

ICS 93.160

P 55

团 体 标 准

T/CDSA 600.2-2021

水工建筑物水下缺陷修复加固技术要求

(Specifications for rehabilitation and reinforcement of
underwater defects in hydraulic structures)

2021-12-27 发布

2022-01-01 实施

中国潜水打捞行业协会 发布

目 次

前 言.....	1
1 范围.....	2
2 规范性引用文件.....	2
3 术语和定义.....	2
4 一般要求.....	3
5 混凝土缺陷水下修复与加固.....	5
6 金属结构水下修复与加固.....	12
附录 A（规范性附录） 电化学保护材料.....	15
参考文献.....	16

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本标准由中国潜水打捞行业协会提出。

本标准由中国潜水打捞行业协会归口。

本标准起草单位：浙江华东建设工程有限公司、杭州华能安全科技股份有限公司、长江勘测规划设计研究有限责任公司。

本标准起草人：吴启民、吴方旻、林忠华、叶谦、卢建华、彭伟、孔令浩、田金章、高浩等。

水工建筑物水下缺陷修复加固技术要求

1 范围

本标准规定了水库大坝的已建和在建水工建筑物水下缺陷修复与加固的技术要求。

本标准适用于已建和在建水工建筑物水下缺陷修复与加固。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 50300 《建筑工程施工质量验收统一标准》

JC/T 2041 《聚氨酯灌浆材料》

JTS 311-2011 《港口水工建筑物修补加固技术规范》

JTJ 302 《港口水工建筑物检测与评估技术规范》

3 术语和定义

3.1

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处理。

3.2

耐久性加固 durability reinforcement

使混凝土结构耐久性能达到期望水平的处理。

3.3

冻融剥蚀 freeze thaw erosion damage

指混凝土结构表面发生麻面、漏石、起皮松软和剥落等老化病害。

3.4

钢筋阻锈 corrosion inhibitor for reinforcement bar

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

3.5

混凝土防护面层 concrete surface coating

涂刷或喷涂覆盖在混凝土表面并与其粘接牢固的防护材料。

3.6

水下界面剂 *underwater interfacial bonding material*

用于混凝土水下修复区域界面处增强相互粘接强度的材料。

4 一般要求

4.1 水工建筑物水下结构在下列情况下应进行修复与加固

- a) 结构出现耐久性损伤；
- b) 耐久性评定不满足结构要求；
- c) 达到设计使用年限拟继续使用的，经评估需要时。

4.2 水工建筑物在下列情况下宜进行修复与加固

- a) 使用年限较长的结构或对结构耐久性要求较高的重要建筑物出现结构缺陷时；
- b) 结构进行维修改造、改建或用途及使用环境改变时。

4.3 水工建筑物水下缺陷修复与加固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：

- a) 耐久性调查、检测与评定；
- b) 修复与加固设计；
- c) 修复与加固施工；
- d) 检验与验收。

4.4 耐久性调查、检测与评定应按照下列规定进行

4.4.1 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。

- a) 使用环境、建筑物使用历史及维修改造情况；
- b) 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；
- c) 施工情况调查，如混凝土原材料、配合比、养护方及钢筋有关试验记录等；
- d) 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；混凝土表面水生物附着状体、有无淤填等；
- e) 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、氯离子含量、碳化深度、钢筋锈蚀状况、碱骨料反应。

f) 金属结构质量调查与检测,包括金属结构外观锈蚀发生的位置、面积和分布情况、金属结构表面集中锈蚀、点蚀或穿孔情况、外力作用引起的损伤情况、金属结构厚度检测等。

4.4.2 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 GB/T 50476 的规定,金属结构的等级划分应符合现行行业标准 JTJ 302 的规定。

4.5 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。

- a) 目的、范围;
- b) 设计依据;
- c) 修复与防护方案或图纸;
- d) 材料性能及要求;
- e) 施工工艺要求;
- f) 检验及验收要求。

4.6 修复与防护施工

应制定严格的施工方案。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。

4.7 检验与验收应符合下列规定

4.7.1 质量检验宜包括材料检验和实体验收

- a) 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。
- b) 实体验收:对重要结构、重要部位、关键工序,可在施工现场进行实体验收。

4.7.2 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。

a) 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。

b) 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。

c) 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。

5 混凝土缺陷水下修复与加固

5.1 混凝土裂缝及结构缝水下修复与加固

5.1.1 一般规定

5.1.1.1 裂缝及结构缝修补应对缺陷进行调查与检测，内容包括水深、水质条件、裂缝宽度、深度、裂缝状态及特征、裂缝所处环境、裂缝是否稳定、裂缝渗漏量估算、产生裂缝及结构缝失效的原因，并根据调查结果确定裂缝修补方法。修补方法分为水下表面封闭法、水下灌浆法、填充密封法等。

5.1.1.2 裂缝分类按照 DL/T 5251，根据缝宽和缝深分四类，对四类裂缝的处理方式如下：

- a) A 类裂缝 无需处理
- b) B 类裂缝 表面处理
- c) C 类裂缝 压力灌浆+表面处理
- d) D 类裂缝及结构缝 填充密封+压力灌浆+表面处理

5.1.1.3 由于钢筋锈蚀、渗漏等引起的裂缝，其处理方式应分别按其他章节的规定进行修复。

5.1.2 材料

5.1.2.1 混凝土裂缝水下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。裂缝修补材料应与混凝土基体紧密结合且耐久性好。

5.1.2.2 混凝土裂缝表面处理材料可采用水下环氧胶泥、水下环氧涂料、水下密封材料等，其使用应符合下列规定：

- a) 水下环氧胶泥、水下环氧涂料应能够在水下施工，固化过程不受水影响，与水饱和混凝土面的粘接强度达到设计要求；
- b) 水下密封材料的变形能力应满足设计要求，水下密封材料与水饱和混凝土面之间应采用水下界面剂。

5.1.2.3 混凝土裂缝填充密封材料可采用水下环氧、水下不分散胶泥等固化过程不被水离析、破坏的材料。对于活动性裂缝，应采用柔性材料修补；对于较宽的裂缝，宜采用触变性较好的水下材料修补。

5.1.2.4 混凝土结构裂缝压力灌浆材料可采用水下环氧类、聚氨酯类等能在水下固结的材料。水下环氧灌浆材料应满足 JC/T 1041 要求，聚氨酯类灌浆材料应满足 JC/T 2041 要求。

5.1.3 裂缝修补施工

5.1.3.1 表面处理法施工应符合下列规定：

- a) 应采用专用水下工器具清除裂缝表面松散物、生物附着物、油污等污染物，露出新鲜坚固的混凝土基面；
- b) 按要求配制所选择的材料，并均匀涂抹在裂缝表面，涂覆厚度及范围应符合设计及材料使用规定；
- c) 按要求涂刷水下界面剂，在裂缝表面粘贴水下卷材及其他密封材料，必要时，应采用水下锚固固定。。

5.1.3.2 压力灌浆法施工应符合下列规定：

- a) 缝面处理；
- b) 设置灌浆孔；
- c) 封闭裂缝；
- d) 密封检查；
- e) 灌浆；
- f) 修补后处理。

5.1.3.3 填充密封法施工应符合下列规定：

- a) 沿裂缝将混凝土开凿成宽 2cm~3cm、深 2cm~3cm 的方槽或燕尾形槽，不宜开凿 V 型槽；
- b) 清除缝内松散物；
- c) 采用水下密封材料嵌填裂缝，直至与原结构表面持平。

5.1.3.4 裂缝修补处理后，可根据设计需要进行表面防护处理。

5.1.4 检验与验收

5.1.4.1 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，其性能应满足相关标准和设计的要求。

5.1.4.2 表面修补后应平整，密封良好。

5.2 混凝土破损水下修复与加固

5.2.1 一般规定

混凝土破损水下处理方案应结合工程特点,根据破损情况调查、成因分析及处理预案来制定方案,其中应明确环境条件(温度、水质、流速)、时间要求、作业空间限制等外部条件、选择合适的处理方法、修补材料与工艺。水下修补作业方法包括潜水法、沉箱法、侧壁沉箱法、钢围堰法等。其中,潜水法适用于水下各类修补,沉箱法适用于水深 2.5m~12.5m 水下结构水平段和缓坡段的修补,侧壁沉箱法适用于水下结构的垂直段和陡坡段的修补,钢围堰法适用于闸室等孔口部位的修补。

5.2.2 材料

a) 混凝土水下修补材料应满足水下不分散、能水下固结、与水下结构粘接可靠等要求,严禁使用有毒、挥发性大的修补材料。

b) 各种修补材料在水中应能与原混凝土结构有效粘接,除应满足设计抗压强度外,对有特殊要求的还应满足抗劈裂、抗冲磨等技术要求。

5.2.3 水下混凝土破损修补施工

(a) 对于由于坝体应力变形造成的结构缝挤压破坏或其他部位水下混凝土结构破坏,应先查明其成因并采取控制措施。应确认应力变形稳定后,再制定方案进行修补;如应力变形不能稳定,经评估对结构、构建的安全性不构成危害时,方可进行水下修补处理;

(b) 对于水下混凝土结构挤压破坏,应先清理破损面,采用潜水员人工或水下机器人检查破损情况;

(c) 如破损部位距钢筋网不足 10cm,则应将混凝土基面清理至钢筋网下或采用化学水下植筋工艺,确保后续修复效果。

(d) 根据设计要求进行水下立模,采用提篮法或导管法浇注水下不分散混凝土/砂浆或聚合物混凝土/砂浆。

(e) 对于局部浅表挤压破坏区域,不影响结构强度的,也可采取 PVC 或土工膜水下化学粘接或水下机械锚固修补处理。

5.3 混凝土磨损和空蚀水下修复与加固

5.3.1 一般规定

5.3.1.1 混凝土磨损空蚀等剥蚀类缺陷的水下修补一般采用:混凝土填充法、填充锚固法

5.3.1.2 除按水上混凝土剥蚀修补规定外,还应符合以下要求:

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直接近垂直且不形成反坡。

- b) 原有的钢筋应尽量保留，锈蚀部位应做除锈处理，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、硅酸盐水泥或者硫铝酸盐水泥，其强度等级不应低于 42.5。

5.3.2 材料

5.3.2.1 水下磨损与空蚀的修复处理材料包括水下不分散混凝土（砂浆）、水下聚合物混凝土（砂浆）等，除特殊材料自身规定外，修补厚度大于 5cm 时，应进行适当的插筋处理，插筋密度、插筋直径应符合相应规范要求。

5.3.2.2 一般性水下缺损修复材料有水下环氧混凝土（砂浆）、水下环氧涂料、水下速凝类水泥、水下聚氨酯密封胶、水下柔性防渗模块等，可用于满足不同工况条件下的修复要求。

5.3.3 磨损和空蚀水下修复与加固施工

5.3.3.1 水下混凝土（砂浆）填充法具体做法为（见图 5.3.3-1）：

- a) 垂直切割修补边线
- b) 将修补范围内松散的混凝土和过高的混凝土凿除，以保证修补混凝土的最小高度不低于 50mm。
- c) 浇筑水下混凝土。

5.3.3.2 水下混凝土（砂浆）填充锚固法具体做法为（见图 5.3.3-2）：

- a) 对修补面进行凿毛，将修补范围内松散的混凝土全部凿除。
- b) 打锚孔，植锚筋。
- c) 安装钢筋网，钢筋双向双排布置。
- d) 将钢筋网与锚筋焊为一体。
- e) 支立模板。
- f) 浇筑水下混凝土。

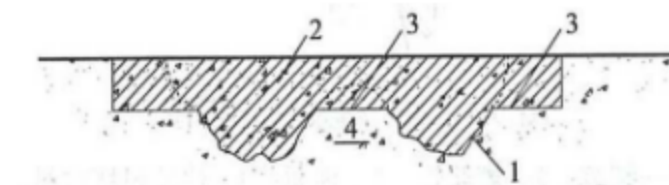


图 5.3.3-1 填充示意图法

1-原破损面；2-水下混凝土；3-开挖线；4-原混凝土

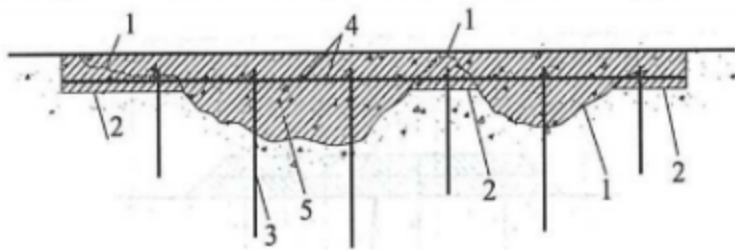


图 5.3.3-2 填充锚固法示意图

1-原破损面；2-开挖线；3-钢筋；4-钢筋网；5-水下混凝土

5.3.4 检验与验收

5.3.4.1 水下不分散混凝土（砂浆）、水下聚合物混凝土（砂浆）等水下磨损与空蚀处理的关键材料应进行进场复验，其性能应符合国家现行标准的规定或设计要求。

5.3.4.2 修补后的表面应平整，体型符合设计要求。

5.3.4.3 对修补材料的强度或粘接强度有要求的，应制备同条件养护试件或取芯进行检测。

5.4 混凝土碳化水下修复与加固

5.4.1 一般规定

5.4.1.1 混凝土碳化主要分为三类：

A 类碳化：轻微碳化，大体积混凝土的碳化；

B 类碳化：一般碳化，钢筋混凝土碳化深度小于钢筋保护层的厚度；

C 类碳化：严重碳化，钢筋混凝土碳化深度达到或超过钢筋保护层的厚度。

5.4.1.2 混凝土碳化处理的判定：

A 类混凝土碳化可以不进行处理；

B 类混凝土碳化宜进行表面防护处理；

C 类混凝土碳化应采取凿除碳化混凝土、置换钢筋保护层的方法进行处理。

5.5.2 材料

5.4.2.1 常用的混凝土碳化水下修复与加固处理材料包括水下环氧涂料、水下环氧胶泥、不分散混凝土（砂浆）、水下聚合物混凝土（砂浆）等。

5.4.2.2 混凝土碳化水下修复与加固处理材料应满足水下施工要求，固化反应过程不受水分破坏。

5.4.3 混凝土碳化水下修复与加固施工

5.4.3.1 混凝土的碳化对混凝土的耐久性将产生很大的危害，因此必须及时的采取相应的防碳化措施。

- a) 对碳化深度过大，钢筋锈蚀明显，危及结构安全的构件应拆除重建。
- b) 碳化深度较小并小于钢筋保护层厚度，碳化层比较坚硬的，在工程中混凝土强度已严重不足的可用优质涂料封闭。
- c) 对碳化深度大于钢筋保护层厚度或碳化深度虽较小但保护层疏松脱落的，应凿除碳化层，粉刷高强度砂浆或浇筑高性能混凝土。
- d) 对钢筋锈蚀严重的，应在修补前除锈，并根据锈蚀情况和结构需要加钢筋。

5.4.4 检验与验收

5.4.4.1 水下环氧涂料、水下环氧胶泥、不分散混凝土（砂浆）、水下聚合物混凝土（砂浆）等混凝土碳化水下修复与加固处理的关键材料应进行进场复验，其性能应符合国家现行标准的规定或设计要求。

5.4.4.2 对修补材料的强度或粘接强度有要求的，应制备同条件养护试件或取芯进行检测。

5.5 钢筋锈蚀水下修复与加固技术

5.5.1 一般规定

5.5.1.1 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。

5.5.1.2 根据调查与检测结果，修复设计方案宜按表 5.5.1.2 选用。

表 5.5.1.2 修复设计方案

序号	锈蚀原因	修复加固方案	
		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	钢筋阻锈处理

		表面迁移阻锈处理	电化学脱盐
		钢筋阻锈处理	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 E、N 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。

5.5.1.3 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。

5.5.2 材料

5.5.2.1 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，所采用材料应能在水下施工，水不会破坏反应过程，并应符合下列规定：

- 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；
- 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 JGJ/T 192 的规定；
- 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；
- 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。

5.5.2.2 电化学保护材料应符合本规程附录 A.1 的规定。

5.5.3 钢筋阻锈及修复施工

5.5.3.1 混凝土表面迁移阻锈修复处理工艺应符合下列规定：

- 混凝土表面基层应清理干净，并保持干燥；
- 在混凝土表面应涂刷表面迁移型阻锈剂；
- 表面防护处理应符合设计要求。

5.5.3.2 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：

- 修复范围内已锈蚀的钢筋应完全暴露并进行除锈处理；
- 在钢筋表面应均匀涂刷钢筋表面钝化剂；
- 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。

5.5.4 检验与验收

5.5.4.1 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有关标准和设计的规定。

5.5.4.2 钢筋阻锈修复检验应符合下列规定：

- 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 金属结构水下修复与加固

6.1 一般规定

6.1.1 根据 JTJ 302，对耐久性评估为 B、C、D 级的结构构件，应根据结构型式和腐蚀、受损程度进行结构耐久性修补

6.1.2 根据 JTJ302，对安全性评估为 C、D 级的结构构件，应根据结构型式和腐蚀、受损程度进行构件加固和耐久性修补。

6.1.3 加固方案应该根据结构受力状况、构型型式和施工条件综合研究确定，可采用负荷加固、卸荷加固、从原结构上拆下加固或更新部件等。

6.1.4 结构加固设计应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态验算，加固后如改变传力路线或使结构自重明显增加，应对相关结构构件和地基基础进行验算。

6.1.5 构件加固可采用加大界面、裂纹修复和其他有效方法。

6.1.6 非直接加固相关构件、连接和基础，应考虑结构加固引起自重以内力变化等不利因素的影响，并重新验算。

6.1.7 负荷状态下，当采用焊接加固时，原有构件或连接的实际名义应力值应小于 0.55 倍钢材屈服强度标准值，且不得考虑加固构件的塑性变形发展；当采用加大截面法加固时，最大名义应力值可按 JTS 311-2011 附录 J 计算，其绝对不应大于 0.4 倍钢材屈服强度标准值；非焊接结构实际名义应力值应小于 0.7 倍钢材屈服强度标准值。

6.1.8 加固设计应考虑现场施工条件、待加固件劣化程度和可能出现的加固应力滞后等因素，宜适当降低加固结构抗力强度设计值。

6.1.9 加固后的主要构件，必要时应对其剩余疲劳强度进行专题论证。

6.2 材料

常用的金属结构水下修复与加固处理材料包括金属结构专用水下界面剂、水下环氧涂料等。

6.3 金属结构水下修复与加固施工

6.3.1 金属结构水下切割技术

水下闸门、拦护栅、管道在诸多外因影响下会逐步腐蚀、磨损或者变形老化，甚至无法正常使用。为保证这些结构的完善状态，常需要对其进行分割或拆除，再进行维修或更新。

6.3.1.1 根据水下切割的基本原理和切割状态的不同，主要分为水下热切割和水下冷切割。

水下热切割法有水下氧-火焰切割，水下电弧切割，水下氧-弧切割等水下冷切割法有水下机械切割法，水下高压水射流切割法等。

6.3.1.2 水下氧-弧切割法的适用于切割易氧化的低碳钢和低合金高强钢。其操作方法有平割法、立割法、横割法、仰割法；在水下氧-弧切割中，电流强度、氧化压力和切割角度是重要的规范参数，选择适当，能提高切割速度，为取得良好的切割效果创造条件。

6.3.1.3 水下高压水射流切割法，调节射流压力，可一次性切割几乎所有材料，使用面广，操作使用容易。

6.3.2 金属结构水下焊接技术

6.3.2.1 水下焊接法有湿法水下焊接、局部干法水下焊接、干法水下焊接（高压干法水下焊接和常压干法水下焊接）。

6.3.2.2 湿法水下焊接其操作工艺包括以下几点：

- a) 表面清理
- b) 引弧
- c) 运条
- d) 收弧
- e) 焊缝检测

6.3.2.3 干法水下焊接分为高压干法焊接和常压干法焊接。

6.3.2.4 局部干法水下焊接法，可采用水下局部排水二氧化碳保护焊，大型排水罩局部干法水下焊接和小型排水罩局部干法水下焊接。

6.3.3 金属结构水下防腐技术

6.3.3.1 水下金属结构防腐，主要针对已经存在于水下的金属结构，在运行过程中原防腐措施破损的处理。这种情况下一般只涉及对破损阳极块的更换或涂刷防腐涂层。水下金属结构应采用涂层防腐和电化学防腐并用。

6.3.3.2 牺牲阳极法为将被保护金属和一种可以提供阴极保护电流的合金相连，使被保护体极化以降低被保护金属腐蚀速率的方法。可采用锌基、铝基和镁基合金阳极，根据材料成分和电化学性能不同，应用环境也有所不同。

6.3.3.3 水下涂层防腐法采用环氧重防腐涂料，可直接涂覆在金属表面，将腐蚀介质阻挡在金属结构以外，达到防腐的目的。其涂装工艺有：水下检查，查明表明腐蚀情况，变形情况，缺损情况；表面处理，应采用适当工器具进行除锈，使基面达到 St2 级以上；最后进行水下涂装，应饱满无死角，附着力应大于设计要求。

6.4 检测与验收

6.4.1 水下环氧涂料、水下环氧胶泥、水下聚合物混凝土（砂浆）等金属结构水下修复与加固处理的关键材料应进行进场复验，其性能应符合国家现行标准的规定或设计要求。

6.4.2 对修补材料的强度或粘接强度有要求的，应制备同条件养护试件进行实验室检测或进行现场检测。

附录 A

(规范性附录)

电化学保护材料及相关要求

A. 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 $\text{Ag}/\text{AgCl}/0.5\text{mol/L KCl}$ 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 $\pm 5\text{mV}$ ($20\text{ }^\circ\text{C}/24\text{h}$)。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。

参 考 文 献

- [1] GB/T 50476 《混凝土结构耐久性设计规范》
- [2] DL/T 5251 《水工混凝土建筑物缺陷检测和评估技术规程》
- [3] SL 352 《水工混凝土试验规程》
- [4] JC/T 1041 《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》
- [5] JGJ/T 192 《钢筋阻锈剂应用技术规程》