

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

P

JGJ/T 259-2012
备案号 J 1403-2012

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

2012-03-01 发布

2012-08-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

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

JGJ/T 259 - 2012

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 2 年 8 月 1 日

中国建筑工业出版社

2012 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1322 号

关于发布行业标准《混凝土结构 耐久性修复与防护技术规程》的公告

现批准《混凝土结构耐久性修复与防护技术规程》为行业标准，编号为 JGJ/T 259-2012，自 2012 年 8 月 1 日起实施。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2012 年 3 月 1 日

前 言

根据原建设部《关于印发〈二〇〇一～二〇〇二年度工程建设城建、建工行业标准制订、修订计划〉的通知》（建标〔2002〕84号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本规程的主要内容是：1 总则，2 术语，3 基本规定，4 钢筋锈蚀修复，5 延缓碱骨料反应措施及其防护，6 冻融损伤修复，7 裂缝修补，8 混凝土表面修复与防护。

本规程由住房和城乡建设部负责管理，由中冶建筑研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中冶建筑研究总院有限公司《混凝土结构耐久性修复与防护技术规程》管理组（地址：北京市海淀区西土城路33号，邮编 100088）。

本规程主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

本规程参编单位：国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心

上海房地产科学研究院

南京水利科学研究院

中国建筑材料科学研究总院

中国京冶工程技术有限公司

武汉理工大学

清华大学

北京交通大学

铁道部运输局

广东省建筑科学研究院

阿克苏诺贝尔特种化学（上海）有限公司

富斯乐有限公司

广州市胜特建筑科技开发有限公司

本规程主要起草人员：惠云玲 郝挺宇 郭小华 陈 洋
岳清瑞 洪定海 王 玲 陈友治
朋改非 林志伸 郭永重 邱元品
朱雅仙 常好诵 陈秋霞 陈夏新
陈琪星 覃维祖 陆瑞明 赵为民
常正非 张 量 吴如军 韩金田
范卫国 徐龙贵 周云龙
本规程主要审查人员：李国胜 赵铁军 王庆霖 巴恒静
张家启 包琦玮 牟宏远 何 真
谢永江 冷发光 李克非

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	钢筋锈蚀修复	7
4.1	一般规定	7
4.2	材料	8
4.3	钢筋阻锈修复施工	8
4.4	电化学保护施工	9
4.5	检验与验收	9
5	延缓碱骨料反应措施及其防护	11
5.1	一般规定	11
5.2	材料	11
5.3	延缓碱骨料反应施工	11
5.4	检验与验收	12
6	冻融损伤修复	13
6.1	一般规定	13
6.2	材料	13
6.3	冻融损伤修复施工	14
6.4	检验与验收	14
7	裂缝修补	16
7.1	一般规定	16
7.2	材料	16
7.3	裂缝修补施工	17
7.4	检验与验收	18
8	混凝土表面修复与防护	19

8.1 一般规定	19
8.2 材料	19
8.3 表面修复与防护施工	20
8.4 检验与验收	21
附录 A 电化学保护	22
A.1 材料	22
A.2 电化学保护施工	23
A.3 检验与验收	25
本规程用词说明	27
引用标准名录	28
附：条文说明	29

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	4
4	Repair of Corrosion of Reinforcement	7
4.1	General Requirements	7
4.2	Materials	8
4.3	Construction for Corrosion Inhibition	8
4.4	Construction for Electrochemical Protection	9
4.5	Inspection and Acceptance	9
5	Delay of Alkali-aggregate Reaction Damage	11
5.1	General Requirements	11
5.2	Materials	11
5.3	Construction	11
5.4	Inspection and Acceptance	12
6	Repair of Freeze-thaw Damage	13
6.1	General Requirements	13
6.2	Materials	13
6.3	Construction	14
6.4	Inspection and Acceptance	14
7	Repairing Cracks	16
7.1	General Requirements	16
7.2	Materials	16
7.3	Construction	17
7.4	Inspection and Acceptance	18
8	Repair and Protection of Concrete Surface	19

8.1	General Requirements	19
8.2	Materials	19
8.3	Construction	20
8.4	Inspection and Acceptance	21
Appendix A Electrochemical Protection		22
A.1	Materials	22
A.2	Construction for Electrochemical Protection	23
A.3	Inspection and Acceptance	25
Explanation of Wording in This Specification		27
List of Quoted Standards		28
Addition; Explanation of Provisions		29

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、施工及验收。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、施工及验收，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

采用技术手段，使耐久性损伤的结构或其构件恢复到修复设计要求的活动。

2.0.2 耐久性防护 durability protection

采用技术手段，维持混凝土结构耐久性达到期望水平的活动。

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腐蚀的化学物质。

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之牢固粘结的防护层。

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。

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，使钢筋不能进行释放电子的阳极反应（腐蚀）的技术措施。

2.0.8 电化学脱盐 electrochemical chloride extraction

给钢筋短期施加密度较大的阴极电流，使混凝土中带负电荷的氯离子在电场作用下迁移出混凝土保护层，同时也由于阴极反应适当提高钢筋周围的 pH 值，使钢筋再钝化的技术措施。

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 值提高到 11 以上，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 结构已出现较严重的耐久性损伤；
- 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，经评估需要时。

3.0.2 混凝土结构在下列情况下宜进行耐久性修复与防护：

- 1 结构已经出现一定的耐久性损伤；
- 2 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；
- 3 结构进行维修改造、改建或用途及使用环境改变时。

3.0.3 混凝土结构耐久性修复与防护应根据损伤原因与程度、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 耐久性调查、检测与评定；
- 2 修复与防护设计；
- 3 修复与防护施工；
- 4 检验与验收。

3.0.4 耐久性调查、检测与评定应按照下列规定进行：

1 混凝土结构耐久性状况调查及检测应包括结构及构件原有状况、现有状况和使用情况等。根据工程实际情况和要求调查和检测下列内容：

- 1) 混凝土结构的使用环境、建筑物使用历史及维修改造情况；
- 2) 设计资料调查，包括设计图纸、地质勘察报告、结构类型、工程结构用途、建筑物的相互关系；
- 3) 施工情况调查，包括混凝土原材料、配合比、养护方

式及钢筋有关试验记录；

- 4) 混凝土外观状况调查与检测，包括混凝土外观损伤类型、位置、大小；混凝土裂缝情况及渗漏水情况；混凝土表面干湿状态、有无污垢；
- 5) 混凝土质量调查与检测，包括混凝土强度、弹性模量、钢筋保护层厚度、吸水率、氯离子含量、碳化深度、钢筋锈蚀状况、碱骨料反应。

2 混凝土结构耐久性的评定应根据国家现行相关标准进行。结构环境作用等级的划分原则应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定。

3.0.5 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 修复与防护方案或图纸；
- 4 材料性能及要求；
- 5 施工工艺要求；
- 6 检验及验收要求。

3.0.6 修复与防护施工应制定严格的施工方案。修复施工宜按基层处理、界面处理、修复处理、表层处理四个工序进行。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。

3.0.7 检验与验收应符合下列规定：

- 1 质量检验宜包括材料检验和实体检验：

材料检验：材料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。

实体检验：对重要结构、重要部位、关键工序，可在施工现场进行实体检验。

- 2 工程验收应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统

一标准》GB 50300 的规定执行，应按分部、分项工程验收及竣工验收两个阶段进行。

分部、分项工程验收：在隐蔽工程和检验批验收合格的基础上，应提交原材料的产品合格证与质量检验报告单（出厂检验报告及进场复检验报告等）、现场配制材料配合比报告、施工过程中重要工序的自检和交接检记录、抽样检验报告、见证检测报告、隐蔽工程验收记录、分部工程观感验收记录、实体抽样检验验收记录等文件。

竣工验收：除应满足分部、分项工程验收的规定外，尚应提交竣工报告、施工组织设计或施工方案、竣工图、设计变更和施工洽商等文件。

3.0.8 混凝土结构耐久性调查检测与评定、修复与防护设计、施工应由具有相应工程经验的单位承担。

4 钢筋锈蚀修复

4.1 一般规定

4.1.1 修复前，结构的使用环境、钢筋锈蚀原因、范围及程度应根据调查、检测及评定结果确定。

4.1.2 根据调查与检测结果，修复设计方案宜按表 4.1.2 选用。

表 4.1.2 修复设计方案

序号	锈蚀原因	修复方案	
		一般锈蚀	严重锈蚀
1	中性化诱发	表面防护处理 钢筋阻锈处理	钢筋阻锈处理 电化学再碱化
2	渗入型氯化物诱发	钢筋阻锈处理 表面迁移阻锈处理	钢筋阻锈处理 电化学脱盐 阴极保护
3	渗入型氯化物 诱发	表面防护处理 表面迁移阻锈处理 钢筋阻锈处理	钢筋阻锈处理 电化学脱盐 阴极保护

注：1 修复设计时，应根据结构实际情况选用表格中的一种方案或同时采用多种方案；

2 当环境作用等级为 I-B、I-C 时，应采取特殊的表面防护处理措施并具有较强的憎水能力；当环境作用等级为 III、IV 时，应采取特殊的表面防护处理措施并具有较强的抗氯离子扩散能力。

4.1.3 钢筋锈蚀修复处理，应进行钢筋阻锈处理及混凝土表面处理。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。

4.2 材 料

4.2.1 钢筋阻锈处理材料可采用修补材料、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 在钢筋阻锈处理中应采用钢筋阻锈剂抑制混凝土中钢筋的电化学腐蚀；

2 修补材料宜掺入适量的掺入型阻锈剂，同时，不应影响修复材料的各项性能，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；

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能力；

4 表面迁移型阻锈剂宜用于防护与修复工程，表面迁移型阻锈剂应涂刷在混凝土结构表面，并应渗透到钢筋周围。

4.2.2 电化学保护材料应符合本规程附录 A.1 的规定。

4.3 钢筋阻锈修复施工

4.3.1 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干净，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。

4.3.2 钢筋阻锈处理修复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 修复范围内已锈蚀的钢筋应完全暴露并进行除锈处理；

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；

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

5 构件保护层修复后，在表面宜涂刷迁移型阻锈剂。

4.4 电化学保护施工

4.4.1 电化学保护可采用阴极保护、电化学脱盐和电化学再碱化，并应符合下列规定：

- 1 阴极保护可用于普通混凝土结构中钢筋的保护；
- 2 电化学脱盐可用于盐污染环境中的混凝土结构；
- 3 电化学再碱化可用于混凝土中性化导致钢筋腐蚀的混凝土结构；

4 预应力混凝土结构不得进行电化学脱盐与再碱化处理；静电喷涂环氧涂层钢筋拼装的构件不得采用任何电化学保护；当预应力混凝土结构采用阴极保护时，应进行可行性论证。

4.4.2 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。

4.4.3 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。

4.4.4 电化学保护施工应符合本规程附录 A.2 的规定。

4.5 检验与验收

4.5.1 掺入型阻锈剂、迁移型阻锈剂、修补材料等关键材料应进行进场复验，材料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、《混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆》JG/T 336 等有关标准和设计的规定。

4.5.2 钢筋阻锈修复检验应符合下列规定：

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结应牢靠，无裂缝、脱层、起鼓、脱落等现象，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；

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。

4.5.3 电化学保护检验与验收应符合本规程附录 A.3 的规定。

5 延缓碱骨料反应措施及其防护

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的检查。

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 裂缝处理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，应保护混凝土结构免受周围环境的影响。

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 条的规定涂刷表面防护材料。

5.4 检验与验收

5.4.1 灌缝材料、表面防护材料等关键材料应进行进场复验，其性能应符合现行行业标准《混凝土裂缝修复灌浆树脂》JG/T 264 和《混凝土结构防护用渗透型涂料》JG/T 337 等相关标准和设计的规定。

5.4.2 延缓碱骨料反应施工后应进行定期检查，记录和测量裂缝的发展情况。

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，修复材料可选用修补砂浆、灌浆材料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，宜用灌浆材料和修补砂浆进行修复；

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、灌浆材料及界面处理材料进行修复。

6.2.2 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 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，修复材料中含气量宜为 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 节的规定注入灌浆材料，修补裂缝。然后应在原混凝土结构表面进行修补，宜用修补砂浆进行防护。

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，应剔除受损混凝土并露出基层未损伤混凝土；

- 2 对界面处理，当剥蚀深度小于 30mm 时，可采用涂刷界面处理材料进行处理；当剥蚀深度不小于 30mm 时，基层混凝土和修复材料之间除应涂刷界面处理材料外，尚宜采用锚筋增强其粘结能力；

- 3 对修复施工，当剥蚀深度小于 30mm 时，宜采用修补砂浆或灌浆材料进行修复；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 根据工程实际需要按本规程第 8.3.2 条的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，被修复部分不得遭受冻害。

6.4 检验与验收

6.4.1 修补砂浆、灌浆材料、高性能混凝土、界面处理材料、引气剂等关键材料应进行进场复验，其性能应符合国家现行标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448、《混凝土外加剂

应用技术规范》GB 50119 以及《混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆》JG/T 336、《混凝土界面处理剂》JC/T 907 的规定。

6.4.2 冻融损伤修复检验应符合下列规定：

1 当对混凝土中气泡间距有要求时，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，并应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 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抗压强度、抗冻等级、抗渗等级，有条件时，可检测其动弹性模量并计算抗冻耐久性指数，并应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定。

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，内容可包括裂缝宽度、裂缝深度、裂缝状态及特征、裂缝所处环境、裂缝是否稳定、裂缝是否渗水和裂缝产生的原因，并应根据调查和检测结果确定裂缝修补方法。修补方法可分为表面处理法、压力灌浆法、填充密封法。

7.1.2 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、压力灌浆材料、填充密封材料三大类。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。

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、聚氨酯类等材料。其性能应符合现行行业标准《混凝土裂缝修复灌浆树脂》JG/T 264 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；有油污处应用丙酮清洗；潮湿裂缝表面应清除积水；在进行下道工序前，裂缝表面应干燥。

2 所选择的材料应均匀涂抹在裂缝表面。

3 涂覆厚度及范围应符合设计及材料使用规定。

7.3.2 压力灌浆法施工应符合下列规定：

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。

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。

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。

7.3.3 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 2cm~3cm、深 2cm~3cm 的“V”形槽；

2 应清除缝内松散物；

3 应用所选择的材料嵌填裂缝，直至与原结构表面持平。

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 检验与验收

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《混凝土裂缝修复灌浆树脂》JG/T 264 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 裂缝表面清理后封闭前应复验灌嘴，是否准确可靠；

2 裂缝灌浆后应检查灌浆是否密实，可钻芯取样检查灌缝效果。

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、防护涂层或表面覆盖等方法进行，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砂浆，修补砂浆的抗压强度、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复合材料，并应符合下列规定：

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序可分为基层处理、界面处理、修补砂浆施工和养护。

2 基层处理：对需要修复的区域应作出标记，然后宜沿修复区域的边缘切一条深度不小于 10mm 的切口。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：修补砂浆施工前，应将裸露的钢筋固定好并进行阻锈处理，待其干燥后应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 修补砂浆施工：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。

5 养护：修补砂浆施工后，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 表面防护前应进行去掉浮尘、油污或其他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。

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。当采用其他有机材料时，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 5mm~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 检验与验收

8.4.1 表面修复材料和表面防护材料应进行进场复验，其性能应满足现行行业标准《混凝土结构修复用聚合物砂浆》JG/T 336、《混凝土界面处理剂》JC/T 907、《聚合物水泥防水砂浆》JC/T 984、《混凝土结构防护用成膜型涂料》JG/T 335 等相关标准规定和设计的要求。

附录 A 电化学保护

A.1 材 料

A.1.1 电化学保护的材料和设备可采用阳极系统、电解质、检测和控制系統、电缆和直流电源等，并应符合下列规定：

1 阴极保护阳极系统应能在保护期间提供并均匀分布保护区域所需的保护电流。阳极材料的设计和选择，应满足保护系统的设计寿命要求和电流承载能力。

2 电化学脱盐和再碱化的阳极系统应由网状或条状阳极与浸没阳极的电解质溶液组成，电化学脱盐所用电解质宜采用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液或自来水；电化学再碱化所用电解质宜采用 0.5M~1M 的 Na_2CO_3 水溶液等。

3 检测和控制系统的埋入式参比电极可选用 $\text{Ag}/\text{AgCl}/0.5\text{mol/LKCl}$ 凝胶电极和 $\text{Mn}/\text{MnO}_2/0.5\text{mol/L NaOH}$ 电极；便携式参比电极可选用 $\text{Ag}/\text{AgCl}/0.5\text{mol/L KCl}$ 电极。参比电极的精度应达到 $\pm 5\text{ mV}$ (20°C 24h)。钢筋/混凝土电位的检测设备可采用精度不低于 $\pm 1\text{mV}$ 、输入阻抗不小于 $10\text{M}\Omega$ 的数字万用表，也可选用符合测量要求的其他数据记录仪。

4 电源电缆、阳极电缆、阴极电缆、参比电极电缆和钢筋/混凝土电位测量电缆应适合使用环境，并应满足长期使用的要求。电缆芯的最小截面尺寸可按通过 125%设计电流时的电压降确定。

5 直流电源应满足长期不间断供电要求，应具有技术性能稳定、维护简单的特点和抗过载、防雷、抗干扰、防腐蚀、故障保护等功能。直流电源的输出电流和输出电压应根据使用条件、辅助阳极类型、保护单元所需电流和回路电阻计算确定。

A.1.2 阴极保护宜采用经证实有效的阳极系统，也可选用经室

内以及现场试验应用与实践充分验证的新型阳极系统，并应符合下列规定：

- 1 外加电流阴极保护的阳极系统可在下列三种系统中选用：
 - 1) 可采用混凝土表面安装网状贵金属阳极与优质水泥砂浆或聚合物改性水泥砂浆覆盖层组成的阳极系统；
 - 2) 可采用条状贵金属主阳极与含碳黑填料的水性或溶剂性导电涂层次阳极组成的阳极系统；
 - 3) 可采用开槽埋设于构件中的贵金属棒状阳极与导电聚合物回填物组成的阳极系统。
- 2 牺牲阳极式阴极保护的阳极系统可在下列两种系统中选用：
 - 1) 可采用锌板与降低回路电阻的回填料组成的阳极系统；
 - 2) 可采用涂覆于混凝土表面的导电底涂料与锌喷涂层组成的阳极系统。

A.2 电化学保护施工

A.2.1 电化学保护工程施工可分为凿除和修补损伤区混凝土保护层、电连接保护单元内钢筋、安装监测与控制系统、安装阳极系统、制作和铺设电缆、安装直流电源等工序，并应符合下列规定：

1 实施电化学保护前，应先清除已胀裂、层裂的混凝土保护层和钢筋上的锈层，并应采用电导率和物理特性与原混凝土基层接近的水泥基材料修复凿除部位至原断面，对结构安全性有影响时应进行加固处理；

2 各保护区内钢筋之间以及钢筋与混凝土中其他金属件之间应成为电连接整体，阳极系统与阴极系统（钢筋）间不得存在短路现象；

3 电化学保护的监测与控制系统、阳极系统中各部件的规格、性能、安装位置等应符合设计要求。直流电源安装应按现行国家标准《电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范》

GB 50254的规定执行。各种电缆应有唯一性标识。

A. 2. 2 电化学保护技术的特征应符合表 A. 2. 2 的规定。

表 A. 2. 2 电化学保护技术的特征

项 目	阴极保护	电化学脱盐	电化学再碱化
通电时间	在防腐蚀期间 持续通电	约 8 周	100h~200h
电流密度 (A/m ²)	0.001~0.05	1~2	1~2
通电电压 (V)	<15	5~50	5~50
电解液	—	Ca(OH) ₂ 饱和 溶液或自来水	0.5M~1M 的 Na ₂ CO ₃ 水溶液
确认效果的方法	测定电位 或电位衰减/发展值	测定混凝土的氯离子 含量和钢筋电位	测定混凝土 pH 值 和钢筋电位
确认效果的时间	在防腐蚀期间 定期检测	通电结束后	通电结束后

A. 2. 3 电化学保护电流密度除应使保护效果达到本规程第 A. 3. 5 条的规定外，尚应控制在不降低阳极系统和混凝土质量的范围内。具体保护电流密度宜通过经验数据或进行现场试验确定，也可按照表 A. 2. 2 选取，不同条件混凝土结构阴极保护电流密度也可按表 A. 2. 3 选取。

表 A. 2. 3 宜采用的阴极保护电流密度

钢筋周围的环境及钢筋的状况	保护电流密度(mA/m ²) (按保护钢筋面积计)
碱性、干燥、有氯盐，混凝土(优质)保护层厚， 钢筋轻微锈蚀	3~7
潮湿、有氯盐、混凝土质量差，保护层薄或中等 厚度	8~20
氯盐含量高、潮湿而且干湿交替、富氧，混凝土 保护层薄，气候炎热，钢筋锈蚀严重	30~50

A. 2. 4 电化学保护系统调试应符合下列规定：

1 应以设计电流的 10%~20%进行初始通电，测量直流电源的输出电压和输出电流以及钢筋/混凝土电位，所有部件的安装、连接应正确；

2 对外加电流阴极保护，试通电正常后，应逐步加大阴极保护电流，直至钢筋/混凝土的电位满足本规程第 A. 3. 5 条的规定；对电化学脱盐和电化学再碱化，试通电正常后，应逐步加大保护电流，直至设计值。

A. 2. 5 电化学脱盐和再碱化保护系统通电结束后，应及时拆除混凝土表面阳极系统及其配件，采用高压淡水清洗经处理的混凝土表面并应进行表面修复处理或表面防护处理。

A. 3 检验与验收

A. 3. 1 电化学保护工程所用的设备、材料和仪器应经过实际应用或有关试验验证，并应有出厂合格证或质量检验报告。

A. 3. 2 电化学保护系统安装完毕后，应进行下列方面的检验：

1 逐一检查所用的阳极、电缆、参比电极、仪器设备规格、数量、安装位置是否符合设计要求；

2 检查保护系统所有部件安装是否牢固、是否有损坏，电缆和设备连接是否正确；

3 测量保护单元内钢筋的电连接性和钢筋网与阳极系统之间的电绝缘性，电缆的绝缘电阻和电连续性，检测埋设参比电极的初始数据；

4 测量保护区域内钢筋的自然电位和混凝土原始氯离子含量或 pH 值。

A. 3. 3 在通电实施过程中，应根据本规程第 A. 2. 2 条的方法定期确认保护效果，直至满足本规程第 A. 3. 5 条的规定。电化学脱盐和电化学再碱化的电解液还应定期检测、更换，并应保持一定的碱度。

A. 3. 4 在阴极保护持续运行期间，每年应定期对保护系统进行

检查和维护，应定期检测和记录电源设备的输出电压、输出电流和钢筋保护电位。

A. 3.5 电化学保护效果应符合下列规定：

1 阴极保护在整个保护寿命期间，各保护单元内钢筋/混凝土电位应符合下列规定之一：

1) 去除 IR 降后的保护电位范围普通钢筋应为 $-720\text{mV} \sim -1100\text{mV}$ （相对于 $\text{Ag}/\text{AgCl}/0.5\text{mol/LKCl}$ 参比电极）；预应力钢筋应为 $-720\text{mV} \sim -900\text{mV}$ （相对于 $\text{Ag}/\text{AgCl}/0.5\text{mol/LKCl}$ 参比电极）；

2) 钢筋电位的极化衰减或极化发展值不应少于 100mV 。

2 电化学脱盐处理后，混凝土内氯离子含量应低于临界氯离子浓度。

3 电化学再碱化处理后，混凝土 pH 值应大于 11。

本规程用词说明

1 为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：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“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范》GB 50119
- 2 《电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范》GB 50254
- 3 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 4 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448
- 5 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- 6 《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192
- 7 《混凝土裂缝修复灌浆树脂》JG/T 264
- 8 《混凝土结构防护用成膜型涂料》JG/T 335
- 9 《混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆》JG/T 336
- 10 《混凝土结构防护用渗透型涂料》JG/T 337
- 11 《混凝土界面处理剂》JC/T 907
- 12 《聚合物水泥防水砂浆》JC/T 984

中华人民共和国行业标准

混凝土结构耐久性修复与防护技术规程

JGJ/T 259 - 2012

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》JGJ/T 259 - 2012, 经住房和城乡建设部 2012 年 3 月 1 日以第 1322 号公告批准、发布。

本规程制订过程中, 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。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程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、条顺序编制了本规程的条文说明, 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规程正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则	33
3	基本规定	34
4	钢筋锈蚀修复	37
4.1	一般规定	37
4.2	材料	40
4.3	钢筋阻锈修复施工	40
4.4	电化学保护施工	40
4.5	检验与验收	42
5	延缓碱骨料反应措施及其防护	43
5.1	一般规定	43
5.2	材料	44
5.4	检验与验收	45
6	冻融损伤修复	46
6.1	一般规定	46
6.2	材料	47
6.3	冻融损伤修复施工	48
6.4	检验与验收	48
7	裂缝修补	50
7.1	一般规定	50
7.2	材料	51
7.3	裂缝修补施工	51
7.4	检验与验收	52
8	混凝土表面修复与防护	53
8.1	一般规定	53
8.2	材料	54

8.3 表面修复与防护施工	54
附录 A 电化学保护	56
A.1 材料	56
A.2 电化学保护施工	56
A.3 检验与验收	57

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，本规程的编制是基于现有的认识水平，为满足目前工程需要而首次编制的。

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、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、3.0.2 我国没有建筑物定期检测评价法规，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 年~30 年就需要维修；使用环境较恶劣的工业建筑使用 25 年~30 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 年~40 年、工业建筑及露天结构使用 20 年左右宜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他存在耐久性问题的结构。本条提出了进行耐久性修复与防护的原则规定。

3.0.3 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、复杂程度等特点制定详细的工作流程。应在耐久性调查、检测与评估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鉴定报告。

3.0.4 本条给出了建议的混凝土结构耐久性调查、检测内容，可根据工程的具体情况选择相应的调查和检测内容，条文未包括

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。

混凝土结构耐久性评定有关内容可参考国家现行标准《混凝土结构耐久性评定标准》CECS 220 执行。

3.0.5 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。

3.0.6 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定严格的施工方案，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、表层处理四个工序进行，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，表层处理可以减少环境对结构的作用，为延长结构的耐久性，应对表层处理效果定期检查，10年~15年宜检查一次。当表层处理质量不能满足要求时，应重新进行处理。

3.0.7 本条对混凝土结构耐久性修复与防护工程质量检验和工程验收作了一般性规定，各种不同损伤类型的修复还应符合相应各章的检验与验收的规定。

1 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。

2 工程验收宜按分部、分项工程验收和竣工验收两个阶段进行，可将不同损伤类型（如钢筋锈蚀修复、延缓碱骨料反应措施及防护、冻融损伤修复、裂缝修补、混凝土表面修复与防护）的修复工程划分为一个分部工程，再按具体的修复工艺划分分项工程。

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。

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。

3.0.8 与一般工程相比，混凝土结构耐久性调查、检测与评定、修复与防护设计、施工的专业性较强，应由具有相应工程经验的单位承担。

4 钢筋锈蚀修复

4.1 一般规定

4.1.1 修复前，应进行调查与检测，查阅结构相关的原始设计、施工详图、施工说明、验收与竣工资料、材料试验报告、使用与维修记录等；应进行现场普查、详细检测及进行必要的室内试验；以鉴定结构现状，确定使用环境、钢筋锈蚀原因、范围及程度。

现场普查应记录暴露于不同自然环境、应力状态下的各区域不同构件、部位的损伤（包括表面缺陷、裂缝、锈斑、层裂、剥落、渗漏、变形等）状态和分布，并确定进一步进行详细检测的典型范围和要求。

现场详细检测应包括在典型检测范围内无损检测混凝土保护层厚度、混凝土电阻率、钢筋半电池电位图，检测氯离子含量或碳化深度的分布，据此判断钢筋腐蚀范围及程度。

4.1.2 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，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-B、I-C 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。环境作用等级的划分原则应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定。

钢筋锈蚀产生的原因分为混凝土中性化诱发、掺入型氯化物诱发、渗入型氯化物诱发三种。混凝土中性化诱发是指空气中的二氧化碳等气体气相扩散到混凝土的毛细孔中，与孔隙液中的氢

氧化钙发生反应，从而使孔隙液的 pH 值降低，当中性化深度达到钢筋表面时，钢筋钝化膜遭受破坏，在具备一定水和氧的条件下，钢筋开始锈蚀；掺入型氯化物诱发是指由于新拌混凝土中掺入氯化物早强剂、防冻剂或采用海水、海砂等拌制混凝土，当钢筋周围的氯离子浓度达到临界浓度，钢筋钝化膜遭受破坏，并导致钢筋锈蚀；渗入型氯化物诱发是指周围环境中的氯离子通过混凝土孔隙到混凝土内部，当钢筋周围的氯离子浓度达到临界浓度，钢筋钝化膜遭受破坏，并导致钢筋锈蚀。

钢筋锈蚀程度分为一般锈蚀和严重锈蚀两种，锈蚀程度可通过检测钢筋混凝土构件的半电池电位进行判断。根据已有工程经验和研究成果，当半电池电位为 $-200\text{mV} \sim -350\text{mV}$ 时，可认为钢筋一般锈蚀，当半电池电位小于 -350mV 时，可通过以下两方面进行判断，当符合其中一项时，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 $0.3\text{mm} \sim 3\text{mm}$ 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网或成片地剥落、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 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。

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。

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。

4.2 材 料

4.2.1 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，同时还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 本条对在混凝土保护层上表面迁移阻锈处理施工做了规定。目前国内对基层处理重视不够，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。

4.3.2 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。应结合工程实际情况，按本规程第 8.2.2 条选择表面防护材料，并按本规程第 8.3.2 条进行表面防护处理。

4.4 电化学保护施工

4.4.1 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。本规程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。有必要也有可能制定相应规范，以保证和推动该项技术的应用。

以环氧涂层钢筋剪切、焊接加工成的钢筋网（笼）浇筑的钢筋混凝土构件，禁止采用任何电化学保护技术。因为在这种构件内，各根钢筋之间被环氧涂层（绝缘层）隔开，不具备电连续性，若实施电化学保护，则必然会引起严重的杂散电流腐蚀。

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。

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掺适量锂化合物，以降低或消除碱活性骨料的膨胀反应。

4.4.2 一座结构各构件的湿度、氯盐污染程度、保护层厚度和几何尺寸等常有差异，因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可适当变动。

4.4.3 鉴于电化学保护基本知识与技术尚未广泛普及，而电化学保护技术含量高，其功效高低取决于其可行性论证、设计、施

工、检测、管理是否符合要求。因此，本规程规定钢筋混凝土结构的电化学保护的各阶段工作，应由具备相应工程经验的单位承担。

4.5 检验与验收

4.5.2 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。

5 延缓碱骨料反应措施及其防护

5.1 一般规定

5.1.1 碱骨料反应（Alkali-Aggregate Reaction, 简称 AAR）指混凝土中的碱与骨料中的活性组分之间发生的破坏性膨胀反应，是影响混凝土长期耐久性和安全性的最主要因素之一。该反应不同于其他混凝土病害，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，从而相互促进、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）、外加剂和拌合水中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防治上（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 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, 因为已经不能服役或者很危险了。

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, 但长期效果如何尚未获得公认的结果, 另外价格较高也是阻碍这种方法普及的另一因素。

5.1.3 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, 以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。我国某铁路上有 200 多孔制造于 20 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, 裂缝会导致混凝土材料的渗透性增大, 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。裂缝的注入和密封应该在对未来活性和膨胀仔细评估的基础上。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, 是因为碱骨料反应的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的措施。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该具备如下要求：

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，足够的粘结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分和氯离子的侵入，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的。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。

5.4 检验与验收

5.4.2 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。

6 冻融损伤修复

6.1 一般规定

6.1.1 根据实际工程中和试验研究中常见的冻融损伤现象，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，考虑到其修复难度大、修复费用高、维护成本大等因素，宜考虑更换或拆除某些破坏严重的构件或结构，以降低其全寿命周期成本，增加结构的安全性。

混凝土冻融损伤修复调查宜按表 1 进行。

表 1 混凝土冻融损伤修复的调查内容

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		

续表 1

调查项目	具体内容	备注
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、特征和剥落程度等因素可选用修补砂浆、灌浆材料和高性能混凝土。并

确定修复材料中外加剂的种类和含量。

6.2.2 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，是因为这些水泥的凝结硬化速度快，避免混凝土或砂浆在较早龄期发生冻融损伤。

必须掺用引气剂，是因为引气剂可提高混凝土或砂浆的抗冻性。

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）下的结构，当采用混凝土或灌浆材料修复时，可采用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 检验与验收

6.4.2 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》GB/T 50476 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标准》GB/T 50082 中混凝土抗冻性试验快冻法，用修复材料制作抗冻试件，并进行混凝土拟修复施工期间所处环境条件下的保温、保湿养护，其目的是确保修复材料在实

际施工条件下进行正常的凝结硬化，避免在较早龄期发生冻融损伤，修复材料到 28d 龄期时具备工程所要求的抗冻性。在 28d 龄期时，开始进行快冻法抗冻性试验，该抗冻性试验必须采用快冻法，不得以慢冻法代替。修复材料的抗冻等级应分别高于或等于原混凝土抗冻等级。

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。

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以及常用的裂缝修补方法。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。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，可按表 2 确定裂缝修补方法。

表 2 混凝土结构不同裂缝的修补方法

环境作用等级	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
I-A	<0.3	表面处理法 压力灌浆法	表面处理法 压力灌浆法	表面处理法	表面处理法
I-B、I-C	<0.2	填充密封法	压力灌浆法		压力灌浆法
I-A	≥ 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
I-B、I-C	≥ 0.2	填充密封法	填充密封法		填充密封法

对其他环境作用等级下的裂缝处理，除采用 I-B、I-C 下的裂缝修复方法外，还应采取特殊防护处理措施。

7.1.2 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修补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。渗透性防水剂一般不能用于活动裂缝的表面修补。

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。

7.2.4 本条给出了混凝土结构裂缝灌浆材料的主要种类。灌浆浆液的黏度应根据裂缝宽度调整，较细的裂缝应采用黏度较低的浆液灌注，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。

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 20mm~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 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。施工时尚应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。凿“V”形槽的裂缝应封闭到与原表面平。根据裂缝特点可选用灌浆泵或注胶瓶注浆。灌浆前试气工序很重要，试气压力一般可控制在 0.3MPa~0.4MPa。化学浆液的灌浆压

力宜为 0.2MPa~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 5min~10min 后即可停止灌浆。

7.3.3 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。

7.4 检验与验收

7.4.2 为检查裂缝的密封效果及贯通情况，可在裂缝封闭之后、灌浆之前用压缩空气试漏。为防止水进入裂缝后引起灌浆材料固化不良及与混凝土粘结性能下降，不应使用压力水试漏。压力水检查灌浆是否密实时，压力值应略小于灌浆压力，基本不吸水不渗漏可认定为合格。

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；
- 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他修补；
- 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侵蚀的能力，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 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，要保证充分拌合均匀，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体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。

附录 A 电化学保护

A.1 材 料

A.1.1、A.1.2 给出了电化学保护中所涉及材料和设备的种类，以及选用原则和要求。

A.2 电化学保护施工

A.2.1 为了保证电化学保护技术能有效发挥作用，应在实施电化学保护之前对被保护的钢筋混凝土结构进行必要的检查和修整，保证钢筋与阳极系统之间既存在良好的离子通路，又不会造成短路。

如果被保护的钢筋混凝土存在因钢筋锈蚀胀裂、剥落或其他原因导致混凝土分层破损，均需凿除这些破损的混凝土保护层，清除钢筋上的锈层。然后对保护区域内混凝土上凿除部位或其他分层部位用水泥基修补材料修复至原断面，必要时应进行加固处理。

在保护范围内，所有需保护的钢筋均应具有良好的电连续性，否则没有电连接的钢筋会发生杂散电流腐蚀；阴极系统和阳极系统之间的短路会使阴极保护系统失效。所以，在实施电化学保护之前，应对钢筋的电连接性和阴极与阳极之间的短路现象进行必要的检测和评定。

A.2.2、A.2.3 为了决定初期保护电流密度，有必要通过阴极极化试验和现场试验决定。

采用电化学保护时，阳极电位正移量与电流成正比，与所用阳极材料的类别而有所不同。

采用外加电流阴极保护时，应确认在工作电流密度下阳极电

位不超过析氯电位，以避免在长期的运行过程与阳极接触的混凝土被劣化；对于牺牲阳极方式的阴极保护，牺牲阳极输出电流是由混凝土电阻、钢筋和阳极之间的电位差以及牺牲阳极材料决定的，一般不易控制。在设计时，应设置必要的阳极面积，以获得所需的保护电流密度。

电化学脱盐（再碱化）的电流密度应在考虑阴极的钢筋面积、混凝土的密实性以及污染程度等各种条件后，取适当的值。为确保实施期间的安全性，必须选择对人体的安全电压值。另外，为了让氯离子的脱出或再碱化，大于 $0.5\text{A}/\text{m}^2$ 的电流密度是必要的。但是如果采用的电流密度过高，电化学脱盐（再碱化）处理会对混凝土产生严重的负面作用。因此，不能随便地增大电流密度。从实际情况来看，一般 $1\text{A}/\text{m}^2 \sim 2\text{A}/\text{m}^2$ 的电流密度是合适的。

A.3 检验与验收

A.3.5 电化学保护的准则引自美国腐蚀工程师学会（NACE）1990 制定的 RP0290 - 90《大气中钢筋混凝土结构外加电流阴极保护推荐性规程》、英国标准 BS7361 的第一部分（1991）、日本土木学会《电气化学防蚀工法设计施工指针（案）》（2001）、欧洲标准 EN 12696《混凝土中钢的阴极保护》（2000）和欧洲标准草案 prEN 14038 - 1《钢筋混凝土电化学再碱化与脱盐处理—第一部分：再碱化》。按此准则，混凝土中的钢筋是能得到充分保护的。