

ICS27.140
P59
备案号：24196-2009

DB44

广东省地方标准

DB44/T 566—2008

抗海水腐蚀混凝土应用技术导则

Technical directives for anti-seawater concrete

2008-12-31 发布

2009-04-01 实施

广东省质量技术监督局 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号	2
4 耐久性设计基本规定	2
4.1 结构的设计使用年限	2
4.2 环境条件的分类	2
4.3 提高混凝土结构耐久性的措施	4
4.4 混凝土耐久性设计要求	5
5 混凝土材料要求	7
5.1 水泥	7
5.2 矿物掺合料	7
5.3 混凝土外加剂	7
5.4 细骨料	7
5.5 粗骨料	7
5.6 水	8
6 混凝土配合比设计	8
6.1 一般规定	8
6.2 混凝土的配制强度	8
6.3 混凝土配合比设计的基本参数	9
6.4 混凝土配合比的计算	10
6.5 混凝土配合比的试配、调整 and 确定	10
7 混凝土施工	11
7.1 原材料质量控制	11
7.2 混凝土拌合	11
7.3 混凝土浇筑	11
7.4 混凝土养护	11
7.5 混凝土温度控制	11
8 混凝土质量检验	12
8.1 一般规定	12
8.2 混凝土拌合物性能检验	12
8.3 混凝土试件强度检验	12
8.4 混凝土试件耐久性检验	13
8.5 混凝土实体强度检验	13
8.6 混凝土耐久性现场检验	13
8.7 混凝土结构外观质量和尺寸偏差检验	13
8.8 混凝土结构保护层厚度检验	13

DB44/T 566—2008

附录 A （资料性附录） 硬化混凝土中氯离子含量试验方法	15
A.1 混凝土中砂浆的水溶性氯离子含量测定	15
A.2 混凝土中砂浆的氯离子总含量测定	17
附录 B （规范性附录） 混凝土抗氯离子渗透性试验方法(电量法)	20
附录 C （资料性附录） 混凝土抗氯离子渗透性试验方法(电量综合法)	23
附录 D （规范性附录） 混凝土原材料检验要求	26
附录 E （规范性附录） 砂和混凝土拌合物中氯离子含量的快速检测	30
附 条文说明	303

前 言

本标准的附录B、附录D和附录E为规范性附录，附录A和附录C为资料性附录。

本标准由广东省水利厅、华南理工大学土木与交通学院土木工程系提出。

本标准主要起草单位：广东省水利水电建设管理中心、华南理工大学土木与交通学院土木工程系。

本标准参加起草单位：广东水电二局股份有限公司、汕头市水利水电勘测设计院、广东省建筑科学研究院。

本标准主要起草人：莫海鸿、何承伟、杨医博、吴俊校、梁松、茹建辉、陈仲策、陈尤雯、郭文瑛、吴东、陈伟、谢祥明、朱展毅、陈应钦、王新祥、王胜年、石爱军、谢彦辉。

抗海水腐蚀混凝土应用技术导则

1 范围

本标准规定了抗海水腐蚀混凝土的使用条件、质量要求、原材料选择和配合比设计、施工技术措施和质量检验方法，确立了抗海水腐蚀混凝土设计与应用的一般原则。

本标准适用于氯盐环境下普通钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构中抗海水腐蚀混凝土的设计与应用，其它腐蚀环境下混凝土的设计与应用也可参照使用。

2 规范性引用文件

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

GB175 通用硅酸盐水泥

GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

GB 5749 生活饮用水卫生标准

GB 8076 混凝土外加剂

GB/T 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

氯盐环境 chloride ion environment

处于沿海或近海受海水、海风和海雾影响的环境以及环境土和水中氯离子含量超过一定限值的环境。

3.1.2

抗海水腐蚀混凝土 anti-seawater concrete

由硅酸盐类水泥、矿物掺合料、化学外加剂、砂石骨料和水等原材料组成，在达到设计龄期后具有良好抗氯离子渗透性的混凝土。

3.1.3

结构使用年限 service life

结构投入运用后，在规定的使用和维修条件下，所有性能均能满足设计要求的实际年限。

3.1.4

维修 maintenance

维持结构或其构件在设计使用年限内所需性能而采取的各种常规的技术和管理活动。

3.1.5

胶凝材料 cementitious materials, or binder

用于配制混凝土的水泥与粒化高炉矿渣粉、粉煤灰、硅灰等矿物掺合料的总称。

3.1.6

水胶比 water to binder ratio

混凝土的用水量与胶凝材料总量的质量比。

3.1.7

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

混凝土表面距最外侧钢筋（包括主筋、箍筋和分布筋）最外缘的距离。

3.1.8

保护层最小厚度 minimum concrete cover

保证结构具有设计使用年限所必需的混凝土保护层厚度，不含钢筋安装定位的施工允差。

3.1.9

保护层名义厚度 nominal concrete cover

用于结构计算和标注于施工图上的保护层厚度，其中包含钢筋安装定位的施工负允差。

3.1.10

施工负允差 concrete cover negative franchise

混凝土保护层厚度在施工中允许出现的最大减小值。

3.1.11

防腐蚀附加措施 additional corrosion protective measures

在采用抗海水腐蚀混凝土和增加保护层厚度的基础上所采取的防腐蚀措施。

3.2 符号

下列符号适用于本标准。

$f_{cu,i}$ ：第*i*组试件的立方体抗压强度值。

$f_{cu,k}$ ：混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值。

$f_{cu,0}$ ：混凝土配制强度。

$m_{f_{cu}}$ ：*n*组试件的立方体抗压强度平均值。

σ ：混凝土立方体抗压强度的标准差。

4 耐久性设计基本规定

4.1 结构的设计使用年限

4.1.1 结构的设计使用年限应根据建筑物级别或重要性按表 1 确定。特大型的水工建筑物、特别重要的标志性和纪念性建筑物的结构设计使用年限应经专门研究确定。

表1 结构的设计使用年限

级别	设计使用年限	水工建筑物	非水工建筑物
一	不小于 100 年	1 级建筑物	纪念性建筑和特别重要的建筑结构
二	不小于 70 年	2 级建筑物	大型建筑物和高层建筑
三	不小于 50 年	3、4 级建筑物	普通房屋和构筑物

4.1.2 当现有技术条件不能保证结构的所有部位均能达到同一设计使用年限时，可在设计时对结构的某些次要构件设置较低的设计使用年限，但设计使用年限不宜低于 50 年。需要在主体结构设计使用年限内进行大修或更换的次要结构构件，应具备进行维修或更换的施工操作条件。

4.2 环境条件的分类

4.2.1 按环境对配筋（钢筋和预应力筋）混凝土结构的侵蚀程度，将环境条件分为 6 级（见表 2）。

表2 环境作用等级

级别	作用程度	级别	作用程度
A	可忽略	D	严重
B	轻度	E	非常严重
C	中度	F	极端严重

4.2.2 不同环境类别下对配筋混凝土的环境作用等级见表3和表4。

表3 环境类别及作用等级

环境类别	环境条件		作用等级	示例
近海或海洋环境 ^a (无冻融作用)	大气区	轻度盐雾区。离涨潮岸线 200m 至 500m 内的陆上环境。	D	盐雾区的上部结构
		重度盐雾区。离涨潮岸线 200m 内的陆上环境和海上环境。	E	
	水位变化区		E	水位变动区的构件
	浪溅区		F	浪溅区的构件
	水下区		D	长期浸没水中的构件
	土中区	非干湿交替	D	水下或处于饱和土中的构件
		干湿交替	E	处于非饱和土中的构件
其它氯盐环境 (无冻融作用) ^b	低氯离子浓度		C	与含相应浓度氯离子的土体或水体接触的构件
	较高氯离子浓度		D	
	高氯离子浓度		E	
大气污染环境	机动车废气		C	受废气直射的构件
	酸雨（酸雨 pH 值小于 4 时按 E 级）		D	受酸雨频繁作用的构件
	盐碱地区含盐分的大气和雨水作用		D	盐土地区受雨淋的构件
盐碱结晶环境	轻度盐结晶		E	与含盐土壤接触的构件露出地面的“吸附区”
	重度盐结晶		F	
其它化学腐蚀环境 ^c	见表 5			与含腐蚀性介质的土体和水体接触的构件
^a 距离涨潮岸线 500m 内或处于海水中为近海或海洋环境，近海或海洋环境中的水下区、水位变动区、浪溅区和大气区的划分，见表 4。				
^b 地表或地下水中氯离子浓度（mg/L）的划分为：低为≥100 且<500，较高为≥500 且<5000，高为>5000 且不大于海水中氯离子浓度。土中氯离子浓度（mg/kg）的划分为：低为≥150 且<750，较高为≥750 且<7500，高为>7500 且不大于海水中氯离子浓度的 1.5 倍。其中氯离子浓度按一年中最大氯离子浓度计算。与含氯离子水体或土体非直接接触、但受到和可能受到其影响的构件，环境作用等级可根据情况取同等级或降低一级，若构件周边永久浸没水中或永久处于饱和土体中，环境作用等级可降低一级，但不应低于 C 级。				
^c 不包括海水环境。同时含有氯离子和其它化学腐蚀的环境，其环境等级按其它氯盐环境（无冻融作用）和表 5 中较大的等级。				

表4 海洋环境中混凝土部位划分

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	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	水位变动区以下
无掩护	按港工设计水位	设计高水位加 ($\eta_0+1.0\text{m}$) 以上	大气区下界至设计高水位减 η_0 之间		

表 4 (续)

掩护条件	划分类别	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
无掩护	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	
注 1: η_0 为设计高水位时重现期为 50 年、波列累积频率为 1% 波高 $H_{1\%}$ 的波峰面高度。 注 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。 注 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的部位划分。					

表 5 其它化学腐蚀环境及其作用等级

化学腐蚀环境		作用等级		
		C	D	E
水中 SO_4^{2-} (mg/L)		$\geq 200, < 1000$	$\geq 1000, < 4000$	$\geq 4000, < 10000$
土中 SO_4^{2-} (mg/kg)	强透水土层	$\geq 300, < 1500$	$\geq 1500, < 6000$	$\geq 6000, < 15000$
	弱透水土层 ^a	$\geq 1500, < 5000$	$\geq 5000, < 15000$	$\geq 15000, < 50000$
水中 Mg^{2+} (mg/L)		$\geq 300, < 1000$	$\geq 1000, < 3000$	$\geq 3000, < 4500$
水的 pH 值	水或强透水土层	$\geq 5.5, < 6.5$	$\geq 4.5, < 5.5$	$\geq 4.0, < 4.5$
	弱透水土层	$\geq 4.5, < 5.5$	$\geq 4.0, < 4.5$	$\geq 3.5, < 4.0$
水中 CO_2 (mg/L)	水或强透水土层	$\geq 15, < 30$	$\geq 30, < 60$	$\geq 60, < 100$
	弱透水土层	$\geq 30, < 60$	$\geq 60, < 100$	≥ 100
注 1: 水中及强透水层中的硫酸盐和镁盐环境, 如无干湿交替, 表中数值可乘 1.5。				
注 2: 含氯盐的咸水中不单独考虑镁离子的侵蚀作用。				
注 3: 硫酸盐作用等级或 CO_2 作用等级为 D 或 D 级以上的构件, 如处于流动地下水中, 应考虑在构件的混凝土表面设置防腐面层或涂层。				
注 4: 高压水头下可加重硫酸盐的化学腐蚀。				
注 5: 当同时受到多项化学腐蚀环境作用时, 取其中最高的单项作用等级; 如有两个或两个以上化学因素的作用等级均达到相同的最高等级, 则应再提高一级。				
^a 渗透系数小于 10^{-5}m/s 或 0.86m/d 的土体为弱透水土层。				

4.2.3 当结构及其构件在使用过程中可能遭受表 3 中所列的多种环境作用时, 应分别满足其要求。

4.3 提高混凝土结构耐久性的措施

4.3.1 混凝土结构及其构件的耐久性应根据建筑物的设计使用年限和结构所处的环境条件进行设计。同一建筑物的不同结构或同一结构的不同构件因所处的局部环境条件不同, 可分别对待。抗海水腐蚀混凝土的耐久性除应符合本导则的有关规定外, 混凝土的强度、抗渗性、抗冲磨、抗空蚀等性能还应符合有关标准的要求。

4.3.2 在设计文件中应列入混凝土结构耐久性设计的内容, 应考虑施工质量控制与质量保证对结构耐久性的影响, 应考虑结构使用过程中的检测与维修要求。

4.3.3 混凝土结构耐久性设计文件应列入以下内容:

- 混凝土结构及构件的设计使用年限;
- 混凝土结构及构件所处的环境类别及其环境作用等级;
- 混凝土耐久性的技术要求;
- 混凝土施工质量的合格验收标准;
- 对工程业主或运行管理单位提出使用过程中需进行正常维护、检测、修理或构件更换的具体内容和要求。

4.3.4 提高混凝土结构耐久性的结构形式选择原则：

- 外形应力求简洁，尽量减少暴露的表面积、易开裂的凹陷和棱角，后者宜做成圆角；
- 表面应有利于排水，不应在接缝或止水处排水；环境条件恶劣时，不宜采用薄壁和薄腹的结构形式；
- 应有利于避免水、水汽和有害物质在混凝土表面的积聚；
- 应便于施工，易于成型，各部位形状、尺寸、钢筋位置等不得由于施工工艺原因而产生过大偏差；
- 应便于进行检测和维修，应设置检测、维护和采取补充保护措施通道；
- 在设计使用年限内需要更换的构件，应考虑其更换的可能性。

4.3.5 保证混凝土结构耐久性的措施包括：

- 使用抗海水腐蚀混凝土，提高混凝土的密实性和抗渗性，为钢筋提供足够厚度的混凝土保护层，减少和控制混凝土裂缝的发生等；
- 宜采用相同材质的钢筋。普通钢筋宜采用 HRB400、HRBF400、HRB335 和 HRBF335 级的热轧带肋钢筋，预应力钢筋宜采用预应力钢绞线和钢丝；
- 对于环境作用等级为 F 级的结构部位，宜采用混凝土表面涂层和防腐蚀面层、在混凝土中加入阻锈剂或局部采用环氧涂层钢筋等防腐蚀附加措施。对于重要的结构物，可考虑在钢筋锈蚀后采用阴极保护措施，并在设计中预先设置将来实施阴极保护的必要条件。采用防腐新材料和新工艺时，需经专门论证；
- 对于环境作用等级为 D 级、E 级和 F 级的构件，浇注在混凝土中并部分暴露在外的吊环、紧固件、连接件等铁件应与混凝土中的钢筋隔离，并应采取防腐蚀涂层等相应措施，以消除这类铁件的锈蚀可能对构件承载力的影响。

4.4 混凝土耐久性设计要求

4.4.1 不同环境作用等级和不同设计使用年限的钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构，对骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土，混凝土最大水胶比应满足表 6 的规定（表中数据需与 4.4.6 条的保护层厚度要求相配合），如采用更大粒径的骨料，最大水胶比宜再降低 0.01~0.02；对骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土，混凝土最低强度等级宜满足表 6 的规定，有自防水要求的建筑物构件强度等级不宜低于 C35，预应力混凝土不宜低于 C40；如采用更大粒径的骨料，最低强度等级可降低 1 个强度等级。

表6 混凝土最大水胶比和最低强度等级

环境作用等级	设计使用年限		
	100 年	70 年	50 年
C	0.36, C40	0.38, C35	0.40, C30
D	0.34, C45	0.36, C40	0.38, C35
E	0.33, C50	0.34, C45	0.36, C40
F	0.32, C50	0.33, C50	0.34, C45

4.4.2 实测硬化混凝土中氯离子总含量应符合表 7 的规定，硬化混凝土中氯离子含量测定按附录 A 中 A.2 的方法进行。通过实验确定混凝土的氯离子总含量与水溶性氯离子含量的关系后，可采用水溶性氯离子含量控制。

表7 混凝土中氯离子总含量要求（按混凝土质量计）

单位为百分数

项 目	钢筋混凝土	预应力混凝土
混凝土中氯离子总含量	≤0.015	≤0.009

4.4.3 对于设计使用年限为 100 年的结构，不得采用碱活性骨料。对于设计使用年限为 70 年和 50 年的结构，宜采用非碱活性骨料，当采用碱活性骨料时，混凝土中水溶性碱含量（等效 NaOH 当量）不应超过 3.0kg/m³。当采用非碱活性骨料时，混凝土中碱含量可不受限制。

4.4.4 混凝土抗氯离子渗透性指标应符合表 8 的规定,混凝土抗氯离子渗透性指标按附录 B 的方法测定,采用标准养护 56 天的试件进行,实验应在 3 天内完成。

表8 混凝土抗氯离子渗透性指标

单位为库仑

设计使用年限	100 年		70 年		50 年	
环境作用等级	C、D	E、F	C、D	E、F	C、D	E、F
6h 电量值	<950	<800	<1100	<800	<1350	<950

表 8 中混凝土抗氯离子渗透性指标与 4.4.6 条的钢筋保护层厚度相对应,可根据钢筋保护层厚度和混凝土水胶比的具体特点对表 8 中数据作适当调整。如需同时测定通电后混凝土中氯离子渗透深度,可参考附录 C 的方法。

4.4.5 对于有抗渗性要求的结构,混凝土应满足相关规范中抗渗等级的规定。

4.4.6 混凝土保护层最小厚度取值应按以下原则确定:

- a) 普通钢筋的混凝土保护层最小厚度,不应小于表 9 中的数值,且不应小于所保护钢筋的直径,不宜小于粗骨料最大粒径的 1.25 倍。表 9 中保护层最小厚度与 4.4.1 条中的水胶比相对应,如因条件所限采用低于表 9 要求的混凝土保护层厚度时,则应降低混凝土水胶比(水胶比应通过专题试验确定)和采用防腐蚀附加措施,以保证其耐久性。大厚度的墩柱、墙体等构件的混凝土保护层最小厚度宜增加 10mm,处于流动水(水流流速小于 40m/s,水流速度大于等于 40m/s 时应专题研究)中的构件保护层最小厚度不应小于 85mm,通常情况下混凝土保护层最小厚度不宜超过 100mm。

表9 普通钢筋的混凝土保护层最小厚度

单位为毫米

环境作用等级		C	D	E	F
板、墙等 面形构件	设计使用年限 50 年	35	40	45	50
	设计使用年限 70 年	40	45	50	55
	设计使用年限 100 年	45	50	55	60
梁、柱等 条形构件	设计使用年限 50 年	40	45	50	55
	设计使用年限 70 年	45	50	55	60
	设计使用年限 100 年	50	55	60	65

注1: 应按照选择的骨料最大粒径选择混凝土保护层厚度和钢筋间距。
注2: 钢筋的混凝土保护层最小厚度应满足有关规范作出的为保证钢筋防火的最低要求。

- b) 对于具有连续密封套管(或导管、孔道管)的预应力钢筋,保护层厚度为套管外缘至混凝土表面的距离,保护层最小厚度宜比表 9 中数值增加 10mm,并不应小于 1 倍管道直径;对于没有连续密封套管的预应力钢筋,保护层最小厚度宜比表 9 中数值增加 30mm。
- c) 预应力筋的锚固端应有足够厚度的混凝土保护层,金属锚具的混凝土保护层最小厚度在 C 类环境下不应小于 90mm,在 D 类环境下不应小于 95mm, E 类环境下不应小于 100mm, F 类环境下不应小于 105mm,并宜加塑料密封罩。

4.4.7 用于构件结构计算和标注于施工图上的混凝土保护层名义厚度,不应小于保护层最小厚度与施工负允差之和。施工负允差应根据施工单位生产水平确定,对于现浇混凝土不应低于 10mm,预制混凝土不应低于 5mm。

4.4.8 结构构件宜按表 10 的规定选用不同的最大裂缝宽度限值。

表10 结构构件的最大裂缝宽度限值

单位为毫米

环境作用等级	钢筋混凝土		预应力混凝土
	短期组合	长期组合	
C	0.20	0.15	不允许出现裂缝
D、E、F	0.15	0.10	不允许出现裂缝

当结构构件承受水压且水力梯度 $i > 20$ 时,表中数字宜减小 0.05mm。若结构构件表面设有专门的防渗面层等防护措施时,最大裂缝宽度允许值可适当加大。结构构件的混凝土保护层名义厚度大于 50mm 时,表中数字可增加 0.05mm。当进行裂缝宽度计算时,如对裂缝的表面宽度并无外观上的特殊要求,可将保护层厚度的计算值取为 30mm。

5 混凝土材料要求

5.1 水泥

5.1.1 不应采用立窑水泥,不宜选用早强型水泥。

5.1.2 采用硅酸盐水泥时,其质量应符合 GB 175 的规定。

5.1.3 采用其它硅酸盐类水泥时,用其配制的混凝土性能应满足耐久性要求,宜选用具有较高抗氯离子性能的专用水泥、质量符合 GB 175 规定的 B 型矿渣硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥。

5.1.4 当采用碱活性骨料时,水泥中碱含量(以 Na_2O 当量计)不宜超过 0.60%。

5.2 矿物掺合料

5.2.1 矿渣微粉的质量应符合 GB/T 18046 的规定,其比表面积应大于 $420\text{m}^2/\text{kg}$ 。

5.2.2 硅灰的质量应符合 GB/T 18736 的规定。

5.2.3 粉煤灰的烧失量应符合 GB/T 1596 中 F 类 I 级的规定,其它指标应符合 F 类 II 级的规定。对预应力混凝土和引气混凝土,粉煤灰的烧失量应小于 3%。

5.2.4 采用其它种类的矿物掺合料以及复合矿物掺合料时,用其配制的混凝土性能应满足耐久性要求。

5.3 混凝土外加剂

5.3.1 外加剂品种根据混凝土性能要求、施工要求以及与已选定的混凝土其它原材料的适应性等,通过验证性试验确定。

5.3.2 不应使用氯盐做外加剂,外加剂中氯离子含量不应大于外加剂干重的 0.2%。

5.3.3 宜采用质量稳定且减水率不小于 20% 的高效减水剂或缓凝高效减水剂。宜选用聚羧酸系或硫酸钠含量小于减水剂干重 5% 的萘系减水剂。萘系减水剂中硫酸钠含量不应大于减水剂干重的 15%。

5.3.4 各种阻锈剂的长期有效性需经检验,不应单独使用亚硝酸盐类阻锈剂。

5.3.5 除本标准规定的以外,外加剂的质量应符合 GB 8076 及相关行业标准的规定。

5.4 细骨料

5.4.1 细骨料宜选用质地坚硬、清洁的河砂。细骨料的含泥量应小于 3.0%,水溶性氯离子含量应低于砂干重的 0.02%;对于可能处于频繁干湿交替下的混凝土,细骨料的含泥量应小于 1.0%。

5.4.2 细骨料应级配良好,宜选用颗粒级配处于 2 区,细度模数为 2.3~3.0 的中砂。

5.4.3 预应力混凝土和设计使用寿命 100 年的钢筋混凝土不应使用海砂。钢筋混凝土不应使用未经冲洗处理的海砂。一般工程中采用经冲洗处理的海砂时,经冲洗后砂的水溶性氯离子含量应低于砂干重的 0.02%。

5.4.4 应选用无碱活性的细骨料。未经专门论证,严禁使用碱活性细骨料。

5.4.5 除本标准规定的以外,细骨料的质量还应符合国家标准或行业标准的规定。

5.5 粗骨料

5.5.1 粗骨料应选用质地坚硬、清洁且坚实的碎石或卵石,宜选用碎石。粗骨料的含泥量应小于 1.0%,压碎指标不大于 10%,吸水率不大于 2.0%;对于可能处于频繁干湿交替下的混凝土,粗骨料的含泥量应小于 0.7%。

5.5.2 粗骨料的粒形和级配应良好,并应控制各级骨料的超逊径含量。粗骨料的针片状颗粒含量应小于 15%,宜小于 7%。以原孔筛检验时,超径小于 5%,逊径小于 10%。

5.5.3 粗骨料最大粒径应满足下列要求：不应大于构件截面最小边长的 1/4；不应大于钢筋最小净距的 3/4；不应大于保护层最小厚度的 4/5；在浪溅区不宜大于保护层最小厚度的 2/3。对高强混凝土，宜选用较小的粗骨料最大粒径；对大体积混凝土，应选用较大的粗骨料最大粒径。

5.5.4 粗骨料宜采用二级或三级搭配，粗骨料应分级采购、分级运输、分级堆放和分级计量。

5.5.5 应选用无碱活性的粗骨料。未经专门论证，严禁使用碱活性粗骨料。

5.5.6 除本标准规定的以外，粗骨料的质量还应符合国家标准或行业标准的规定。

5.6 水

5.6.1 应采用符合 GB 5749 的饮用水拌合与养护混凝土，不应采用未经处理的海水、工业污水和生活污水拌合与养护混凝土。

5.6.2 当采用地表水、地下水和其它类型水拌合混凝土时，水中的氯离子含量不应大于 200mg/L。

5.6.3 除本标准规定的以外，混凝土拌合用水和养护用水的质量还应符合国家标准或行业标准的规定。

6 混凝土配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 进行混凝土配合比设计时，应选用工程中采用的原材料。

6.1.2 混凝土的坍落度，应根据建筑物的结构断面、配筋情况、运输距离、浇注方式、运输方式、振捣能力和气候等条件确定，宜选用较小的坍落度。

6.1.3 根据混凝土结构的设计使用年限和环境作用等级，选择混凝土耐久性指标。抗海水腐蚀混凝土耐久性指标应包括最低强度等级、最大水胶比、氯离子含量、抗渗标号和抗氯离子渗透性。

6.2 混凝土的配制强度

6.2.1 混凝土强度等级按混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值划分，采用符号 C 加设计龄期下角标再加立方体抗压强度标准值表示，如 C₉₀30，若设计龄期为 28 天，则省略下角标，如 C30。混凝土设计龄期通常取 28 天，对于大体积混凝土宜取 56 天或 90 天。

6.2.2 混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值是指按标准方法制作的边长为 150mm 的立方体试件，在设计龄期用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度，以 MPa 计。

6.2.3 混凝土配制强度 ($f_{cu,0}$) 按式 (1) 计算：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度，单位为兆帕 (MPa)；

$f_{cu,k}$ ——混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值，单位为兆帕 (MPa)；

σ ——混凝土立方体抗压强度标准差，单位为兆帕 (MPa)。

6.2.4 混凝土抗压强度标准差，宜按同品种混凝土抗压强度统计资料确定，并应符合下列规定：

a) 统计时，混凝土抗压强度试件总数应不低于 30 组；

b) 根据近期相同抗压强度、相同生产工艺和配合比的同品种混凝土抗压强度资料，混凝土抗压强度标准差 (σ) 按式 (2) 计算：

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

式中：

σ ——混凝土立方体抗压强度标准差，单位为兆帕（MPa）；

$f_{cu,i}$ ——第*i*组试件的立方体抗压强度值，单位为兆帕（MPa）；

n——试件组数；

$m_{f_{cu}}$ ——*n*组试件的立方体抗压强度平均值，单位为兆帕（MPa）。

- c) 当混凝土抗压强度标准差计算值小于 3.0MPa 时，计算配制抗压强度用的标准差取不小于 3.0MPa。

6.2.5 当无近期同品种混凝土抗压强度统计资料时，混凝土立方体抗压强度标准差（ σ ）值可按表 11 初选，再根据现场施工时的统计结果调整 σ 值。

表11 混凝土立方体抗压强度标准差的参考值

单位为兆帕

混凝土抗压强度标准值	25	30~35	40~45	50~60	65~80
混凝土抗压强度标准差	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0

6.3 混凝土配合比设计的基本参数

6.3.1 混凝土的水胶比应根据工程所要求的强度等级和耐久性指标进行初选，并通过试验确定，且应满足表 6 的要求。

6.3.2 胶凝材料的用量应符合下列规定：

- 胶凝材料用量应根据选定的骨料最大粒径、环境作用等级、强度等级、水胶比等因素选择，应保证混凝土中浆体（胶凝材料和水）能密实填充砂石骨料间的空隙并保证混凝土的工作性；
- 对于碎石骨料最大粒径不大于 40mm 的钢筋混凝土，胶凝材料最低用量见表 12；当骨料最大粒径大于 40mm 时，胶凝材料用量宜适当降低。预应力混凝土的胶凝材料用量不宜低于 380kg/m³。

表12 不同环境作用等级下钢筋混凝土中胶凝材料最低用量

单位为公斤每立方米

设计使用年限		100 年	70 年	50 年
环境 作用 等级	C	360	340	320
	D	380	360	340
	E	400	380	360
	F	400	400	400

- c) 在满足混凝土性能要求的条件下，应选用较小的胶凝材料用量。

6.3.3 胶凝材料的组成应符合下列规定：

- 胶凝材料的组成应根据混凝土性能要求，通过试验确定；
- 当采用硅酸盐水泥和矿渣微粉、粉煤灰和硅灰等矿物掺合料复掺时，矿物掺合料掺量应符合表 13 的规定，并通过试验确定；

表13 矿渣微粉、粉煤灰和硅灰等矿物掺合料的掺量

单位为百分数

矿物掺合料种类	矿物掺合料适宜掺量			
	总掺量	矿渣微粉	粉煤灰	硅灰
矿渣微粉	50~80	50~80	——	——
矿渣微粉+硅灰	50~80	45~77	——	3~5
矿渣微粉+粉煤灰	50~70	25~65	5~25	——
矿渣微粉+粉煤灰+硅灰	50~70	17~62	5~25	3~8
粉煤灰+硅灰	25~50	——	17~45	5~8

- c) 当采用硅酸盐水泥和其它种类的矿物掺合料以及复合矿物掺合料复掺时，矿物掺合料掺量宜参考生产厂家的使用说明，并通过试验确定。

- d) 当采用其它硅酸盐类水泥时，是否掺加矿物掺合料及矿物掺合料适宜掺量宜参考水泥生产厂家的使用说明，并通过试验确定；

6.3.4 骨料的级配及砂率宜符合下列规定：

- a) 大体积混凝土宜采用较大粒径的骨料；
b) 粗骨料最佳级配宜通过试验确定；
c) 宜选取最优砂率（均指质量砂率），最优砂率宜根据骨料品种、品质、粒径分布、水胶比和混凝土坍落度等通过试验选取。

6.3.5 外加剂掺量以胶凝材料质量的百分比计，应通过试验确定。

6.4 混凝土配合比的计算

6.4.1 混凝土配合比计算以干燥状态骨料（指含水率小于 0.5% 的细骨料和含水率小于 0.2% 的粗骨料）为基准。

6.4.2 混凝土配合比应按下列步骤进行计算：

- a) 选取骨料最大粒径；
b) 选取水胶比和胶凝材料用量，并计算出用水量；
c) 选取胶凝材料组成，并计算出水泥和矿物掺合料用量；
d) 根据外加剂使用说明书、水胶比和混凝土性能要求选取外加剂掺量，并计算出外加剂用量；
e) 选取骨料级配和砂率；
f) 计算砂、石骨料用量；
g) 列出混凝土各项材料的计算用量和比例。

6.5 混凝土配合比的试配、调整和确定

6.5.1 在进行混凝土配合比试配时，应采用工程中实际使用的、有代表性的原材料。

6.5.2 在进行混凝土试配时，应以质量为准并采用机械拌合，每盘混凝土的最小拌合量应符合表 14 的规定，且不宜小于拌合机额定拌合量的 1/4。

表14 混凝土试配的最小拌合量

骨料最大粒径 mm	25	40	63	80
拌合物数量 L	15	25	40	50

6.5.3 按计算的混凝土配合比进行试拌，根据坍落度、泌水、离析等情况判断混凝土拌合物工作性，对初步确定的胶凝材料用量和组成、砂率、外加剂掺量等进行适当调整，确定满足混凝土拌合物要求的混凝土试验用配合比。

6.5.4 混凝土配合比试验至少应采用 3~6 个不同的配合比（当采用水泥和矿物掺合料复掺时，配合比数目不少于 6 个；当仅采用水泥作为胶凝材料时，配合比数目不少于 3 个），其中一个为 6.5.3 条确定的配合比，其它配合比的用水量不变，调整胶凝材料用量和组成，并可相应调整砂率。当其它配合比的混凝土拌合物性能不能满足要求时，可通过增减用水量进行调整。

6.5.5 利用试配成功的混凝土配合比测定混凝土拌合物表观密度，并将成型的混凝土立方体抗压强度试件和耐久性试件，标准养护到规定龄期后进行试验，至少应包含混凝土 7 天、28 天和 56 天立方体抗压强度以及 28 天和 56 天抗氯离子渗透性试验。根据试验结果确定实际应用的混凝土配合比。

6.5.6 按 6.5.5 条试配结果，计算混凝土各项材料用量和比例，并按混凝土拌合物表观密度计算值和实测值进行校正。

6.5.7 如测定的混凝土配合比性能不满足要求，则应对混凝土配合比进行适当调整，重新进行实验，直到满足设计要求为止。

6.5.8 出具混凝土配合比设计报告时，应出具所做全部配合比的试验数据。

6.5.9 在使用过程中遇到下列情况之一者，应调整或重新进行配合比设计：

- a) 混凝土性能指标要求有变化时；
- b) 混凝土原材料品种、质量有明显变化时。

7 混凝土施工

7.1 原材料质量控制

7.1.1 混凝土的各种原材料应经检验合格后方可使用，检验频率和检验项目应符合附录 D 的规定。不应采用过期原材料。

7.1.2 按混凝土配合比计算的混凝土原材料中氯离子总含量不应超过表 7 中混凝土中氯离子总含量限值的 90%。

7.1.3 原材料性能除应满足本导则第 5 章的要求外，主要性能指标还应保持稳定。

7.2 混凝土拌合

7.2.1 混凝土拌合宜采用卧轴式、行星式或逆流式强制搅拌机，宜采用电子计量系统计量原材料，并定期对计量系统进行校验校正。

7.2.2 抗海水腐蚀混凝土加料程序和适宜拌合时间应通过试验确定，拌合时间宜较普通混凝土延长 60s 以上。

7.2.3 应定时检测骨料含水量（必要时加密检测），并根据砂石含水率将实验室配合比换算成施工配合比。

7.2.4 宜采用液态外加剂，外加剂溶液中的水量，应在拌合用水量中扣除。

7.3 混凝土浇筑

7.3.1 对于复杂的结构，应在现场进行模拟构件的试浇注，发现问题应及时调整。

7.3.2 混凝土结构的施工顺序应根据设计意图经仔细规划，如墩、墙、板分段分块的施工缝位置、浇注顺序和后浇带的设置等，以尽量减少混凝土硬化过程中的收缩应力与开裂。

7.3.3 浇注混凝土前，应仔细检查保护层垫块的位置、数量及其紧固程度。构件侧面和底面的垫块不应少于 4 个/m²，绑扎垫块和钢筋的铁丝头不得伸入保护层内。保护层垫块的尺寸应保证混凝土保护层的厚度的准确性，其形状应有利于钢筋的定位。垫块可采用细石混凝土制作，其抗腐蚀能力和强度应高于构件本体混凝土。

7.4 混凝土养护

7.4.1 混凝土浇筑完毕后，应及早开始养护，以保持混凝土表面湿润。不应采用海水或氯离子含量超标的水养护混凝土。

7.4.2 基础、楼板、路面等大面积构件养护要求应符合下列规定：

- a) 应尽量减少暴露的工作面积，在气候干燥和气温较高时，混凝土浇筑过程中宜喷雾保湿，喷雾保湿以保持混凝土湿润、仓面无集水为准；
- b) 表面初步抹平后，应立即用土工布或塑料薄膜覆盖。表面抹光时应把揭开的覆盖物随即盖好至混凝土终凝后，立即采用保湿养护。

7.4.3 柱、墙或墩等垂直构件宜采用包裹塑料膜或在构件周围环绕塑料软管花管长期淋水的养护方法。

7.4.4 大体积混凝土，如闸底板等，宜采用流水养护。

7.4.5 水养护或湿养护的时间应在制定的施工条例中规定，在整个养护期内不得间断，湿养护时间不应少于 28 天，对于重要部位宜适当延长养护时间。

7.4.6 应尽可能延长新浇混凝土与海水等含氯离子的环境接触前的养护龄期，一般不应小于 6 周；在可能的情况下宜采用混凝土预制构件。

7.5 混凝土温度控制

7.5.1 混凝土施工时宜进行温度控制，重要工程混凝土浇注时宜定时测定混凝土温度以及气温、相对湿度、风速等环境参数，并根据环境参数及时调整养护方式。

7.5.2 在炎热气候下浇注混凝土时，混凝土入模前的模板、钢筋温度以及附近的局部气温不宜超过 40℃，混凝土入模温度不宜高于大气日平均温度且不宜超过 28℃。

7.5.3 新浇混凝土与邻接的已硬化混凝土或岩土介质间的温差不宜大于 15℃。

7.5.4 混凝土养护期间，混凝土内部最高温度不宜超过 65℃，混凝土内部最高温度与表层温度之差不宜超过 20℃，养护水温度与混凝土表面温度之差不宜大于 15℃。在混凝土降温阶段宜采用保温措施，降温速率不宜大于 2℃/d。

7.5.5 混凝土拆模时，芯部混凝土与表层混凝土之间的温差、表层混凝土与环境之间的温差均不宜超过 20℃。在炎热和大风干燥季节，宜采取有效措施防止混凝土在拆模过程中开裂。

7.5.6 预制构件的蒸气养护温度不宜大于 60℃，其中引气混凝土蒸气养护温度不宜大于 50℃。蒸气养护时混凝土内部最高温度不宜超过 70℃。

7.5.7 当设计有混凝土温度控制要求时，混凝土温度控制指标应符合设计要求。

8 混凝土质量检验

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土应在浇注地点取样，同一组混凝土的取样应从同一盘混凝土或同一车混凝土中取样。取样量应满足混凝土质量检验项目所需用量的 1.5 倍，且不宜少于 20L。

8.1.2 混凝土的取样应具有代表性，宜采用多次取样的方法。一般在同一盘混凝土或同一车混凝土中的约 1/4 处、1/2 处和 3/4 处分别取样，从第一次取样到最后一次取样不宜超过 15 分钟，然后人工搅拌均匀。

8.1.3 混凝土拌合物取样和试验宜在混凝土运到施工地点开始算起 20 分钟内完成，从取样完毕到开始做各项试验不宜超过 5 分钟，强度和耐久性试件的制作宜在 40 分钟内完成。

8.2 混凝土拌合物性能检验

8.2.1 混凝土拌合物应按国家标准或行业标准规定检验坍落度等性能指标，并宜测定氯离子含量。

8.2.2 混凝土拌合物坍落度的检测应按国家标准或行业标准进行。若骨料粒径超过 40mm，应采用湿筛法剔除。

8.2.3 混凝土拌合物坍落度的检测频率，在机口每班不应小于 4 次，在仓面每班不应小于 2 次；在制取试件时，应同时测定坍落度。混凝土拌合物坍落度的允许偏差应符合国家标准或行业标准的规定。

8.2.4 混凝土拌合物中氯离子含量的检测按附录 E 的规定进行。

8.2.5 混凝土拌合物中氯离子含量的检测频率，每班不宜低于 1 次。

8.2.6 混凝土拌合物中氯离子含量不应超过表 7 中混凝土中氯离子总含量限值的 75%。

8.3 混凝土试件强度检验

8.3.1 混凝土试件强度检验采用标准养护（养护温度为 20±2℃，相对湿度大于 95%）试件。

8.3.2 混凝土试件抗压强度检验应按国家标准或行业标准进行；对于最大骨料粒径不大于 40mm 的混凝土，应采用边长为 150mm 的混凝土立方体试件进行抗压强度检验；对于最大骨料粒径为 63mm 的混凝土，应采用边长为 200mm 的混凝土立方体试件进行抗压强度检验，试验结果应乘以换算系数 1.05；对于最大骨料粒径为 80mm 的混凝土，应采用边长为 300mm 的混凝土立方体试件进行抗压强度检验，试验结果应乘以换算系数 1.15。

8.3.3 混凝土抗压强度试样的留置组数应符合国家标准或行业标准的规定。

8.3.4 混凝土试件抗折强度和劈裂抗拉强度检验应按国家标准或行业标准进行；对于最大骨料粒径不大于 40mm 的混凝土，应采用截面尺寸为 150mm×150mm 的试件进行检验；对于最大骨料粒径大于 40mm 的混凝土，应用湿筛法剔除大于 40mm 的骨料，采用截面尺寸为 150mm×150mm 的试件进行检验。

8.3.5 混凝土抗折强度、劈裂抗拉强度试样的留置组数应符合下述规定：

- a) 当无指标要求时，每不超过 2000m³ 同配合比的混凝土，取样不少于 1 组。
- b) 当有指标要求时，取样频率应不少于抗压强度的 50%，并应在施工前提出取样频率要求。

- c) 每次取样应至少留置 1 组 28 天龄期试件。
- 8.3.6 混凝土试件抗压强度评定应按国家标准或行业标准分批进行评定。
- 8.3.7 混凝土试件抗折强度、劈裂抗拉强度等可参照相应国家标准或行业标准分批进行评定。
- 8.4 混凝土试件耐久性检验
- 8.4.1 混凝土试块耐久性检验项目根据设计要求选取,应包括硬化混凝土中氯离子含量、混凝土抗氯离子渗透性和抗渗性。
- 8.4.2 硬化混凝土中氯离子含量按附录 A 的规定进行检验。
- 8.4.3 混凝土抗氯离子渗透性按附录 B 的规定进行检验。
- 8.4.4 混凝土抗渗性按相应国家标准或行业标准的规定进行检验。
- 8.4.5 混凝土耐久性试样的留置组数应符合下述规定:
- a) 每 500 盘且不超过 500m³ 同配合比的混凝土,取样不少于 1 组;
 - b) 每工作班拌制的同一配合比混凝土,取样不少于 1 组;
 - c) 不同结构部位、同一配合比的混凝土,取样不少于 1 组;
 - d) 每次取样应至少留置 1 组标准养护 56 天龄期抗氯离子渗透性试件;
 - e) 硬化混凝土中氯离子含量测试可采用试验后的标准养护 28 天龄期的强度试件进行,无需单独留样。
- 8.4.6 混凝土抗氯离子渗透性采用标准养护 56 天龄期的试件,混凝土中抗渗性采用标准养护 28 天龄期的试件进行。
- 8.4.7 标准养护混凝土试件的耐久性检测结果应满足设计要求。
- 8.5 混凝土实体强度检验
- 8.5.1 如混凝土试件强度检验结果不能满足设计要求以及对工程质量有怀疑或业主和设计单位有要求时,应进行混凝土实体强度检测。
- 8.5.2 混凝土实体强度检验应按相应国家标准或行业标准执行。
- 8.6 混凝土耐久性现场检验
- 8.6.1 对于混凝土试件耐久性检验结果不能满足设计要求以及对工程质量有怀疑或业主和设计单位有要求时,应进行混凝土耐久性现场检验。
- 8.6.2 混凝土耐久性现场检验可采用无损检验或钻取芯样的方法进行。耐久性现场检验时的检验方法、测点位置与测点数量,可按照工程和量测方法的具体特点确定。
- 8.6.3 现场检测的混凝土耐久性检测结果应满足设计要求。
- 8.7 混凝土结构外观质量和尺寸偏差检验
- 8.7.1 混凝土结构外观质量和尺寸偏差检验按相应国家标准或行业标准进行。
- 8.7.2 混凝土结构外观质量和尺寸偏差检验应全数检查,结构外观质量和尺寸偏差应符合相应国家标准或行业标准的规定。
- 8.7.3 钢筋混凝土结构表面裂缝的宽度不得大于 0.10mm,在 C 类环境下裂缝宽度可放宽到 0.15mm,有防水性要求时裂缝宽度不得大于 0.05mm;预应力混凝土结构不得出现裂缝。对混凝土表面出现的裂缝,需进行专题研究,确定处理意见。
- 8.8 混凝土结构保护层厚度检验
- 8.8.1 混凝土结构保护层厚度宜首先采用非破损的雷达法或电磁感应法等适宜的方法进行检测,用于保护层厚度测定的仪器精度应不低于 1mm,所使用的检测仪器应经过计量检验,检测操作应符合相应规程的规定。对检测结果有争议时,可凿开混凝土进行保护层厚度的验证。
- 8.8.2 检验的结构部位和构件数量视工程的具体情况而定。对成批的同类构件,宜各抽取构件数量的 10%且不少于 10 个构件进行检验。对选定的每个构件,可对各 12 根最外侧钢筋(一般为箍筋或分布筋)的保护层厚度进行检测。对每根钢筋,应在有代表性的部位测量 3 点,并对每一构件的测试数据进行评定。

DB44/T 566—2008

8.8.3 对同一构件测得的钢筋保护层厚度，如有 95%或以上的测量数据大于或等于保护层最小厚度，则认为合格；否则可增加同样数量的测点，按两次检测的全部数据进行统计，如仍不能有 95%及以上的测点厚度大于或等于保护层最小厚度，则认为不合格。

附 录 A (资料性附录)

硬化混凝土中氯离子含量试验方法

A.1 混凝土中砂浆的水溶性氯离子含量测定

A.1.1 试剂

本标准所列市售浓液体试剂的密度指20℃的密度，单位为克每立方厘米。在化学分析中，所用酸，凡未注明浓度者均指市售的浓酸。用体积比表示试剂稀释程度。例如：盐酸（1+2）表示1份体积的浓盐酸与2份体积的水相混合。

A.1.1.1 硝酸银（AgNO₃）

化学纯。

A.1.1.2 铬酸钾（K₂CrO₄）

化学纯。

A.1.1.3 酚酞（C₂₀H₁₄O₄）

化学纯。

A.1.1.4 硫酸（H₂SO₄）

密度1.84g/cm³，质量分数95%～98%。

A.1.1.5 乙醇（C₂H₅OH）

体积分数95%。

A.1.1.6 氯化钠（NaCl）

分析纯。

A.1.1.7 硫酸（1+20）

A.1.1.8 酚酞溶液

称取0.5g酚酞，溶于75mL乙醇后再加25mL蒸馏水。

A.1.1.9 氯化钠标准溶液（0.02mol/L）

把分析纯氯化钠置于瓷坩锅中加热（以玻璃棒搅拌），一直到不再有盐的爆裂声为止。冷却后称取1.2g左右（精确至0.1mg），用蒸馏水溶解后移入1000mL容量瓶，并稀释至刻度。

氯化钠溶液标准浓度按公式（A.1）计算：

$$C_{NaCl} = \frac{m}{V \cdot M_r} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

C_{NaCl} ——氯化钠标准溶液的标准浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

m ——氯化钠质量，单位为克（g）；

V ——溶液的体积，单位为升（L）；

M_r ——氯化钠的摩尔质量，单位为克每摩尔（g/mol），取 58.45。

A.1.1.10 硝酸银溶液（0.02mol/L）

称取硝酸银 3.4g 左右溶于蒸馏水中并稀释至 1000mL，置于棕色瓶中保存。用移液管吸取氯化钠标准溶液 20mL（ V_1 ）于三角烧瓶中，加入 10 滴铬酸钾指示剂，用已配制的硝酸银溶液滴定至溶液刚呈砖红色。记录所消耗的硝酸银毫升数（ V_2 ）。

硝酸银溶液标准浓度应按公式（A.2）计算：

$$C_{AgNO_3} = C_{NaCl} \times \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots(A.2)$$

式中:

C_{AgNO_3} ——硝酸银溶液的标准浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

C_{NaCl} ——氯化钠标准溶液的标准浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

V_1 ——氯化钠标准溶液的毫升数, 单位是毫升 (mL);

V_2 ——消耗硝酸银溶液的毫升数, 单位是毫升 (mL)。

视所测的氯离子含量, 也可配成浓度略高的硝酸银溶液。

A. 1. 1. 11 铬酸钾指示剂溶液

称取5g铬酸钾溶于少量蒸馏水中, 加入少量硝酸银溶液使出现微红, 摇匀后放置过夜, 过滤并移入100mL容量瓶中, 稀释至刻度。

A. 1. 2 仪器

A. 1. 2. 1 天平: 称量100g, 精确至0.01g。

A. 1. 2. 2 天平: 称量200g, 精确至0.0001g。

A. 1. 2. 3 棕色滴定管: 25mL或50mL。

A. 1. 2. 4 三角烧瓶: 250mL。

A. 1. 2. 5 容量瓶: 100mL和1000mL。

A. 1. 2. 6 移液管: 20mL。

A. 1. 2. 7 标准筛: 方孔筛, 孔径0.63mm。

A. 1. 2. 8 干燥箱: 可控制温度105℃±5℃。

A. 1. 2. 9 其它: 玻璃干燥器、研钵、表面皿。

A. 1. 3 分析步骤

取适量的混凝土试样, 用小锤仔细除去混凝土试样中石子部分, 保存砂浆约 30g, 研磨砂浆至全部通过 0.63mm 筛, 然后置于 105℃±5℃烘箱中烘 2h, 取出后放入干燥器冷却至室温。用精确至 0.01g 的天平称取约 20g 砂浆, 质量记为 G, 置于三角烧瓶中, 并加入 200mL (V_3) 蒸馏水, 塞紧瓶塞, 剧烈振荡 1~2 分钟, 浸泡 24h。

将上述试样过滤。用移液管分别吸取滤液 20mL (V_4), 置于两个三角烧瓶中, 各加 2 滴酚酞, 使溶液呈微红色, 再用稀硫酸中和至无色后, 加铬酸钾指示剂 10 滴, 立即用硝酸银溶液滴至砖红色。记录所消耗的硝酸银毫升数 (V_5)。

A. 1. 4 结果的计算

砂浆中水溶性氯离子含量按公式 (A.3) 计算:

$$P = \frac{C_{AgNO_3} V_5 \times 0.03545}{G \times \frac{V_4}{V_3}} \times 100\% \dots\dots\dots(A.3)$$

式中:

P ——砂浆样品中水溶性氯离子含量, 单位为百分数 (%);

C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

V_5 ——每次滴定时消耗的硝酸银溶液体积, 单位为毫升 (mL);

G ——砂浆样品重, 单位为克 (g);

V_4 ——每次滴定时提取的滤液体积, 单位为毫升 (mL);

V_3 ——浸样品的水体积，单位为毫升（mL）。

混凝土中水溶性氯离子含量可由测定的砂浆中水溶性氯离子含量与混凝土中砂浆的质量比例的乘积计算得到。

A.2 混凝土中砂浆的氯离子总含量测定

A.2.1 试剂

本标准所列市售浓液体试剂的密度指20℃的密度，单位为克每立方厘米。在化学分析中，所用酸，凡未注明浓度者均指市售的浓酸。用体积比表示试剂稀释程度。例如：盐酸（1+2）表示1份体积的浓盐酸与2份体积的水相混合。

A.2.1.1 硝酸银（ AgNO_3 ）

化学纯。

A.2.1.2 硫氰酸钾（ KSCN ）

化学纯。

A.2.1.3 硝酸（ HNO_3 ）

密度 $1.42\text{g}/\text{cm}^3$ ，质量分数65%~68%。

A.2.1.4 铁矾（ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ）

化学纯。

A.2.1.5 铬酸钾（ K_2CrO_4 ）

化学纯。

A.2.1.6 氯化钠（ NaCl ）

分析纯。

A.2.1.7 氯化钠标准溶液（ 0.02mol/L ）

配制方法同A.1.1.9条。

A.2.1.8 硝酸银溶液（ 0.02mol/L ）

配制方法同A.1.1.10条。

A.2.1.9 硝酸溶液（ 6mol/L ）

取化学纯浓硝酸25.8mL放入100mL容量瓶中，用蒸馏水稀释至刻度。

A.2.1.10 铁矾溶液（10%）

取10g化学纯铁矾溶于90g蒸馏水配成。

A.2.1.11 硫氰酸钾标准溶液（ 0.02mol/L ）

用天平称取化学纯硫氰酸钾晶体约1.95g左右，溶于1000mL蒸馏水，充分摇匀，装在瓶内配成硫氰酸钾溶液并用硝酸银标准溶液进行标定。

将硝酸银标准溶液装入滴定管，从滴定管放出硝酸银标准溶液约25mL，加6mol/L硝酸5mL和10%铁矾溶液4mL，然后用硫氰酸钾标准溶液滴定，滴定时，激烈摇动溶液，当滴至红色维持5~10s不退时即为终点。

硫氰酸钾标准溶液的浓度按公式（A.4）计算：

$$C_{\text{KSCN}} = \frac{C_{\text{AgNO}_3} V_2}{V_1} \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

式中：

C_{KSCN} ——硫氰酸钾标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

V_2 ——硝酸银标准溶液体积, 单位为毫升 (ml);

V_1 ——滴定时消耗的硫氰酸钾标准溶液体积, 单位为毫升 (ml)。

A. 2. 2 仪器

A. 2. 2. 1 天平: 称量100g, 精确至0.01g。

A. 2. 2. 2 天平: 称量100g, 精确至0.0001g。

A. 2. 2. 3 酸式滴定管: 10mL, 2 支。

A. 2. 2. 4 三角烧瓶: 250mL。

A. 2. 2. 5 容量瓶: 100mL和1000mL。

A. 2. 2. 6 试剂瓶 (1000mL)

A. 2. 2. 7 移液管: 20mL。

A. 2. 2. 8 标准筛: 方孔筛, 孔径0.63mm。

A. 2. 2. 9 干燥箱: 可控制温度 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

A. 2. 2. 10 其它: 玻璃干燥器、研钵、表面皿。

A. 2. 3 方法提要

试验基本原理是用硝酸将含有氯化物的水泥全部溶解, 然后在硝酸溶液中, 用倭尔哈德法来测定氯化物含量。

倭尔哈德法是在硝酸溶液中加入过量的 AgNO_3 标准溶液, 使氯离子完全沉淀。在上述溶液中用铁矾做指示剂, 将过量的硝酸银用 KCNS 标准溶液滴定。滴定时 CNS^- 首先与 Ag^+ 生成白色的 AgCNS 沉淀, CNS^- 略有多余时, 即与 Fe^{3+} 形成 $[\text{Fe}(\text{CNS})]^{2+}$ 络离子使溶液显红色, 当滴至红色能维持5s~10s不褪, 即为终点。

A. 2. 4 分析步骤

取适量的混凝土试样(40g左右), 用小锤仔细除去混凝土试样中石子部分, 保存砂浆, 研磨砂浆至全部通过0.63mm筛。然后将砂浆置于 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 干燥箱中烘2h, 取出后放入干燥器冷却至室温。用精确至0.01g的天平称取约10g~20g砂浆试样倒入三角烧瓶。

用容量瓶盛100mL稀硝酸(按体积比为浓硝酸: 蒸馏水=15: 85)倒入盛有砂浆试样的三角烧瓶内, 盖上瓶塞, 防止蒸发。

砂浆试样浸泡一昼夜左右(以水泥全部溶解为度), 其间应摇动三角烧瓶, 然后用滤纸过滤, 除去沉淀。

用移液管准确量取滤液20mL两份, 置于三角锥瓶, 每份由滴定管加入硝酸银溶液约20mL(可根据估算氯离子含量的多少而酌量增减), 分别用硫氰酸钾溶液滴定。滴定时激烈摇动溶液, 当滴至红色能维持5s~10s不褪时即为终点。必要时加入3~5滴10%铁矾溶液以增加水泥含有的 Fe^{3+} 。

A. 2. 5 结果的计算

砂浆中氯离子总含量按公式(A.5)计算:

$$P = \frac{0.03545(C_{\text{AgNO}_3} V - C_{\text{KSCN}} V_1)}{G \frac{V_2}{V_3}} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中:

P——砂浆样品中氯离子总含量, 单位为百分比 (%);

C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

V——加入滤液试样中的硝酸银标准溶液体积, 单位为毫升 (mL);

C_{KSCN} ——硫氰酸钾标准溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

V_1 ——滴定时消耗的硫氰酸钾标准溶液体积, 单位为毫升 (mL);

G —— 砂浆样品重，单位为克 (g)；

V_2 —— 每次滴定时提取的滤液体积，单位为毫升 (mL)；

V_3 —— 浸样品的水体积，单位为毫升 (mL)。

混凝土中氯离子总含量可由测定的砂浆中氯离子总含量与混凝土中砂浆的质量比例的乘积计算得到。

附录 B (规范性附录)

混凝土抗氯离子渗透性试验方法(电量法)

B.1 方法提要

本方法是通过测定混凝土在60V直流电作用下6h通过的电量值来快速地评价混凝土的抗氯离子渗透性。

本试验方法适用于在实验室测定骨料最大粒径不大于63mm的实验室制作的或取芯的混凝土试件的抗氯离子渗透性能。本方法不适用于掺亚硝酸钙外加剂的混凝土。

B.2 试剂

B.2.1 氯化钠(NaCl)

化学纯。

B.2.2 氢氧化钠(NaOH)

化学纯。

B.2.3 氯化钠溶液(3.0%)

称取30.0g氯化钠,将其溶解于970.0g蒸馏水中。溶液应事先配制,密封保存在温度为20~25℃的环境中。

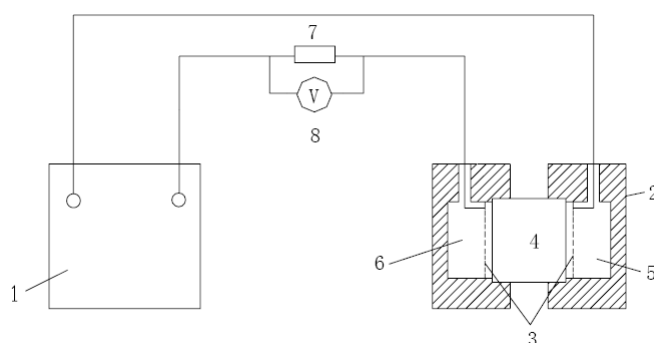
B.2.4 氢氧化钠溶液(0.3mol/L)

称取12.0g氢氧化钠,用蒸馏水溶解后移入1000mL容量瓶,并稀释至刻度。溶液应事先配制,密封保存在温度为20~25℃的环境中。

B.3 仪器

B.3.1 电通量测试装置

试验应采用符合如图B.1所示原理的电通量测试装置。



1——直流稳压电源; 2——试验槽; 3——电极; 4——混凝土试件; 5——3.0%NaCl 溶液;
6——0.3 mol/L NaOH 溶液; 7——标准电阻; 8——直流数字式电压表

图 B.1 电通量试验装置示意图

各部分的要求如下:

- a) 直流稳压电源: 0~80V, 0~10A, 可稳定输出 60V 直流电压, 精度 $\pm 0.1\%$;
- b) 标准电阻: 1Ω , 精度 0.1%;
- c) 直流数字电流表: 量程 0~20A, 精度 0.1%;

- d) 试验槽与电极：试验槽为两个对称的异丁烯酸甲酯（有机玻璃）小池，每个都包含了电极和外部的连接物。图 B. 2 显示了一个通常使用的试验槽设计。试验槽的深度均为 $40\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ，对于不同骨料最大粒径的混凝土试样，采用不同的试验槽标准直径。对于骨料最大粒径不大于 25mm 的混凝土，试验槽的标准直径为 95mm ；对于骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土，试验槽的标准直径为 130mm ；对于骨料最大粒径不大于 63mm 的混凝土，试验槽的标准直径为 180mm 。

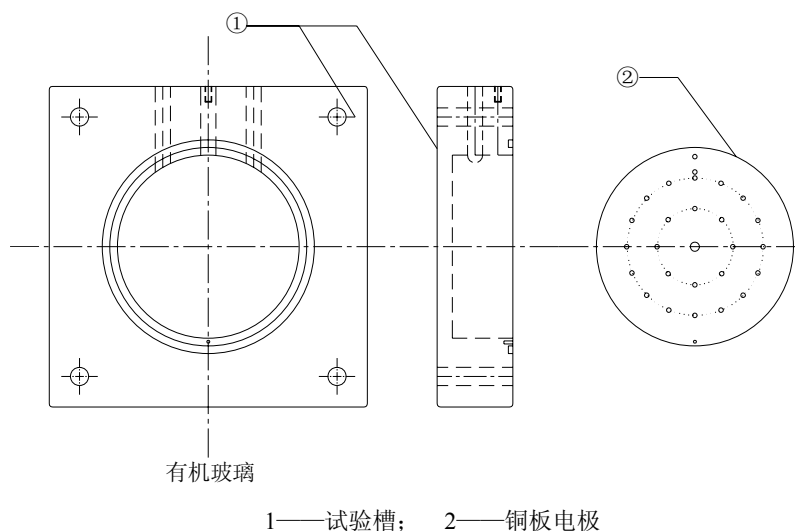


图 B. 2 试验槽和电极示意图

B. 3.2 混凝土切割机

水冷式切割机，双刀，锯片尺寸为 600mm 。

B. 3.3 试样磨平设备

混凝土磨平机或水砂纸（ $200\# \sim 600\#$ ）和细锉刀。

B. 3.4 超声波清洗器

40kHz ，功率 1000KW 。

B. 3.5 游标长尺

精度 0.1 mm 。

B. 3.6 真空保水设备

至少能够容纳3个试件，可保持真空值小于 -0.05MPa 。

B. 3.7 电吹风

2000W 。

B. 3.8 温度计

精度 0.2°C 。

B. 4 试样的制备

B. 4.1 不同骨料最大粒径的混凝土，采用不同尺寸的的试样。对于骨料最大粒径不大于 25mm 的混凝土，采用 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times (50 \pm 1)\text{mm}$ 的试样；对于骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土，采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times (75 \pm 2)\text{mm}$ 的试样；对于骨料最大粒径不大于 63mm 的混凝土，采用 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times (100 \pm 3)\text{mm}$ 的试样。

B. 4.2 试件在试验室制作时，对于最大骨料粒径不大于 25mm 、 40mm 和 63mm 的混凝土，分别采用边长为 100mm 、 150mm 和 200mm 的立方体试模，一组三个试件。对于骨料最大粒径为 80mm 的混凝土试件，可采用骨料最大粒径为 63mm 的混凝土试件的试验方法，但实验室制作时宜采用 300mm 的立方体试件。试件制作后立即用塑料薄膜覆盖，24小时后拆模并放入标准养护室养护。到规定龄期的前1天取出试件，切除试

DB44/T 566—2008

件的表面层，从试件中部切取试样，并用磨平机或者水砂纸、细锉刀打磨光滑。试样制备时，应标明混凝土成型面的方向。

B.4.3 试件在实体混凝土结构中钻取时，对于最大骨料粒径不大于25mm、40mm和63mm的混凝土，分别采用 $\phi 100\text{mm}$ 、 $\phi 150\text{mm}$ 和 $\phi 200\text{mm}$ 的试件，试件长度不小于试件直径，切除试件的表面层，从试件中部切取试样，并用磨平机或者水砂纸、细锉刀打磨光滑。试样制备时，应标明混凝土成型面的方向。

B.5 试验步骤

B.5.1 试样安装前宜进行 $120\text{s}\pm 20\text{s}$ 超声浴清洗，超声波清洗器事先需用室温饮用水冲洗干净。

B.5.2 将经过超声清洗的试样垂直码放于真空保水设备的真空室中，试样间应留有空隙。密闭真空室并开动真空泵和气路开关，在真空表显示值小于 -0.05MPa 的压力下保持6h后，断开气路，导入饮用水至没过试件上表面20mm以上，关闭水路开关，再打开气路开关，抽真空至上述真空值并保持2h。关闭真空泵，在常压下继续浸泡试样 $16\text{h}\pm 2\text{h}$ 。

B.5.3 将试样从水中取出，把多余的水抹去，并把试样放置在密闭的盒子中或其它容器中，使试样保持在95%或更高的湿度下。

B.5.4 用游标卡尺测量试样的测试直径和厚度，并填入试验原始记录表。实验室温度控制在 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ ，安装前的试件表面应该干净，无油污、灰砂和水珠。

B.5.5 将带有垫片的螺栓穿入有机玻璃试验槽后水平放置，放好密封圈，然后将饱水后的试样置于试验槽上（试样的成型面应朝向负极），之后将带有密封圈的另一试验槽穿过螺栓，最后放置垫片，拧紧螺母。

B.5.6 将固定好的混凝土试样垂直放好（接线柱朝上），通过漏斗向试样槽注入引用水，检查不漏水后，将水倒出。

B.5.7 将质量浓度为3.0%的NaCl溶液和物质的量浓度为 0.3mol/L 的NaOH溶液分别注入试件两侧的试验槽中，注入NaCl溶液的试验槽内的电极连接电源负极，注入NaOH溶液的试验槽中的电极连接电源正极。

B.5.8 接通电量法测试仪的电源及试样槽的正负极，将电压设定在 60 ± 0.1 伏，记录初始电流读数，至少每隔15分钟记录一次电流值，通电6小时后终止实验。在整个测试期间，试样槽中都应充满溶液。

B.5.9 试验结束时，先记录电流值，试验数据填入试验原始记录表，再关闭电源，断开连线，排除试验溶液，取出试样。用饮用水和洗涤剂仔细冲洗试验槽60s，再用饮用水洗净并用电吹风冷风档吹干。

B.6 结果计算

B.6.1 将电流（安培）对时间（秒）作图，通过数据点画一条折线，对折线下的面积积分，即可计算得到6h通过的电量（库仑）。

B.6.2 如果试样的测试直径小于相应骨料最大粒径时试样槽的标准直径，计算得到的电量值应进行调整。通过将测定的电量值乘以标准横截面积与试样实际通电横截面积的比值来进行校正。

B.6.3 混凝土电量值为3个试样电量值的算术平均值。如任一个测值与中值的差值超过中值的15%，则取中值为测定值；如有两个测值与中值的差值都超过中值的15%，则取最大值。

B.7 试验报告

试验报告中需包含试样编号、试验龄期、骨料最大粒径、试样的尺寸、每个试件的6h电量值以及每组试件的电量值等信息。

附录 C

(资料性附录)

混凝土抗氯离子渗透性试验方法(电量综合法)

C.1 方法提要

本方法是通过测定混凝土在60V直流电作用下6h和18h通过的电量值以及通电18h后的氯离子渗透深度来快速地评价混凝土的抗氯离子渗透性。

本试验方法适用于在实验室测定骨料最大粒径不大于63mm的实验室制作的或取芯的混凝土试件的抗氯离子渗透性能。本方法不适用于掺亚硝酸钙外加剂的混凝土。

C.2 试剂

C.2.1 氯化钠(NaCl)

化学纯。

C.2.2 氢氧化钠(NaOH)

化学纯。

C.2.3 硝酸银(AgNO₃)

分析纯。

C.2.4 氯化钠溶液(3.0%)

同B.2.3。

C.2.5 氢氧化钠溶液(0.3mol/L)

同B.2.4。

C.2.6 硝酸银溶液(0.1mol/L)

称取17.0g硝酸银,用蒸馏水溶解后移入1000mL容量瓶,并稀释至刻度。溶液应事先配制,避光密封保存在温度为20~25℃的环境中。

C.3 仪器

C.3.1 电通量测试装置

同B.3.1。

C.3.2 混凝土切割机

同B.3.2。

C.3.3 试样磨平设备

同B.3.3。

C.3.4 超声波清洗器

同B.3.4。

C.3.5 游标长尺

同B.3.5。

C.3.6 真空保水设备

同B.3.6。

C.3.7 电吹风

同B.3.7。

C.3.8 温度计或电热偶

精度0.2℃。

C.3.9 喷雾器

可喷洒硝酸银溶液。

C.4 试样的制备

同B.4。

C.5 试验步骤

C.5.1 同B.5.1。

C.5.2 同B.5.2。

C.5.3 同B.5.3。

C.5.4 同B.5.4。

C.5.5 同B.5.5。

C.5.6 同B.5.6。

C.5.7 同B.5.7。

C.5.8 接通电量法测试仪的电源及试样槽的正负极，将电压设定在 60 ± 0.1 伏，记录初始电流读数和阳极电解液初始温度。至少每隔15分钟记录一次电流值，通电18小时后终止实验。在整个测试期间，夹具中都应充满溶液。

C.5.9 试验结束时，先记录电流值，测定阳极电解液最终温度，试验数据填入试验原始记录表，再关闭电源，断开连线，排除试验溶液，取出试样。用饮用水和洗涤剂仔细冲洗试验槽60s，再用饮用水洗净并用电吹风冷风档吹干。

C.5.10 试件取出后，用自来水将试件表面冲洗干净，然后擦去试件表面多余水分。并在压力试验机上沿轴向劈成两半。在劈开的试件表面立即喷洒 0.1mol/L AgNO_3 溶液，混凝土含氯离子部分则可在约15分钟后观察到白色硝酸银沉淀，不含氯离子部分一般显灰色。

C.5.11 测量显色分界线离试件底面的距离，把如图C.1所示位置(测点位置不必考虑骨料阻挡的情况，但对非常明显的骨料阻挡情况，应在试验报告中注明)的测定值(精确到 0.1mm)，计算所得的平均值即为氯离子渗透深度(显色深度)。

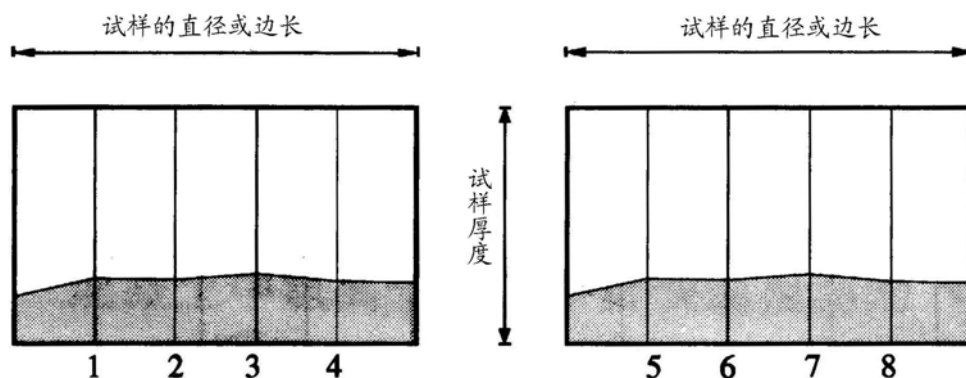


图 C.1 显色分界线位置编号

C.6 结果计算

C.6.1 将电流(安培)对时间(秒)作图，通过数据点画一条折线，对折线下的面积积分，即可计算得到6h和18h通过的电量(库仑)。

C.6.2 如果试样的测试直径小于相应骨料最大粒径时试样槽的标准直径，计算得到的电量值应进行调整。通过将测定的电量值乘以标准横截面积与试样实际通电横截面积的比值来进行校正。

C.6.3 混凝土电量值和氯离子渗透深度为3个试样的算术平均值。如任一测值与中值的差值超过中值的15%，则取中值为测定值；如有两个测值与中值的差值都超过中值的15%，则取最大值。

C.7 试验报告

试验报告中需包含试样编号、试验龄期、骨料最大粒径、试样的尺寸、每个试件的初始电流、初始阳极溶液温度、最终电流、最终阳极溶液温度、6h 和 18h 电量值、18h 氯离子渗透深度以及每组试件的电量值和氯离子渗透深度代表值等信息。

附 录 D
(规范性附录)
混凝土原材料检验要求

D.1 水泥

水泥的检验要求见表D.1。

表 D.1 水泥的检验要求

序号	检验项目	检 验 要 求					
		质量证明文件检查		抽样试验检验			
1	不溶物	√	每厂家、每品种、 每批号检查供应 商提供的质量证 明文件。 施工单位和监理 单位均全部检 查。	√	下列情况之一时， 检验一次。 ①新选货源； ②使用同厂家、同 品种、同强度等级 的水泥达3个月。 施 工 单 位 试 验 检 验；监理单位见证 取样检验。		同厂家、同品种、同强度 等级、同批号、同出厂日 期且连续进场的散装水 泥每500t（袋装水泥每 200t）为一批，不足上述 数量时也按一批计。 施工单位每批抽样检验 一次；监理单位见证取样 送检的次数为施工单位 抽样数量的20%，但至少 一次。
2	烧失量	√		√			
3	氧化镁含量	√		√			
4	三氧化硫含量	√		√			
5	细度	√		√		√	
6	凝结时间	√		√		√	
7	安定性	√		√		√	
8	强度	√		√		√	
9	碱含量	√		√			
10	游离氧化钙含量	√		√			
11	氯离子含量	√		√			
12	助磨剂种类与掺量	√					
13	石膏名称与掺量	√					
14	混合材料名称与掺量	√					
15	水泥化学组成	√					
16	熟料化学组成和矿物组成	√					

D.2 矿物掺合料

矿物掺合料的检验要求见表D.2。

表 D.2 矿物掺合料的检验要求

检验项目		检 验 要 求					
		质量证明文件检查		抽样试验检验			
矿 渣 微 粉	密度	√	每厂家、每料源 检查供应商提供 的质量证明文 件。 施工单位和监理 单位均全部检 查。	√	下列情况之一时，检验一次。 ①新选货源；②使用同厂家、 同品种的产品达3个月。 施工单位试验检验；监理单位 见证取样检验。		同厂家、同品种、同批号、同出 厂日期的产品每200t为一批，不 足上述数量时也按一批计。 施工单位每批抽样检验一次；监 理单位见证取样送检次数为施 工单位抽样数量的20%，但至少 一次。
	比表面积	√		√		√	
	活性指数	√		√		√	
	流动度比	√		√		√	
	含水量	√		√			
	三氧化硫	√		√			
	碱含量	√		√			
	氯离子含量	√		√			
	烧失量	√		√			
	氧化镁	√		√			

表 D.2 (续)

检验项目		检 验 要 求					
		质量证明文件检查		抽样试验检验			
粉煤灰	细度	√	每厂家、每料源	√	下列情况之一时，检验一次。 ①新选货源；②使用同厂家、同品种的产品达3个月。 施工单位试验检验；监理单位见证取样检验。	√	同厂家、同品种、同批号、同出厂日期的产品每100t为一批，不足上述数量时也按一批计。 施工单位每批抽样检验一次；监理单位见证取样送检的次数为施工单位抽样数量的20%，但至少一次。
	需水量比	√	检查供应商提	√		√	
	烧失量	√	供的质量证明	√		√	
	含水量	√	文件。	√			
	三氧化硫	√		√			
	游离氧化钙	√	施工单位和监	√		√	
	碱含量	√	理单位均全部	√			
	氯离子含量	√	检查。	√			
硅灰	烧失量	√	每厂家、每料源	√	下列情况之一时，检验一次。 ①新选货源；②使用同厂家、同品种的产品达3个月。 施工单位试验检验；监理单位见证取样检验。	√	同厂家、同品种、同批号、同出厂日期的产品每20t为一批，不足上述数量时也按一批计。 施工单位每批抽样检验一次；监理单位见证取样送检的次数为施工单位抽样数量的20%，但至少一次。
	氯离子含量	√	检查供应商提	√			
	二氧化硅	√	供的质量证明	√			
	比表面积	√	文件。	√			
	含水率	√	施工单位和监	√			
	需水量比	√	理单位均全部	√		√	
	活性指数	√	检查。	√		√	

D.3 混凝土外加剂

混凝土外加剂的检验要求见表D.3。

表 D.3 混凝土外加剂的检验要求

序号	检验项目	检 验 要 求					
		质量证明文件检查		抽样试验检验			
1	固含量或含水率	√	每厂家、每料源	√	下列情况之一时，检验一次。 ①新选货源；②使用同厂家、同品种的产品达6个月；③产品出厂日期达6个月。 外加剂因品种不同，检验项目不同，检验项目按GB 8076的规定。 施工单位试验检验；监理单位见证取样检验。	√	同厂家、同品种、同批号、同出厂日期的产品每50t为一批，掺量小于0.1%的外加剂以2t为一批，不足上述数量时也按一批计。 外加剂因品种不同，检验项目不同，检验项目按GB 8076的规定。 施工单位每批抽样检验一次；监理单位见证取样送检次数为施工单位抽样数量的20%，但至少一次。
2	密度或细度	√	检查供应商提供	√		√	
3	氯离子含量	√	的质量证明文件。	√			
4	碱含量	√		√			
5	pH值	√		√			
6	表面张力	√	外加剂因品种不同，检验项目不同，检验项目按GB 8076的规定。	√			
7	还原糖	√		√			
8	硫酸钠	√		√			
9	泡沫性能	√		√			
10	水泥净浆流动度	√		√		√	
11	砂浆减水率	√	施工单位和监理单位均全部检查。	√		√	
12	减水率	√		√		√	
13	泌水率比	√		√		√	
14	含气量	√		√		√	
15	凝结时间差	√		√		√	
16	抗压强度比	√		√		√	
17	收缩率比	√					
18	相对耐久性指标	√					
19	对钢筋锈蚀作用	√		√			

D.4 细骨料

细骨料的检验要求见表D.4。

表 D.4 细骨料的检验要求

序号	检验项目	检 验 要 求					
		质量证明文件检查		抽样试验检验			
1	颗粒级配	√	每厂家、每料源 检查供应商提供的 质量证明文件。 施工单位和监理单位 均全部检查。	√	下列情况之一时，检 验一次。 ①新选货源；②连续 使用同厂家、同料 源、同品种、同规格 的产品达12个月。 施工单位试验检验； 监理单位见证取样 检验。	√	连续进场的同厂家、同料 源、同品种、同规格的产品 每400m ³ 为一批，不足上述 数量时也按一批计。 施工单位每批抽样检验一 次；监理单位见证取样送检 次数为施工单位抽样数量 的20%，但至少一次。
2	表观密度	√		√		√	
3	松散堆积密度	√		√		√	
4	紧密堆积密度	√		√		√	
5	吸水率	√		√			
6	含泥量或石粉含量	√		√		√	
7	泥块含量	√		√		√	
8	云母含量	√		√			
9	轻物质含量	√		√			
10	有机物含量	√		√			
11	硫化物及硫酸盐含量	√		√			
12	氯离子含量	√		√		√	
13	坚固性	√		√			
14	骨料碱活性	√		√			

D.5 粗骨料

粗骨料水泥的检验要求见表D.5。

表 D.5 粗骨料的检验要求

序号	检验项目	检 验 要 求					
		质量证明文件检查		抽样试验检验			
1	颗粒级配	√	每厂家、每料源 检查供应商提供的 质量证明文件。 施工单位和监理单位 均全部检查。	√	下列情况之一时，检 验一次。 ①新选货源；②连续 使用同厂家、同料 源、同品种、同规格 的产品达12个月。 施工单位试验检验； 监理单位见证取样 检验。	√	连续进场的同厂家、同料 源、同品种、同规格的产 品每400m ³ 为一批，不足 上述数量时也按一批计。 施工单位每批抽样检验一 次；监理单位见证取样送 检次数为施工单位抽样数 量的20%，但至少一次。
2	表观密度	√		√		√	
3	松散堆积密度	√		√		√	
4	紧密堆积密度	√		√		√	
5	吸水率	√		√			
6	含泥量	√		√		√	
7	泥块含量	√		√		√	
8	针片状颗粒含量	√		√		√	
9	有机物含量	√		√			
10	硫化物及硫酸盐含量	√		√			
11	氯离子含量	√		√			
12	坚固性	√		√			
13	岩石抗压强度	√		√			
14	压碎指标	√		√		√	
15	骨料碱活性	√		√			

D.6 水

水的检验要求见表D.6。

表 D.6 水的检验要求

序号	检验项目	抽样试验检验要求			
1	pH 值	√	下列情况之一时，检验一次。 ①新水源；②同一水源的水使用达 12 个月。	√	同一水源水每月检验一次。
2	不溶物含量	√		√	
3	可溶物含量	√	施工单位试验检验；监理单位见证取样检验。	√	施工单位试验检验；监理单位见证取样送检。
4	氯离子含量	√		√	
5	硫酸盐含量	√		√	
6	碱含量	√		√	
7	放射性	√			
8	凝结时间	√			
9	抗压强度比	√			

附 录 E (规范性附录)

砂和混凝土拌合物中氯离子含量的快速检测

E.1 方法提要

用氯离子选择电极和甘汞电极置于液相中，测得的电极电位 E 与液相中氯离子浓度 C 的对数呈线性关系，即 $E=K-0.0591\lg C$ 。因此，可根据测得的电极电位值，来推算出氯离子浓度。

本方法适用于现场快速检验砂和混凝土拌合物中的氯离子含量，或检测其氯离子含量是否超出规范所规定的允许值。

E.2 仪器

E.2.1 氯离子选择电极

测量范围： $5\times 10^{-5}\sim 10^{-2}\text{mol/L}$ ；pH范围：2~12；响应时间： $\leq 2\text{min}$ ；温度范围：5~35℃。

E.2.2 参比电极

饱和甘汞电极，盐桥充 KNO_3 0.1mol/L或 NaNO_3 溶液0.1mol/L。

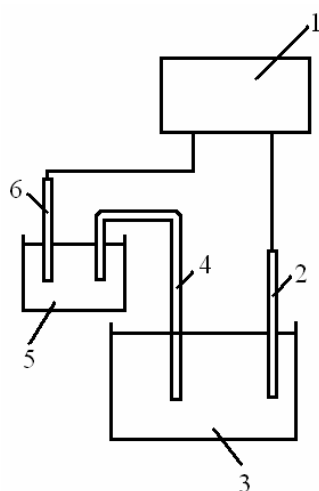
E.2.3 电位测量仪器

分辨值为mv的酸度计、恒电位仪、伏特计或电位差计，输入阻抗不小于 $7\text{M}\Omega$ 。

E.3 试验步骤

E.3.1 按下列步骤建立电位—氯离子浓度关系曲线：

- a) 把氯离子选择电极放入由蒸馏水(或去离子水)配制的 0.001mol/L 的 NaCl 溶液中活化 2h。
- b) 用蒸馏水(或去离子水)配制 $5.5\times 10^{-3}\text{mol/L}$ 和 $5.5\times 10^{-4}\text{mol/L}$ 两种浓度的 NaCl 标准溶液，各 250mL。
- c) 将氯离子选择电极和甘汞电极(通过盐桥)，插入 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 的两种 NaCl 标准溶液中，经 2 分钟后用电位测量仪测量两电极之间电位值(见图 E.1)。将两值标点在 $E-\lg C$ 半对数坐标上，其连接线即为电位—氯离子浓度关系曲线。



1-电位测量仪；2-氯离子选择电极；3-被测液；4-盐桥 5-KCl 溶液；6-甘汞电极

图 E.1 电位测量示意图

E.3.2 检测砂或混凝土的氯离子含量是否超过规范规定的允许值时,应制备氯离子浓度允许限值的标准溶液250ml,并按E.3.1条的步骤测得20℃标准溶液的电极电位值。

砂的标准溶液NaCl浓度为 2.25×10^{-3} mol/L 和 4.5×10^{-3} mol/L,对应的氯离子浓度分别为干砂重的0.01%和0.02%。混凝土的标准溶液的NaCl浓度按公式D.1计算:

$$C_{NaCl} = \frac{P_{cm}}{3.55} \times \frac{m_{cp}}{m_w} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

C_{NaCl} ——NaCl 标准溶液的浓度,单位为摩尔每升(mol/L);

P_{cm} ——混凝土拌合物中最大氯离子含量,以混凝土质量计,单位为百分比(%),对钢筋混凝土按0.012计算,对预应力混凝土按0.007计算;

m_{cp} ——每方混凝土的质量,根据混凝土配合比计算得到,单位为公斤(kg);

m_w ——每方混凝土的用水量,单位为公斤(kg)。

E.3.3 砂中氯离子含量测定按下列步骤进行:

- 把氯离子选择电极放入以蒸馏水(或去离子水)配制的0.001mol/L NaCl 溶液中活化1h;
- 测定砂的含水率 ω_{wc} ;
- 称取200g湿砂样品置于1000mL磨口瓶中,加入250mL蒸馏水(或去离子水),加盖后摇晃1分钟,静置半小时,并按此顺序再重复一次。将上部清液移至锥形瓶中。并用温度计测量清液的温度;
- 将氯离子选择电极和甘汞电极(通过盐桥)插入水中,用电位测量仪测得电位值。按温度每增加1℃,电位向负移动1mV的比率对电位值进行温度校正,并从E—lg C_{NaCl} 曲线上推求得水中氯离子浓度。

E.3.4 混凝土拌合物中氯离子含量测定按下列步骤进行:

- 把氯离子选择电极放入以蒸馏水(或去离子水)配制的0.001mol/L NaCl 溶液中活化1h;
- 从混凝土拌合物中取出600g左右砂浆,放入烧杯中,量测温度,插入氯离子选择电极和甘汞电极(通过盐桥),测定其电位,并进行温度校正;
- 从E—lgC曲线推算得相应拌和水的氯离子浓度。

E.4 结果计算

E.4.1 砂中氯离子含量按公式(D.2)计算:

$$P_s = C_{Cl^-} \times 35.5 \times \frac{1.25 \times (1 + \omega_{wc}) + \omega_{wc}}{1000} \times 100 \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

P_s ——砂中氯离子含量,以干砂质量计,单位为百分数(%);

C_{Cl^-} ——水中氯离子浓度,单位为摩尔每升(mol/L);

ω_{wc} ——砂的含水率。

E.4.2 混凝土中氯离子含量按公式(D.3)计算:

$$P_c = C_{Cl^-} \times \frac{m_w}{m_{cp}} \times \frac{35.5}{1000} \times 100 \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

P_c ——混凝土拌合物中氯离子含量,以混凝土质量计,单位为百分数(%);

C_{Cl^-} ——相应拌和水中氯离子浓度,单位为摩尔每升(mol/L);

m_w ——每方混凝土的用水量,单位为公斤(kg);

m_{cp} ——每方混凝土的质量,根据混凝土配合比计算得到,单位为公斤(kg)。

E.4.3 检验砂或混凝土的氯离子含量是否超过规范规定允许限量时,将测得电位值经温度校正后与相应氯离子允许限量标准溶液中电位值相比较,若前者较后者小,表明其氯离子含量已超过规范允许值。

广东省地方标准

抗海水腐蚀混凝土应用技术导则

DB44/T 566-2008

条文说明

目 次

1	范围	35
2	规范性引用文件	36
3	术语和定义、符号	36
3.1	术语和定义	36
4	耐久性设计基本规定	37
4.1	结构的设计使用年限	37
4.2	环境条件的分类	38
4.3	提高混凝土结构耐久性的措施	39
4.4	混凝土耐久性设计要求	40
5	混凝土材料要求	52
5.1	水泥	52
5.2	矿物掺合料	54
5.3	混凝土外加剂	54
5.4	细骨料	54
5.5	粗骨料	55
5.6	水	59
6	混凝土配合比设计	59
6.1	一般规定	59
6.2	混凝土的配制强度	60
6.3	混凝土配合比设计的基本参数	60
6.4	混凝土配合比的计算	63
6.5	混凝土配合比的试配、调整 and 确定	63
7	混凝土施工	63
7.1	原材料质量控制	63
7.2	混凝土拌合	64
7.3	混凝土浇注	65
7.4	混凝土养护	65
7.5	混凝土温度控制	65
8	混凝土质量检验	65
8.1	一般规定	65
8.2	混凝土拌合物性能检验	66
8.3	混凝土试件强度检验	66
8.4	混凝土试件耐久性检验	66
8.5	混凝土实体强度检验	67
8.6	混凝土耐久性现场检验	67
8.7	混凝土结构外观质量和尺寸偏差检验	67
8.8	混凝土结构保护层厚度检验	69
附录 A	硬化混凝土中氯离子含量试验方法	69
附录 B	混凝土抗氯离子渗透性试验方法（电量法）	69
附录 C	混凝土抗氯离子渗透性试验方法（电量综合法）	70
附录 D	原材料检验要求	70
附录 E	砂和混凝土拌合物中氯离子含量的快速检测	71

1 范围

广东省是我国海岸线最长的省份，海岸线总长超过3000公里。在珠江三角洲地区，咸潮的影响也非常严重，且近年来有逐渐加重的趋势。随着广东省经济的快速发展，在沿海和近海地区进行工程建设的数量非常庞大。

在沿海和近海地区，影响混凝土结构耐久性的主要因素是海水、海风和海雾中携带的氯离子。氯离子对混凝土本身性能有一定影响，但主要是氯离子达到一定浓度时，可破坏钢筋的钝化膜，导致钢筋严重锈蚀。钢筋锈蚀后，一方面体积膨胀导致混凝土保护层开裂和脱落，影响建筑物外观，混凝土保护层开裂和脱落也为氯离子和其它化学物质的进入开辟了快速通道，从而加速钢筋锈蚀和混凝土破坏；另一方面钢筋的直径减少，钢筋的承载力以及钢筋与混凝土的粘结力均降低，从而影响结构的安全性和使用寿命。

当采用常规混凝土时，由于氯离子扩散速度快，导致钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构中的钢筋很快锈蚀，建筑物的使用寿命通常只有20~30年，有些甚至不足10年，远不能达到使用寿命50年以上的要求。建筑物的过早破坏，一方面造成了巨大的经济损失，另一方面也造成了严重的资源浪费。

为解决沿海水工建筑物过早破坏的问题，华南理工大学土木工程系从1999年3月开始受广东省水利厅的委托进行抗海水腐蚀混凝土的研究，历经实验室试验研究、三年野外试验研究、工程应用等阶段，研制成功抗海水腐蚀混凝土。2005年2月21日通过了广东省科技厅组织的鉴定，《抗海水腐蚀混凝土的研究及应用》研究成果达到了国内领先水平。

至2007年5月，抗海水腐蚀混凝土已在8项工程中得到应用，抗海水腐蚀混凝土用量约21万方；六扇采用抗海水腐蚀混凝土技术制作的沿海水闸钢筋混凝土闸门已使用4~5年，仍完好无损，且未有耐久性破坏的迹象，而原普通混凝土制作的闸门使用5年左右即出现裂缝，使用8年即报废。

在上述研究与工程应用的基础上，在《水利学报》、《土木工程学报》、《水利水电技术》等期刊发表相关论文17篇，相关论文被评为中国水利学会2003学术年会优秀论文，撰写专著《抗海水腐蚀混凝土技术手册》（中国水利水电出版社、知识产权出版社，2006年）。

采用抗海水腐蚀混凝土，可大幅降低氯离子在混凝土中的扩散速度，提高氯盐环境下新建工程的耐久性，延长建筑物使用寿命，虽然建筑物初期投资略有增加，但从长期（如100年）来看，由于减少了建筑物拆除重建的次数，具有较高的经济效益和社会效益。

抗海水腐蚀混凝土是一种新型的高性能混凝土，其对原材料的要求、配合比设计与施工均与常规混凝土有所不同，为规范抗海水腐蚀混凝土的设计、生产、施工和验收过程，保证工程质量，提高氯盐环境下混凝土结构的耐久寿命，使建筑物达到设计使用年限的要求，根据广东省质量技术监督局《关于下达2006年广东省第一批地方标准制修订计划项目的通知》（粤质监标函[2006]273号）的要求，由广东省水利厅主持编制了本标准。

本标准仅规定了抗海水腐蚀混凝土在设计、生产、施工和验收等过程中一些必要的技术措施，其它标准中已有规定的技术措施并未包括在本标准中，因此在执行本标准时，除应符合本

标准的要求外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定,如《水工混凝土结构设计规范》(SL/T 191)、《水工混凝土施工规范》(SDJ 207)、《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144)、《水闸设计规范》(SL 265)、《水闸施工规范》(SL 27)等。

由于抗海水腐蚀混凝土的研究和应用时间均较短,目前尚难在设计阶段对抗海水腐蚀混凝土结构的耐久性及其使用年限做出准确的预测。本标准中的要求只是通常情况下为满足结构安全性、适用性和耐久性的最低要求,设计人员应结合工程及其所处环境的具体特点,如工程的重要性、环境作用的不确定性与不确知性、材料劣化导致结构失效的后果严重性、使用过程中进行维修的可行性等,必要时可采用更为严格的要求。

本标准适用于采用硅酸盐类水泥和普通砂石骨料制作的混凝土建造的普通钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构,不适用于采用非硅酸盐类水泥(如铝酸盐水泥等)或非普通砂石骨料(如轻骨料等)的特种混凝土结构。

对于仅配有构造钢筋的混凝土结构,如设计单位认为钢筋锈蚀后产生的混凝土保护层脱落不会影响结构的安全性、适用性和耐久性,可根据情况决定是否采用抗海水腐蚀混凝土。

为提高标准质量,请各单位在使用过程中,注意总结经验、积累资料,随时将有关的意见和建议反馈给华南理工大学土木与交通学院土木工程系(地址:广州市天河区五山华南理工大学土木与交通学院土木工程系,邮编:510640,联系电话:020-87111568,电子邮件:yangyibo@scut.edu.cn),并抄送广东省水利水运技术研究中心(地址:广州市天河区天寿路116号广东水利大厦广东省水利水运技术研究中心,邮编:510635,联系电话:020-38356420,电子邮件:mychenzc@sina.com),以供今后修订时参考。

2 规范性引用文件

为防止误用旧标准版本,本标准发布时,所引用的标准(含发布年号)如下:

GB175-2007 通用硅酸盐水泥

GB/T 1596-2005 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准

GB 8076-1997 混凝土外加剂

GB/T 18046-2000 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

GB/T 18736-2002 高强高性能混凝土用矿物外加剂

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

3.1.2 抗海水腐蚀混凝土除具有良好的抗氯离子渗透性外,还具有一定的抗硫酸盐、酸雨、废气、废水腐蚀的能力,也适用于上述环境下的普通钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

抗海水腐蚀混凝土的结构设计性能参数,可采用普通混凝土的数值。国内已有的研究表明,在同样强度等级时,抗海水腐蚀混凝土的轴心抗压强度、弹性模量、干燥收缩等性能指标与普通混凝土相近,因此在采用抗海水腐蚀混凝土进行结构设计时,可采用普通混凝土的性能指标。

如有需要，也可结合工程进行专门的实验研究，经分析判断后确定抗海水腐蚀混凝土的结构设计性能参数。

3.1.3 在氯盐环境下，从偏于安全考虑，以结构中钢筋和预应力钢筋（丝）开始锈蚀作为结构使用年限终结的判定依据。

3.1.4 维修包括维护和修理（修复），修理活动不包括大修。

在《水闸技术管理规程》（SL75-94）中对大修的定義是：当工程发生较大损坏或设备老化，修复工程量大，技术较复杂，应有计划进行工程整修或设备更新。在本标准中，仅考虑混凝土结构的大修，即混凝土结构发生较大损坏，结构承载力不足或钢筋锈蚀导致保护层大面积开裂或脱落，修复工程量大，技术较复杂时为大修。

设计使用年限应由业主或用户与设计人员共同确定，并满足有关法规的最低要求；在设计使用年限内，结构应无需进行大修，同时应定期委托有资质的机构进行结构状况的检查，以便为维修提供依据，检查期限宜为 5 年一次。

3.1.5 传统上认为混凝土中只有水泥才是胶凝材料。随着混凝土技术的发展，矿物掺合料在混凝土中的应用日趋广泛，且矿物掺合料能够进行二次水化，对提高混凝土性能有利，故目前通常将水泥和粒化高炉矿渣粉、粉煤灰、硅灰等矿物掺合料总称为胶凝材料，本标准进一步明确了这一概念。胶凝材料中矿物掺合料用量，以其占胶凝材料总量的质量百分比表示。

3.1.6 水胶比是混凝土配合比设计的主要参数。对于混凝土实验室配合比（砂石骨料为基准状态）而言，其中的用水量是指液体外加剂中的水和后添加的水的总和。对于混凝土的施工配合比而言，计算水胶比的用水量还包括砂石骨料中的水。

3.1.11 抗腐蚀附加措施包括混凝土表面涂层和防护面层、混凝土表面硅烷渗涂、环氧涂层钢筋、钢筋阻锈剂、透水衬里模板和阴极保护等技术手段，可根据需要采用其中的一种或几种。

防腐蚀附加措施的使用应满足相应国家标准和行业标准的规定，当采用新材料、新工艺时，应通过鉴定，并有生产性试验应用及对应用效果的评价报告。防腐蚀附加措施是在采用抗海水腐蚀混凝土和增加保护层厚度的技术手段后，仍无法满足结构设计使用年限要求而采用的技术措施。

4 耐久性设计基本规定

4.1 结构的设计使用年限

4.1.1 由于建筑物的使用要求和环境条件不同，结构的设计使用年限应采用不同的级别。

2002 年实施的《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB50068-2001）的 1.0.5 条（强制性条文）明确地将建筑物的设计使用年限分为 4 类：临时性结构（5 年）；易于替换的结构构件（25 年）；普通房屋和构筑物（50 年），纪念性建筑和特别重要的建筑结构（100 年），该标准所采用的设计基准期为 50 年。

1994 年实施的《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》（GB 50199-94）的 1.0.5 条规定：1 级壅水建筑物结构的设计基准期应采用 100 年，其它永久性建筑物结构的设计基准期应采用 50 年，临时建筑物结构的设计基准期应根据预定的使用年限及可能滞后的时间确定。特大工程

壅水建筑物结构的设计基准期应经专门研究确定。因该标准的 1 级和特大工程壅水建筑物结构的设计基准期非 50 年，与（GB 50068-2001）不同，其设计使用年限应进行专门研究确定并经上级主管部门同意。

2005 年修订版《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES 01-2004）3.2 条文规定，城市中的大型建筑物或高层建筑，其结构的设计使用年限不宜低于 70 年。

经综合考虑，拟定表 3.1.1 的结构设计使用年限。对于较为重要的水工建筑物，设计使用年限宜提高一级，如对于重要的 2 级水工建筑物宜采用不小于 100 年的设计使用年限。

当结构使用年限预期会因服务功能的快速变化（如桥梁通行能力的快速增长）而较早终结，或当环境特别严酷，采用较长的使用年限受到技术、经济上的制约时，经与业主议定并经其上级主管部门同意，可按较低的设计使用年限设计，但不宜低于 50 年。对于设计使用寿命不小于 100 年和 70 年的建筑物，如其中某些构件达到相应设计使用年限存在很大困难时，可将其设计为可更换构件，可更换构件的设计使用年限不宜低于 50 年。

对于表中未列的建筑物的结构设计使用年限可由设计单位与业主议定并经其上级主管部门同意。临时建筑物和临时性结构的设计使用年限可根据预定的使用年限及可能滞后的时间确定。

4.1.2 同一结构不同构件所处的环境条件不同，现有的技术条件难以保证结构的所有构件均能达到设计使用年限相同的耐久性，在主体结构的设计使用年限内对个别次要构件进行大修或更换是可能发生的。设计时可根据情况，对不同的构件采用不同的设计使用年限。

4.2 环境条件的分类

4.2.1~4.2.3 为方便设计人员根据环境条件选择适宜的混凝土耐久性指标，将环境作用按其严重程度进行了分类和分级。

在现有规范中，对氯盐环境的分类和分级存在差异。

在《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2002）中，氯盐环境相当于其中规定的三类（使用除冰盐的环境，滨海室外环境，严寒和寒冷地区冬季水位变动的环境）、四类（海水环境）和五类环境（受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境）。

在《水工混凝土结构设计规范》（SL/T 191-96）中，氯盐环境相当于其中规定的三类（水位变动区，或由侵蚀性地下水的地下环境）和四类环境（海水浪溅区及盐雾作用区，潮湿并有严重侵蚀性介质作用的环境）。

在《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTJ 275-2000）中，将海水环境进一步划分为大气区、浪溅区、水位变动区和水下区。

在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES 01-2004）（2005 年修订版）中对其进一步细分，分为近海或海洋环境、除冰盐等其它氯化物环境、盐结晶环境、大气污染环境、土中及地表、地下水中的化学腐蚀环境等类别，其中根据腐蚀程度还进行了分级。

在《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》（铁建设[2005]157 号）和《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTG/T B07-01-2006）中均参考了《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES 01-2004）（2005 年修订版）中的分类和分级方法，并根据具体工程的特点进行了修改。

本标准的环境等级的分类和分级标准主要参考了《水工混凝土结构设计规范》（SL/T

191-96)、《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004)(2005年修订版)、《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275-2000),并根据工程特点进行了修改。

考虑到广东省不存在冻融环境,故删除了冻融和氯盐冻融的环境条件。

对于盐雾作用区,在《水工混凝土结构设计规范》中规定离海岸线 500m 范围内的地区;在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》中规定离平均水位 15m 以上的海上大气区,离涨潮岸线 100m 至 300m 内的陆上环境为轻度盐雾区,离平均水位 15m 以内的海上大气区,离涨潮岸线 100m 内的陆上环境为重度盐雾区。考虑到与现有水工规范的衔接以及全球变暖可能造成的海平面上涨,规定盐雾作用区为离海岸线 500m 范围内的地区,并进一步将其分为轻度盐雾区和重度盐雾区。

考虑到沿海水工建筑物多处于海边或近海的江河附近,地势较为开阔,海风携带的氯离子能够进入较远的距离,且沿海地区经常受到咸潮的影响,故专门列出“其它氯盐环境(无冻融作用)”这一环境类别,处于无冻融作用的距离涨潮岸线 500m 以外的感潮河段的建筑物可按其它氯盐环境(无冻融作用)确定环境作用等级。

使用过程中可能接触到海水、盐雾、氯化物消毒剂等氯盐作用的建筑物构件,如滨海建筑物的构件、滨海停车场的地板(或楼板)、游泳馆中接触氯盐消毒剂的构件、海洋馆中接触海水的构件等,应接近海或海洋环境和其它氯盐环境设计。对于内部存在海水的建筑物中间接触海水的构件,其作用等级应按不低于 C 级设计。

建筑物构件的设计应考虑由于渗漏所造成的局部环境作用。

钢筋混凝土和预应力混凝土结构,应预先测定大气、水和土中可能存在腐蚀性化学物质的浓度,并按第 4.2.2 条规定进行分类处理。

4.3 提高混凝土结构耐久性的措施

4.3.1 同一结构不同构件所处的环境条件不同,而要求结构所有构件达到相同的使用寿命,采用不同的技术措施是必要的。这种情况在水利工程中是常见的,如海边的水闸,泵站等建筑物,其不同构件的环境作用条件可分为水上水下,室内室外,水位变动区等。根据结构部位,抗海水腐蚀混凝土的耐久性还可包括混凝土的抗渗性及抗冲刷性能,其设计可参见《水工混凝土结构设计规范》(SL/T 191-96)、《水闸设计规范》(SL 265-2001)、《水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范》(DL/T 5207-2005)等。临时性结构或临时建筑物的使用年限一般在5年以下,可不提出耐久性要求。

4.3.2 混凝土结构的耐久性涉及面非常广泛,包括结构材料、结构构造措施、施工质量控制和保证等方面,同时结构及其构件的使用年限也可以通过定期的检验鉴定和必要的维修得到延长。混凝土结构耐久性应从建设前期的结构设计、混凝土原材料和配合比的优选、中间实施阶段的施工质量控制和后期的运行管理得到全过程的保证。

4.3.3 本条规定设计人员应在设计文件中明确标明混凝土耐久性设计的基本内容:包括设计、施工控制,运行使用期间的正常维护、检测、修理等方面。

根据工程特点,混凝土的耐久性技术要求应包含最大水胶比、最低强度等级、混凝土中氯

离子含量、保护层最小厚度和名义厚度、混凝土抗氯离子渗透性、抗渗性和抗冲刷性能。对于环境作用等级为 D 级及以上的重要工程，应由工程师和材料工程师共同拟定混凝土的耐久性技术要求。混凝土施工质量合格验收标准的内容可参考本标准第 8 章，应包括检验的种类和合格评定的方法。

对于工程运行使用期间的正常维护、检测、修理可参考《水闸技术管理规程》(SL75-94)、《水闸工程管理设计规范》(SL170-96)和《混凝土坝养护修理规程》(SL 230-98)。除日常养护外，应定期委托有资质的机构进行检查，检查期限宜为 5 年一次；应每 15~20 年对结构进行一次全面的安全鉴定；检查和安全鉴定的内容可参考《水闸技术管理规程》(SL75-94) 第 3.2 节。

进行检查和安全鉴定时，应对结构的环境条件（包括气象条件和工作环境）、混凝土的性能（包括强度、碳化深度、氯离子含量及渗透深度、抗氯离子侵蚀性能等）以及耐久性状况（包括钢筋的锈蚀程度以及预应力体系的状况等）进行跟踪调查和检测。

对于严重腐蚀环境下的混凝土结构，宜在工程现场设置专供检测取样用的构件，构件的尺寸、材料、配筋、成型、养护以及暴露环境条件等应能代表实际结构。必要时，可在结构的代表性部位设置传感元件以检测结构耐久性的发展情况。

4.3.4 混凝土结构的类型与布置方式对混凝土的耐久性会产生较大的影响。合理简洁的结构形式有利于减轻环境作用对结构耐久性的不利影响，有利于施工并保证施工质量，有利于建筑物运行使用期间的检查和维修。

本标准只提出选择结构形式的原则，具体的结构形式可根据工程的实际情况进行设计，或参考《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004) (2005 年修订版)。

4.3.5 提高和保证混凝土结构耐久性的技术措施现阶段可分为二类：基本措施和防腐蚀附加措施。

基本措施包括采用抗海水腐蚀混凝土，提高混凝土自身的密实性和抗渗性，降低氯离子扩散系数；采用优质钢筋，普通钢筋宜采用符合《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》(GB1499.2-2007) 中 HRB400、HRBF400、HRB335 和 HRBF335 级要求的钢筋，预应力钢筋宜采用符合《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224-2003) 和《预应力混凝土用钢丝》(GB/T 5223-2002) 的预应力钢绞线和钢丝；为钢筋提供足够厚度的保护层；减少混凝土表面裂缝的发生等。

防腐蚀附加措施包括采用混凝土表面涂层和防腐蚀面层；选用特殊钢筋，如耐蚀钢筋、不锈钢钢筋、环氧涂层钢筋、合成材料筋等；在混凝土中加入阻锈剂及采用阴极保护措施等。在采用基本措施后仍无法满足混凝土结构设计使用年限时，才考虑采用防腐蚀附加措施。

基本措施和防腐蚀附加措施应按工程的实际情况采用，可参考《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES01-2004 (2005 修订版)) 和《抗氯盐高性能混凝土技术手册》(中国水利水电出版社、知识产权出版社，2006 年 8 月第一版)。

4.4 混凝土耐久性设计要求

4.4.1 钢筋混凝土和预应力混凝土结构的耐久性主要取决于混凝土的密实性以及混凝土保护层厚度，因此表 6 中的混凝土性能指标需与 4.4.6 条中的混凝土保护层厚度相对应。考虑到混凝土的密实性主要取决于水胶比和胶凝材料种类，而胶凝材料的选择还需根据市场情况确定。因

此对于设计人员而言，主要控制指标是水胶比，在此基础上可对胶凝材料种类提出建议。

混凝土的耐久性与强度是不同的概念，用混凝土的强度指标来确定耐久性不是很适合，但考虑到混凝土按耐久性设计时，混凝土实际强度往往超过、甚至大幅超过结构按受力所需要的混凝土强度等级（即不考虑耐久性时所需的混凝土强度等级），为避免混凝土设计强度和实际强度存在过大差异，按水胶比设定了混凝土最小强度等级。

在国内相关规范中规定的混凝土最大水胶比和最低强度等级见条文说明表 1。

条文说明表 1 国内规范中规定的混凝土最大水胶比和最低强度等级

规范名称	设计使用年限	环境类别	对应本标准作用等级	最大水胶比	最低强度等级	
					钢筋混凝土	预应力混凝土
混凝土结构设计规范 (GB 50010-2002)	50 年	三类	C~D	0.50	C30	C40
水工混凝土结构设计规范 (SL/T191-96)	50 年	三类	C~E	0.55	C25	C40
		四类	D~F	0.45	C30	C40
水闸设计规范 (SL 265-2001)	50 年	三类	C~E		C20	
		四类	D~F		C25	
水闸施工规范 (SL 27-91)	50 年	四类	D~F	0.50~0.55		
海港工程混凝土结构防 腐蚀技术规范 (JTJ 275-2000)		大气区	D~E	0.50	C30	C30
		浪溅区	F	0.35~0.40	C40~C45	C40~C45
		水位变动区	E	0.50	C30	C30
		水下区	D~E	0.5~0.6	C25	C25
混凝土结构耐久性设计 与施工指南 (CCES 01-2004) (2005 年修订版) / 公路工程混凝土结构防 腐蚀技术规范 (JTG/T B07-01-2006)	100 年	C	C	0.45	C40	C40
		D	D	0.40	C45	C45
		E	E	0.36	C50	C50
		F	F	0.33/0.32	C55	C55
	50 年	C	C	0.50	C35	C35
		D	D	0.45	C40	C40
		E	E	0.40	C45	C45
		F	F	0.36	C50	C50
铁路混凝土结构耐久性 设计暂行规定 铁建设[2005]157 号	100 年	L1	D	0.45		
		L2	E	0.40		
		L3	F	0.36		
	60 年	L1	D	0.50		
		L2	E	0.45		
		L3	F	0.40		

条文说明表 1 中的最大水胶比取值参考了上述标准以及已有的工程实例，如广东省东里桥闸重建工程、杭州湾大桥工程、东海大桥工程等。考虑到抗海水腐蚀混凝土中矿物掺合料用量较大，故设定水胶比不大于 0.40，并根据设计使用年限的增加和环境条件的恶化，逐渐减小水胶比。

条文说明表 1 中的最低强度等级是根据已有实验得到的不同水胶比下抗海水腐蚀混凝土的较低强度等级来设定的；在设定水胶比下，混凝土的实际强度通常超过表 1 中给出的最低强度等级。考虑到胶凝材料质量及组成变化时，抗海水腐蚀混凝土强度等级有较大幅度的变化，因此表 1 中的最低强度等级仅供设计人员参考，根据施工采用的胶凝材料性能，也可提高 1~4 个强度等级选用。在条件许可的情况下，应在设计前进行专门的混凝土配合比试验研究，以确定对应于特定的原材料和水胶比的混凝土实际强度等级，并按此进行设计。

对于按耐久性设计时混凝土强度较高的问题，在《水工混凝土试验规程》（SL 352-2006）中也有阐述。在附录 A.7.2 条中指出“海水环境混凝土配合比设计应满足设计强度和耐久性要求，并做到经济合理。混凝土配制强度应同时满足设计强度和耐久性要求所决定的强度。耐久性确定的配制强度是指达到耐久性要求的混凝土水灰比所决定的强度”。

在水胶比较低时，骨料最大粒径增大，则混凝土强度有降低的趋势，故规定对于骨料最大粒径大于 40mm 的混凝土，最低强度等级可降低 1 个强度等级选用。

4.4.2 混凝土中氯离子是引起钢筋锈蚀的主要因素，因此应严格限制原材料引入的氯离子数量。在国内相关规范中规定的氯盐环境下混凝土中氯离子含量限值见条文说明表 2。

条文说明表 2 国内规范中规定的混凝土中氯离子含量限值

规范名称	氯离子含量的意义	氯离子含量限值	
		钢筋混凝土	预应力混凝土
混凝土结构设计规范（GB 50010-2002）	水泥用量的百分比	0.1%	0.06%
海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范 （JTJ 275-2000）	水泥用量的百分比	0.1%	0.06%
混凝土结构耐久性设计与施工指南 （CCES 01-2004）（2005 年修订版）	水溶性氯离子，胶凝材料的 百分比	0.1%	0.06%
公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范 （JTG/T B07-01-2006）	水溶性氯离子，胶凝材料的 百分比	0.1%	0.06%
铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定 铁建设[2005]157 号	氯离子总量，胶凝材料的 百分比	0.1%	0.06%

在现有规范中，混凝土中氯离子含量限值是用氯离子与水泥或胶凝材料的比值来表示的，但实际测定时多采用混凝土中的砂浆或混凝土，而混凝土的配合比在很多情况下是未知的，因此本标准改用氯离子与混凝土的比值表示。混凝土中氯离子总含量为混凝土重的 0.015%，相当于每方混凝土质量 2400kg，其中含有 360kg 胶凝材料、氯离子含量为胶凝材料 0.1%时的数值，与现有规范的要求相近。

混凝土有一定的固定氯离子的能力,但这种固定是不稳定的,在某些情况下,被固定的氯离子能够重新被释放出来,因此对氯离子总含量提出了限值。考虑到预应力混凝土中钢筋锈蚀的危害更为严重,故取其限值为钢筋混凝土的60%。

考虑到氯离子总含量测定较为复杂,而以往的研究表明,在同一配比的混凝土,其固定龄期的混凝土中水溶性氯离子含量与氯离子总含量存在较为固定的比例关系。故规定通过实验确定混凝土的氯离子总含量与水溶性氯离子含量的关系后,可采用水溶性氯离子含量控制,水溶性氯离子含量限值为氯离子总含量限值乘以水溶性氯离子含量占氯离子总含量的比例。

从施工控制的角度出发,施工前应根据原材料检测报告和混凝土配合比计算氯离子含量是否符合要求,施工时应定期检测砂子和混凝土拌合物的氯离子含量。砂子和混凝土拌合物中氯离子含量按附录E的方法进行。

在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004)(2005年修订版)6.1.7条中指出,如已检测混凝土各种原材料中的氯离子含量,且其总和不超过上述数值(28天龄期的混凝土中水溶性氯离子量)的1.2倍时,可不再检测混凝土中的氯离子量。当采用酸溶法测定氯离子浓度时,其允许的限制可比上述水溶限值高1/3。以此来计算,以原材料中氯离子含量计算的氯离子量应不超过酸溶性氯离子量(氯离子总量)的90%,混凝土拌合物中氯离子含量(认为等同于水溶性氯离子时)应不超过酸溶性氯离子量(氯离子总量)的75%。

4.4.3 过量的碱可能导致混凝土的碱骨料反应,而碱骨料反应对混凝土结构而言是致命的,且没有好的处理方法。近来的调查研究表明,在广东省内发现了碱活性的粗骨料和细骨料,应特别注意混凝土的碱骨料反应问题。

在海水及盐碱结晶环境中本身就存在碱,如采用碱活性骨料,其危害性更大,因此规定在设计使用寿命为100年的工程中不得使用碱活性骨料。由于抗海水腐蚀混凝土本身具有一定的抗碱骨料反应破坏的能力,考虑到原材料来源问题,当不得不采用碱活性骨料时,允许在设计使用寿命为70年和50年的工程中使用碱活性骨料,但应严格控制原材料带入的碱量。这一碱含量限值与《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002)的规定相一致。

混凝土中碱含量可根据水泥、矿物掺合料、化学外加剂和水中的碱含量和混凝土配合比计算得出。其中,矿物掺合料的碱含量以其所含可溶性碱计算。粉煤灰的可溶性碱量可取其总碱量的1/6,矿渣粉和硅灰的可溶性碱量可取其总碱量的1/2。

4.4.4 为方便混凝土配合比设计和验收,应提出混凝土抗氯离子渗透性指标。

目前国内外混凝土的抗氯离子侵入性能快速试验方法主要是电场法,通过测定混凝土的电量、电阻、电导或者在电场作用下氯离子渗透深度,来评价高性能混凝土的抗氯离子性能。其中最为常用的ASTM C1202快速电量测定方法(简称电量法)和快速电迁移法(国内称RCM法)。在我国《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275-2000)中采用了电量法,在《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)中采用了RCM法,在《水工混凝土试验规程》(SL 352-2006)中同时列出了两种方法,在国标《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(征求意见稿)中同时列出了电量法和RCM法(来自欧洲标准,与前述RCM法有差异)两种方法。

电量法采用直径 100mm, 厚度 50mm 的混凝土圆柱体试件或 100×100×50mm 的长方体试件, 将试件的两端分别置于两种溶液 (其中上游溶液中含有氯离子) 之间并施加 60V 电压, 测定 6h 内通过的电量值, 并用其表征混凝土抗氯离子性能, 当 56d 龄期混凝土电量值小于 1500 库仑时认为其抗氯离子性能优良。这一方法虽然快捷, 但由于施加 60V 的高电压, 易产生极化反应, 对于抗氯离子性能较差的混凝土使溶液温度升高而影响试验结果; 另外电量值还受到混凝土孔溶液化学成分的影响, 而且不能用于混凝土耐久寿命的评估。由于存在上述缺点, 现在有被 RCM 法取代的趋势。

国内 RCM 法采用直径 100mm, 厚度 50mm 的混凝土圆柱体试件, 将试件的两端分别置于两种溶液 (其中上游溶液中含有氯离子) 之间并施加 30V 电压, 在外加电场作用下氯离子快速向混凝土内迁移, 经过若干小时后劈开试件, 喷洒硝酸盐溶液测定氯离子侵入混凝土中的深度, 利用理论公式计算出扩散系数, 并用其表征混凝土抗氯离子性能。这一方法存在如下四个缺点: 一是测试时间较长, 最长达 7d; 二是氯离子侵入混凝土的深度由人工测量, 误差较大; 三是不能用于含氯离子混凝土的测量; 四是需使用大量盐溶液, 每组试验需用约 40L 溶液。

由于采用 RCM 法能够计算出氯离子扩散系数, 因而可以用于混凝土结构耐久性设计, 因此有被国际广泛采用的趋势。在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(2005 修订版) 中就首先推荐使用 RCM 法进行高性能混凝土抗氯离子性能试验。

从测试的角度看, 如果测试时间超过 24h, 那么对于进行试验是非常不方便的。为了进行大量的试验, 需购买多套试验设备, 这一方面增大投资, 另一方面也增加设备占地, 因此适宜的测试时间最好不超过 24h。从测试时间的角度看, RCM 法适宜于试验室研究, 但不适于作为标准检测方法。为达到测试时间不超过 24h 的目的, 就必须对现有 RCM 试验方法进行改进。美国交通部联邦公路管理局网站在 2005 年公布的《高性能混凝土结构设计指南》中就提出了一种改进的 RCM 方法, 采用 RCM 法的试验夹具, 试验时间固定为 18h, 对于初始电流小于 120mA 的混凝土, 试验电压采用 60V。

现有的电量法和 RCM 法 (含改进的电量法和 RCM 法), 均是针对使用较小骨料混凝土设计的, 通常限定骨料最大粒径为 25mm, 不适用于骨料最大粒径为 25mm 以上的混凝土。

为适应骨料最大粒径在 25mm 以上混凝土的检测需求, 华南理工大学土木工程系在电量法和 RCM 法的基础上, 通过实验研究, 提出了附录 C 的电量综合法。

电量综合法的优点如下:

- (1) 可同时得到电量值和氯离子扩散深度 (可换算为氯离子扩散系数), 实验方法较简单, 可替代电量法和 RCM 法两种实验方法;
- (2) 适用于骨料最大粒径为 63mm 的混凝土;
- (3) 测试时间较 RCM 方法大幅缩短, 可在 1d 内完成, 便于大量检测;
- (4) 测试使用的溶液量较 RCM 方法少, 较为环保;
- (5) 测试结果不但包括 18h 电量值, 而且包括氯离子扩散深度, 可利用 NT Build 492 提供的方法, 计算氯离子扩散速度, 预测混凝土耐久寿命;
- (6) 测试结果包括 6h 电量值, 可以与传统的电量法检测数据进行对比。

由于目前电量综合法尚未得到氯离子扩散系数的限定值，故本标准将电量综合法简化（见附录 B），暂以 6h 电量值来衡量混凝土的抗氯离子渗透性能。当需要测量氯离子渗透深度，计算混凝土的氯离子扩散系数时，可参考附录 C 的方法进行。

在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES 01-2004）（2005 年修订版）中规定的混凝土抗氯离子侵入性指标见条文说明表 3。

条文说明表 3 混凝土抗氯离子侵入性指标 单位为库仑

设计使用年限	100 年		50 年	
环境作用等级	D	E	D	E
电量指标（56d 龄期） 库仑	<1200	<800	<1500	<1000

在《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》（铁建设[2005]157 号）中规定的氯盐环境下混凝土的电通量见条文说明表 4。

条文说明表 4 氯盐环境下混凝土抗氯离子侵入性指标 单位为库仑

设计使用年限	100 年		60 年、30 年	
环境作用等级	L1	L2、L3	L1	L2、L3
相当于本标准作用等级	D	E、F	D	E、F
电量指标（56d 龄期） 库仑	<1200	<800	<1500	<1000

在《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTJ 275-2000）中规定，浪溅区的普通混凝土 28d 或 90d 电量值不超过 2000C，高性能混凝土 28d 或 90d 电量值不超过 1000C。

综上所述，现有规范中仅给出了环境作用等级为 D、E 和 F 的指标，但对于 C 级未提出相应指标。考虑到水利水电工程是基础设施，结构的耐久性不足引起的危害较大，故对 C、D、E 和 F 级均提出了电量值限值；其中 C 级和 D 级采用了相同的电量值限值，通过不同的水胶比和保护层最小厚度控制不同的耐久性；E 级和 F 级也采用了相同的电量值限值，通过不同的水胶比和保护层最小厚度控制不同的耐久性，其中 F 级还宜采用混凝土表面涂层和防腐面层、在混凝土中加入阻锈剂或局部采用环氧涂层钢筋等防腐附加措施。

对于骨料最大粒径在 25mm 以上的混凝土，尚未见有相应的试验方法和限值标准，为此专门进行了试验研究。用最大骨料粒径为 25mm 的混凝土，制备了不同尺寸的混凝土试件，并按附录 B 的方法进行了不同试样尺寸的混凝土 6h 电量值试验，得出了试样尺寸对混凝土电量值的影响；再进行以同样胶凝材料组成和水胶比、但混凝土最大骨料粒径为 40mm 和 63mm 的混凝土电量值实验，得到骨料最大粒径改变对电量值的影响。

综合上述试验结果，得到了采用不同大小试样时，最大骨料粒径为 40mm 和 63mm 的混凝土电量值与最大骨料粒径为 25mm 的混凝土电量值的关系，并按最大骨料粒径为 25mm 的混凝土电量限值推导出条文说明表 5 中的最大骨料粒径为 40mm 和 63mm 的混凝土 6h 电量限值。

由条文说明表 5 可见，对于不同骨料最大粒径的混凝土，其 6h 电量值差异不大，为使用方便，取其中较小的值，作为判定依据，列于正文表 8。当混凝土采用最大粒径为 80mm 的骨料时，可采用和最大粒径为 63mm 骨料相同的方法和指标。

条文说明表 5 混凝土抗氯离子渗透性指标（6h 电量值）

单位为库仑

设计使用年限	100 年		70 年		50 年	
环境作用等级	C、D	E、F	C、D	E、F	C、D	E、F
骨料最大粒径不大于 25mm	<1000	<800	<1200	<800	<1500	<1000
骨料最大粒径不大于 40mm	<950	<800	<1100	<800	<1350	<950
骨料最大粒径不大于 63mm	<950	<800	<1100	<800	<1400	<950

混凝土的通电时间越长，则氯离子渗透深度越大。对于抗海水腐蚀混凝土而言，其通电 6h 后混凝土的氯离子渗透深度通常不足 5mm，有些甚至不足 1mm，测量较为困难，测量误差较大。为了得到较高的氯离子渗透深度，以方便氯离子渗透深度测量和耐久寿命预测，故电量综合法采用了通电 18h 的测试制度，采用这一方法时，混凝土中氯离子渗透深度通常在 5mm 以上，便于测量。这一通电电压与通电时间也与美国交通部联邦公路管理局网站在 2005 年公布的《高性能混凝土结构设计指南》中提出的改进 RCM 方法的通电电压和时间相同。

电量综合法的测试数据由电量值和氯离子渗透深度（可换算为氯离子扩散系数）组成。由于电量值是仪器测定，受人为影响小，而氯离子渗透深度由人工测定，人为因素影响较大，故电量综合法以电量值和氯离子渗透深度为判定依据。由于目前的电量法采用 6h 电量值为判断依据，为与现有方法接轨，实验结果应同时给出 6h 和 18h 电量值。

4.4.5 对于混凝土的抗渗性，传统上采用混凝土抵抗压力水渗透的能力——抗渗标号来表示的。实践证明，抗海水腐蚀混凝土的抗渗性能较高，通常抗渗等级均能达到 W20 及以上的水平，采用抗渗等级难以评判混凝土抗渗性的大小，因此混凝土的抗渗性有采用电测法（如电量法等）进行的趋势。

考虑到水利水电工程中有部分水下工程，为了与现有规范的对接，本标准保留了混凝土的抗渗等级要求。为方便使用，下面列出了部分我国现行规范中对混凝土抗渗等级的要求。

《水工混凝土结构设计规范》（SL/T191-96）中混凝土抗渗等级最小值见条文说明表 6。

条文说明表 6 混凝土抗渗等级的最小允许值

项次	结构类型及运用条件		抗渗等级
1	大体积混凝土结构的下游面及建筑物内部		W2
2	大体积混凝土结构的挡水面	H<30	W4
		H=30~70	W6
		H=70~150	W8
		H>150	W10
3	素混凝土及钢筋混凝土结构构件其背水面能自由渗水者	$i < 10$	W4
		$i = 10 \sim 30$	W6
		$I = 30 \sim 50$	W8
		$i > 50$	W10

条文说明表 6 中 H 为水头（m）， i 为水力梯度；当结构表面设有专门可靠的防渗层时，表

中规定的混凝土抗渗等级可适当降低；对于承受侵蚀水作用的结构，混凝土抗渗等级应进行专门的试验研究，但不得低于 W4；埋置于地基中的结构构件（如基础防渗墙等），可按表中第 3 项的规定选择混凝土抗渗等级；对背水面能自由渗水的素混凝土及钢筋混凝土结构构件，当水头小于 10m 时，其混凝土抗渗等级可根据表中第 3 项降低一级。

《水闸设计规范》（SL 265-2001）中规定：混凝土的抗渗等级应根据所承受的水头、水力梯度、水质条件及渗流水的危害程度等情况确定。但防渗段水力梯度小于 10 的混凝土抗渗等级不得低于 W4，水力梯度等于或大于 10 的混凝土抗渗等级不得低于 W6，寒冷和严寒地区水闸防渗段水力梯度小于 10 和等于或大于 10 的混凝土抗渗等级应分别不低于 W6 和 W8。

《水运工程混凝土施工规范》（JTJ 268-96）中规定的混凝土抗渗等级标准见条文说明表 7。

条文说明表 7 混凝土抗渗等级选定标准

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	W4	15~20	W10
5~10	W6	>20	W12
10~15	W8	——	——

4.4.6 对于氯盐环境下建筑物的耐久寿命，通常采用 Fick 模型进行模拟。在 Fick 模型中，如果考虑氯离子扩散系数为定值，则建筑物使用寿命与保护层厚度的平方成正比；但扩散系数实际上会随着年限增长而降低，这时增加混凝土保护层厚度对延长建筑物使用寿命的贡献将更为显著，因此应保证有足够的混凝土保护层厚度。

为保证混凝土结构的耐久性，我国相关规范中均规定了混凝土保护层最小厚度。

《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2002）中规定，设计使用寿命为 50 年的结构，在三类环境下，纵向受力的普通钢筋及预应力钢筋的混凝土保护层最小厚度（钢筋外边缘至混凝土表面的距离）不应小于钢筋的公称直径；对于板、墙、壳，混凝土强度为 C25~C45 时不小于 30mm，大于等于 C50 时不小于 25mm，分布钢筋的保护层厚度可减少 10mm；对于梁、柱，混凝土强度为 C25~C45 时不小于 40mm，大于等于 C50 时不小于 35mm，箍筋和构造钢筋的保护层厚度不应小于 15mm。

《水工混凝土结构设计规范》（SL/T191-96）中规定，设计使用寿命为 50 年的结构，纵向受力的普通钢筋及预应力钢筋的混凝土保护层最小厚度（钢筋外边缘至混凝土表面的距离）不应小于钢筋的公称直径，不宜小于粗骨料最大粒径的 1.25 倍；在三类环境下，板、墙的保护层厚度不小于 30mm，梁、柱、墩的保护层厚度不小于 45mm，截面不小于 3m 的底板和墩墙保护层厚度不小于 50mm；在四类环境下，板、墙的保护层厚度不小于 45mm，梁、柱、墩的保护层厚度不小于 55mm，截面不小于 3m 的底板和墩墙保护层厚度不小于 60mm；直接与基土接触的结构底层和有抗冲磨要求的结构面层，保护层厚度应适当增大；强度等级不低于 C20 且浇注质量有保证的预制构件或薄板，保护层厚度可减少 5mm；钢筋表面涂覆或结构外表面敷设永久性涂料或面层时，保护层厚度可适当减小。

《水闸施工规范》（SL 27-91）中规定，设计使用寿命为 50 年的结构，钢筋的保护层厚度应

按条文说明表 8 的规定采用。

条文说明表 8 钢筋的混凝土保护层最小厚度 单位为毫米

部位	构件名称			保护层厚度
水下部位	底板	底层	土层	70
	消力池		混凝土垫层	50
	铺盖等	面层		50
水位变动区	墩、墙			50
	薄壁墙（厚度小于 60cm）			35
水上部位	桥面板			20
	梁、柱			35

条文说明表 8 中保护层厚度是指钢筋外边至构件外表的尺寸，当箍筋直径超过 6mm 时，应加上超过的数值；有较高抗冻、抗冲磨要求，或经常受海水、盐雾影响的构件或部位，其保护层厚度应按表列数字增加 10~15mm；经常露出水面的地板、铺盖等部位，其保护层厚度应酌量增加。

《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275-2000)和《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96) 中规定的海水环境下钢筋混凝土保护层最小厚度见条文说明表 9，预应力混凝土保护层最小厚度见条文说明表 10。

条文说明表 9 海水环境下钢筋混凝土保护层最小厚度 单位为毫米

所处地区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
南方	50	65	50	30

条文说明表 9 中保护层厚度是指主筋表面与混凝土表面的距离；当箍筋直径超过 6mm 时，保护层厚度应增加 5mm；位于浪溅区的码头面板、桩等细薄构件的混凝土保护层可取 50mm。

条文说明表 10 海水环境下预应力混凝土保护层最小厚度 单位为毫米

构件厚度	构件所处部位			
	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
≥500mm	75	90	75	75
<500mm	取 50mm 和 2.5 倍预应力筋直径的较大值			

条文说明表 10 中构件厚度是指规定保护层最小厚度方向上的构件尺寸；后张法预应力筋保护层厚度是指预留孔道壁面至构件表面的最小距离；采用特殊工艺制作的构件，经充分技术论证，对钢筋的防腐蚀作用确有保证时，保护层厚度可适当减小；有效预应力小于 400MPa 的预应力筋的保护层厚度，按条文说明表 3.4.6-2 执行，但不宜小于 1.5 倍主筋直径。

封闭预应力锚具的混凝土质量应高于构件本体混凝土，其水胶比不应大于 0.4，其厚度应大于 90mm。

《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006) 和《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004)（2005 年修订版）中规定的钢筋（包括主筋、箍筋和分布筋）的

混凝土保护层厚度（钢筋外缘至混凝土表面的距离）不应小于条文说明表 11 规定的保护层最小厚度与施工允许误差之和。

条文说明表 11 混凝土保护层最小厚度

单位为毫米

环境作用等级		C	D	E	F
板、墙等面形构件	设计使用年限 50 年	30	40	45	50
	设计使用年限 100 年	40	45	50	55
梁、柱等条形构件	设计使用年限 50 年	35	45	50	55
	设计使用年限 100 年	45	50	55	60

条文说明表 11 中混凝土保护层厚度与条文说明表 1 中混凝土最低质量要求和不同环境类别下胶凝材料的选用范围相对应，如采用的水胶比较小或混凝土强度较高，可减小保护层厚度不超过 5mm；保护层厚度不小于钢筋的直径；直接接触土体浇注的混凝土保护层厚度不应小于 70mm；处于流动水中或同时受水中泥砂冲刷侵蚀的构件保护层厚度应适量增加 10~20mm；钢筋混凝土的保护层厚度尚应满足与混凝土骨料最大粒径相匹配的最低要求；保护层厚度必须加上施工允许误差（现浇混凝土构件一般为 10mm，如能严格保障时取 5mm，预制件为 0~5mm）。

预应力钢筋混凝土的保护层厚度，一般不应小于预应力钢筋保护层最小厚度与保护层施工允许误差之和。后张预应力钢筋的保护层厚度为孔道管（或护套）外缘至混凝土表面的距离，当预应力钢筋的孔道管或护套具有可靠的密封和防锈性能时，保护层最小厚度可与普通钢筋相同（条文说明表 11），否则应增加 10mm。先张预应力钢筋的保护层最小厚度应比普通钢筋的保护层厚度大 10mm。预应力钢筋的保护层施工允许误差可与普通钢筋相同。

在盐类腐蚀环境下，预应力筋的封端混凝土的保护层厚度不应小于 90mm，并加塑料密封罩。

《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》（铁建设[2005]157 号）中规定，氯盐环境下离混凝土表面最近的普通钢筋（包括主筋、箍筋和分布筋）的混凝土保护层厚度（钢筋外缘至混凝土表面的距离）应不小于条文说明表 12 规定的最小厚度与混凝土保护层厚度施工允许偏差负值之和。

条文说明表 12 普通钢筋的混凝土保护层最小厚度

单位为毫米

结构类别	设计使用年限	L1	L2	L3
桥梁涵洞	100 年	45	50	60
隧道衬砌	100 年	40	45	55
路基支挡	60 年	30	40	50
	100 年	40	45	55

条文说明表 12 中混凝土保护层厚度与条文说明表 1 中混凝土配合比参数限值相匹配，如采用的水胶比比规定值小 0.1 及以上时，可减小保护层厚度不超过 10mm；保护层厚度不得小于钢筋的直径；直接接触土体浇注的基础结构，保护层最小厚度不应小于 70mm。

预应力钢筋的混凝土保护层厚度与普通钢筋的混凝土保护层厚度相同。无密封套管（或导

管、孔道管)的预应力钢筋的混凝土保护层厚度应比普通钢筋的混凝土保护层厚度大 10mm。
后张预应力金属管外缘至混凝土表面的距离,在结构的顶面和侧面不应小于 1 倍管道直径,在结构底面不应小于 60mm。

《水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范》(DL / T 5207-2005)规定, 水流流速小于 40m/s 时, 抗冲磨混凝土钢筋保护层厚度不得小于 100mm。

考虑到钢筋锈蚀是导致氯盐环境下混凝土结构破坏的主要因素, 应保证所有钢筋都具有足够的混凝土保护层厚度, 因此混凝土保护层厚度应以离混凝土表面最近的普通钢筋(包括主筋、箍筋和分布筋)的混凝土保护层厚度(钢筋外缘至混凝土表面的距离)为准, 并考虑保护层厚度施工允许偏差。为区别起见, 以不考虑施工允许偏差的保护层厚度为保护层最小厚度, 以考虑施工允许偏差的保护层厚度为保护层名义厚度。

考虑保护层施工允许偏差为 10mm, 箍筋直径为 5mm, 则上述各规范中离混凝土表面最近的普通钢筋(包括主筋、箍筋和分布筋)的混凝土保护层最小厚度(钢筋外缘至混凝土表面的距离)汇总见条文说明表 13。

条文说明表 13 钢筋混凝土保护层最小厚度 单位为毫米

规范名称	设计使用年限	环境类别	对应本导则作用等级	保护层最小厚度			
				普通钢筋		预应力筋	
				板、墙等	梁、柱等	板、墙等	梁、柱等
混凝土结构设计规范 (GB 50010-2002)	50 年	三类	C~D	10~15	20~25	10~15	20~25
水工混凝土结构设计规范 (SL/T191-96)	50 年	三类	C~E	15	30		
		四类	D~F	30	40		
水闸施工规范 (SL 27-91)	50 年	四类	D~E	20	35~50		
			F	35	50		
海港工程混凝土结构防腐 蚀技术规范 (JTJ 275-2000)		大气区	D~E	40		65	
		浪溅区	F	55		80	
		水位变动区	E	40		65	
		水下区	D~E	20		65	
混凝土结构耐久性设计与 施工指南 (CCES 01-2004)(2005 年修订版) 公路工程混凝土结构防腐 蚀技术规范 (JTG/T B07-01-2006)	100 年	C	C	40	45	50	55
		D	D	45	50	55	60
		E	E	50	55	60	65
		F	F	55	60	65	70
	50 年	C	C	30	35	40	45
		D	D	40	45	50	55
		E	E	45	50	55	60
		F	F	50	55	60	65

条文说明表 13 (续)

规范名称	设计使用年限	环境类别	对应本导则作用等级	保护层最小厚度			
				普通钢筋		预应力筋	
				板、墙等	梁、柱等	板、墙等	梁、柱等
铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定 铁建设[2005]157号	100年	L1	D	40~45		50~55	
		L2	E	45~50		55~60	
		L3	F	55~60		65~70	
	60年	L1	D	30		40	
		L2	E	40		50	
		L3	F	50		60	

参考现行规范混凝土保护层最小厚度的规定，从保证耐久性考虑，制定了本标准的保护层最小厚度。

4.4.7 为了避免施工误差导致混凝土保护层实际厚度的降低，应将施工允差计算在保护层名义厚度中，并在图纸上标注保护层名义厚度，而非保护层最小厚度。在设计文件中应同时标注保护层最小厚度，并以其进行工程质量验收。

4.4.8 裂缝是导致钢筋锈蚀的重要因素，因此在我国现行规范中均规定了腐蚀性环境下构件的裂缝控制等级（其中一级为严格要求不出现裂缝）及最大裂缝宽度限值，详见条文说明表 14。

条文说明表 14 国内规范中规定的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值

规范名称	环境类别	对应本标准作用等级	钢筋混凝土结构	预应力混凝土结构
			最大裂缝宽度	裂缝控制等级
混凝土结构设计规范 (GB 50010-2002)	三类	C~D	0.2 mm	一级
水工混凝土结构设计规范 (SL/T191-96)	三类	C~E	短期组合为 0.25 mm 长期组合为 0.20 mm	钢绞线及钢丝为一级
	四类	D~F	短期组合为 0.15 mm 长期组合为 0.10 mm	一级
水闸设计规范 (SL 265-2001)	三类	C~E	0.15 mm	
	四类	D~F	0.10 mm	
港口工程混凝土结构设计规范 (JTJ 267-1998) (海水港部分)	大气区	D~E	0.20mm	钢绞线及钢丝为二级
	浪溅区	F	0.20mm	一级
	水位变动区	E	0.25mm	钢绞线及钢丝为二级
	水下区	D~E	0.30mm	钢绞线及钢丝为二级
铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范 (TB 10002.3-2005)	长期处于水下或潮湿的土壤	C~D	0.20mm	一级
	水位变动区	E~F	0.15mm	一级

条文说明表 14 （续）

规范名称	环境类别	对应本标准作用等级	钢筋混凝土结构	预应力混凝土结构
			最大裂缝宽度	裂缝控制等级
混凝土结构耐久性设计与施工指南 (CCES 01-2004) (2005 年修订版)	C	C	0.20mm	0.1mm
	D	D	0.20mm	二级
	E	E	0.15mm	一级
	F	F	0.10mm	一级
公路工程混凝土结构防腐技术规范 (JTG/T B07-01-2006)	D	D	0.2mm	部分预应力 A 类控制
	E	E	0.15mm	全预应力类控制
	F	F	0.1mm	全预应力类控制

本标准主要参考《水工混凝土结构设计规范》和《水闸设计规范》制定了裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值。

考虑到增加混凝土保护层厚度以后，受弯构件在同样荷载作用下的表面横向裂缝宽度将增大，但就防止裂缝截面上的钢筋发生锈蚀而言，增加保护层厚度仍然有利，因此规定混凝土保护层名义厚度大于 50mm 时，裂缝宽度可增加 0.05mm。

在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（2005 修订版）和《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》（铁建设[2005]157 号）均规定：当进行裂缝宽度计算时，如对裂缝的表面宽度并无外观上的特殊要求，当保护层名义厚度超过 30mm 时，可将保护层厚度的计算值取为 30mm。考虑到在本标准使用范围内，混凝土保护层最小厚度为 35mm，相应的保护层名义厚度为 40～45mm，故规定当进行裂缝宽度计算时，如对裂缝的表面宽度并无外观上的特殊要求，可将保护层厚度的计算值取为 30mm。

5 混凝土材料要求

5.1 水泥

5.1.1 立窑水泥由于受到生产工艺的制约，其质量稳定性较差，易存在安定性不良的问题，故规定不应使用立窑水泥。

5.1.2 P-I 型硅酸盐水泥中不含有混合材料，P-II 型硅酸盐水泥中含有不超过 5%的粒化高炉矿渣或石灰石，其它通用水泥中均掺有较多的混合材料，使用单位往往对其它通用水泥中混合材料的质量和掺量并不清楚。为了有效控制抗海水腐蚀混凝土的质量，当采用水泥和矿物掺合料复掺方式时，优先选用硅酸盐水泥。

5.1.3 其它水泥包括两个类型，一是在水泥厂按混凝土耐久性要求制造的具有较高抗氯离子性能的专用水泥；二是目前有相关标准的其它硅酸盐类水泥，如 B 型矿渣硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥等。

采用硅酸盐水泥和一种或两种矿物掺合料复掺的方法生产抗海水腐蚀混凝土时，其大面积推广应用存在如下四个障碍。

(1) 原材料关。配制抗海水腐蚀混凝土需要高质量的粉煤灰和矿渣粉等矿物掺合料，但符合要求的矿物掺合料市场上并非随处可得。这会导致三种情况，一是使用劣质矿物掺合料，从而影响工程质量；二是采用外运优质矿物掺合料，从而导致工程造价增加；三是放弃使用抗海水腐蚀混凝土，导致混凝土的使用寿命降低。

(2) 技术关。由于各地的水泥和矿物掺合料等原材料质量存在差异，至少需 6 个月的时间来进行原材料相容性研究以及混凝土原材料和配合比优选。这一方面增加工程造价，另一方面费时较多，难以满足工程进度需要。

(3) 经济关。由于配制抗海水腐蚀混凝土需采用多种原材料，相应地必须增加搅拌站的储料罐数目和计量装置数量，为保证混凝土拌和均匀，抗海水腐蚀混凝土的搅拌时间须较胶凝材料仅为水泥的混凝土延长 60s 以上。这就使得抗海水腐蚀混凝土的制作成本较高。

(4) 质量关。由于工地现场狭小，矿物掺合料质量保证问题难以解决；而且由于矿物掺合料和水泥通常存在差价，也难以杜绝施工单位为降低混凝土生产成本而私自改变混凝土配合比的现象，这就很难保证抗海水腐蚀混凝土的质量。

为解决上述问题，目前也有少量的厂家在工厂预制复合矿物掺合料，然后到工地现场和水泥、砂石、化学外加剂等原材料共同搅拌制备抗海水腐蚀混凝土。这种抗海水腐蚀混凝土制备方式较工地现场复配复合矿物掺合料的方法有了一定进步，但仍未从根本上解决上述问题。

而直接采用按混凝土耐久性要求制造的具有较高抗氯离子性能的专用水泥则能有效解决上述问题，采用这种方式的优点如下。

(1) 水泥厂对当地原材料情况比较清楚，可以选择质量优良的当地原材料，通过多种原材料的合理搭配来制备水泥，使水泥具有较高的抗氯离子渗透性；此外，水泥厂具有良好的原材料均化能力以及质量控制体系，水泥的质量稳定。

(2) 通过水泥厂生产水泥的方式，可以解决水泥和矿物掺合料以及化学外加剂的相容性问题，而且用专用水泥配制抗海水腐蚀混凝土也非常简单，只须按照水泥厂提供的参考配合比，进行混凝土配合比的微调即可配制出抗海水腐蚀混凝土，省时省力。

(3) 水泥厂通过大规模采购以及充分利用当地原材料，可以降低胶凝材料的成本。由于采用单一的专用水泥，搅拌站设备可以简化，从而降低混凝土的制备成本。

鉴于按混凝土耐久性要求制造的具有较高抗氯离子性能的专用水泥在生产时已经针对混凝土的抗氯离子渗透性进行了组分优化，用其进行抗海水腐蚀混凝土配合比设计和施工时较硅酸盐水泥和矿物掺合料复掺的方法简便，混凝土质量容易保证，且成本较低。对于重点工程及大中型工程项目，宜优先选用此类水泥。

由于此类水泥的需求量较少，目前此类水泥的生产多是依托大中型工程进行，但此类水泥较硅酸盐水泥复掺矿物掺合料的方式具有技术和经济方面的优势，是一种非常有前途的新材料，故将其列为抗海水腐蚀混凝土的原材料之一，以推进其生产和应用，也为大面积推广抗海水腐蚀混凝土奠定基础。

按混凝土耐久性要求制造的具有较高抗氯离子性能的专用水泥性能除满足现有水泥标准的要求外，还应具有较高的抗氯离子性能，其抗氯离子性能的评价可采用附录 B 提供的方法，用

56d 龄期的混凝土 6h 电量值表征。试验用混凝土原材料为：专用水泥、中砂、5~25mm 花岗岩碎石、高效减水剂、自来水。试验用混凝土配合比为：水泥 410kg/m³、砂 660kg/m³、石 1180kg/m³、水 148kg/m³，掺加适量高效减水剂调整混凝土坍落度为 40~60mm。

对于目前有标准的其它硅酸盐类水泥，由于现有水泥标准中主要以强度为评定依据，没有耐久性要求，故要求在采用其它水泥时，用其配制的混凝土应满足耐久性要求。由于在现有水泥标准中，水泥中采用的混合材料质量通常较混凝土用矿物掺合料低（如水泥中粉煤灰的烧失量限值为 8%，而本标准要求采用的粉煤灰矿物掺合料烧失量限值为 5%等），且混合材料品种和掺量繁杂，故在采用这些品种的水泥时，应特别注意混凝土的耐久性是否能满足要求。考虑到施工质量控制，不宜采用这些品种的水泥；如因条件限制，不得不采用此类水泥时，宜采用 B 型矿渣硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥。

5.2 矿物掺合料

5.2.1 矿渣微粉的细度与其活性关系密切。矿渣微粉越细，则活性越高，故规定了比表面积的下限。

5.2.3 一般来说，粉煤灰的烧失量越大，则混凝土的需水量越大，故应严格限制粉煤灰中的烧失量。II 级粉煤灰的质量波动较大，应优先选用 I 级粉煤灰。

5.2.4 国内外现有的研究表明，掺加矿渣微粉、硅灰和粉煤灰能够有效提高混凝土的抗氯离子渗透性，而其它种类的矿物掺合料研究较少，故规定使用其它种类的矿物掺合料时，用其配制的混凝土性能应满足耐久性要求。

由于使用单位难以知晓复合矿物掺合料的确切组成，给混凝土配合比设计和质量控制带来困难，故规定使用复合矿物掺合料时，用其配制的混凝土性能应满足耐久性要求。

5.3 混凝土外加剂

5.3.1 现行的混凝土外加剂标准中，质量评定采用基准水泥，而基准水泥性能与工程中采用的水泥不同，用基准水泥检测可能出现检测指标很好，但工程应用并不理想的情况，因此要求选择外加剂时，应进行与已选定的混凝土其它原材料的适应性实验。

5.3.3 抗海水腐蚀混凝土的水胶比较低，故需采用较高减水率的高效减水剂。根据建设部 2004 年 218 号公告《建设部推广应用和限制禁止使用技术》中的要求，提出减水剂的减水率不低于 23% 的要求。

在《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》（铁建设[2005]160 号）中规定，减水剂的减水率应不小于 20%。本标准的要求和上述铁路混凝土标准一致。

5.4 细骨料

5.4.1~5.4.2 对于细骨料，我国存在不同的检验标准，除《建筑用砂》（GB/T14684-2001）外，还有《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52-2006）、《公路工程集料试验规程》（JTG E42-2005）、《水工混凝土试验规程》（SL352-2006）、《水工混凝土砂石骨料试验规程》（DL/T 5151-2001）等规范。

在不同的规范中采用了不同的细骨料检验标准，如《水工混凝土施工规范》（DL/T 5144-2001）中采用了《水工混凝土砂石骨料试验规程》（DL/T 5151-2001），而在《水闸施工规

范》(SL 27-91)中则采用了《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》(JGJ 52)。

对于细骨料的质量,在《建筑用砂》(GB/T14684-2001)、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006)、《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)、《水闸施工规范》(SL 27-91)、《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96)、《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)等规范中均有规定,在不同的规范中对细骨料质量的要求存在差异。

考虑到实际工程会按照相应的行业标准选择细骨料的质量要求,因此本标准仅对关系混凝土耐久性的重要指标(含泥量、氯离子含量和级配)提出了要求,其它指标按相关标准执行。

本标准提及的含泥量指标与《建筑用砂》(GB/T14684-2001)、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006)、《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)、《水闸施工规范》(SL 27-91)、《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96)基本一致,较《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)略微宽松;干湿交替环境下的含泥量指标与《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004)(2005年修订版)一致。

5.4.3 海砂中存在数量不等的氯离子,因此限定钢筋混凝土中不应使用未经冲洗处理的海砂。在专门工厂中对海砂进行筛分和冲洗处理,可使得海砂的氯离子含量降到砂干重的 0.02%以下,可将其用于一般工程中。考虑到氯离子危害的严重性以及海砂冲洗处理质量的稳定性,在预应力混凝土和设计使用寿命 100 年的钢筋混凝土中不应使用海砂。

5.4.4 骨料碱活性的检测和判别仍是目前研究的一个课题,为保证工程质量,在检验骨料碱活性时,至少应进行岩相法和砂浆棒快速法(对碳酸盐骨料为碳酸盐骨料的碱活性检验方法)检验,必要时应进行混凝土棱柱体法检验。

5.5 粗骨料

5.5.1~5.5.2 对于粗骨料,我国也存在不同的检验标准,除《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685-2001)外,还有《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006)、《公路工程集料试验规程》(JTG E42-2005)、《水工混凝土试验规程》(SL352-2006)、《水工混凝土砂石骨料试验规程》(DL/T 5151-2001)等规范。

在不同的规范中采用了不同的粗骨料检验标准,如《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)中采用了《水工混凝土砂石骨料试验规程》(DL/T 5151-2001),而在《水闸施工规范》(SL 27-91)中则采用了《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》(JGJ 53)。

对于粗骨料的质量,在《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685-2001)、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006)、《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)、《水闸施工规范》(SL 27-91)、《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96)、《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)等规范中均有规定,在不同的规范中对粗骨料质量的要求存在差异。

考虑到实际工程会按照相应的行业标准选择细骨料的质量要求,因此本标准仅对关系混凝土耐久性的重要指标(含泥量、压碎指标、吸水率、针片状颗粒含量和级配)提出了要求,其它指标按相关标准执行。

骨料的含泥量、泥块含量、有害物质、坚固性、压碎指标、粒形和含水率都是影响混凝土

质量的重要因素，以往对骨料的含泥量、泥块含量、有害物质、坚固性和压碎指标等指标关心较多，而对颗粒级配、粒形和吸水率则较少关注。实际上，骨料的颗粒级配、粒形和吸水率对混凝土的工作性和耐久性影响非常大。

本标准提及的含泥量指标与《建筑用砂》(GB/T14684-2001)、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006)、《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)、《水闸施工规范》(SL 27-91)、《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96)基本一致，较《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)略微宽松；干湿交替环境下的含泥量指标与《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004)(2005年修订版)一致。

本标准提及的压碎指标较《建筑用砂》(GB/T14684-2001)、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006)、《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)、《水闸施工规范》(SL 27-91)、《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96)、《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)严格；较《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004)(2005年修订版)的为7%宽松；与《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)一致。

骨料的吸水率过大，则表明骨料的密实性差，影响混凝土的耐久性，故限制骨料吸水率小于2.0%，这与《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)和《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)的规定相一致，较《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)和《水闸施工规范》(SL 27-91)的规定(为2.5%)略严格。在《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)中还规定，在严重环境作用下的混凝土，不宜采用抗渗透性较差的岩质作为粗骨料，考虑到抗渗性较差的骨料，其吸水率通常较大，故未将其列入条文。

骨料的粒形不好，针片状颗粒较多时，也会增加混凝土中胶凝材料用量，从而增加混凝土开裂的倾向，故限制其含量应小于15%，宜小于7%，这与《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)、《水闸施工规范》(SL 27-91)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275-2000)的规定(为15%)一致，处于《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685-2001)规定的Ⅰ级(为5%)和Ⅱ级(为15%)之间，较《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)(为7%)、《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)的规定(不同强度等级分别为8%和10%)宽松。

骨料的颗粒级配不好，空隙率较大，会增加混凝土中胶凝材料用量，从而增加混凝土开裂的可能性，故规定其颗粒级配应满足要求。在《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)和《水闸施工规范》(SL 27-91)中均规定了超径和逊径的指标(以原孔筛检验时，超径小于5%，逊径小于10%)，这一规定较《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685-2001)和《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006)中的大多数颗粒级配要严格，故沿袭了这一规定。本标准中的粗骨料超径、逊径分别是指粗骨料中粒径大于和小于骨料公称粒径对应的方孔筛筛孔尺寸的数量。如对于公称粒径为20~40mm的粗骨料，筛分结果中超过37.5mm的称为超径，小于19.0mm的称为逊径。符合上述要求的粗骨料的颗粒级配要求见条文说明表15。

条文说明表 15 本标准的粗骨料颗粒级配要求

级配情况	公称粒径 (mm)	累计筛余 (按质量计, %)											
		筛孔尺寸 (方孔筛, mm)											
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0	90
连续粒级	5~10	95~100	90~100	0~5	0								
	5~16	95~100	90~100	30~60	0~5	0							
	5~20	95~100	90~100	40~80	—	0~5	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	95~100	75~90	—	30~60	—	—	0~5	0			
单粒粒级	10~20		95~100	90~100		0~5	0						
	16~31.5		95~100		90~100			0~5	0				
	20~40			95~100		90~100			0~5	0			
	31.5~63				95~100			90~100	45~75		0~5	0	
	40~80					95~100			90~100		30~60	0~5	0

5.5.3 为保证混凝土能够顺利浇注,我国现行规范中均对粗骨料最大粒径做了限制,但不同规范的规定有所不同,各规范的规定详见条文说明表 16。

条文说明表 16 我国规范中规定的粗骨料最大粒径

规范名称	粗骨料最大粒径限值		
	不应超过钢筋 净间距的	不应超过构件断面最 小边长的	其它限制
混凝土结构工程施工质量验收规范(GB 50204-2002)	3/4	1/4	对混凝土实心板,不宜超过板厚的 1/3,且不得超过 40mm。
海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范 (JTJ 275-2000)	3/4	1/4	浪溅区,不大于保护层厚度的 2/3;当浪溅区保护层厚度为 50mm 时及在其它区,不大于保护层厚度的 4/5。
水运工程混凝土施工规范 (JTJ 268-96)	3/4	1/4	不应大于 80mm。当保护层厚度为 50mm,不应大于保护层厚度的 4/5。南方浪溅区不应大于保护层厚度的 2/3。
混凝土结构耐久性设计与施工指南 (CCES 01-2004) (2005 年修订版)			在氯盐和其它化学腐蚀环境下,最大公称粒径不应大于保护层厚度的 1/2。
公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范 (JTG/T B07-01-2006)			不宜超过 25mm (大体积混凝土除外),且不得超过保护层厚度的 2/3。

条文说明表 16 （续）

规范名称	粗骨料最大粒径限值		
	不应超过钢筋 净间距的	不应超过构件断面最 小边长的	其它限制
铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定 铁建设[2005]157 号	3/4		不宜超过保护层厚度的 2/3，严重作用环境下不宜超过保护层厚度的 1/2。C50 及以上强度等级混凝土，不应超过 25mm。
水工混凝土施工规范 (DL/T 5144-2001)	2/3	1/4	
水闸施工规范 (SL 27-91)	3/4	1/4	不宜大于 80mm。氯盐环境构件面层，不宜超过钢筋保护层厚度。

考虑到混凝土浇筑时，可能在骨料下面形成缺陷，从而形成氯离子进入混凝土内部的通道，因此除了限制粗骨料最大粒径不应大于构件截面最小边长的 1/4 和不应大于钢筋最小净距的 3/4 外，还限制粗骨料最大粒径不应大于保护层最小厚度的 4/5。考虑到本标准采用了保护层最小厚度，而非保护层名义厚度来限制粗骨料最大粒径，故规定在浪溅区，粗骨料最大粒径不宜大于保护层厚度的 2/3。

考虑到本标准已经规定保护层最小厚度不宜大于 100mm，计算得到相应的粗骨料最大粒径为 80mm 和 63mm（浪溅区），满足《水闸施工规范》（SL 27-91）中规定的不宜大于 80mm 的规定，故未专门规定粗骨料最大粒径不宜大于 80mm。对于非浪溅区和水位变动区的大体积混凝土，也可通过适当增加保护层最小厚度的方法，采用最大粒径为 75mm 的粗骨料，相应的粗骨料公称粒径为 80mm。

5.5.4 连续级配的粗骨料即便在采石场加工后有良好的级配，但在运输过程中也会遭到破坏，因此规定粗骨料宜分级采购、分级运输、分级堆放和分级计量，这与《水工混凝土施工规范》（DL/T 5144-2001）和《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》（铁建设[2005]157 号）的规定相一致。

根据粗骨料的最大粒径，宜采用二级或三级搭配。当骨料最大粒径为 20mm 时，宜采用公称粒径为 5~10mm 和 10~20mm 的粗骨料进行搭配；当骨料最大粒径为 31.5mm 时，宜采用公称粒径为 5~16mm 和 16~31.5mm 的粗骨料进行搭配；当骨料最大粒径为 40mm 时，宜采用公称粒径为 5~10mm、10~20mm 和 20~40mm 的粗骨料进行搭配；当骨料最大粒径为 63mm 时，宜采用公称粒径为 5~16mm、16~31.5mm 和 31.5~63mm 的粗骨料进行搭配；当骨料最大粒径为 80mm 时，宜采用公称粒径为 5~10mm、10~20mm、20~40mm 和 40~80mm 的粗骨料进行搭配。

当原材料供应有困难时，也可采用公称粒径为 5~20mm、5~25mm 和 5~31.5mm 的连续级配骨料和公称粒径为 20~40mm、31.5~63mm 和 40~80mm 等单粒级骨料搭配使用。

5.5.5 同条文说明 5.4.4。

5.6 水

5.6.1~5.6.2 对混凝土拌合用水和养护用水的质量提出了要求，考虑到抗海水腐蚀混凝土多用于氯盐环境中，特别对拌合水的氯离子含量提出了较为严格的限制（不得大于 200mg/L），以减少从原材料中引入的氯离子数量。这一规定与《水闸施工规范》（SL 27-91）、《水运工程混凝土施工规范》（JTJ 268-96）、《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》（铁建设[2005]157 号）的规定相一致。

5.6.3 在不同规范中，对水的要求也存在差异，但主要是以《混凝土用水标准》（JGJ 63-2006）为参照。为方便使用，将《混凝土用水标准》（JGJ 63-2006）中规定的混凝土拌合用水的水质要求列于条文说明表 17。

条文说明表 17 混凝土拌和用水的水质要求

项 目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	≥5.0	≥4.5	≥4.5
不溶物(mg/L)	≤2000	≤2000	≤5000
可溶物(mg/L)	≤2000	≤5000	≤10000
Cl ⁻ (mg/L)	≤500	≤1000	≤3500
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	≤600	≤2000	≤2700
碱含量 (mg/L)	≤1500	≤1500	≤1500

地表水、地下水、再生水的放射性应符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》（GB 5749）的规定。

混凝土养护用水可不检验不溶物、可溶物、水泥凝结时间和水泥胶砂强度

6 混凝土配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 考虑到混凝土原材料之间存在相容性问题，故规定混凝土配合比设计应采用工程中使用的原材料。

测定水泥、矿物掺合料和混凝土外加剂之间的相容性时，可采用《混凝土外加剂应用技术规程》（GB 50119-2003）附录 A 提供的方法，并将水泥换成胶凝材料，胶凝材料组成与初步设定的混凝土中胶凝材料组成相同。也可采用水泥胶砂跳桌流动度的方法，采用水泥 ISO 标准砂，砂与胶凝材料的质量比可取 2.5: 1，水胶比可取 0.35，分别测定搅拌后 0 分钟、30 分钟和 60 分钟时的水泥胶砂跳桌流动度，绘制以外加剂掺量为横坐标，跳桌流动度为纵坐标的曲线。其中达到饱和点（外加剂掺量与水泥胶砂跳桌流动度变化曲线的拐点）时外加剂的掺量低、流动度大、流动度损失小的外加剂品种对水泥的适应性好。

考虑到抗海水腐蚀混凝土配合比设计的复杂性和长期性，建议在工程开工前 6 个月进行抗海水腐蚀混凝土原材料优选和配合比设计。

6.1.2 大流动性的混凝土，通常需要较多的胶凝材料和较大的砂率，这都会使得混凝土的收缩增

大，从而增加混凝土开裂的危险，因此宜选用较小的坍落度。泵送混凝土中砂浆含量大，混凝土易出现收缩裂缝，应尽量避免使用。

混凝土在浇注地点的坍落度，当配筋率不超过 1%时，可选用 30~60mm；当配筋率超过 1%时，可选用 50~80mm；当有温度控制要求或高、低温季节浇注混凝土时，其坍落度可根据实际情况增减。

6.2 混凝土的配制强度

6.2.1 由于抗海水腐蚀混凝土中掺入了大量的矿物掺合料，混凝土的后期强度仍有一定的增长，为减少大体积混凝土的收缩，故大体积混凝土的设计龄期可取 56d 或 90d。在现有规范中采用了 60d 龄期，考虑到混凝土抗氯离子渗透性采用 56d 龄期的试件，而混凝土后期强度变化较小，故采用了 56d 的设计龄期。

6.2.2 在《水工混凝土施工规范》（DL/T 5144-2001）中，未固定混凝土强度的保证率。在《水工混凝土配合比设计规程》（DL/T 5300-2005）中指出当设计龄期为 28d 时，抗压强度保证率为 95%，其它龄期混凝土抗压强度保证率应符合设计要求；在条文说明中指出大体积混凝土保证率一般为 80%，体积较大的钢筋混凝土工程要求保证率为 85~90%，薄壁结构工程要求保证率为 95%。考虑到对于同样的原材料和配合比，水胶比是影响混凝土强度和耐久性的重要因素，如混凝土强度偏低时，其耐久性也较差。为保证混凝土耐久性，统一选取 95%的混凝土强度保证率，这一规定与《水工混凝土试验规程》（SL 352-2006）附录 A.7.2 的规定相一致。

6.2.5 表中标准差的参考值参考了《水工混凝土配合比设计规程》（DL/T 5300-2005）的规定。

6.3 混凝土配合比设计的基本参数

6.3.2 为保证混凝土耐久性，规定混凝土的最小胶凝材料用量（或最小水泥用量）是现行规范的传统做法，这主要是因为传统上混凝土以强度控制，对于强度较低的混凝土而言，较小的胶凝材料用量也能满足强度要求，但难以保证耐久性，故需要规定最小胶凝材料用量。

对于抗海水腐蚀混凝土而言，其不仅仅规定了强度，还规定了 6h 电量值指标，如果混凝土中浆体量不足，形成较大的孔隙，其强度可能可以满足要求，但 6h 电量值指标难以满足，因此对于抗海水腐蚀混凝土而言，最小胶凝材料用量不需要强制要求，用强度和电量值指标控制即可。考虑到与现行规范接轨，按表 6 的水胶比制定了最小胶凝材料用量要求，供配合比设计时参考。

我国规范中规定的最小胶凝材料用量见条文说明表 18，表中括号外的数值为钢筋混凝土的要求，括号内的数值为预应力混凝土的要求，如预应力混凝土和钢筋混凝土要求相同，则不另外标明预应力混凝土的要求。

条文说明表 18 国内规范中规定的混凝土最小胶凝材料用量 单位为公斤每立方米

规范名称	设计使用年限	环境类别	对应本标准作用等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量	最小水泥用量
混凝土结构设计规范 (GB 50010-2002)	50 年	三类	C~D	0.50		300

条文说明表 18 (续)

规范名称	设计使用年限	环境类别	对应本标准作用等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量	最小水泥用量
水工混凝土结构设计规范 (SL/T191-96)	50 年	三类	C~E	0.55		300 (340)
		四类	D~F	0.45		360 (380)
水闸施工规范 (SL 27-91)	50 年	四类	D~F	0.50~0.55		300
海港工程混凝土结构防腐 蚀技术规范 (JTJ 275-2000)		大气区	D~E	0.50		360
		浪溅区	F	0.35~0.40		400
		水位变动区	E	0.50		360
		水下区	D~E	0.5~0.6		300
混凝土结构耐久性设计 与施工指南 (CCES 01-2004) (2005 年修订版) 公路工程混凝土结构防 腐蚀技术规范 (JTG/T B07-01-2006)	100 年	C	C	0.45	320	
		D	D	0.40	340	
		E	E	0.36	360	
		F	F	0.33/0.32	380	
	50 年	C	C	0.50	300	
		D	D	0.45	320	
		E	E	0.40	340	
		F	F	0.36	360	
铁路混凝土结构耐久性 设计暂行规定 铁建设[2005]157 号	100 年	L1	D	0.45	320	
		L2	E	0.40	340	
		L3	F	0.36	360	
	60 年	L1	D	0.50	300	
		L2	E	0.45	320	
		L3	F	0.40	340	

由条文说明表 18 可见,在早期的规范中多采用最小水泥用量,而最新的规范均改为最小胶凝材料用量,这是早期对矿物掺合料的认识不足有关。由于抗海水腐蚀混凝土中胶凝材料用量较大,故本标准也采用最小胶凝材料用量的方法。

在《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)和《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157 号)中规定,粗骨料最大粒径为 25mm,因此条文说明表 18 中的胶凝材料最小用量是对应于最大骨料粒径为 25mm 的混凝土的。在《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275-2000)中规定的粗骨料最大粒径约为 40mm,因此条文说明表 18 中的胶凝材料最小用量是对应于最大骨料粒径为 40mm 的混凝土的。考虑到在《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191-96)中对水泥最小用量的规定是“宜”,因此本标准主要参考《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275-2000)、《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T

B07-01-2006)和《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157号)的规定。

混凝土中骨料最大粒径越大,则骨料的空隙率越小,故对骨料最大粒径较大的混凝土可采用较低的胶凝材料用量。考虑到水利水电工程中多采用二级配和三级配混凝土,故将表 12 中的胶凝材料最小用量限定为对应于粗骨料最大粒径为 40mm 的混凝土。在同样水胶比下,最大骨料粒径为 40mm 的混凝土最小胶凝材料用量可较最大骨料粒径为 25mm 的混凝土降低 20~30kg/m³,最大骨料粒径为 63mm 的混凝土最小胶凝材料用量可较最大骨料粒径为 40mm 的混凝土降低 20~30kg/m³。对于最大骨料粒径在 40mm 以上的混凝土,最小胶凝材料用量应通过试验确定。

表 12 中给出的胶凝材料最小用量是考虑混凝土耐久性所提出的,适用于碎石骨料;对于卵石骨料,可采用同样的数值,如通过专题实验验证,则可采用更低的数值。

胶凝材料用量越大,则混凝土产生开裂的可能性越大,因此规定在满足混凝土性能要求的条件下,应选用较小的胶凝材料用量。

由于我国骨料质量(粒形和级配)普遍较差,因此胶凝材料用量通常均超过最小胶凝材料用量的限值。为减少胶凝材料用量,提高混凝土性能和降低成本,应采用粒形良好的骨料进行搭配。

6.3.3 胶凝材料组成是影响混凝土耐久性的重要因素,为提高混凝土抗氯离子渗透性,应保证胶凝材料中含有一定量的活性矿物掺合料,本条给出了配制抗海水腐蚀混凝土适宜采用的胶凝材料组成。

表 13 中给出了采用硅酸盐水泥和矿渣微粉、硅灰和粉煤灰等矿物掺合料复掺时,适宜的胶凝材料组成。矿物掺合料掺量是指矿物掺合料占胶凝材料(水泥和矿物掺合料之和)的质量比。矿渣微粉和硅灰是优质的混凝土掺合料,质量较稳定,是优先选用的掺合料品种。广东省市场上的粉煤灰质量波动较大,而且工地现场和混凝土搅拌站均没有足够的场地和设施进行粉煤灰的均化,因此没有推荐采用单掺粉煤灰作为矿物掺合料。

对于采用硅酸盐水泥和粉煤灰双掺的情况,可按 6.3.3 c) 处理,此时粉煤灰的掺量不宜低于 25%。

由于使用单位难以知晓复合矿物掺合料的确切组成,给混凝土配合比设计和质量控制带来困难,建议尽量避免采用复合矿物掺合料。

按混凝土耐久性要求制造的具有较高抗氯离子性能的专用水泥是在水泥厂生产的,其中的组分经过优化,而且其质量稳定性好,并能提供参考混凝土配合比,能够较为方便地配制出符合混凝土耐久性要求的混凝土,是首选的胶凝材料。

当采用其它硅酸盐类水泥时,不宜单独采用抗硫酸盐硅酸盐水泥。

6.3.5 当掺加缓凝高效减水剂时,应特别注意避免由于掺量过多而导致混凝土出现长期不凝结的现象。

市场上常用缓凝高效减水剂多是针对水胶比在 0.40 以上的混凝土设计的,其中缓凝组分较多,当这种缓凝高效减水剂用于水胶比更低的混凝土时,往往因减水率不足而超量掺加减水剂,从而引起混凝土过度缓凝。

6.4 混凝土配合比的计算

6.4.1 《水工混凝土配合比设计规程》(DL/T5330-2005)中混凝土配合比设计采用饱和面干骨料为基准,在《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55-2000)中混凝土配合比设计以干燥状态骨料为基准。考虑到水是影响混凝土耐久性的重要因素,为严格控制混凝土中的单位体积用水量,在抗海水腐蚀混凝土配合比设计时,采用干燥状态骨料为基准。

6.4.2 砂、石骨料用量可采用质量法或体积法计算,具体计算方法见《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55)或《水工混凝土配合比设计规程》(DL/T 5330)。

6.5 混凝土配合比的试配、调整和确定

6.5.4 当采用水泥和矿物掺合料复掺制备抗海水腐蚀混凝土时,混凝土配合比中可调节的参数较多,采用 3 个配合比时,难以达到优选混凝土配合比的目的,因此规定至少要采用 6 个配合比进行试验。当仅采用水泥作为胶凝材料时,混凝土配合比中可调节的参数较少,故可选用较少的配合比进行试验。

当采用水泥和矿物掺合料复掺制备抗海水腐蚀混凝土时,可设计为 2 个不同水胶比(一个为按 6.5.3 条确定的水胶比,另外一个水胶比较之降低 0.01 或 0.02)、每个水胶比设计 3 种不同的胶凝材料组成(改变矿物掺合料种类或掺量);也可设计为 3 个不同水胶比(一个为按 6.5.3 条确定的水胶比,另外两个水胶比较之分别减少 0.01 和 0.02)、每个水胶比设计 2 种不同的胶凝材料组成(改变矿物掺合料种类或掺量)共 6 个混凝土配合比。

当仅采用水泥作为胶凝材料时,可设计为 3 个不同水胶比(一个为按 6.5.3 条确定的水胶比,另外两个水胶比较之分别减少 0.01 和 0.02)的混凝土配合比。

6.5.5 混凝土拌合物表观密度是《普通混凝土拌合物性能实验方法标准》(GB/T 50080-2002)的提法,在《水工混凝土试验规程》(DL/T 5150-2001)中称为混凝土拌合物密度。

虽然混凝土抗氯离子渗透性指标用 56d 龄期试件作为标准,考虑到工程建设过程中控制的需要,还需测定 28d 龄期的混凝土抗氯离子渗透性指标。

6.5.8 出具配合比报告时,应出具所做全部配合比的试验数据,以便施工单位和业主择优选取。

7 混凝土施工

7.1 原材料质量控制

7.1.1 对原材料质量进行控制是保证混凝土质量的重要措施,故规定原材料应检验后使用。过期原材料可能对混凝土性能有不良影响,为保证工程质量,不应采用过期原材料。

7.1.2 在施工前对混凝土氯离子含量进行控制,是保证工程中氯离子含量满足要求的重要手段。

在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004)(2005 年修订版)6.1.7 条中指出,如已检测混凝土各种原材料中的氯离子含量,且其总和不超过 28 天龄期的混凝土中水溶性氯离子量的 1.2 倍时,可不再检测混凝土中的氯离子量。据此计算,以原材料中氯离子含量计算的氯离子量不应超过酸溶性氯离子量(氯离子总量)的 90%。

7.1.2 混凝土性能主要取决于原材料的质量和配合比的准确实施,如果原材料的质量波动较大,则混凝土性能也会有较大波动,一方面可能造成质量事故,另一方面会增加混凝土造价,因此

规定原材料性能除应满足本标准第 5 章的要求外，主要性能指标还应稳定。这里所指的主要性能指标是指附录 D 中各表原材料抽样试验检验中第二列规定的项目。

7.2 混凝土拌合

7.2.1 采用强制式搅拌机拌制的混凝土质量较均匀，在《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》（铁建设[2005]157 号）中规定：混凝土搅拌应采用卧轴式、行星式或逆流式强制搅拌机，采用电子计量系统计量原材料。在《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)中规定：混凝土搅拌宜采用卧轴式、行星式或逆流式强制搅拌机，不使用自落式搅拌机或立轴强制式搅拌机。考虑到实际工程的可操作性，本标准规定混凝土拌合宜采用卧轴式、行星式或逆流式强制搅拌机，宜采用电子计量系统计量原材料。

7.2.2 抗海水腐蚀混凝土水胶比小，胶凝材料组分多，为保证混凝土拌合均匀，需采用较长的搅拌时间。混凝土适宜搅拌时间的确定可按下列方法进行。

根据搅拌机容量大小选择 3~4 个可能采用的拌和时间，时间间隔可取 30s，以不同的拌和时间分别拌制抗海水腐蚀混凝土。

拌和达到规定时间后，从搅拌机口分别取最先出机和最后出机的混凝土试样各一份，取样数量应能满足试验要求。

将所取试样分别拌和均匀，各取一部分试样制备混凝土立方体抗压强度试件和抗氯离子渗透性试件，标准养护至 28d 进行试验；将另一部分试样分别用 4.75mm 筛筛取砂浆并拌和均匀，用砂浆容量筒（容积 1L，直径 108mm，高 109mm）测定砂浆密度。当混凝土坍落度小于 60mm 时，砂浆捣实采用振捣法，即将装有砂浆的容量筒放在振动台上振 15s；当混凝土坍落度小于 60mm 时，砂浆捣实采用插捣法，人工插捣 25 次。

拌和物的拌和均匀性可用先后出机取样的混凝土抗压强度差值（ Δf ）、混凝土 6h 电量值差值（ Δc ）和砂浆密度差值（ $\Delta \rho$ ）评定。

混凝土抗压强度、6h 电量值和砂浆密度偏差率分别按条文说明式（1）、条文说明式（2）和条文说明式（3）计算。

$$\text{抗压强度偏差率}(\%) = \frac{\Delta f}{\text{两个强度值中的大值}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{电量值偏差率}(\%) = \frac{\Delta c}{\text{两个电量值中的大值}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{砂浆密度偏差率}(\%) = \frac{\Delta \rho}{\text{两个密度值中的大值}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

以拌和时间为横坐标，以不同批次混凝土测得的强度偏差率、电量值偏差率或密度偏差率为纵坐标，绘制时间与偏差率曲线，在曲线上找出偏差率最小的拌和时间，即为最合适的拌和时间。上述试验方法参考了《水工混凝土试验规程》(DL/T 5150-2001) 3.8 节混凝土拌合物拌合均匀性试验方法。

7.2.3~7.2.4 混凝土单位体积用水量对混凝土耐久性影响很大，这两条是为了保证混凝土单位体积用水量满足设计要求。

7.3 混凝土浇筑

7.3.3 细石混凝土垫块应采用与抗海水腐蚀混凝土同样的原材料制作，水胶比应低于抗海水腐蚀混凝土的水胶比，并经过 56d 湿养护后使用。如能满足上述要求，细石混凝土垫块的抗腐蚀性可不进行单独检测。

7.4 混凝土养护

7.4.5 抗海水腐蚀混凝土水胶比低，如养护不良，极易出现开裂。为保障混凝土质量，规定了较长的湿养护龄期。这一规定较《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)（养护时间不宜少于 28 天，有特殊要求的部位宜适当延长养护时间）略严。

7.5 混凝土温度控制

7.5.1~7.5.7 对混凝土进行温度控制是防止混凝土开裂的重要手段，在有条件的情况下，应进行温度控制。

在《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)中规定了温度控制的方法和措施，但其主要是针对大坝等特别大体积混凝土而制定的，而且其中多是定性的要求，定量的要求较少，只规定了混凝土浇注温度不宜大于 28℃。

在《水闸施工规范》(SL 27-91)中也规定了温度控制的方法和措施，与《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)类似，其中的定量指标较少，只规定了热天施工时混凝土出机口温度不得超过 30℃。

在《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96)中规定了大体积混凝土的防裂措施，其中规定了一些温度控制的措施，并规定混凝土内部和表面温度不宜超过 25℃。

由于低水胶比混凝土养护不良易出现开裂，因此在最新的《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157 号)和《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)中均对温度控制提出了较多的定量指标。

本标准中规定的温度控制措施主要参考了《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁建设[2005]157 号)和《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)中的规定；考虑到广东沿海气温较高，故未列入冬季施工的内容。

如设计要求混凝土温度控制指标时，则混凝土温度控制指标还应符合设计要求。

8 混凝土质量检验

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土的拌制和浇注是以一盘或一车混凝土为基本单位的，只有在同一盘或一车混凝土拌合物中取样，才代表了该基本单位的混凝土，才能用数理统计的原理，统计出各基本单位混凝土的差异。为保证取样的代表性，规定了混凝土取样的最小取样量：应满足混凝土质量检验项目所需用量的 1.5 倍，且不宜少于 20L。

8.1.2 混凝土搅拌机或搅拌运输车在出料的开始和结束阶段，容易离析，不宜取样；在 1/4~3/4 之间取样，然后人工搅拌均匀，才能代表该车或该盘混凝土。为使取样具有代表性，采用多次取样。

8.1.3 混凝土拌合物的性能是随时间而变化的。为避免因取样时间影响混凝土拌合物的性能，规定混凝土试样的采取和坍落度试验宜在混凝土运到施工地点开始算起 20 分钟内完成，试件的制作宜在 40 分钟内完成。从取样完毕到开始做各项试验不宜超过 5 分钟。在条件不许可的情况下，应视混凝土拌合物的性能而定，在不影响混凝土拌合物性能的前提下，时间可适当延长。

8.2 混凝土拌合物性能检验

8.2.3 混凝土拌合物坍落度的检测频率摘自《水闸施工规范》(SL 27-91)。商品混凝土交货时应进行现场坍落度试验。

8.2.5~8.2.6 混凝土拌合物中氯离子含量的测试是保证混凝土中氯离子不超过限值规定的重要手段，宜定时进行检测。

在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01-2004)(2005 年修订版) 6.1.7 条中指出，当采用酸溶法测定氯离子浓度时，其允许的限制可比 28 天龄期的混凝土中水溶性氯离子量高 1/3。以此来计算，混凝土拌合物中氯离子含量（认为等同于水溶性氯离子时）不应超过酸溶性氯离子量（氯离子总量）的 75%。

8.3 混凝土试件强度检验

8.3.1 混凝土强度检验以标准养护试块为准。

8.3.2 由于国家标准与行业标准间存在差异，故规定混凝土试件强度检验按国家标准或行业标准进行。同时规定骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土，均应采用边长为 150mm 的混凝土立方体试件进行强度检验。

对于最大骨料粒径为 80mm 的混凝土，应采用边长为 300mm 的混凝土立方体试件进行强度检验，试验结果应乘以换算系数 1.15。

8.3.3 针对不同的混凝土生产量，相关国家标准和行业标准中规定了用于检查结构构件混凝土强度试件的取样与留置要求。

《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204-2002) 规定的抗压强度试样取样和留置组数如下：

- a) 每 100 盘且不超过 100m³ 同配合比的混凝土，取样不少于 1 组；
- b) 每工作班拌制的同一配合比混凝土不足 100 盘时，取样不少于 1 组；
- c) 当一次连续浇注超过 1000m³，同一配合比的混凝土每 200m³ 取样不少于 1 组；
- d) 不同结构部位、同一配合比的混凝土，取样不得少于 1 组；
- e) 每次取样应至少留置 1 组 28d 标准养护试件，同条件养护试件的留置组数应根据实际需要确定。

8.3.6~8.3.7 由于国家标准与行业标准间存在差异，可根据需要选择采用其中的一种方法进行验收，其中的概率度系数采用 1.645。

8.4 混凝土试件耐久性检验

8.4.1~8.4.7 传统混凝土性能检验均以强度为主，对混凝土试件的耐久性检验非常少，为保证混凝土工程的耐久性，必须对混凝土试件耐久性进行检验，因此规定了混凝土试件耐久性检验的方法和检验频次。

8.5 混凝土实体强度检测

8.5.2 由于在国家标准和行业标准中均规定了混凝土实体强度检验的方法，故规定混凝土实体强度检验应按相应国家标准或行业标准执行。具体工程中采用的检测标准、检测方法、测点位置和数量以及评价标准，应由业主或设计单位确定，并在合同中约定。

为了避免或减少给结构带来不利的影响，建议首先采用无损检测法对混凝土实体强度进行检测。由于采用无损检测法（如回弹法、超声回弹综合法）受构件表面层混凝土质量的影响较大，从而会带来较大的测试误差，而采用钻芯法是受混凝土表层质量影响较小。对于混凝土试件强度不合格的构件以及无损检验评定不合格的构件，应进行后装拔出法或钻芯法检测。

对于混凝土试件强度不合格的构件以及对施工质量有怀疑或争议的构件，建议按单个构件检测，检测时应在构件上均匀布置测区，每个构件上测区数量不应少于 10 个；对某一方向不大于 4.5m 且另一方向不大于 0.3m 的构件，其测区数量可适当减少，但不应少于 5 个。

8.6 混凝土耐久性现场检验

8.6.2 混凝土耐久性现场检测是确保混凝土耐久性符合要求的重要手段，但在目前阶段，尚未有专门的国家和行业标准发布。在耐久性的三个重要指标（混凝土中氯离子含量、混凝土抗氯离子渗透性和抗渗性）中，尚没有无损检测的标准方法，只有对芯样进行检测的实验方法。

考虑到这一问题的重要性，在《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES 01-2004）（2005 年修订版）、《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》（铁建设[2005]157 号）和《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTG/T B07-01-2006）中，均列出了相关条文。其中涉及的检测方法包括无损检测和从预留的试件或预制的构件中抽芯的方法，但均未给出明确的具体检验方法、测点位置与测点数量。

由于采用钻芯取样法来检测现场混凝土的耐久性，会给重要工程或构件带来严重的破坏，修补起来非常困难。因此建议混凝土现场耐久性试验时可首先选择非破损或微破损的方法。

对处于严重环境作用下的重要工程或构件，可采用现场混凝土表层抗渗性测定仪、离子迁移仪或其它合适的现场测试仪器测定表层混凝土抗渗性和抗氯离子渗透性。采用现场混凝土表层抗渗性测定仪和离子迁移仪进行检测时，应事先通过实验室内的标定试验，在与现场相同（原材料和配合比）的混凝土试件上取得仪器读数与混凝土抗渗性(抗渗等级)和抗氯离子渗透性(电通量)指标之间的标定曲线。当混凝土性能设计龄期为 28d 时，测试时混凝土成熟度为 $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ；当混凝土性能设计龄期为 56d 时，测试时混凝土成熟度为 $1200^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

具体工程中采用的耐久性现场检验的检验方法、测点位置与测点数量，可由业主或设计单位按照工程和量测方法的具体特点确定，并宜在合同中约定。测试宜在对应混凝土设计龄期的成熟度时进行。

8.7 混凝土结构外观质量和尺寸偏差检验

8.7.3 混凝土表面的可见裂纹和裂缝通常会影响到结构性能、使用功能或耐久性，故在现有规范中规定了允许出现的最大裂缝宽度。

在《水闸施工规范》（SL 27-91）中规定：混凝土的微细表面裂缝、钢筋混凝土的浅层缝宽度小于条文说明表 19 中所列数值者可不予处理；缝宽大于允许值的裂缝及影响结构性能的蜂窝

和缺陷等应按规定处理。

条文说明表 19 钢筋混凝土结构最大裂缝宽度允许值 单位为毫米

部位	水上区	水位变动区、浪溅区		水下区
		寒冷地区	温和地区	
沿海海水区	0.20	0.15	0.20	0.30

在《水闸技术管理规程》(SL75-94)中规定:混凝土的微细表面裂缝、浅层缝及缝宽小于条文说明表 19 所列裂缝宽度最大允许值时,可不予处理或采用涂料封闭。缝宽大于规定时,则应分别采用表面涂抹、表面粘补、凿槽嵌补、喷浆或灌浆等措施进行修补。

在《混凝土坝养护修理规程》(SL230-98)中规定:对钢筋混凝土结构,从耐久性或防水性的要求判断是否需要修补时,应将调查测得裂缝宽度与条文说明表 20 中的数值对照判断。

条文说明表 20 钢筋混凝土结构需要修补的裂缝宽度 单位为毫米

环境条件类别	按耐久性要求		按防水性要求
	短期荷载组合	长期荷载组合	
三	>0.25	>0.20	>0.10
四	>0.15	>0.10	>0.05

《港口工程质量检验评定标准》(JTJ 242)中规定:对于设计不允许有裂缝的结构,严禁出现裂缝。设计允许出现裂缝的结构,其裂缝宽度必须符合设计要求。

《铁路混凝土工程施工质量验收补充规定》(铁建设[2005]160 号)中规定:普通混凝土结构表面的非受力裂缝宽度不得大于 0.20mm,预应力混凝土结构不得出现裂缝。

《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96)条文说明中规定:就抗冻和钢筋锈蚀而言,裂缝宽度 $\leq 0.10\text{mm}$,就抗渗而言裂缝宽度 $\leq 0.05\text{mm}$ 的无需修补;超过条文说明表 21 中规定的裂缝,一般应予修补;介于二者之间宽度的裂缝,应根据裂缝深度、类型、钢筋保护层厚度、混凝土表面有无涂料等情况,综合判断,确定是否应予修补。

条文说明表 21 钢筋混凝土结构允许最大裂缝宽度 单位为毫米

结构部位	环境条件	
	海水	淡水
水上区	0.13	0.20
水位变动区	0.20	0.25
水下区	0.30	0.35

考虑到裂缝对氯盐导致的钢筋锈蚀影响较大,本标准采用了上述规范中较严格的规定。

对混凝土的微细表面裂缝、浅层缝及裂缝宽度小于 8.7.3 条所规定的裂缝最大允许宽度值时,可不予处理或采用涂料封闭。裂缝宽度大于规定时,则应进行修补。

对混凝土出现的裂纹和裂缝,监理单位应要求施工单位作好检查记录,并由施工单位提出具体的技术处理方案,由业主或监理单位牵头召开专家会议,分析问题出现的原因和技术处理方案的可行性,并经监理(建设)单位认可后,由施工单位或施工单位请专业公司对有问题部位进

行处理。对经处理的部位，应重新检查验收。同时应根据裂缝出现的原因，采取相应技术措施，防止类似问题再次出现。

8.8 混凝土结构保护层厚度检验

8.8.1 建议首先采用非破损的雷达法或电磁感应法等适宜的方法对混凝土保护层厚度进行检测，目的是为了减少给结构带来不利的影响。但规定所使用的检测仪器应经过计量检验，检测操作应符合相应规程的规定。考虑到无损检测的精确度问题，建议必要时可凿开混凝土进行保护层厚度的验证。

8.8.2 本条文对保护层厚度检验的取样数量进行了明确规定。考虑到无损检测的数值离散性较大，而对结构又无损害，因此取样批量较大。规定宜各抽取构件数量的 10% 且不少于 10 个构件进行检验。

8.8.3 本条文规定了保护层厚度检验的结果评定方法。考虑到抗海水腐蚀混凝土的重要性，为保证工程质量，对合格评定准则要求较高，因此提出了 95% 的保证率。

附录 A 硬化混凝土中氯离子含量试验方法

硬化混凝土中氯离子含量测定方法有两种，一种是用钻头直接从混凝土中钻取粉体样，通过对粉体样进行化学分析来确定混凝土中氯离子含量，试验结果以氯离子占混凝土质量的百分比来表示。这种方法最为直观，但由于混凝土中粗骨料的影响，其测量值离散性较大，采用较大直径的钻头可以降低测量值的离散性，这种方法通常用于工程现场检测。另一种是利用混凝土中的砂浆进行测量，将混凝土中砂浆分离出来并制备成粉体，通过对粉体样进行化学分析来确定砂浆中氯离子含量，试验结果以氯离子占砂浆质量的百分比来表示。由于排除了粗骨料的影响，数值的离散性较小；如果知道粗骨料在混凝土中的比例，则可将数值换算为氯离子占混凝土质量的百分比。

考虑到实际新建工程中均会预留混凝土强度试件，而且采用砂浆来测定氯离子含量时数值离散性较小，故推荐采用测定砂浆中氯离子含量的方法来检测混凝土中氯离子含量。砂浆中氯离子含量试验方法摘自《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270-98)。当采用混凝土粉体样时，可参考上述方法进行氯离子含量测定。

附录 B 混凝土抗氯离子渗透性试验方法(电量法)

电量法是美国材料标准与试验协会所制定的用于评价混凝土渗透性好坏的标准 (ASTM C1202)，此标准与美国国家高速公路和交通署协会标准 AASHTO T277 是相同的。电量法引进我国后，国内设备生产厂家根据中国实际情况对试样尺寸、加压池的构造以及饱水过程等进行了改进。

本试验方法主要参考国内设备生产厂家改进的电量法试验方法，并在样品制备方法以及试验过程等方面进行了部分修改，以适应最大骨料粒径大于 25mm 的混凝土。

本实验方法适用于在设计、研究及研制工作中对材料及材料配合比进行评价，用本实验方法得出的实验结果也可用于混凝土质量控制及验收等场合。

当此方法用于经表面处理的混凝土时，比如经防渗材料处理的混凝土，在解释实验结果时需小心。用本实验方法测定这类混凝土的结果值表现出较低的抗氯盐性能，但用90天氯离子浸泡实验测定的对比混凝土块却表现出较高的抗氯盐性能。

如果混凝土配制中掺入了 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ，那么本实验方法可能产生错误的实验结果。用本方法对掺了 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 这类混凝土作实验的结果，与没有掺 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 的同样配合比混凝土（空白对照实验）比较，表现出更高的库仑值，即意味着更低的抗氯盐性能。然而，长期的氯盐浸泡实验结果表明掺入了 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 的混凝土至少有与空白对照组混凝土一样的抗氯盐性能。其它的掺合料可能也会对实验结果产生类似的影响。如果对掺合料的影响有怀疑，需要进行长期浸泡实验以检验快速试验的结果。

因为实验结果是试块电阻的函数，因而混凝土中钢筋的存在或其它导电性物质的存在都会对实验结果产生显著影响。实验不适合于在长度方向埋有钢筋的试块，因为钢筋在试块两端间提供了连续导通的电流通道。

附录 C 混凝土抗氯离子渗透性试验方法(电量综合法)

电量法的优点是快速，但由于该法采用电量值表征混凝土抗氯离子渗透性，故难以用于混凝土耐久寿命的预测，现有被 RCM 法（测量通电一定时间后氯离子扩散深度，并推算出氯离子扩散系数，具体试验方法见《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES 01-2004）（2005 年修订版））取代的趋势。从试验原理看，电量法和 RCM 法是类似的，只是试验参数和表征方法不同。

在电量法和 RCM 法的基础上，通过试验研究，将电量法加以改进，提出了电量综合法。电量综合法在电量法的基础上，一方面将通电时间延长到 18h，测定 6h 和 18d 的电量值，另一方面测定通电 18h 后的氯离子渗透深度。

通过进一步的试验以及和混凝土长期耐久性的对比，采用电量综合法也可进行混凝土耐久寿命的预测。考虑到实际的混凝土氯离子扩散系数与氯离子显色深度的关系仍不非常明确，故本方法仅测定一些基本参数，为将来计算耐久寿命积累数据，并未进行氯离子扩散系数的探讨。

当需要测定氯离子渗透深度，用以计算氯离子渗透速度时，可采用本方法。氯离子渗透速度的计算方法可参考 NT BUILD492 中提供的方法。

附录 D 混凝土原材料检验要求

对原材料进行检验，是控制原材料质量和混凝土质量的保证。为避免使用不合格原材料造成的质量事故，规定了混凝土各种原材料的试验频率和试验项目。

矿物掺合料的氯离子含量按《水泥原料中氯的化学分析方法》（JC/T 420）检验。

砂中的氯离子含量检验方法，可采用相关国家和行业标准中的方法，也可采用附录E的方法进行。

附录D中的表格参考了《铁路混凝土工程施工质量验收补充规定》（铁建设[2005]160号）的格式和内容，并根据抗海水腐蚀混凝土的特点和要求编写。

附录 E 砂和混凝土拌合物中氯离子含量的快速检测

砂和混凝土拌合物中氯离子含量的快速测定检测方法参照了《水运工程混凝土试验规程》（JTJ 270-98）中7.18节海砂、混凝土拌合物中氯离子含量的快速测定的规定进行。

本标准中将砂中氯离子含量改为以干砂质量百分比计算，混凝土中氯离子含量改为以混凝土质量百分比计算，并相应地修改了计算公式。