

JTS

中华人民共和国行业标准

JTS 153—2—2012

# 海港工程钢筋混凝土结构 电化学防腐蚀技术规范

Technical Specification for Electrochemical Anticorrosion of Reinforcement  
Concrete Structures in Harbour and Marine Engineering

2012—07—19 发布

2012—09—01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业标准

海港工程钢筋混凝土结构  
电化学防腐蚀技术规范

JTS 153—2—2012

主编单位：南京水利科学研究院

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2012年9月1日

人民交通出版社

2012·北京

中华人民共和国行业标准

书 名：海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀技术规范

著 作 者：南京水利科学研究院

责 任 编 辑：董 方

出 版 发 行：人民交通出版社

地 址：(100011)北京市朝阳区安定门外馆斜街3号

网 址：<http://www.chinasybook.com>

销 售 电 话：(010)64981400, 59757915

总 经 销：北京交实文化发展有限公司

印 刷：北京鑫正大印刷有限公司

开 本：880×1230 1/16

印 张：3

字 数：72千

版 次：2012年9月 第1版

印 次：2012年9月 第1次印刷

统一书号：15114·1745

定 价：30.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 关于发布《海港工程钢筋混凝土结构 电化学防腐蚀技术规范》 (JTS 153—2—2012)的公告

2012年第26号

现发布《海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀技术规范》(以下简称《规范》)。本《规范》为强制性行业标准,编号为JTS 153—2—2012,自2012年9月1日起施行。

本《规范》第3.0.7条中的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

本《规范》由交通运输部组织南京水利科学研究院等单位编制完成,由交通运输部水运局负责管理和解释,由人民交通出版社出版发行。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部  
二〇一二年七月十九日

# 制定说明

本规范是在总结我国近年来海港工程钢筋混凝土结构防腐蚀保护设计、施工、管理的实践经验基础上,通过深入调查研究,经广泛征求有关单位和专家的意见,并结合我国海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀技术的现状和海港工程建设发展的需要制定而成。本规范主要包括外加电流阴极保护、牺牲阳极阴极保护、电化学脱盐、电沉积和质量控制与检验等技术内容。

本规范主编单位为南京水利科学研究院,参编单位为中交四航工程研究院有限公司、中交水运规划设计院有限公司、宁波港股份有限公司、浙江省交通规划设计研究院、浙江浙能中煤舟山煤电有限责任公司和国电浙江北仑第一发电有限公司。

随着我国海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀技术快速发展,新的防腐材料、设备和工艺不断涌现,为适应我国海港工程建设发展的需要,统一海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀技术要求,提高结构的耐久性,交通运输部水运局组织南京水利科学研究院等单位制定《海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀技术规范》。

本规范第3.0.7条的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

本规范共分8章和4个附录,并附条文说明。本规范编写人分工如下:

1 总则:范卫国

2 术语:李森林 朱雅仙

3 基本规定:范卫国 李森林

4 外加电流阴极保护:朱雅仙 李森林 陈 龙 应永良 蔡伟成

5 牺牲阳极阴极保护:朱雅仙 贾宁一 张一禾 方英豪 蔡伟成

6 电化学脱盐:李森林 范卫国 徐 宁 黄卫明 蔡伟成

7 电沉积:范卫国 李森林 胡家顺 王 鸣 杨 虎

8 质量控制与检验:李森林 范卫国 朱雅仙 贾宁一 孔 敏

附录A:范卫国 朱雅仙

附录B:李森林 范卫国 朱雅仙 贾宁一 陈 龙 徐 宁

附录C:李森林

附录D:范卫国

本规范于2011年8月3日通过部审,于2012年7月19日发布,自2012年9月1日起实施。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。请各单位在执行过程中,将发现的问题和意见及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:江苏省南京市广州路223号,南京水利科学研究院,邮政编码:210029),以便修订时参考。

# 目 次

1 总则 .....	(1)
2 术语 .....	(2)
3 基本规定 .....	(4)
4 外加电流阴极保护 .....	(6)
4.1 一般规定 .....	(6)
4.2 系统设计 .....	(6)
4.3 安装与调试 .....	(8)
4.4 维护管理 .....	(9)
5 牺牲阳极阴极保护 .....	(10)
5.1 一般规定 .....	(10)
5.2 系统设计 .....	(10)
5.3 安装与调试 .....	(11)
5.4 维护管理 .....	(11)
6 电化学脱盐 .....	(12)
6.1 一般规定 .....	(12)
6.2 系统设计 .....	(12)
6.3 安装与调试 .....	(13)
6.4 过程控制 .....	(14)
6.5 后处理 .....	(14)
7 电沉积 .....	(15)
7.1 一般规定 .....	(15)
7.2 系统设计 .....	(15)
7.3 安装与调试 .....	(15)
7.4 过程控制 .....	(16)
8 质量控制与检验 .....	(17)
附录 A 钢筋混凝土电化学防腐蚀技术参数 .....	(19)
附录 B 质量控制与检验方法 .....	(20)
B.1 混凝土结构预处理 .....	(20)
B.2 外加电流阴极保护 .....	(20)
B.3 牺牲阳极阴极保护 .....	(21)

B.4	电化学脱盐	.....	(21)
B.5	电沉积	.....	(22)
附录C	施工记录	.....	(23)
附录D	本规范用词用语说明	.....	(24)
附加说明 本规范主编单位、参编单位、主要起草人、总校人员和管理组			
	人员名单	.....	(25)
附	条文说明	.....	(27)

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀设计、施工、检验和维护的技术要求,提高钢筋混凝土结构的耐久性,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于海港工程钢筋混凝土结构的阴极保护、电化学脱盐和电沉积等电化学防腐蚀的设计、施工、检验和维护。

**1.0.3** 海港工程钢筋混凝土结构的电化学防腐蚀设计、施工、检验和维护除应符合本规范规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### **2.0.1 电化学防腐蚀 electrochemical anticorrosion**

在钢筋混凝土构件表面或其附近设置阳极系统,对钢筋施加一定的阴极电流,以抑制钢筋腐蚀的技术措施。

### **2.0.2 外加电流阴极保护 impressed current cathodic protection**

由直流电源设备通过辅助阳极提供阴极电流,使钢筋释放电子的阳极反应减缓或停止的电化学防腐蚀技术。

### **2.0.3 牺牲阳极阴极保护 sacrificial anode cathodic protection**

由牺牲阳极提供阴极电流,使钢筋释放电子的阳极反应减缓或停止的电化学防腐蚀技术。

### **2.0.4 电化学脱盐 electrochemical desalination**

短期内施加阴极电流,通过电迁移作用降低混凝土中氯离子含量的电化学防腐蚀技术。

### **2.0.5 电沉积 electrodeposition technique**

通过短期内施加阴极电流产生难溶性无机物,堵塞混凝土表层裂缝以阻止腐蚀介质继续侵入的电化学防腐蚀技术。

### **2.0.6 阳极系统 anode system**

实施电化学防腐蚀技术时,设置于混凝土表面或附近,给钢筋提供阴极电流的各材料组成的统称。

### **2.0.7 辅助阳极 auxiliary anode**

使阴极电流流向电解质的电极。

### **2.0.8 牺牲阳极 sacrificial anode**

依靠自身腐蚀使与之耦合的阴极获得保护的金属或合金材料。

### **2.0.9 IR 降 IR drop**

电流流经电解质时,由电解质电阻所造成的电压降。

### **2.0.10 瞬时断电电位 instant-off potential**

为消除 IR 降引起的测量误差,在停止通电瞬时测得的电位。

### **2.0.11 极化电位衰减值 polarization potential decay value**

钢筋的瞬时断电电位值与断电一段时间后电位值之差。

### **2.0.12 极化 polarization**

电流流经钢筋与混凝土界面时,钢筋电位发生变化的现象。

### **2.0.13 氢脆 hydrogen embrittlement**

氢原子渗入钢筋使其韧性或延性下降的现象。

**2.0.14 析氢电位 hydrogen evolution potential**

在电化学防腐蚀保护过程中,钢筋上产生氢气析出时的电位。

### 3 基本规定

**3.0.1** 海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀技术措施的选择,应根据结构物现状、腐蚀机理、目标使用年限,技术措施的施工条件、维护管理的技术要求、经济性以及对周边环境影响等因素综合论证确定。

**3.0.2** 电化学防腐蚀应进行专项设计,并应符合下列规定。

**3.0.2.1** 设计前应进行调查和检测,主要包括下列内容:

(1)潮汐、温度、湿度、海水中氯离子含量、pH值、水污染情况及建筑物周边其他侵蚀介质等;

(2)混凝土结构型式、构件所处腐蚀环境、外型尺寸、配筋情况、保护层厚度及钢筋电连接性等;

(3)混凝土的破损状况、碳化深度、氯离子含量及分布、电阻率及钢筋自然腐蚀电位等。

**3.0.2.2** 设计书应包括下列内容:

(1)设计计算书;

(2)保护系统平面布置及安装详图;

(3)材料和设备性能要求及数量;

(4)安装、调试、试运行、运行管理及维护细则。

**3.0.3** 实施电化学防腐蚀保护时,混凝土结构表面应进行预处理,破损区域应进行必要的凿除修复,修补材料性能应符合下列规定:

(1)抗压强度等级不低于原混凝土设计强度等级;

(2)粘结强度不小于原混凝土的抗拉强度标准值;

(3)电阻率为原混凝土电阻率的50%~200%。

**3.0.4** 钢筋混凝土结构应根据构件类型、所处腐蚀环境和选用阳极的种类,划分为若干独立的保护单元。每个单元内的阳极系统应为本单元内的钢筋提供均匀的保护电流。

**3.0.5** 保护单元内钢筋之间、钢筋与金属预埋件之间的电阻均应小于 $1.0\Omega$ 。

**3.0.6** 静电喷涂环氧涂层钢筋拼装的构件,不应采用电化学防腐蚀技术。含有碱活性骨料或无金属护套的预应力高强钢筋的结构采用电化学防腐蚀技术时,应进行专项论证。

**3.0.7** 在易燃、易爆气体环境中,电化学防腐蚀系统应满足防爆要求,各接线点应置于密闭的接线箱中。

**3.0.8** 混凝土结构所处腐蚀环境的划分,应符合现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的有关规定。

**3.0.9** 施工单位应配合维护单位或监理单位按本规范的有关规定对电化学防腐蚀施工

质量进行控制与检验,验收时应提交下列资料:

- (1)设计文件及设计变更文件;
- (2)各种材料和设备出厂检验合格证、现场检验文件;
- (3)施工检查检测记录和调试记录;
- (4)施工记录;
- (5)施工图、竣工图和施工总结;
- (6)维护管理原则要求。

## 4 外加电流阴极保护

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 外加电流阴极保护可用于钢筋混凝土结构水位变动区及以上部位。
- 4.1.2 采用外加电流阴极保护的新建混凝土结构,在浇筑混凝土时,应保证钢筋的电连接性和埋设的参比电极及其他各种探头、电缆、接头完好。
- 4.1.3 直流电源输出电压大于24V时,应采用预警保护措施。
- 4.1.4 初始保护电流密度宜采用经验数据或进行现场试验确定,亦可按附录A选取。
- 4.1.5 保护单元面积可取50~200m<sup>2</sup>。每个单元的保护电流可按下式计算:

$$I = k \cdot i \cdot S \quad (4.1.5)$$

式中  $I$ —每个保护单元的保护电流(A);

$k$ —安全系数,取1.2~1.5;

$i$ —保护电流密度(A/m<sup>2</sup>);

$S$ —表层钢筋的表面积(m<sup>2</sup>)。

- 4.1.6 相对于Ag/AgCl/0.5mol/L KCl参比电极,每个保护单元内保护电位应满足下列要求之一:

- (1)去除IR降后的保护电位范围:普通钢筋为-720~-1100mV;预应力钢筋为-720~-900mV;
- (2)极化电位衰减值不小于100mV。

### 4.2 系统设计

- 4.2.1 外加电流阴极保护系统应包括阳极系统、直流电源、监控系统和电缆等。
- 4.2.2 阳极系统应根据构件型式、保护年限、保护单元的划分、保护电流的分布、辅助阳极的性能和适用性等进行设计,并符合下列规定。
- 4.2.2.1 辅助阳极应满足设计保护寿命期内承载发射电流的能力。
- 4.2.2.2 阳极系统应具有抗酸化能力且与混凝土粘结良好。
- 4.2.2.3 阳极系统宜按表4.2.2选用,也可选用经实践验证的新型阳极系统。
- 4.2.3 直流电源的性能、数量和布置应符合下列规定。
- 4.2.3.1 直流电源应具有稳定、可靠、维护简单、抗过载、防雷、抗干扰、抗盐雾、故障保护等特点,并满足下列要求:
- (1)长期不间断供电;
- (2)输出电压不超过50V,波纹量不超过100mV<sub>rms</sub>,频率不低于100Hz;

- (3) 从零到满量程输出连续可调;
- (4) 电源的正极与负极不可逆转,并标识明确;
- (5) 设置瞬时断电断路器;
- (6) 设置数据传输接口。

外加电流阴极保护阳极系统

表 4.2.2

类 别		组 成	布 置 方 式
导电涂层 阳极系统	有机涂层	涂铂或金属氧化物的钛丝加含碳黑填料的水性或溶剂性导电涂层	布置于混凝土结构的整个表面
	金属涂层	热喷涂金属涂层	
活化钛阳极系统		涂金属氧化物的钛网加优质水泥砂浆或聚合物改性水泥砂浆覆盖层	
		涂金属氧化物的网状钛条加导电聚合物回填物	混凝土结构表面按一定间隔开槽布置
		涂金属氧化物的钛棒加导电聚合物回填物	埋设于混凝土结构的钻孔中,呈点状分布

4.2.3.2 直流电源的外壳应采用防干扰的金属外壳,并进行必要的防腐处理。

4.2.3.3 直流电源的布置应根据直流电源的数量、保护单元的划分、结构型式、使用条件、维护管理和经济等因素确定。

4.2.3.4 直流电源的总功率可按下列公式计算:

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^m (I_i^2 R_i)}{\eta} \quad (4.2.3-1)$$

$$P = \sum_{j=1}^n P_j \quad (4.2.3-2)$$

式中  $P_j$ —单台直流电源的功率(W);

$I_i$ —保护单元所需电流量(A);

$R_i$ —保护单元回路电阻( $\Omega$ );

$\eta$ —直流电源的效率,可取0.7;

$P$ —直流电源的总功率(W)。

4.2.4 监控系统宜包括参比电极、监控设备、测量端子和其他装置等,其性能和参数应符合下列规定。

4.2.4.1 保护电位和极化电位衰减值,可采用便携式参比电极或埋入式参比电极测量;不超过24h的极化电位衰减值也可由石墨、活性钛或锌制作的电位衰减值测量探头测量。

4.2.4.2 埋入式参比电极可选用Ag/AgCl/0.5mol/L KCl电极或Mn/MnO<sub>2</sub>/0.5mol/L NaOH电极,便携式参比电极可选用Ag/AgCl/0.5mol/L KCl电极,并满足下列要求:

- (1) 极化小、不易损坏和适用环境介质;
- (2) 埋入式参比电极的寿命大于15a。

**4.2.4.3** 每个阴极保护单元应在保护电位最正的位置和最负的位置布置不少于两个埋入式参比电极。便携式参比电极测点的选取,应反映出整个结构物的保护状况。

**4.2.4.4** 监控设备应适应所处环境,并满足下列要求:

- (1) 具有稳定、可靠、维护简单、抗干扰、抗盐雾、故障保护等特点;
- (2) 具有测量并显示电位、电流等参数以及调节保护电位或电流的基本功能;
- (3) 电位测量的分辨率达到  $1\text{mV}$ , 精度不低于测量值的  $\pm 0.1\%$ , 输入阻抗不小于  $10\text{M}\Omega$ ;
- (4) 电流测量的分辨率达到  $1\mu\text{A}$ , 精度不低于测量值的  $\pm 0.5\%$ 。

**4.2.4.5** 有条件时,监控设备应具有远程遥测、遥控和分析评估的功能。

**4.2.5** 电源电缆、阳极电缆、阴极电缆、参比电极电缆和电位测量电缆等应符合下列规定。

**4.2.5.1** 不同电缆应使用颜色或者其他标记区分,电缆护套应具有良好的绝缘、抗老化、耐碱和耐海洋环境腐蚀等性能。

**4.2.5.2** 电缆用量应根据电缆的类型、保护单元的具体情况、电缆的铺设位置及走向等计算确定。

**4.2.5.3** 电缆宜采用铜芯电缆。电缆截面面积应根据 125% 最大设计电流时允许的温度和压降等因素确定,且单芯电缆的截面积不小于  $2.5\text{mm}^2$ 。

**4.2.5.4** 参比电极电缆应采用屏蔽电缆,屏蔽层应接地,且不应靠近动力电缆。

**4.2.5.5** 电位测量电缆严禁与阴极电缆兼用。

**4.2.5.6** 钢筋、辅助阳极、参比电极和电缆的接头以及电缆之间的接头均应进行绝缘密封防水处理。

**4.2.5.7** 每个保护单元至少应布设 2 根阳极电缆、2 根阴极电缆和 1 根电位测量电缆。

**4.2.5.8** 所有电缆均应符合《额定电压  $1\text{kV}(U_m=1.2\text{kV})$  到  $35\text{kV}(U_m=40.5\text{kV})$  挤包绝缘电力电缆及附件》(GB/T 12706)标准的有关规定。

### 4.3 安装与调试

**4.3.1** 外加电流阴极保护系统的安装应包括保护单元内钢筋电连接、混凝土结构预处理、监控系统的安装、阳极系统安装、各种接头的制作和电缆铺设、直流电源的安装等。

**4.3.2** 安装前应确认所用的材料和仪器与设计一致,安装方式应满足设计要求,并符合下列规定。

**4.3.2.1** 保护单元内非预应力钢筋的电连接可采用电焊连接或机械连接等方式,预应力钢筋的电连接应采用机械连接的方式。

**4.3.2.2** 电连接钢筋或电缆外露部分应采取适当的防腐保护措施。

**4.3.2.3** 混凝土局部凿除宜人工凿除,凿除范围应大于破损范围,并采用水泥基修补材料恢复至原断面。

**4.3.2.4** 安装阳极系统前,混凝土表面不应存在有机涂层和外露金属等影响电流均匀

分布的缺陷。

**4.3.2.5** 监控系统安装方法应符合产品说明书的要求,户外安装时应采取相应的防护措施。埋入式参比电极应埋设于第一层钢筋附近,并严禁与钢筋短路。

**4.3.2.6** 阳极系统的安装应牢固、可靠,且严禁阳极系统与钢筋、金属预埋件、绑扎丝短路;辅助阳极之间的搭接不应小于50mm;采用焊接方式搭接时,每个搭接部分点焊不应少于3点。

**4.3.2.7** 各种接头应进行密封防水处理,并满足耐久性使用要求。电缆的铺设应留有适当余量且有唯一性标识,并采取适当的保护措施避免环境、人和动物的破坏。

**4.3.2.8** 直流电源的安装位置及保护方式除应满足设计、产品说明书和第4.2.3条的要求外,尚应符合现行国家标准《电器装置安装工程低压电器施工及验收规范》(GB 50254)的有关规定。

**4.3.3** 通电调试前,应测量并记录各保护单元的回路电阻与自腐蚀电位,检查各种电缆的通电连续性、各种接头的绝缘及密封性、仪器设备安装位置是否准确和牢固等。

**4.3.4** 通电调试应至少连续进行1个月,并应满足下列要求:

(1)以设计电流的20%进行试通电一周,测量并记录试通电过程中的保护电位、保护电流、输出电压和输出电流等,确认所有部件安装、连接是否正确,并及时检查修复监控设备和直流电源在运行中的故障;

(2)试通电正常后,逐步加大保护电流直至保护电位达到设计值;同时,测量并记录保护系统的保护电位、瞬时断电电位、保护电流、输出电压和输出电流等参数;

(3)根据保护电位的测量结果,调整直流电源的输出电流或输出电压,直至保护电位满足第4.1.6条的要求,且保护系统工作正常;

(4)按上述程序,对保护单元逐一进行通电调试。

## 4.4 维 护 管 理

**4.4.1** 维护管理应制定相应的制度,并由专门的技术人员负责日常运行。

**4.4.2** 阴极保护系统的直流电源、监控系统、阳极系统、电缆等所有部件应进行日常检查和维护,并及时修复运行中存在的故障。

**4.4.3** 直流电源的输出电压、输出电流、保护电位和保护电流,应定期检查和记录,并评估保护效果。

**4.4.4** 保护电位不满足第4.1.6条要求时,应及时进行调整或采取补救措施。

## 5 牺牲阳极阴极保护

### 5.1 一般规定

5.1.1 牺牲阳极阴极保护可用于已建钢筋混凝土结构水位变动区及以上部位。

5.1.2 保护电流密度的选取和保护电位要求等应符合第4.1节的有关规定。

### 5.2 系统设计

5.2.1 牺牲阳极阴极保护系统应包括牺牲阳极、监控系统和通电连接部件。

5.2.2 牺牲阳极应具有开路电位较负的特性，在使用期内应保持阳极活性、电位和输出电流稳定。

5.2.3 牺牲阳极阴极保护系统应根据结构型式、施工条件和保护年限等进行设计。

5.2.4 牺牲阳极阴极保护系统宜按表5.2.4选用，并应符合下列规定。

5.2.4.1 牺牲阳极阴极保护系统应与混凝土粘结良好。

5.2.4.2 保护电流应分布均匀，且保护电位应满足第4.1.6条的规定。

牺牲阳极阴极保护系统

表5.2.4

阳极形式	阳极系统组成	布置方式
面式阳极	锌或铝合金喷涂层	热喷或电弧喷涂于经清理的混凝土表面，通过引出线连接到钢筋上
	锌箔加导电粘结剂	将锌箔用导电粘结剂粘贴于经清理的干燥混凝土表面，通过引出线连接到钢筋上
	锌网加活性水泥浆护层	将锌网固定在结构表面，用活性水泥砂浆包覆，通过引出线连接到钢筋上
点式阳极	棒状或块状锌阳极加水泥基包覆材料	将阳极系统埋设到钢筋附近的混凝土中，阳极引出线连接到钢筋上

5.2.5 每个保护单元所需牺牲阳极的质量可按下式计算：

$$W = \frac{E_s \cdot I \cdot t}{f} \quad (5.2.5)$$

式中  $W$ ——所需的牺牲阳极质量(kg)；

$E_s$ ——牺牲阳极的消耗率(kg/A·a)；

$I$ ——所需平均保护电流(A)；

$t$ ——保护年限(a)；

$f$ ——牺牲阳极的利用系数，可取0.5~0.8。

5.2.6 监控系统宜包括参比电极、监控设备及其他装置等，其性能与参数应符合下列规定。

**5.2.6.1** 参比电极应符合第 4.2.4.1 款和第 4.2.4.2 款的规定。

**5.2.6.2** 每个保护单元应布置不少于 1 个埋入式参比电极,必要时应安装保护电流以及腐蚀速率测量装置等。

**5.2.6.3** 监控设备应适应所处环境,具有稳定、可靠、维护简单、抗干扰、抗盐雾、故障保护等特点,并满足下列要求:

(1) 具有测量电位和电流的功能;

(2) 电位测量的分辨率达到 1mV, 精度不低于测量值的  $\pm 0.1\%$ , 输入阻抗不小于  $10M\Omega$ ;

(3) 电流测量的分辨率达到  $1\mu A$ , 精度不低于测量值的  $\pm 0.5\%$ 。

**5.2.7** 阳极电缆、阴极电缆、参比电极电缆和电位测量电缆除应满足第 4.2.5 条的要求外,尚应符合下列规定。

**5.2.7.1** 采用点式牺牲阳极阴极保护时,可将阳极铁芯直接电连接到被保护钢筋上,仅在钢筋上引出一根电位测量电缆。

**5.2.7.2** 采用面式牺牲阳极阴极保护时,阳极电缆和阴极电缆的铜芯截面积应提高一个等级配置。

### 5.3 安装与调试

**5.3.1** 牺牲阳极阴极保护系统的安装施工应包括钢筋电连接、混凝土结构预处理、监控系统的安装、牺牲阳极的安装或施工以及各种接头制作和电缆铺设等。

**5.3.2** 安装前应确认所用的材料和仪器与设计一致,安装方式除应满足设计和第 4.3.2.1 款~第 4.3.2.6 款的要求外,尚应符合下列规定。

**5.3.2.1** 牺牲阳极在储存和搬运过程应避免污染,安装应牢固、可靠。

**5.3.2.2** 点式阳极与基体混凝土之间应采用水泥基材料填充密实,严禁存在孔洞等缺陷。

**5.3.2.3** 面式阳极安装前,混凝土表面宜进行喷砂处理;阳极与基体混凝土粘结应牢固,附着力应大于  $1.0MPa$ 。

**5.3.3** 牺牲阳极阴极保护系统的调试应按设计规定的程序进行,并符合下列规定。

**5.3.3.1** 牺牲阳极与被保护构件短路前,应测量被保护构件的自腐蚀电位。

**5.3.3.2** 通电过程中,应定期记录保护电位。

### 5.4 维护管理

**5.4.1** 维护管理应定期检查和记录保护电位,评估保护效果。

**5.4.2** 保护电位不满足第 4.1.6 条要求时,应及时采取补救措施。

## 6 电化学脱盐

### 6.1 一般规定

- 6.1.1** 电化学脱盐可用于已遭受氯盐污染的钢筋混凝土结构的水位变动区以上部位。
- 6.1.2** 电化学脱盐处理后,混凝土内氯离子含量应低于水泥砂浆质量的 0.1% 或钢筋恢复钝化。
- 6.1.3** 混凝土中钢筋周围初始氯离子含量大于水泥砂浆质量的 0.35% 时,电化学脱盐通电期间,应在电解质中加入适量阳离子型阻锈剂。
- 6.1.4** 实施电化学脱盐保护处理后,宜采用涂层封闭防腐处理。
- 6.1.5** 直流电源输出电压大于 24V 时,应采用预警保护措施。
- 6.1.6** 电流密度可采用经验数据或通过现场试验确定,亦可按附录 A 选取。

### 6.2 系统设计

- 6.2.1** 电化学脱盐保护系统应包括阳极系统、直流电源、监控系统和电缆等。
- 6.2.2** 阳极系统应包括辅助阳极和电解质等,其性能和参数应符合下列规定。
- 6.2.2.1** 辅助阳极应具备在通电期内承载发射电流的能力。
- 6.2.2.2** 辅助阳极的形状应满足均匀分布电流的要求,宜采用网格状阳极;当采用条状阳极时,应根据结构构件的形状和表层钢筋的表面积均匀布置,间距不宜大于 0.5m。
- 6.2.2.3** 电解质可选用饱和  $\text{Ca(OH)}_2$  溶液。集料存在碱活性时,宜在电解质中加入 0.1 mol/L  $\text{LiOH}$  或 0.1 mol/L  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  溶液。
- 6.2.2.4** 辅助阳极的布置方式可按表 6.2.2 选用。

辅助阳极的布置方式

表 6.2.2

布 置 方 式	电 解 质 溶 液 维 持 材 料	适 用 场 合
在辅助阳极的周围喷涂纤维材料	纤维	所有场合
在混凝土表面上固定绝缘板,在其间布置辅助阳极与填充电解质溶液	绝缘板	水平面与垂直面
在混凝土顶面蓄存电解质溶液并安装辅助阳极	水泥砂浆	水平的上表面

- 6.2.3** 直流电源应具有稳定、可靠、维护简单、抗过载、防雷、抗干扰、抗盐雾、故障保护等特点,并满足下列要求:

- (1) 长期不间断供电;
- (2) 输出电压不超过 50V, 波纹量不超过 100mVrms, 频率不低于 100Hz;

- (3) 从零到满量程输出连续可调;
- (4) 电源的正极与负极不可逆转,并标识明确;
- (5) 外壳应采用防干扰的金属外壳,并对其进行必要的防腐蚀处理。

**6.2.4** 直流电源的布置应符合第 4.2.3.3 款的规定,直流电源的功率应符合第 4.2.3.4 款的规定。

**6.2.5** 参比电极应具有极化小、不易损坏和适用环境介质的特性,宜选用 Ag/AgCl/0.5 mol/L KCl 电极。

**6.2.6** 每个典型脱盐单元宜布置不少于 3 个参比电极,其安装位置应反映单元内电流的分布情况,不同测点的极化电位差宜控制在  $\pm 300\text{mV}$  范围内。

**6.2.7** 监控设备应适应所处环境,并满足下列要求:

- (1) 具有稳定、可靠、维护简单、抗干扰、抗盐雾、故障保护等特点;
- (2) 具有测量并显示电位和电流等参数的功能;
- (3) 电位测量的分辨率达到  $1\text{mV}$ ,精度不低于测量值的  $\pm 0.1\%$ ,输入阻抗不小于  $10\text{M}\Omega$ ;
- (4) 电流测量的分辨率达到  $1\mu\text{A}$ ,精度不低于测量值的  $\pm 0.5\%$ 。

**6.2.8** 电源电缆、阳极电缆、阴极电缆、参比电极电缆和电位测量电缆等应符合第 4.2.5 条的规定。

### 6.3 安装与调试

**6.3.1** 电化学脱盐保护系统的安装应包括钢筋电连接、混凝土结构预处理、监控系统的安装、阳极系统安装、各种接头的制作和电缆铺设、直流电源的安装等。

**6.3.2** 安装前应确认所用的材料和仪器与设计一致,安装方式应满足设计要求,并符合下列规定。

**6.3.2.1** 钢筋电连接、混凝土结构预处理、各种接头的制作和电缆铺设、监控系统的安装、直流电源的安装等应符合第 4.3.2 条的规定。

**6.3.2.2** 阳极系统的安装应牢固、可靠,且严禁与钢筋、金属预埋件、绑扎丝短路;阳极系统应避免电解质溶液的蒸发与泄漏,并应满足第 6.2.2 条的要求。

**6.3.3** 通电调试前,应测量并记录各保护单元的回路电阻与自腐蚀电位,检查各种电缆的通电连续性、各种接头的绝缘及密封性、仪器设备安装位置的准确和牢固等。

**6.3.4** 系统调试应按下列规定的程序进行。

**6.3.4.1** 混凝土保护层和阳极系统充分饱水后,应检测记录每个脱盐单元的回路电阻,并避免短路。

**6.3.4.2** 以电流设计值的 20% 进行试通电,应记录输出电压、电流和电位,确认所有组件安装、连接是否正确。

**6.3.4.3** 试通电不应少于 24h,每 4h 记录一次输出电压、电流和电位。

**6.3.4.4** 试通电完成后应逐步加大保护电流,直至设计值。

**6.3.4.5** 按上述程序,应对保护单元逐一进行调试。

## 6.4 过程控制

- 6.4.1 电化学脱盐保护系统的过程控制管理,应由专门的技术人员负责。
- 6.4.2 保护系统的各部件宜每天至少检查一次。
- 6.4.3 输出电压、电流和电位宜每8h 测量记录一次。
- 6.4.4 电解质溶液的pH 值宜每天测量记录一次,确保pH 值大于9.0。
- 6.4.5 处理效果应根据输出电压、电位、电流和通电时间等过程参数的检测记录结果进行初步评估。

## 6.5 后处理

- 6.5.1 后处理应包括下列内容:

- (1)拆除混凝土表面阳极系统及其组件;
- (2)取样分析典型脱盐单元混凝土内剩余氯离子含量;
- (3)采用高压淡水清洗混凝土表面,检查混凝土表面状况并对表面缺陷进行修复;
- (4)按现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的有关规定进行涂层封闭处理。

## 7 电沉积

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 电沉积保护系统可用于钢筋混凝土结构水位变动区及以下部位。
- 7.1.2 电沉积处理后沉积物应堵塞裂缝,沉积物应具有良好的耐久性和附着力。
- 7.1.3 电流密度可采用经验数据或进行现场试验确定,亦可按附录 A 选取。
- 7.1.4 最大输出电压超过 24V 时,应采取预警保护措施。

### 7.2 系统设计

- 7.2.1 电沉积保护系统应包括阳极系统、直流电源、监控系统和电缆等。
- 7.2.2 阳极系统应包括辅助阳极和电解质溶液,其性能和参数应符合下列规定。
  - 7.2.2.1 辅助阳极应具备在通电保护期内承载发射电流的能力。
  - 7.2.2.2 辅助阳极应根据构件型式、允许工作电流密度、保护电流和通电时间等选用,且应符合现行行业标准《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTS 153—3)附录 F 的规定。
  - 7.2.2.3 辅助阳极布置应满足保护电流在保护单元内均匀分布的要求。
  - 7.2.2.4 辅助阳极的绝缘座、绝缘密封件、阳极电缆、靠近阳极的支架和保护护套等安装组件应采用耐海水、耐碱和耐氯气腐蚀的材料。
  - 7.2.2.5 辅助阳极的接头应进行绝缘密封防水处理。
  - 7.2.2.6 电解质溶液可采用海水。
- 7.2.3 直流电源应符合第 6.2.3 条和第 6.2.4 条的规定。
- 7.2.4 参比电极应具有极化小、不易损坏和适用环境介质的特性,宜选用 Ag/AgCl 海水电极。
- 7.2.5 每个保护单元宜布置不少于 4 个参比电极,其安装位置应反映结构物的电流分布情况;参比电极支架及其相关部件应进行防腐蚀处理。
- 7.2.6 监控设备应符合第 6.2.7 条的规定。
- 7.2.7 电源电缆、阳极电缆、阴极电缆、参比电极电缆和电位测量电缆等应符合第 4.2.5 条的规定。

### 7.3 安装与调试

- 7.3.1 电沉积保护系统的安装应包括钢筋电连接、混凝土结构预处理、监控系统的安装、辅助阳极的安装、各种接头的制作和电缆铺设、直流电源的安装等。
- 7.3.2 安装前应确认所用的材料和仪器与设计一致,安装方式应满足设计要求,并符合

下列规定。

**7.3.2.1** 钢筋电连接可采用焊接连接。

**7.3.2.2** 预处理应符合下列要求：

(1) 清除裂缝部位表层海生物、松散混凝土和其他不牢固附着物；

(2) 用高压淡水冲洗待修复部位。

**7.3.2.3** 监控系统安装方法应满足产品说明书的要求，并采取相应的防护措施。

**7.3.2.4** 辅助阳极的安装应满足设计要求，并应根据阳极的规格、品种和安装方式采取相应的防护措施。

**7.3.2.5** 接头应进行密封防水处理，并满足耐久性要求；参比电极电缆不得有水中接头，陆上接头应修复屏蔽层并进行绝缘密封。电缆应采取适当的保护措施，避免环境、人和动物的破坏；电缆水中部分应留有足够的长度余量。

**7.3.2.6** 直流电源的安装位置及保护方式除应满足设计、产品说明书和第 6.2.3 条的要求外，尚应符合现行国家标准《电器装置安装工程低压电器施工及验收规范》(GB 50254) 的有关规定。

**7.3.3** 系统安装完毕应进行全面检查。

**7.3.4** 系统调试应包括下列内容：

(1) 检测记录每个保护单元的回路电阻，避免短路；

(2) 以电流设计值的 20% 进行试通电，记录输出电压、电流和电位，确认所有组件安装、连接是否正确；

(3) 试通电不少于 48h，每 8h 记录一次输出电压、电流和电位；

(4) 试通电完成后逐步加大保护电流，直至设计值。

## 7.4 过程控制

**7.4.1** 电沉积保护系统的过程控制管理，应由专门的技术人员负责。

**7.4.2** 保护系统的各部件宜每天检查一次。

**7.4.3** 输出电压、电流和电位宜每天记录一次。

**7.4.4** 通电结束后应拆除阳极系统及其组件，检测混凝土表面外观缺陷及裂缝的修复效果。

## 8 质量控制与检验

**8.0.1** 施工前应进行材料和仪器设备性能的检验,合格后方可进行安装施工。

**8.0.2** 施工过程应控制每道工序的质量,合格后方可进行下道工序施工。

**8.0.3** 外加电流阴极保护质量控制与检验应包括下列内容:

- (1)混凝土结构预处理;
- (2)保护单元内钢筋电连接性;
- (3)参比电极的性能及安装;
- (4)阳极系统的性能及安装;
- (5)接头制作及电缆铺设;
- (6)仪器和设备性能;
- (7)运行状况及保护效果。

**8.0.4** 牺牲阳极阴极保护的质量控制与检验应包括下列内容:

- (1)混凝土结构预处理;
- (2)保护单元内钢筋电连接性;
- (3)参比电极的性能及安装;
- (4)阳极系统的性能及安装;
- (5)接头及电缆铺设;
- (6)监控设备的性能;
- (7)运行状况及保护效果。

**8.0.5** 电化学脱盐防腐保护处理的质量控制与检验应包括下列内容:

- (1)混凝土结构预处理;
- (2)保护单元内钢筋电连接性;
- (3)参比电极的性能及安装;
- (4)阳极系统的性能及安装;
- (5)接头制作及电缆铺设;
- (6)仪器和设备性能;
- (7)运行状况及处理效果;
- (8)混凝土表面封闭涂层。

**8.0.6** 电沉积处理质量控制与检验应包括下列内容:

- (1)混凝土结构预处理;
- (2)保护单元内钢筋电连接性;
- (3)参比电极的性能及安装;

- (4) 阳极系统的性能及安装；
- (5) 接头制作及电缆铺设；
- (6) 仪器和设备性能；
- (7) 运行状况及处理效果。

**8.0.7** 质量控制与检验的方法应按附录 B 的规定执行。

# 附录 A 钢筋混凝土电化学防腐蚀技术参数

**A.0.1** 各种电化学防腐蚀技术参数见表 A.0.1-1, 其中不同环境和腐蚀状况下的阴极保护电流密度参数见表 A.0.1-2。

电化学防腐蚀技术参数

表 A.0.1-1

项 目	阴 极 保 护	电 化 学 脱 盐	电 沉 积
通电时间	在防腐蚀期间持续通电	30 ~ 60d	60 ~ 180d
电流密度 $i(\text{mA}/\text{m}^2)$	$0.1 \leq i \leq 50$	$1000 \leq i \leq 2000$	$500 \leq i \leq 1000$
通电电压 $U(\text{V})$	$U \leq 15$	$5 \leq U \leq 50$	$10 \leq U \leq 30$
电解质溶液	—	$\text{Ca(OH)}_2$ 饱和溶液	海水
确认效果的方法	测定电位或电位衰减值	测定混凝土的氯离子含量和钢筋电位	测定裂缝愈合率和填充深度
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

阴极保护电流密度参考值

表 A.0.1-2

钢筋周围的环境及钢筋的状况	电流密度( $\text{mA}/\text{m}^2$ )
碱性、供氧少、钢筋尚未锈蚀	0.1
碱性、露天结构、钢筋尚未锈蚀	1 ~ 3
碱性、干燥、有氯盐、混凝土保护层厚, 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, 钢筋普遍发生点蚀或全面锈蚀	8 ~ 20
氯盐含量高, 潮湿, 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

## 附录 B 质量控制与检验方法

### B.1 混凝土结构预处理

**B.1.1** 混凝土结构凿除与修补范围可采用目测法或量测法,凿除范围应大于混凝土破损范围,并恢复至原断面。

**B.1.2** 修补砂浆材料的抗压强度和粘结强度检验应按现行行业标准《港口水工建筑物修补加固技术规范》(JTS 311)附录A的有关规定执行。

**B.1.3** 修补砂浆的电阻率可用混凝土电阻率测定仪测量,必要时应采用局部破损方法对测定仪测量结果进行校准。单块修补面积大于 $2\text{m}^2$ 时,测点数量不应少于2个。

**B.1.4** 每个保护单元混凝土表面状况应进行目视检查,表面应无外露金属、有机涂层等影响电流分布的缺陷。

### B.2 外加电流阴极保护

**B.2.1** 钢筋电连接性检验宜采用直流电阻法。采用数字万用表测量保护单元内不同钢筋之间的电阻,其电阻值应小于 $1.0\Omega$ 。

**B.2.2** 参比电极的电位值应采用内阻不低于 $10M\Omega$ 的数字万用表和校核参比电极逐只测量,允许偏差为 $\pm 10\text{mV}$ 。参比电极安装位置采用量测法检查,允许偏差为 $\pm 100\text{mm}$ 。

**B.2.3** 阳极系统的质量控制与检验方法应符合下列规定。

**B.2.3.1** 逐件目视检查辅助阳极外观和规格型号,外观应均匀一致、无气泡、裂缝等缺陷。

**B.2.3.2** 辅助阳极的安装位置可用量测法检查,允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ 。

**B.2.3.3** 保护单元内辅助阳极的电连接性检验宜采用直流电阻法,电阻值应小于 $1.0\Omega$ 。

**B.2.3.4** 目视检查导电涂层外观质量,涂层表面应均匀,无气泡、裂缝等缺陷;涂装完成7d后,应采用涂层附着力测试仪测定附着力,每个保护单元随机抽测3个测点,平均附着力不应小于设计值,最小附着力不应小于设计值的75%。

**B.2.3.5** 目视检查辅助阳极的覆盖层或导电聚合物回填料外观状况,外观应均匀,无气泡、裂纹等缺陷。

**B.2.3.6** 阳极系统安装后,应检查所有回路电阻,评判所有回路的电连接性和绝缘性。

**B.2.4** 电缆的外观、规格型号与标识和接头应逐一目测检验,并检测电缆和接头的绝缘性和电连续性。

**B.2.5** 仪器和设备应逐件检查其规格型号和是否完好。

**B.2.6** 运行状况和保护效果检测应符合下列规定。

**B.2.6.1** 直流电源的输出电压、输出电流值、监控系统的电位指示值不符合规定或与前次检测结果有较大差异时,应对仪器设备和电路进行检测,查明故障部位及原因并进行处理。

**B.2.6.2** 保护结构表面覆盖层外观状况,应无开裂、空鼓、脱落等缺陷。

**B.2.6.3** 保护电位或极化电位衰减值不符合规定值时,应调节仪器设备的控制值。

### B.3 牺牲阳极阴极保护

**B.3.1** 保护单元内钢筋电连接性和参比电极的质量控制与检验方法应符合第 B.2.1 条和第 B.2.2 条的规定。

**B.3.2** 阳极系统的质量控制与检验方法应符合下列规定。

**B.3.2.1** 阳极的化学成分分析按现行国家标准《铝—锌—钢系合金牺牲阳极化学分析方法》(GB/T 4949)的规定进行,电化学性能检验按现行国家标准《牺牲阳极电化学性能试验方法》(GB/T 17848)的规定进行,结果应符合设计要求。

**B.3.2.2** 阳极的外观质量可目视检验,外观应均匀一致,无气泡、裂缝等缺陷。

**B.3.2.3** 每保护单元应随机抽测 3 个测点的喷涂层厚度,其平均厚度不应小于设计值,最小厚度不应小于设计值的 75%。涂层附着力可采用附着力测试仪测定,每保护单元应随机抽测 3 个测点,其平均附着力不应小于设计值,最小附着力不应小于设计值的 75%。

**B.3.2.4** 锌箔和锌网阳极的总重量不应出现负偏差。

**B.3.3** 电缆和监控设备的质量控制与检验应符合第 B.2.4 条和第 B.2.5 条的规定。

**B.3.4** 运行状况和保护效果检测应符合下列规定。

**B.3.4.1** 监控系统的电位指示值不符合规定或与前次检测结果有较大差异时,应对仪器设备和电路进行检测,查明故障部位及原因并进行处理。

**B.3.4.2** 运行期间阳极系统应无脱开、脱落等缺陷。

**B.3.4.3** 混凝土表面覆盖层应无开裂、空鼓、脱落等缺陷。

**B.3.4.4** 保护电位或极化电位衰减值不符合规定值时,应采取补救措施。

### B.4 电化学脱盐

**B.4.1** 保护单元内钢筋电连接性和参比电极的质量控制与检验方法应符合第 B.2.1 条和第 B.2.2 条的规定。

**B.4.2** 阳极系统的质量控制与检验方法应符合下列规定。

**B.4.2.1** 辅助阳极外观和规格型号应逐件目视检查,外观应均匀一致,无气泡、裂缝等缺陷。

**B.4.2.2** 辅助阳极的安装位置可用量测法检查,允许偏差为  $\pm 50\text{mm}$ 。

**B.4.2.3** 保护单元内辅助阳极的电连接性检验宜采用直流电阻法,电阻值应小于  $1.0\Omega$ 。

**B.4.2.4** 阳极系统安装后,应检查所有回路电阻,评判所有回路的电连接性和绝

缘性。

**B.4.2.5** 注入电解质后,应目视检查阳极系统泄漏情况,泄漏严重时应采取必要措施。

**B.4.3** 电缆和仪器设备的质量控制与检验应符合第B.2.4条和第B.2.5条的规定。

**B.4.4** 运行状况和处理效果的质量检测应符合下列规定。

**B.4.4.1** 直流电源的检验应满足第B.2.6.1款的要求。

**B.4.4.2** 线路的绝缘阻抗应进行检测,绝缘不良好的部位应查明原因并及时进行处理。

**B.4.4.3** 电解质溶液的pH值检验每天不少于1次且应大于9.0。

**B.4.4.4** 氯离子含量检测方法应满足下列要求:

(1)选取具有代表性的位置取样,并避开主筋、预埋铁件、管线以及受力较大和修补等区域;取样数量不少于保护单元总数量的5%且每类构件数量不少于1件;

(2)按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的方法测定砂浆的水溶性氯离子含量;

(3)电化学脱盐处理后,混凝土中的氯离子含量应小于水泥砂浆质量的0.1%。

**B.4.4.5** 构件去极化结束后应进行钢筋自腐蚀电位检验,其检测方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的有关规定。

**B.4.4.6** 混凝土表面封闭涂层的质量控制与检查应符合现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的有关规定。

## B.5 电 沉 积

**B.5.1** 保护单元内钢筋电连接性和参比电极的质量控制与检验方法应符合第B.2.1条和第B.2.2条的规定。

**B.5.2** 辅助阳极应逐件检验规格型号、外观状况和尺寸。

**B.5.3** 电缆和仪器设备的质量控制与检验应符合第B.2.4条和第B.2.5条的规定。

**B.5.4** 运行状况和处理效果的质量检测应符合下列规定。

**B.5.4.1** 直流电源的检验应满足第B.2.6.1款的要求。

**B.5.4.2** 线路的绝缘性应进行检测,绝缘不好的部位应查明原因并及时进行处理。

**B.5.4.3** 检验裂缝愈合程度,裂缝应完全被沉积物堵塞,检验数量应不少于裂缝总数的10%,且不少于5条。

**B.5.4.4** 裂缝填充深度检验应满足下列要求:

(1)采用钻取芯样法检验水位变动区的裂缝填充深度;

(2)选取具有代表性的位置取芯,并避开主筋、预埋铁件、管线以及受力较大和修补等区域;检验数量不少于2条裂缝;

(3)沿裂缝劈开芯样,等间距选取不少于3个点,用游标卡尺量取每个点的封填深度,其均值即为裂缝填充深度;

(4)裂缝的填充深度大于5mm。

## 附录 C 施工记录

**C.0.1** 海港工程钢筋混凝土结构电化学防腐蚀安装与调试过程应填写施工记录。施工记录见表 C.0.1。

施工记录表

表 C.0.1

编号：

序号	检测设备及型号	项目名称	部位	记录内容	备注
1		凿除范围			
2		修补范围			
3		接触电阻			
4		混凝土电阻率			
5		混凝土外观状况			
6		钢筋电连接性			
7		短路测试			
8		电绝缘性测试			
9		保护电流			
10		保护电位			
11		输出电流			
12		输出电压			
13		仪器设备检验			
14		回路电阻			
15		自腐蚀电位			
16		电位衰减值			

检测人员：

记录人员：

日期：

## 附录 D 本规范用词用语说明

**D.0.1** 为便于在执行本规范条文时区别对待,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,在条件许可时应尽量这样做的:

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”。

**D.0.2** 条文中指定应按其它有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

## 附加说明

### 本规范主编单位、参编单位、 主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:南京水利科学研究院

参 编 单 位:中交四航工程研究院有限公司

中交水运规划设计院有限公司

宁波港股份有限公司

浙江省交通规划设计研究院

浙江浙能中煤舟山煤电有限责任公司

国电浙江北仑第一发电有限公司

主要起草人:范卫国(南京水利科学研究院)

李森林(南京水利科学研究院)

朱雅仙(南京水利科学研究院)

(以下按姓氏笔画为序)

孔 敏(南京水利科学研究院)

王 鸣(浙江浙能中煤舟山煤电有限责任公司)

方英豪(宁波港股份有限公司)

史忠裕(国电浙江北仑第一发电有限公司)

应永良(浙江省交通规划设计研究院)

陈 龙(中交四航工程研究院有限公司)

张一禾(宁波港股份有限公司)

胡家顺(中交水运规划设计院有限公司)

贾宁一(南京水利科学研究院)

徐 宁(南京水利科学研究院)

黄卫明(宁波港股份有限公司)

蔡伟成(南京水利科学研究院)

杨 虎(南京水利科学研究院)

总校人员名单:胡 明(交通运输部水运局)

张浩强(交通运输部水运局)

吴敦龙(中交水运规划设计院有限公司)

王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

范卫国(南京水利科学研究院)

李森林(南京水利科学研究院)

朱雅仙(南京水利科学研究院)

蔡伟成(南京水利科学研究院)

董 方(人民交通出版社)

管理组人员名单:范卫国(南京水利科学研究院)

李森林(南京水利科学研究院)

朱雅仙(南京水利科学研究院)

贾宁一(南京水利科学研究院)

徐 宁(南京水利科学研究院)

中华人民共和国行业标准

**海港工程钢筋混凝土结构  
电化学防腐蚀技术规范**

JTS 153—2—2012

**条文说明**

# 目 次

1 总则 .....	(31)
3 基本规定 .....	(33)
4 外加电流阴极保护 .....	(34)
4.1 一般规定 .....	(34)
4.2 系统设计 .....	(35)
4.3 安装与调试 .....	(35)
5 牺牲阳极阴极保护 .....	(36)
5.2 系统设计 .....	(36)
6 电化学脱盐 .....	(37)
6.1 一般规定 .....	(37)
6.2 系统设计 .....	(37)
6.4 过程控制 .....	(37)
6.5 后处理 .....	(38)
7 电沉积 .....	(39)
7.1 一般规定 .....	(39)

# 1 总 则

**1.0.1** 处于海洋氯盐污染环境中的海港工程钢筋混凝土结构,尤其是处于浪溅区的上部结构易受氯盐诱发的钢筋腐蚀,导致钢筋混凝土结构过早破坏。据20世纪80年代、90年代所开展的我国各海港码头腐蚀破坏状况调查结果分析,认为南方地区20世纪50~70年代末建造的港口码头结构,多在建成5年左右,混凝土表面即出现微细裂缝和轻度锈斑;一般在7~8a,较好的不到15a,就有构件出现因钢筋锈胀的混凝土开裂、剥落情况,需要进行修补;此后破坏速度明显加快,至15~20a时,就有70%左右的结构构件处于钢筋大面积锈蚀、混凝土大面积剥落的状态,不得不进行维修才不致造成严重后果。据20世纪80年代中后期建造的、耐久性设计指标按1987年修订的新规定执行的海港码头调查发现,运行10~15a,大部分码头的构件已发生轻度和中度破坏,甚至有一些码头30%~45%的构件已发生严重破坏,钢筋严重锈蚀,混凝土严重胀裂剥落,一定要进行大修方能继续使用。

因此,采取有效的防腐蚀措施,延长海工钢筋混凝土结构物使用寿命,是十分必要的。氯离子侵蚀导致钢筋锈蚀是引起海工钢筋混凝土结构腐蚀破損的主要原因。对上述原因引起的海工钢筋混凝土结构腐蚀破損,采用传统的局部修补方法,难以全面彻底清除导致腐蚀破損的氯离子,即使修补处混凝土质量好,也难以抑制补丁附近区域原钝化的钢筋演变为新的阳极区而开始腐蚀。采用渗入型阻锈剂处理局部修补部位的钢筋和老混凝土界面处,该问题可得到一定程度的改善;但若范围大,还是不能完全奏效。因此,至今国际上仍认为电化学防腐蚀技术是维修这些结构的一项经济可靠的、必不可少的技术措施。目前,不仅欧美国家已制订了该技术标准,比我国在这一技术领域起步晚的日本也已制订了相应的标准规范。我国于上世纪80年起就逐步从事电化学防腐蚀技术的研究,在技术上紧跟欧美等先进国家,其中阴极保护和电化学脱盐技术在我国海港码头、跨海大桥上已逐渐开始应用。虽然目前电沉积技术在我国还没有工程应用,但只有制订了相应的规范,才能推动该技术应用。此外,随着与国际的接轨,到国外或外国公司到我国承包类似工程越来越多。因此,特制定本规范。

2011年颁布实施的《港口水工建筑物修补加固技术规范》(JTS 311—2011)仅编写了“电化学脱盐”和“外加电流阴极保护”的有关内容,未将牺牲阳极阴极保护和电沉积技术包含在内,且相对于《港口水工建筑物修补加固技术规范》(JTS 311—2011),本规范对“电化学脱盐”和“外加电流阴极保护”的有关内容进行了细化,对有关条文进行了详细说明,明确了质量控制与检验的项目、方法及数量等。相对于《港口水工建筑物修补加固技术规范》(JTS 311—2011)本规范更具针对性,更易操作。

**1.0.2~1.0.3** 本规范的适用范围是针对氯盐污染的海港码头钢筋混凝土结构的电化学

防腐蚀,其他因素引起的钢筋混凝土结构腐蚀的防腐蚀技术不在本规范范围内。

执行本规范涉及国家现行有关规范较多。因此,对海港工程钢筋混凝土结构进行的电化学防腐蚀设计、施工、验收和维护管理,除应符合本规范规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

### 3 基本规定

**3.0.2.1** 钢筋混凝土结构所处的环境条件、结构和构造、混凝土状况等资料,是进行电化学防腐蚀设计的重要基础,也是选择电化学防腐保护方法和对电化学防腐方法保护效果进行评估的依据。

**3.0.4** 在一座海港工程钢筋混凝土结构物中,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。为使电化学防腐保护连续有效,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。

**3.0.6** 环氧涂层钢筋是先在工厂流水线上喷涂,然后在现场切断、弯曲再组成笼,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,如果采用阴极保护,没有电连接性钢筋的环氧涂层破损处必然会遭受严重杂散电流腐蚀。

如果保护电流密度过大,会降低钢筋与混凝土之间的附着强度,促进碱活性骨料发生膨胀反应,损伤混凝土。对于预应力筋,会发生析氢反应,使钢筋氢脆。

## 4 外加电流阴极保护

### 4.1 一般规定

**4.1.2** 保证钢筋的电连接性是实施阴极保护的基本前提。新建工程在混凝土浇筑时就进行电连接处理是为以后更为方便地实施阴极保护。

**4.1.4** 保护电流密度与被保护结构所处的环境条件(温度、湿度、供氧量、氯盐污染程度)、结构物复杂性、混凝土质量、保护层厚度、钢筋腐蚀程度等因素有关。因此,本条规定初始保护电流密度宜采用经验数据或进行现场试验确定。国内外海港钢筋混凝土结构采用阴极保护方式,保护电流密度值见表 4.1.4。

钢筋混凝土结构阴极保护的保护电流密度值举例

表 4.1.4

工程名称	阴极保护方式	保护电流密度( $\text{mA}/\text{m}^2$ )	备注
我国大丰挡潮闸胸墙钢筋混凝土梁	外加电流	< 10,以表层钢筋面积计	平均值
我国连云港二码头东侧钢筋混凝土梁底板		17.6,以表层钢筋面积计	平均值
我国湛江港码头横梁、肋和板		< 20,以表层钢筋面积计	
我国渤海码头钢筋混凝土承重梁		10 ~ 20	随潮涨潮落变化
澳大利亚悉尼歌剧院下部构件		14.44,以混凝土表面积计	设计值
美国维吉尼亚混凝土桥梁面板		5.3 ~ 13.6,以混凝土表面积计	运行 897 天后不同区域整流器设置值
德国绕城公路钢筋混凝土结构		1 ~ 10,以钢筋表面积计	运行前 6 年不同区域
佛罗里达 Sanibel 岛公寓大楼柱和梁	牺牲阳极	3 ~ 7,以钢筋表面积计	调整后不同区域
阿拉斯加 Ketchikan 高架桥		2.69 ~ 3.44,以混凝土表面积计	运行 20 个月后柱的保护电流密度
维吉尼亚 Hampton 预应力混凝土桩		0.58 ~ 1.6,以混凝土表面积计	锌网,运行初期测量值
		0.36 ~ 1.0,以混凝土表面积计	热喷锌,运行初期测量值
		2.0 ~ 8.4,以混凝土表面积计	电弧喷铝 - 锌 - 钨
		28.9 ~ 37.0,以混凝土表面积计	锌箔/水泥胶
		57.0 ~ 62.0,以混凝土表面积计	锌网/水泥浆护套

**4.1.6** 基于美国腐蚀工程师协会标准 NACE RP0290—2000 和欧洲标准 EN12696 :2000 对钢筋混凝土阴极保护准则的规定,结合国内外成功应用的工程实例,提出了本规范的阴极保护电位要求。

## 4.2 系统设计

**4.2.2** 外加电流阴极保护系统在长期运行过程中会酸化阳极系统。因此,阳极系统应具有抵抗酸化能力。表 4.2.2 是迄今国内外实际工程成功应用的阳极系统。

**4.2.4** 由石墨、活化钛和锌制作的参比电极,由于它们自身的半电池电位不可逆和不稳定,因此通常用于测量不超过 24h 的电位极化衰减值。

$\text{Ag}/\text{AgCl}/0.5\text{ mol/L KCl}$  电极和  $\text{Mn}/\text{MnO}_2/0.5\text{ mol/L NaOH}$  电极的在碱性条件下性能稳定,寿命长。因此,可作为埋入参比电极。

埋入式参比电极或探头布置的位置对测量结果影响较大,为了避免出现“过保护”和“欠保护”,应在保护电位最正的位置或最负的位置均匀布置参比电极或探头。

**4.2.5** 为避免回路电流干扰保护电位测量结果,严禁用阴极电缆代替测量电缆。

为防止外界磁场对参比电极反馈的电位信号的干扰,参比电极电缆需要采用屏蔽电缆。因为动力电缆交流磁场强,所以参比电极电缆不得紧靠动力电缆。

## 4.3 安装与调试

**4.3.2.2** 预应力钢筋的电连接采用电焊连接,会引起应力松弛。

**4.3.2.3** 风镐等机械方式凿除,可能引起凿除周围混凝土存在微小裂缝,影响电化学保护措施的实施。钢筋锈蚀引起的混凝土破损,其表观破损范围一般小于实际破损范围。因此,在进行局部凿除修补时,凿除范围应适当大于表观破损范围。为使修复材料的性能与本体混凝土的相近,要求采用水泥基材料修补。

**4.3.2.4** 为了防止阴极系统和阳极系统出现短路或断路以及电流的分布不均等。

**4.3.2.5** 参比电极与钢筋短路会引起测得的保护电位失真。

## 5 牺牲阳极阴极保护

### 5.2 系统设计

**5.2.4** 对于水位变动区及以上部位进行钢筋混凝土结构阴极保护,要求牺牲阳极能够将保护电流均匀地分布于整个保护区域内混凝土表面,使所有钢筋得到有效保护;另一方面,要求牺牲阳极消耗速度小,且溶解消耗产生的腐蚀产物不会对混凝土和阳极性能产生不良影响。因此,目前海水和土壤环境中阴极保护工程广泛使用的块状、棒状、手镯状和带状等形式的牺牲阳极是不适用的。表 5.2.4 中列出的阳极系统目前已有成功应用的案例。

# 6 电化学脱盐

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 水位变动区实施电化学脱盐后,长期效果尚有待研究,且由于间歇地遭受海水浸泡,回路电阻变化较大,控制不当会对直流电源系统造成一定的影响。水下区域实施电化学脱盐难度较大。因此,本条文规定了电化学脱盐可适用于水位变动区以上部位。

**6.1.2** 混凝土内的有害氯离子浓度低于使钢筋锈蚀的临界氯离子浓度,钢筋就不会发生腐蚀。但是,钢筋锈蚀的临界氯离子浓度并非定值,其大小取决于以下因素:(1)孔溶液的pH值—随pH增加而提高;(2)胶凝材料中的C<sub>3</sub>A、C<sub>4</sub>AF含量—随其含量增加而提高;(3)胶凝材料的种类—可能上下波动;(4)水灰比—随水灰比的增加而降低。据此,为了评判脱盐效果,规定了混凝土内氯离子含量相对于水泥砂浆应低于0.1%。

**6.1.3** 电化学脱盐处理目的是清除混凝土内的氯离子,但处理后或多或少都会有氯离子残留下来。初始氯离子含量越多,氯离子残留的越多,若初始氯离子含量大于0.35%,即使达到70%的脱盐效率,混凝土内残余的氯离子仍然大于0.1%,阻锈剂可有效提高钢筋锈蚀的临界氯离子含量。因此,当混凝土内初始氯离子含量较高时,规定电化学脱盐过程加入适量钢筋阻锈剂。

**6.1.4** 涂层封闭处理可有效减少外界环境中氯离子对混凝土的侵蚀。

## 6.2 系统设计

**6.2.2** 本条为电化学脱盐防腐保护技术阳极系统的基本规定。

网状阳极能为混凝土提供均匀的电流分布。条状阳极的间距不大于0.5m时,也能达到预期的保护效果。

在电化学脱盐期间,阳极反应会使周围电解质溶液不断酸化,故选用碱性电解质。为了抑制碱骨料反应的发生,宜在电解质溶液中加入0.1mol/L LiOH或0.1mol/L Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液。

## 6.4 过程控制

**6.4.1** 为确保电化学脱盐处理获得良好的保护效果,除正确地进行设计、施工、调试外,过程控制是一个重要环节,过程管理不善,会导致电化学脱盐无法达到预期效果。鉴于电化学脱盐防腐保护技术尚未被广泛普及,且该技术的技术含量较高,应由专门的技术人员进行过程控制管理。

**6.4.4** 过程控制中,对电解质溶液的基本要求。若电解质溶液为酸性,就有可能导致混

凝土表面酸化等不利情况发生。

## 6.5 后 处 理

**6.5.1** 本条规定了海港工程钢筋混凝土结构电化学脱盐防腐保护系统,通电完毕后应采取的措施及原则要求等。

因为海港工程钢筋混凝土结构常年暴露于氯盐污染环境中,因此电化学脱盐处理完毕,建议采用涂层封闭处理,以减缓环境中的氯离子对混凝土的侵蚀,提高电化学脱盐处理的保护年限。

## 7 电沉 积

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 对于大气区和浪溅区的混凝土结构实施电沉积的工艺目前还不成熟,且有效电解质材料的选择还有待进一步研究,故本规范仅针对水位变动区和水下区部位。

**7.1.2** 电沉积物要求具有良好的耐久性和附着力,否则,难以达到长期防腐保护效果。

水运图书工作室



欢迎光临中国水运图书网  
[www.chinasybook.com](http://www.chinasybook.com)

统一书号：15114 · 1745

定 价：30.00元

网上购书 / [www.chinasybook.com](http://www.chinasybook.com)