JTJ

中华人民共和国行业标准　　JTJ 275－2000

海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范

Corrosion Prevention Technical
Specifications for Concrete Structures
of Marine Harbour Engineering

2000－12－08 发布　　2001－05－01 实施

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

海 港 工 程
混凝土结构防腐蚀技术规范

JTJ 275—2000

主编单位：广州四航工程技术研究院
批准部门：中华人民共和国交通部
施行日期：2001年5月1日

人民交通出版社
2001·北京

关于发布《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》的通知

交水发〔2000〕651号

各有关单位：

由我部组织广州四航工程技术研究院(原交通部第四航务工程局科学研究所)等单位制定的《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》，业经审查，现批准为强制性行业标准，编号为JTJ 275—2000，自2001年5月1日起施行。

本规范的管理和出版组织工作由我部水运司负责，具体解释工作由广州四航工程技术研究院负责。

中华人民共和国交通部

二〇〇〇年十二月八日

前　言

本规范是在总结我国50年来航务工程混凝土结构防腐蚀技术的科研成果和设计、施工经验的基础上，借鉴国内外有关标准和技术成果，并经广泛征求意见编制而成。

本规范共分7章18节和6个附录，并附条文说明。内容主要包括结构形式和构造、普通混凝土、高性能混凝土等有关防腐蚀方面的要求和措施，以及海港工程采用混凝土表面涂层保护、硅烷浸渍保护、环氧涂层钢筋和钢筋阻锈剂等特殊防腐蚀措施的有关规定。内容涵盖了近期国内外有关海港工程混凝土结构防腐蚀方面的新技术、新成果，是迄今为止我国海港工程最完整的防腐蚀技术规范。

本规范由交通部水运司负责管理，具体解释工作由广州四航工程技术研究院负责。请各单位在执行本规范过程中，结合工程实际，注意总结经验，积累资料，将发现的问题和意见及时函告广州四航工程技术研究院，以便今后修订时参考。

本规范如进行修订或局部修订，其内容将在《水运工程标准与造价管理信息》上刊登。

目　　次

1　总则 …… (1)
2　术语 …… (2)
3　一般规定 …… (4)
4　结构形式及构造 …… (6)
4.1　结构形式 …… (6)
4.2　构造 …… (6)
5　普通混凝土 …… (9)
5.1　混凝土原材料 …… (9)
5.2　混凝土质量 …… (11)
5.3　预应力混凝土灌浆材料的质量 …… (13)
5.4　混凝土保护层垫块 …… (14)
5.5　混凝土配合比设计 …… (14)
5.6　混凝土施工 …… (15)
6　高性能混凝土 …… (18)
6.1　一般规定 …… (18)
6.2　混凝土质量 …… (18)
6.3　配合比设计 …… (19)
6.4　施工 …… (19)
6.5　质量评定 …… (20)
7　特殊防腐蚀措施 …… (21)
7.1　混凝土表面涂层 …… (21)
7.2　混凝土表面硅烷浸渍 …… (23)
7.3　环氧涂层钢筋 …… (24)
7.4　钢筋阻锈剂 …… (27)

附录 A　硅灰品质标准和检验 …… (30)
附录 B　混凝土抗氯离子渗透性标准试验方法 …… (34)
附录 C　混凝土表面涂层试验方法 …… (37)
附录 D　混凝土表面涂层的施工和管理 …… (42)
附录 E　混凝土硅烷浸渍施工工艺及测试方法 …… (45)
附录 F　本规范用词用语说明 …… (48)
附加说明　本规范主编单位、参加单位和主要起草人名单
…… (49)
附　条文说明 …… (51)

1 总　　则

1.0.1 为使海港工程混凝土结构具有必要和良好的防腐蚀耐久性能，做到技术先进、经济合理、安全耐久、质量可靠和施工方便，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建海港工程混凝土结构防腐蚀耐久性设计和施工。其它新建近海工程混凝土结构可参照执行。

1.0.3 本规范的实施，应配备必要的检验及试验设备。

1.0.4 海港工程混凝土结构的防腐蚀耐久性设计和施工，除应符合本规范外，尚应符合国家现行标准的有关规定。

2 术　　语

2.0.1 混凝土结构和构件

以钢筋混凝土、预应力混凝土或素混凝土制造的结构称混凝土结构，组成混凝土结构的单元称混凝土构件。

2.0.2 混凝土结构的防腐蚀耐久性

在正常设计、施工、使用和维护条件下，混凝土结构在设计工作寿命期内所具有的防止钢筋腐蚀导致混凝土破坏的能力。

2.0.3 设计使用年限

结构或构件按设计目的和使用条件使用而不需要大修的预定日期。

2.0.4 混凝土结构防腐蚀耐久性设计

为保证混凝土结构具有所要求的防腐蚀耐久性能，根据使用条件，确定有关技术指标和各种措施的过程。

2.0.5 混凝土拉应力限制系数 α_{ct}

构件在作用的频遇组合（短期效应组合）时，受拉边缘混凝土产生的拉应力 f_{tc} 与混凝土抗拉强度标准值 f_{tk} 和受拉区混凝土塑性影响系数 γ 乘积之比，即 $\alpha_{ct}=\dfrac{f_{tc}}{\gamma f_{tk}}$。

2.0.6 海水环境

海港和受海水影响的河口港所处的环境。

2.0.7 基准混凝土

不掺外加剂和掺合料的对比试验用的混凝土。

2.0.8 粉煤灰取代水泥率

基准混凝土中的水泥被粉煤灰取代的质量百分率。

2.0.9 超量取代法

为达到粉煤灰混凝土与基准混凝土等稠度、等强度的目的，粉煤灰的掺入质量超过其取代的水泥质量的配合比设计方法。

2.0.10 硅灰

在冶炼硅铁合金或工业硅时，通过烟道排出的硅蒸气经收尘装置收集而得的粉尘。

2.0.11 高性能混凝土

用混凝土的常规材料、常规工艺，在常温下，以低水胶比、大掺量优质掺合料和较严格的质量控制制作的高耐久性、高尺寸稳定性、良好工作性及较高强度的混凝土。

2.0.12 环氧涂层钢筋

将填料、热固环氧树脂与交联剂等外加剂制成的粉末，在严格控制的工厂流水线上，采用静电喷涂工艺喷涂于表面处理过的预热的钢筋上，形成具有一层坚韧、不渗透、连续的绝缘涂层的钢筋。

2.0.13 钢筋阻锈剂

能抑制钢筋电化学腐蚀的混凝土外加剂。

2.0.14 混凝土表面硅烷浸渍

用硅烷类液体浸渍混凝土表层，使该表层具有低吸水率、低氯离子渗透率和高透气性的防腐蚀措施。

3 一般规定

3.0.1 海港工程混凝土结构必须进行防腐蚀耐久性设计，保证混凝土结构在设计使用年限内的安全和正常使用功能。

3.0.2 混凝土结构防腐蚀耐久性设计，应针对结构预定功能和所处环境条件，选择合理的结构形式、构造和抗腐蚀性、抗渗性良好的优质混凝土；对处于浪溅区的混凝土构件，宜采用高性能混凝土，或同时采用特殊防腐蚀措施。

3.0.3 处于浪溅区的构件，宜采用焊接性能好的钢筋。

3.0.4 应根据预定功能和混凝土建筑物部位所处的环境条件，对混凝土提出不同的防腐蚀要求和措施。混凝土部位可根据水域掩护条件和港工设计水位或天文潮位按表 3.0.4 的规定划分。

海水环境混凝土部位划分 表 3.0.4

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	水位变动区以下
无掩护条件	按港工设计水位	设计高水位加（η_0 + 1.0m）以上	大气区下界至设计高水位减 η_0 之间。	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间。	水位变动区以下
	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	水位变动区以下

注：①η_0 值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；

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的部位划分。

3.0.5 预应力构件在作用的频遇组合(短期效应组合)时的混凝土拉应力限制系数 α_{ct} 和钢筋混凝土构件在作用的准永久组合(长期效应组合)时的最大裂缝宽度，不得超过表 3.0.5 规定的限值。

混凝土拉应力限制系数 α_{ct} 及最大裂缝宽度限值 表 3.0.5

构件类别	钢筋种类	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
预应力混凝土	冷拉Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级	$\alpha_{ct}=0.5$	$\alpha_{ct}=0.3$	$\alpha_{ct}=0.5$	$\alpha_4=1.0$
	碳素钢丝、钢铰线、热处理钢筋、LL650级或LL800级冷轧带肋钢筋	$\alpha_{ct}=0.3$	不允许出现拉应力	$\alpha_{ct}=0.3$	$\alpha_{ct}=0.5$
钢筋混凝土	Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级钢筋和LL550级冷轧带肋钢筋	0.2mm	0.2mm	0.25mm	0.3mm

3.0.6 混凝土构件在制作过程中出现的裂缝应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定及时进行处理。

4 结构形式及构造

4.1 结构形式

4.1.1 海港工程混凝土结构形式应根据结构功能和环境条件进行选择。构件截面几何形状应简单、平顺，减少棱角、突变和应力集中。

4.1.2 暴露部位构件的最小截面尺寸应满足下列要求：

(1) 直线形构件的最小边长不宜小于保护层厚度的6倍；

(2) 曲线形构件的最小曲率半径不宜小于保护层厚度的3倍。

4.1.3 混凝土表面应有利于排水，不宜在接缝或止水处排水。

4.1.4 混凝土结构应有利于通风，避免过高的局部潮湿和水汽聚积。

4.1.5 结构构件应便于施工，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难以保证。

4.1.6 结构形式应便于对关键部位进行检测和维修，应适当设置检测、维护和采取补充保护措施的通道。

4.1.7 对处于腐蚀较严重部位的构件，应考虑其易于更换的可能性。

4.2 构　造

4.2.1 应处理好构件的连接和接缝。支座和节点的选择，应使结构由于变形引起的约束最小。

4.2.2 钢筋间距应能保证混凝土浇筑均匀和捣实，且不宜小于50 mm，必要时可采用两根钢筋的并筋。

4.2.3 构件中受力钢筋和构造钢筋宜构成闭口的钢筋笼。

4.2.4 当结构暴露面无法避免截面突变或施工缝时，除应严格按照现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》保证混凝土的质量和处理好施工缝外，尚应在截面突变处设置构造钢筋，跨施工缝设置骑缝构造钢筋。构造钢筋面积的最小值可采用构件截面的0.05%，间距不宜大于250mm。

4.2.5 在支座反力或预应力锚头等集中力作用的暴露部位应验算局部拉应力，其计算值不应超过混凝土抗拉强度标准值。当上述要求无法满足或难于计算时，应采取特殊防腐蚀措施。

4.2.6 在结构表面可能受到船、漂浮物、流冰碰撞或海水冲击异常剧烈的部位，宜配置附加钢筋或采用纤维混凝土。

4.2.7 钢筋混凝土保护层最小厚度应符合表4.2.7的规定。

钢筋混凝土保护层最小厚度(mm) 表4.2.7

建筑物所处地区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
北方	50	50	50	30
南方	50	65	50	30

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，当箍筋直径超过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可取50mm；

④ 南方地区系指历年月平均最低气温大于0℃的地区。

4.2.8 预应力混凝土保护层最小厚度应符合下列规定。

4.2.8.1 当构件厚度为500mm以上时应符合表4.2.8的规定。

预应力混凝土保护层最小厚度(mm) 表4.2.8

所在部位	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
保护层厚度	75	90	75	75

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面至构件表面的最小距离；

③ 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；

④ 有效预应力小于400N/mm^{2}的预应力筋的保护层厚度，按表4.2.7执行，但

不宜小于1.5倍主筋直径。

4.2.8.2 当构件厚度小于500mm时，预应力筋的混凝土保护层最小厚度宜为2.5倍预应力筋直径，但不得小于50mm。

4.2.9 结构的混凝土表面易受冰凌等漂浮物磨损或撞击的部位，保护层厚度宜适当加大。

4.2.10 浇筑在混凝土中并暴露在外的临时或永久性的吊环、紧固件、预埋件等，应与混凝土中的任何配筋绝缘。否则，应采用牺牲阳极保护。

4.2.11 轨道、支承、接头、连接和排水设施等辅助设备，应便于维护和更换。

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

4.2.13 由于不均匀沉降、混凝土收缩或温度效应引起的应力，应通过合理设计和采取分缝、温度控制等施工措施控制在允许范围内。

5 普通混凝土

5.1 混凝土原材料

5.1.1 海港工程的混凝土原材料应符合下列规定。

5.1.1.1 所用的材料除应满足强度要求外，尚应充分考虑环境条件的影响，具有所需的耐久性。

5.1.1.2 所用的材料应有证明书或检验报告单，使用时应按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)进行检验，并按现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)进行质量控制，其质量应符合国家现行有关标准的规定，并满足设计要求。

5.1.1.3 材料在运输及存贮过程中应设标志，并按品种、规格分别堆放，不得混杂，不得接触海水，并防止其它污染。

5.1.2 水泥应符合下列规定。

5.1.2.1 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及粉煤灰硅酸盐水泥，其质量应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175)和《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥》(GB1 344)的有关规定，强度等级不得低于32.5。

5.1.2.2 普通硅酸盐水泥和硅酸盐水泥的熟料中铝酸三钙含量宜控制在6%～12%范围内。

5.1.2.3 受冻地区的混凝土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。

5.1.2.4 不受冻地区的浪溅区混凝土宜采用矿渣硅酸盐水泥，特别是矿渣含量大的矿渣硅酸盐水泥。

5.1.2.5 不得使用立窑水泥和烧粘土质的火山灰质硅酸盐水

泥。

5.1.2.6 当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时，宜同时掺加减水剂或高效减水剂。

5.1.3 骨料应符合下列规定。

5.1.3.1 骨料应选用质地坚固耐久，具有良好级配的天然河砂、碎石或卵石。

5.1.3.2 骨料的质量应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的有关规定。

5.1.3.3 细骨料不宜采用海砂。当受条件限制不得不采用海砂时，海砂带入浪溅区或水位变动区混凝土的氯离子量，对钢筋混凝土，不宜大于水泥质量的0.07%；对预应力混凝土，不宜大于0.03%。当超过上述限值时，应通过淋洗降低到小于此限值；当淋洗确有困难时，可在拌制的混凝土中掺入适量亚硝酸钙或其它经论证的阻锈剂。当拌和用水的氯离子含量不大于200mg/L，外加剂的氯离子含量不大于水泥质量的0.02%时，细骨料的氯离子含量允许适当提高，但应满足第5.2.2条的规定。

5.1.3.4 粗骨料的最大粒径应满足下列要求：

(1)不大于构件截面最小边尺寸的1/4；

(2)不大于钢筋最小净距的3/4；

(3)在浪溅区，不大于保护层厚度的2/3，当保护层厚度为50mm时，不大于保护层厚度的4/5；在其它区，不大于保护层厚度的4/5。

5.1.3.5 不得采用可能发生碱—骨料反应的活性骨料。

5.1.4 拌和用水应符合下列规定。

5.1.4.1 拌和用水宜采用城市供水系统的饮用水，不得采用海水。当采用其它水源时，应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的有关规定。

5.1.4.2 钢筋混凝土和预应力混凝土的拌和用水的氯离子含量不宜大于200mg/L。

5.1.5 掺合料应符合下列规定。

5.1.5.1 当采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥拌制混凝土时，宜适当掺加优质掺合料。

5.1.5.2 混凝土掺合料宜采用粒化高炉矿渣、粉煤灰、硅灰等。掺合料的品质应符合现行国家标准《用于水泥的粒化高炉矿渣》(GB 203)、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB 1596)及现行行业标准《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》(JTJ/T 273)的规定，硅灰的品质应满足附录 A 的要求。掺合料的掺量应通过试验确定。

5.1.5.3 粒化高炉矿渣的粉磨细度不宜小于 4000cm^2/g，其掺量宜通过试验确定。用硅酸盐水泥拌制的混凝土，其掺量不宜小于胶凝材料质量的 50%；用普通硅酸盐拌制的混凝土，其掺量不宜小于胶凝材料质量的 40%。

5.1.5.4 粉煤灰的质量，应满足Ⅱ级以上粉煤灰的要求。

5.1.5.5 对普通混凝土，粉煤灰取代水泥质量的最大限量应符合下列规定：

(1) 用硅酸盐水泥拌制的混凝土不宜大于 25%；

(2) 用普通硅酸盐水泥拌制的混凝土不宜大于 20%；

(3) 用矿渣硅酸盐水泥拌制的混凝土不宜大于 10%；

(4) 经试验论证，最大掺量可不受以上限制。

5.1.5.6 硅灰的掺量不宜大于水泥质量的 10%。

5.1.6 外加剂应符合下列规定。

5.1.6.1 外加剂质量应符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076)的规定。

5.1.6.2 外加剂对混凝土的性能应无不利影响，其氯离子含量不宜大于水泥质量的 0.02%。

5.1.6.3 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》(GBJ 119)的规定，其掺量应通过试验确定。

5.2 混凝土质量

5.2.1 混凝土拌和物的稠度、均匀性、含气量等质量指标的检验

应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》的有关规定。

5.2.2 混凝土拌和物中的氯离子最高限值应符合表 5.2.2 的规定。

混凝土拌和物中氯离子的最高限值

（按水泥质量百分率计） 表 5.2.2

预应力混凝土	钢筋混凝土
0.06	0.10

5.2.3 不同暴露部位混凝土拌和物水灰比最大允许值应符合表 5.2.3 的规定。

海水环境混凝土的水灰比最大允许值 表 5.2.3

环境条件			钢筋混凝土、预应力混凝土	
			北方	南方
大气区			0.55	0.50
浪溅区			0.50	0.40
水变动位区		严重受冻	0.45	—
		受冻	0.50	—
		微冻	0.55	—
		偶冻、不冻	—	0.50
水下区	不受水头作用		0.60	0.60
	受作水头用	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 ~ 10	0.55	
		最大作用水头与混凝土壁厚之比 > 10	0.50	

注：①除全日潮型区域外，有抗冻要求的细薄构件，混凝土水灰比最大允许值宜减小；

②对抗冻要求高的混凝土，浪溅区内下部 1m 应随同水位变动区按抗冻性要求确定其水灰比；

③位于南方海水环境浪溅区的钢筋混凝土宜掺用高效减水剂。

5.2.4 不同暴露部位混凝土最低强度等级应符合表 5.2.4 的

规定。

不同暴露部位混凝土最低强度等级　　表 5.2.4

地区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
南方	C30	C40	C30	C25
北方	C30	C35	C30	C25

5.2.5 不同暴露部位混凝土拌和物的最低水泥用量应符合表5.2.5的规定。

海水环境混凝土的最低水泥用量(kg/m³)　　表 5.2.5

环境条件		钢筋混凝土、预应力混凝土	
		北方	南方
大气区		300	360
浪溅区		360	400
水变动位区	F350	395	360
	F300	360	
	F250	330	
	F200	300	
水下区		300	300

注:①有耐久性要求的大体积混凝土,水泥用量应按混凝土的耐久性和降低水泥水化热要求综合考虑;

②掺加掺合料时,水泥用量可相应减少,但应符合第 5.1.5 条和第 5.2.2 条的规定;

③掺外加剂时,南方地区水泥用量可适当减少,但不得降低混凝土密实性,可采用混凝土抗渗性或渗水高度检验;

④有抗冻要求的混凝土,浪溅区范围内下部 1m 应随同水位变动区按抗冻性要求确定其水泥用量。

5.2.6 南方海港工程浪溅区混凝土,按附录 B 规定方法测定的抗氯离子渗透性不应大于 2000C。

5.3 预应力混凝土灌浆材料的质量

5.3.1 预应力混凝土孔道灌浆材料应采用强度等级不低于 32.5

的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制的水泥浆，水灰比不宜大于0.4。

5.3.2 水泥浆在20℃时的泌水率，在拌和后3h不得超过2%，最终泌水率不得超过3%，泌出的水应在24h内被水泥浆重新吸收。

5.3.3 水泥浆中可掺入适量减水剂、高效减水剂或引气剂等外加剂，但不得含有氯化物、硝酸盐、硫化物、亚硫酸盐、氯酸盐等有害成分。外加剂品种与掺量应通过试验确定。

5.3.4 水泥浆中氯离子总量不应超过水泥质量的0.06%。

5.4 混凝土保护层垫块

5.4.1 混凝土保护层垫块宜为工字形或锥形，其强度和密实性应高于构件本体混凝土。垫块宜采用水灰比不大于0.40的砂浆、细石混凝土或耐碱和抗老化性能好，抗压强度不小于50MPa的工程塑料制作。

5.4.2 混凝土保护层垫块厚度尺寸不应出现负偏差，正偏差不得大于5mm。

5.5 混凝土配合比设计

5.5.1 混凝土配合比设计应满足设计的强度等级和耐久性要求，并做到经济合理。混凝土配制强度应同时符合设计的强度等级和第5.2.4条规定的混凝土最低强度等级。

5.5.2 混凝土配合比的设计方法和步骤除应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的规定通过计算和试配确定外，尚应符合下列规定：

(1) 混凝土拌和物宜掺减水剂及优质掺合料，其掺量和品种应通过试验确定，并符合第5.1.5条的规定；

(2) 粗骨料的最大粒径应符合第5.1.3.4款的规定；

(3) 混凝土拌和物的水灰比最大允许值和最低水泥用量应分别符合第5.2.3条和第5.2.5条的规定；

(4) 混凝土抗氯离子渗透性应符合第5.2.6条的规定；

(5) 掺粉煤灰的混凝土配合比设计应采用超量取代法，超量系数可按表 5.5.2 选用。

粉煤灰的超量系数　　表 5.5.2

粉煤灰等级	超量系数
Ⅰ	1.1～1.4
Ⅱ	1.3～1.7

5.6 混凝土施工

5.6.1 混凝土施工应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》、《水运工程混凝土质量控制标准》和《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》的有关规定。

5.6.2 混凝土构件宜由工场预制，减少现场作业量。在现场浇筑混凝土时，宜采用水上作业。

5.6.3 混凝土的施工缝不宜设在浪溅区、水位变动区以及混凝土发生较大拉应力的部位。

5.6.4 混凝土的组成材料应以质量比配料，按配料单进行称量。当施工过程中骨料含水率有显著变化时，应依据测定结果及时调整用水量和骨料用量。

5.6.5 混凝土拌和物应搅拌均匀，各项质量指标应按规定进行检测并符合设计要求。

5.6.6 混凝土拌和物运送到浇筑地点时，应不离析、不分层，并应保证施工要求的稠度。

5.6.7 浇筑混凝土前必须检查下列内容：

(1) 检查模板、钢筋、预埋件和预留孔的尺寸、规格、数量和位置，其偏差应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的有关规定，并应检查模板支撑的稳定性和接缝的密合情况等；

(2) 检查混凝土保护层垫块的位置和数量，构件侧面或底面的垫块应至少为 4 个/m^2，绑扎垫块和钢筋的铁丝头不得伸入保护层内；

(3) 检查混凝土保护层厚度尺寸允许偏差，浪溅区应为 $^{+10}_{0}$mm，其它部位应为 $^{+10}_{-5}$mm。

5.6.8 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，特别对构件棱角处，应采取有效措施，使接缝严密，防止在混凝土振捣过程中出现漏浆。

5.6.9 混凝土的浇筑应连续进行，在浇筑及静置过程中，应采取措施防止产生裂缝。对混凝土的沉降及塑性干缩产生的表面裂缝，应及时予以处理。

5.6.10 在养护过程中，应控制混凝土处在有利于硬化及强度增长的温度和湿度环境中。混凝土潮湿养护时间应符合表 5.6.10 的规定。

混凝土潮湿养护时间(d) 表 5.6.10

水泥品种	混凝土潮湿养护时间
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	≥15

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 15～21d；

②对大体积混凝土，使用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥时，潮湿养护时间不得少于 15d；使用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥时，潮湿养护时间不得少于 21d；

③当混凝土外掺粒化高炉矿渣或粉煤灰时，潮湿养护时间不应少于 15d。

5.6.11 混凝土浇筑完毕后应及时加以覆盖，终凝后浇水养护，养护用水应与拌和用水相同，缺乏淡水时应采用覆盖塑料薄膜或涂养护剂进行养护。当采用塑料薄膜或养护剂养护时，应覆盖严密，并经常检查塑料薄膜或养护液膜的完整情况和对混凝土的保湿效果。

5.6.12 预应力混凝土构件和位于大气区、浪溅区、水位变动区的钢筋混凝土构件不得使用海水养护。

5.6.13 混凝土构件拆模后，其表面不得留有螺栓、拉杆、铁钉等铁件，因设计要求设置的金属预埋件，其裸露面必须进行防腐蚀处

理，其范围为从伸入混凝土内100mm处起至露出混凝土外的所有表面。

5.6.14 预应力混凝土构件施工应符合下列规定：

(1) 预应力筋在运输过程中应予以保护，防止机械损伤和海水及油污等有害物质污染；

(2) 预应力筋应贮存于防潮且通风良好的仓库内；在无防护的条件下，不得在贮存或加工预应力筋处进行焊接作业；

(3) 同一构件上，应避免使用不同品牌的预应力筋；同束预应力筋，应为同一出厂批次的材料；

(4) 护套接头应采取防水措施，防止水泥浆在浇筑混凝土时进入孔道；

(5) 后张预应力筋张拉后，宜及时进行孔道灌浆，其间隔时间不宜超过7d，否则宜在孔道中放置气相阻锈剂，并予以防水密封；

(6) 灌浆材料的质量应符合第5.3节的规定。灌浆工艺应确保孔道孔隙能被水泥浆填充密实。竖向灌浆和曲线孔道的隆起段应设置溢浆孔并予以二次灌浆。

6 高性能混凝土

6.1 一般规定

6.1.1 对暴露于浪溅区的混凝土，宜采用高性能混凝土。

6.1.2 海港工程所采用的高性能混凝土，除应具有高耐久性，高抗氯离子渗透性，高尺寸稳定性外，尚应具有良好的工作性及较高强度。

6.1.3 配制高性能混凝土应选用优质水泥、级配良好的优质骨料，同时掺加优质掺合料和与水泥匹配的高效减水剂。

6.1.4 高性能混凝土除应符合本节有关规定外，尚应符合第5章及现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》和《水运工程混凝土施工规范》的有关规定。

6.2 混凝土质量

6.2.1 高性能混凝土的技术指标应符合表6.2.1的规定。

高性能混凝土的技术指标 表6.2.1

混凝土拌和物			硬化混凝土	
水胶比	胶凝物质总量 (kg/m^3)	坍落度(mm)	强度等级	抗氯离子渗透性(C)
≤0.35	≥400	≥120	≥C45	≤1000

注：抗氯离子渗透性按附录B规定的方法测定。抗氯离子渗透性试验用的混凝土试件应在标准条件下养护28d，试验应在35d内完成。对掺加粉煤灰或粒化高炉矿渣的混凝土，可按90d龄期的试验结果评定。

6.2.2 高性能混凝土原材料应符合下列规定：

(1) 宜选用标准稠度低、强度等级不低于42.5的中热硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，不宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸

盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥；

(2) 细骨料宜选用级配良好、细度模数在 2.6～3.2 的中粗砂；

(3) 粗骨料宜选用质地坚硬、级配良好、针片状少、空隙率小的碎石，其岩石抗压强度宜大于 100MPa，或碎石压碎指标不大于 10%；

(4) 减水剂应选用与水泥匹配的坍落度损失小的高效减水剂，其减水率不宜小于 20%；

(5) 掺合料应选用细度不小于 4000cm^2/g 的磨细高炉矿渣、Ⅰ、Ⅱ级粉煤灰、硅灰等，其品质应符合第 5.1.5 条的规定。必要时，掺磨细粒化高炉矿渣或粉煤灰的混凝土，可同时掺 3%～5% 的硅灰，其掺量应通过试验确定，单掺一种掺合料的掺量应符合表 6.2.2 的规定。

配制高性能混凝土的掺合料适宜掺入量(%) 表 6.2.2

磨细粒化高炉矿渣	粉 煤 灰	硅 灰
50～80	25～50	5～10

注：磨细粒化高炉矿渣和粉煤灰的掺入量以胶凝材料质量百分比计；硅灰掺入量以水泥质量百分比计。

6.3 配合比设计

6.3.1 高性能混凝土配合比设计应符合下列规定：

(1) 高性能混凝土配合比设计应采用试验—计算法，其配制强度的确定原则应与普通混凝土相同；

(2) 粗骨料的最大粒径不宜大于 25mm；

(3) 胶凝材料浆体体积宜为混凝土体积的 35%左右；

(4) 应通过试验确定最佳砂率；

(5) 应通过降低水胶比和调整掺合料的掺量使抗氯离子渗透性指标达到规定要求。

6.4 施 工

6.4.1 高性能混凝土施工应符合下列规定。

6.4.1.1 对原材料质量应严格控制。

6.4.1.2 对配料设备应进行良好的维护和检查，确保称量准确。混凝土原材料称量偏差应符合表 6.4.1 的规定。

原材料称量的允许偏差

表 6.4.1

材料名称	允许偏差(%)
水泥、掺合料	±2
粗、细骨料	±3
水、外加剂	±1

6.4.1.3 混凝土搅拌应采用搅拌效率高、均质性好的行星式、逆流式 、双锥式或卧轴式强制搅拌机，搅拌机中磨损的叶片应及时更换。高性能混凝土拌和物宜先以掺合料和细骨料干拌，再加水泥与部分拌和用水，最后加粗骨料、减水剂溶液和余额拌和用水，搅拌时间应比常规混凝土延长 40s 以上。

6.4.1.4 高性能混凝土应采用高频振捣器振捣至混凝土顶面基本上不冒气泡，当混凝土浇筑至顶部时，宜采用二次振捣及二次抹面，应刮去浮浆，确保混凝土的密实性。

6.4.1.5 混凝土抹面后，应立即覆盖，防止风干和日晒失水。终凝后，混凝土顶面应立即开始持续潮湿养护。拆模前 12h，应拧松侧模板的紧固螺帽，让水顺模板与混凝土脱开面渗下，养护混凝土侧面。整个养护期间，尤其是从终凝到拆模的养护初期，应确保混凝土处于有利于硬化及强度增长的温度和湿度环境中。在常温下，应至少养护 15d，气温较高时可适当缩短湿养护时间；气温较低时，应适当延长湿养护时间。

6.5 质量评定

6.5.1 高性能混凝土强度的评定验收应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》的有关规定。

6.5.2 高性能混凝土耐久性的检验应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》的有关规定，且其抗氯离子渗透性不应大于 1000C。

7 特殊防腐蚀措施

7.1 混凝土表面涂层

7.1.1 混凝土表面涂层保护应符合下列规定。

7.1.1.1 当采用涂层保护时,混凝土的龄期不应少于28d,并应通过验收合格。

7.1.1.2 涂层系统的设计使用年限,不应少于10a。

7.1.1.3 涂层涂装的范围应按表7.1.1划分为表湿区和表干区。

涂层涂装范围的划分　　表7.1.1

名　　称	范　　围
表湿区	浪溅区及平均潮位以上的水位变动区
表干区	大气区

7.1.2 涂料品质与涂层性能应满足下列要求。

7.1.2.1 防腐蚀涂料应具有良好的耐碱性、附着性和耐蚀性,底层涂料尚应具有良好的渗透能力;表层涂料尚应具有耐老化性。

7.1.2.2 表湿区防腐蚀涂料应具有湿固化、耐磨损、耐冲击和耐老化等性能。

7.1.2.3 涂层的性能应满足表7.1.2的要求。涂层与混凝土表面的粘结力不得小于1.5MPa。

涂层性能要求　　表7.1.2

项　　目	试验条件	标　　准	涂层名称
涂层外观	耐老化试验1000h后	不粉化、不起泡、不龟裂、不剥落	底层+中间层+面层的复合涂层
	耐碱试验30d后	不起泡、不龟裂、不剥落	
	标准养护后	均匀,无流挂、无斑点、不起泡、不龟裂、不剥落等	

续表 7.1.2

项　目	试验条件	标　准	涂层名称
抗氯离子渗透性	活动涂层片抗氯离子渗透试验 30d 后	氯离子穿过涂层片的渗透量在 5.0×10^{-3} mg/cm²d 以下	底层 + 中间层 + 面层的复合涂层

注：①涂层的耐老化性系采用涂装过的尺寸为 70mm × 70mm × 20mm 的砂浆试件，按现行国家标准《漆膜老化测定法》(GB 1865)测定；

②涂层的耐碱性、涂层抗氯离子渗透性、涂层与混凝土表面的粘结力按附录 C 的混凝土涂层试验方法测定。

7.1.3 涂层系统应符合下列规定。

7.1.3.1 涂层系统应由底层、中间层和面层或底层和面层的配套涂料涂膜组成。选用的配套涂料之间应具有相容性。

7.1.3.2 根据设计使用年限及环境状况设计涂层系统，其配套涂料及涂层最小平均厚度可按表 7.1.3 选用。

混凝土表面涂层最小平均厚度　　表 7.1.3

设计使用年限(a)	配套涂料名称				涂层干膜最小平均厚度(μm)	
					表湿区	表干区
20	1	底层		环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
		中间层		环氧树脂漆	300	250
		面层	Ⅰ	丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	200	200
			Ⅱ	聚氨酯磁漆	90	90
			Ⅲ	乙烯树脂漆	200	200
	2	底层		丙烯酸树脂封闭漆	15	15
		面层		丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	500	450
	3	底层		环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
		面层		环氧树脂或聚氨酯煤焦油沥青漆	500	500

续表 7.1.3

设计使用年限(a)	配套涂料名称				涂层干膜最小平均厚度(μm)	
					表湿区	表干区
10	1	底层		环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
		中间层		环氧树脂漆	250	200
		面层	Ⅰ	丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	100	100
			Ⅱ	聚氨酯磁漆	50	50
			Ⅲ	乙烯树脂漆	100	100
	2	底层		丙烯酸树脂封闭漆	15	15
		面层		丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	350	320
	3	底层		环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
		面层		环氧树脂或聚氨酯煤焦油沥青漆	300	280

7.1.4 涂装工艺、质量控制、检查、验收及维修应符合附录 D 的规定。

7.2 混凝土表面硅烷浸渍

7.2.1 硅烷浸渍适用于海港工程浪溅区混凝土结构表面的防腐蚀保护。宜采用异丁烯三乙氧基硅烷单体作为硅烷浸渍材料，其它硅烷浸渍材料经论证也可采用。异丁烯三乙氧基硅烷质量应满足下列要求：

(1)异丁烯三乙氧硅烷含量不应小于 98.9%；

(2)硅氧烷含量不应大于 0.3%；

(3)可水解的氯化物含量不应大于$\frac{1}{10\,000}$；

(4)密度应为 0.88g/cm^3；

(5)活性应为 100%，不得以溶剂或其它液体稀释。

7.2.2 浸渍硅烷前应进行喷涂试验。试验区面积应为 1～5m^2，施工工艺应符合附录 E 的规定。完成试验区的喷涂工作后，应按附录 E 规定的方法，在试验区随机钻取六个芯样，并各取两个芯样分别进行吸水率、硅烷浸渍深度和氯化物吸收量的降低效果测

试。当测试结果符合第7.2.3条规定的合格判定标准时，方可在结构上浸渍硅烷。

7.2.3 浸渍硅烷质量的验收应以每500m^{2}浸渍面积为一个浸渍质量的验收批。浸渍硅烷工作完成后，按附录E规定的方法各取两个芯样进行吸水率、硅烷浸渍深度、氯化物吸收量的降低效果的测试。当任一验收批硅烷浸渍质量的三项测试结果中任意一项不满足下列要求时，该验收批应重新浸渍硅烷：

(1)吸水率平均值不应大于0.01mm/min$^{1/2}$；

(2)对强度等级不大于C45的混凝土，浸渍深度应达到3～4mm；对强度等级大于C45的混凝土，浸渍深度应达到2～3mm。

(3)氯化物吸收量的降低效果平均值不小于90%。

7.2.4 硅烷的浸渍深度宜采用染料指示法评定。浸渍硅烷前的喷涂试验可采用热分解气相色谱法，当硅烷喷涂施工中对染料指示法的检测结果有疑问时，也可采用热分解色谱法进行最终结果评定。

7.3 环氧涂层钢筋

7.3.1 环氧涂层钢筋适用于海港工程混凝土结构浪溅区和水位变动区。

7.3.2 采用环氧涂层钢筋的混凝土，应为优质混凝土或高性能混凝土，可同时掺加钢筋阻锈剂，但不得与外加电流阴极保护联合使用。

7.3.3 环氧涂层钢筋与混凝土之间的粘结强度可为无涂层钢筋粘结强度的80%。涂层钢筋的锚固长度应为无涂层钢筋锚固长度的1.25倍。绑扎搭接长度对受拉钢筋应为无涂层钢筋锚固长度的1.5倍；对受压钢筋应为1.0倍，且不应小于250mm。

7.3.4 采用环氧涂层钢筋的混凝土构件的承载力、裂缝宽度和刚度计算方法与无环氧涂层构件相同，但裂缝宽度计算值应为无环氧涂层钢筋的1.2倍，刚度计算值应为无环氧涂层钢筋的0.9倍。

7.3.5 环氧涂层钢筋制作所采用的材料和加工工艺应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》(JG 3042)的有关规定。

7.3.6 环氧涂层钢筋的涂层厚度、连续性和柔韧性应符合下列规定。

7.3.6.1 固化后的无破损环氧涂层厚度应为 180 ~ 300μm。在每根被测钢筋的全部厚度记录值中,应有不少于 95% 的厚度记录值在上述规定范围内,且不得有低于 130μm 的厚度记录值。

7.3.6.2 环氧涂层的连续性,应在进行弯曲试验前检查环氧涂层的针孔数,每米长度上检测出的针孔数不应超过 4 个,且不得有肉眼可见的裂缝、孔隙、剥离等缺陷。

7.3.6.3 环氧涂层的柔韧性,应在环氧涂层钢筋弯曲后,检查弯曲外凸面的针孔数,每米长度上检测出的针孔数不应超过 4 个,且不得有肉眼可见的裂缝、孔隙、剥离等缺陷。

7.3.7 弯曲试验方法应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》的有关规定。

7.3.8 环氧涂层钢筋的检验应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》的有关规定,但每一检验批应由同一条生产线连续生产出的同一尺寸的涂层钢筋组成。每一检验批钢筋的试验样品应在生产线上随机抽取,涂层厚度、连续性和柔韧性的检验数量每 1h 应各不少于 1 根。

7.3.9 环氧涂层钢筋验收应符合下列规定:

(1)直径不大于 20mm 的宜 2t 为一验收批,直径大于 20mm 的宜 4t 为一验收批;

(2)每一验收批随机应至少抽取 1 根涂层钢筋进行涂层厚度、连续性和柔韧性的复检;

(3)每米涂层钢筋上涂层缺陷总面积最大不得超过钢筋表面积的 0.05%。

7.3.10 环氧涂层的修补应符合下列规定。

7.3.10.1 在环氧涂层的任一点上,当涂层脱开、剥离或损伤到下列程度时,不得修补和使用:

(1)一点上的面积大于25mm^2,或长度大于50mm,其中不包括钢筋剪切端头的修补面积;

(2)1m长度内有3个点以上,即使每个点的面积小于25mm^2,或长度小于50mm;

(3)环氧涂层钢筋切下并弯曲的一段上,涂层有6个点以上的损伤。

7.3.10.2 环氧涂层钢筋在搬运、加工、焊接、架立过程中造成的涂层损伤应按下列规定进行修补:

(1) 加工过程中受到剪切、锯割或工具切断时的切断头,与焊接烧伤及热影响区,均应在切断或损伤后2h内及时修补;

(2) 修补应采用环氧涂层钢筋生产厂家提供的材料;

(3) 修补前,应除尽不粘着的涂层和修补处的锈迹;

(4) 当修补时的环境相对湿度大于85%时,应以电热吹风器适当加热;

(5) 修补时,应使涂抹修补材料与已有牢固涂层搭接的范围适当,不宜使已有牢固涂层过量增厚;

(6) 修补涂层厚度不得少于180μm。

7.3.11 剪切与冷弯环氧涂层钢筋时,所有接触环氧涂层钢筋的支座和芯轴等接触区均应配尼龙套筒或其它合适的塑料套筒。

7.3.12 环氧涂层钢筋的包装、标志、搬运和存放,除应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》的有关规定外,尚应符合下列规定:

(1)环氧涂层钢筋施工中应减少吊装次数,宜采用集装箱运输环氧涂层钢筋;

(2)环氧涂层钢筋的吊装应采用不损伤环氧涂层的绑带、麻绳索及多吊点的刚性吊架,或坚固的多点承托,接触环氧涂层钢筋的区域应设置垫片,不得在地上或其它钢筋上拖曳、掉落或承受冲击荷载;

(3)堆放时,环氧涂层钢筋与地面之间应架空并设置保护性支承,各捆环氧涂层钢筋之间,应以垫木隔开,支承的间距和垫木的间距应小到足以防止成捆钢筋的下垂,成捆堆放层数不得超过5

层，无涂层钢筋与环氧涂层钢筋应分别堆放；

(4)环氧涂层钢筋现场存放期不宜超过6个月。当环氧涂层钢筋在室外存放的时间需要2个月以上时，应采取保护措施，避免阳光、盐雾和大气暴露的影响。

7.3.13 在整个施工过程中应随时检验涂层缺陷，严格限制环氧涂层钢筋出现过多的缺陷，每米涂层钢筋上小于25mm^{2}涂层缺陷的总面积不得超过钢筋表面积的0.1%。

7.3.14 架立环氧涂层钢筋时，不得采用无涂层钢筋，绑扎环氧涂层钢筋应采用尼龙、环氧、塑料或其它材料包裹的铁丝，架立环氧涂层钢筋的钢筋垫座、垫块应以尼龙、环氧、塑料或其它柔软材料包裹。同一构件中，环氧涂层钢筋与无涂层钢筋不得有电连接。

7.3.15 环氧涂层钢筋架立后，不宜在其上行走，应防止工具或重物跌落其上，并应规定可移动设备的位置，以免损伤环氧涂层钢筋。浇筑混凝土前，应检查环氧涂层钢筋的涂层，尤其是剪切端头处，如有损伤应及时修补，待修补材料固化后，方可浇筑混凝土。

7.3.16 浇筑混凝土时，宜采用附着式振动器振捣密实。当采用插入式振动器时，应用塑料或橡胶包覆振动器，防止振捣混凝土过程中损伤环氧涂层。现场多次浇筑成整体或预制构件的外露环氧涂层钢筋应采取措施，避免阳光曝晒。

7.4 钢筋阻锈剂

7.4.1 下列情况宜掺加亚硝酸钙阻锈剂，或以亚硝酸钙为主剂的复合阻锈剂以及质量符合第7.4.2条规定的其它阻锈剂：

(1) 因条件限制，混凝土构件的保护层偏薄；

(2) 混凝土氯离子含量超过第5.2.2条的规定；

(3) 恶劣环境中的重要工程，其浪溅区和水位变化区，要求进一步提高优质混凝土或高性能混凝土的护筋性。

7.4.2 阻锈剂质量验证试验应符合表7.4.2的规定。

阻锈剂质量验证试验标准　　表 7.4.2

试验项目	试验方法	规　定
钢筋在砂浆中的阳极极化试验	按《水运工程混凝土试验规程》。砂浆的氯化钠掺量为 1.5%，阻锈剂掺量按生产厂家的规定采用。当单掺亚硝酸钙时，其掺量应为 1.5%	电极通电后 15min，电位跌落值不得超过 50mV。先进行新拌砂浆中的试验，若不合格再进行硬化砂浆中的试验，若仍不合格则应判为不合格
盐水浸烘试验	按《水运工程混凝土试验规程》	浸烘 8 次后，掺阻锈剂比未掺阻锈剂的混凝土试件中钢筋腐蚀失重率减少 40% 以上
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质或高性能混凝土抗压强度比	按《水运工程混凝土试验规程》	≥90%
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的水泥初凝时间差和终凝时间差	按《水运工程混凝土试验规程》	均在 ± 60min 内
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质混凝土的抗氯离子渗透性	按《水运工程混凝土试验规程》	不降低

7.4.3　浓度为 30% 的亚硝酸钙阻锈剂溶液推荐掺量，可按表 7.4.3 的规定值选取。所选定的亚硝酸钙掺量应符合盐水浸烘试验的质量合格标准。其它阻锈剂的掺量，应按生产厂家建议值和预期的氯化物含量，通过盐水浸烘试验确定。

浓度为 30% 的亚硝酸钙溶液阻锈剂的推荐掺量

表 7.4.3

钢筋周围混凝土的酸溶性氯化物含量预期值（kg/m^3）	阻锈剂掺量（L/m^3）
1.2	5
2.4	10
3.6	15
4.8	20
5.9	25
7.2	30

7.4.4　在特殊情况下，混凝土拌和物的氯化物含量超过第 5.2.2 条的规定值需掺加阻锈剂时，应进行阻锈剂掺量的验证试验，并应将预期渗入的氯化

物含量加上该混凝土拌和物已有的氯化物含量，作为验证试验所采用的氯化物掺量。

7.4.5 阻锈剂可与高性能混凝土、环氧涂层钢筋、混凝土表面涂层、硅烷浸渍等联合使用，并具有叠加保护效果。

7.4.6 采用阻锈剂溶液时，混凝土拌和物的搅拌时间应延长1min；采用阻锈剂粉剂时，应延长3min。

附录 A　硅灰品质标准和检验

A.1　品质标准

A.1.1　硅灰的化学指标应满足下列要求：

(1) 二氧化硅含量≥85%；

(2) 含水率≤3%；

(3) 烧失量≤6%。

A.1.2　硅灰的物理指标应满足下列要求：

(1)火山灰活性指数≥90%；

(2)细度，45μm 筛余量≤10%；比表面积≥15m^2/g；

(3)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%。

A.2　检　　验

A.2.1　硅灰品质检验的取样应符合下列规定：

(1) 应以连续供应硅灰 20t 为一批，不足 20t 按一批计；

(2) 散装硅灰应按不同部位取 10 份试样，袋装硅灰应从每批中任抽 10 袋取样。每份试样重为 200～500g，混合拌匀后按四分法缩取比试验需要量大 1 倍的试样。

A.2.2　硅灰品质的检验应符合下列规定：

(1) 用作水泥砂浆和混凝土掺合料的硅灰，应按第 A.1 节规定的项目进行检验；

(2) 当供应量不足 20t 时，可不检验均匀性指标。

A.2.3　二氧化硅含量检验应符合下列规定。

A.2.3.1　检验所使用的试剂应包括 1:2 和 2%的盐酸(HCl)、

1:1 的硫酸(H_2SO_4)、氢氟酸(HF)、无水碳酸纳(Na_2CO_3)、1%动物胶溶液和蒸馏水。

A.2.3.2 检验分析应按下列步骤进行:

(1)先将试样在 105~110℃烘箱中烘干,然后置于干燥器中冷却至室温;

(2)用三只铂坩埚,各放入约 3.5g 无水 Na_2CO_3;

(3)用秤量瓶秤取 0.5g 试样两份,精确至 0.1mg,分别投入二只铂坩埚中,然后用玻璃棒将试样与无水 Na_2CO_3 搅拌均匀,再送入预热至 800℃的马弗炉中,空白对照无试样的铂坩埚靠近炉门口放置,然后继续升温至 1000℃熔融 30min,取出,令各铂坩埚倾斜放置、冷却;

(4)将冷却后的铂坩埚分别置于 250mL 烧杯中,往烧杯中加入 60mL 的 1:2HCl 浸泡,待熔块脱落后,取出铂坩埚,用水和带橡皮套头的玻璃棒将铂坩埚擦洗干净,洗液应流入烧杯中;

(5)将上述三只烧杯分别置于水浴器的孔口中,加热蒸至湿糊状。蒸发过程中经常搅拌溶液,使盐类成粉末状析出,然后取出冷却,分别加入约 7mL 1%动物胶溶液,空白对照样加 5mL,充分搅匀,放置 5min 以上后,用 20mL 热水冲洗烧杯壁,同时搅拌溶液,使水溶性盐类溶解,静置数分钟,待不溶物沉降后,趁热用滤纸和 3 只 250mL 容量瓶分别过滤,最后将烧杯中的沉淀全部移入滤纸上,并用热水将烧杯多次冲洗,洗液流入滤纸中,并用温热的 2% HCl 洗涤沉淀物直至无铁离子,再用水洗涤两次;

(6)将三个试样的沉淀物连同滤纸,分别置于三个预先灼烧并称重的铂坩埚中,再在电热炉上低温灰化后,放入马弗炉中,在 1000 ℃温度下灼烧 30~50min,取出,在干燥器中冷却称重,再灼烧 20~30min 直至恒重;

(7)将每一铂坩埚中的灼烧残渣用水润湿,加入 4 滴 1:1H_2SO_4 和 5mL HF 蒸发至冒 SO_3 白烟,再放在电热炉上使白烟冒尽。最后移入马弗炉中,在 950℃温度下灼烧 20min 取出,在干燥中冷却称重,并用差减法计算每一坩埚中的 SiO_2 含量。试样的 SiO_2 百分含

量减去空白对照的 SiO_2 百分含量后的平均值，即为硅灰之 SiO_2 百分含量。

A.2.4 烧失量应按现行国家标准《水泥化学分析方法》(GB 176)的有关规定进行检验。

A.2.5 含水率应按现行行业标准《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》(JTJ/T 273)规定的方法测定。

A.2.6 火山灰活性指数检验应符合下列规定：

(1)检验硅灰的火山灰活性指数可采用加速法或常温法，当二者的结果不同时，以加速法为准；

(2)加速法的养护温度，第 1 天应为 20 ± 3℃，第 2 天至第 6 天应为 65 ± 2℃，测第 7 天的抗压、抗折强度，常温法与测水泥胶砂强度相同；

(3)试件成型的控制配比和测试配比应符合表 A.2.6 的规定；

控制配比与测试配比的成分用量(g) 表 A.2.6

材　　料	控制配比	测试配比
强度等级为 42.5 的硅酸盐水泥	540	486
硅灰	0	54
标准砂	1350	1350
水	流动度为 110 ~ 120mm 时的用水量	

(4)试件的成型、抗压、抗折强度测试应按现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法》(GB 177)的有关规定执行；

(5)计算测试配比试件与控制配比试件的抗压强度比和抗折强度比，应取两个比值中的较小值作为硅灰的火山灰活性指数，以百分率表示。

A.2.7 细度应按下列方法进行检验：

(1)湿筛法，除取样质量为 10g，筛网孔径为 0.045mm，压力水喷头冲洗时间为 5min 外，其它要求应按现行国家标准《水泥细度检验方法》(GB 1345)的有关规定执行。

(2)比表面积法，用 BET 氮吸附法表面孔测定仪，按仪器说明

书给定的方法进行。

A.2.8 密度检验应按现行国家标准《水泥比重测定方法》(GB 208)的有关规定执行,但硅灰试样质量应取 45g。

A.2.9 检验结果评定应满足下列要求:

(1) 满足第 A.1 节品质指标的规定为合格品;

(2) 当其中任一项不满足规定标准时,应重新从同一批中加倍取样进行复检,仍不满足者,即为不合格品。

A.2.10 硅灰出厂应满足下列要求:

(1)硅灰出厂应附产品合格证,主要内容包括厂名、日期、批号及品质检验结果;

(2)袋装硅灰包装袋应有塑料衬里,包装袋上应标明厂名、重量、批号及日期;

(3)硅灰在运输和贮存过程中应注意防潮。

附录 B　混凝土抗氯离子渗透性标准试验方法

B.1　适 用 范 围

B.1.1　本试验方法以电量指标来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。

B.1.2　本试验方法适用于直径为 95 ± 2mm，厚度为 51 ± 3mm 的素混凝土试件或芯样。

B.1.3　本试验方法不适用于掺亚硝酸钙的混凝土。掺其它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。

B.2　试验基本原理

B.2.1　在直流电压作用下，氯离子能通过混凝土试件向正极方向移动，以测量流过混凝土的电荷量反映渗透混凝土的氯离子量。

B.3　试验设备及材料

B.3.1　试验装置如图 B.3.1 所示。

B.3.2　仪器设备应满足下列要求：

(1)直流稳压电源，可输出 60V 直流电压，精度 ± 0.1V；

(2)塑料或有机玻璃试验槽，其结构尺寸如图 B.3.2 所示；

(3)铜网为 20 目；

(4)数字式电流表，量程 20A，精度 ± 1.0%；

(5)真空泵，真空度可达 133Pa 以下；

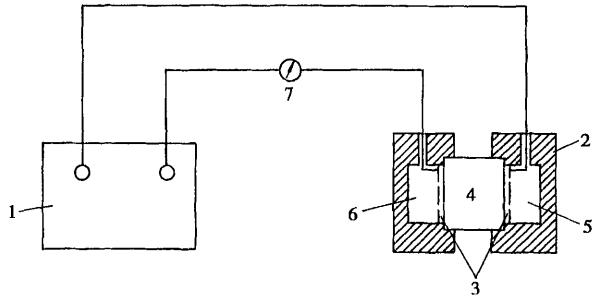


图 B.3.1 试验装置示意图

1-直流稳压电源;2-试验槽;3-铜网;4-混凝土试件;5- 3%NaCl 溶液; 6- 0.3mol NaOH 溶液;7-数字式电流表

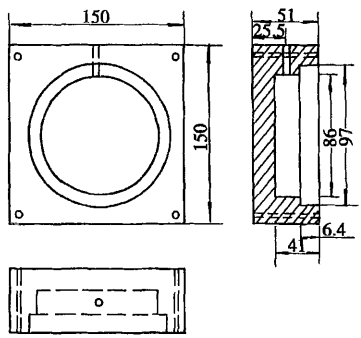


图 B.3.2 试验槽结构图(mm)

(6)真空干燥器,内径≥250mm。

B.3.3 试验应采用下列材料:

(1) 分析纯试剂配制的 3.0%氯化钠溶液;

(2) 用纯试剂配制的 0.3mol 氢氧化钠溶液;

(3) 硅橡胶或树脂密封材料。

B.4 试 验 步 骤

B.4.1 制作直径为 95mm,厚度为 51mm 的混凝土试件,在标准条件下养护 28d 或 90d,试验时以三块试件为一组。

B.4.2 将试件暴露于空气中至表面干燥，以硅橡胶或树脂密封材料施涂于试件侧面，必要时填补涂层中的孔洞以保证试件侧面完全密封。

B.4.3 测试前应进行真空饱水。将试件放入 1000mL 烧杯中，然后一起放入真空干燥器中，启动真空泵，数分钟内真空度达 133Pa 以下，保持真空 3h 后，维持这一真空度注入足够的蒸馏水，直至淹没试件，试件浸泡 1h 后恢复常压，再继续浸泡 18 ± 2h。

B.4.4 从水中取出试件，抹掉多余水份，将试件安装于试验槽内，用橡胶密封环或其它密封胶密封，并用螺杆将两试验槽和试件夹紧，以确保不会渗漏，然后将试验装置放在 20 ~ 23℃的流动冷水槽中，其水面宜低于装置顶面 5mm，试验应在 20 ~ 25℃恒温室内进行。

B.4.5 将浓度为 3.0%的 NaCl 溶液和 0.3mol 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。

B.4.6 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 I_0，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。

B.5 试验结果计算

B.5.1 绘制电流与时间的关系图。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，即可得试验 6h 通过的电量。当试件直径不等于 95mm 时，则所得电量应按截面面积比的正比关系换算成直径为 95mm 的标准值。

B.5.2 取同组 3 个试件通过的电量的平均值，作为该组试件的通电量来评定混凝土抗氯离子渗透性。

附录 C　混凝土表面涂层试验方法

C.1　耐碱性试验

C.1.1　试验应做好下列准备：

(1) 试模，尺寸为 100mm × 100mm × 100mm；

(2) 涂层湿膜厚度规，量程为 0 ~ 500μm；

(3) 显微镜式测厚仪。

C.1.2　试验应按下列步骤进行。

C.1.2.1　试验用混凝土块应采用不低于 C25 的混凝土，水泥宜采用 32.5 级普通硅酸盐水泥，用 100mm × 100mm × 100mm 试模成型 6 个混凝土块，并标准养护 28d。

C.1.2.2　涂层试件的制作，每个混凝土块的任一个非成型面，用饮用水和钢丝刷刷洗。如有气孔，用普通硅酸盐水泥砂浆填补。处理完毕后，置于室内，用纸覆盖，自然干燥 7d，即可涂装；将试验的配套涂料，依照其使用说明书要求，按底层、中间层、面层的顺序分别涂装，同时控制涂层的干膜总厚度为 250 ~ 300μm，涂装过程用湿膜厚度规检测各层的湿膜厚度，并用称重法核实各层涂料的涂布率(kg/m^2 或 L/m^2)。试件制成后，置于室内自然养护 7d。

C.1.2.3　耐碱性试验，取 3 个试件，如图 C.1.2 所示，涂料涂层面朝上，半浸于水或饱和氢氧化钙溶液中 30d。试验过程中，每隔 1 ~ 2d 检查涂层外观是否起泡、开裂或剥离等。

C.1.2.4　将余下的 3 件涂层试件，用显微镜式测厚仪检测涂层干膜总厚度，并计算至少 30 个测点的平均厚度。

C.1.3　试验结果报告应包括下列内容：

(1)涂料生产厂的名称；

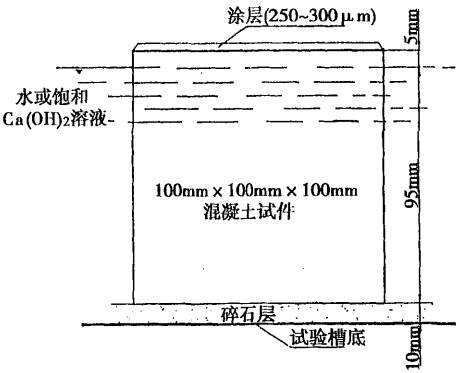


图 C.1.2 涂层耐碱性试验示意图

(2)各种涂料的名称、牌号、生产批号;

(3)每一种涂料的涂布率(kg/m^2 或 L/m^2);

(4)干膜厚度的最大值、最小值和平均值;

(5)耐碱试验后涂层的外观状态描述。

C.2 抗氯离子渗透性试验

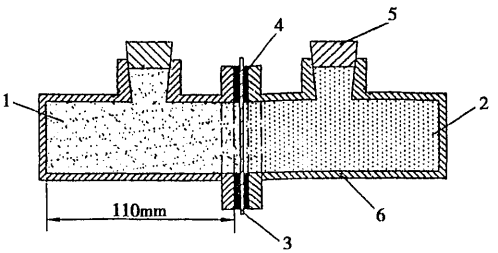
C.2.1 试验应采用内径为 40~50mm 的有机玻璃试验槽、湿膜厚度规和磁性测厚仪。

C.2.2 试验应按下列步骤进行。

C.2.2.1 试验用的活动涂层片的制作系采用 150mm×150mm 的涂料细度纸作增强材料,将其平铺于玻璃板上,将试验的配套涂料,依照使用说明书的要求,先涂底层涂料一道,再涂中间层涂料两道、面层涂料一道。每一道涂膜施涂后,应立即将细度纸掀离玻璃板并悬挂在绳子上,经 24h 再涂下一道,如此反复施涂,用湿膜规控制涂料形成的涂层干膜总厚度为 250~300μm。按此方法共制作三张活动涂层片。制成后,悬挂在室内自然养护 28d,再用磁性测厚仪测量涂层片的厚度供试验。

C.2.2.2 将制得的活动涂层片剪成直径为 60mm 的试件,按图 C.2.2 所示方法进行抗氯离子渗透性试验。使试件涂漆的一面朝

向3%食盐水;细度纸的另一面朝向蒸馏水。共用三组装置。置于室内常温条件下进行试验,经30d试验终结后,测定蒸馏水中的氯离子含量。



图C.2.2 涂层抗氯离子渗透性试验装置示意图

1-3%食盐水;2-蒸馏水;3-试件(活动涂层片);4-硅橡胶填料;5-硅橡胶塞;6-内径为40~50mm试验槽

C.2.3 试验结果报告应包括下列内容:

(1)涂料生产厂的名称;

(2)各种涂料的名称、牌号、生产批号;

(3)氯离子穿过涂层片的渗透量($mg/cm^2.d$)。

C.3 粘结力试验

C.3.1 涂层粘结力试验系采用直接拉脱试验方法测定涂层与被涂物体之间的粘结力。此法既适用于室内试验,也适用于现场试验。

C.3.2 试验应采用拉脱式涂层粘结力测试仪、湿膜厚度规和显微镜式测厚仪。

C.3.3 室内试验应按下列步骤进行。

C.3.3.1 制作500mm×500mm×50mm的C30混凝土试件10件,标准条件下养护28d。

C.3.3.2 按附录D第D.1.1条要求,对每试件的500mm×500mm的非浇注面进行表面处理。

C.3.3.3 需要进行湿固化涂料粘结力试验的5件表湿试件,表

面处理后浸泡在清水中，其它5件表干试件则放置在室内阴干。

C.3.3.4 对处理后的500mm×500mm非浇注面的涂装，按设计的涂层系统和涂料产品使用说明书的要求，依次按底层、中间层和面层涂装。涂装过程用称重法核实各层涂料的涂布率，并用湿膜规测量各层湿膜厚度。对表干试件，先将涂装面的灰尘吹干净，而表湿试件，从水中捞起后，用湿布抹除涂装面的水滴，然后进行涂装。涂装方法，可以是刷涂、滚涂或喷涂。表湿试件，每涂一道涂层后，经4h，浸没3%食盐水中。

C.3.3.5 涂装完成以后，表湿试件经4h后，浸没在3%食盐水中，12h后捞起，再过12h又浸没，如此反复进行养护7d；而表干试件放置在室内自然养护7d。

C.3.3.6 取经7d养护的表干或表湿试件各3件，在每一试件的涂层面上随机找3个点，每点约30mm×30mm大小的面积，用零号细砂纸将每一点的涂层面轻轻打磨粗糙，并用丙酮或酒精等溶剂除油；同时，也对粘结力测试仪的铝合金铆钉头型圆盘座作同样打磨、除油处理。最后用粘结剂把铝圆盘座粘到处理好的涂层上。

C.3.3.7 待粘结剂硬化24h，用拉脱式涂层粘结力测试仪的配件套筒式割刀，将圆盘座的周边涂层切除，使其与周边外围的涂层分离开。

C.3.3.8 将粘结力仪配件的钢环支座片套住圆盘座，然后把粘结力仪的手轮作反时针旋转，使仪器的爪具松下并嵌入铝合金铆钉头型圆盘座，令仪器的三只支撑柱立在钢环支座片上，将仪器的指针拨到“0”的刻度位置；最后，顺时针方向旋紧手轮，一直持续到涂层断裂为止，并立即记录指针的读数。按本步骤重复试验，将每一铝合金铆钉头型圆盘座拔下来，并记录每一次拉拔的读数。

C.3.3.9 用显微镜式测厚仪测定余下4个试件的涂层干膜厚度。每个试件至少测量30个点，以计算干膜厚度平均值。

C.3.4 对现场喷涂的涂层面粘结力的测试，应在涂层涂装完毕经7d后进行。按每50m^{2}面积随机找三个测点进行检测，具体试验方法应参照第C.3.3条的有关规定进行。

C.3.5 试验结果应按下列方法评定。

C.3.5.1 试验后立即观察铝合金铆钉头型圆盘座的底面粘结物的情况，如果底面有75%以上的面积粘附着涂层或混凝土等物体，则试验数据有效。

C.3.5.2 如果底面只有75%以下的面积粘有涂层或混凝土等物体，而且拉力小于1.5MPa，则可在该测点的附近涂层面上重做粘结力试验。

C.3.5.3 表干或表湿试件各取9个试验点的实测数据分别计算其算术平均值代表涂层的粘结力。

C.3.6 试验结果报告应包括下列内容：

(1)涂层涂料生产厂的名称；

(2)各种涂料的名称、牌号、生产批号；

(3)每一种涂料的涂布率(kg/m^2 或 L/m^2)；

(4)干膜厚度的最大值、最小值和平均值；

(5)涂料涂层的粘结力。

附录 D　混凝土表面涂层的施工和管理

D.1　涂层施工

D.1.1　涂装前应进行混凝土表面处理。用水泥砂浆或与涂层涂料相容的填充料修补蜂窝、露石等明显的缺陷，用钢铲刀清除表面碎屑及不牢的附着物；用汽油等适当溶剂抹除油污；最后用饮用水冲洗，使处理后的混凝土表面无露石、蜂窝、碎屑、油污、灰尘及不牢附着物等。

D.1.2　涂装工艺应符合下列规定。

D.1.2.1　不得随意变更设计确定的涂料品种及其生产厂牌号，当特殊情况需要变更时，应由设计部门重新设计及选定相应的涂料品种，且不得降低设计使用年限要求。

D.1.2.2　涂料及稀释剂必须有产品出厂检验合格证书，且应在有效期内使用。

D.1.2.3　对各种进场涂料应取样检验及保存样品，并应按现行国家标准《涂料比重测定法》(GB 1756)和《涂料固体含量测定法》(GB 1729)的有关规定测定涂料的比重、固体含量和湿膜与干膜厚度的关系。

D.1.2.4　各种涂料的使用应按产品说明书的方法进行。

D.1.2.5　涂装方法应根据涂料的物理性能、施工条件、涂装要求和被涂结构的情况进行选择。宜采用高压无气喷涂，当条件不允许时，可采用刷涂或滚涂。

D.1.2.6　涂装前应在表干区、表湿区各找 $10m^2$ 面积的试验区，按第 D.1.1 条的要求处理表面，按涂层系统设计的配套涂料的要求进行涂装试验。涂装试验应测定各层涂料耗用量(L/m^2)和湿

膜的厚度，涂层经 7d 自然养护后用显微镜式测厚仪测定其平均干膜厚度和随机找三个点用拉脱式涂层粘结力测试仪测定其涂层的粘结强度。各种测定值应归档。

D.1.2.7 当按第 D.1.2.6 款进行的涂装试验的涂层粘结强度不能达到 1.5MPa 时，应按该款的要求，另找 $20m^2$ 试验区重做涂装试验。如果仍不合格，应重新做涂层配套设计和试验。

D.1.2.8 涂装应在无雨的天气进行。涂装过程中应做好施工记录。

D.2 质量控制与检查

D.2.1 施工过程中，应对每一道工序进行认真检查。

D.2.2 应按设计要求的涂装道数和涂膜厚度进行施工，随时用湿膜厚度规检查湿膜厚度，以控制涂层的最终厚度及其均匀性。

D.2.3 涂装施工过程中应随时注意涂层湿膜的表面状况，当发现漏涂、流挂等情况时，应及时进行处理。每道涂装施工前应对上道涂层进行检查。

D.2.4 涂装后应进行涂层外观目视检查。涂层表面应均匀、无气泡、裂缝等缺陷。

D.2.5 涂装完成 7d 后，应进行涂层干膜厚度测定。每 $50m^2$ 面积随机检测一个点，测点总数应不少于 30。平均干膜厚度应不小于设计干膜厚度，最小干膜厚度应不小于设计干膜厚度的 75%。当不符合上述要求时，应根据情况进行局部或全面补涂，直至达到要求的厚度为止。

D.3 涂 层 验 收

D.3.1 竣工验收应在涂装完成后 14d 内进行。验收时应提交下列资料：

(1)各种涂料出厂合格证或质量检验文件；

(2)原设计文件或设计变更文件；

(3)涂装施工记录。

D.4 涂层管理及维修

D.4.1 涂装工程在使用过程中应定期进行检查，如有损坏应及时修补。修补用的涂料应与原涂料相同或相容。

D.4.2 当涂层达到设计使用年限时，应首先全面检查涂层的表观状态；当涂层表面无裂纹、无气泡、无严重粉化时，再检查涂层与混凝土的粘结力；当粘结力仍不小于 1MPa 时，则涂层可保留继续使用，但应在其表面喷涂两道原面层涂料。喷涂前，涂层应以饮用水冲洗干净。

D.4.3 当检查发现涂层有裂纹、气泡、严重粉化或粘结力低于1MPa时，可认为涂层的防护能力已经失效。再作涂层保护时，应将失效涂层用汽油喷灯火焰灼烧后铲除，再用饮用水冲洗干净后方可涂装；涂料可使用原配套涂料，或重新设计配套涂料，按第D.1.2条的要求进行施涂。

D.4.4 对防腐蚀涂层系统应建立档案卡，内容包括涂装竣工资料和涂层使用过程的检查及维修记录等。

附录 E　混凝土硅烷浸渍施工工艺及测试方法

E.1　施 工 工 艺

E.1.1　浸渍材料应原罐密封，贮存于阴凉干燥处，并设立符合职业卫生和安全部门要求的警告牌。

E.1.2　喷涂设备应为不断循环的泵送系统，该系统提供的喷嘴压强应为 60～70kPa，水不得进入该系统的任何部分。

E.1.3　浸渍硅烷前应对混凝土进行下列表面处理：

(1)用水泥浆修补蜂窝、露石等明显缺陷；用钢铲刀清除表面碎屑及不牢固的附着物；

(2)按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的有关规定修补宽度大于 0.2mm 的裂缝；

(3)清除不利于硅烷浸渍的灰尘、油污等有害物与污染物；

(4)当混凝土采用脱模剂或养护剂时，应按第 7.2.2 条规定，通过喷涂试验确定脱模剂或养护剂对硅烷浸渍的影响，否则，在硅烷浸渍前，应充分清除；

(5)喷涂硅烷的混凝土表面应为面干状态。进行上述清除工作时，当需使用饮用水冲洗时，则应在冲洗后自然干燥 72h。在水位变动区，应在海水落到最低潮位，混凝土表面看不到水时，喷涂硅烷，以尽量延长喷涂前的自然干燥期。下雨或有强风或强烈阳光直射时不得喷涂硅烷。

E.1.4　浸渍硅烷施工应符合下列规定：

(1)喷涂硅烷的混凝土龄期应不少于 28d，或混凝土修补后应不少于 14d；

(2)混凝土表面温度应在5～45℃之间；

(3)浸渍所需的全部硅烷用料在施工现场应一次备足，使用前，方可启封，并应于启封后72h内用完，否则应予废弃；

(4)施工现场附近应无明火。操作人员应使用必要的安全保护设施；

(5)浸渍硅烷工作，应在硅烷制造厂家的技术要求下，由经验丰富的操作人员实施；

(6)应注意避免硅烷和氯丁橡胶、沥青质密封材料等其它可能腐蚀的材料接触；

(7)对早期暴露于海水环境的现浇构件，应在拆模后立即浸渍硅烷，待表面自然干燥后，再进行养护膜养护。

E.1.5 浸渍硅烷工作应连续喷涂实施，使被涂表面饱和溢流。在立面上，应自下向上地喷涂，使被涂立面至少有5s保持"看上去是湿的"的状态；而在顶面或底面上，都至少有5s保持"看上去是湿的镜面"状态。每遍喷涂量为300mL/m^2，喷涂两遍。两遍之间的间隔时间至少为6h。

E.2 测试方法

E.2.1 吸水率的测试应在最后一次喷涂硅烷后至少7d，钻取直径为50mm、深度为40±5mm的芯样。除原表面外，其余各面包括原表面上小于5mm的周边，均涂以无溶剂环氧涂料，若该涂层有针孔，尚应加涂予以密封。全部芯样在40℃下烘48h后称重。在适当的容器底部，放置多根直径100mm的玻璃棒，将这些芯样原表面朝下放在这些玻璃棒上，注入23℃的水，使水面在玻璃棒上1～2mm，以5、10、30、60、120和140min的时间间隔，取出芯样，称重后立即放回去，直到完成所有这些间隔时间的测试。吸水率平均值的计算是将每一个时间间隔的吸水增量，折算为吸水高度(mm)，然后以吸水高度为纵坐标，以该时间间隔平方根为横坐标作图，取该关系直线的斜率(mm/min$^{1/2}$)为吸水率值。

E.2.2 硅烷浸渍深度可采用下列方法进行测试。

E.2.2.1 染料指示法，应在最后一次喷涂硅烷后至少 7d，钻取直径为 50mm、深度为 40 ± 5mm 的芯样，用密封袋封好。试验时，芯样在 40℃下烘 24h，然后将芯样沿直径方向劈开，在劈开表面上喷涂水基短效染料，不吸收染料的区域表明硅烷的渗透深度。

E.2.2.2 热分解气相色谱法，应在最后一次喷涂硅烷后至少 3d，钻取芯样。在离原表面的深度为 3 ~ 4mm（强度等级 ≤ C45 的混凝土）或 2 ~ 3mm（强度等级 > C45 的混凝土）处，劈开芯样。从该芯样新暴露面的各处，取数份粉样，热分解这些粉样为等离子气体，用气相色谱仪分析，求得其硅烷占水泥浆体粉样的重量百分率的平均值。浸渍区域内的硅烷占水泥浆体粉样重量的百分率应不少于 0.1%。

E.2.3 测试氯化物吸收量的降低效果应在最后一次喷涂硅烷后至少 7d，钻取芯样。除芯样原表面外，其余各面包括原表面上小于 5mm 的周边，均涂以无溶剂环氧涂料加以密封。将芯样原表面朝下放在合适的容器中，注入温度为 23℃的 5mol 的 NaCl 溶液，其液面在芯样上 10mm。24h 后取出芯样，在 40℃下烘 24h，然后从该芯样的深度 2mm 处切片，弃去该切片，将原芯样上的新切面，磨到深度为 10mm，按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》的混凝土酸溶性氯化物含量测定法分析所得粉样的氯化物含量。在深度为 11 ~ 20mm 和 21 ~ 30mm 处，重复上述程序。氯化物吸收量的降低效果可按下式计算：

$$\triangle CU = \frac{CU - CU_1}{CU} \times 100\% \qquad \text{(E.2.3)}$$

式中 $\triangle CU$——氯化物吸收量的降低效果（%）；

CU——对比组的氯化物平均含量，为每个芯样 3 个深度氯化物吸收量的平均值；

CU_1——浸渍硅烷组的氯化物平均含量，为每个芯样 3 个深度氯化物吸收量的平均值。

附录 F　本规范用词用语说明

F.0.1　为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

(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”或“可”；

反面词采用“不宜”。

F.0.2　条文中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

本规范主编单位、参加单位和主要起草人名单

主 编 单 位：广州四航工程技术研究院

参 加 单 位：中交水运规划设计院

南京水利科学研究院

主要起草人：潘德强

（以下按姓氏笔画为序）

杨松泉　洪定海　郭瑞伦

中华人民共和国行业标准

海 港 工 程
混凝土结构防腐蚀技术规范

JTJ 275—2000

条 文 说 明

制 定 说 明

本规范根据交通部交基发[1996]1091号文“关于下达1996年度水运工程建设标准、定额编制计划的通知”和交通部原基建管理司基技字[1997]288号文“关于对《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》制定工作大纲的批复”制定。主编单位为广州四航工程技术研究院(原交通部第四航务工程局科学研究所),参加单位为中交水运规划设计院和南京水利科学研究院。

规范是在总结我国海港工程混凝土结构防腐蚀设计、施工、科研经验和成果的基础上,吸收和借鉴了国内外有关规范和先进技术成果,经征求有关单位的意见多次修改而成。为便于使用者正确理解和掌握本规范的条文,在编写条文的同时编写了条文说明。

本规范条文、附录及条文说明的编写人员如下:

第1章　潘德强

第2章　潘德强　杨松泉　洪定海　郭瑞伦

第3章　潘德强　杨松泉

第4章　杨松泉

第5章　潘德强

第6章　潘德强　洪定海

第7章　洪定海　郭瑞伦

附录A　洪定海

附录B　潘德强

附录C　郭瑞伦

附录D　郭瑞伦

附录E　洪定海

本规范总校人员:姜明宝　李永恒　潘德强　郭瑞伦

本规范于2000年5月12日通过部审,于2000年12月8日颁布,2001年5月1日实施。

目　次

1　总则……（55）
3　一般规定……（56）
4　结构形式及构造……（60）
4.1 结构形式 ……（60）
4.2 构造 ……（60）
5　普通混凝土……（62）
5.1　混凝土原材料 ……（62）
5.2　混凝土质量 ……（64）
5.4　混凝土保护层垫块 ……（68）
6　高性能混凝土……（69）
6.1　一般规定……（69）
6.2　混凝土质量 ……（70）
6.3　配合比设计 ……（73）
6.4　施工 ……（73）
6.5　质量评定……（74）
7　特殊防腐蚀措施……（75）
7.1　混凝土表面涂层 ……（75）
7.2　混凝土表面硅烷浸渍 ……（78）
7.3　环氧涂层钢筋 ……（79）
7.4　钢筋阻锈剂 ……（81）

1 总　　则

1.0.1～1.0.2 海港工程混凝土结构经常与海水接触并处于潮湿环境中，氯离子渗入引起钢筋锈蚀往往导致混凝土结构10～20年就发生破坏，使用寿命受到严重威胁。

钢筋锈蚀引起的腐蚀破坏主要是：各种原材料挟进混凝土中的氯离子以及海水中的氯离子不断渗入到钢筋周围，当此氯离子含量达到某一临界值时，钢筋的钝化膜开始破坏，丧失对钢筋的保护作用，从而引起钢筋锈蚀，削减其有效断面，并引起膨胀，破坏混凝土保护层，形成恶性循环，加速结构的破坏；而在钢筋周围氯离子含量尚低，尚未引起钢筋锈蚀破坏前，对新建混凝土结构采取措施，防范这种腐蚀破坏，就具有“事半功倍”的效果。因此特制定本规范。

本规范的各项规定，适用于新建海港工程混凝土结构，其它新建近海工程混凝土结构可参照执行。是否也适用于已被氯化物所广泛污染，并引起钢筋腐蚀和混凝土结构破坏的老混凝土结构，尚须另行考虑和具体规定。

1.0.3 防止海港工程混凝土结构的腐蚀破坏，提高其耐久性，需制订各种技术指标和采取综合技术措施。本规范对此作了必要的规定。但混凝土结构的防腐蚀涉及到原材料、混凝土配合比、施工工艺、生产设备、检验方法、结构设计等许多方面，因此，在执行本规范时，必须同时遵守有关规范的规定。

3 一般规定

3.0.1 海港工程混凝土结构防腐蚀耐久性设计，要求结构在其设计使用年限内，不会超越预定的失效概率，或支付过高的维修费用，亦不会出现难以接受的外观形状。

3.0.2 海港工程混凝土结构防腐蚀是系统工程，必须在勘察、规划、设计、施工、使用等各个阶段就所涉及的防腐蚀问题，进行细致的了解、分析和处理，各部门应通力合作共同完成。

混凝土结构良好的抗腐蚀耐久性能的获得，除结构的合理、选形和构造外，最主要的是混凝土质量的保证，这是基础工作，否则其它特殊防腐蚀措施也难以得到良好的效果。但应鼓励基础工作和特殊防腐蚀措施的优化组合运用，从而起到多方面多阶段的防护作用，使结构寿命达到更高的概率。

据调查分析，海港工程的使用年限一般可达到30年，如果要求工作寿命更长，则应采用高性能混凝土或特殊防腐蚀措施。

预应力混凝土结构能有效地控制裂缝的产生，应优先采用，但必须保持结构有一定的延性，如在预应力构件中掺有一定数量的非预应力筋。

3.0.3 浪溅区构件的维修比较困难，采用焊接性能好的钢筋便于维修。

3.0.4 根据我国有掩护海港的调查分析，钢筋锈蚀最严重部位在设计高水位以上1.0m至设计高水位以下0.8m的区段。而终年在水下的部位很少有腐蚀损坏，其它部位介于二者之间，因此港工规范将混凝土部位划分为大气区、浪溅区、水位变动区、水下区四个区段。设计高水位加1.5m以上为大气区，大气区下界至设计高水位减1.0m之间为浪溅区，浪溅区下界至设计低水位减1.0m

之间为水位变动区，水位变动区以下为水下区。

此处设计高、低水位是为确定码头面板高程及码头最小工作水位而定的，设计高水位为高潮累积频率 10% 的潮位，设计低水位为低潮位累积频率 90% 的潮位，这是我国港工特有的确定方法。

关于无掩护的开敞式码头部位划分，由于无系统的腐蚀情况调查资料，只有借鉴有掩护的划分办法进行处理。

有掩护码头前沿高程为设计高水位加 1.0～1.5m 的超高，其中考虑了约 0.6m 的波浪高，本条规定浪溅区上界（大气区下界）为设计高水位加 1.5m 处，即扣除 0.6m 波高外，浪溅影响高度取为 0.9m，同时也不低于码头前沿高程。

无掩护码头前沿高程可按下列公式计算：

$$H = \text{设计高水位} + \eta_0 + h + \Delta$$

式中 H——无掩护码头前沿高程；

η_0——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（即波浪上升值）；

h——码头上部结构高度；

Δ——波峰面以上至上部结构底面的富裕高度（为 0～1.0m）。

因此定浪溅区上界为：设计高水位 + η_0 + 1.0m。

对 11 座码头统计表明，此高度大体在码头面高程上下，为此还规定浪溅区上界计算值不低于码头面高程。

水位变动区上界（浪溅区下界），对有掩护的水域，规定为设计高水位以下 1.0m，这大体上在波谷高程以下 0.7m 处。因此对无掩护的水域，规定为设计高水位减去 η_0 的高程，这大体上在波谷以下 $\eta_0/2$ 处。

水下区上界（水位变动区下界），对有掩护的水域，规定为设计低水位以下 1.0m，无掩护的也规定在此处。

需要指出：我国港口工程采用设计高、低水位是独此一家，国外和国内其它系统多采用天文潮和有效波高确定建筑物高程，为

混凝土部位按设计水位和天文潮潮位划分对比结果(m)　　表 3.0.4

	项　目	湄州	赤湾	北仑	海口	鲅鱼湾	秦皇岛	陈山	黄岛	营口	青岛	烟台
按港工设计水位	码头面高程	10.00	6.32	7.84		10.00	6.00	9.50	7.00	5.50	5.80	4.50
	设计高水位	7.35	2.73	3.88	2.41	4.01	1.90	4.61	4.30	4.03	4.32	2.64
	设计低水位	0.77	0.22	0.76	0.41	0.35	0.13	-0.78	-0.44	0.26	0.47	0.20
	波浪上升值 η_0	2.1	2.9	2.6		4.00	2.50	3.40	2.20	1.00	1.28	0.78
	浪溅区上界:设高 $+\eta_0+1.0$m	10.45	6.63	7.48		9.01	5.4	9.01	7.50	6.03	6.60	4.42
	水变区上界:设高 $-\eta_0$	5.25	-0.17	1.28		0.01	-0.6	1.21	2.1	3.03	3.04	1.86
	水下区上界:设低 -1.0m	0.23	-0.78	-0.24		-0.65	-0.87	-1.78	-1.44	-0.74	-0.53	-0.80
按天文潮潮位	最高天文潮位	7.99	3.12	3.70	2.84							
	最低天文潮位	0.31	-0.14	0.16	-0.08							
	百年一遇 $H_{\frac{1}{3}}$	2.70	3.30	3.35	4.40							
	浪溅区上界:最高天文潮位 $+0.7H_{\frac{1}{3}}$	9.88	5.43	6.10	5.92							
	水变区上界:最高天文潮位 $-H_{\frac{1}{3}}$	5.29	-0.18	0.35								
	水下区上界:最低天文潮位 $-0.2H_{\frac{1}{3}}$	-0.23	-0.80	-0.51	-0.96							

了与国际接轨，故同时规定了按后者进行的混凝土部位划分。

国外一般划分为三个区，即大气区、浪溅区和水下区。挪威DNV规定：

浪溅区上界 = 最高天文潮 + $0.6H_{\frac{1}{3}}$

浪溅区下界 = 最低天文潮 + $0.4H_{\frac{1}{3}}$

式中：$H_{\frac{1}{3}}$为重现期100年有效波高。

需要说明的是：它适用于采油平台，设计使用年限比码头等建筑物短，同时我们未找到它们的调查分析资料。

综合国外规定和我们的经验，经分析后对无掩护的港口工程也同时给出了按天文潮和有效波高的划分规定，这与港工按设计水位确定的大体相当，如条文说明表3.0.4所示。

3.0.6 海港工程混凝土除直接受到氯离子渗透作用外，也会因加载、温度、徐变、收缩等引起的变形和裂缝促使腐蚀的加速和结构寿命的缩短。因此，在设计中必须限制过宽的裂缝和过大的拉应力。本条文引自《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267—98)。

4 结构形式及构造

4.1 结构形式

4.1.1～4.1.7 复杂的结构形式，使结构暴露表面面积增大，从结构受力性能和施工不便等多方面分析，都对防腐蚀不利。

结构暴露表面面积与混凝土体积之比愈大，则有害物质渗入混凝土中使钢筋锈蚀的可能性愈大。复杂的结构形式使受力复杂，易于产生应力集中，开裂机遇增大。因此，不应选择多角形的构件，因为在角的外边，侵蚀物能从多边渗入，也易于撞坏，角的内边在负载时，应力复杂易开裂，危险性增大。

复杂的结构形式不便施工，构件各部位尺寸及钢筋位置、保护层厚度难以保证，如采用充水(汽)胶囊形成的空心构件，其形式难以按图纸准确成型，质量难以保证，宜控制使用。

潮湿是腐蚀的必要条件，现场调查表明，通风良好的结构与通风不良的潮湿和水汽易于聚积的结构相比，混凝土受腐蚀情况差异较大。

4.2 构　造

4.2.2 配筋的密集将导致混凝土浇筑不均匀，使混凝土拌和物各组分遭受配筋的不同阻挡作用而离析，从而产生不密实性或呈蜂窝状，因此，钢筋间距不宜过小，应合理并应得到可靠保证。当钢筋较多难以保证最小的间距时，可采用两根钢筋的并筋措施。此时，在进行构件承载力和刚度计算时，钢筋直径和保护层厚度应按等效直径考虑；而在进行裂缝宽度和防腐蚀设计时，保护层厚度应从并筋的外轮廓线算起。

4.2.7～4.2.9 混凝土保护层对钢筋的防腐蚀极为重要，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胀裂力，但过厚的保护层导致裂缝的增大。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（高密实性），尚应规定合适的混凝土保护层最小厚度值。本规范的规定值系根据我国港工调查和室内外科研成果并参考国外有关规定而给出。国外有关规范规定的最小厚度见条文说明表4.2.7。

国外规范规定的混凝土保护层最小厚度（mm） 表4.2.7

混凝土所处部位	FIP建议 1989	ACI357 1989	BS6235 1982	BS8110 1985	DNV 1989	AS1481 1983	CEB-FIP 1991	ENV 1991
大气区	65(90)	65(90)	75(100)	60(60)	40(1.5d)	75(100)	45(45)	45～50 (55)
浪溅区	65(90)	65(90)	75(100)	60(60)	50(1.5d)	75(100)	45(45)	45～50 (55)
水下区	50(75)	50(75)	60(75)	60(60)	50(1.5d)	60(75)	45(45)	45～50 (55)

注：① 括号内的数值为预应力混凝土保护层最小厚度；

② 括号内 d 的数值为钢丝束最大名义直径。

4.2.10 埋入混凝土中并暴露在外的一切钢插入件等的锈蚀都将扩散，若与配筋接触，则构成宏观腐蚀电偶，加剧配筋锈蚀，从而加速埋入件的腐蚀。

5 普通混凝土

5.1 混凝土原材料

5.1.1 海港工程混凝土结构经常与海水接触，防止钢筋腐蚀破坏，往往成为控制混凝土质量的主要指标。因此，混凝土原材料的质量，尚应根据结构所处的环境条件和在建筑物上的部位，满足耐久性要求。

5.1.2 本规范未推荐抗硫酸盐硅酸盐水泥，此外，将水泥熟料中的铝酸三钙含量值放宽到6%～12%范围内，主要依据如下：

国内外长期研究与海港工程混凝土结构的大量调查表明：即使硅酸盐水泥熟料的铝酸三钙计算含量高达9%～17%，水灰比不大于0.5低渗透性混凝土也不会产生硫酸盐型化学腐蚀破坏，不影响海港工程混凝土结构的耐久性；由于海水含有大量氯离子，水泥的铝酸三钙水化物可与渗入混凝土的氯离子结合，反而推迟了钢筋周围水泥石孔隙液的氯离子浓度达到活化钢筋的临界浓度所需的时间，因此，目前国外普遍认为硅酸盐水泥熟料的铝酸三钙含量的适当增大，对保护钢筋来说，反而是有利。本条根据现行国际标准《FIP海工混凝土结构设计与施工建议》(1986年第四次修订版)，将硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥熟料中的铝酸三钙计算含量放宽到6%～12%范围内。

大掺量(大于胶凝材料总量的50%)的矿渣硅酸盐水泥，根据国外长期研究与大量海港混凝土工程的使用表明：低水灰比、富配合的这种混凝土具有极为优异的抗氯离子扩散性能和极为优异的对钢筋的长期防腐蚀性能。我国的对比试验也证实了掺矿渣硅酸盐水泥的抗氯离子渗透能力比硅酸盐水泥高27倍。近年来，世界

上钢筋腐蚀破坏最严重的中东海湾地区海工钢筋混凝土与预应力混凝土重要工程结构的耐久性设计，甚至采用这种水泥作为保证其长期使用寿命的关键性措施之一，与高效减水剂、低水灰比、厚保护层和充分潮湿养护并列加以推荐。

研究表明，同时掺适量高效减水剂，会大大增加减水效应，显著降低水灰比，使7d强度也不低于基准混凝土。

5.1.3 混凝土中粗骨料与水泥砂浆的接触界面一般是薄弱环节，海水中的氯离子易从界面渗入到钢筋周围，为提高混凝土保护层抗氯离子渗透能力，粗骨料最大粒径应小于保护层厚度，例如，FIP规定，主钢筋的混凝土保护层厚度值应不小于骨料最大粒径的1.5倍。

5.1.5 混凝土中掺入适量粒化高炉矿渣、硅灰或粉煤灰等活性掺合料，能明显改善混凝土性能，特别是改善混凝土抗氯离子渗透的性能，显著提高混凝土护筋性能。因此，海港工程中，用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥拌制的混凝土，宜适当掺入优质掺合料。

粉煤灰是最常用的一种掺合料，在港口混凝土工程中应用已较普遍，国内外大量试验和工程实践表明：掺加适量优质粉煤灰，取代部分水泥和部分细骨料，在保证混凝土强度等级与稠度要求的前提下，可以显著地提高其抗氯离子扩散性，增强对钢筋的防护性能。

为保证掺粉煤灰的混凝土能显著提高其耐久性，本条规定应采用Ⅰ级或Ⅱ级的商品粉煤灰。粉煤灰在混凝土中取代水泥的最大限量，是根据近年来港口工程实践经验和研究成果，并参考现行行业标准《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》而制定的。

磨细高炉矿渣的细度对其活性指数影响很大，而且磨细矿渣粉较粗时要引起混凝土泌水，故要求其细度不小于4000cm^2/g。当混凝土中磨细矿渣的掺量大于胶凝材料总量的50%时，才能明显的提高混凝土抗氯离子渗透性。故要求采用硅酸盐水泥时，其掺量不宜小于胶凝材量总量的50%，对于普通硅酸盐水泥，因这种水泥本身就掺有不大于15%的掺合料，故要求不宜小于胶凝材料

总量的40%。

硅灰的掺入量规定不宜大于水泥质量的10%，主要原因是硅灰是一种极细的颗粒，其比面积≥150000cm^2/g，掺量过大时会影响混凝土拌和物的和易性，同时会增大混凝土的收缩。

5.2 混凝土质量

5.2.2 混凝土拌和物中氯离子最高限值，系指由拌和水、水泥、细骨料中的海砂、粗骨料中的海砾以及外加剂等各种材料带进混凝土的氯离子总含量。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，对于处于海水环境中的钢筋混凝土，由于海水中的氯离子还会不断渗入到钢筋，拌和物中的氯离子含量应尽可能的少；对预应力混凝土结构，由于预应力筋对氯盐腐蚀非常敏感，易发生应力腐蚀，更应严格限制。因此，为保证混凝土的耐久性，应根据混凝土种类、环境条件等对混凝土拌和物中氯化物总量加以限制。

关于引起钢筋腐蚀的氯离子临界值，目前看法尚不一致，大约占水泥重量的0.35%～1%范围内。现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》对预应力混凝土和钢筋混凝土分别规定混凝土拌和物中氯离子的最高限值（以水泥质量百分率计）为0.06%和0.1%。国外一些主要规范规定混凝土拌和物中氯离子允许的最高限值如下：

一、日本土木学会编《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0.60kg/m^{3}以下；

2.对耐久性要求特别高的钢筋混凝土和后张预应力混凝土，在可能发生盐害和电腐蚀的场合以及采用先张预应力混凝土的场合，混凝土中氯离子总量定为0.30kg/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0.30kg/m^{3}以下。但是，在得到购货者认可时，可在0.60kg/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，见条文说明表5.2.2-1，该建议考虑了气候的影响。

FIP对混凝土拌和物中氯离子的最高限值(按水泥质量的百分率计)

表5.2.2-1

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》(ACI357—1984)规定：混凝土拌和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》(ACI318—1989)的规定，见条文说明表5.2.2-2。

ACI318对混凝土拌和物中氯离子的最高限值 表5.2.2-2

构件种类及环境条件	混凝土拌和物中可溶于水的氯离子(按水泥质量百分率计)
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
使用环境中干燥或有防潮措施的钢筋混凝土	1.00
其它钢筋混凝土	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)对混凝土拌和物中氯离子限值的规定，见条文说明表5.2.2-3。

BS 6235和BS 8110对混凝土中氯离子的最高限值

(按水泥质量百分率计) 表5.2.2-3

结构种类	水泥品种	BS 6235—1982	BS 8110—1985
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	0.6	0.20
预应力混凝土	各种水泥	0.06	0.10

本条规定的混凝土拌和物中氯离子的最高限值，主要是参考上述国内外标准制订的。

5.2.3 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，为了获得耐久性良好的混凝土，混凝土应尽可能密实。为此，除了选择级配良好的骨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，水灰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，必须根据环境条件及混凝土在建筑物中所处部位规定水灰比的最大允许值。

国外海工混凝土结构主要规范或标准要求的水灰比最大允许值见条文说明表5.2.3。

国外海工混凝土结构水灰比最大允许值 表5.2.3

标准代号或名称	混凝土所处部位		
	大气区	浪溅区	水下区
《FIP海工混凝土结构设计与施工建议》(1986)	0.40	0.40	0.45
ACI357(1989)	0.40	0.40	0.40
AS1480(1982)	0.45	0.45	0.45
DNV(1989)	0.45	0.45	0.45
日本土木学会编《混凝土标准规范》(1986)	0.45	0.45	0.50

5.2.4 通常，港工钢筋混凝土结构设计要求的混凝土强度等级为C25～C30，比浪溅区按耐久性要求的水灰比最大允许值设计的混凝土强度等级低，一般低10～15N/mm^2。由于目前在施工过程中，不能通过现场检验工程结构中已浇筑的混凝土拌和物的实际水灰比进行验收，只能通过混凝土试件的强度检测进行验收，造成控制和验收易出现漏洞，因此有必要规定不同暴露部位按耐久性要求的水灰比最大允许值所对应的混凝土最低强度等级，以便对混凝土质量进行双控。

本条规定的不同暴露部位混凝土最低强度等级是依据采用425水泥，相应于不同暴露部位水灰比最大允许值按数理统计的平均强度减1.645σ值确定的。在正常条件下，按水灰比最大允许

值设计的混凝土强度，满足本规范表 5.2.4 混凝土最低强度等级的保证率为 95%，如果实测强度低于表 5.2.4 规定的最低强度等级，可以认为其水灰比大于按耐久性规定的水灰比最大允许值，从而影响混凝土的耐久性。

国外一些标准或规范按耐久性要求，也规定了最低强度值，如《FIP 海工混凝土结构设计与施工建议》(1986)规定，对直接暴露于海洋环境中的混凝土，浪溅区和大气区要求其 28d 的最低特征强度应为 40N/mm^2，水下区为 30N/mm^2。美国《固定式离岸混凝土结构设计与施工规程》(ACI357)规定 28d 最低圆柱体抗压强度为 35MPa。香港海工混凝土技术标准要求 28d 的最低特征强度为 45N/mm^2。

5.2.5 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水泥用量都有具体规定，其原因如下：

(1)单位水泥用量较高的混凝土，混凝土拌和物较均匀，可减少混凝土捣实过程中出现的局部缺陷；

(2)水泥用量较高的混凝土，能经常保持钢筋有较高的碱度，使钢筋钝化膜不易破坏。

国外海工混凝土结构主要规范或标准要求的最低水泥用量见条文说明表 5.2.5。

国外规范要求的海工混凝土结构最低水泥用量(kg/m^3)

表 5.2.5

规范代号或名称	混凝土所处部位		
	大气区	浪溅区	水下区
《FIP 海工混凝土结构设计与施工建议》(1986)	360	400	360
ACI357(1989)	350	350	350
AS1480(1982)	400	400	360
DNV(1989)	300	400	300
日本土木学会编《混凝土标准规范》(1986)	330	330	300

5.2.6 抗氯离子渗透性目前国外普遍采用 ASTM C1202 标准测定的电量大小表示，它与长期氯化物渗透试验测定的氯离子扩散系

数有良好的相关关系，具有方法简便快速等优点。按该法测定，用硅酸盐水泥配制的水灰比为 0.40 的混凝土，电量一般为 2000～3000C；若掺适量掺合料，一般为 1500～2500C。本规范对南方海港工程浪溅区的混凝土要求为不大于 2000C，只要按本规范第 5.2.3 条的规定控制水灰比，或掺入适量掺合料，这一要求是可以做到的。

5.4 混凝土保护层垫块

5.4.1 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，环境腐蚀介质（如海水中的氯离子）极易经此渗透到钢筋周围，引起钢筋腐蚀。因此，为了保证构件的耐久性，混凝土保护层垫块宜采用水灰比不大于 0.40 的砂浆或细石混凝土制作；其形状宜采用渗径较长且易于固定的工形或锥形。为保证钢筋保护层最小厚度值，垫块尺寸不允许负偏差，正偏差不得大于 5mm。

由于用砂浆或细石混凝土制作的保护层垫块尺寸允许偏差难以保证，国外已采用工程塑料制作的保护层垫块，对控制混凝土保护层偏差起到良好作用，本规范推荐采用塑料保护层垫块。设计塑料垫块外形应尽可能增大渗径，接触模板的面积应尽可能小并易于固定。

6 高性能混凝土

6.1 一般规定

6.1.1～6.1.2 近年来，高性能混凝土(HPC)得到了人们的普遍关注，它具有高耐久性、高尺寸稳定性、良好的工作性和较高强度，特别是它的高抗氯离子渗透性，从根本上显著提高了混凝土本身的护筋性能，使许多国家把高性能混凝土作为跨世纪的新建筑材料。经工程证实，HPC可用混凝土的常规材料与施工工艺，以严格的材料选择、配合和质量控制，经济可靠地建造高耐久性的海港工程混凝土结构，因此，HPC可视为提高新建海港工程混凝土结构耐久性的首选措施。

6.1.3 高效减水剂具有长的分子链和大分子量，它们包覆了水泥颗粒，使后者具有高的负电荷而互相排斥，从而显著地提高了水泥在拌和物中的分散性，大大降低水泥颗粒彼此凝聚成团、丧失流动度的趋势，赋于水泥浆体很高的流动性。这就是高效减水剂对水泥的解絮(分散)效应。

水泥水化首先是其中C_3A的水化，而这种水化反应受生产水泥时掺入的石膏迅速溶解为硫酸根离子的浓度所控制。可见新拌混凝土拌和物中硫酸根离子和高效减水剂都将首先与水泥的C_3A发生反应。

如果水泥所含石膏(如过烧无水石膏或硬石膏)在拌合水中溶解得太慢，那么，高效减水剂就不得不较多地逐渐消耗于它和C_3A的反应中，使本来吸附于水泥颗粒表面的高效减水剂数量减少，削弱了它对水泥的解絮效应，这就是所谓高效减水剂改善水泥混凝土拌和物流动度随时间而明显降低的问题，也即它与水泥的不匹

配问题。

在普通混凝土中存在的这个问题，在高性能混凝土中就更突出。因为高性能混凝土的水灰比极低（≤0.35），只有极少量的水可以接纳硫酸根离子；因此，专门检验这种匹配性是完全必要的。

6.2 混凝土质量

6.2.1 根据国内外资料，配制高性能混凝土，是通过采用高效减水剂和掺入活性掺合料来压低水胶比的办法获取的，为了确保高性能混凝土的质量，本规范规定水胶比应不大于 0.35，胶凝材料总量不应小于 400kg/m^3，坍落度应≥120mm 一般强度等级要求≥C45。本规范规定混凝土强度等级不小于 C45 是基于海港工程混凝土结构的高强度不是主要矛盾而拟定的。另外，目前钢筋混凝土结构设计是依据普通混凝土制成的构件进行试验得出的计算模式，与高强混凝土构件的破坏过程有明显差别，特别是它的脆性使人们很关心，因此，目前有的国家对其强度有所限制，如美国混凝土房屋结构设计规范（ACI318）限制混凝土强度不得高于 70MPa。本规范对高性能混凝土的强度上限虽未限制，但并不意味着要求采用高强度等级。

对海港工程混凝土最为关注的是其耐久性指标，目前国外一般采用本规范附录 B 的标准试验方法进行试验，根据通过的电量来衡量氯化物的渗透性。本规范附录 B 所规定的混凝土抗氯离子渗透性试验方法，系参照 ASTM C 1202－97 制定的。

用通过的电量衡量混凝土的氯化物渗透性，受到混凝土养护条件、养护龄期的影响较大，因此，本试验规定在标准养护条件下养护 28d，试验应在 35d 内完成。掺矿渣尤其是掺粉煤灰的混凝土，因火山灰反应滞后，35d 内完成本试验时，其抗氯离子渗透性低于实际工程长龄期的表现，因此，对掺矿渣粉或粉煤灰的混凝土规定可按龄期为 90d 的试验结果评定。

国外对重要的海工混凝土结构，其抗氯离子渗透性指标要求不大于 1000C，例如丹麦、巴林、香港青马大桥等地的跨海大桥等，

此指标按 ASTM C 1202 标准衡量，其氯化物渗透性是很低的，只有聚合物乳胶改性混凝土、内部密实混凝土和高性能混凝土才能达到。目前我国某港二期工程和国外工程采用的大掺量粉煤灰高性能混凝土，按我国某院和挪威某公司的试验结果，其抗氯离子渗透性指标完全可以达到小于 1000C 的要求，试验结果见条文说明表 6.2.1-1、表 6.2.1-2、表 6.2.1-3。因此，本规范将抗氯离子渗透性定为不大于 1000C。

××港二期工程高性能混凝土试验结果　表 6.2.1-1

编号	粉煤灰掺量（%）	胶凝材料用量（kg/m³）	水胶比	坍落度（mm）	抗压强度（MPa）		吸水率（mm/min$^{\frac{1}{2}}$）	Cl^-电量通过值（C）	Cl^-扩散系数（$10^{-12}m^2/s$）
					7d	28d			
Y-40	40	446	0.30	198	52.0	66.9	0.07	741	1.49
Y-35	35	463	0.30	218	58.0	66.2	0.07	751	1.41
Y-30-1	30	482	0.30	218	61.2	72.0	0.08	894	1.43
Y-30-2	30	475	0.33	210	57.8	73.8	0.08	1039	–
Y-25-1	25	484	0.30	215	63.8	75.6	0.11	1068	1.53
Y-25-2	25	476	0.33	215	66.0	77.2	0.08	1130	–

我国某院高性能混凝土试验结果　表 6.2.1-2

水泥品种及强度等级		粉煤灰掺量（%）	材料用量（kg/m³）						外加剂掺量（%）	砂率（%）	塌落度（cm）	28d抗压强度（MPa）	通过电量（C）
			C	F	S	G	W	W/(C+F)					
基准混凝土	32.5普通硅酸盐水泥	0	384	0	676	1102	192	0.50	0	38	5.0	44.9	2861
		0	447	0	581	1073	201	0.45	0	35	6.4	52.8	2395
		0	489	0	553	1105	196	0.40	0	33	7.0	60.5	2052
	32.5矿渣硅酸盐水泥	0	382	0	677	1105	191	0.50	0	38	5.8	42.6	1437
		0	445	0	631	1076	200	0.45	0	37	6.8	45.5	1332
		0	493	0	587	1090	197	0.40	0	35	6.8	53.3	1212

续表 6.2.1-2

水泥品种及强度等级		粉煤灰掺量(%)	材料用量(kg/m³)						外加剂掺量(%)	砂率(%)	塌落度(cm)	28d抗压强度(MPa)	通过电量(C)
			C	F	S	G	W	W/(C+F)					
高性能混凝土	42.5普通硅酸盐水泥	30	382	164	638	999	153	0.28	1.2	39	20.3	67.5	517
		35	339	182	652	1017	146	0.28	1.2	39	18.0	73.9	447
		40	312	208	666	998	146	0.28	1.2	40	19.7	71.6	454
		30	338	145	676	1015	155	0.32	0.9	40	13.2	67.9	627
		35	296	160	675	1057	146	0.32	1.1	39	18.0	66.4	579
		40	273	182	691	1036	145	0.32	1.0	40	17.3	68.8	554
		30	314	135	718	987	162	0.36	0.8	42	15.8	63.9	792
		35	281	151	726	1003	156	0.36	0.8	42	18.0	61.2	737
		40	250	167	734	1017	150	0.36	0.9	42	16.7	61.8	813

挪威某公司快速氯离子渗透试验结果(C) 表 6.2.1-3

水胶比	硅灰掺量(%)	1d潮湿养护+27d空气养护		14d潮湿养护+27d空气养护		28d潮湿养护		18h蒸养+27d空气养护	
		外插计算	实际读数	外插计算	实际读数	外插计算	实际读数	外插计算	实际读数
0.35	0	2495	3168	2474	2996	2126	2430	3962	5058
0.35	7	637	543	377	371	293	295	607	611
0.35	12	272	282	230	226	198	202	–	–
0.40	0	2740	3713	2314	3172	2205	3062	–	–
0.40	7	567	596	452	487	432	442	–	–
0.45	0	4968	5908	3744	4498	2832	3527	6384	7299
0.45	7	1472	1783	665	758	648	719	1164	1430

6.2.2 混凝土中掺优质掺合料是配制高性能混凝土的重要技术措施，由于矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥，自身掺有掺合料，其掺合料的比例，通常用户也很难知道，而且不同厂家或不同批次都在波动，特别是矿渣硅酸盐水泥，由于矿

渣较水泥熟料难磨细，可能有较大的掺量。因此，用上述水泥配制高性能混凝土，从混凝土质量控制上比较困难，故配制高性能混凝土时，不宜采用上述水泥。

配制高性能混凝土时，选用与水泥匹配（坍落度损失小）的优质减水剂非常关键，国外一般要求减水剂的减水率应在25%以上，考虑到我国减水剂的质量水平，要求减水剂的减水率应不小于20%。

6.3 配合比设计

6.3.1 粗骨料最大粒径宜控制在25mm，以保证混凝土具有较高强度和高耐久性。规定胶凝浆体体积在混凝土中约占35%，主要是为了同时保证高抗渗性和高尺寸稳定性，大于35%可能对尺寸稳定性有不良影响，使混凝土内外温差、湿度差引起的应力应变以及干缩和徐变增大；小于35%可能降低混凝土的均匀性、工作性和抗渗性。

6.4 施　　工

6.4.1.1～6.4.1.2 原材料质量的合格和稳定以及称量的准确对保证高性能混凝土质量极为重要，建议严格执行用料必须有见证的检验制度。

6.4.1.3～6.4.1.4 高性能混凝土的拌和物比较粘稠，为了保证搅拌均匀，必须采用性能良好，搅拌效率高的搅拌机，按建议的程序投料，并适当延长搅拌时间。

6.4.1.5 养护质量对确保高性能混凝土质量十分关键，特别是对抗氯离子渗透性能影响十分明显，见条文说明表6.2.1-3。大量试验与应用证实，如果养护不够，高性能混凝土的潜在高性能优势不仅不能充分发挥，而且会转化为劣势，其强度和耐久性甚至比普通混凝土还低劣，尤其是在气温低时更是如此。因此，在整个养护期间，尤其是终凝以后、拆模以前的养护初期，应确保高性能混凝土处于有利于硬化及强度增长的温度和湿度环境中，并保证有足够

的养护时间。

6.5 质量评定

6.5.1 海港工程对高性能混凝土强度等级要求为不小于 C45，实际配制强度不会超过 80MPa，因此仍可采用现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)有关混凝土强度的合格评定规定进行评定。

6.5.2 本规范规定的高性能混凝土抗氯离子渗透性是海港工程防腐蚀的关键技术指标，因此在耐久性合格检验时，其抗氯离子渗透性应符合不大于 1000C 的规定。

7 特殊防腐蚀措施

7.1 混凝土表面涂层

7.1.1 混凝土表面涂层是海港工程混凝土结构耐久性特殊防护措施之一。被涂装的混凝土结构，应是通过验收合格的，只有这样才能发挥涂层的防腐效果。混凝土属于强碱性的建筑材料，采用的涂料应具有良好的耐碱性、附着性和耐蚀性，环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸树脂、氯化橡胶和乙烯树脂等涂料均适用。海港工程混凝土结构的腐蚀破坏一般都在平均潮位以上的部位；在平均潮位以下，由于混凝土处于饱水状态，通氧条件差，钢筋的腐蚀极为缓慢，同时考虑涂装施工问题，故将涂装位置确定在平均潮位以上的部位，并将涂装范围划分为表湿区和表干区。

7.1.2 浪溅区及水位变动区，因受海浪的飞溅和冲刷，表面常处于潮湿状态，使用的涂料应具有湿固化、耐磨损、耐冲击和耐老化等性能。

涂层与混凝土的粘结力不得小于 1.5MPa，表 7.1.2 中规定的试验条件和标准，均参照日本的混凝土涂料质量标准。我国某院于 1992 年和 1995 年为澳门友谊大桥、汕头海湾大桥混凝土表面喷涂涂层，选择的涂层配套为环氧封闭漆 + 环氧厚浆漆 + 厚浆丙烯酸面漆，涂层性能试验结果表明，涂层的粘结力一般都达到或大于 2.5MPa；活动涂层片的抗氯离子渗透试验，30d 的渗透量为零；耐老化、耐碱性都达到表 7.1.2 的要求。

7.1.3 混凝土表面涂层系统应由底层、中间层和面层等配套涂料涂膜组成。底层涂料（封闭漆）应具有低粘度和高渗透能力，能渗透到混凝土内起封闭孔隙和提高后续涂层附着力的作用；中间层

涂料应具有较好的防腐蚀能力，能抵抗外界有害介质的入侵；面层涂料应具有抗老化性，对中间层和底层起保护作用。各层的配套涂料要有相容性，即后续涂料涂层不能伤害前一涂料所形成的涂层。

我国某院1986年对湛江一区北－7.3m码头混凝土喷涂了2×10^4m^2涂层，上横梁及面板使用的涂料为广州涂料研究所生产的H801云铁环氧漆及氯化橡胶漆，以H801云铁环氧漆为底层及中间层，氯化橡胶漆为面层，涂层的干膜厚度为250μm；下横梁采用某学院研制的具有一定湿固化性能的WR112型煤焦沥青环氧漆涂料，涂层干膜厚度为300μm左右。该院1992年对澳门友谊大桥混凝土喷涂了28×10^4m^2涂层，采用某品牌环氧封闭漆、厚浆环氧漆和厚浆丙烯酸面漆涂层组成复合涂层，涂层的干膜总厚度不小于210μm。1995年对汕头海湾大桥混凝土喷涂了4.5×10^4m^2涂层，使用的涂料与澳门友谊大桥相同，但涂层的干膜厚度：主塔和墩柱的承台为300μm；主塔身、主桥箱梁、墩柱及盖梁等为260μm。1992年进行澳门友谊大桥喷涂施工时，制作了混凝土涂层试件，试件的涂层干膜厚度为200～300μm，并放在湛江暴露试验站的浪溅区和水位变动区，经5年暴露试验，1997年初取样，测定0～1mm混凝土层的氯离子含量为0.018%。

香港的《混凝土保护性涂层样板规范》对受周期性海水浸泡的混凝土结构的涂层最小干膜厚度规定不得小于150μm，平均干膜厚度应比最小干膜厚度大33%。

本规范表7.1.3规定的涂层干膜最小平均厚度，系我国海港工程设计中曾选用过的涂层系统，使用效果良好。

7.1.4 混凝土表面涂层的耐久性和防护效果，与混凝土涂装前的表面处理关系很大，良好的表面处理，能使涂层经久耐用，防护效果也显著。本规范对混凝土表面处理的规定内容，系根据我国海港工程十多年来进行混凝土表面喷涂涂层施工所积累的经验。

涂层的质量与采用的涂料的品种和牌号关系很大。不同品种或虽为同一品种而生产厂家不同的涂料组成的涂层，其性能相差

可能很大。因此，如要变更涂料品种或生产厂，应由设计部门重新设计，并应维持原定的保护年限指标。

高压无气喷涂能容易地控制和保证涂层厚度和均匀性，涂料飞散较少，且具有很高的涂装效率（高达 200～600m^2/h），可确保涂装质量。因此，本规范优先推荐这种涂装方法。

我国某院于 1995 年在汕头海湾大桥涂装施工前，进行了现场涂装试验。实践表明，这种现场涂装试验对于验证配套涂料的相容性、涂层的粘结力和涂装施工工艺是否合适，是一种较好的方法。香港《混凝土保护性涂层样板规范》也对干燥混凝土结构规定在施涂前，进行现场不少于 5m^2 试验区的涂装试验，从中测定涂料的实际消耗量（L/m^2）、14d 后涂层的粘结力、涂层的干膜厚度值最小值和平均值。如果粘结力达不到规定值，则另选部位重作试验。

对涂层干膜厚度的检测规定，本规范是参考香港《混凝土保护性涂层样板规范》制定的。该规范规定每 50m^2 面积测一个点，最小检测点数为 30 个点，以计算平均干膜厚度；对受周期性海水浸泡的混凝土规定应涂两道涂料，最小干膜厚度不应小于 150μm，平均干膜厚度至少比最小干膜厚度大 33%，即平均干膜厚度应大于 $1.33 \times 150\mu m \approx 200\mu m$，因此本规范规定检测结果的平均干膜厚度应不小于设计干膜厚度，最小干膜厚度应不小于设计干膜厚度 75%。

为了发挥涂层的防护作用，当涂层投入使用后，应该作定期检查，如发现损坏应及时修补，这样才能保证涂层按设计要求达到设计使用年限和防护效果。

香港《混凝土保护性涂层样板规范》对已有涂层的混凝土表面处理，要求用十字切割法试验评估已有涂层的粘结力，如果十字切割试验仍有 75% 涂层附着在混凝土面上，并且涂层表面没有裂纹、气泡或严重粉化，则已有涂层可保留使用；如果不能满足要求，则应清除之，其方法为用热空气或化学剥离方法，并用饮用水喷射进行表面处理。

粘结力测定本规范规定采用涂层拉脱法，即按规范附录 C 规

定的方法测定涂层的粘结力。

本规范规定，新建结构涂层与混凝土表面的粘结力不得小于1.5MPa；若涂层已达到设计使用年限时的粘结力仍不小于1.0MPa，且表面无裂纹、气泡和严重粉化，根据经验认为仍可继续使用。

建立档案卡，其内容包括涂装竣工资料和涂层使用过程的检查及维修记录，以积累资料，为今后混凝土工程的防腐蚀提供技术依据。

7.2 混凝土表面硅烷浸渍

海港工程混凝土结构处于氯化物侵入的恶劣环境中，由于毛细管的吸收或扩散作用，使氯化物侵入混凝土中，这是混凝土结构中钢筋腐蚀的最重要原因之一。硅烷系液态憎水剂浸渍混凝土表面，即使这种憎水剂渗入混凝土毛细孔中的深度只有数毫米，但是，由于它与已水化的水泥发生化学反应，反应物使毛细孔壁憎水化，使水分和水分所携带的氯化物都难以渗入混凝土。特别是无溶剂的异丁烯三氧基硅烷单体，与其它硅烷系材料相比，它阻止水与氯化物被混凝土吸收的效果，特别是被孔隙率较低的混凝土建筑材料吸收的效果更加显著，更加持久（可长达15年，甚至更多时间）。这种施工简便、经济、长效的防腐蚀技术，最近成功地应用于跨波罗的海 Storebelt 桥的浪溅区的梁、板底侧面、澳大利亚悉尼海岸上的歌剧院屋顶、德国莱茵河口 Flehe 桥等结构。最近，我国某港二期集装箱码头与护岸工程在浪溅区高性能混凝土梁体的侧面和底面上（4万 m^2），浸渍异丁烯三乙氧基硅烷也取得了优异的效果。实际检验结果显示离梁体表面深 4mm 处的硅烷含量平均值为0.16%，氯化物渗入量的降低效果为94%，均满足有关标准的规定，硅烷生产供应厂家与施工单位共同保证其质量保证期为15年。本规范是根据香港现行标准、澳大利亚道路与交通管理局的混凝土结构浸渍规范、英国运输部标准 BD43/90 以及盐田港二期码头工程技术条件书等有关标准编制的。

7.3 环氧涂层钢筋

7.3.1～7.3.2 在美国、加拿大、欧洲、中东和香港，采用环氧涂层钢筋作为防止钢筋混凝土结构（包括海工混凝土结构）盐污染或化工侵蚀介质污染的一种方法，已成功地广泛应用达二十余年。应用经验与研究表明，它与优质混凝土或掺阻锈剂联合使用，具有叠加的保护效果。

由于环氧涂层钢筋之间为绝缘的涂层所隔开，缺乏电连续性，如果采用外加电流阴极保护，不仅会降低保护效果，而且在环氧涂层局部损伤处由于产生杂散电流，还会引起严重的电腐蚀问题，故环氧涂层钢筋不得与外加电流阴极保护联合使用。

7.3.3 环氧涂层钢筋由于表面光滑，胶结—摩阻力降低，咬合作用也因容易滑脱而受影响，致使粘结性能减弱，粘结强度降低。根据某研究院与某大学的试验研究表明：与无粘结涂层钢筋比较，涂层钢筋的粘结锚固强度降低约 10%，在最不利锚固条件下可降低 20%，锚固长度约增长 25%，搭接锚固强度约降低 13.8%。考虑到环氧涂层钢筋的工程应用经验尚少，故偏安全地规定：环氧涂层钢筋的粘结强度可取为无涂层钢筋的 80%，锚固长度和受拉绑扎搭接长度分别取为无涂层钢筋锚固长度的 1.25 倍和 1.5 倍。

需要指出的是，以上规定是指变形钢筋而言。第 7.3.4 条同此。

7.3.4 根据某研究院的试验研究表明，与无涂层钢筋的钢筋混凝土构件比较，配涂层钢筋的混凝土构件，其承载力基本相同，刚度降低 0～11.3%，钢筋应变不均匀系数增大 6.2%，平均裂缝间距增大 10.8%。据此进行分析，并从偏安全方面考虑，配涂层钢筋的混凝土构件的承载力、裂缝宽度和刚度的计算法与无涂层钢筋构件相同，但计算刚度应乘以 0.9，裂缝宽度应乘以 1.2 的系数。

7.3.5～7.3.13 环氧涂层钢筋作为海工混凝土结构防腐蚀措施国外虽已广泛成功地应用多年。但是，1987 年美国两座跨海混凝土桥的调查和以后若干海工混凝土结构应用该种钢筋的调查表

明,制作和施工质量差的这种钢筋也会在使用仅4~6年的海工混凝土结构上引起异常严重的钢筋腐蚀破坏。为保证这种钢筋仍不失为盐污染环境中的一种可以显著提高护筋性的补充措施,以后,美国、日本、欧洲又相继修订或制订了质量要求更高、更全面的有关标准。本规范从第7.3.5至7.3.13条的全部内容就是从材料选择、净化处理、涂覆、运输、吊装、修补、贮存、加工、架立到浇筑混凝土的施工全过程,全面严格引用国外现行有关标准的规定,加强全过程的质量控制,以尽量减少可避免的涂层损伤,确保这种钢筋可以显著提高海港工程混凝土结构的耐久性。国外近年的大量工程实践以及我国汕头LPG海港码头首次大规模应用某厂生产的环氧涂层钢筋的工程实践业已证实,只要严格地按照国外现行有关标准的系统要求,加强该种钢筋制作、加工、操作和使用全过程的质量控制,是可以基本达到上述目的的。我国建设部1997年颁布的现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》,基本上体现了国外现行有关标准。因此环氧涂层钢筋在海港工程混凝土结构上的应用,基本上应符合该现行行业标准的要求。但是考虑到国际现行标准的新发展,我国现在生产的螺纹钢筋的特点和我国海港工程特点和实践经验等,为保证和提高环氧涂层钢筋在海港工程混凝土结构上更好地应用,本规范对该现行行业标准的部分条款尚应作少量补充和修改。下面对这些部分分别加以简要的说明。

7.3.5 日本土木工程学会现行标准《环氧涂层钢筋的钢筋标准》(JSCE EP20)规定:待涂热轧钢筋不得有疤痕、压痕、轧入的杂物、夹层、过烧等缺陷,螺纹肋角不得为直角,切口不得切出尖刃,以免遗留无涂层的局部隐患,成为钢筋腐蚀破坏根源。DSM粉末涂料公司的资料中提到:抛丸不能除尽钢筋上附着的盐分,因此应选用未曾在盐污染环境中暴露过的钢筋。

7.3.6.1 鉴于海港工程处于盐污染环境中,环氧涂层厚度的保证率宜按ISO.14656的规定,改为95%(现行上述行业标准JG 3042规定为90%)。

7.3.6.2 引自ISO 14654标准草案(1995)。

7.3.6.3 分别引自 BS 7295(1992)和 ISO14654 标准草案(1995)。

鉴于我国现行热轧螺纹钢筋的螺纹形状对保持环氧涂层厚度均匀性不很有利,因此,从实际出发,适当放宽对环氧涂层连续性,即每米长度上检测出的针孔数的上限要求(将应不超过 3 个改为 4 个),但放宽的这个要求仍与 ISO14654 标准草案(1995)的要求一致。

7.3.8 对每一检验批环氧涂层钢筋的试验取样频度和检验样品数量,就涂层厚度、涂层连续性和涂层柔韧性(可弯性)国际标准草案(95)ISO14654 分别规定 2 根/h、2 根/h、1 根/h;美国标准 ASTM A775M-97 分别规定 2 根/h、随机、1 根/4h;英国标准 BS 7295(92)分别为 1 根/2h、1 根/2h 和 1 根/2h。而我国现行行业标准 JG3042(97)则分别规定为 2 根/4h、2 根/4h 和 1 根/4h,较上述国外现行诸标准少得多。本规范引用上述英国标准和 ISO 标准的适中规定。

7.3.10.1 第一项要求引自美国标准 ASTM A775M-97;其余几项要求引自英国标准 BS7295(1992)。

7.3.10.2 鉴于海港工程现场,大气常较潮湿,含盐雾,故要求尽量缩短涂层切断或损伤处修补前的暴露时间,并强调较潮湿时应先以电热吹风器加热使待修处的钢筋表面温度在露点之上,以保证修补质量。修补涂层厚度的最低值引自美国现行标准 ASTM A775M(97)。

7.3.16 可在插入式混凝土振捣器下端加橡胶护套,或采用非金属的振捣头,或在其周围提供保护笼,或改用附着式振捣器等方式来实现本款的要求。

据国外有关报导,环氧涂层钢筋在施工过程中造成表面涂层破损,80%是在混凝土密实过程中产生,因此,本条规定对防止或减少混凝土在密实过程中造成涂层损坏是非常必要的。

7.4 钢筋阻锈剂

7.4.1 保护混凝土中钢筋的基本措施,仍应为严格按《水运工程

混凝土施工规范》(JTJ 268)和《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)和本规范第4章与第5章的要求,要求混凝土具有规定的水灰比、保护层厚度和低含盐量。只是在本规范第7.4.1条规定的情况下,才采取掺加高效可靠的阻锈剂,作为补充防腐蚀措施,以适当提高混凝土的护筋性。而保证掺阻锈剂长期维持可靠的补充防腐蚀效果,仍有赖于混凝土保护层本身具有长期的高抗渗性和抗氯离子渗透性。因此,不能单靠掺阻锈剂来代替上述基本措施,而掺阻锈剂同时采用高性能混凝土,则是克服这种不足,从根本上显著提高混凝土护筋性的最佳对策。

7.4.2 在某院的"防止水工钢筋混凝土中钢筋腐蚀的新型阻锈剂NS-2"研究报告(1992)中,列出按《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270—98)规定的盐水浸烘试验方法进行的掺与未掺几种阻锈剂的混凝土中钢筋的腐蚀失重率的对比试验结果(见条文说明表7.4.2),可见该方法可以快速而可靠地确定钢筋阻锈剂的阻锈效果。

几种钢筋阻锈剂的阻锈效果的加速对比试验结果 表7.4.2

阻锈剂		盐水浸烘12次后的钢筋腐蚀失重率(%)
品种	掺量(%)	
0	0.0	2.73(100)
$NaNO_2$	1.0	1.47(53.8)
NS-1	1.0	1.01(37.0)
NS-2	0.7	0.93(34.1)

7.4.3 表7.4.3所示的亚硝酸钙溶液(浓度为30%)的推荐掺量引自美国C.K.Nmai等"钢筋混凝土的有机型阻锈剂"一文(Concrete International-1992)。当钢筋周围的酸溶性氯化物含量达到表列预期值时,该表所列的相应的亚硝酸钙溶液(浓度)最小掺量足以防止钢筋腐蚀。