\pm 1.0\%$;
- (5) 真空泵,真空度 133Pa 以上;
- (6) 真空干燥器,内径不小于 250mm ;
- (7) 化学纯试剂配制的 $3.0\%\text{NaCl}$ 溶液;
- (8) 化学纯试剂配制的 0.3mol/L NaOH 溶液;
- (9) 硅橡胶或树脂密封材料;
- (10) 硫化橡胶垫:外径 100mm ,内径 75mm ,厚 6mm 。

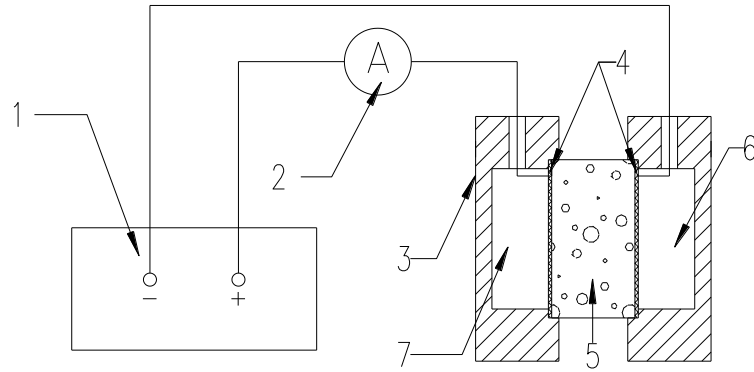


图 A.2.1 试验装置示意图

1—直流稳压电源；2—电流表；3—试验槽；4—紫铜垫板和铜网；5—混凝土试件；6—3%NaCl 溶液；7—0.3mol/L NaOH 溶液

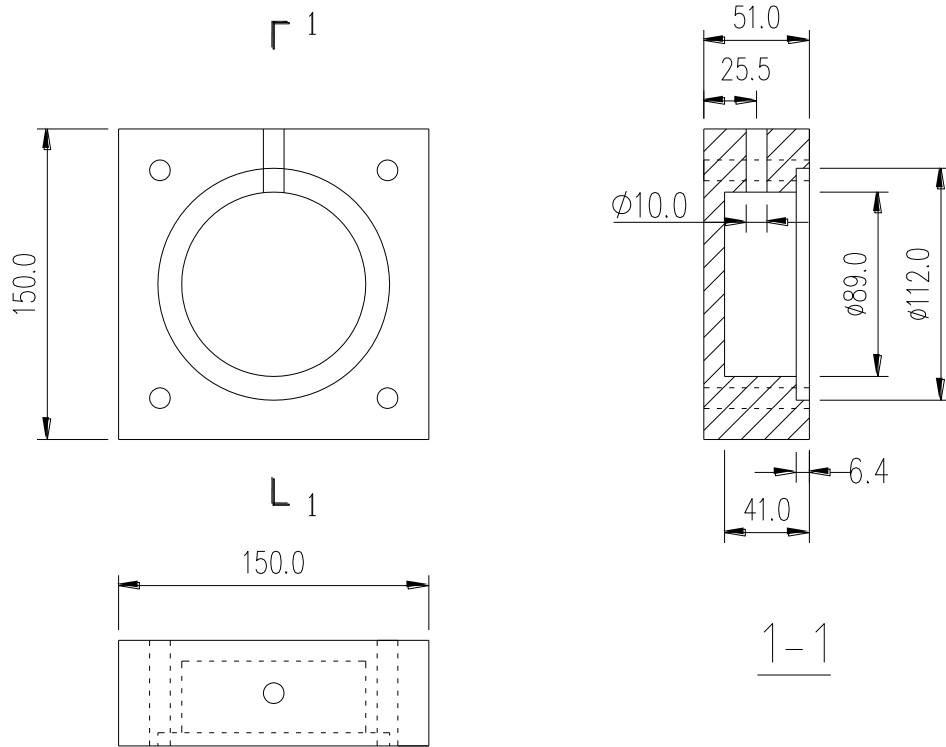


图 A.2.2 试验槽结构图 (mm)

A.3 试验步骤

A.3.1 试验试件应在标准条件下养护 28d 或 90d，试验时应以 3 块试件为 1 组。

A.3.2 试件应暴露于空气中至其表面干燥，并应以硅橡胶或树脂密封材料施涂于试件侧面，必要时应填补涂层中的孔洞。

A.3.3 测试前应进行真空饱水，真空饱水应按下列步骤进行：

(1) 试件应放入 1000ml 烧杯中，然后一起放入真空干燥器中；

- (2) 启动真空泵, 使真空度在数分钟内达 133Pa 以上;
- (3) 保持真空 3h 后, 维持这一真空度并注入足够的蒸馏水, 直至淹没试件;
- (4) 试件浸泡 1h 后恢复常压, 再继续浸泡 18 ± 2 h。

A.3.4 试件安装应按下列步骤进行:

- (1) 从水中取出试件, 抹掉多余水分;
- (2) 将试件安装于试验槽内, 用橡胶密封环或其他密封胶密封, 并用螺杆将两试验槽和试件夹紧;
- (3) 将试验装置放在 $20^{\circ}\text{C} \sim 23^{\circ}\text{C}$ 的流动冷水槽中, 使水面低于装置顶面 5mm。

A.3.5 试验测试应按下列步骤进行:

(1) 将浓度为 3.0% 的 NaCl 溶液和 0.3mol/L 的 NaOH 溶液分别注入试件两侧的试验槽中, 注入 NaCl 溶液的试验槽内的铜网连接电源负极, 注入 NaOH 溶液的试验槽中的铜网连接电源正极;

(2) 接通电源, 对上述两铜网施加 60V 直流恒电压, 并记录电流初始读数, 通电并保持试验槽中充满溶液, 开始时每隔 5min 记录一次电流值, 当电流值变化不大时, 每隔 10min 记录一次电流值, 当电流变化很小时, 每隔 30min 记录一次电流值, 直至通电 6h;

(3) 采用自动采集数据的测试装置时, 记录电流的时间间隔设定为 5min, 电流测量值精确到 $\pm 0.5\text{mA}$ 。

A.3.6 试验应在 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 恒温室内进行。

A.4 结果计算

A.4.1 试验结果计算应满足下列要求:

- (1) 绘制电流与时间的关系图;
- (2) 将各点数据以光滑曲线连接起来对曲线作面积积分, 或按梯形法进行面积积分, 得到试验 6h 通过的电量;
- (3) 试件直径不等于 95mm 时, 将所得电量按截面面积比的正比关系换算成直径为 95mm 的标准值。

A.4.2 试件混凝土的抗氯离子渗透性应根据试件渗透性计算结果按下列方法评定:

- (1) 取同组 3 个试件通过电量的平均值;
- (2) 同组 3 个试件通过电量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) 同组 3 个试件通过的电量的最大值和最小值，与中间值之差均超过平均值的 20% 时，该组数据无效。

附录 B 本标准用词用语说明

B.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”。

B.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、参加单位、 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

参加单位： 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

中交四航局第二工程有限公司

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）

（以下按姓氏笔画为序）

张国志 （中交武汉港湾工程设计研究院有限公司）

周庆华 （中交四航工程研究院有限公司）

罗碧丹 （中交四航局第二工程有限公司）

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）

总校人员名单： 胡 明 （交通运输部水运局）

李德春 （交通运输部水运局）

阚 津（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）

黄孝蘅（中交天津港湾工程研究院有限公司）

胡继业（中交四航工程研究院有限公司）

董 方（人民交通出版社）

管理组人员名单：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）

罗碧丹（中交四航局第二工程有限公司）

中华人民共和国行业标准

水运工程混凝土质量控制标准

Quality Control Standard
of Concrete for Port and Waterway Engineering

JTS 202-2—2011

条文说明

目 次

1 总则	45
2 术语	46
3 基本规定	47
3.1 混凝土拌合物	47
3.2 混凝土强度	48
3.3 混凝土耐久性设计要求	48
4 混凝土组成材料质量控制	55
4.2 水泥	55
4.3 掺合料	55
4.4 细骨料	55
4.5 粗骨料	56
5 混凝土配合比控制	57
5.1 一般规定	57
5.4 大体积混凝土	57
5.5 水下混凝土	57
5.6 水下不分散混凝土	58
6 混凝土施工过程质量控制	59
6.1 配料	59
6.2 搅拌	59
6.3 运 输	59
6.4 浇筑	59
6.5 养 护	60
7 硬化混凝土质量控制	61
7.1 混凝土外观质量	61
7.2 混凝土强度	61
7.3 混凝土耐久性	62
附录 A 混凝土抗氯离子渗透性标准试验方法-电通量法	64

1 总则

1.0.1 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，使混凝土质量符合设计要求。

1.0.4 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 本标准所指的海水环境包括海港和受海水影响的河口港以及其他近海岸建筑物所处的环境。我国水运工程混凝土结构主要的损坏形式之一是氯离子侵蚀作用，因此，如果混凝土结构受到含有氯离子的水质影响，则混凝土结构所处环境按海水环境执行。

3 基本规定

3.1 混凝土拌合物

3.1.1 施工时，若拌合物的稠度小于设计值，则难以保证混凝土浇筑质量，易出现蜂窝、麻面等缺陷。若稠度大于设计值规定范围，说明混凝土拌合物水胶比增大，将导致混凝土强度降低，并影响混凝土耐久性。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。

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，可明显地提高混凝土抗冻融能力，但含气量超过一定范围，会明显地降低混凝土强度。因此，为确保混凝土的强度或抗冻性，检验混凝土拌合物的含气量。

由混凝土原材料带入混凝土拌合物中的氯离子将加剧钢筋的锈蚀，影响混凝土结构耐久性，且含量越高，影响越大。因此，对用于海水环境中的混凝土拌合物检验其氯离子含量，有利于将其控制在允许范围内。

流动性和大流动性混凝土拌合物的坍落度，通常会随时间迅速降低。降低率与外加剂的品种及掺量、环境气温及湿度、水泥品种等有密切关系。因此，为避免混凝土拌合物坍落度损失过大而影响浇筑质量，对流动性和大流动性混凝土拌合物，根据外界条件的变化检验其坍落度损失，将确保浇筑时混凝土拌合物的坍落度能满足工艺要求。

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。

3.1.2~3.1.4 混凝土拌合物的稠度分级标准、检测方法采用现行国家标准的分级标准及检测方法。当要求稠度为一定值时，坍落度或维勃稠度允许偏差也沿用了国家标准的规定。

3.1.5~3.1.6 本条参照现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）制定。

3.1.10 本条参照现行国家标准《混凝土质量控制标准》（GB 50164-2011）制定。

3.2 混凝土强度

3.2.1 本条在原标准条文表3.2.1引气混凝土强度等级中增加了C45、C50、C55三个等级。这是基于近10年来第三代高效减水剂的出现和混凝土配制技术的进步，在国内许多大型工程已成功配制和采用C45、C50、C55引气混凝土的实际情况提出的。

3.2.3 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 (MPa)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 (MPa)

类别	生产管理水平			备注
	优良	中等	较差	
现浇	$\leq \sigma_0 - 0.5$	$\sigma_0 \pm 0.5$	$> \sigma_0 + 0.5$	以 σ_0 作为中等水平的中线
预制	$\leq \sigma_0 - 1.0$	$\sigma_0 - 1.0$	$> \sigma_0$	以 σ_0 作为中等与较差的分界线

3.3 混凝土耐久性设计要求

3.3.1 水运工程建筑物经常与水接触或处于潮湿环境中，混凝土冻融和钢筋腐蚀破坏比陆上建筑物要严重得多，特别是与海水接触的建筑物则处于更为严重的暴露条件下，由于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，混凝土的耐久性往往成为控制混凝土质量的主要指标。因此，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，尚应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耐久性能进行耐久性设计。

3.3.2 海水港按环境对钢筋腐蚀程度分为海上大气区、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（见附表3.3.2），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为区域分界线。

我国有掩护海港码头钢筋混凝土上部结构钢筋腐蚀破坏部位与设计高水位的关系表，见附表3.3.2。

钢筋腐蚀损坏范围（以设计高水位为准）

附表3.3.2

地区	港口	结构型式	损坏范围	构件
华南	A	管柱、梁 π 型肋板	+0.72~+0.45	板底、 π 型板肋
		桩基、梁、 π 型肋板	+1.0~+0.6	板底
	B	桩基、无梁大板	± 0 ~-0.5	板底和桩帽
	C	沉箱基础、立柱、梁 π 型肋板	+0.6~+0	梁、 π 型板肋的柱顶
		桩基、框架、梁、板	+0.3~-0.3	梁底和柱
	D	桩基、框架、梁、板	+0.8~-0.3	板底、梁底和柱顶
		桩基、梁、 π 型肋板	-0.4~-0.8	梁、 π 型板肋
		桩基、梁、 π 型肋板	-0.1~-0.8	梁、 π 型板肋
桩基、梁、 π 型肋板		-0.8	梁、 π 型板肋	
华东	E	桩基、梁、板	+0.4~+0.2	边纵梁底、下横梁侧
	F	桩基、梁、板	+0.9~-0.26	纵梁底和板底

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修订。增加了无掩护条件按港工设计水位和按天文潮位划分标准，使我国海水环境混凝土部位划分基本与国际接轨。

3.3.4 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）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50mm与65mm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），尚应有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，需要强调的是本规范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。

本条在原标准的基础上作了如下的修订：

- （1）对北方地区浪溅区的钢筋的混凝土结构保护层厚度由50mm增大到60mm；
- （2）对水下区钢筋混凝土保护层厚度作了适当增加，由原来规定的30mm增加到40mm。

以上修订原因主要是原规定值与国外有关规范相比偏小（见附表3.3.4），更主要是适当增大有利于显著地提高结构使用年限。

各国标准规定的最小保护层厚度 (mm)

附表3.3.4

混凝土所处部位	FIP建议 (1986)	ACI 357 (1989)	BS6439 (2000)	NS3473 (2004)	PrEN1992-1-1 (2003)	GB/T50476 (2008)
大气区	65	65	40	50	45	50
浪溅区	65	65	60	60	55	65
水下区	50	50	40	50	50	40

3.3.5 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。本条修订时在参考《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476-2008)等规范基础上适当减少了原条文对海水环境构件厚度为0.5m以上时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。

3.3.6 本条在原标准条文规定的基础上对淡水环境主筋混凝土保护层最小厚度作了适当修订。将水上区无水汽积聚部位保护层最小厚度由原来30mm提高到35mm;南方地区水位变动区由原来30mm提高到40mm;水下区南北方由原来25mm提高到35mm。对上述部位保护层厚度作适当增加除了原规定比现行国内外标准偏小外,主要是为提高该部位混凝土抗碳化引起的钢筋锈蚀以及抗流动水或受水中泥砂冲刷侵蚀的能力。

3.3.7 港口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。原标准对配置构造钢筋的素混凝土结构的钢筋保护层最小厚度没有明确规定,导致设计人员常按钢筋混凝土结构处理,不利于构造筋对混凝土表面裂缝的限制作用,因为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,但会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。因此作本条规定。

3.3.9 混凝土拌合物中氯离子最高限值,包括由拌合水、水泥、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。因此,需对拌合物的氯离子做限值规定。对于预应力混凝土结构,由于预应力筋对氯盐腐蚀非常敏感,易发生应力腐蚀,因此,限制更严格;对于素混凝土,虽然不存在钢筋腐蚀问题,但氯盐掺量过大(按无水氯化钙计,超过水泥质量2%时),混凝土拌合物易产生速凝,此外,氯盐的存在还会促进碱集料反应。因此,为保证混凝土的耐久性,根据环境条件,也需对混凝土拌合物中氯化物总量加以限制。对于处于海水环

境中的钢筋混凝土，由于海水中的氯离子会不断深入到钢筋周围，对其拌合物中氯离子含量限制更严。

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：

一、日本土木学会《混凝土标准规范》（1986）规定：

（1）对于一般钢筋混凝土和后张预应力混凝土，混凝土中的氯离子总量定为 $0.60\text{kg}/\text{m}^3$ 以下；

（2）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里以及采用先张预应力混凝土的场合里，混凝土中氯离子总量定为 $0.30\text{kg}/\text{m}^3$ 以下；

另外日本《预拌混凝土规范》（JISA 5308-1986）规定：混凝土的氯化物含量，在卸货地点，氯离子必须在 $0.30\text{kg}/\text{m}^3$ 以下。

二、《FIP海工混凝土结构的设计与施工建议》（1986）的规定见附表3.3.9-1，该建议考虑了气候条件的影响。

FIP对混凝土拌合物中粗离子的最高限值（按水泥质量的%计） 附表3.3.9-1

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

三、美国《固定式离岸混凝土结构设计与施工指南》（ACI 357-1984）规定：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%（对钢筋混凝土）和0.06%（对预应力混凝土）。美国《钢筋混凝土房屋结构规范》（ACI 318-1989）对混凝土拌合物中氯离子限值的规定见附表3.3.9-2。

ACI 318对混凝土拌合物中氯离子的最高限值（按水泥质量的%计） 附表3.3.9-2

构件种类及环境条件	可溶于水的氯离子
预应力混凝土	0.06
使用环境中暴露于氯化物的钢筋混凝土	0.15
使用环境中干燥的或有防潮措施的钢筋混凝土	1.00
其他钢筋混凝土	0.30

四、英国《离岸固定建筑物实施规范》（BS 6235-1982）和《混凝土结构应用》（BS 8110-1985）对混凝土拌合物中氯离子限值的规定见附表3.3.19-3。

BS 6235和BS 8110对混凝土中氯离子的最高限值(按水泥质量的%计) 附表3.3.9-3

结构种类	水泥品种	BS6235	BS8110
钢筋混凝土	符合BS12的水泥或相当水泥	0.35	0.40
	符合BS4207的水泥或相当水泥	0.60	0.20
预应力混凝土	各种水泥	0.06	0.10

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标准和国内有关标准制定的。

3.3.10 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。

当所用骨料经检验具有活性时，通常采用的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，即使采取措施限制水泥中的碱含量小于0.6%（以 Na_2O 当量计），但海水可不断提供新的碱来源，很难保证不会发生碱—骨料反应。因此，为保证海工结构的耐久性，规定严禁使用有可能产生碱—骨料反应的活性骨料。对于河港工程，每 m^3 混凝土的总含碱量限值是综合国际上近年成果规定的。

3.3.11 混凝土抗氯离子侵入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，混凝土的氯离子侵入性指标国内外主要采用两种表示方法：一种是以美国ASTM C1202-97快速电量测定方法为基础的标准方法；另一种是以欧洲推荐的RCM法。RCM法在港口工程中很少采用，累积资料较少，难于给出定量指标。因此，本标准仅推荐以ASTM C1202-97为基础的标准试验方法。

3.3.12 近年来欧美等国的标准和规范如FIP、Dura-Crete、英国BS 6439、美国ACI 6537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。本规范修订时根据水运工程环境条件、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，确定了水运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。因此要求水运工程混凝土结构构件的混凝土强度等级应同时满足承载能力和耐久性的要求。

3.3.13 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。

3.3.14 混凝土抗冻融的能力与其含气量有密切关系，因此有抗冻要求的混凝土需要掺

入适量的引气剂，使拌合物的含气量控制在表3.3.14范围内。国外一些标准对抗冻融混凝土含气量的规定见附表3.3.11。本标准规定有抗冻要求的混凝土拌合物含气量是根据我国港口工程多年的实践经验和参考国外标准制定的。

各国对抗冻融混凝土含气量的规定

附表3.3.14

标准名称或代号	骨料最大粒径 (mm)	含气量范围 (%)
《FIP海工混凝土结构设计与施工建议》(1986)	10	7~10
	20	5~8
	40	4~7
《CEB/FIP模式混凝土结构规范》(1990)	8	≥6
	16	≥5
	32	≥4
英国BS 110 (1985)	10	7
	20	5
	40	4
美国ACI 318 (1989)	10	6(7.5)
	20	5(6)
	40	4.5(5.5)
澳大利亚AS 1480 (1982)	10	6~10
	20	4~8
	40	3~6
挪威DNV (1989)	20	≥5
	40	≥3

注：ACI 318括号内的含气量是指混凝土处于严重受冻的环境条件下。

3.3.17 混凝土抗渗等级代号改W以P表示，与《普通混凝土长期性能和耐久性试验方法标准》(GB/T 50082—2009)的规定相一致。

3.3.19 影响混凝土抗冻性、抗渗性和防止钢筋腐蚀的主要因素是它的渗透性，混凝土密实、耐久性良好。为此，除了选择级配良好密实的集料和精心施工保证混凝土充分捣实以及采用适当的养护方法保证水泥充分水化外，水胶比是影响混凝土密实性的最主要因素。因此，为获得耐久性良好的混凝土，需根据环境条件及混凝土在构筑物中所处部位限定水胶比的最大允许值。

对于水运工程，冻融破坏最严重的是水位变动区，其次是浪溅区；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。本条在原标准条文基础作了以下修订：

(1) 基于矿物掺合料已在水运工程混凝土中普遍采用，将原条文中的水灰比改为水胶比；

(2) 北方地区海水环境钢筋混凝土、预应力混凝土浪溅区水胶比最大允许值原条文规定偏大, 难于满足耐久性要求, 现修改为0.40;

(3) 对海水环境水下区钢筋混凝土、预应力混凝土的水胶比最大允许值与国内外相关规范规定值0.50相比过于偏大。主要原因是国外相关规范为了抵抗流动海水和泥砂冲刷, 对水下混凝土强度要求较高(一般在C35~C40), 基于以上原因, 这次修订时将水胶比修改为0.55。

(4) 淡水环境水上区素混凝土水胶比最大允许值由0.70改为0.65; 水位变动区不冻环境和水下区不受水头作用环境水胶比最大允许值由0.70改为0.65;

(5) 海水环境、淡水环境水位变动区取消偶冻条件。

3.3.20 基于本规范修订时将混凝土水灰比改为水胶比。因此, 对矿物掺合料(粉煤灰、磨细矿渣粉、硅灰)作为胶凝材料占胶凝材料总量的比值作了规定。混凝土中超出规定范围的掺合料在混凝土配合比设计中不得作为胶凝材料计入水胶比。

3.3.21 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。

本条在原规范条文基础上, 根据水运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作了适度修订, 并增加了淡水环境耐久性要求的最低胶凝材料用量的规定。

3.3.22 水胶比大小和胶凝材料用量大小, 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, 如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。

3.3.23 使用质量低劣、密实性差的混凝土保护层垫块, 往往不能保证规定的保护层厚度和质量, 外界腐蚀介质(如海水中的氯离子)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, 为保证钢筋保护层最小厚度值, 垫块尺寸考虑了施工偏差。

4 混凝土组成材料质量控制

4.2 水泥

4.2.1 按现行国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB 175-2007）对本条作相应修改。水泥标号改为水泥强度等级。推荐采用的水泥增加了复合硅酸盐水泥。其等级划分、性能指标及检验方法与火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥相同。目前国内有能满足各种特殊性能要求的复合硅酸盐水泥产品，与普通硅酸盐水泥的对比试验说明复合硅酸盐水泥不仅可满足结构工程的要求，也可满足海工混凝土要求，且有良好的经济和环境效益。

现行国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB175-2007）中，硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥强度等级最低为42.5，矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥最低为32.5，原规范不得低于425（32.5）已无意义。所以取消对水泥强度等级的要求。

4.3 掺合料

4.3.1 本条为新增条文。

4.3.2 本条对粉煤灰的品质指标的要求为新增条文。

4.3.3 粒化高炉矿渣粉的品质指标按现行国标《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046-2008）及现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTJ 275-2000）的有关规定编写。增加了进场检验及运输储存要求。

4.4 细骨料

4.4.1 参照现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52—2006）增加了对细骨料的杂质含量（有害物质）具体要求。

4.4.2 参照现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52—2006）增加了对细骨料的细度模数及级配等具体要求。

4.4.3 将原氯离子含量以相对于水泥的质量百分率计，改为以胶凝材料的质量百分率计。取消对缓蚀剂品种掺量的要求。

4.4.4 天然河砂会受到天时、地域等的限制，在结冰期、洪水期等时期都有可能影响

供应和质量，由于资源的有限性，还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。所以增加对机制砂或混合砂要求。

参照现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52—2006）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。本标准中石粉含量限值与《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52-2006）相同。

4.4.5 根据《水运工程质量检验标准》（JTS 257-2008）把细骨料按批检验内容修改为筛析、堆积密度、含泥量、泥块含量、氯离子含量。增加对于机制砂或混合砂还应检验其石粉含量。提出当采用新产源的细骨料时，应进行全面质量检验的要求。

4.5 粗骨料

4.5.1 参照现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52-2006）及现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）增加了对粗骨料的强度及压碎指标、软弱颗粒及其他物理性能的具体要求。

4.5.2 参照现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52-2006）及现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）增加了对有害杂质等物理性能进行具体要求。

4.5.5 参照现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52-2006），对粗骨料级配提出具体要求。

4.5.6 根据《水运工程质量检验标准》（JTS 257-2008）把粗骨料按批检验内容修改为颗粒级配、含泥量、泥块含量及针、片状颗粒含量。增加压碎指标及当采用新产源的粗骨料时，应进行全面质量检验的要求。

5 混凝土配合比控制

考虑到泵送混凝土、抗冻混凝土、大体积混凝土、水下混凝土、水下不分散混凝土等在水运工程中已广泛应用，本章参照行业标准《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55-2011）及有关标准增加了对目前水运工程常用泵送混凝土、抗冻混凝土、大体积混凝土、水下混凝土、水下不分散混凝土等特殊要求的混凝土配合比的规定。

5.1 一般规定

5.1.5 港工混凝土强度标准差的平均水平（ σ_0 ）表，是在港口工程2万多组实测资料统计的基础上确定的。

5.4 大体积混凝土

当采用普通硅酸盐水泥时，采用同时掺入适量磨细矿渣粉和粉煤灰时，可显著降低水泥在胶凝材料中的比例；选用减水率高、与胶凝材料匹配性好的减水剂。可显著降低每 m^3 混凝土中胶凝材料用量，有利于降低水化热和减缓收缩，必要时掺入适量缓凝剂可延缓混凝土凝结时间和推迟水化放热峰出现的时间，有利于对混凝土进行温控。

5.5 水下混凝土

本条文总结近年水下混凝土施工经验编写。

5.5.1 建议水泥的强度等级不小于42.5，主要是考虑水下混凝土的水下实际强度会比陆上降低，为保证水下混凝土的强度和品质，规定了水泥最低强度等级。

对粗骨料的最大粒径及其中的针片状含量进行较严格的限制，有利于提高混凝土的稠度、流动性、抗离析性，从而保证混凝土具有较高的水下强度和耐久性。

5.5.2 根据《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）在没有统计资料时，水下混凝土的施工配制强度可比设计强度标准值提高40%~50%的规定和“水下混凝土材料及耐久性”项目研究成果，对水陆强度比对设计标准强度进行修正是必要的，并将水下混凝土的配制强度规定为 $f_{cu,0} = \alpha f_{cu,k} + 1.645\sigma$ 是为了实现水下混凝土的抗压强度达到强度标准值的保证率为95%以上。

5.6 水下不分散混凝土

本条文总结近年水下不分散混凝土施工经验及研究成果编写。

水下不分散混凝土一般用在有水流或有冲刷的工程部位，所以规定水下不分散混凝土胶凝材料用量不宜小于 $500\text{kg}/\text{m}^3$ ，粗骨料的最大粒径不应大于 31.5mm 。

水下不分散混凝土使用部位因在水下位置，水下混凝土浇筑的密实性主要靠本身的自流平自密实性能，因此规定了水下不分散混凝土扩展度不宜小于 400mm 。

6 混凝土施工过程质量控制

6.1 配料

6.1.3 为保持计量准确，规定各种量器应定期校验。

6.1.4 进行称量示值检查是为防止混凝土在搅拌过程中，因称量出现偏差，引起混凝土质量失控。

6.2 搅拌

6.2.1 匀质性要求是混凝土拌合物最基本的搅拌要求。混凝土搅拌的最短时间应保证混凝土拌合物的均匀性。

6.3 运输

6.3.2 稠度不满足要求有两种情况，一种是稠度不足，一种是稠度偏大。出现这两种情况，应对混凝土拌合物进行二次搅拌或处理。

6.3.3 本条是对混凝土运输过程的基本要求，混凝土应以最短的时间从搅拌地点运抵浇筑地点，时间过长，特别是在气温较高的情况下，混凝土拌合物将失去流动性，难于浇筑。

6.3.6 当采用泵送混凝土时，连续工作可以减少堵泵、堵管现象。泵送间歇过长，会引起输送管内混凝土内部组分发生变化，如产生离析、泌水、气泡消失等影响可泵性甚至产生堵管堵泵的现象，规定间歇时间不应超过45min。

6.4 浇筑

6.4.2 混凝土保护层厚度对钢筋的防腐蚀极为重要，为了保证钢筋有足够的保护层，只允许有正偏差，不允许出现负偏差。

6.4.3 钢筋垫块数量、位置及绑扎的牢固程度直接影响混凝土保护层厚度，特规定要进行检查。

6.4.4 锈屑、油污、水泥浆、盐渍对钢筋握裹力影响较大，因此必须清除。

6.4.7 在浇筑混凝土时，下料或振捣过程中易引起模板、钢筋位移或变形，因此应进行检查。

6.4.8 混凝土倾落自由高度过大，混凝土拌合物将发生离析现象，因此规定拌合物倾落自由高度不宜超过 2m。

6.4.11 在极端的温度条件下，将会影响混凝土拌合物稠度变化和操作性能。因此，规定混凝土拌合物运至浇筑地点的温度。在浇筑大体积混凝土时，若浇筑温度过高，混凝土凝结加快，易产生接触不良，而且冷却时的体积变化也大，易出现裂缝，因此提出混凝土浇筑时的温度不宜超过 28℃。

6.4.13 混凝土在浇筑及静置过程中，由于混凝土拌合物的沉陷与干缩，极易在混凝土的表面和箍筋的上部产生非结构性裂缝，这些裂缝对结构的性能虽无太大影响，但影响构件的外观和降低对箍筋的保护作用。因此应及时予以修整。

6.5 养 护

6.5.6 大体积混凝土在硬化过程中，产生的水化热不易散发，当混凝土内外温差过大时，就会出现裂缝，因此必须采取措施，把内外温差控制在设计要求之内，当设计无要求时，根据经验，温差不宜超过 25℃。

7 硬化混凝土质量控制

7.1 混凝土外观质量

7.1.1 混凝土结构或构件的外观质量及尺寸偏差同混凝土拌合物质量，浇筑成型质量以及隐蔽项目质量的控制好坏有关；而且不同程度地直接影响混凝土的使用功能和耐久性，所以提出了对混凝土结构或构件的外观质量及尺寸偏差的检查项目。

7.1.2 混凝土施工生产过程中产生的表面缺陷、裂缝等，将会对混凝土的耐久性产生较大影响，本条增加了对混凝土外观质量缺陷的修补规定。

7.2 混凝土强度

7.2.2 验收批划分过大或过小均对施工的过程控制不利。划分过大，一旦判定为不合格，对工程范围的影响太大；划分过小，不仅检验过于频繁，且样本信息量过少，影响判定的准确性。随着水运工程规模的发展，现浇混凝土数量的增加，本条对现浇混凝土修改为按分项工程划分验收批。

7.2.3 本条适用于样本容量 n 不少于5组的情况。抽检以标准差未知方案为主，辅以最小值方案，与《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）中的验收条文，在抽检方案类型上一致。

由于强度标准值已不同于原来的设计标号，所以式（7.2.3-1）是用标准差未知方案来检验强度标准值 $f_{cu,k}$ 能否达到设计所要求的95%保证率。此条文的优点是：物理概念明确；工程适用性强；当生产管理水平变动时，通过样本信息 S_{fcu} 可随时作出合理的调整，为防止偶然出现 S_{fcu} 统计值过小的情况，还限制了 S_{fcu} 的取值不得低于 $\sigma_0 - 2.0$ （MPa）；随 n 增大，错判概率和漏判概率均逐渐减小，对生产和使用双方都有利。

式（7.2.3-2）当生产管理水平不高时，可以起加严控制的作用，同时也限制了局部低强度混凝土的出现。鉴于目前混凝土强度等级的幅度相当大（C20~C80），验收界限值采用 $f_{cu,k} - C\sigma_0$ 。而不是 $Cf_{cu,k}$ 的形式，可以对各个强度等级都保持宽严一致。

最小值方案的抽检特性，具有随样本容量 n 增大而错判概率增大的缺点，所以对不同 n 下的验收界限值，通过验收系数 C 作出调整。本验收条文的错判、漏判概率列于表7.2.3。

验收条文的错判、漏判概率

附表7.2.3

样本容量 n	5~9	10~19	≥ 20
错判概率	0.12~0.10	0.09~0.08	< 0.08
漏判概率	0.10~0.05	0.04~0.002	< 0.004
备注	合格质量水平: $m_{fcu} = f_{cu,k} + 1.645\sigma$ 拒收质量水平: $m_{fcu} = f_{cu,k} + 0.25\sigma$ 假设: $f_{cu,k} = 25\text{MPa}$, $\sigma = \sigma_o = 4.5\text{MPa}$		

当式(7.2.3-1)和式(7.2.3-2)中只有强度最小值不能满足要求时,可能是验收批内某一时段出现管理失误。为了查明此时段,把对不合格混凝土的处理限制在最必要的范围内,本条文的第3款中规定,在分析低强度数据出原因和规律的基础上,可适当将原来的验收批划小,重新按本条文进行合格评定。

7.2.4 式(7.2.4-1)和式(7.2.4-2)的验收界限值分别采用 $f_{cu,k} \pm$ 常数的形式,可以对各种强度等级的混凝土,都保持大致相同的宽严程度。

条文的错判、漏判概率列于附表7.2.4。

验收条文的错判、漏判概率

附表7.2.4

样本容量 n	2	3	4
错判概率	0.19	0.15	0.12
漏判概率	0.14	0.10	0.06
备注	合格质量水平: $m_{fcu} = f_{cu,k} + 1.645\sigma$ 拒收质量水平: $m_{fcu} = f_{cu,k} + 0.25\sigma$ 假设: $f_{cu,k} = 25\text{MPa}$, $\sigma = \sigma_o = 4.5\text{MPa}$		

由表中可以看出:小样本时的错判、漏判概率有所增大,但与第7.2.3条验收条文的错判、漏判概率仍有较好的衔接。

由于此类验收条文中没有直接反映混凝土强度离散的信息,所以在不同管理水平时,其抽检特性的调整不够理想。为此,条文中规定:此类小批量浇筑的混凝土,在计算施工配制强度时, σ 取值不宜低于 σ_o 。

7.2.5 本条增加混凝土抗折强度验收标准。

7.3 混凝土耐久性

7.3.2 增加混凝土混凝土抗冻性性能验收规定。

7.3.3 增加混凝土混凝土抗渗性能验收规定。近年来我国大型和深水混凝土构件的建造日趋增多,混凝土的抗渗性能直接影响到构件的耐久性和安全性,混凝土各组抗渗试件的抗渗等级应达到设计抗渗等级。

7.3.5 海水环境中钢筋混凝土或预应力混凝土结构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的,考虑混凝土的质量波动,根据构件浇筑总数量,每1000m³增加1组取样。

对于在实体上钻取芯样法检测混凝土抗氯离子渗透性,由于通常情况下混凝土抗氯离子渗透性随着龄期的增长而提高,因此规定了混凝土构件养护龄期比标准养护试件不宜超过30d。

7.3.7 对结构实体混凝土保护层厚度的检测,其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。

考虑施工扰动等不利因素的影响,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。

7.3.9 增加混凝土混凝土钢筋保护层厚度验收规定。本条明确规定了结构实体中检测钢筋保护层厚度的合格点率应达到90%及以上。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。

附录 A 混凝土抗氯离子渗透性标准试验方法— 电通量法

A.4 结果计算

A.4.2 混凝土电通量法的计算结果，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）和美国ASTM C1202-97规定取同组3个试件的平均值作为该组试件的计算结果。根据近年来混凝土电量法的测试结果的统计结果，由于试件取样制做及样品加工等各种因素的影响，同组单个电量测试值与平均值的偏差波动范围较大，有必要剔除异常的测试数值。因此对计算结果取值作了规定。