

ICS 91.080.40

CCS P25

团 体 标 准

T/CHI XXX-202X

水工混凝土结构锈蚀修复及加固指南

Guide for corrosion repair and strengthening of hydraulic concrete structures

(征求意见稿)

提交反馈意见时，请将您知道的专利连同支持性文件一并附上。

202X-X-X 发布

202X-X-X 实施

中国高技术产业发展促进会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 基本规定	4
5 材料	4
6 钢筋锈蚀修复	4
6.1 一般规定	5
6.2 材料	5
6.3 钢筋阻锈修复施工	5
6.4 电化学保护施工	6
6.5 检验与验收	6
7 混凝土裂缝修补	6
7.1 一般规定	6
7.2 表面与浅层裂缝的修补	7
7.3 深层与贯穿裂缝的修补	7
8 混凝土锈胀渗漏处理	8
8.1 一般规定	8
8.2 裂缝与层间缝渗漏处理	8
8.3 结构缝渗漏处理	9
8.4 集中渗漏处理	9
8.5 散渗处理	10
9 钢筋锈蚀引起的混凝土剥蚀修补	11
10 混凝土结构的补强加固	11
10.1 一般规定	11
10.2 混凝土内部不密实的处理	12
10.3 低强混凝土的处理	12
10.4 结构加固	14
11 水下混凝土结构修补加固	19
11.1 一般规定	18
11.2 水下修补加固专项技术	19
11.3 水下缺陷的处理方法	20
11.4 水下质量检查	21
附录 A（资料性）电化学保护	22
附录 B（资料性）常用混凝土修补材料	25

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由青岛理工大学提出。

本文件由中国高技术产业发展促进会归口。

本文件起草单位：青岛理工大学、烟台大学、新疆农业大学、黄河水利委员会、浙大宁波理工学院、桂林理工大学、郑州大学、河南工业大学、西安建筑科技大学、哈尔滨工业大学（深圳）。

本文件主要起草人：

征求意见稿

水工混凝土结构锈蚀修复加固指南

1 范围

本文件规定了水工混凝土结构锈蚀修复加固的基本规定、材料、钢筋锈蚀修复、混凝土裂缝修补、混凝土锈胀渗漏处理、钢筋锈蚀引起的混凝土剥蚀修补、混凝土结构的补强加固、水下混凝土结构修补加固等要求。

本文件适用于水工混凝土建筑物发生锈蚀损伤后的修复加固处理方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件的必不可少的条款。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。

- GB/T 50784-2013 混凝土结构现场检测技术标准
- GB/T 50476-2019 混凝土结构耐久性设计标准
- SL/T 713-2015 水工混凝土结构缺陷检测技术规程
- DL/T 5057-2009 水工混凝土结构设计规范
- DL/T 5148-2021 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范
- DL/T 5150-2017 水工混凝土试验规程
- DL/T 5251-2024 水工混凝土建筑物缺陷检测和评估技术规程
- DL/T 5406-2010 水工建筑物化学灌浆施工规范
- JGJ/T 192-2009 钢筋阻锈剂应用技术规程
- JG/T 264-2010 混凝土裂缝修复灌浆树脂
- JG/T 335-2011 混凝土结构防护用成膜型涂料
- JG/T 336-2011 混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆
- JG/T 337-2011 混凝土结构防护用渗透型涂料
- JC/T 907-2018 混凝土界面处理剂
- JC/T 984-2011 聚合物水泥防水砂浆
- JGJ/T 152-2019 混凝土中钢筋检测技术标准

3 术语与定义

3.1

修复 repair

为恢复既有结构设计工作性态所采取的处理措施。

3.2

加固 Strengthening

对可靠性不足或要求提高使用可靠性的承重结构、构件及其相关部分采取增强、局部更换或调整其内力等措施，使其具有现行设计规范及使用所要求的安全性、耐久性和适用性。

3.3

界面剂（胶） structural interfacial agent(adhesive)

为改善修补材料与基材之间的黏结效果而在基材表面涂布的胶粘剂。

3.4

裂缝灌浆材料 grout for concrete crack

采用压力注入的高流态修补裂缝材料。

3.5

聚合物水泥材料 polymer modified cementitious materials

以聚合物乳液或聚合物粉末作为改性剂的水泥基材料。

3.6

环氧树脂砂浆 epoxy resin mortar

环氧树脂、固化剂和一定级配填料的混合物。根据不同需要可适当掺加增塑剂、稀释剂或其他材料。

3.7

预缩砂浆 preshrinking mortar

一种水灰比小，拌合后归堆放置 30min~60min 后方可使用的水泥砂浆。

3.8

稳定与不稳定裂缝 steady crack and unsteady crack

宽度和长度基本不随外界条件与荷载变化而变化的裂缝称为稳定裂缝，或称为“死缝”；反之称为不稳定裂缝，或称为“活缝”。

3.9

纤维增强复合材料 fiber-reinforced polymer，简称 FRP

以具有所要求特性的连续纤维或其制品与结构胶黏结而成的高分子复合材料。

3.10

增大截面加固法 structure member strengthening with Reinforced Concrete

增大原构件截面面积或增配钢筋，以提高其承载力和刚度，或改变其自振频率的一种加固方法。

3.11

植筋 bonded rebars

在修补材料与混凝土结构等基材之间采用带肋钢筋予以锚固连接的技术。

3.12

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。

3.13

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。

3.14

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。

3.15

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。

3.16

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。

3.17

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。

3.18

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。

3.19

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。

3.20

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。

4 基本规定

- 4.1 水工混凝土结构锈蚀修复加固方案宜综合考虑缺陷形成机理、锈蚀修补材料适应性与施工环境等方面因素确定，做到技术可行、质量可靠、经济合理、安全耐久。
- 4.2 水工混凝土结构的修复加固宜区分水上与水下环境，针对不同服役条件采取相应的材料、工艺与验收标准。
- 4.3 水工混凝土结构锈蚀修复加固的材料，宜与被修复的基层混凝土及其他锈蚀修补材料的性能相适应，并满足设计要求。
- 4.4 水工混凝土结构锈蚀修复加固时，在锈蚀修补材料与基层混凝土接触面上宜采用界面剂。
- 4.5 采用水泥基材料锈蚀修复时施工环境温度宜为 5℃以上，采用聚合物材料修补时施工环境温度按照材料本身使用条件确定。
- 4.6 水工混凝土结构进行锈蚀修复加固处理时不宜影响原结构安全。
- 4.7 对于特别重要的结构锈蚀修复加固部位，宜布设仪器进行监测。监测内容宜包括修复界面粘结性能、新增加固构件应力应变，钢筋锈蚀发展等。监测仪器可使用应变计、测缝计、钢筋计、腐蚀传感器及混凝土电阻率仪等。监测仪器埋设安装宜按 DL/T 5178《混凝土坝安全监测技术规范》的规定执行。
- 4.8 锈蚀修复加固过程中有完整的记录，锈蚀修补加固实施后应进行质量检查。
- 4.9 化学灌浆施工宜按照 DL/T 5406《水工建筑物化学灌浆施工规范》的相关规定执行。

5 材料

- 5.1 修复加固所用材料应具备产品合格证，材料性能满足设计与施工要求。
- 5.2 水泥灌浆与化学灌浆材料分别符合 DL/T 5148《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》和 DL/T 5406 的要求。
- 5.3 配制砂浆及混凝土的原材料符合 DL/T 5144《水工混凝土施工规范》的要求。
- 5.4 裂缝表面封闭采用的涂料和粘贴板材宜选用柔性材料。
- 5.5 裂缝修补的灌浆材料宜根据裂缝的类型选择。稳定裂缝可选用水泥浆材、环氧类浆材和高强聚氨酯浆材等；不稳定裂缝可选用弹塑性聚氨酯浆材等。
- 5.6 补强加固的灌浆材料可选用环氧类浆材、水泥浆材、高强聚氨酯浆材和甲凝浆材等。
- 5.7 裂缝渗漏处理的灌浆材料宜选用亲水性好、可灌性和耐久性好、水中固化速度可调的水泥基类材料，或选用具有遇水膨胀性能的化学材料。
- 5.8 混凝土剥蚀修补材料宜根据混凝土剥蚀的原因选择，选用的修补材料与基层混凝土的弹性模量和线膨胀系数应相近，其性能不应低于修补部位基层混凝土现有指标。
- 5.9 当基层混凝土面为潮湿面时，宜选用亲水性界面剂。
- 5.10 水下修复加固材料需适应水下施工条件。
- 5.11 混凝土裂缝、剥蚀与锈胀开裂的修复处理可采用修复砂浆，如玄武岩纤维砂浆等，可采用玄武岩筋等防腐筋替换锈蚀钢筋。
- 5.12 常用修补材料可根据附录 B 选用。

6 钢筋锈蚀修复

6.1 一般规定

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

6.1.2 根据调查与检测结果，修复设计方案宜按表 6.1.2 选用。在采用修复方案前，需先进行钢筋除锈处理。

表 6.1.2 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 表面加固
2	掺入型氯化物诱发	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 凿除换筋
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 表面加固

注：1 修复设计时，宜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，宜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，宜采取特殊的表面防护处理措施并具有较强的抗氯离子渗透能力。

3 对水下区或水位变动区“严重锈蚀”结构，修复方案宜考虑水下施工条件及材料耐水性能，修复材料应具备水下不分散、耐水压、耐冲刷等特性。

6.1.3 钢筋锈蚀修复处理，宜进行钢筋阻锈处理及混凝土表面处理。对严重盐雾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宜经专门论证。

6.1.4 钢筋混凝土结构发生锈胀开裂时，宜根据锈蚀严重程度的不同采取相应的修复方案。对一般锈蚀情况，可采用表面防护、钢筋阻锈、表面迁移阻锈等修复方法；对严重锈蚀情况，还宜进行电化学再碱化、电化学脱盐、阴极保护、表面加固、更换玄武岩筋等修复方法。

6.2 材料

6.2.1 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，并宜符合下列规定：

(a) 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；

(b) 修补材料可使用掺有玄武岩纤维的修补砂浆，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/T192 的规定；

(c) 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黏结能力；

(d) 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。

6.2.2 电化学保护材料宜符合本规程附录 A.1 的规定。

6.3 钢筋阻锈修复施工

6.3.1 混凝土表面迁移阻锈处理修复工艺宜符合下列规定：

- (a) 混凝土表面基层应清理干净，并保持干燥；
- (b) 在混凝土表面应喷涂表面迁移型阻锈剂；
- (c) 表面防护处理应符合设计要求；

6.3.2 钢筋阻锈处理修复工艺除宜按基层处理、界面处理、修复处理和表面防护处理进行外，尚宜符合下列规定：

- (a) 修复范围内已锈蚀的钢筋应完全暴露并进行除锈处理；
- (b) 在钢筋表面应均匀涂刷钢筋表面钝化剂；
- (c) 在露出钢筋的断面周围应涂刷迁移型阻锈剂；
- (d) 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；
- (e) 构件保护层修复后，在表面宜涂刷迁移型阻锈剂。

6.4 电化学保护施工

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

- (a) 阴极保护可用于普通混凝土结构中钢筋的保护；
- (b) 电化学脱盐可用于盐污染环境中的混凝土结构；
- (c) 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；
- (d) 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。

6.4.2 当采用电化学保护时，宜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 50m²~100m² 的保护区域。

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

6.4.4 电化学保护施工宜符合本规程附录 A.2 的规定。

6.5 检验与验收

6.5.1 掺入型阻锈剂、迁移型阻锈剂、修补材料等关键材料宜进行进场复验，材料性能符合现行行业标准《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。

6.5.2 钢筋阻锈修复检验宜符合下列规定：

- (a) 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；
- (b) 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；
- (c) 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。

6.5.3 电化学保护检验与验收应符合本规程附录 A.3 的规定。

7 混凝土裂缝修补

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土裂缝修补宜符合下列原则：

- (a) 应按成因与性状选择适当的修补方法。

(b) 应根据裂缝性质选择合适的修补材料和修补时机。

(c) 水上与水下裂缝修补应选用相适应的材料和工艺，水下修补材料应具有良好的水下粘结性和抗冲刷能力。

7.1.2 混凝土裂缝修补可采用涂刷法、粘贴法、灌浆法和凿槽嵌填法等。

7.1.3 混凝土裂缝修补应符合下列规定：

(a) 修补前应收集裂缝相关资料，对裂缝进行分类和评估。明确修补范围与规模、修补方法、工艺要求和质量合格标准等。

(b) 施工前应对裂缝处理范围内的混凝土表面缺陷和杂质进行处理和清理，经处理后的混凝土表面应清洁、坚固、平整与干燥。

(c) 有外观要求的裂缝修补，应满足外观设计要求。

7.2 表面与浅层裂缝的修补

7.2.1 表面裂缝与浅层裂缝可选用涂刷法和粘贴法进行修补。

7.2.2 采用涂刷法修补裂缝施工应符合下列规定：

(a) 涂刷范围宜扩展至裂缝两侧各 5cm~15cm 区域内，并宜向裂缝两端各延伸 10cm~30cm。

(b) 涂层基面应平整，采用界面剂时应采用与涂刷涂层配套的界面剂。

(c) 涂刷涂层时，下一道和上一道涂刷方向应垂直。涂层的厚度和均匀性应符合设计要求和相应产品的规定。涂层颜色应均匀，无鼓包、流淌、针孔、分层和缩孔等缺陷。

(d) 结构转弯处、边缘、阴角、阳角与伸出基层的管道周围等细部处的涂刷，其工艺应进行细化设计。

(e) 应在涂层产品规定的作业环境下进行涂刷施工。

(f) 喷涂施工应采用专用设备。

7.2.3 采用粘贴法修补裂缝施工应符合下列规定：

(a) 粘贴范围宜扩展至裂缝两侧各 10cm~20cm 范围内，并应向裂缝两端各延伸 20cm~40cm。

(b) 范围基面应平整，并应采用与粘贴材料配套的界面剂，均匀涂刷于基面上，待界面剂表干后再粘贴柔性片材。

(c) 柔性片材与基层混凝土应粘贴密实、牢固、平整。

(d) 接头宜采用搭接形式，搭接长度应大于 10cm。搭接处应粘接牢固、密实。

(e) 柔性片材周边与混凝土接触部位宜采用专用止水材料进行封边处理。

(f) 当对柔性片材进行外表面保护时，应按设计要求的保护板材和不锈钢压条、不锈钢螺栓，按规定的孔距、排距进行钻孔安装、固定保护。

7.3 深层与贯穿裂缝的修补

7.3.1 深层和贯穿裂缝的修补宜采用内部灌浆法。灌浆材料可选用化学浆材或水泥浆材。当裂缝宽度小于 0.5mm 时，宜选用化学浆材。水下裂缝灌浆宜采用专用水下灌浆材料，并考虑水流、水深对灌浆工艺的影响。

7.3.2 缝口宽度大于 1mm 的裂缝宜选用先凿槽嵌填，后灌浆的方法。采用凿槽嵌填法施工应符合下列规定：

(a) 骑缝开凿 U 形槽，槽宽、深 5cm~6cm，并向缝的两端各延长 5cm~20cm。

(b) 清洗槽面并自然晾干或烘干后，在内表面涂刷界面剂，分层嵌填刚性材料或柔性材料，表面压实抹光。

7.3.3 内部灌浆法可以和电学方法联合使用，当裂缝宽度小于 1mm 时先利用电化学方法除去聚集在裂缝附近的氯离子，再灌浆修复效果优于单一灌浆处理。

7.3.4 缝口宽度大于 1mm 的锈胀裂缝可选用先凿槽嵌填后电化学修复的方法处理。

7.3.5 采用水泥浆材修补施工应符合下列规定：

(a) 立面上的竖向裂缝或斜缝灌浆应自下而上、由深孔到浅孔依次进行。立面上的水平或近似水平裂缝灌浆应自一端向另一端、由深孔到浅孔依次进行。平面上的裂缝宜选择通畅性最好的孔开灌，同时向两端依次进行。

(b) 当裂缝规模较大时，可采取分区灌浆。分区方法可采取钻孔封堵、间隔灌浆分割等形式。

(c) 灌浆钻孔宜采用回转取芯钻机钻进，钻孔参数应按设计规定执行。设计无明确规定时，可按照 DL/T 5406 计算，并通过现场试验论证选定。

(d) 灌浆孔采用斜孔时，钻孔可布置在裂缝的一侧或两侧，斜孔应穿过缝面与缝面相交，且过缝深度应大于 10cm；灌浆孔采用骑缝孔时，骑缝孔孔深距裂缝底宜小于 40cm。

(e) 水泥浆液水灰比、灌浆压力可按设计规定执行，也可通过现场试验论证选定。

(f) 浆液中掺入外加剂时应通过试验论证，凡能溶于水的外加剂均应以水溶液掺入。

(g) 灌浆准备和特殊情况处理可按照 DL/T 5148 的相关规定执行。

(h) 灌浆结束标准：在最大设计压力下，注入率不大于 0.05L/min 后，继续灌注 20min，可结束灌浆。

7.3.6 裂缝灌浆后，表面封闭可采用涂刷法、粘贴法。

8 混凝土锈胀渗漏处理

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土渗漏处理宜遵循下列原则：

(a) 渗漏处理宜在渗漏早期、无水或低水位情况下进行。

(b) 渗漏处理宜在渗漏迎水面处截堵，并应遵循“上堵下排、堵排结合”的原则。

(c) 当无法在迎水面处截堵或不能降低迎水面水位实施堵漏时，在不影响结构安全的情况下可在背水面堵漏。背水面堵漏应遵循“先排后堵、排堵结合”的原则。

(d) 对于重要部位的渗漏，应执行专项设计并采用综合方法处理。

8.1.2 混凝土渗漏可按照结构形式和几何形状的不同进行分类。

分类与对应的堵漏方法见表 8.1.2。

表 8.1.2 混凝土渗漏分类与处理方法

序号	渗漏分类		渗漏处理方法
1	裂缝与层间缝渗漏	线渗漏	涂刷法、粘贴防渗层法、凿槽嵌填法、灌浆法、引排止漏法等
2	结构缝渗漏		涂刷法、粘贴法、锚固法、凿槽嵌填法、灌浆法、钻孔隔离法、综合法、补灌沥青法等
3	集中渗漏	点渗漏	直接堵漏法、导管堵漏法、灌浆法等
4	散渗漏	面渗漏	涂刷法、粘贴防渗层法、灌浆法等

8.2 裂缝与层间缝渗漏处理

8.2.1 涂刷法与粘贴防渗层法适用于在渗漏水面对裂缝或层间缝缝口进行处理。

8.2.2 凿槽嵌填法适用于在迎水面处对渗漏缝缝口进行嵌填处理。当凿槽嵌填法用于背水面渗漏裂缝处理时，宜先采用临时封堵措施，在槽面干燥的情况下实施。凿槽嵌填法施工应符合下列规定：

(a) 在渗漏迎水面处，沿渗漏裂缝、层间缝骑缝开凿 U 形槽，在缝两端骑缝钻截水孔，清洗干净槽、孔，分层嵌填亲水性柔性材料，并压实抹光。

(b) 对于渗漏溢出点临时封堵应骑缝开凿 U 形槽，清洗干净后，将速凝材料快速堵入槽中，并挤压密实。

(c) 对凿槽嵌填材料有防护要求的应涂抹防护材料，有外观要求的应按要求进行装饰。

8.2.3 采用灌浆法处理裂缝或层间缝渗漏，可在渗漏迎水面处进行灌浆截堵，也可在出水口采取钻孔顶水灌浆封堵。两种处理方法均符合下列规定：

(a) 迎水面灌浆钻孔应采取斜孔布置；灌浆前宜进行有色水压水试验，并计算灌浆单位流量。

(b) 顶水灌浆法钻孔，可骑缝或斜孔布置。灌浆前宜进行有色水压水或试气试验。压水试验压力不应大于最大水头下的静水压力，试气压力不宜超过灌浆压力的 30%。

8.2.4 引排止漏法适用于在渗漏溢出点处处理渗漏的裂缝或层间缝。施工应符合下列规定：

(a) 在缝的一侧或两侧钻斜孔与缝面相交，并穿过缝面 20cm，埋管引排水。

(b) 引排完成后，进行封缝和灌浆。

(c) 灌浆过程中，引排孔与缝面若串通出浆，该孔可兼作灌浆孔灌浆。

(d) 裂缝修补后封闭导水管。

8.3 结构缝渗漏处理

8.3.1 采用涂刷法处理结构缝渗漏应在结构缝缝口表面处进行。施工应符合下列规定：

(a) 对结构缝周边混凝土表面进行打磨、清洗，晾干后涂刷专用界面剂。

(b) 清除缝内杂物及失效的止水材料等，然后嵌填柔性密封材料。

(c) 待界面剂表干后分层涂刷柔性防渗涂料。

(d) 柔性防渗涂料与混凝土搭边之间的收边按图 8.3.1 所示处理，边缘打磨成三角形，边缘深度为 2mm，边沿柔性涂料与混凝土平滑过渡。



图 8.3.1 涂刷法处理结构缝渗漏示意图

1—结构缝；2—混凝土表面；3—柔性防渗涂料；4—柔性密封材料；

5—与混凝土搭接边“接边处打磨深度不小于 2mm”；6—胎基布

(e) 保证柔性防渗涂层宽度不小于 25cm，结构缝中间部位涂层厚度不小于 4mm。

(f) 结构缝中间部位涂层内粘贴一道胎基布。

8.3.2 采用粘贴法处理结构缝渗漏应在缝口表面处进行。根据渗漏情况可选择表面粘贴法或凿槽粘贴法。

8.3.3 采用锚固法处理结构缝渗漏宜在缝口表面处进行。

8.3.4 采用凿槽嵌填法处理结构缝渗漏宜在缝口表层处进行。施工应符合下列规定：

(a) 凿槽可根据嵌填材料的工艺要求和设计规定的嵌堵方案凿成 U 形槽或 T 形槽。对缝宽较小、伸缩变形较大的结构缝，可根据实际情况适当扩大槽宽。

(b) 清除结构缝内杂物及失效的止水材料等，冲洗干净，并使其干燥。

(c) 槽面干燥后涂刷胶粘剂，槽底设隔离棒（条），按要求嵌填柔性材料并与原混凝土面齐平。

(d) 当需要对嵌填材料进行表面封闭保护或有外观要求时，可采取涂刷方法进行。

8.3.5 采用灌浆法处理结构缝渗漏可在缝口表面和背水面进行。

8.4 集中渗漏处理

8.4.1 当水压小于 0.1MPa 时,可采用直接堵漏法和导管堵漏法,堵漏材料应能在潮湿和动水条件下速凝,且凝固时间可调控,并能与孔壁黏结牢固;当水压大于 0.1MPa 时,可采用灌浆堵漏法。

8.4.2 直接堵漏法施工应符合下列规定:

- (a) 把孔壁凿成口大内小的楔形状,并冲洗干净;
- (b) 将速凝材料捻成与孔相近的形状,迅速塞入孔内,堵住漏水。

8.4.3 导管堵漏法施工应符合下列规定:

- (a) 清除漏水孔壁的松动混凝土,凿成适合下管的孔洞;
- (b) 将导管插入孔中,导管四周用速凝材料封堵,凝固后拔出导管;
- (c) 用速凝材料封堵导管孔。

8.4.4 灌浆堵漏法施工应符合下列规定:

- (a) 将漏水孔口扩成喇叭状,并冲洗干净。
- (b) 用速凝材料埋设灌浆管,将漏水从管内导出,用高强砂浆回填管口四周至原混凝土面。
- (c) 高强砂浆强度达到设计要求后,量测出水口处渗漏水头压力并进行有色水压水试验。试验压力宜为该水头压力的 1.2 倍~1.5 倍。
- (d) 压水试验结束即可进行顶水灌浆,灌浆压力不得大于最大水头下的静水压力。在设计灌浆压力下,基本不吸浆或已接近胶凝浆材料凝固时间时,结束灌浆。
- (e) 当渗漏量很大时,可在集中渗漏处的周边一侧钻若干个斜孔与渗漏源相交,并埋管引排。
- (f) 采用直接堵漏法对引排孔进行封堵。

8.5 散渗处理

8.5.1 涂刷法适用于大面积散渗处理,材料宜选用聚合物水泥基涂料、渗透结晶型涂料或高分子材料涂层。施工应符合下列规定:

- (a) 按照涂抹或喷涂的要求对混凝土表面进行处理,清除破损混凝土并冲洗干净。
- (b) 用快速堵漏材料对出渗点进行封堵,使混凝土表面干燥。
- (c) 涂刷范围应大于渗漏区域。
- (d) 当采用水泥基材料时,应在涂层凝固后加强养护。
- (e) 当采用高分子材料涂层时,应按相应产品性能要求进行保护。

8.5.2 粘贴法或锚固法适用于因混凝土防渗等级不足引起的大面积散渗处理,材料可选择三元乙丙橡胶片材、氯丁橡胶片材、聚氯乙烯片材、聚乙烯片材、橡胶布及其他防水材料。

8.5.3 防渗面板法适用于混凝土严重渗漏、抗渗性能差的迎水面散渗处理。面板材料宜选用水泥混凝土或沥青混凝土。施工应符合下列规定:

- (a) 水泥混凝土防渗面板施工应按 DL/T 5144 的规定执行。
- (b) 沥青混凝土防渗面板施工除按 DL/T 5363《水工碾压式沥青混凝土施工规范》的规定执行外,还应符合下列规定:
 - 1) 沥青混凝土防渗面板应满足材料质量要求。沥青混凝土配合比应通过试验确定,并满足防渗性能、流变稳定性能及施工工艺要求。
 - 2) 沥青混凝土防渗面板施工宜采用预制钢筋混凝土模板,并兼做永久防护面板。
 - 3) 防护面板安装前,应清除迎水面污物、松散的浮皮,并凿平和清理凸起部分,回填蜂窝麻面,潮湿迎水面宜用红外线加热器或喷灯烘干。在干燥迎水面喷洒或涂刷阳离子乳化沥青或稀释沥青,

涂量宜为 $0.15\text{kg}/\text{m}^2\sim 0.20\text{kg}/\text{m}^2$ 。阳离子乳化沥青涂刷后在常温下应干燥 12h 以上，稀释沥青涂刷后应干燥 6h 以上。

4) 防护面板应干燥、洁净，安装前在其内侧均匀喷洒或涂刷阳离子乳化沥青或稀释沥青。

5) 沥青混凝土防渗面板临空底面和侧面可用 L 形钢筋混凝土防护面板封闭，护面板底面和侧面一般用固定在坝体上的角钢支撑，也可用螺栓直接将 L 形钢筋混凝土护面板锚固在坝体上。

6) 迎水面的永久横缝宜进行特殊处理，宜凿成 V 形缝槽，其深度和宽度视横缝处混凝土的浇筑质量而定，缝槽内填充沥青基类嵌填材料，表面铺盖土工膜或油毡类材料等。

8.5.4 灌浆法适用于混凝土密实性差或网状深层裂缝产生的散渗处理，灌浆材料可选用水泥浆材或化学浆材。施工应符合下列要求：

(a) 在每一独立的混凝土不密实区应布置不少于 2 个孔径大于 3cm 的取芯检查孔兼灌浆孔，芯样应进行素描。通过该钻孔进行压水或试气试验。

(b) 以压水或试气试验的检查孔为圆心，逐步扩大布置其他灌浆孔。钻孔应采用回转钻钻孔。

(c) 灌前应进行灌浆孔压水或试气试验。当不密实区域有多孔互串时，应采取并联灌浆。

(d) 灌浆方法、灌浆压力与灌浆结束标准等均应按设计规定执行。无规定时应通过现场试验确定。

(e) 灌浆结束后，宜对混凝土表面涂抹防水涂层进行防护。

9 钢筋锈蚀引起的混凝土剥蚀修补

9.1 钢筋锈蚀引起混凝土剥蚀的修补方法包括剥蚀混凝土修补、涂层保护和使用阻锈剂等。

9.2 薄层修补材料宜选用抗渗等级不低于 W12 的水泥砂浆、聚合物水泥砂浆；对遭受严重侵蚀的部位可选用聚合物砂浆、玄武岩纤维砂浆；当修补厚度大于 10cm 时，宜选用抗渗等级不低于 W12 的水泥混凝土、聚合物水泥混凝土、纤维混凝土。

9.3 在有氯离子侵蚀的环境中，水泥混凝土和砂浆必须掺用钢筋阻锈剂，聚合物水泥砂浆及混凝土和聚合物砂浆及混凝土也可掺用阻锈剂。

9.4 钢筋锈蚀引起混凝土剥蚀的修补施工应符合下列规定：

(a) 对碳化引起的钢筋锈蚀，应将保护层全部凿除；对氯离子侵蚀引起的钢筋锈蚀，应凿除受氯离子侵蚀损坏的混凝土。

(b) 对已生锈钢筋进行除锈、涂刷阻锈剂。钢筋截面不满足设计要求时应按设计要求补焊钢筋或植筋。

(c) 混凝土或砂浆养护至设计龄期后表面采用涂层防护。

(d) 位于水位变化区的涂层应具有在干湿交替环境下耐老化的特性。

(e) 涂层与混凝土之间的黏结强度应满足运行的要求。

10 混凝土结构的补强加固

10.1 一般规定

10.1.1 加固方案宜根据结构的安全和耐久性要求、结构的缺陷情况及施工的可行性等制定。加固设计宜考虑结构所处的水上、水下或干湿交替环境，选用耐水、耐腐蚀的加固材料和工艺。

10.1.2 根据加固方案进行加固设计，设计时宜考虑合适的施工方法及合理的构造措施，按照结构上的实际作用情况，进行承载力、正常使用功能等方面的验算。计算分析时宜考虑加固结构实际的受力情况、加固部分应变滞后及加固部分与原结构协同工作的程度等。

10.1.3 保证新增构件和部件与原结构连接可靠，新增截面与原截面黏结牢固，形成整体共同受力。

10.1.4 混凝土建筑物补强加固可采用灌浆法、置换混凝土法、增大截面法、预应力法、粘贴钢板法、粘贴纤维复合材料法、植筋法等，各处理方法的适用范围可按表 10.1.4 的规定执行。

表 10.1.4 结构补强加固方法及适用范围

序号	处理方法	适用范围
1	灌浆法	混凝土结构的裂缝、混凝土内部不密实、混凝土与基础脱空
2	置换混凝土法	低强混凝土
3	增大截面法	混凝土结构的板、梁及柱结构和一般建筑物的加固等
4	预应力法	结构或构件因承载力、刚度及抗裂不足的补强加固，如闸墩、深层或贯穿裂缝、抗滑稳定不足的基础锚固等
5	粘贴钢板法	钢筋混凝土受弯、大偏心受压和受拉构件的加固，如混凝土板、梁及柱；闸墩、隧洞衬砌等
6	粘贴纤维复合材料	钢筋混凝土受弯、轴心受压、大偏心受压和受拉构件的加固，如混凝土板、梁及柱；闸墩、隧洞衬砌等
7	植筋法	钢筋混凝土结构的锚固、新老混凝土之间的连接等

10.2 混凝土内部不密实的处理

10.2.1 混凝土内部不密实宜采用灌浆法处理。灌浆材料可选用水泥浆材或化学浆材。

10.2.2 采用水泥浆材处理混凝土内部不密实时，除按照 DL/T 5148 的规定执行外，还宜符合下列规定：

(a) 在每一独立的混凝土不密实区，布置检查孔不宜少于 2 个，孔径不宜小于 30mm。宜将检查孔作为灌浆孔进行灌浆。

(b) 除检查孔外的其他灌浆孔，钻孔参数应按设计规定执行。

(c) 灌浆前应进行压水或试气试验。压水试验压力宜为 0.2MPa~0.3MPa，试气试验压力宜为 0.1MPa~0.2MPa。

(d) 当不密实区域为串孔时，宜采取并联灌浆；当不密实区域无串孔时，可采取单孔灌浆。

(e) 水泥浆材水灰比应按设计规定执行，设计无规定时可采用 1.0、0.8 和 0.6 三级灌注，也可采用 0.6 或 0.5 一级直接灌注。灌浆结束水灰比宜为 0.6 或 0.5。灌浆压力宜采用 0.2MPa~0.5MPa。在规定的压力下，注入率为 0.05L/min，继续灌注 20min，结束灌浆。

10.2.3 采用化学浆材处理混凝土内部不密实时，灌浆压力应按设计规定执行，设计无规定时宜采用 0.3MPa~0.6MPa。在规定的压力下，注入率为 0.01L/min，继续灌注 5min~10min 可结束灌浆。

10.3 低强混凝土的处理

10.3.1 建筑物结构或构件的低强混凝土可采用增大截面法及粘贴钢板法等加固措施处理，增大截面法及粘贴钢板法可按 10.3.2~10.3.3 的规定执行。

10.3.2 增大截面法

10.3.2.1 当采用增大截面法加固时，被加固的混凝土结构现场实测混凝土强度等级不宜低于 C10。

10.3.2.2 新老混凝土结合面配置足够的剪切摩擦筋，确保结合面有效传力并使新老混凝土整体受力。

10.3.2.3 增大截面法加固用原材料宜满足下列规定：

(a) 加固用水泥应采用强度等级不低于 32.5 级的硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，也可采用强度等级不低于 42.5 级的矿渣硅酸盐水泥或火山灰硅酸盐水泥。

(b) 加固所用混凝土骨料应法定 DL/T 5169《水工混凝土钢筋施工规范》的规定。新浇混凝土强度等级应高于老混凝土强度等级，且不低于 C20。

(c) 钢筋应选用 HPB335 级热轧带肋钢筋或 HPB235 (Q235) 级热轧光圆钢筋，钢筋的质量应符合现行国家标准。

10.3.2.4 加固时的构造要求宜符合下列规定：

(a) 新增混凝土层的厚度，板应不小于 40mm，梁、柱应不小于 60mm，采用喷射混凝土施工应不小于 50mm。

(b) 加固用的钢筋应采用热轧钢筋。板的受力钢筋直径应不小于 8mm，梁的受力钢筋直径应不小于 12mm，柱的受力钢筋直径应不小于 14mm，加锚式箍筋直径应不小于 8mm，U 形箍筋直径应与原箍筋直径一致，分布筋直径应不小于 6mm。

(c) 新增受力钢筋与原受力钢筋的净间距应不小于 20mm，并应采用短筋或箍筋与原钢筋焊接。当新增受力钢筋与原受力钢筋的连接采用短筋焊接时，短筋的直径应不小于 20mm，长度应不小于其直径的 5 倍，各短筋的间距应不大于 500mm，见图 10.3.2.4 (a) 在截面受拉区一侧加固时，应设置 U 形筋，见图 10.3.2.4 (b) U 形箍筋应焊在原有箍筋上，单面焊接长度应为箍筋直径的 10 倍，双面焊接长度应为箍筋直径的 5 倍；当采用混凝土围套加固时，应设置环形箍筋或加锚式箍筋，见图 10.3.2.4 (c)、图 10.3.2.4 (d)。

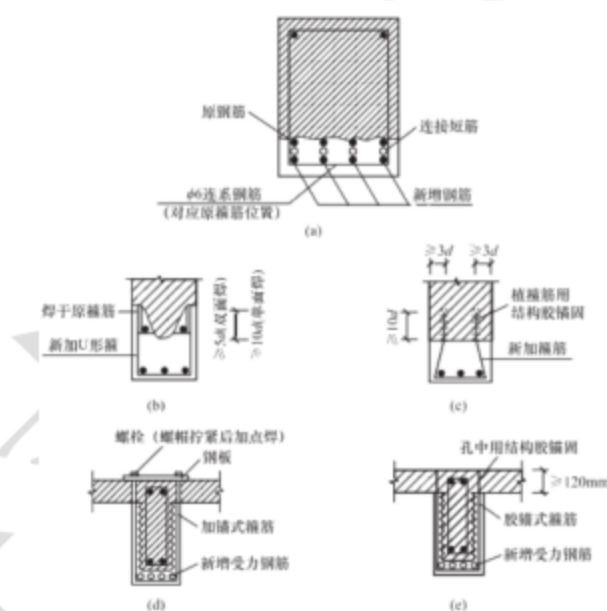


图 10.3.2.4 增大截面配置新增箍筋的连接构造

10.3.2.5 增大截面法加固施工除满足 DL/T 5169 的规定外，还宜满足下列要求：

(a) 对原结构或构件混凝土存在的缺陷应清理至密实部位并对表面进行凿毛与清理干净。

(b) 新老混凝土结合面应涂刷界面剂，一般采用水泥浆界面剂。当用环氧界面剂时，应在其固化之前浇筑混凝土。

(c) 锚筋安装前应清理干净钻孔，锚筋安装宜优先选用先注浆后插筋的方法进行，钻孔直径应比锚筋直径大 15mm 以上；当采用先插筋后注浆的方法时，钻孔直径宜比锚筋直径大 40mm，并保证灌浆充填饱满。

(d) 锚筋的锚固长度应满足 DL/T 5057《水工混凝土结构设计规范》的规定。

10.3.2.6 增加的断面尺寸、混凝土抗压强度抽检结果应满足设计要求。

10.3.3 粘贴钢板加固法

- 10.3.3.1 粘贴钢板法是利用胶粘剂将钢板粘贴在混凝土上，使钢板与混凝土共同受力。
- 10.3.3.2 本法适用于钢筋混凝土受弯、大偏心受压和受拉构件的加固，不适用于素混凝土及纵向受力钢筋配筋率低于 DL/T 5057 规定的最小配筋率构件的加固。
- 10.3.3.3 粘贴钢板加固法可采用直接粘贴钢板或采用灌浆法黏结钢板。
- 10.3.3.4 被加固的混凝土结构现场实测混凝土强度等级不得低于 C15，且混凝土表面的正拉黏结强度不得低于 1.5MPa。
- 10.3.3.5 粘贴钢板部位的混凝土表层含水率不宜大于 4%，且不宜大于 6%。对含水率超过限值的混凝土构件宜进行人工干燥处理或改用亲水性胶粘剂。
- 10.3.3.6 钢板一般选用 Q235 级钢，重要结构宜采用 Q345 级或特种钢。采用直接粘贴法施工时，钢板宜裁成条状，厚度不宜大于 5mm；采用灌浆法黏结时，钢板厚度不宜大于 10mm。
- 10.3.3.7 胶粘剂与混凝土间的黏结强度宜大于混凝土本体强度。粘钢用胶粘剂品质宜满足表 10.3.3.7 的规定。

表 10.3.3.7 粘钢及外粘型钢用胶粘剂品质指标

检测项目		性能指标	
		A 级胶	B 级胶
胶体性质	抗拉强度 (MPa)	≥30	≥25
	受拉弹性模量 (MPa)	≥4.0×10 ⁴	≥3.0×10 ⁴
	伸长率 (%)	≥1.3	
	抗弯强度 (MPa)	≥45	≥35
		且不得呈脆性(碎裂状)破坏	
黏结能力	抗压强度 (MPa)	≥65	
	钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa)	≥15	≥12
	钢-钢不均匀扯离强度 (kN/m)	≥16	≥12
	钢-钢黏结抗拉强度 (MPa)	≥33	≥25
	与混凝土的正拉黏结强度 (MPa)	≥2.5，且为混凝土内聚破坏	
不挥发物含量(固体含量，%)		≥99	

10.3.3.8 粘贴钢板法施工宜满足下列要求：

- (a) 补强加固区域的混凝土表面裂缝应进行化学灌浆处理。
- (b) 去除表面疏松的混凝土，表面打磨平整，清理油污，并冲洗干净。混凝土缺损处用树脂胶或聚合物砂浆修补平整，恢复原状。裸露的钢筋要除锈，并进行防锈处理。
- (c) 粘贴钢板表面应彻底清除锈斑、氧化层、灰尘及油污，达到一级清理标准，并对加固完成后钢板表面进行防腐处理，防腐材料对钢板及胶粘剂应无害。

10.3.3.9 采用粘贴钢板对钢筋混凝土结构进行加固时，应采取卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

10.3.3.10 粘贴钢板加固法宜对黏结效果进行以下检查：

- (a) 采用现场拉拔试验，检测胶粘剂的黏结强度应满足 C.2.7 要求。
- (b) 钢板与混凝土的黏结质量可采用敲击钢板的方法或其他有效方法进行检查，粘贴钢板空鼓率不应大于 5%。

10.3.3.11 大体积低强混凝土可采用置换混凝土法处理，处理时宜采用具有微膨胀变形的混凝土，并采取保证新老混凝土形成整体，共同受力。

10.4 结构加固

10.4.1 受弯和受压结构强度或刚度不满足要求的可采用预应力法、增大截面法、粘贴钢板法及粘贴纤维复合材料法加固，按 9.3.2、9.3.3、9.4.2 的规定执行。

10.4.2 粘贴纤维复合材料法

10.4.2.1 粘贴纤维复合材料法适用于受弯、轴心受压、大偏心受压及受拉构件的加固，不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋配筋率低于 DL/T 5057 规定的最小配筋率的构件加固。

10.4.2.2 在梁、板构件的受拉区粘贴纤维复合材料进行受弯加固，纤维方向与加固处的受拉方向一致；采用封闭式粘贴、U 形粘贴或侧面粘贴对梁、柱构件进行受剪加固，纤维方向宜与构件轴向垂直；采用封闭式粘贴对柱进行抗震加固，纤维方向与柱轴向垂直。

10.4.2.3 被加固的混凝土结构或构件的实测混凝土强度等级不得低于 C15，且混凝土表面的正拉黏结强度不得低于 1.5MPa。

10.4.2.4 粘贴在混凝土表面的纤维复合材料，不得直接暴露于阳光或有害介质中，其表面宜进行防护处理。表面防护材料对纤维及胶粘剂无腐蚀作用，且与胶粘剂有可靠的黏结强度及相互协调变形性能。

10.4.2.5 纤维复合材料用的纤维宜为连续纤维，宜选用聚丙烯腈基（PAN 基）12K 或 12K 以下的小丝束纤维，不得使用大丝束纤维；或宜选用高强度的 S 玻璃纤维或含碳量低于 0.8% 的 E 玻璃纤维，严禁使用 A 玻璃纤维或 C 玻璃纤维。

10.4.2.6 结构加固用纤维复合材料的主要物理力学性能指标宜满足表 10.4.2.6-1 与表 10.4.2.6-2 的要求。

表 10.4.2.6-1 玻璃纤维单向织物复合材料的主要物理力学性能指标

类别	抗拉强度标准值 (MPa)	受拉弹性模量 (MPa)	伸长率 (%)	弯曲强度 (MPa)	仰贴条件下纤维复合材料与混凝土正拉黏结强度 (MPa)	单位面积质量 (g/m^2)	层间剪切强度 (MPa)
S 玻璃	≥ 2200	$\geq 1.0 \times 10^5$	≥ 2.5	≥ 600	≥ 2.5 ，且为混凝土内聚破坏	≤ 450	≥ 40
E 玻璃	≥ 1500	$\geq 7.2 \times 10^4$	≥ 2.0	≥ 500		≤ 450	≥ 35

表 10.4.2.6-2 碳纤维复合材料的主要物理力学性能指标

检测项目	单向织物（布）		条形板	
	高强度级	高强度级	高强度级	高强度级
抗拉强度标准值 (MPa)	≥ 3400	≥ 3000	≥ 2400	≥ 2000
受拉弹性模量 (MPa)	$\geq 2.4 \times 10^5$	$\geq 2.1 \times 10^5$	$\geq 1.6 \times 10^5$	$\geq 1.4 \times 10^5$
伸长率 (%)	≥ 1.7	≥ 1.5	≥ 1.7	≥ 1.5
弯曲强度 (MPa)	≥ 700	≥ 600	—	—
层间剪切强度 (MPa)	≥ 45	≥ 35	≥ 50	≥ 40
仰贴条件下纤维复	≥ 2.5 ，且为混凝土内聚破坏			

合材与混凝土正拉黏结强度 (MPa)				
纤维体积含量 (%)	—	—	≥65	≥55
单位面积质量 (g/m ²)	≤300	≤300	—	—

注：纤维复合材抗拉强度标准值宜根据置信水平 $C=0.90$ 、保证率 0.95 的要求确定。

10.4.2.7 使用纤维复合材或板材，当它与其他改性环氧胶粘剂配套使用时，必须对抗拉强度标准值、仰贴条件下纤维复合材与混凝土正拉黏结强度及层间剪切强度重新进行检验，检验结果必须满足表 10.4.2.6-1 与表 10.4.2.6-2 的规定。

10.4.2.8 承重结构的现场粘贴加固，不得使用单位面积质量大于 300g/m² 的碳纤维织物或预浸法生产的碳纤维织物。

10.4.2.9 浸渍、粘贴纤维复合材的胶粘剂宜采用专门配制的改性环氧树脂胶粘剂，其基本性能宜满足表 10.4.2.9 的要求。对重要结构、悬挑结构、承受动力作用的结构或构件，宜采用 A 级胶；对一般结构或构件可采用 A 级或 B 级胶。承重结构加固工程中不得使用不饱和聚酯树脂、醇酸树脂等作浸渍、粘贴胶粘剂。

表 10.4.2.9 纤维复合材粘贴用胶粘剂性能指标

检测项目	性能指标	
	A 级胶	B 级胶
抗拉强度 (MPa)	≥40	≥30
受拉涂弹性模量 (MPa)	≥2500	≥1500
伸长率 (%)	≥1.5	
抗弯强度 (MPa)	≥50	≥40
	且不得呈脆性（碎裂状）破损	
抗压强度 (MPa)	70	
与混凝土的正拉黏结强度 (MPa)	≥2.5，且为混凝土内聚破坏	
不挥发物含量（固体含量%）	≥99	

注：1 B 级胶不得用于粘贴板材；

2 表中性能指标为均值；

3 当板材为仰面或立面粘贴时，所使用的胶粘剂的下垂度（40 时）不宜大于 3mm。

10.4.2.10 底胶和修补胶宜与浸渍、粘贴胶粘剂相适配，其性能宜分别符合表 10.4.2.10-1 和表 10.4.2.10-2 的要求。

表 10.4.2.10-1 底胶的主要性能指标

检测项目	性能指标	
钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa)	与 A 级胶匹配：≥14	与 B 级胶匹配：≥10
与混凝土的正拉黏结强度 (MPa)	≥2.5，且为混凝土内聚破坏	
不挥发物含量（固含量，%）	≥99	
混合后初黏度（23，MPa·s）	≤6000	

注：表中的性能指标除标有强度标准值外，均为平均值。

表 10.4.2.10-2 修补胶的主要性能指标

检测项目	性能指标
------	------

胶体抗拉强度 (MPa)	≥30
胶体抗弯强度 (MPa)	≥40, 且不得呈脆性(破坏状)破坏
与混凝土的正拉粘结强度 (MPa)	≥2.5, 且为混凝土内聚破坏

10.4.2.11 粘贴纤维复合材料法施工宜按下列字进行:

- (a) 施工准备;
- (b) 混凝土表面处理;
- (c) 配置并涂刷底胶;
- (d) 配置修补胶并对不平整处进行找平处理;
- (e) 配置并涂刷环氧树脂胶粘剂;
- (f) 粘贴纤维复合材料;
- (g) 表面防护。

10.4.2.12 施工环境温度宜符合结构胶粘剂的使用条件, 施工环境温度低于 5℃时, 宜采用适用于低温环境施工的胶粘剂或采取升温措施。施工时宜考虑环境相对湿度对胶粘剂固化的不利影响。

10.4.2.13 采用纤维复合材料对结构进行加固施工时, 宜采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。为保证纤维片材可靠地与混凝土共同工作, 必要时宜采取附加锚固措施。

10.4.2.14 混凝土表面处理宜符合下列要求:

(a) 清除构件表面剥落、疏松、蜂窝、腐蚀等劣质混凝土, 露出坚固混凝土面, 并将表面修补平整。混凝土表面宜清刷干净和保持干燥, 有较大裂缝时宜做灌浆处理。

(b) 将粘贴部位的混凝土表面打磨平整, 除去表面粉尘、油污等杂质, 并用清水冲洗干净, 转角粘贴处进行倒角处理, 圆弧半径不小于 20mm。

10.4.2.15 底胶宜均匀涂抹于混凝土表面, 宜在底胶表面指触干燥后, 尽快进行找平处理。

10.4.2.16 采用修补胶对混凝土表面凹陷部位进行找平, 不宜有棱角。宜在找平材料表面指触干燥后, 尽快粘贴纤维复合材料。

10.4.2.17 宜按下列步骤和要求粘贴纤维布;

- (a) 应按设计要求的尺寸裁剪纤维布;
- (b) 配制浸渍树脂, 并均匀涂抹于粘贴部位;
- (c) 将纤维布用手轻压贴于需粘贴的位置, 采用专用的滚筒顺纤维方向多次滚压, 挤除气泡, 使浸渍树脂充分浸透纤维布, 滚压时不得损伤碳纤维布;
- (d) 多层粘贴时应重复上述步骤, 并宜在纤维表面的浸渍树脂接触干燥后尽快进行下一层粘贴;
- (e) 应在最后一层纤维布的表面均匀涂抹浸渍树脂。

10.4.2.18 施工结束后, 日平均气温低于 10℃时, 宜干燥养护 14d; 日平均气温在 10~20℃时, 宜干燥养护 7d~14d; 日平均气温高于 20℃时, 宜干燥养护 7d。在此期间宜防止纤维片材受到硬性冲击。

10.4.2.19 质量控制与检查

- (a) 纤维复合片材与胶粘剂品质抽检结果宜满足工程要求;
- (b) 采用现场拉拔试验, 检测粘贴纤维复合材料与混凝土之间的黏结强度均宜满足设计要求;
- (c) 纤维片材与混凝土的黏结质量可采用敲击方法或其他有效方法进行检查, 粘贴纤维材料空鼓率不宜大于 5%。

10.4.2.20 受拉结构的补强加固可采用预应力法、粘贴钢板法、粘贴纤维复合材料法及植筋法。植筋法加固可按 10.4.3 的规定执行。

10.4.3 植筋法

10.4.3.1 植筋技术适用于钢筋混凝土结构的锚固，不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋配筋率低于最小配筋率规定的构件锚固。

10.4.3.2 采用植筋技术时，原结构或构件的混凝土强度等级宜按现场检测结果确定。当新增构件为悬挑结构构件时，其原构件混凝土强度等级不得低于 C25；当新增构件为其他结构构件时，其原构件混凝土强度等级不得低于 C15。

10.4.3.3 采用植筋锚固时，其锚固部位的原构件混凝土不得有局部缺陷。若有局部缺陷，宜先进行补强或加固处理后再植筋。

10.4.3.4 植筋用的钢筋宜优先选用 HRB335 级热轧带肋钢筋，不得使用光圆钢筋。当有工程经验时，也可使用 HRB400 级或 HRB400 级的热轧带肋钢筋。

10.4.3.5 当采用进口带肋钢筋时，除宜按现行专门规程检验其性能外，还宜要求其相对肋面积 A_r 符合 $0.055 \leq A_r < 0.08$ 的规定。

10.4.3.6 植筋用的胶粘剂宜采用改性环氧类或改性乙烯基酯类（包括改性氨基甲酸酯）的胶粘剂。当植筋的直径大于 22mm 时，宜采用 A 级胶。锚固用胶粘剂的力学性能指标宜符合表 10.4.3.6 的规定。

表 10.4.3.6 锚固用胶粘剂的力学性能指标

性能项目		性能要求		
		A 级胶	B 级胶	
胶体性能	劈裂抗拉强度 (MPa)	≥ 8.5	≥ 700	
	抗弯强度 (MPa)	≥ 50	≥ 40	
	抗压强度 (MPa)	≥ 60		
黏结能力	钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa)	≥ 16	≥ 13	
	约束拉拔条件下带肋钢筋与混凝土的黏结强度 (MPa)	C30 $\Phi 25$ 长度为 150mm	≥ 11.0	≥ 8.5
		C30 $\Phi 25$ 长度为 150mm	≥ 17.0	≥ 14.0
不挥发物含量 (固体含量, %)		≥ 99		

注：表中各项性能指标，除有强度标准值外，均为平均值。

10.4.3.7 当按构造要求植筋时，其最小锚固长度 l_{\min} 宜符合下列要求：

(a) 受拉钢筋锚固： $\max\{0.3l_s; 10d; 100\text{mm}\}$ 。

(b) 受压钢筋锚固： $\max\{0.63l_s; 10d; 100\text{mm}\}$ 。

注：对悬挑结构或构件宜乘以 d 的修正系数。 l_s 为锚固深度。

10.4.3.8 植筋时钢筋宜先焊后植；若有困难而必须后焊，其焊点距基材混凝土表面宜大于 $15d$ ，且宜采用冰水浸渍的湿毛巾包裹植筋的根部。

10.4.3.9 质量检查。植筋锚固深度及拉拔强度宜满足设计要求。

10.4.3.10 深层裂缝和贯穿性裂缝的补强加固可采用灌浆法、粘贴钢板法及粘贴纤维复合材料。

10.4.3.11 当结构的抗剪强度或沿某一缝面或建基面的抗滑稳定不满足要求时，宜采用预应力法加固。

11 水下混凝土结构修补加固

11.1 一般规定

11.1.1 修复加固工程设计之前,宜对缺陷部位进行水下检查,水下检查宜编写检查大纲,查明缺陷位置、成因、范围和损伤程度,以及水流流速、水温、水质和水深等水工环境因素。

11.1.2 修复加固工程水下施工之前,宜对缺陷部位、状态进行水下复查,验证修补设计的合理性。

11.1.3 水下施工组织设计的内容宜包括水下施工作业方法、安全措施、环境保护和应急预案措施。

11.1.4 水下修补施工宜在水温 5~25℃、风力小于 6 级、浪高小于 1.5m、流速小于 0.5m/s 的环境下进行。水下修复加固施工宜有潜水员配合作业。

11.1.5 水下修复加固可采用潜水法、水下机器人法 (ROV)、封堵门法和钢围堰法等方法。

11.1.6 潜水作业安全宜按《空气潜水安全要求》GB 26123 执行,潜水员水下用电宜按《潜水员水下用电安全规程》GB 16636 执行,空气潜水减压技术宜按《空气潜水减压技术要求》GB/T 1252 执行,并宜携带水下照明、摄像、录像和通信设备,全程监控。

11.2 水下修复加固专项技术

11.2.1 水下修复加固技术包括水下灌浆、水下浇筑、水下钢结构切割等。

11.2.2 水下修复加固技术包括水下清理、水下切割凿除、水下钻孔、水下锚固、水下铺贴、水下灌浆、水下浇筑、水下清淤、水下爆破、水下钢结构切割和焊接等。

11.2.3 水下清理技术适用于清除水下混凝土建筑物表面的淤积物、附着物和水生物等,宜符合下列规定:

(a) 水下清理可使用高压水枪冲洗或其他旋转打磨工具作业。

(b) 使用高压水枪作业时,必须在确认潜水员处于安全位置且脐带、电缆和其他下行管线没有缠绕的情况下方可对水枪供应高压水。

(c) 水下高压水射流作业宜按《潜水员高压水射流作业安全规程》GB 20826 执行。

11.2.4 水下切割凿除技术适用于水下混凝土或岩石等坚硬物质的破碎清除,宜符合下列规定:

(a) 宜使用水下风镐、水下液压镐、水下液压链锯、水下液压墙锯以及水下液压绳锯等设备。

(b) 作业时能见度应保证潜水员看清周边环境,以防潜水员身体和潜水装具、设备和管线受到伤害。

(c) 切割密度设计应与凿除有效范围匹配。

(d) 水工混凝土岩石基础水下开挖按 DL/T 5389《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》执行。

11.2.5 水下钻孔技术适用于对混凝土或岩石等钻垂直孔、斜孔和水平孔等,宜符合下列规定:

(a) 宜使用水下风钻、液压钻、机钻等设备。

(b) 钻孔过程应进行水下监控,长时间不进钻时应提钻检查。

11.2.6 水下锚固技术可采用锚筋锚固、锚栓锚固和射钉锚固等方法,宜符合下列规定:

(a) 锚筋锚固适用于各种水下锚固作业。锚栓锚固宜选用不锈钢膨胀螺栓锚固,主要用于水下铺贴固定。射钉锚固常用于水下临时性锚固。

(b) 锚固剂宜选用水下聚合物或水下环氧树脂类材料。

(c) 锚固剂注入可采用容器倾倒法、注射器法、药卷法等,注入前应清洗锚孔,锚固剂注入后,凝固达到设计强度后方可受力。

11.2.7 水下铺贴技术宜符合下列规定:

(a) 铺贴材料可选用卷材、片材等,使用柔性铺贴材料宜在表面涂刷界面剂。

- (b) 铺贴作业前应清洗铺贴表面，施工顺序宜从上到下，应尽量挤出结合面的水和气泡。
- (c) 材料搭接长度不应小于 10cm，搭接处应涂刷水下密封剂并及时锚固。

11.2.8 水下灌浆技术适用于水下裂缝、渗漏和结构缝的处理，除宜参照 DL/T 5148 和 DL/T 5406 执行外，还宜符合下列规定：

- (a) 灌浆压力应考虑水深的影响。
- (b) 灌浆过程应进行水下监控和检查。

11.2.9 水下混凝土浇筑技术可采用导管法、吊罐法和泵送法等宜符合下列规定：

(a) 导管法浇筑水下混凝土应采用埋管法施工，埋管深度宜大于 30cm，防止导管返流窜水。导管内径不宜小于粗骨料粒径的 8 倍或 20cm，浇筑过程中应防止导管堵塞或骨料离析。

(b) 吊罐法适用于小方量水下浇筑。采用吊罐法浇筑水下混凝土时，吊罐出料口距浇筑面高度应尽量小，最大不宜超过 50cm。

(c) 泵送法适用于大方量水下浇筑，泵送混凝土施工应按照《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 执行。

(d) 在水下养护过程中，为防止胶结材料流失和冲刷可采取覆盖卷材及压盖钢板等措施。

(e) 水下模板拆除应按照《水电水利工程模板施工规范》DL/T 5110 执行。有水流影响时，拆模时间可根据水下混凝土工程具体情况确定。

11.2.10 水下清淤技术可采用气举法、泵吸法、抓吊法、水流冲淤法和起浮法等。水下清淤宜有潜水员配合检查，注意排淤方向等避免回淤。

11.2.11 水下氧弧切割与水下湿法焊接宜按照《焊接与切割安全》GB 9448 规定执行。

11.3 水下缺陷的处理方法

11.3.1 粘贴法（见图 10.3.1-1）、凿槽嵌填法（见图 11.3.1-2、图 11.3.1-3）、灌浆法（见图 11.3.1-4）等适用于混凝土结构迎水面裂缝的水下处理。除按水上混凝土裂缝修补规定执行外，还宜符合下列要求：

(a) 采用粘贴法处理时应先清理裂缝表面，再涂刷水下粘结剂，涂刷时应均匀满涂，裂缝一侧最小覆盖宽度不宜小于 10cm。

- (b) 水下开槽如有渗漏应进行临时封堵。
- (c) 锚固螺栓穿过防水结构时应做密封处理。

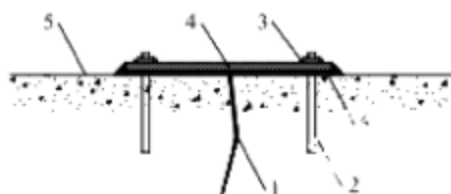


图 11.3.1-1 粘贴法示意图

- 1—裂缝；2—不锈钢锚固螺栓；3—不锈钢压条；4—柔性片材；
- 5—混凝土面；6—水下粘结剂

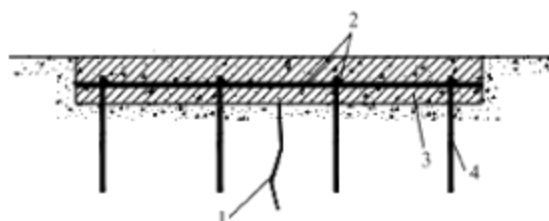


图 11.3.1-2 刚性凿槽嵌填法示意图

1—裂缝；2—钢筋网；3—水下混凝土 4—锚筋

11.3.2 粘贴法、凿槽嵌填法、灌浆法、防渗面板法等适用于混凝土结构迎水面渗漏的水下处理。

11.3.3 填充法、填充锚固法等适用于磨蚀或空蚀引起的混凝土剥蚀缺陷的处理。除按水上混凝土剥蚀修补规定执行外，还宜符合下列要求：

(a) 不满足浇筑厚度要求时，应切割、凿深至达到要求，切割面与混凝土表面宜接近垂直且不形成反坡。

(b) 原有的钢筋应尽量保留，锈蚀的部位应做除锈处理，缺失的部分应按原设计标准恢复或加强。

(c) 使用水下不分散混凝土（砂浆）时，浇筑层厚度不应小于 8cm，强度等级不宜低于 C25；使用环氧/其他聚合物混凝土（砂浆）时，浇筑层厚度不应小于 5cm，强度等级不宜低于 C35。

(d) 水泥可采用普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥或硫铝酸盐水泥，其强度等级不应低于 42.5。

(e) 水下环氧/其他聚合物混凝土骨料应满足设计要求，可添加硅粉、纤维、铸石等材料以提高其抗冲耐磨性。

11.4 水下质量检查

11.4.1 质量检查宜采用潜水员目视、探摸、摄像或专用水下仪器设备检测等方式进行，同时全程监控检查。

11.4.2 宜及时对水下原位取样的部位进行复原修复。

11.4.3 水下质量检查除提交文字报告外，还宜提交水下录像检查资料。

附录 A
(资料性)
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：

(a) 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。

(b) 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。

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

(d) 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。

(e) 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：

(a) 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。

(b) 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：

(a) 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；

(b) 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）之间不得存在短路现象；

(c) 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	双向电渗
通电时间	在防腐蚀期间持续通电	约 8 周	100h~200h	钢筋附件阻锈剂达到要求浓度
电流密度 (A/m ²)	0.001~0.05	1~2	1~2	1~2
通电电压 (V)	<15	5~50	5~50	根据处理单元面积
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	添加电迁型阻锈剂的 Ca(OH) ₂ 饱和溶液
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	测定混凝土的氯离子含量、阻锈剂浓度和钢筋电位
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	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:

(a) 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;

(b) 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：

- (a) 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；
- (b) 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；
- (c) 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；
- (d) 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：

- (a) 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小于 100mV 。
- (b) 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。
- (c) 电化学再碱化处理后，混凝土 pH 值应大于 11。

附录 B
(资料性)
常用混凝土修补材料

常用修补材料见表 A。

表 A 常用修补材料

分类	名称	主要用途	适用环境
水泥砂浆、聚合物水泥砂浆及混凝土	干硬性预缩水泥砂浆	嵌填混凝土裂缝或用作小面积混凝土剥蚀修补	水上区、大气区
	水泥防水砂浆	混凝土结构表面防水处理	水上区、水位变动区(表面干燥施工)
	补偿收缩水泥砂浆	混凝土表面剥蚀薄层修补	水上区、大气区
	丙乳胶乳水泥砂浆	混凝土裂缝嵌填、混凝土结构表面防水处理,混凝土薄层剥蚀修补和钢筋混凝土结构表面防护处理	水上区、水位变动区
	氯丁胶乳水泥砂浆		水上区、水位变动区
	环氧乳液水泥砂浆		水上区、水位变动区
	高强水泥石英砂浆	含悬移质高速水流对混凝土磨损破坏的修补	水上区、水位变动区、水下区(需做施工围挡)
	高强硅粉铸石混凝土(砂浆)	磨损破坏的修补	水上区、水位变动区、水下区(需做施工围挡)
	硅粉(钢纤维)抗冲磨混凝土	磨损气蚀破坏的修补	水上区、水位变动区
	高强耐磨粉煤灰混凝土(砂浆)	磨损破坏的修补	水上区、水位变动区
	高强硅粉铁矿石骨料混凝土(砂浆)	推移质冲磨破坏的修补	水上区、水位变动区、水下区(需做施工围挡)
	钢板和钢轨间嵌填混凝土		
	高抗冻性混凝土	冻融破坏的修补加固	水上区、水位变动区
	喷射混凝土(砂浆)	混凝土结构的修补、加固和防渗漏处理	水上区
	流态泵送混凝土	混凝土结构的修补加固	水上区
预填骨料压浆混凝土	水上区、水下区(专用设备)		
聚合物砂浆及混凝土	高弹性抗冲磨砂浆	有推移质情况下泄洪建筑物混凝土表面抗冲磨防护、伸缩缝内部嵌填、裂缝表面开槽嵌填	水上区、水位变动区
	高韧性环氧砂浆	泄洪建筑物混凝土表面抗冲磨防护	水上区、水位变动区
	改性环氧砂浆		水上区、水位变动区
	普通环氧砂浆		水上区
	低温环氧砂浆	混凝土裂缝嵌填、混凝土薄层剥蚀修补和防护	水上区
	弹性环氧砂浆		水上区、水位变动区
	潮湿或水下环氧砂浆	水下混凝土薄层剥蚀修补	水下区、水位变动区

	水下聚酯树脂砂浆		水下区、水位变动区
	沥青混凝土	迎水面的散渗处理	水上区（需防护层）
	水下聚酯树脂混凝土	水下混凝土剥蚀修补	水下区
	水下环氧树脂混凝土		水下区
灌浆材料	水溶性聚氨酯浆材	混凝土裂缝、孔洞的堵漏和补强	水上区、水下区（适用于动水堵漏）
	改性聚氨酯浆材		水上区、水下区（适用于动水堵漏）
	丙烯酰胺（丙凝）浆材	混凝土蜂窝孔洞和裂缝的堵漏处理	水上区、水下区（适用于细微裂缝防渗）
	油性聚氨酯灌浆材料	混凝土裂缝、孔洞的堵漏处理和补强	水上区
	水泥（超细水泥）浆材	混凝土裂缝、蜂窝孔洞的浆补强加固和防渗处理；若有堵漏要求亦可加入水玻璃、丙凝、水溶性聚氨酯等	水上区、水下区（适用于静水或低压环境）
	环氧树脂灌浆材料	混凝土裂缝的补强加固和防渗处理	水上区
	甲凝灌浆材料	混凝土细微裂缝的补强和防渗处理	水上区
混凝土表面防护材料	双组分喷涂聚脲	混凝土表面防渗、防冻融、防腐及防碳化	水上区、水位变动区
	双组分涂刷聚脲	混凝土表面防渗、防冻融、防腐及防碳化，裂缝及伸缩缝表面封闭	水上区
	单组分涂刷聚脲	混凝土表面防渗、抗冲磨、防冻融、防腐及防碳化，裂缝及伸缩缝表面封闭	水上区、水位变动区
	聚氨酯涂料	混凝土表面防渗及防碳化，裂缝及伸缩缝表面止水	水上区
	丙烯酸酯共聚乳液涂料	混凝土表面柔性防碳化	水上区
	乙烯 醋酸乙烯共聚乳液涂料		水上区
	高韧性环氧树脂涂料	泄洪建筑物混凝土表面防冲磨、混凝土迎水面防渗	水上区、水位变动区
	混凝土结构防腐防渗涂料	混凝土表面柔性防渗、防腐及防碳化	水上区
	水泥基渗透结晶型粉料	水下混凝土表面刚性防渗	水下区、水位变动区
	硅烷防腐剂	混凝土表面刚性防水、防腐、防碳化	水上区
通用型水泥基渗透结晶型防水	混凝土表面刚性防渗、抗冲磨	水上区、水位变动区	

	涂料	及防碳化	
	环氧类防渗涂料		水上区
	单组分聚氨酯防水涂料		水上区
	双组分聚氨酯防水涂料		水上区
	暴露型单组分防水涂料		水上区
	合成橡胶		水上区、水位变动区
	橡胶沥青		水上区
嵌缝密封材料	其他柔性防护涂料	水上区	
	沥青类塑性填料止水材料	水上区	
	橡胶类塑性填料止水材料	水上区、水位变动区	
	硅酮密封胶	水上区	
	聚氨酯嵌缝材料	水上区、水位变动区	
	丁基密封腻子	水上区	
	遇水膨胀橡胶止水材料	水下区、水位变动区（最佳）	
	自粘性橡胶密封带	水上区	
	高弹性聚脲砂浆	水上区、水位变动区	
	聚硫密封膏	水上区	
	橡胶改性沥青嵌缝油膏	水上区	
聚氯乙烯防渗胶泥	水上区		
快速堵漏止水材料	水泥快速堵漏剂	快速封堵混凝土孔洞和裂缝的渗漏	水上区、水下区（需根据产品说明）
	水玻璃或水泥水玻璃浆材	地下混凝土结构或大体积混凝土连通蜂窝孔洞和裂缝（缝宽大于0.5mm）的漏水处理和补强	水上区、水下区（适用于动水堵漏）
防水片材	三元乙丙橡胶片材	伸缩缝、裂缝的防渗处理，迎水面的散渗处理	水上区、水下区（需可靠锚固）
	三元乙丙复合柔性板		水上区、水下区（需可靠锚固）
	氯丁橡胶片材		水上区、水下区（需可靠锚固）
	橡塑止水带		水上区、水下区（预埋式）
	硫化橡胶卷材		水上区、水下区（需可靠锚固）
	非硫化橡胶卷材		水上区、水下区（需可靠锚固）
	聚氯乙烯卷材		水上区、水下区（需可靠锚固）
	聚乙烯片材		水上区、水下区（需可靠锚固）
	橡胶布		水上区、水下区（需可靠锚固）
其他材料	单氟磷酸盐钢筋阻锈剂	修补由氯离子侵蚀引发的钢筋锈蚀破坏	水上区（迁移型可适用于潮湿基面）
	烷氧基类钢筋阻锈剂		水上区（迁移型可适用于潮湿基面）

	氨基类钢筋阻锈剂		水上区（迁移型可适用于潮湿基面）
	水溶性环氧界面处理剂	提高新老混凝土的界面黏结强度	水上区、潮湿基面
	乳胶类界面处理剂		水上区、潮湿基面
	快速堵漏剂	临时快速堵漏	水上区、水下区
	药卷式锚杆锚固剂	快速锚固、新老混凝土间的锚固	水上区、水下区（需使用水下专用型）
	早强锚固剂		水上区
	环氧锚固剂		水上区