

CECS

中国工程建设标准化协会标准

T/CECS XXX—201X

混凝土结构耐久性修复与防护技术规程

Technical specification for rehabilitation and protection of concrete structures durability

(征求意见稿)

201X-XX-XX 发布

201X-XX-XX 实施

中国工程建设标准化协会 发布

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2018 年第二批协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字 2018[030]号）的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并广泛征求意见基础上，制定本规程。

本规程共分为 8 章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、钢筋锈蚀修复与防护、延缓碱骨料反应方法、冻融损伤修复、裂缝修补、混凝土表面修复与防护。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑物鉴定与加固专业委员会归口管理，由中冶建筑研究总院有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请寄往解释单位（地址：北京市海淀区西土城路 33 号，邮编：100088，邮箱：）。

主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总 则.....	1
2 术 语.....	2
3 基本规定.....	3
4 钢筋锈蚀修复与防护.....	4
4.1 一般规定.....	4
4.2 材料.....	5
4.3 钢筋阻锈修复施工.....	6
4.4 电化学保护施工与安装.....	6
4.5 质量检验.....	6
5 延缓碱骨料反应方法.....	8
5.1 一般规定.....	8
5.2 材料.....	8
5.3 延缓碱-骨料反应施工.....	8
5.4 质量检验.....	9
6 冻融损伤修复.....	10
6.1 一般规定.....	10
6.2 材料.....	10
6.3 冻融损伤修复施工.....	10
6.4 质量检验.....	11
7 裂缝修补.....	12
7.1 一般规定.....	12
7.2 材料.....	12
7.3 裂缝修补施工.....	13
7.4 质量检验.....	13
8 混凝土表面修复与防护.....	15
8.1 一般规定.....	15
8.2 材料.....	15
8.3 表面修复与防护施工.....	15
8.4 质量检验.....	16
本规程用词说明.....	17
引用标准名录.....	18

附：条文说明..... 19

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms	2
3 Basic Requirements	3
4 Repair and Protection of Corrosion of Reinforcement	4
4.1 General Requirements	4
4.2 Materials	5
4.3 Construction for Corrosion Inhibition	6
4.4 Construction for Electrochemical Protection and Installation	6
4.5 Quality Inspection	6
5 Method of Delaying Alkali-aggregate Reaction Damage	8
5.1 General Requirements	8
5.2 Materials	8
5.3 Construction	8
5.4 Quality Inspection	9
6 Repair of Freeze-thaw Damage	10
6.1 General Requirements	10
6.2 Materials	10
6.3 Construction	11
6.4 Inspection and Acceptance	11
7 Repairing Cracks	12
7.1 General Requirements	12
7.2 Materials	12
7.3 Construction	13
7.4 Quality Inspection	13
8 Repair and Protection of Concrete Surface	15
8.1 General Requirements	15
8.2 Materials	15
8.3 Construction	15
8.4 Quality Inspection	16
Explanation of wording in This Specification	17
List of Quoted Standards	18

Additon: Explanation of Provisions 19

1 总 则

1.0.1 为使既有混凝土结构的耐久性修复与防护做到技术先进，经济合理，安全适用，确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于既有混凝土结构耐久性修复与防护工程的设计、施工及检验，本规程不适用于轻骨料混凝土及特种混凝土结构。

1.0.3 混凝土结构耐久性修复与防护的设计、施工及检验，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 耐久性修复 durability rehabilitation

使耐久性损伤的结构或其构件恢复到修复设计要求的技术手段。

2.0.2 耐久性防护 durability protection

维持混凝土结构耐久性达到期望水平的技术手段。

2.0.3 钢筋阻锈剂 corrosion inhibitor for steel bar

加入混凝土或砂浆中或涂刷在混凝土或砂浆表面，能够阻止或减缓钢筋锈蚀的化学物质。

2.0.4 混凝土防护面层 surface coating

涂抹或喷涂覆盖在混凝土表面并与其牢固粘结的防护层。

2.0.5 界面处理材料 interfacial bonding agent

用于混凝土修复区域界面处增强相互粘结力的材料。

2.0.6 电化学保护 electrochemical protection

对被保护钢筋施加一定的阴极电流，通过改变钢筋的电位或钢筋所处的腐蚀环境，使其不再腐蚀的保护方法。阴极保护、电化学脱盐和电化学再碱化统称为电化学保护的技术措施。

2.0.7 阴极保护 cathodic protection

给钢筋持续施加一定密度的阴极电流，抑制钢筋发生阳极反应的电化学保护技术措施。

2.0.8 电化学脱盐 electrochemical chloride extraction

通过给钢筋短期施加阴极电流，依靠电迁移作用降低混凝土中氯离子含量，使钢筋再钝化的电化学保护技术措施。

2.0.9 电化学再碱化 electrochemical realkalization

给钢筋短期施加密度较大的阴极电流，使钢筋周围已中性化（包括碳化）的混凝土PH值提高，使钢筋再钝化的技术措施。

3 基本规定

3.0.1 混凝土结构在下列情况下应进行耐久性修复与防护：

- 1 已出现耐久性损伤的结构；
- 2 耐久性评定不满足要求的结构；
- 3 达到设计使用年限拟继续使用的结构；
- 4 使用年限较长的结构或对结构耐久性要求较高的重要建构筑物；
- 5 结构进行维修改造、用途及使用环境改变时。

3.0.2 混凝土结构耐久性修复与防护应在耐久性调查、检测与评定的基础上根据损伤原因和程度、工作环境、结构的安全性和耐久性要求等因素，按下列基本工作程序进行：

- 1 修复与防护设计；
- 2 修复与防护施工；
- 3 质量检验。

3.0.3 结构环境分类、作用等级的划分及耐久性调查、检测与评定应依据现行国家标准《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T51355 进行。

3.0.4 修复与防护设计应根据不同结构类型及其环境作用等级、耐久性损伤原因及类型、预期修复效果、目标使用年限等，制定相应的修复与防护设计方案，并应包括下列内容：

- 1 目的、范围；
- 2 设计依据；
- 3 修复与防护技术要求或图纸；
- 4 材料性能及要求；
- 5 施工工艺要求；
- 6 质量检验要求。

3.0.5 修复与防护施工应制订严格的施工方案，宜按基层处理、界面处理、修复处理、表面处理四个工序进行。修复防护施工工艺及操作要求的制定应根据所选择材料的性能、施工条件及周围环境、修复防护方法进行。

3.0.6 质量检验宜包括材料检验和实体验验，并应符合下列规定：

- 1 材料检验应提供型式检验和出厂检验报告，关键材料应进行进场复验。
- 2 修复与防护工程完工后，应进行外观质量检验。
- 3 对重要结构、重要部位及关键工序，可在施工现场进行粘结强度等实体验验。

3.0.7 混凝土结构耐久性修复与防护设计、施工、质量检验应由具有相应能力的单位承担。

4 钢筋锈蚀修复与防护

4.1 一般规定

4.1.1 钢筋锈蚀修复与防护适用于无涂层或覆盖层的普通碳钢钢筋。

4.1.2 钢筋锈蚀状态应按下列规定进行分级：

1 对适用于《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355 的既有结构，按该标准进行钢筋锈蚀状态评级。

2 对不适用于《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355 的既有结构，按以下规定进行分级：

1) 一般锈蚀：钢筋锈蚀电位小于-350mV；钢筋电位介于-200~-350mV(CSE)，且采用其他有效检测方法，确认钢筋已局部锈蚀；

2) 严重锈蚀：混凝土表面有锈斑、顺筋开裂、混凝土保护层剥落、钢筋出现锈皮或浅锈坑、钢筋截面开始减小现象之一者。

4.1.3 钢筋锈蚀修复与防护技术措施宜在考虑目标使用年限、技术措施的可行性、维护管理要求、经济性等因素的基础上，应按环境类别、耐久性或锈蚀状态等级，选用表 4.1.3 中的一种方案或同时采用多种方案：

1 按 4.1.2 评定为 b 级或一般锈蚀的构件可仅进行防护或局部修复处理。

2 按 4.1.2 评定为 c 级或严重锈蚀的构件应进行整体修复及防护处理。

表 4.1.3 修复与防护技术措施

环境类别	耐久性或锈蚀状态等级	修复方案
I	b 级或一般锈蚀	表面防护处理 钢筋阻锈处理
	c 级或严重锈蚀	钢筋阻锈处理 电化学再碱化 表面防护处理
III/IV	b 级或一般锈蚀	表面防护处理 钢筋阻锈处理
	c 级或严重锈蚀	电化学脱盐 阴极保护 表面防护处理 钢筋阻锈处理

注：1 当环境作用等级为 I-C 或 I-D 时，表面防护处理时应具有较强的憎水能力。

2 当环境作用等级为 III 或 IV 时，宜采用电化学防护或保护处理，对环境作用等级为 III-E 或 IV-E 的，宜采取外加电流阴极保护处理；当进行表面防护处理时应具有较强的抗氯离子扩散能力。

3 对于掺入型氯盐引起的钢筋锈蚀，参照 III/IV 环境类别下 c 级或严重锈蚀状态等级选择修复方案。

4.1.4 钢筋锈蚀修复处理，一般情况下应进行钢筋阻锈处理及混凝土表面防护处理。对严重盐污染大气环境下的重要结构，宜在钢筋开始腐蚀尚未引起混凝土顺筋胀裂的早期，采用阴极保护、电化学脱盐等技术进行修复防护处理。当采用电化学保护方法进行钢筋锈蚀修复时应经专门论证。

4.1.5 电化学修复或保护技术，宜满足《混凝土结构耐久性电化学技术规程》T/CECS 565、《海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐技术规程》JTS 153-2 的相关规定。

4.1.6 对处于严酷腐蚀环境中的重要构件，在钢筋锈蚀修复后应进行定期检查或耐久性在线监测。

4.2 材料

4.2.1 修复用材料可选用水泥基材料、聚合物改性材料，并符合下列规定：

1 修复用混凝土性能宜满足《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 中相应环境作用等级下的耐久性要求；修复用聚合物砂浆性能宜满足《混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆》JG/T 336 的相关要求；灌浆料性能宜满足《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的相关要求。

2 物理力学性能不低于基体材料性能。

4.2.2 表面防护材料可选用防护涂料、防护砂浆或护套材料，并符合下列规定：

1 防护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抗渗性，表层涂料尚应具有良好的耐老化性能。

2 防护砂浆应具有良好抗渗性、附着性及与基体具有良好的匹配性。

3 护套材料宜为表皮耐蚀金属或非金属与填充材料的复合。表皮非金属材料可为纤维增强塑料（FRP）或超高性能混凝土（UHPC）等；填充材料可为不收缩水泥基材料或其它有机、无机填料。

4.2.3 钢筋阻锈材料可选用修复材料、掺入型钢筋阻锈剂、钢筋表面钝化剂和表面迁移型阻锈剂，并应符合下列规定：

1 修补材料性能应符合 4.2.1 的相关要求，宜掺入适量的掺入型阻锈剂，在起到良好阻锈作用的同时不能影响修补材料的各项性能。

2 掺入型钢筋阻锈剂基本性能应符合现行行业标准《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192 的规定；

3 钢筋表面钝化剂宜修复已锈蚀的钢筋混凝土结构，钢筋表面钝化剂应涂刷在钢筋

表面并应与钢筋具有良好的粘结强度；

4 表面迁移型阻锈剂宜用于防护与修复工程，应涂刷在混凝土结构表面，并应渗透到钢筋周围，其基本性能应符合现行行业标准《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192 的规定。

4.2.4 电化学保护材料宜符合《混凝土结构耐久性电化学技术规程》T/CECS 565、《海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐技术规范》JTS 153-2 中的相关规定。

4.3 钢筋阻锈修复施工

4.3.1 钢筋阻锈处理修复施工工艺除应按基层处理、界面处理、修复处理和表面防护处理进行外，尚应符合下列规定：

1 空鼓、开裂、松动等破损基层材料应彻底清除，已锈蚀的钢筋应进行完全暴露除锈处理；

2 在钢筋表面应均匀涂刷钢筋表面钝化剂；

3 在露出钢筋的断面周围应涂刷迁移型阻锈剂或阻锈型界面剂；

4 凿除部位应采用掺有阻锈剂的修补材料修复至原断面，当对承载能力有影响时，应对其进行加固处理。

5 表面存在明显缺陷时，应进行平整修补处理；

6 构件保护层修复后，在表面宜涂刷迁移型阻锈剂。

4.3.2 混凝土表面迁移阻锈处理修复工艺应符合下列规定：

1 混凝土表面基层应清理，并应保持干燥；

2 在混凝土表面应喷涂表面迁移型阻锈剂；

3 表面防护处理应符合设计要求。

4.4 电化学保护施工与安装

4.4.1 当采用电化学保护时，应根据环境差异及所选用阳极类型，把所需保护的混凝土结构分为彼此独立的、区域面积为 $50\text{ m}^2\sim 100\text{ m}^2$ 的保护区域。

4.4.2 电化学保护施工应满足《混凝土结构耐久性电化学技术规程》T/CECS 565、《海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐技术规范》JTS 153-2 的相关规定。

4.4.3 电化学保护的可行性论证、设计、施工、检测、管理应由有工程经验的单位实施。

4.5 质量检验

4.5.1 钢筋阻锈修复检验应满足下列规定：

1 修复完成后，应进行外观检查。表面应平整，修复材料与基层间粘接应牢靠、无裂缝、脱层、起鼓、脱落等现象；

- 2 当对抗压强度与物理化学性能有要求时,可对修复材料留置试块检测其相应性能;
 - 3 对修补质量有怀疑时,可采用钻芯取样、超声波或金属敲击法进行检验;
 - 4 当对粘结强度有要求时,现场应进行拉拔试验确定粘结强度,修复用材料与基体的粘结强度不低于 1.5MPa 和基体材料抗拉强度标准值的较大值。
 - 5 阻锈修复后的钢筋电位应大于-200mV。
- 4.5.2** 电化学保护检验应符合《混凝土结构耐久性电化学技术规程》T/CECS 565、《海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐技术规程》JTS 153-2 的相关规定。

5 延缓碱骨料反应方法

5.1 一般规定

5.1.1 应在对混凝土碱—骨料反应检测分析的基础上确定工程结构的损伤程度，并应综合考虑工程重要性及修复费用按下列规定确定修复方案：

1 对判断已发生碱-骨料反应的结构，应在对未来碱活性和膨胀发展进行评估的基础上采取延缓碱-骨料反应损伤的措施；

2 工程检测如果发现混凝土尚未发生碱骨料反应破坏，但存在发生碱-骨料反应条件时，宜采取预防和防护措施；

3 当碱骨料反应破坏严重或者是对结构安全性有影响时，宜考虑更换或者拆除相应的构件或者结构。

5.1.2 延缓碱骨料反应可采用封堵裂缝、涂刷表面憎水防护材料等技术措施。

5.1.3 防护或延缓碱骨料反应措施实施后应进行定期检查，记录和测量裂缝的发展情况。

5.2 材料

5.2.1 碱-骨料反应损伤修补材料应与混凝土基体紧密结合、耐久性好，在修复后应防止外部环境中潮湿水分侵入混凝土。

5.2.2 封堵裂缝可采用填充密封材料或灌浆。对于活动性裂缝，应采用极限变形较大的延性材料修补，灌浆材料应具有可灌性。

5.2.3 表面憎水防护材料应满足透气防水的要求，应保护混凝土结构抵抗外界气候环境影响。

5.2.4 裂缝修复灌浆材料、表面防护材料等关键材料性能应满足现行行业标准《混凝土裂缝修复灌浆树脂》JG/T264 和《混凝土结构防护用渗透型涂料》JG/T337 等相关标准和设计的规定。

5.3 延缓碱-骨料反应施工

5.3.1 对于存在发生碱骨料反应条件，尚未出现碱骨料反应破坏的混凝土结构，宜对结构混凝土表面进行防护处理，混凝土表面防护施工应按本规程第 8.3.2 条的规定进行。

5.3.2 对于已发生碱骨料反应外观出现裂缝的混凝土结构，应按下列步骤进行施工：

1 基层处理：应清除裂缝表面松散物及混凝土表面反应物等物质，并应干燥表面；

2 裂缝封堵：应根据裂缝的宽度、深度、分布及特征，选择表面处理法、压力灌浆法、填充密封法进行裂缝封堵，裂缝封堵应按本规程第 7.3 节的规定进行。

3 涂刷表面防护材料：应根据选择的材料按本规程第 8.3.2 条的规定进行。

5.4 质量检验

5.4.1 裂缝封堵的质量检验应按本规程第 7.4 节的规定进行。

5.4.2 涂刷表面防护材料的质量检验应按本规程第 8.4 节的规定进行。

6 冻融损伤修复

6.1 一般规定

6.1.1 应在对混凝土冻融损伤调查分析的基础上确定结构冻融损伤程度, 并应综合考虑工程重要性按下列规定确定修复方案:

- 1 已出现冻融损伤的结构, 应按冻融损伤程度的不同分为下列两种类型进行修复:
 - 1) 结构混凝土表面未出现剥落, 但出现开裂;
 - 2) 结构混凝土表面出现剥落或酥松。
- 2 当冻融破坏严重或对结构安全性有影响时, 宜更换或拆除相应的构件或结构。

6.2 材料

6.2.1 选择冻融损伤修复材料时, 应综合考虑冻融损伤性质、影响因素、损伤区域大小、特征和剥落程度、影响因素、表面局部气候和水分饱和程度, 修复材料可选用防护涂料、灌浆材料、修补砂浆和高性能混凝土及界面处理材料, 并应符合下列规定:

- 1 当结构混凝土表面未出现剥落但出现开裂时, 宜用灌浆材料、修补砂浆和表面防护材料进行修复;
- 2 当结构混凝土表面出现了剥落或酥松时, 宜采用高性能混凝土、修补砂浆、灌浆材料、表面防护及界面处理材料进行修复。

6.2.2 修补砂浆、灌浆材料、高性能混凝土、界面处理材料、引气剂等关键材料性能应符合国家现行标准《水泥基灌浆料应用技术规程》GB50448、《混凝土外加剂应用技术规程》GB50119 以及《混凝土结构修复用聚合物砂浆》JG/T336、《混凝土界面处理剂》JC/T907 的规定。

6.2.3 修复材料除应符合现行国家有关标准规定外, 尚应符合下列规定:

- 1 水泥应选用强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥;
- 2 应掺用引气剂, 修复混凝土的含气量宜符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定, 修复砂浆中含气量宜为 4%~6%;
- 3 修复材料的强度不应低于修复结构中原混凝土的设计强度;
- 4 修复材料的抗冻等级不应低于原混凝土抗冻等级。

6.3 冻融损伤修复施工

6.3.1 对结构混凝土表面未出现剥落但出现开裂的情况, 宜先清除冻伤混凝土, 再应按本规程第 7.3 节规定注入灌浆材料, 修补裂缝。清洗干净混凝土基面后, 用修补砂浆进行表面修补。对处于严酷环境时, 宜按本规程第 8.3.2 条规定在修补砂浆表面涂刷防护涂料。

6.3.2 对结构混凝土表面出现剥落或酥松的情况，修复宜按基层处理、界面处理、修复处理和表面防护处理四步进行，除应满足本规程第 8.3.1 条外，尚应符合下列规定：

- 1 对基层处理，应剔除受冻伤的混凝土并露出基层未损伤混凝土；
- 2 对界面处理，基层混凝土和修复材料之间应涂刷界面处理材料，当剥蚀深度大于 30mm 时，尚宜采用锚筋或插筋增强界面粘结能力；
- 3 对修复施工，当剥蚀层深度小于 30mm 时，宜采用修补砂浆进行修复；当剥蚀深度不小于 30mm 时，宜采用高性能混凝土或灌浆材料进行修复。
- 4 对表面防护，按本规程第 8.3.2 条规定进行表面防护处理。

6.3.3 修复后，应进行保温、保湿养护，被修复部分砂浆或混凝土不得遭受冻害。

6.4 质量检验

6.4.1 冻融损伤修复检验应符合下列规定：

- 1 当有混凝土中气泡间距系数有要求时，应现场取样修复砂浆或混凝土成型试件，养护至设计龄期后，采用直线导线法测定和计算气泡间距系数，并应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476 和设计的规定；
- 2 当对抗压强度、抗冻等级、抗渗等级有要求时，可对修复材料留置试块检测其相应性能。
- 3 当对粘接强度有要求时，现场应进行拉拔试验确定粘结强度。

7 裂缝修补

7.1 一般规定

7.1.1 裂缝修补前应对裂缝进行调查和检测，内容可包括裂缝长度、宽度、深度、分布、裂缝状态及特征、裂缝所处环境、是否稳定、是否渗水冒浆及产生原因等，并应根据调查和检测结果确定裂缝修补方法。

7.1.2 裂缝修补方法可分为表面处理法、填充密封法、压力灌浆法等。当环境作用等级为I类时，按表 7.1.1 选择裂缝修补方法；当为其他环境作用等级时，除按表 7.1.1 进行裂缝修补处理外，还应采取特殊防护处理。

表 7.1.2 I类环境作用等级下混凝土裂缝修补方法

裂缝宽度 (mm)	裂缝性状			
	活动裂缝	渗水裂缝	表面裂缝	稳定裂缝
<0.3	表面处理法 压力灌浆法 填充密封法	表面处理法 压力灌浆法	表面处理法	表面处理法 压力灌浆法
≥0.3	压力灌浆法 填充密封法	压力灌浆法 填充密封法	表面处理法 填充密封法	压力灌浆法 填充密封法

7.1.3 由于钢筋锈蚀、碱-骨料反应、冻融损伤引起的裂缝，其处理应分别按本规程第 4、5、6 章的规定进行修复。

7.2 材料

7.2.1 混凝土结构裂缝修补材料可分为表面处理材料、填充密封材料、压力灌浆材料三大类。裂缝修补材料应能与混凝土基体紧密结合且耐久性好。

7.2.2 混凝土结构裂缝表面处理材料可采用环氧胶泥、成膜涂料、渗透性防水剂等材料，其使用应符合下列规定：

- 1 环氧胶泥宜用于稳定、干燥裂缝的表面封闭，裂缝封闭后应能抵抗灌浆的压力。
- 2 成膜涂料宜用于混凝土结构的大面积表面裂缝和微细活动裂缝的表面封闭。
- 3 渗透性防水剂遇水后能化合结晶为稳定的不透水结构，宜用于微细渗水裂缝迎水面的表面处理。

7.2.3 混凝土结构裂缝填充密封材料可采用环氧胶泥、聚合物水泥砂浆以及沥青油膏等材料。对于活动性裂缝，应采用柔性材料修补。

1 聚合物水泥砂浆应具有施工性能好、粘结强度高、耐久性好的特点，其性能应符合《混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆》JG/T 336 等的规定。

2 沥青油膏应具有较好的黏结性、耐热性、低柔性、低挥发性和便于施工的特点。

3 柔性材料可采用无流动性的有机硅酮、聚硫橡胶、改性丙烯酸酯、聚氨酯等嵌缝密封胶，其性能指标应满足国家相应行业及产品标准的要求。

7.2.4 混凝土结构裂缝压力灌浆材料可采用环氧树脂、甲基丙烯酸树脂、聚胺脂类等材料，其性能应符合现行行业标准《混凝土裂缝修复灌浆树脂》JG/T264 的规定；也可采用水泥基灌材料，其性能应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的规定。有补强加固要求的浆液，固化后的抗压、抗拉强度应高于被修补的混凝土基材。

7.3 裂缝修补施工

7.3.1 表面处理法施工应符合下列规定：

- 1 应清除裂缝表面松散物，裂缝表面应清洁干燥。
- 2 材料应均匀涂抹在裂缝表面。
- 3 涂覆厚度、方法及范围应符合设计及材料使用规定。

7.3.2 填充密封法施工应符合下列规定：

- 1 应沿裂缝将混凝土开凿成宽 2 cm ~3cm、深 2 cm ~3cm 的“V”形槽。
- 2 应清除缝内松散物。
- 3 对于活动裂缝，也可沿裂缝长度方向间隔一定距离跨缝钉入扒钉来限制裂缝发展。
- 4 选择材料嵌填裂缝，直至与原结构表面持平。

7.3.3 压力灌浆法施工应符合下列规定：

- 1 裂缝灌浆前，应清除裂缝表面的灰尘、浮渣和松散混凝土，且应保持清洁干燥。
- 2 根据裂缝宽度和裂缝深度综合确定灌浆嘴间距。
- 3 封闭裂缝，并形成一個密闭空腔，并预留浆液进出口。
- 4 裂缝封闭后应进行压气试漏，检查密封效果，直至不漏为止。
- 5 灌注施工采用专用的灌注器具进行灌浆。
- 6 等灌浆材料凝固后，拆除灌缝器具，并进行表面处理。

7.3.4 裂缝修补处理后，可根据设计需要进行表面防护处理。

7.4 质量检验

7.4.1 表面处理材料、填充密封材料和压力灌浆材料等关键材料应进行进场复验，其性能

应满足现行国家行业标准《混凝土裂缝灌浆树脂》JG/T264 等相关标准和设计的要求。

7.4.2 裂缝修补检验应满足下列规定：

- 1 检验裂缝修补外观质量，表面应平整，无空鼓现象。
- 2 检查灌浆是否密实，优先采用无损检测手段检查，条件允许时可采用钻芯取样方法。

8 混凝土表面修复与防护

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土表面修复前，应对缺陷和损伤情况进行调查，修复方案应根据缺陷和损伤的程度和原因制定。

8.1.2 混凝土表面防护应符合下列规定：

- 1 混凝土表面防护，应在完成结构缺陷与损伤的修复之后进行；
- 2 根据防护设计的不同要求，表面防护可采用憎水浸渍、防护涂层、表面覆盖、保护层替换等方法进行，并应满足渗透性、抗侵蚀性、钢筋防锈性、裂缝桥接能力及外观等性能要求。

8.2 材料

8.2.1 混凝土表面修复材料可采用界面处理材料和修补材料，修补材料的抗压强度、抗拉强度、抗折强度不应低于基材混凝土。

8.2.2 混凝土表面防护材料应根据实际工程需要选择，可采用无机材料、有机高分子材料以及织物增强混凝土等复合材料，并应满足下列规定：

- 1 在环境介质侵蚀作用下，防护材料不得发生鼓胀、溶解、脆化和开裂现象；
- 2 防护材料应满足结构耐久性防护的要求，根据不同的环境条件和耐久性损伤类型宜分别具有抗碳化、抗渗透、抗氯离子和硫酸盐侵蚀、保护钢筋性能；
- 3 用于抗磨作用的防护面层应在其使用寿命内，不被磨损而脱离结构表面；
- 4 防护面层应与混凝土表面粘结牢固，在其使用寿命内，不应出现开裂、空鼓、剥落现象。

8.3 表面修复与防护施工

8.3.1 混凝土表面修复施工应符合下列规定：

- 1 混凝土结构表面修复的工艺可分为基层处理、界面处理、修复施工。
- 2 基层处理：剔除表面区域内已经污染或损伤的混凝土，深度不应小于 10mm；修复区边缘混凝土应进行凿毛处理，对混凝土和露出的钢筋表面应进行彻底清洁，对遭受化学腐蚀的部分，应采用高压水进行冲洗，并应彻底清除腐蚀物。
- 3 界面处理：采用清水对混凝土基面彻底润湿，然后喷涂或刷涂界面处理材料。
- 4 修复施工：根据构件的受力情况、施工部位及现场状况可采用涂抹、机械喷涂及支模浇筑方法进行施工。修补材料施工后宜进行养护。

8.3.2 混凝土表面防护施工应符合下列规定：

- 1 表面防护前应进行表层清洁处理。
- 2 混凝土表面防护材料应按其配比要求进行配制或调制。
- 3 采用渗透型保护涂料对混凝土表面进行憎水浸渍时，宜采用喷涂或刷涂法施工，且施工时应保证混凝土表面及内部充分干燥。当采用其它有机材料时，底层宜干燥。
- 4 采用无机或复合材料进行混凝土表面防护时，宜抹涂施工，并应符合下列规定：
 - 1) 无机砂浆类材料面层施工时，应充分润湿混凝土基底部位，不得空鼓和脱落。
 - 2) 复合类材料面层施工时，应保证混凝土表面及内部充分干燥，不得起鼓和剥落。
 - 3) 当混凝土表面整体施工时，分隔缝应错缝设置。
 - 4) 当混凝土立面或顶面的防护面层厚度大于 10mm 时，宜分层施工。每层抹面厚度宜为 5 mm ~10mm，应待前一层触干后，方可进行下一层施工。
 - 5) 施工完毕后，表面触干即应进行喷雾（水或养护剂）养护或覆盖塑料薄膜、麻袋。潮湿养护期间如遇寒潮或下雨，应加以覆盖，养护温度不应低于 5℃。
- 5 当混凝土表面需多层防护时，应先等第一层防护材料施工完毕，检查合格后，方可进行第二层的防护材料施工。

8.4 质量检验

8.4.1 表面修复检验应满足下列规定：

- 1 修复完成后，应进行外观检查。表面应平整，修复材料与基层间粘接应牢靠、无裂缝、脱层、起鼓、脱落等现象；
- 2 当对粘结强度有要求时，现场应进行拉拔试验确定粘结强度，修复用材料与基体的粘结强度不低于 1.5MPa 和基体材料抗拉强度标准值的较大值。

8.4.2 表面防护检验应满足下列规定：

- 1 修复完成后，应进行外观检查。表面应平整均匀，防护材料与基层间粘接应牢靠、无裂缝、脱层、起鼓、脱落等现象；
- 2 当对透水性、透气性有要求时，现场应进行渗透性检测。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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词：

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词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土外加剂应用技术规程》 GB 50119
- 2 《水泥基灌浆材料应用技术规范》 GB 50448
- 3 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》 GB/T50082
- 4 《既有混凝土结构耐久性评定标准》 GB/T 51355
- 5 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 6 《海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐技术规程》 JTS 153-2
- 7 《混凝土界面处理剂》 JC/T 907
- 8 《钢筋阻锈剂应用技术规程》 JGJ/T 192
- 9 《混凝土裂缝修复灌浆树脂》 JG/T 264
- 10 《混凝土结构修复用聚合物砂浆》 JG/T 336
- 11 《混凝土结构防护用渗透型涂料》 JG/T 337
- 12 《混凝土结构耐久性电化学技术规程》 T/CECS 565、

中国工程建设协会标准

混凝土结构耐久性修复与防护技术规程

T/CECS XXX—201X

条文说明

制订说明

《混凝土结构耐久性修复与防护技术规程》×××-××，经中国工程建设标准化协会 年 月 日以第 号公告批准发布。

本规程制定过程中，针对我国既有混凝土结构耐久性损伤及修复工程特点，编制组进行了大量的工程调查及试验研究，总结了我国混凝土结构耐久性修复与防护方面的实践经验。同时参考了欧洲、美国和日本现有修复方面先进的技术规范，结合国内实际，提出切实可行的做法。混凝土结构耐久性问题非常复杂，本规程系国内首次编制，肯定有不完善的地方。因此，为了适应混凝土结构耐久性修复与防护技术的不断深入和发展，还要继续开展相关的技术研究，以备今后修订需要。

为便于广大设计、施工、科研、学校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，《混凝土结构耐久性修复与防护技术规程》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，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	22
3	基本规定	23
4	钢筋锈蚀修复与防护	25
4.1	一般规定	25
4.2	材料	27
4.3	钢筋阻锈修复施工	27
4.4	电化学保护施工与安装	27
4.5	质量检验	28
5	延缓碱骨料反应方法	29
5.1	一般规定	29
5.2	材料	30
6	冻融损伤修复	31
6.1	一般规定	31
6.2	材料	32
6.3	冻融损伤修复施工	32
6.4	质量检验	32
7	裂缝修补	34
7.1	一般规定	34
7.2	材料	34
7.3	裂缝修补施工	35
7.4	质量检验	36
8	混凝土表面修复与防护	37
8.1	一般规定	37
8.2	材料	37
8.3	表面修复与防护施工	38

1 总则

1.0.1 国内外对混凝土结构耐久性的重视程度与日俱增。在我国，目前由于结构耐久性不足造成的结构寿命缩短甚至出现重大事故的实例很多。对混凝土结构及时、有效地进行修复与防护可显著改善其耐久性状况，大大延长结构服役寿命。以往混凝土结构的修复工作没有得到应有的重视，不少修复陷入修-坏-再修-再坏的怪圈，造成了资源的极大浪费，严重背离了我国可持续发展的基本战略。本规程的出发点在于规范混凝土结构耐久性的修复与防护，延长结构使用寿命。混凝土结构耐久性的修复、防护涉及因素复杂，有些相关机理目前还在深入研究之中，本标准的编制是基于现有的认识水平，为满足目前工程需要而编制的。

1.0.2~1.0.3 本规程的适用范围是既有混凝土结构耐久性的修复与防护，强调影响结构耐久性的因素，对由于耐久性引起的承载能力不足而需进行的加固问题，须按照有关加固规范与本规程的规定并行处理。

有关部门已制定的混凝土结构现场检测标准、既有混凝土结构耐久性评定标准中，对如何评估结构耐久性现状已有详细描述，这些工作构成了科学修复的基础。目前混凝土结构加固等相关规范中部分也涉及到耐久性内容，本条主要强调应与上述内容相协调。

混凝土结构广泛用于各种自然及人工环境下，特殊地区、特殊环境下的混凝土结构耐久性修复与防护，除应符合本规程的相关规定外，尚应符合国家现行有关标准和规范的规定，采取相应的防护措施。尤其对极端严重腐蚀环境下的结构耐久性，应与地方或行业中相关的防腐蚀技术规范等内容相符合。

3 基本规定

3.0.1 我国大多数省市地区对建筑物定期检测评价做出了相应规定，国外也对建筑物定期检测做了相应规定。新加坡的建筑物管理法强制规定，居住建筑在建造后 10 年及以后每隔 10 年必须进行强制鉴定，公共、工业建筑则为建造后 5 年及以后每隔 5 年进行一次强制鉴定。日本通常要求建筑物服役 20 年后进行一次鉴定。英国等国家对于体育馆等人员密集的公共建筑作了强制定期鉴定规定。根据我国工程经验，良好使用环境下民用建筑无缺陷的室内构件一般可使用 50 年；而处于潮湿环境下的室内构件和室外构件往往使用 20~30 年就需要维修；使用环境较恶劣的工业建筑使用不到 20 年即需大修；处于严酷环境下的工程结构甚至不足 10 年即出现严重的耐久性损伤。因此在保证建筑物安全性的前提下，民用建筑使用 30~40 年、工业建筑及露天结构使用 20 年左右应进行耐久性评估与修复。大型桥梁、地铁、大型公共建筑等重要的基础设施以及处于严酷环境下的工程结构则应根据具体情况进行耐久性评定修复与防护。耐久性不满足要求的结构主要是指不满足耐久性评定标准或耐久性设计规范要求以及其它存在耐久性问题的结构。本条提出了应进行耐久性修复与防护的原则规定。其中维修改造包含改造加固及改扩建等内容。

3.0.2 本条明确了进行混凝土结构耐久性修复与防护时应综合考虑的因素，并规定了进行耐久性修复与防护的基本工作程序，可根据工程的重要性、规模、复杂程度等特点制订详细的工作流程。应在耐久性调查、检测与评定的基础上进行耐久性修复与防护设计。耐久性修复前，应提供修复所需全部技术资料，特别应提供结构耐久性现状评定报告。

3.0.3 本条给出了结构环境分类、作用等级的划分及耐久性调查、检测与评定应依据的标准，也可根据工程的具体情况选择相应的调查和检测内容，标准未包括全部检测内容，如有时需检测混凝土表层渗透性、氯离子扩散系数、混凝土孔结构、特殊腐蚀介质含量等，应根据工程实际情况确定混凝土结构耐久性调查、检测内容。

3.0.4 混凝土结构耐久性修复与防护设计方案作为技术性文件，应包括工程概况、建造年代及条文规定的内容，但格式可以不统一。

3.0.5 鉴于修复与防护施工的复杂性和多样性，在施工前应根据实际工程特点制订严格的施工方案，以确保施工质量，一般修复施工宜按基层处理、界面处理、修复处理、表面处理四个工序进行，对于一些简单的修复施工也可按其中的部分工序进行，基层处理和界面处理是保证基层混凝土与修复材料间粘结效果的重要措施，表面处理可以减少环境对结构的作用，为延长结构的耐久性，应对表面处理效果定期检查，10-15 年宜检查一次。当表面处理质量不能满足要求时，应重新进行处理。

3.0.6 本条对混凝土结构耐久性修复与防护工程质量检验作了一般性规定，各种不同损伤

类型的修复还应符合相应各章的质量检验的规定。

当修复材料为现场配制时，其配合比及试验结果报告应在修复施工前提供，以确保修复材料的性能指标满足设计和施工要求。

修复与防护完工后，外观检查是最基本的要求。修复材料与基层混凝土的粘结强度直接影响修复质量，为了确保修复质量，对修复面积较大、修复厚度较厚或特殊重要工程，可采用现场拉拔试验的方法确定其粘结强度。

由于修复与防护工程的工程量一般比新建工程小，本条只要求对重要结构、重要部位和关键工序，可在施工现场进行实体检验，且本规程未对关键工序作强制性规定，应根据不同损伤类型、修复工艺、所处环境和下一目标使用年限确定关键工序，并在修复与防护设计方案中加以规定。

3.0.7 与一般工程相比，混凝土结构耐久性修复与防护设计、施工的专业性较强，应由具有相应能力的单位承担。

4 钢筋锈蚀修复与防护

4.1 一般规定

4.1.1 电化学处理与保护措施不适用于环氧涂层钢筋、不锈钢包覆钢筋、预应力钢筋或钢绞线。环氧涂层钢筋是先在工厂流水线上喷涂，然后在工程现场切断、弯曲再组成笼的。各环氧涂层钢筋间，缺乏电连续性，环氧涂层钢筋在运输、存放、加工、组装、浇筑于混凝土的全过程中难免产生涂层破损。如果采用电化学保护，在环氧涂层破损处，露出的钢筋必然会遭受严重杂散电流腐蚀。

对于预应力筋或钢绞线，采用外加电流阴极保护或电化学脱盐处理会发生析氢反应，使钢筋氢脆。采用无金属护套的预应力高强钢丝预应力混凝土结构，如果采用外加电流密度较大的电化学脱盐或再碱化技术时，则由于很可能引起氢脆或应力腐蚀而导致预应力筋突然断裂破坏。因此这种预应力结构不允许采用电化学脱盐和电化学再碱化。

4.1.2 当钢筋锈蚀状态评定适用于《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355，应按标准要求进行评定，当不适用于该标准或者未进行耐久性评定时，钢筋锈蚀程度分为一般锈蚀和严重锈蚀两种，锈蚀状态可通过检测钢筋混凝土构件的半电池电位、钢筋表面状况和混凝土表面状况进行判断。

根据已有工程经验和研究成果，当半电池电位小于-350mV时，锈蚀概率为95%，钢筋已经锈蚀；当半电池电位为-200mV~-350mV时，锈蚀概率为50%，应通过其他方法进行验证，如剔凿钢筋至露出钢筋表面，还可通过钢筋腐蚀速率和混凝土电阻率综合判断，当确认钢筋局部腐蚀时，可认为钢筋一般锈蚀；

当出现以下情况时，即认为钢筋严重锈蚀：

1) 构件表面外观状况：构件表面已开始出现较多的锈斑、局部流锈水、局部层裂（鼓起）和混凝土保护层出现0.3mm~3mm的顺筋锈胀裂缝和顺筋剥落等现象。

2) 钢筋表面外观状况：钢筋出现锈皮或浅锈坑，钢筋截面开始减小。

当构件表面广泛出现锈斑、流锈水、层裂（鼓起），混凝土保护层广泛出现较宽的顺筋锈胀裂缝或成片地剥落、露筋时，应检查钢筋锈蚀造成的截面损失率，若其截面损失超过5%，则需补筋加固。

钢筋锈蚀电位、构件和钢筋表面状况仅能判断钢筋目前的锈蚀状况，为了掌握钢筋锈蚀的发展趋势，还应通过钢筋腐蚀速率和混凝土电阻率综合判断。

4.1.3 本条给出了钢筋锈蚀修复方案选择宜根据调查与检测结果，在考虑目标使用年限、技术措施的可行性、维护管理要求、经济性等因素的基础上，考虑钢筋锈蚀程度、钢筋锈

蚀原因和环境作用等级等综合确定。

对处于 I-C、I-D 类潮湿环境中的钢筋锈蚀修复问题，应在修复完成后防止外界水分侵入构件内部导致钢筋继续锈蚀，故需在表面建立憎水防护层；对处于 III、IV 类盐污染环境中的钢筋锈蚀修复问题，应在修复完成后防止外界氯离子再次侵入构件，故需在表面建立阻止氯离子进入的隔离层。

4.1.4~4.1.5 过去传统的局部修补方法，难以全面彻底清除导致腐蚀破损的原因，也难以阻止腐蚀继续发展。以阻锈剂处理局部修补部位的钢筋和老混凝土界面处，该问题得到一定程度的改善。对于严重盐污染的重要结构，建议在钢筋开始锈蚀的初期，及时实施电化学保护，则具有显著的技术经济效果。

钢筋混凝土电化学保护是在混凝土表面、外部或内部，设置阳极，在阳极与埋设于混凝土中的钢材之间，通以直流电流，利用在钢材表面或混凝土内部发生的电化学反应，进行修复保护。本规范的电化学保护分为阴极保护技术、电化学脱盐技术、混凝土再碱化技术等几种，其中阴极保护又可分为外加电流阴极保护和牺牲阳极阴极保护。近年电化学脱盐技术在我国海港码头上已得到大量推广应用，外加电流阴极保护也在跨海大桥等盐污染混凝土结构上开始应用，牺牲阳极的阴极保护在海港工程中也已示范性的试用成功。有必要也有可能制订相应规范，以保证和推动该项技术的应用。

阴极保护是根据钢筋腐蚀只发生于释放自由电子的阳极区的电化学本质，对钢筋持续施加阴极电流，使其表面各处均不再发生释放电子的阳极反应。外加电流阴极保护，需持续施加并定期检测、监控保护电流，以保证保护范围内的具有电连续性的所有钢筋在剩余使用期间均可获得正常的保护。牺牲阳极阴极保护，无需直流电源和检测监控装置，无需对保护电流持续进行调控和维护管理，但因牺牲阳极所能提供的保护电流有限，故适用范围和年限有限。电化学脱盐（对于中性化混凝土为电化学再碱化）是在短期内以外加电源与临时设置于混凝土表面的阳极和电解质溶液，对被保护范围内所有具有电连续性的钢筋施加大的阴极电流，通过离子的电迁移及钢筋上的阴极反应，使盐污染（或中性化）的混凝土中氯离子浓度在短期内降低到低于钢筋腐蚀所需的临界浓度以下，同时提高了钢筋附近混凝土孔隙液的 pH 值，从而恢复并可在断电后长期保持钢筋的钝态，免除钢筋腐蚀。

对盐污染（或中性化）混凝土结构实施电化学保护的必要性，是因为传统的修补方式（完全清除钢筋锈蚀所引起的胀裂的混凝土保护层，清除露出钢筋上的锈皮，用优质砂浆或混凝土补平），即使修补质量好，也不能制止局部修补附近（外表尚完好但混凝土已被盐污染或中性化到钢筋）成为新的阳极而发生腐蚀，在这些表面追加抗盐污染或防中性化的涂层，已不能制止腐蚀发生。如将局部修补范围扩大到在剩余使用期内预期会发生腐蚀之处，必然会大大增加修补工程量和造价，以及结构停止运行的间接损失，甚至实际上往往是行不通的。电化学保护则可以经济可靠地制止腐蚀的发展，特别是在盐污染或中性

化已广泛存在,但它们所引起的钢筋腐蚀破坏范围和程度尚局限于较小范围的严重锈蚀初期,若能及时实施电化学保护,其技术经济效果尤为突出。近年电化学脱盐技术在我国海港码头上已得到大量推广应用,外加电流阴极保护也在跨海大桥等盐污染混凝土结构上开始应用,牺牲阳极的阴极保护在海港工程中也已示范性的试用成功。

鉴于电化学保护基本知识 with 技能尚未被广泛普及,而电化学保护技术含量高,其功效高低与其可行性论证、设计、施工、检测、管理是否合乎要求关系密切,因此,规定应经专门论证后再实施。

保护电流密度过大,会显著提高钢筋周围混凝土的碱度,促进碱活性骨料发生膨胀反应,故含有碱活性骨料的结构也应慎用电化学保护,必要时,可以在电解质或现浇的混凝土拌合物中参适量锂化合物,以降低或消除碱活性骨料的膨胀反应。

4.2 材料

4.2.1 修复材料与原有混凝土的结合面是建筑物修补加固的薄弱位置,为了保证该位置新老混凝土的粘结强度,满足共同受力的要求,对修复材料进行了规定。

4.2.2 底层涂料要求具有一定的渗透能力,使涂层与混凝土粘结牢固,也是满足整个涂层体系粘结强度的基本要求。面层涂料要求具有较高的耐老化性能,使涂层耐候性好,避免过早褪色、粉化甚至开裂、脱落而影响保护效果。

4.2.3 修复材料掺入阻锈剂后,不仅应使其对混凝土拌合物的凝结时间、工作度、力学强度无不良影响,还同时应有良好的体积稳定性、较小的收缩性、良好的抗渗性、良好的抗裂性、材质的均匀性、良好的抗氯离子扩散性能等。掺入阻锈剂主要为了显著地提高钢筋表面钝化膜的稳定性,显著提高引起钢筋锈蚀的氯离子临界浓度或抗中性化的临界 pH 值。由于阻锈剂类型、品种、适用掺量和工艺目前尚难以明确规定,因此,本规程目前只提出基本要求和原则规定。

4.3 钢筋阻锈修复施工

4.3.1 本条规定了钢筋阻锈处理修复时的工艺。修复前,应将修复范围内已锈蚀的钢筋完全暴露并进行除锈处理;钢筋除锈后,应采用钢筋表面钝化剂使已锈蚀的钢筋重新钝化;为了保护修复范围附近的钢筋免遭锈蚀,应在修复范围钢筋四周和修复后构件表面涂刷迁移型阻锈剂;为了使修复材料能更好地保护修复范围内的钢筋,修复用的混凝土或砂浆应含有掺入型阻锈剂。

4.3.2 本条对在混凝土保护层上表面迁移阻锈处理施工做了规定。只有确保基层处理质量,才能最大限度地发挥表面迁移阻锈处理的作用。

4.4 电化学保护施工与安装

4.4.1 结构各构件的湿度、氯盐污染程度、保护层厚度和几何尺寸等常有差异，从而造成钢筋自腐蚀电位和混凝土电阻存在较大的差异。为使电化学保护连续有效，应将钢筋周围环境存在显著差异的各个区域，分成彼此独立的单元，并与相应的阳极系统，构成独立的电流回路。当结构中钢筋腐蚀程度存在显著差异时，也应划分成不同单元进行分别修复；当使用的阳极系统在某些区域得到的电流数量有限或所选用阳极类型的电阻受环境影响较大时，应增加分区数量。一般建议，分区单元面积为 $50\text{ m}^2\sim 100\text{ m}^2$ ，但视结构形状与环境条件需适当变动。

4.4.3 鉴于电化学保护基本知识与技能尚未被广泛普及，而电化学保护技术含量高，其功效高低与其可行性论证、设计、施工、检测、管理是否合乎要求关系密切，因此，为确保达到预期效果，规定由有经验的单位实施完成。

4.5 质量检验

4.5.1 修复与防护完工后，外观检查是最基本的要求。修复材料与基层混凝土的粘结强度直接影响修复质量，为了确保修复质量，对修复面积较大、修复厚度较厚或特殊重要工程，可采用现场拉拔试验的方法确定其粘结强度。

对修复面积大、修复材料用量较大的结构，可参照现行有关规范要求预留试块，至少预留三组，现场实体检测可采用取芯、回弹及拉拔试验的方法确定。

钢筋锈蚀是一个电化学过程，钢筋锈蚀的自然电位是把钢筋和混凝土看成一个半电池，是钢筋和混凝土与参考电极之间的电位差，反映了钢筋锈蚀的状态和活性。通过对钢筋锈蚀电位的测量，从而对钢筋的锈蚀可能性做出判断。混凝土中钢筋锈蚀电位可通过测量铜—硫酸铜参考电极与钢筋—混凝土电极之间的电位差确定，

5 延缓碱骨料反应方法

5.1 一般规定

5.1.1 碱骨料反应（Alkali-Aggregate Reaction，简称 AAR）指混凝土中的碱（包括外界渗入的碱）与骨料中的碱活性矿物成分发生化学反应，导致混凝土膨胀开裂等现象，是影响混凝土长期耐久性和安全性的最主要因素之一。该反应不同于其它混凝土病害，其开裂破坏是整体性的，且目前尚无有效的修补方法，而其中的碱-碳酸盐反应的预防尚无有效措施。在各种混凝土病害中，钢筋锈蚀、冻融破坏和碱骨料反应都会引起混凝土开裂而出现裂纹，且相互促进、加速破坏，使耐久性迅速下降，最终导致混凝土破坏。

碱骨料反应包括三种类型：碱-硅酸反应、碱-硅酸盐反应（慢膨胀型碱-硅酸反应）和碱-碳酸盐反应。一般认为，碱-硅酸盐反应本质上是一种慢膨胀型碱-硅酸反应，所以，本规程按碱骨料反应包括碱-硅酸反应和碱-碳酸盐反应两类。

不论哪一种类型的碱骨料反应必须具备如下三个条件，才会对混凝土工程造成损坏：一是配制混凝土时由水泥、骨料（海砂）、外加剂和拌合水带进混凝土中一定数量的碱，或者混凝土处于有碱渗入的环境中；二是有一定数量的碱活性骨料存在；三是潮湿环境，可以供应反应物吸水膨胀时所需的水分。只有具备这三个条件，才有可能发生碱骨料反应工程破坏。因此，对混凝土结构应先进行检测分析，若具备上述三个条件但尚未发生，需进行预防；若已发生，则需分析活性骨料含量、活性矿物成分、混凝土碱含量、水分供应情况等，最好结合实验室试验判断将来的膨胀潜力，进而采取相应的处理办法。

国内外的 AAR 研究工作一般都集中在诊断和预防上（如 AAR 的反应进程和破坏机理、混凝土中碱骨料反应环的测定方法、使用矿物掺合料预防 AAR 等），修补和维护工作是第二位的。在多数情况下，已经确诊是发生 AAR 破坏的结构会被拆除或部分重建，如高速公路路面、混凝土轨枕等。

5.1.2 在不拆除结构或更换构件时，延缓 AAR 的措施一般有裂缝封堵、止水两大类。因骨料、混凝土碱含量不能改变，只能采取断绝水分供应的方法抑制碱骨料反应。国外也有报道用锂盐溶液喷洒构件表面抑制碱骨料反应的修复方法，但其长期有效性尚未获得公认，另外价格较高也是阻碍这种方法普及的另一因素。

5.1.3 碱骨料反应是一个长期的过程，为了确定已经采取的延缓与防护措施是否有效，应进行定期检查。以目前国内外的经验，必须长期监测针对碱骨料反应的修复效果，及时发现是否有异常发生。如日本对发生碱骨料反应桥墩修复后，定期的检查、检测已持续了近 20 年。我国某铁路线上有 200 多孔制造于上世纪 80 年代初的预应力混凝土梁，在 1990 年前后经检测确认梁体开裂的原因是发生了碱-骨料反应，经相关部门修补、评估后，认为还可服役，目前对整治的效果还在观察中。

5.2 材料

5.2.2 作为碱骨料反应最直接和可见的外部现象，裂缝会导致混凝土渗透性增大，影响结构的整体性。修复工作中首先可能做的就是封堵裂缝。裂缝的注浆和密封应该在对未来活性和膨胀仔细评估的基础上进行。用压缩空气清除干净裂缝及附近区域，注入密封剂来封堵宽的裂缝，有助于阻止外界侵蚀性介质的侵入，同时还能阻断凝胶流动和凝胶填充的通道。

本条强调采用极限变形较大的材料封堵裂缝，是因为碱骨料反应裂缝不会在修补后马上停止发展，如果用较脆性的材料封堵，可能会引起新的开裂。例如某桥梁曾采用普通环氧树脂注入修补，但过一段时间后，所修补处附近出现了新的裂缝。

5.2.3 表面憎水防护材料是一种保护混凝土结构免受周围环境和正在进行的碱骨料反应的有效可靠措施。如：使用柔性的聚合物水泥砂浆涂层（含有聚丙烯树脂、硅酸盐水泥和外加剂）、硅烷防护剂等。选择的表面憎水防护材料应具备如下要求：

1 应该对常用的服役条件具有足够的抵抗力，如对紫外线、浪溅区和磨蚀环境（海工结构）、干湿和冷热循环等。如：大坝和水电站在发生 AAR 破坏的同时，还受到干湿和冻融循环的复合破坏，表面防护材料必须具有足够的保护能力；

2 减少 AAR 的表面防护材料应该与混凝土有很好的相容性，足够的粘接或者能够渗入不规则混凝土表面及潮湿的碱性基底（如使用硅烷时）；

3 应能使混凝土内部水分可以向外界散发，而外界液体水分无法进入混凝土内部。

在世界范围内，在使用此类涂层、密封剂、渗透剂、浸渍剂、隔膜时还不能总是令人满意。因为同类的涂层在性能和抵抗外部侵蚀的能力上差别很大，有的长期耐久性很差。硅烷防护剂已经被广泛使用，现有的数据显示在试验室条件下，烷基和烷氧基硅烷能够阻止水份和氯离子的侵入，但对孔径分布和混凝土碳化无明显的影响。现场数据表明，裂缝在 0.5mm~2.0mm 时，硅烷的渗透性很小，硅烷是拒水性的，但不是防水剂或孔隔断剂，多数情况下，其渗透和浸渍的深度不超过 1mm，这个有限的深度防止渗透的有效性会随着环境劣化很快衰退。近年来研发的新型硅烷、硅氧烷材料，渗透深度有了较大提高，可用于修复碱骨料反应影响的混凝土结构。另外，一些高柔性的聚合物水泥砂浆涂层也已用于此类修复工程。

6 冻融损伤修复

6.1 一般规定

6.1.1 根据实际工程调研，冻融造成的混凝土材料损伤主要是引发混凝土开裂与裂缝扩展，裂缝扩展又引发表面剥落。因此，根据混凝土表面开裂和剥落情况可将混凝土冻融损伤分为两种类型进行修复。

当冻融破坏非常严重或对结构安全性要求特别高时，宜拆除更换或重新浇筑相应的构件或结构，增加结构的安全性。

混凝土冻融损伤调查宜按表 1 进行。

表 1 混凝土冻融损坏修复的调查内容

调查项目		具体内容	备注
冻融损伤的部位特征	朝向		
	是否属水位变化区或易被水所饱和的部位		
气候特征	常年气温分布		
	最冷月平均气温		
	每年气温正负交替次数		
	冻融循环次数		
损伤区特征	损伤破坏形态		
	损伤区域大小		
	损伤深度		
	钢筋外露情况		
设计资料	设计依据的标准、规范		
	设计说明书		
	设计图		
	混凝土设计指标		
施工资料	原材料		
	配合比		
	浇筑与养护		
	试验数据		
	质量控制		
	环境条件		

	验收资料		
管理 状况	冻融损伤发展过程		
	养护修理记录		
	是否有冲磨剥蚀、钢筋锈蚀、混凝土化学侵蚀等病害发生或多种病害同时发生		
对结构物的 影响	安全性		
	耐久性		
	外观		
有条件时的 混凝土检测	抗压强度		
	动弹性模量		
	抗冻等级		
	抗渗等级		
	微观结构		

6.2 材料

6.2.1 根据冻融损伤性质、影响因素、损伤区域大小、特征和剥落程度、影响因素、表面局部气候和水分饱和程度等因素可选用表面防护材料、修补砂浆、灌浆材料和高性能混凝土。确定修复材料中外加剂的种类和掺量。

6.2.3 引气剂可提高混凝土或砂浆的抗冻性，因此修复材料必须掺用引气剂。

6.3 冻融损伤修复施工

6.3.1~6.3.2 分别规定了结构混凝土表面出现剥落和未出现剥落时采取的修复施工方法，但无论对于哪种情况，在冻融损伤修复前均需要清除冻伤混凝土，否则难以达到修复效果。

对于处于严酷环境（如去冰盐环境、多因素作用）下的结构，当采用混凝土或灌浆材料修复时，可采用表面防护材料做防水处理或耐候性钢板作为模板在混凝土表面进行包覆处理。

6.3.3 施工时应进行保温、保湿养护，避免发生混凝土的冻害。因为即使采用了合理设计、配制并经快冻法抗冻性试验检验确认的修复材料，如果养护不当，仍有可能发生材料的早期冻伤，形成永久性缺陷，则该修复材料的抗冻性将有所降低，不能满足工程的要求。

6.4 质量检验

6.4.1 在冻融损伤修复前，必要时，可从修复材料中取样，进行磨片加工，采用微观试验

方法测定修复材料中的气泡间距系数,可按照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB50476 相关要求执行。修复材料的抗冻等级应不低于原混凝土抗冻等级,并应满足当地的气候条件及部位设计所需的抗冻等级。

在修复施工前,宜按照现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GB/T50082 中混凝土抗冻性试验快冻法,用修复材料制作抗冻试件,到设计龄期进行试验。混凝土修复施工期间宜根据工程所处环境条件选择合适的保温、保湿养护措施,确保修复材料在实际施工条件下进行正常的凝结硬化,避免在早龄期发生冻融损伤。

对修复材料用量较大的结构,可参照现行有关规范要求预留试块,至少预留三组,现场实体检测可采用取芯、回弹及拉拔试验的方法确定。

修复材料与基层混凝土的粘结强度直接影响修复质量,为了确保修复质量,对修复面积较大、修复厚度较厚或特殊重要工程,可采用现场拉拔试验的方法确定其粘结强度。

7 裂缝修补

7.1 一般规定

7.1.1 本条给出了裂缝调查的主要内容。裂缝调查时应特别注意裂缝是否渗水和裂缝是否稳定,以便有针对性的采用堵漏和柔性材料修复。由温度应力产生的裂缝会随温度变化而活动,宜首先考虑降低结构的温度变化幅度,再行修复裂缝。当裂缝是由于结构变形而引起时,应查明结构变形原因,有针对性的采取限制变形的措施。

7.1.2 本条给出了常用的裂缝修补方法,应根据已查明的裂缝性状及裂缝宽度,并考虑环境作用等级的影响,选择适当的裂缝修补方法。当为了限制裂缝的发展时,也可采用扒钉控制法。

7.1.3 由于钢筋锈蚀、碱-骨料反应和冻融等引起的损伤中经常出现裂缝,而且其机理比较复杂,因此对于此类裂缝的修补在满足本章的相关要求外,还应满足相应各章的特殊要求。

7.2 材料

7.2.1 本条给出了裂缝修补材料的分类及基本要求。裂缝修补的目的是恢复结构的整体性和耐久性,在修补后能防止外部环境中有害介质从裂缝处侵蚀混凝土,因此要求修补材料要能和混凝土有较好的粘结性能和较好的耐久性。大部分修补材料为高分子材料,紫外线照射、高低温交替及干湿交替等不利环境下耐久性较差,裂缝修补后应做表面防护处理。

7.2.2 本条给出了混凝土结构裂缝表面处理材料的主要种类和适用范围,使用时还应特别注意优先选用无毒无害的环保材料。

1 环氧胶泥宜用于裂缝较窄、数量不多、又不集中的稳定、干燥裂缝的表面封闭。

2 成膜涂料当采用聚合物水泥基材料,其性能指标应符合《聚合物水泥防水涂料》GB/T 23445 的要求。

3 渗透性防水剂一般不能用于活动裂缝的表面修补。渗透性防水剂可采用渗透结晶材料,遇水后能化合结晶为稳定的不透水结构,宜用于微细渗水裂缝迎水面的表面处理,其性能应符合《水泥基渗透结晶型防水材料》GB 18445 的要求;渗透性防水剂也可采用硅烷浸渍材料,能有效阻止氯化物 and 水的侵入,具有突出的憎水性,同时能保持混凝土的“呼吸作用”,提高混凝土的耐久性,宜用于稳定的微细干燥裂缝的表面处理,其性能指标应符合表 2 要求。

表 2 硅烷浸渍材料性能要求

序号	项目	技术指标	检测方法
----	----	------	------

		液体	膏体		
1	外观	无色透明液体	白色膏体	目测	
2	主要成分	异辛基三乙氧基硅 烷	无溶剂异辛基三乙氧 基硅烷膏体	红外光谱法	
3	干燥系数	$\geq 30\%$		TB/T 3228	
4	吸水率比	$< 7.5\%$			
5	抗碱性	吸水率比 $< 10\%$			
6	氯离子吸收降低率	$> 80\%$			
7	渗透深度	$< C40$ 混凝土	4~10mm		
		$\geq C40$ 混凝土	1~4mm		
8	抗冻融性	W/C=0.7 混凝土	盐溶液中与基准混凝土相比至少多 15 次循环		

7.2.3 本条给出了混凝土结构裂缝填充密封材料的主要种类和适用范围,并对每种填充密封材料材料性能提出了要求。

7.2.4 本条给出了混凝土结构裂缝压力灌浆材料的主要种类。灌浆浆液的粘度应根据裂缝宽度调整,较细的裂缝应采用粘度较低的浆液灌注,浆液固化时间应适合灌注施工要求,浆液固化后应有一定的弹性。水泥基灌浆材料应根据工作环境温度、施工环境温度、基材强度及相应性能指标等因素选择。

7.3 裂缝修补施工

7.3.1 本条给出了裂缝表面处理的一般施工程序。裂缝表面处理时,沿裂缝两侧各 20 mm~30mm 宽度清理干净,并保持干燥。潮湿渗水裂缝一般应灌注堵漏剂以保护构件内部钢筋,防止锈蚀。只有稳定较细的裂缝在迎水面处理时才能使用渗透结晶材料进行表面处理。

7.3.2 本条给出了填充密封法施工的一般要求。填充密封法一般是针对混凝土结构表面较大的裂缝。开凿“V”形槽时,其深度一般不超过钢筋保护层厚度。应注意界面粘结处理,以防止原来一条裂缝经修补后粘结不好变成两条裂缝。

7.3.3 压力灌浆法是将裂缝表面封闭后,再压力灌注灌浆材料,恢复构件的整体性。施工时宜注意裂缝表面宜用结构胶或环氧胶泥封闭,宽 20mm~30mm,长度延伸出缝端 50mm~100mm,确保封闭可靠。灌浆施工温度宜选择在(5~35)℃范围内,雨雪天气时不宜进行施工。其压力灌浆法施工可按下列程序进行:

1 表面处理:裂缝灌浆前,应清除裂缝表面的灰尘、浮渣和松散混凝土,并应将裂缝两侧不小于 50mm 宽度清理干净,且应保持干燥。

2 设置灌浆嘴:灌注施工可采用专用的灌注器具进行,宜设置灌浆嘴。其灌注点间距

宜为 200mm~300mm 或根据裂缝宽度和裂缝深度综合确定。对于大体积混凝土或大型结构上的深裂缝，可在裂缝位置钻孔；当裂缝形状或走向不规则时，宜加钻斜孔，增加灌浆通道。钻孔后，应将钻孔清理干净并保证灌浆通道畅通，钻孔灌浆的裂缝孔内宜用灌浆管，对灌注有困难的裂缝，可先在灌注点凿出“V”形槽，再设置灌浆嘴。

3 封闭裂缝：灌浆嘴设置后，宜用环氧胶泥封闭，形成一个密闭空腔，应预留浆液进出口。

4 密封检查：裂缝封闭后应进行压气试漏，检查密封效果。试漏应待封缝胶泥或砂浆达到一定强度后进行。试漏前应沿裂缝涂一层肥皂水，然后从灌浆嘴通入压缩空气，凡漏气处，均应予修补密封，直至不漏为止。灌浆前试气工序很重要，试气压力一般可控制在 0.3MPa ~0.4MPa。

5 灌浆：根据裂缝特点用灌浆泵或注胶瓶注浆，应检查灌浆机具运行情况，并应用压缩空气将裂缝吹干净，再用灌浆泵或针筒注胶瓶将浆液压入缝隙，宜从下向上逐渐灌注，并应注满。注浆压力选择宜确保对混凝土结构不产生扰动，必要时，注浆同时可对混凝土结构位移进行同步监测；化学浆液的灌浆压力宜为 0.2 MPa ~0.3MPa ，压力应逐渐升高，达到规定压力后，应保持压力稳定，以满足灌浆要求。灌浆停止的标志一般为吸浆率小于 0.05L/min，在继续压注 5~10 分钟后即可停止灌浆。

6 修补后处理：等灌浆材料凝固后，方可将灌缝器具拆除，然后进行表面处理。凿“V”形槽的裂缝应封闭到与原表面平。

7.3.4 裂缝修补处理后，按照设计方案的内容、范围及工艺要求进行表面防护。对于楼板和其他需要防渗的部位裂缝表面修补后的防护与增强，可选用纤维复合材料，包括：无碱玻璃纤维、耐碱玻璃纤维或高强度玻璃纤维织物、碳纤维织物或芳纶纤维等，其各类材料的性能指标与其适配的胶粘剂应符合国家相关标准的要求。

7.4 质量检验

7.4.2 裂缝修补后的质量检查，可采用目测等手段对裂缝修补外观质量进行检查。基于外观质量检查的结果，可进一步采用超声波等无损检测手段对裂缝内部修补效果进行检测。

当对修补质量有怀疑时，或现场条件允许时，也可采用钻芯取样进行检验。钻芯取样可按每 100m 裂缝修补长度取一个芯样。观察其裂缝内浆液及填充料是否充满，有无漏灌漏补现象。采用钻芯取样方法也可以检查裂缝灌浆效果，但对原结构有一定的损伤，一般情况下不建议采用。

8 混凝土表面修复与防护

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土表面修复包括表面损伤修复和表面缺陷修复。表面损伤是指混凝土在使用过程中由于环境作用造成的腐蚀、剥落、分层损伤；表面缺陷是指混凝土在施工过程中遗留的先天缺陷。

本章混凝土表面修复是对混凝土结构出现的表面缺陷和表面损伤进行的常规修复，由于外界化学侵蚀、如氯离子侵蚀、碳化、钢筋锈蚀、碱骨料反应、冻融循环引起的混凝土损伤修复，还应满足本规程其他章节规定的特殊要求。

混凝土表面修复前，应对混凝土表面缺陷和损伤情况进行调查，并根据缺陷和损伤的程度及原因制定修复方案，混凝土结构表面缺陷与损伤调查宜包括如下内容：

- 1 表面干湿状态、有无污垢
- 2 外观损伤类型、范围、分布
- 3 裂缝：位置、类型、宽度、深度、长度
- 4 分层、疏松、起皮：区域、深度、面积
- 5 剥落和凸起：数量，大小，深度
- 6 蜂窝、狗洞：位置、大小、数量
- 7 锈斑或腐蚀侵蚀、磨损、撞损、白化
- 8 外露钢筋
- 9 翘曲和扭曲
- 10 先前的局域修补或其它修补
- 11 构件所处环境、服役环境中侵蚀性介质、混凝土中性化程度

8.1.2 混凝土表面防护适用于新建工程和既有工程的耐久性维护。

对于特殊重要的新建工程、设计使用寿命较长的新建工程，在设计时规定需作表面防护的或在建成后发现无法达到设计使用寿命时，可采用混凝土表面防护，阻止或延缓混凝土碳化、抵抗混凝土遭受环境介质的侵蚀、保护钢筋免受或减缓锈蚀作用。

对于既有工程，在进行混凝土结构耐久性修复后，可根据需要进行混凝土表面防护，当混凝土表面尚未出现耐久性损伤时，为延缓混凝土结构劣化，增强混凝土对钢筋的保护作用，延长结构使用寿命，也可进行混凝土表面防护处理。

8.2 材料

8.2.1 混凝土结构表面修复的耐久性与修复材料同基础混凝土的相容性有关。该相容性可以划分为三个不同的类别：功能相容性，环境相容性，尺寸相容性。

功能相容性是指修复材料同基础混凝土之间物理性能的关系。修复材料的抗压，抗折，抗拉强度应不低于基础混凝土；修复材料与基础混凝土的粘结强度应足够大以保证破坏不发生在界面。

环境相容性是指修复材料抵抗环境的能力及把修复材料施工在修补区的物理局限内的能力，并应考虑到需要完全覆裹钢筋而不造成空洞。

尺寸相容性是指修复材料在使用期间保持体积稳定的能力。这要求修复材料具有低收缩以及与基础混凝土类似的热膨胀系数。

8.2.2 选择防护材料时，应根据防护对象、防护对象所处的条件、使用情况等，结合防护材料的物理力学性能和抗侵蚀能力等因素加以综合考虑。

8.3 表面修复与防护施工

8.3.1 界面处理材料受环境因素影响较大，在室外环境条件下，为保证混凝土表面修复时界面的稳定性，界面处理材料的选用应与环境条件相适应。

8.3.2 表面防护前应进行去掉浮尘、油污或其它化学污染物的表面处理工作，对劣化的混凝土表层，宜先打磨清除，再用水清洗。对不宜用水清洗的表面，可用高压空气吹扫。混凝土配合比不当、施工质量差造成混凝土表面有浮浆、密实性差或强度降低时，其表层容易剥落。在做防护面层前应予以清除。对于无机防护材料或无机有机复合防护材料，除洁净混凝土表面外，为了增加防护层与混凝土表面的粘结力，防止脱空，一般还应凿毛混凝土的表层。防护面层与混凝土表面的粘结效果取决于施工时混凝土表面的状况如表面洁净情况、干燥情况、温度等，还与施工的方法与程序有关。

配制表面防护材料时，要保证充分拌和均匀，但不宜剧烈搅动。要按照防护材料的凝结时间要求使用完，如发现凝团、结块等现象不得使用。

若混凝土结构表面出现裂缝，应按照混凝土裂缝修补工艺先进行裂缝的处理。除此之外，质量低劣的混凝土或与土壤接触部分的混凝土表面，应先进行防水处理。水从外表面向混凝土内部扩散和渗透，会降低防护层的防护效果和寿命。

混凝土表面防护层采用抹涂、喷涂或刷涂方法施工，要根据防护材料的特性和防护方案确定，并满足防护要求。