

ICS XX.XX.XX

CCS Q XX

CBMF

中国建筑材料协会标准

T/CBMF XXX—XXXX

滨海核电厂址建构筑物混凝土表面渗透修 复技术规范

Technical Specification for Concrete Surface Permeability Repair of Buildings
and Structures at Coastal Nuclear Power Plant Sites

（征求意见稿）

2025.12

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中国建筑材料联合会

发布

版权保护文件

本文件适用于使用渗透型硅烷对于新建混凝土的防护，更适用于使用渗透型硅烷对于遭到海水腐蚀、盐雾腐蚀的受氯盐侵蚀混凝土构筑物的修复和维护。请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件发布机构不承担识别这些专利的责任。本文件版权所有归属于该标准的发布机构。除非有其他规定，否则未得许可，此发行物及其中章节不得以其他形式或任何手段进行生产和使用，包括电子版、影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

前 言

根据中国建筑材料联合会《关于下达 2025 年第二批协会标准制修订计划的通知》（中建材联标发(2025) 35 号）的要求，本规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规范。

本文件由中国建筑材料联合会提出并归口。

主 编 单 位：中核核电运行管理有限公司

浙江大学

主要起草人：叶 青 徐 强 张紫薇 王 盼 蒋达飞

程万里 王建乐 许 威 李元贝 洪瑜蔚

目次

1 总则 1

2 术语和定义 2

3 材料 4

 3.1 一般规定 4

 3.2 修复材料的选用原则 4

 3.3 渗透型硅烷 4

4 腐蚀原因诊断 5

 4.1 环境调研 5

 4.2 大气氯离子沉积速率检测 5

 4.3 混凝土氯离子含量检测 6

5 施工 7

 5.1 基本要求 7

 5.2 机具及设备 7

 5.3 人员组织及安排 7

 5.4 表面预处理 7

 5.5 施工方法 7

6 检验 9

 6.1 检测方法及设备 9

 6.2 预试验及相关检验 9

 6.3 大面积施工后试验检验 9

7 安全要求 11

附录 A 大气氯离子沉积速率检测——挂片法 12

附录 B 大气氯离子沉积速率检测——湿烛法 14

附录 C 不同深度氯离子含量检测试验 14

附录 D 混凝土中钢筋锈蚀状况的检测 14

附录 E 吸水率试验 20

附录 F 硅烷浸渍深度 22

附录 G 透水性试验 24

用词说明 25

引用标准名录 26

附：条文说明 27

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Definitions	2
3	Materials	4
3.1	General Provisions	4
3.2	Principles for Selecting Repair Materials	4
3.3	Penetrating Silane	4
4	Diagnosis of Corrosion Causes	5
4.1	Environmental Survey	5
4.2	Atmospheric Chloride Ion Deposition Rate Testing	5
4.3	Concrete Chloride Ion Content Testing	6
5	Construction	7
5.1	Basic Requirements	7
5.2	Equipment and Tools	7
5.3	Personnel Organization and Arrangement	7
5.4	Surface Pretreatment	7
5.5	Construction Methods	7
6	Inspection	9
6.1	Testing Methods and Equipment	9
6.2	Preliminary Tests and Related Inspections	9
6.3	Post-Construction Testing for Large Areas	9
7	Safety Requirements	11
	Appendix A Atmospheric Chloride Ion Deposition Rate Testing : Plate Method.....	12
	Appendix B Atmospheric Chloride Ion Deposition Rate Testing : Wet Candle Method	14
	Appendix C Chloride Ion Content Testing at Different Depths	17
	Appendix D Testing of Reinforcement Corrosion in Concrete	18
	Appendix E Water Absorption Rate Test	20
	Appendix F Silane Impregnation Depth	22
	Appendix G Permeability Test	24
	Explanation of Wording	25
	List of Quoted Standards	26
	Addition: Explanation of Provisions	27

1 总 则

- 1.0.1 本文件规定渗透型硅烷防腐蚀处理的材料、施工、安全要求、检验验收。
- 1.0.2 本文件适用于使用渗透型硅烷对于新建混凝土的防护，更适用于使用渗透型硅烷对于遭到海水腐蚀、盐雾腐蚀的受氯盐侵蚀混凝土构筑物的修复和维护。
- 1.0.3 当混凝土主要腐蚀原因为海洋大气中氯离子侵入时建议采用本规范。

2 术语和定义

2.0.1 渗透型硅烷 permeable silane

渗透型硅烷是一种特殊的硅烷分子，能够渗透到多种材料中以改善其性能。它通常在对材料进行表面处理或修复时使用，包括应用于玻璃、石材、混凝土、瓷砖等材料的防护和保护。

2.0.2 受氯盐侵蚀混凝土 concrete corroded by chloride salts

主要是指构筑物表面出现锈胀裂缝，或附近 25 m 范围内的混凝土表面有锈胀裂缝。

2.0.3 热膨胀系数 coefficient of thermal expansion

量度固体材料热膨胀程度的物理量。是单位长度、单位体积的物体，温度升高 1℃时，其长度或体积的相对变化量。

2.0.4 弹性模量 elastic modulus

材料在弹性变形阶段，其应力和应变成正比例关系（即符合胡克定律），其比例系数称为弹性模量。

2.0.5 硅烷 silane

硅烷可以在材料表面上形成保护膜，并且可以在一段时间内移动或扩散，从而实现更广泛的覆盖。

2.0.6 阻锈型硅烷 rust resistant silane

硅烷可以在材料表面上形成保护膜，并且可以在一段时间内移动或扩散，从而实现更广泛的覆盖。阻锈型硅烷材料具有阻锈成分，能够迁移到钢筋表面，从而对钢筋起到一定的保护作用。

2.0.7 盐度 salinity

海水中溶解物质质量与海水质量的比值。

2.0.8 大气氯离子沉积速率 atmospheric chloride ion deposition rate

大气氯离子的沉积速率是指氯离子从大气中沉积到地表或其他表面的速度。这个速率受多种因素影响，包括环境条件（如气温、湿度、风速等）、地理位置（如离海洋的距离）、大气污染程度和季节变化等。

2.0.9 腐蚀电位 corrosion potential

金属在介质中未通过电流时所产生的电位，称为腐蚀电位，也称自然电位或自腐电位或自然腐蚀电位或自腐蚀电位。

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1 材料应取样进行质量检验，经评定合格后方可使用。

3.2 修复材料的选用原则

3.2.1 对于修复时间的要求，根据需修复场地重新投入使用的时间来选择修复材料种类和调配确定相关参数。

3.2.2 修复材料与原有混凝土的匹配性，例如热膨胀系数、弹性模量等相差应不大于一个数量级，同时也要满足使用环境和施工条件要求。

3.3 渗透型硅烷

3.3.1 阻锈型硅烷可以根据其修复行为发生地点的不同，在材料内部或表面上，而分为渗透型硅烷和迁移型硅烷。

3.3.2 如果使用渗透型硅烷处理后的 4 小时内有降雨或大风或其他极端气候，建议推迟使用该方法。

3.3.3 使用渗透型硅烷前基材应尽可能的干燥。

3.3.4 应注意避免硅烷和氯丁橡胶、沥青质密封材料等材料接触。

3.3.5 渗透型硅烷应满足《水运工程结构防腐蚀施工规范》（JTS/T 209—2020）及《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTG/T 3310—2019）的相关要求。硅烷浸渍材料宜采用异丁基三乙氧基液体硅烷。液体硅烷质量应满足下列要求：

- 1 异丁基三乙氧基硅烷含量不应小于 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 1/10000；
- 4 密度（温度 25℃）应为 0.88 g/cm³；
- 5 折射率为 1.3998~1.4002；
- 6 活性应为 100%，不得以溶剂或其它液体稀释。

4 腐蚀原因诊断

4.1 环境调研

4.1.1 对腐蚀混凝土所在地进行环境调研，包括当地的气象数据、对混凝土有害的腐蚀性离子、海水相关的基础数据，如盐度、泥沙含量、离子种类及含量等。

4.2 大气氯离子沉积速率检测

4.2.1 对于腐蚀混凝土所在的地区采用挂片法或者湿烛法进行大气氯离子沉积速率检测，具体试验操作见附录 A 和附录 B。其中按照湿烛法计算得到的氯离子沉积速率的环境分类见表 4.2-1。用挂片法确定的大气中氯离子沉积速率结果通常不可以直接比较，需要进行转换，转化因子参考标准 ISO9225。

表 4.2-1 氯化物为代表空气中盐类污染物分类

氯化物沉积速率 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	等级
$S\leq 3$	S0
$3<S\leq 60$	S1
$60<S\leq 300$	S2
$300<S\leq 1500$	S3

4.2.2 结合 4.1.1 和 4.2.1 的相关数据，参考 GB/T 19292.1-2018《金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第 1 部分：分类、测定和评估》进行大气环境腐蚀等级分类，详见表 4.2-2。其中 C 为大气腐蚀等级，具体分级，详见 GB/T 19292.1-2018《金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第 1 部分：分类、测定和评估》中的表 2。

表 4.2-2 大气腐蚀性分级

等级	腐蚀性
C1	很低
C2	低
C3	中等
C4	高
C5	很高
CX	极高

4.3 混凝土氯离子含量检测

4.3.1 对于腐蚀混凝土进行实地取样，包括腐蚀混凝土的配合比等基本参数、混凝土腐蚀情况分布、表面剥落情况、裂缝情况、孔洞情况，通过拍照等进行记录。

4.3.2 对于现场已经腐蚀的混凝土进行不同深度氯离子含量的检测，具体试验操作见附录 C。

5 施工

5.1 基本要求

5.1.1 适合于已存在氯离子且无裂缝或裂缝较小的混凝土的修复。

5.1.2 适合于晴天进行施工，如遇到大风、下雨天应当推迟施工。

5.2 机具及设备

5.2.1 对于液体状的修复材料可以采用扇型喷嘴的低压泵设备进行施工处理，也可以采用大体积喷壶进行喷涂作业，膏体或者乳液状的修复材料可以采用滚轮或者大号刷子进行涂刷作业。

5.2.2 对于高处作业，需要配备登高车或脚手架。

5.3 人员组织及安排

5.3.1 正式施工前，施工人员需进行培训，培训合格后方可参与施工。

5.3.2 对于高空作业者，相关人员必需持有相关证明，且高空作业需安排至少一名安全人员监护。

5.3.3 现场施工人员应服从负责人的安排并高效完成施工作业。

5.4 表面预处理

5.4.1 混凝土表面必须经过清洁，清除表面所有的污垢、灰尘、风化物、霉斑、油渍、沥青、浮浆、油漆、涂料、固化剂以及其它可能抑制渗透的外源性物质。

5.4.2 可用的清洁方法有喷丸处理、喷砂处理、水力清砂、打磨和化学清洁等。

5.5 施工方法

5.5.1 施工中应连续喷涂实施，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”的状态。一共喷涂 2-3 次，两次之间的间隔时间至少为 6h。

5.5.2 每层用量约为 180-230 mL/m²。精确用量取决于腐蚀的程度、氯离子含量以及建筑物所处的环境等。

5.5.3 试验所用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。

5.5.4 不能在潮湿或浸水的混凝土环境中使用渗透型硅烷。

6 检验

6.1 检测方法及设备

- 6.1.1 大气氯离子沉积速率检测采用挂片法和湿烛法，具体操作见附录 A 和附录 B。
- 6.1.2 对于钢筋锈蚀状况的检测可以选择与钢筋相连的两处使用钢筋锈蚀检测仪测量其腐蚀电位，具体见附录 D。
- 6.1.3 吸水率测试见附录 E。
- 6.1.4 硅烷浸渍深度测试见附录 F。
- 6.1.5 现场透水性试验采用立式卡斯通管测量液面下降值，具体操作见附录 G。

6.2 预试验及相关检验

- 6.2.1 预试验前，测量未喷涂原混凝土的腐蚀电位。其中钢筋锈蚀检测仪的具体操作见附录 D。
- 6.2.2 在进行正式试验前应进行喷涂预试验，具体参照 6.5 施工方法。完成试验区的喷涂工作后，应在试验区随机钻取 6 个芯样，并各取 2 个芯样分别进行现场腐蚀电位、吸水率和硅烷浸渍深度的测试，具体见附录 D、附录 E 和附录 F。当测试结果符合下列规定的判定标准时，方可在结构上进行大面积正式试验。
- 1 吸水率平均值不应大于 $0.01 \text{ mm/min}^{1/2}$;
 - 2 对强度等级不大于 C45 的混凝土，浸渍深度应达到 3-4 mm；对强度等级等于或大于 C45 的混凝土，浸渍深度应达到 2-3 mm；
 - 3 现场腐蚀电位的测试腐蚀电位大于 -200 mV。

6.3 大面积施工后试验检验

- 6.3.1 渗透型硅烷的质量验收应以每 100 m^2 面积为一个质量的验收批次。渗透型硅烷的工作完成后，按规定的方法各取两个试验点进行疏水性试验和现场腐蚀电位的测试。当任一验收批的两项测试结果中任意一项不满足下列要求时，应当重新进行涂抹渗透型硅烷：

1 疏水性试验液面刻度相较于对照组减少大于 50%。

2 现场腐蚀电位的测试腐蚀电位大于-200 mV。

6.3.2 在施工完成 14d 后进行现场的透水性测试，选取未经渗透型硅烷处理混凝土表面的点（对照组）和经渗透型硅烷处理过混凝土表面的点（试验组）各 2 处，同时开展试验进行对比。其中选取的试验点应尽可能表面平整，无孔洞等。具体的操作方法见附录 G。

6.3.3 在施工完成 150d 后进行现场的阻锈性测试，使用钢筋锈蚀检测仪再一次检测 6.1.1 中选取的两个试验点的腐蚀电位，同 6.2.1 的结果进行对比，如果腐蚀电位的绝对值减小，且腐蚀电位大于-200 mV，则渗透型硅烷有较好的阻锈效果。

7 安全要求

7.0.1 渗透型硅烷宜单独存放，应贮存在通风、干燥、阴凉区域，并采取有效的防火措施。

7.0.2 渗透型硅烷在运输过程中应采取有效的防碰撞、防泄漏和防接触直接热源等措施。

7.0.3 施工现场不应有明火且通风良好。

7.0.4 工作人员应正确穿戴工作服、安全帽、护目镜、手套等安全防护用品。

7.0.5 施工时，人宜站在上风向。如不慎吸入，应移到通风处。如接触到身体，应立即用水冲洗 15min 以上，及时脱下受污染的衣物，情况严重的及时送医。

附录 A 大气氯离子沉积速率检测——挂片法

A.0.1 试验仪器设备和化学试剂应满足下列要求：

- 1 氯离子沉积速率采样装置；
- 2 离子色谱分析仪；
- 3 超纯水；
- 4 离子色谱用 Cl^- 标样。

A.0.2 采集装置现场取样：

1 氯离子沉积速率采集点应选择在地形或环境相对开阔、通风条件好、人机活动干扰少、样品不被雨淋或污染、易悬挂的地方。

2 戴洁净手套将密封袋中的纱布装置取出，将其牢固地悬挂在采集点设置的支架或挂样线上，按照编号顺序挂样，便于取样。纱布装置应垂直于地面，纱布装置之间要留适量的空隙（约 20 cm），挂片时不要污染（触摸）纱布。

3 按照采样方案制定的取样周期把到期的纱布装置取下，及时装入密封袋中密封好，送往实验室分析；取样时勿污染（触摸）纱布；取样时要戴洁净手套。

A.0.3 采集分析步骤如下：

1 把样品纱布放入烧杯中，加超纯水 30 mL 在恒温水浴中加温 20 min，用中速滤纸过滤于 100 mL 的容量瓶中，依此操作洗涤纱布、过滤 3 次，最后稀释至 100 mL 标线，作为试验溶液。把保存在干燥器中的空白纱布按上述方法操作，完成空白溶液的制备。

2 采用离子色谱仪进行分析。通过测定溶液中样品氯离子含量，确定样品中氯离子含量，计算空气中氯离子沉积率。

（1）确认淋洗液储量，打开压缩气瓶、离子色谱仪的电源开关；

（2）逆时针旋松左侧泵头的废液阀，开泵，待气泡排尽后缓慢旋紧废液阀，待泵压上升至 1000 psi 后打开淋洗液发生器；

（3）选择或添加所要分析的样品序列及仪器方法。监视检测器信号，采集基线，当基线平稳后，停止采集。色谱条件选择：流速 1.00 mL/min；进样体积 10 μL ，柱温为 30°C；

（4）根据测试经验及样品中氯离子浓度初测值范围，采用离子色谱用标准

Cl⁻溶液，配制标准曲线系列溶液（本采集任务氯离子沉积速率样品分析采用的标准曲线系列溶液浓度分别为 0.2 mg/L、0.4 mg/L、0.6 mg/L、0.8 mg/L、1 mg/L）。依次对标准曲线系列溶液进行离子色谱分析，建立标准曲线。标准曲线的线性相关系数应在 0.999 以上；

（5）试样溶液测定，测定时将处理好的试样溶液注入离子色谱仪，在与标准曲线绘制相同的条件下测定含量。按照相同方法处理全程序空白试样。

3 按照标准计算公式计算氯离子沉积速率数据。

结果以 Cl⁻的沉积率表达，单位为毫克每平方米天[$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]，用 S 表示，按式 A. 3-1 计算：

$$S = \frac{m_1 - m_0}{A \cdot t} \quad (\text{A. 3-1})$$

式中： m_1 —取样溶液中 Cl⁻的质量，单位为毫克(mg)；

m_0 —空白试样(与采样纱布面积相同)溶液中 Cl⁻的质量，单位为毫克(mg)；

A —暴露纱布的表面积(0.02 m^2)，单位为平方米(m^2)；

t —暴露时间，单位为天(d)。

A.0.4 试验结果的评定应满足下列要求：

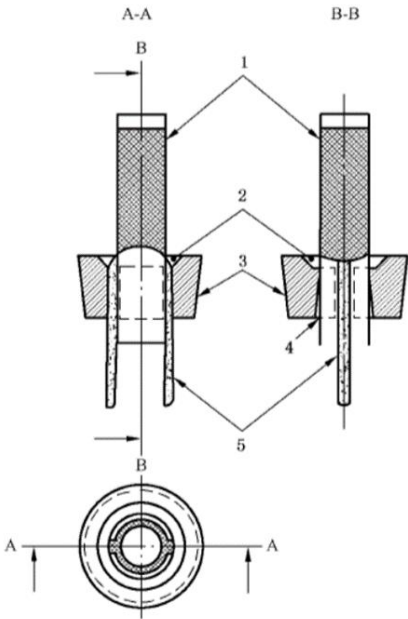
- 1 取同组 3 个试件氯离子沉积速率的算术平均值；
- 2 同组 3 个试件氯离子沉积速率的最大值或最小值，与中间值之差有一个超过平均值的 20%时，取中间值；
- 3 同组 3 个试件的氯离子沉积速率最大值和最小值，与中间值之差均超过平均值的 20%时，该组数据无效。

附录 B 大气氯离子沉积速率检测——湿烛法

B.1 采样装置

B.1.1 湿烛

湿烛由插入一瓶中的烛芯组成。烛芯由一直径大约为 25 mm 惰性材料（聚乙烯）制成的中心部分组成，外缠双层筒状医用纱布或一圈医用纱布。烛芯暴露在大气中的表面积大约 100 cm²，烛芯对应的长度为 120 mm，暴露面积需精确测定。烛芯的一端插入橡胶塞中。塞子有两个外加的孔，纱布的自由端可以穿过(如果是管状纱布，低端沿纱布留下 120 mm 的长度)。三个孔的边缘形成一个通道以便从纱布上流下的液体通过塞子排泄(见图 B.1-1)。纱布的自由端长度足够长，以便能达到瓶的底部。



其中：1-柱状灯芯；2-纱布自由端外加孔(漏斗状)；3-橡皮塞；4-柱状灯芯中心孔；5-纱布自由端。

图 B.1-1 橡胶塞结构详解

将塞子塞到体积大约 500 mL，聚乙烯或其他惰性物质的瓶中。瓶中盛有 200ml 的丙三醇水溶液。该溶液由 200 mL 丙三醇[CH₂OH(CH₂OH)₂]，用蒸馏水混合至 1000 ml。向溶液中加入 20 滴辛酸(C₈H₁₆O₂)防止生霉，如曲霉。

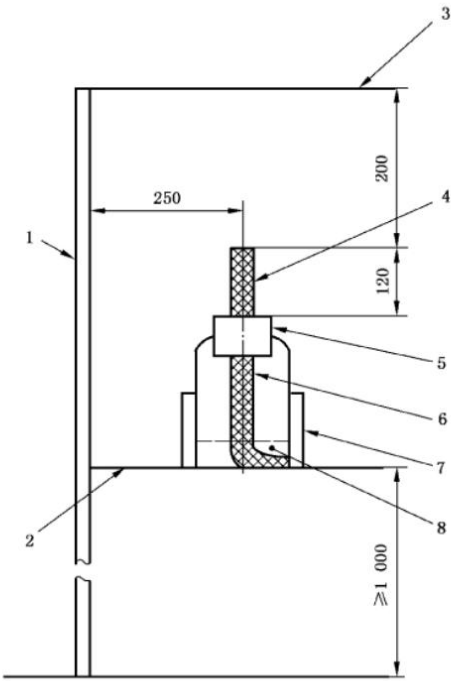
在持续极端温度情况下(如高于 25℃或低于-25℃)，必须增加丙三醇的含量体积分数到 40%防止结冰或过度挥发，或者用体积分数为 20%的乙二醇溶液来

代替丙三醇溶液。

B.1.2 暴露架

湿烛放置在支架上进行暴露，支架应位于遮雨棚中心位置下方，如图 B.1-2 所示，遮雨棚应是边长为 500 mm 的正方形，并且不透明。

湿烛应固定，使烛芯的顶部到遮雨棚的距离为 200 mm，烛芯正对着遮雨棚的中心位置。瓶与地面的距离至少 1 m，湿烛应朝向海或其他 Cl⁻源进行暴露。不确定的 Cl⁻源来自于雨和大风(风速超过 10 m/s~12 m/s)的综合作用，这可能造成雨点飘落到采集器(纱布)上，并显著影响 Cl⁻沉降速率的测试。



其中：1-遮雨棚支撑杆；2-支架；3-遮雨棚(500×500)；4-烛芯；5-橡胶塞；6-纱布自由端；7-瓶固定架；8-溶液。

图 B.1-2 采样装置安装

B.2 采样

B.2.1 预制好的湿烛应安装在测试点，并按如下步骤进行采样：

- 1 将烛芯的暴露部分的长度设置为预期值；
- 2 从瓶中拆下塞子和烛芯，用蒸馏水冲洗纱布的自由端和瓶子；
- 3 向瓶中注入 200 mL 丙三醇水溶液；
- 4 重新安装烛芯和瓶；

5 按图 B.1-2 所示把湿烛放在暴露位置处。

B.2.2 丙三醇水溶液按下列步骤按月更换：

- 1 松开瓶上的塞子；
- 2 用至少 200 mL 蒸馏水从上向下仔细冲洗芯，保证冲洗液经塞子上的排水孔流进瓶中；
- 3 从瓶上拆下塞子和芯，当纱布的自由端取出时，进行冲洗；
- 4 把塞子和烛芯放入一个盛有 200 mL 丙三醇水溶液的新瓶中，保证纱布的自由端浸入溶液中，重新放入夹具中；
- 5 将瓶盖拧紧，保证不泄漏。

B.2.3 将试验站的名称、位置、暴露和拆卸的日期在瓶上标记清楚，之后对瓶中的溶液进行分析。

B.3 氯离子分析

用常用的 Cl⁻分析方法对暴露的纱布及未进行暴露的纱布(空白样)进行分析。

B.4 结果的表达

结果以 Cl⁻沉积速率表达，单位为毫克每平方米天[mg/(m²·d)]，用表示，按式(B.4-1)计算。

$$S_{d, c} = \frac{m_1 - m_0}{A \cdot t} \quad (\text{B.4-1})$$

式中： m_1 ——取样溶液中所含 Cl⁻的质量，单位为毫克(mg)；

m_0 ——空白溶液中的 Cl⁻质量，单位为毫克(mg)；

A ——暴露纱布面积，单位为平方米(m²)；

t ——暴晒时间，单位为天(d)。

注：暴晒纱布的表面积可以用芯的直径乘以 $\pi(3.14)$ 再乘以芯从塞子伸出的长度计算得到。

附录 C 不同深度氯离子含量检测试验

C.0.1 试验仪器设备和化学试剂：

- 1 环氧树脂；
- 2 磨粉机或钻枪；
- 3 氯离子测试仪。

C.0.2 检测步骤如下：

1 制备 100mm×100mm×100mm 的立方体试件，标准养护至 28d，然后将混凝土试件放置于 60℃烘箱干燥 24h，采用环氧树脂将混凝土试件除腐蚀面外的其他表面作密封处理。待环氧树脂完全干燥后，将试件暴露至特定腐蚀环境，待到目标腐蚀周期时，将相应混凝土取出并进行氯离子浓度测试。

2 采用磨粉机或钻枪对混凝土试件进行磨粉，取不同深度的混凝土样品。如图 C.2-1 所示，以腐蚀面表层为起点，垂直向内部逐层磨粉。

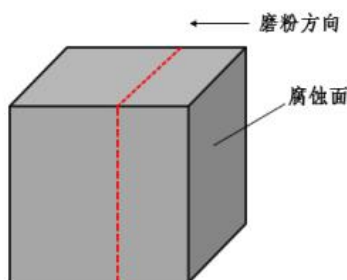


图 C.2-1 样品磨粉示意图

- 3 使用氯离子测试仪或者滴定法等对混凝土粉末样品进行氯离子浓度测试。

C.0.3 试验结果的评定应满足下列要求：

- 1 取同组 3 个试件氯离子浓度的算术平均值；
- 2 同组 3 个试件氯离子浓度的最大值或最小值，与中间值之差有一个超过平均值的 20%时，取中间值；
- 3 同组 3 个试件的氯离子浓度最大值和最小值，与中间值之差均超过平均值的 20%时，该组数据无效。

附录 D 混凝土中钢筋锈蚀状况的检测

D.0.1 钢筋锈蚀的检测可采用剔凿检测方法、电化学测试方法或综合分析判断方法。

D.0.2 钢筋锈蚀程度的剔凿检测，应符合下列规定：

- 1 对于锈蚀严重钢筋，宜直接量测钢筋的剩余直径；
- 2 存在锈蚀坑的钢筋应量测锈蚀的深度；
- 3 轻微锈蚀处可量测除锈前后直径等的差异。

D.0.3 钢筋锈蚀的电化学测试方法和综合分析判断方法宜配合剔凿检测方法验证。

D.0.4 钢筋锈蚀的电化学测试可采用极化电极原理的方法和半电池原理的方法。

D.0.5 电化学测试方法的测区及测点布置应符合下列规定：

- 1 测区应能代表不同环境条件，每种条件的测区数量不宜少于 3 个；
- 2 应在测区上布置测试网格；
- 3 网格节点宜为测点，网格间距可根据构件的尺寸和仪器的功能确定，测区中的测点数不宜少于 20 个；
- 4 测区和测点应编号，并应注明位置。

D.0.6 电化学检测操作应遵守所使用检测仪器的操作要求，并应符合下列规定：

- 1 电极铜棒应清洁，不应有可见缺陷；
- 2 混凝土表面应清洁，测点处不应有涂料、浮浆、污物或尘土等；
- 3 仪器连接点应与被测钢筋连通；
- 4 测点处混凝土应湿润；
- 5 测试时应避免各种电磁场的干扰；
- 6 测点读数应符合下列规定：
 - (1) 电位读数变动不应超过 2 mV；
 - (2) 同一测点同一支参考电极重复读数差异不应超过 10 mV，同一测点不同参考电极重复读数差异不应超过 20 mV。

D.0.7 电化学测试结果的表达应符合下列规定：

- (1) 各测点的测试数据应标注在测区平面图上；
- (2) 具备条件时宜绘出测试数据的等值线图。

D.0.8 电化学测试结果的判定应符合下列规定：

- 1 钢筋电位与钢筋锈蚀状况可按表 D.8-1 的规定进行判别。

表 D.8-1 钢筋锈蚀状况判别

序号	钢筋电位 (mV)	钢筋锈蚀状况判别
1	-500 ~ -350	钢筋发生锈蚀的概率为95%
2	-350 ~ -200	钢筋发生锈蚀的概率为50%，可能存在坑蚀现象
3	-200以上	无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定，锈蚀概率5%

- 2 钢筋锈蚀速率及构件保护层出现损伤年数可按表 D.8-2 的规定进行判别。

表 D.8-2 钢筋锈蚀速率和构件保护层出现损伤年数判别

序号	锈蚀电流 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	锈蚀速率	构件保护层出现损伤年数
1	<0.2	钝化状态	—
2	$0.2 \sim 0.5$	低锈蚀速率	>15 年
3	$0.2 \sim 0.5$	中等锈蚀速率	10年 ~ 15年
4	$0.2 \sim 0.5$	高锈蚀速率	2年 ~ 10年
5	>10	极高锈蚀速率	不足2年

- 3 混凝土电阻率与钢筋锈蚀状态可按表 D.8-3 的规定进行判别。

表 D.8-3 钢筋锈蚀状态判别

序号	混凝土电阻率 ($\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$)	钢筋锈蚀状态
1	>100	钢筋不会锈蚀
2	$50 \sim 100$	低锈蚀速率
3	$10 \sim 50$	钢筋活化时，可出现中高锈蚀速率
4	<10	电阻率不是锈蚀的控制因素

D.0.9 综合分析判定方法可根据裂缝形态、混凝土保护层厚度、混凝土强度、混凝土碳化深度、混凝土中有害物质含量以及混凝土含水率等检测数据判定钢筋的锈蚀状况。

附录 E 吸水率试验

E.0.1 试验仪器设备和化学试剂应满足下列要求：

- 1 烘箱，温度控制在 $(40\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；
- 2 试验槽，满足放置试件的盛水容器；
- 3 玻璃棒直径 5 mm~7 mm；
- 4 天平，精确至 0.01g；
- 5 试件密封材料，耐受温度不低于 40°C ；
- 6 符合标准的饮用水。

E.0.2 试验应按下列步骤进行：

- 1 采用直径为 (50 ± 5) mm、高度不低于 100 mm 的混凝土试件，保持硅烷浸渍表面完整；
- 2 除了渗透型硅烷浸渍表面外，其余各面均涂以无溶剂环氧涂料等密封材料进行密封，且与浸渍表面搭接 2 mm；
- 3 密封材料固化后将试件置于 $(40\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘 48h；
- 4 取出试件冷却至室温后立即称重；
- 5 在试验槽底部，放置数根直径 5 mm~7 mm 的玻璃棒，将试件的硅烷浸渍表面朝下水平放在玻璃棒上；
- 6 注入 23°C 的饮用水，使试件浸渍表面浸入水中 1 mm~2 mm；
- 7 试件在浸入水中 5、10、30、60、120、240 min 时取出，用湿布抹去试样表面明水后称重；
- 8 每次称重后立即将试件放回试验槽中浸水。

E.0.3 试验结果计算应满足下列要求：

- 1 计算试件在经过 5、10、30、60、120、240 min 时吸水增加的质量，计算试件的吸水高度，单位以 mm 表示；
- 2 以试件吸水高度为纵坐标，对应经过时间的平方根为横坐标，绘制两者的线性关系图；
- 3 吸水率以直线的斜率表达，单位以 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$ 表示。

E.0.4 试验结果的评定应满足下列要求：

- 1 取同组 3 个试件吸水率的算术平均值；
- 2 同组 3 个试件吸水率最大值或最小值，与中间值之差有一个超过平均值的 20%时，取中间值；
- 3 同组 3 个试件吸水率最大值和最小值，与中间值之差均超过平均值的 20%时，该组数据无效。

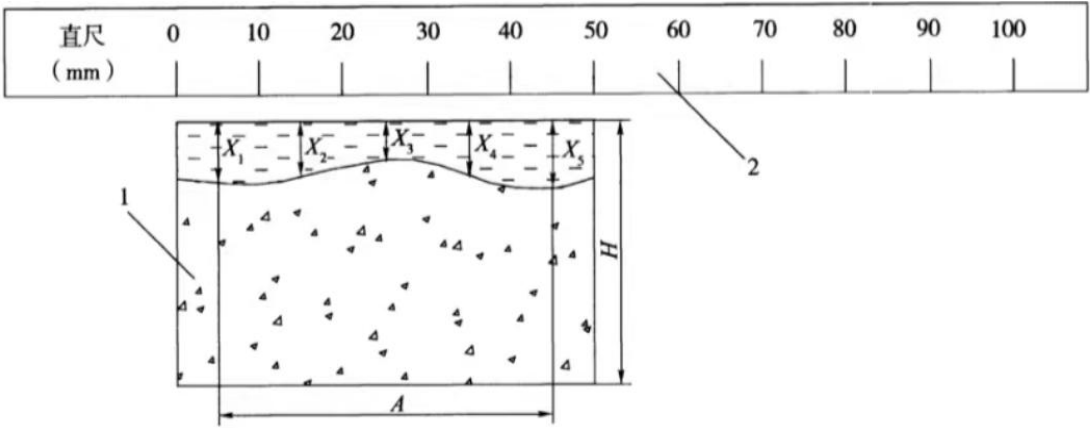
附录 F 硅烷浸渍深度

F.0.1 试验仪器设备和化学药剂应满足下列要求：

- 1 烘箱，温度控制在 $(40\pm5)^{\circ}\text{C}$ ；
- 2 游标卡尺，精度 0.1 mm；
- 3 水基短效染料，亚甲基蓝、光酸性红。

F.0.2 试验应按下列步骤进行：

- 1 采用直径为 (50 ± 5) mm、高度不低于 45 mm 的混凝土试件，保持硅烷浸渍表面完整；
- 2 试件置于 $(40\pm5)^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘 48h；
- 3 取出试件，用压力试验机沿轴向劈成两半；
- 4 在新劈开的断面喷涂水基短效染料，放置 15 min；
- 5 用游标卡尺测量不吸收染料区域的硅烷浸渍深度，根据试样测试面的长度，均匀选择测试点，点数不得少于 5 个，测量位置如图 F.2-1 所示；
- 6 计算试件测试点数据的算术平均值作为该试件硅烷浸渍深度代表值。



其中：1-试件边缘部分；2-直尺；H-试件厚度；X1-X5-硅烷浸渍深度

图 F.2-1 硅烷浸渍深度测量示意图

F.0.3 试验结果的评定应满足下列要求：

- 1 取同组3个试件硅烷浸渍深度代表值的算术平均值；
- 2 同组3个试件硅烷浸渍深度代表值的最大值或最小值，与中间值之差有一个超过平均值的20%时，取中间值；

3 同组3个试件硅烷浸渍深度代表值的最大值和最小值,与中间值之差均超过平均值的20%时,该组数据无效。

附录 G 透水性试验

G.0.1 透水性试验装置

透水性试验装置为带刻度的漏斗状玻璃装置。目前常用的装置为立式卡斯通管和卧式卡斯通管，如进行试验室试验建议采用立式卡斯通管，如果进行现场检测或者立面墙面建议采用卧式卡斯通管。

G.0.2 在涂刷渗透性修复材料 7d 后进行透水性试验，如遇下雨天，可适当向后延迟。

G.0.3 试验步骤如下：

1 将透水性试验装置放在混凝土试样或墙面的中部，用不吸水的密封材料密封卡斯通管的缝隙，缝隙中不应渗出水。

2 待密封材料干燥后，在试验环境下至少放置48h后将水缓慢注入玻璃管内，直至试管的0 mL刻度，确认透水性试验装置中无气泡后再次调整试管的0mL刻度，将玻璃管顶端用锡纸遮盖包住。

3 静置30 min, 60 min, 120 min, 24h后，观察并记录液面下降毫升数，每个卡斯通管各试验一次。

4 取两次测试结果的算数平均值。两次测试结果的差值不应大于0.2 mL，否则本次试验数据无效。

用 词 说 明

为便于在执行本规程条款时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明为:

1 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”;

2 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”;

3 表示允许稍有选择,在条件允许时首先这样做的:

正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”;

4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

引用标准名录

本文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

《核电厂海工构筑物防腐蚀施工及验收规范》NB/T 25095-2018

《混凝土结构硅烷浸渍技术规程》DB37/T 4383-2021

《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192-2009

《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152-2019

《水运工程结构防腐蚀施工规范》JTS/T 209—2020

《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310—2019

《金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第1部分:分类、测定和评估》GB/T 19292.1-2018

《核电厂混凝土结构技术标准》GB/T 51390-2019

《核电站钢板混凝土结构技术标准》GB/T 51340-2018

《混凝土耐久性检验评定标准》JTG/T 3193—2009

《海上风电场风力发电机组混凝土基础防腐蚀技术规范》NB/T 31133-2018

《核电厂海工混凝土结构防腐蚀技术规范》NB/T 10597-2021

《混凝土结构防护用成膜型涂料》JG/T 335—2011

中国建筑材料协会标准

滨海核电厂址建构筑物混凝土表面渗透修复技术 规范

T/CBMF XXX—XXXX

条文说明

制 定 说 明

《滨海核电厂址建构筑物混凝土表面渗透修复技术规范》（T/CBMF XXX—XXXX），经中国建筑材料联合会202X年X月X日以第X号（总第XX号）批准发布。

混凝土具有卓越的结构强度，出色的耐久性和可塑性，优异的防火性能，良好的经济性，是滨海建筑的主要材料之一。滨海建筑混凝土表面的抗腐蚀效果是保证建筑物长时间服役的关键。渗透型硅烷可有效对新建混凝土进行防护、对受氯盐侵蚀的混凝土进行修复，具有广阔的应用前景。

本标准制定过程中，编制组进行了广泛调查研究，认真总结我国混凝土结构修复研究、设计、施工及检测工作中的实践工程经验，不断深化拓展相关科研成果，参考国内外相关标准，用于规范和指导使用渗透型硅烷对新建混凝土进行防护，对遭到海水腐蚀、盐雾腐蚀的受氯盐侵蚀混凝土构筑物进行修复和维护，提升滨海建筑混凝土表面防护和修复的技术水平，为渗透型硅烷在混凝土表面防护和修复的推广应用提供有力支撑，并在广泛征求意见的基础上，确定了本标准的各项指标要求。

为了便于广大进行滨海建筑领域混凝土表面防护与修复工作的设计、生产、施工和工程质监等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《滨海核电厂址建构筑物混凝土表面渗透修复技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供读者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总则30

2 术语31

3 材料32

4 腐蚀原因诊断 33

 4.1 环境调研33

 4.2 大气氯离子沉积速率检测33

 4.3 混凝土氯离子含量检测33

5 施工34

 5.1 基本要求34

 5.2 机具及设备34

 5.3 人员组织及安排34

 5.4 表面预处理35

 5.5 施工方法35

6 检验36

 6.1 检测方法及设备36

 6.2 预试验及相关检验36

 6.3 大面积施工后试验检验36

7 安全要求 37

附录 A~G 38

1 总 则

1.0.1 在现代建筑行业中得到广泛运用的混凝土，以卓越的结构强度，出色的耐久性和可塑性，优异的防火性能，良好的经济性等特点成为滨海建构筑物的主要材料。滨海建筑混凝土表面的抗腐蚀效果是保证建筑物长时间服役的关键。目前的主流表面渗透修复材料体系包括有机涂层、渗透型涂层、阻锈渗透涂层等。其中涂层以阻隔水分和离子的传播达到保护混凝土钢筋的目的。和其他类型修复材料相比，硅烷作为一种渗透反应型的高分子聚合物涂料，在水泥基材的表面、毛细孔与凝胶孔道内部形成长效稳定的疏水吸附层与抗渗结晶体，抑制各种侵蚀介质与物理化学因素对水泥水化产物微结构的持续性破坏，可有效对新建混凝土进行防护、对受氯盐侵蚀的混凝土进行修复，具有广阔的应用前景。

目前，国内渗透修复应用技术研究较多，各企业或协会也有相关应用指南；渗透型硅烷已有建工行业产品标准，但缺乏其应用技术标准，部分国标、行标中对其应用技术仅有原则性要求，缺乏可操作性。为解决渗透型硅烷的实际应用问题，进而推动其产品开发和推广应用，保障工程质量，非常有必要制定其应用技术标准，对渗透型硅烷的材料、施工、安全要求、检验验收等应用内容作出规定，为其工程应用提供标准依据。

1.0.2 考虑目前我国工程实践中采用阻锈剂对混凝土表面进行修复较为普及，因此本规程仅适用于新建混凝土的防护，以及遭到海水腐蚀、盐雾腐蚀的受氯盐侵蚀混凝土构筑物的修复和维护。本条明确了本规范的适用范围。新建混凝土结构的防护属于预防性措施，而针对已遭受海水、盐雾中氯离子侵蚀的混凝土构筑物进行修复与维护，是本规范的核心应用场景。鉴于核电厂址环境以海洋大气氯离子侵入为主导腐蚀因素，故特别指出此情形下建议采用本规范。

1.0.3 本规范主要围绕“渗透型硅烷”这一特定材料体系制定其应用技术。当前工程中虽有多种阻锈、涂层技术，但本规范聚焦于硅烷材料的渗透、憎水机理，故其适用范围限定为使用该材料进行的防护与修复工程。

2 术语

2.0.1 参照 GB/T 19292.1-2018 中的术语。

3 材料

3.1.1 强调材料进场质量检验的强制性。渗透型硅烷产品的性能是修复效果的基础，必须依据相关标准或设计要求进行抽样检测，合格后方可投入使用。产品系列定型研究报告和系统性的检验验证是渗透修复技术良好效果的保证，鉴于各产品供应商基础、条件不同，材料必须进行系统性的检验，这有利于材料在滨海建构物混凝土表面修复中的合理应用。

3.2.1 此款规定修复材料选用原则中的时间匹配原则。根据需修复场地重新投入使用的时间来选择修复材料种类和调配确定相关参数，有利于更好地达成快速修复的目的，以平衡修复效果与工程进度，避免对场地的正常运行造成过大影响。

3.2.2 此款规定修复材料选用原则中的材料匹配原则。修复材料与旧混凝土在热膨胀系数、弹性模量上若差异过大，在环境温度变化或荷载作用下易在界面产生应力集中，导致修复层剥离或开裂。因此修复材料与原有混凝土热膨胀系数、弹性模量等相差应不大于一个数量级，同时也要满足使用环境和施工条件要求，这有利于更好地达成修复目的，避免由于修复材料与原有混凝土不相匹配导致修复无效。

3.3.1 此款根据阻锈型硅烷修复行为发生地点的不同，对阻锈型硅烷进行分类。有助于工程人员理解其作用机理，从而更合理地选择产品。

3.3.2 此款对渗透修复材料使用后的天气环境需求进行规定。

3.3.3 此款对渗透修复材料使用的基材表面作出规定。混凝土表面的清洁程度直接影响涂层质量。混凝土表面在一定程度上存在着浮浆、脱模剂、养护剂、浮尘、油污和其他不牢附着物等，若未处理干净将直接影响涂层的粘结强度和防腐蚀性能。施工后 4 小时内是硅烷小分子向混凝土内部渗透的关键期，降雨会冲刷表面材料，大风会加速溶剂挥发影响渗透，极端气候可能破坏尚未稳定的反应过程，故建议推迟施工。基材干燥有利于硅烷蒸汽在毛细孔中更深入地扩散。潮湿表面会阻碍渗透，并可能使硅烷过早水解，影响深层处理效果。

3.3.4 此款对渗透修复材料的保存作出规定。硅烷可能与氯丁橡胶、沥青等材料发生不良反应，导致其溶解、膨胀或性能劣化，存放时需做好隔离保护。

3.3.5 此款对渗透型硅烷材料的性能参数作出规定。高纯度、低杂质是保证其有效性与对混凝土、钢筋无害性的关键。禁止稀释是为了保证有效含量与渗透深度。

4 腐蚀原因诊断

4.1 环境调研

4.1.1 详尽的环境数据是制定针对性修复方案的前提。气象数据（温湿度、风向风速、降水量）影响腐蚀速率与施工所需时间；海水及大气中的有害离子种类与浓度是量化腐蚀荷载的直接依据。需要对腐蚀混凝土所在的地方进行环境调研，包括当地的气象数据、对混凝土有害的腐蚀性离子、海水相关的基础数据，如盐度、泥沙含量、离子种类及含量等，以达到明确混凝土腐蚀原因，进一步确定渗透型硅烷材料是否适合腐蚀混凝土的修复与维护的目的。

4.2 大气氯离子沉积速率检测

4.2.1 采用挂片法或者湿蚀法进行大气氯离子沉积速率检测，具体试验操作见附录 A 和附录 B。湿蚀法更适用于长期、连续的背景值监测，其分类表（表 5.2-1）为环境腐蚀性分级提供了参考。挂片法结果需按 ISO 9225 进行转换以保证可比性，体现了与国际标准接轨。

4.2.2 结合环境调研和大气氯离子沉积速率检测的相关数据，参考 GB/T 19292.1-2018 进行大气环境腐蚀等级分类，实现了从单一离子指标到综合腐蚀环境的评价，为修复等级和材料选用提供了更全面的背景依据。大气环境腐蚀等级分类的确定，有利于后续表面渗透修复操作条件的确定与进行。

4.3 混凝土氯离子含量检测

4.3.1 对于腐蚀混凝土需要进行实地取样，包括腐蚀混凝土的配合比等基本参数、混凝土腐蚀情况分布、表面剥落情况、裂缝情况、孔洞情况，通过拍照等进行记录。这是评估损伤程度、确定修复范围的重要基础，有利于后续渗透修复技术的进行。

4.3.2 不同深度的氯离子含量分布是判断侵蚀前沿位置、评估钢筋脱钝风险、确定硅烷处理必要性与有效深度的直接证据。根据附录 C 对于现场已经腐蚀的混凝土进行不同深度氯离子含量的检测。

5 施工

5.1 基本要求

5.1.1 此款对施工对象做出规定。本标准的渗透修复技术仅适合于已存在氯离子且无裂缝或裂缝较小的混凝土的修复。渗透型硅烷主要解决“面”上的渗透性防护问题，对于已形成的宏观裂缝、孔洞，需先进行结构性修补后再修复。

5.1.2 此款对施工前的天气条件作出规定。天气条件对施工质量有决定性影响，理想的温湿度条件有利于硅烷的渗透与固化反应。本标准的渗透修复技术适合于晴天进行施工，如遇到大风、下雨天应当推迟施工，否则将影响修复效果、增大施工难度。

5.2 机具及设备

5.2.1 此款对施工过程所用机具作出规定。本标准的渗透修复技术无特定机具要求，对于液体状的修复材料可以采用扇型喷嘴的低压泵设备进行施工处理，也可以采用大体积喷壶进行喷涂作业，膏体或者乳液状的修复材料可以采用滚轮或者大号刷子进行涂刷作业。

5.2.2 此款对特殊施工地点所需的施工设备作出规定。对于高处作业，需要配备登高车或脚手架。

5.3 人员组织及安排

5.3.1 此款对施工人员作出规定。正式施工前，施工人员需进行培训，培训合格后方可参与施工，避免由于施工人员未明确施工流程导致施工困难的情况。

5.3.2 此款对高处作业的施工人员作出规定。对于高空作业者，相关人员必需持有相关证明，且高空作业需安排至少一名安全人员监护，避免出现安全事故。

5.3.3 此款对施工现场人员组织作出规定。现场施工人员应服从负责人的安排并高效完成施工作业。

5.4 表面预处理

5.4.1 此款对施工前混凝土表面情况作出规定。混凝土表面的清洁程度直接影响涂层质量。混凝土表面必须经过清洁，清除表面所有的污垢、灰尘、风化物、霉斑、油渍、沥青、浮浆、油漆、涂料、固化剂以及其它可能抑制渗透的外源性物质，若未处理干净将直接影响涂层的粘结强度和防腐蚀性能。

5.4.2 此款对混凝土表面清洁方法作出规定。可采用的清洁方法有喷丸处理、喷砂处理、水力清砂、打磨和化学清洁等。选择何种方法需根据污染类型、基体强度及现场条件确定，原则是彻底清除污染物且不损伤坚固的混凝土基体。

5.5 施工方法

5.5.1 此款对施工过程中的喷涂工序作出规定。根据材料性状（液态、膏体）推荐了不同的施工机具，注重实用性与可操作性。低压喷涂有助于形成均匀膜层并减少浪费。施工中应连续喷涂实施，使被涂表面饱和溢流。喷涂效果将直接影响涂层的渗透修复效果。

5.5.2 此款对施工过程中的喷涂用量作出规定。每层用量约为 180-230 mL/m²。精确用量取决于腐蚀的程度、氯离子含量以及建筑物所处的环境等，需视具体情境进行增减。用量过多或过少都将直接影响涂层的修复效果。。

5.5.3 此款对施工过程中的材料使用作出规定。试验所用的全部硅烷用料在施工现场应一次备足，避免施工中断。材料使用前，方可启封，并应于启封后 72h 内用完，否则应予废弃，是为了防止因分次采购造成批次差异，以及避免溶剂挥发、材料污染或预反应导致性能下降，避免材料污染后复用导致施工效果不佳。

5.5.4 此款对施工环境作出规定。不能在潮湿或浸水的混凝土环境中使用渗透型硅烷，潮湿或浸水环境下，混凝土毛细孔充满水，会严重阻碍硅烷蒸汽的扩散与渗透，导致硅烷渗透效果降低、修复失效。

6 检验

6.1 检测方法及设备

6.1.1 此款对检测方法及设备作出规定。具体方法和设备要求参照附录 A 至附录 G。

6.2 预试验及相关检验

6.2.1 此款对预试验前的准备工序作出规定。预试验前，需要测量未喷涂原混凝土的腐蚀电位，和预试验后的结果进行对比。

6.2.2 此款对预试验的具体工序和判定标准作出规定。“预试验”是大面积施工前的强制性验证步骤。在进行正式试验前应进行喷涂预试验，具体参照 5.5 施工方法。完成试验区喷涂工作后，应在试验区随机钻取 6 个芯样，并各取 2 个芯样分别进行现场腐蚀电位、吸水率和硅烷浸渍深度的测试，当测试结果符合对应规定的判定标准时，方可在结构上进行大面积正式试验。

6.3 大面积施工后试验检验

6.3.1 此款对施工后的即时验收标准作出规定。渗透型硅烷的质量验收应以每 100 m² 面积为一个质量的验收批次。渗透型硅烷的工作完成后，按规定的方法各取两个试验点进行疏水性试验和现场腐蚀电位的测试。当任一验收批的两项测试结果中任意一项不满足对应要求时，应当重新进行涂抹渗透型硅烷。

6.3.2 此款对施工完成两周后的效果检验作出规定。在施工完成 14d 后进行现场的透水性测试，开展试验进行对比，检验渗透修复技术效果，是对硅烷处理层整体抗渗能力的定量检验。

6.3.3 此款对施工完成 150d 后的效果检验作出规定，旨在验证硅烷处理的长期阻锈效果。在施工完成 150d 后进行现场的阻锈性测试，使用钢筋锈蚀检测仪再一次检测 6.1.1 中选取的两个试验点的腐蚀电位，同 6.2.1 的结果进行对比，如果腐蚀电位的绝对值减小，且腐蚀电位大于 -200 mV，则渗透型硅烷有较好的阻锈效果。

7 安全要求

7.0.1 此款对渗透型硅烷材料的存放作出规定。渗透型硅烷宜单独存放，应贮存在通风、干燥、阴凉区域，并采取有效的防火措施，避免引起化学品爆燃事故。

7.0.2 此款对渗透型硅烷材料的运输作出规定。渗透型硅烷在运输过程中应采取有效的防碰撞、防泄漏和防接触直接热源等措施，避免化学品爆燃事故。

7.0.3 此款对施工现场安全作出规定。施工现场不应有明火且通风良好。

7.0.4 此款对施工现场施工人员作出规定。工作人员应正确穿戴工作服、安全帽、护目镜、手套等安全防护用品。

7.0.5 此款对施工现场人员安全作出规定。施工时，人宜站在上风向。如不慎吸入材料，应立即移到通风处。如材料接触到身体，应立即用水冲洗 15min 以上，及时脱下受污染的衣物，情况严重的及时送医。

附录 A~G

根据规程，编制组进行了大气氯离子沉积速率检测试验、不同深度氯离子含量检测试验、混凝土中钢筋锈蚀状况的检测试验、吸水率试验、硅烷浸渍深度检测试验、透水性试验。结合现有相关技术资料，编制组对以上试验方法在附录 A 至附录 G 中进行了专门规定。
