

JTS

中华人民共和国行业标准

JTS 153-3-2007

海港工程钢结构防腐蚀技术规范

Technical Specification for Corrosion
Protection of Steel Structures for Sea Port Construction

2007-11-26 发布

2008-05-01 实施

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

海港工程钢结构防腐蚀技术规范

JTS 153—3—2007

主编单位:中交天津港湾工程研究院有限公司

批准部门:中华人民共和国交通部

施行日期:2008年5月1日

人民交通出版社

2007·北京

中华人民共和国行业标准

书 名: 海港工程钢结构防腐蚀技术规范

著 作 者: 中交天津港湾工程研究院有限公司

责任编辑: 孙毓华

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.chinasybook.com> (中国水运图书网)

销售电话: (010)85285376, 85285956

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 人民交通出版社交实书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 850×1168 1/32

印 张: 2.625

字 数: 60千

版 次: 2008年4月第1版

印 次: 2008年4月第1次印刷

统一书号: 15114·1177

印 数: 0001—3000册

定 价: 25.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

关于公布《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》 (JTS 153—3—2007)的公告

2007 年第 37 号

现公布《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》为强制性行业标准,编号为 JTS 153—3—2007,自 2008 年 5 月 1 日起施行。《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTJ 230—89)同时废止。

本标准的第 4.5.34 条的黑体字部分为强制性条文,与建设部公布的《工程建设标准强制性条文(水运工程部分)》(建标[2002]273 号)具有同等效力,必须严格执行。

本标准由我部组织中交天津港湾工程研究院有限公司等单位编制完成,由我部水运司负责管理和解释,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部
二〇〇七年十一月二十六日

修 订 说 明

本规范是在《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ 230—89)的基础上,总结了近年来我国海港工程钢结构防腐蚀设计、施工和检测的成功经验,参考了国内外钢结构防腐蚀的相关标准,经深入调查研究、广泛征求意见修订而成。主要包括防腐蚀设计、防腐蚀施工、检验与验收和维护管理等技术内容。

本规范的主编单位为中交天津港湾工程研究院有限公司,参加单位为中交上海港湾工程设计研究院有限公司和中交四航工程研究院有限公司。

《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ 230—89)自 1989 年实施以来,对我国海港工程钢结构防腐蚀设计、施工和维护管理起到了积极的指导和规范作用。随着我国水运工程建设事业的不断发展,大量的新材料、新工艺和新设备不断涌现,《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ 230—89)已不能适应海港工程钢结构防腐蚀的需要,为此交通部水运司组织中交天津港湾工程研究院有限公司等单位对《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ 230—89)进行了修订。

本规范的第 4.5.34 条的黑体字部分为强制性条文,与建设部发布的《工程建设标准强制性条文(水运工程部分)》(建标[2002] 273 号)具有同等效力,必须严格执行。

本规范共分 7 章和 9 个附录,并附条文说明。编写组人员分工如下:

- 1 总则:马化雄 赵立鹏 李俊毅
- 2 术语:马化雄 赵立鹏 李俊毅
- 3 基本规定:马化雄 赵立鹏
- 4 防腐蚀设计:马化雄 王胜年 吴三余

5 防腐蚀施工:赵立鹏 马化雄 王胜年 吴三余

6 检验与验收:马化雄 王胜年 吴三余

7 维护管理:马化雄 王胜年 吴三余

附录 A~附录 H:马化雄 赵立鹏

附录 J:马化雄 赵立鹏

本规范于 2007 年 3 月 20 日通过部审,2007 年 11 月 26 日发布,2008 年 5 月 1 日起实施。

本规范由交通部水运司负责管理和解释。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部水运司(地址:北京市建国门内大街 11 号,交通部水运司工程技术处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:天津市河西区大沽南路 1002 号,中交天津港湾工程研究院有限公司,邮政编码:300222),以便再修订时参考。

目 录

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(6)
4	防腐蚀设计	(9)
4.1	一般规定	(9)
4.2	表面预处理	(10)
4.3	涂层保护	(11)
4.4	金属热喷涂	(14)
4.5	阴极保护	(16)
5	防腐蚀施工	(23)
5.1	一般规定	(23)
5.2	表面预处理	(23)
5.3	涂层保护	(24)
5.4	金属热喷涂	(25)
5.5	阴极保护	(26)
6	检验与验收	(29)
6.1	检验	(29)
6.2	验收	(32)
7	维护管理	(33)
附录 A	常用封闭剂、封闭涂料和涂装涂料	(35)
附录 B	阴极保护普通涂装的涂层破损系数	(36)
附录 C	牺牲阳极的接水电阻和发生电流计算方法	(37)
附录 D	牺牲阳极的数量和使用年限计算方法	(39)
附录 E	阳极屏蔽层的尺寸计算方法	(40)

附录 F 常用辅助阳极性能和几何形状 (42)

附录 G 露点换算表 (43)

附录 H 海港工程钢结构电位检测方法 (44)

附录 J 本规范用词用语说明 (45)

附加说明 本规范主编单位、参加单位、主要起草人、
总校人员和管理组人员名单 (46)

附 条文说明 (49)

1 总 则

1.0.1 为统一海港工程钢结构防腐蚀设计、施工、检验和维护的技术要求,控制防腐蚀工程质量,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于钢桩、栈桥和浮鼓等海港工程钢结构的防腐蚀设计、施工、检验和维护。

1.0.3 海港工程钢结构的防腐蚀设计、施工、检验和维护,除应符合本规范的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 金属腐蚀

金属与环境之间的物理—化学相互作用,其结果会使金属的性能发生变化,并经常可导致金属、环境或由它们作为组成部分的技术体系的功能受到损伤。

2.0.2 电化学腐蚀

至少包含一种电极反应的腐蚀。

2.0.3 腐蚀速率

单位时间内金属腐蚀效应的数值。

2.0.4 腐蚀裕量

设计金属构件时,考虑使用期内可能产生的腐蚀损耗而增加的相应厚度。

2.0.5 电偶腐蚀

由于腐蚀电池的作用而产生的腐蚀。

2.0.6 杂散电流

在非指定回路上流动的电流。

2.0.7 杂散电流腐蚀

由杂散电流引起的腐蚀。

2.0.8 腐蚀电流

参与电极反应,直接造成腐蚀的电流强度。

2.0.9 腐蚀电位

金属在给定腐蚀体系中的电极电位。

2.0.10 自然腐蚀电位

没有净电流从研究金属表面流入或流出时的腐蚀电位。

2.0.11 保护电位范围

为适应特殊目的,使金属达到合乎要求的耐蚀性所需的腐蚀电位值的区间。

2.0.12 保护电位

为进入保护电位范围所必须达到的腐蚀电位临界值。

2.0.13 保护电流密度

使被保护物体电位维持在保护电位范围内所需要的极化电流密度。

2.0.14 阴极保护

通过降低腐蚀电位而达到的电化学保护。

2.0.15 牺牲阳极

依靠自身腐蚀速率的增加而使与之偶合的阴极获得保护的电极。

2.0.16 牺牲阳极阴极保护

由与被保护体偶合的牺牲阳极提供保护电流的阴极保护。

2.0.17 外加电流阴极保护

由外部电源提供保护电流的阴极保护。

2.0.18 保护效率

通过防蚀措施使特定类型的腐蚀速率减少的百分数。

2.0.19 过保护

阴极保护时,由于极化电位过负而产生不良作用的现象。

2.0.20 参比电极

电位具有稳定性和重现性的电极,可以用它作为基准来测量其他电极的电位。

2.0.21 阳极屏蔽层

在外加电流阴极保护系统中,为使辅助阳极的输出电流分布到较远的阴极表面,以达到被保护结构的电位比较均匀,而覆盖在辅助阳极周围一定面积范围内的绝缘层。

2.0.22 接水电阻

阴极保护系统中阳极在水中的界面电阻。

2.0.23 开路电位

牺牲阳极在电解质溶液中的自然腐蚀电位。

2.0.24 工作电位

在电解质中牺牲阳极工作状态下的电位。

2.0.25 驱动电压

牺牲阳极工作电位与被保护体电位的差值。

2.0.26 牺牲阳极利用系数

牺牲阳极使用到不足以提供被保护结构所必需的电流时,阳极消耗质量与阳极原质量之比。

2.0.27 理论电容量

根据法拉第定律计算的阳极消耗单位质量所产生的电量。

2.0.28 实际电容量

实际测得的阳极消耗单位质量所产生的电量。

2.0.29 表面预处理

为改善涂层与基体间的结合力和防蚀效果,在涂装之前用机械方法或化学方法处理基体表面,以达到符合涂装要求的措施。

2.0.30 二次除锈

对已经一次除锈并有保养底漆或磷化保护膜的钢材表面,再次除去锈层及其他污物,以备涂装防蚀涂料的工艺过程。

2.0.31 除锈等级

表示涂装前钢材表面锈层等附着物清除程度的分级。

2.0.32 金属喷涂

用高压空气、惰性气体或电弧等将熔融的耐蚀金属喷射到被保护结构物表面,从而形成保护性涂层的工艺过程。

2.0.33 涂料

一种含有颜料的液态或粉末状材料。当将其施于底材时,能形成具有保护、装饰或特殊功能的不透明薄膜。

2.0.34 涂层

由某一种涂料以一道或多道单一涂覆作业形成的保护层。

2.0.35 涂装

将涂料涂覆于基体表面,形成具有防护、装饰或特定功能涂层

的过程。

2.0.36 附着力

干涂膜与其底材之间的结合力。

2.0.37 耐候性

涂膜抗大气环境作用的能力。

2.0.38 涂层老化

涂膜受到自然因素的作用而发生褪色、变色、龟裂、粉化和剥落等现象,使防锈性能逐渐消失的过程。

2.0.39 针孔

在涂覆和干燥过程中,涂膜中产生小孔的现象。

2.0.40 涂层缺陷

由于表面预处理不当、涂料质量和涂装工艺不良而造成的遮盖力不足、漆膜剥离、针孔、起泡、裂纹和漏涂等缺陷。

2.0.41 包覆

为防止腐蚀,在结构物外表面复合一层耐蚀材料,使原来表面与环境隔离。

2.0.42 包缠

为防止腐蚀,在管道、桩等金属构件外表面缠绕塑料、橡胶等带状防蚀材料,使原有表面与环境隔离。

3 基本规定

- 3.0.1 海港工程钢结构必须进行防腐蚀设计。
- 3.0.2 防腐蚀措施应根据环境条件、材质、结构型式、使用要求、施工条件和维护管理条件等综合确定。
- 3.0.3 海港工程钢结构的部位划分应符合表 3.0.3 的规定。

海港工程钢结构的部位划分 表 3.0.3

掩护条件	划分类别	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区	泥下区
有掩护条件	按港工设计水位	设计高水位加 1.5m 以上	大气区下界至设计高水位减 1.0m 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区下界至海泥面	海泥面以下
	按港工设计水位	设计高水位加 $(\eta_0 + 1.0\text{m})$ 以上	大气区下界至设计高水位减 η_0 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区下界至海泥面	海泥面以下
无掩护条件	按天文潮位	最高天文潮位加 0.7 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 以上	大气区下界至最高天文潮位减百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	浪溅区下界至最低天文潮位减 0.2 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	水位变动区下界至海泥面	海泥面以下
	按天文潮位	最高天文潮位加 0.7 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 以上	大气区下界至最高天文潮位减百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	浪溅区下界至最低天文潮位减 0.2 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	水位变动区下界至海泥面	海泥面以下

注：① η_0 值为设计高水位时的重现期 50 年， $H_{1\%}$ (波列累积频率为 1% 的波高) 波峰面高度；

② 当无掩护条件的海港工程钢结构无法按港工有关规范计算设计水位时，可按天文潮位确定钢结构的部位划分。

3.0.4 位于水位变动区以下的钢结构宜采用相同的钢种,当采用不同钢种时,必须采取消除电偶腐蚀的措施。

3.0.5 承受交变应力的水下区钢结构必须进行阴极保护。

3.0.6 海港工程钢结构防腐蚀不宜单采用腐蚀裕量法。

3.0.7 采用涂层或阴极保护时,结构设计应留有适当的腐蚀裕量,钢结构不同部位的单面腐蚀裕量可按下式计算:

$$\Delta\delta = K[(1 - P)t_1 + (t - t_1)] \tag{3.0.7}$$

式中 $\Delta\delta$ ——钢结构单面腐蚀裕量(mm);

K ——钢结构单面平均腐蚀速度(mm/a),碳素钢单面平均腐蚀速度可参照表 3.0.7-1 取值,必要时可现场实测确定;采用低合金钢时,可参照表 3.0.7-1 取值,也可按类似环境中的实测结果进行适当调整;

P ——保护效率(%),采用涂层保护时,在涂层的设计使用年限内,保护效率可取 50% ~ 95%;采用阴极保护时,保护效率可按表 3.0.7-2 取值;采用阴极保护和涂层联合保护时,保护效率可取 85% ~ 95%;

t_1 ——防腐蚀措施的设计使用年限(a);

t ——钢结构的设计使用年限(a)。

钢结构的单面平均腐蚀速度 表 3.0.7-1

部 位		平均腐蚀速度(mm/a)
大气区		0.05 ~ 0.10
浪溅区	有掩护条件	0.20 ~ 0.30
	无掩护条件	0.40 ~ 0.50
水位变动区、水下区		0.12
泥下区		0.05

注:①表中平均腐蚀速度适用于 pH=4 ~ 10 的环境条件,对有严重污染的环境,应适当增大;
②对水质含盐量层次分明的河口区或年平均气温高、波浪大、流速大的环境,应适当增大;
③钢板桩岸侧可参照泥下区取值。

阴极保护效率表 3.0.7-2

部 位	$P(\%)$
水位变动区	$20 \leq P < 90$
水下区	$P \geq 90$

- 3.0.8** 密闭的钢结构内壁可不考虑腐蚀裕量。
- 3.0.9** 有条件时,海港工程钢结构应减少在浪溅区的表面积,宜采用易于进行防腐蚀施工的结构型式。
- 3.0.10** 埋于混凝土桩帽、墩台或胸墙中的钢桩应做好钢桩之间的电连接。
- 3.0.11** 水位变动区以下部位的辅助构件或预埋件应与主体钢结构进行电连接。
- 3.0.12** 与主构件连接的临时性钢结构应予以拆除。

4 防腐蚀设计

4.1 一般规定

4.1.1 设计前应掌握被保护钢结构所处环境条件、结构型式、外形尺寸和使用状况等资料。当资料不全时,可参考类似工程经验或进行现场勘察。

4.1.2 初步设计应编制设计说明书,技术指标应简单明确。施工图设计应包括施工图、施工工艺和质量检验标准。

4.1.3 防腐蚀措施应根据结构的部位、保护年限、施工、维护管理、安全要求和技术经济效益等因素确定,并应符合下列规定。

4.1.3.1 大气区的防腐蚀应采用涂层或金属喷涂层保护。陆域结构型式复杂或厚度小于 1mm 的薄壁钢结构可采用热浸镀锌或电镀锌加涂料保护。

4.1.3.2 浪溅区和水位变动区的防腐蚀宜采用重防蚀涂层或金属热喷涂层加封闭涂层保护,也可采用树脂砂浆或包覆有机复合层、复合耐蚀金属层保护。

4.1.3.3 水下区的防腐蚀可采用阴极保护和涂层联合保护或单独采用阴极保护。当单独采用阴极保护时,应考虑施工期的防腐蚀措施。

4.1.3.4 泥下区的防腐蚀应采用阴极保护。当将牺牲阳极埋设于海泥中时,应选用适当的阳极材料,并应考虑其驱动电压和电流效率的下降。

4.1.3.5 钢板桩岸侧、锚固桩及拉杆等海港埋地钢结构的防腐蚀宜采用外加电流阴极保护和涂层联合保护,也可采用牺牲阳极阴极保护和涂层联合保护。钢拉杆的防腐蚀可采用阴极保护和包

缠有机防腐蚀材料联合保护。

4.2 表面预处理

- 4.2.1 钢结构在涂装之前必须进行表面预处理。
- 4.2.2 防腐蚀设计文件应提出表面预处理的质量要求,表面清洁度和表面粗糙度应作出明确规定。
- 4.2.3 钢结构在除锈处理前,应清除焊渣、毛刺和飞溅等附着物,并清除基体金属表面可见的油脂和其他污物。
- 4.2.4 钢结构在涂装前的除锈等级应符合现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》(GB 8923)的有关规定外,尚应符合下列规定。

4.2.4.1 除锈清洁度的最低等级要求应符合表 4.2.4-1 的规定。重要工程主要钢结构除锈清洁度的最低等级应提高一级。

不同涂料表面清洁度的最低等级要求 表 4.2.4-1

涂料品种	表面清洁度最低等级	
	喷射或抛射除锈	手工或动力工具除锈
金属热喷涂层、富锌漆	Sa2 $\frac{1}{2}$ (热喷铝涂层及无机富锌涂层为 Sa3)	不允许
环氧沥青漆、聚氨酯漆	Sa2	St3

4.2.4.2 表面粗糙度可根据涂装系统和涂层厚度按表 4.2.4-2 选取,并不宜超过涂装系统总干膜厚度的 1/3。

表面粗糙度选择范围 表 4.2.4-2

涂装系统	常规防腐涂料	厚浆型重防腐涂料	金属热喷涂
涂层厚度(μm)	100 ~ 250	400 ~ 800	100 ~ 300
表面粗糙度(μm)	40 ~ 70	60 ~ 100	40 ~ 85

4.3 涂层保护

- 4.3.1 防腐蚀涂料宜选用经过工程实践证明其综合性能良好的产品,选用新产品应进行技术和经济论证。
- 4.3.2 同一涂装配套中的底、中、面漆宜选用同一厂家的产品。
- 4.3.3 涂料应有完备的材质证明资料。
- 4.3.4 涂料应符合涂装施工的环境条件。
- 4.3.5 大气区采用的防腐蚀涂料应具有良好的耐候性。大气区的涂层系统可按表 4.3.5 选用。

大气区涂层系统 表 4.3.5

设计使用年限 (a)	配套涂料名称			平均涂层厚度 (μm)
10 ~ 20	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧云铁防锈漆	100
		面层	聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆、氟碳涂料	100 ~ 150
	同品种 配套		聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆、氟碳涂料	300 ~ 350
5 ~ 10	组合 配套	底层	富锌漆	50
		中间层	环氧云铁防锈漆	80
		面层	氯化橡胶漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆	80 ~ 120
	同品种 配套		氯化橡胶漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆	220 ~ 250

4.3.6 浪溅区和水位变动区采用的防腐蚀涂料应能适应干湿交替变化,并应具有耐磨损、耐冲击和耐候的性能。浪溅区和水位变

动区的涂层系统可按表 4.3.6 选用。

浪溅区和水位变动区涂层系统 表 4.3.6

设计使用年限 (a)	配套涂料名称			平均涂层厚度 (μm)
10 ~ 20	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧树脂漆、环氧云铁防锈漆	300
		面层	厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆	100 ~ 125
	同品种 配套		厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆、环氧沥青漆	450 ~ 500
5 ~ 10	组合 配套	底层	富锌漆	40
		中间层	环氧树脂漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆	200
		面层	厚浆型环氧漆、氯化橡胶漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆	75 ~ 100
	同品种 配套		厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆、环氧沥青漆	300 ~ 350

4.3.7 水下区和水位变动区采用的防腐蚀涂料应能与阴极保护配套,具有较好的耐电位性和耐碱性。水下区的涂层系统可按表 4.3.7 选用。

4.3.8 设计使用年限 20 年以上的防腐涂装应采用重防腐涂层,涂层系统可参照表 4.3.8 选用。

4.3.9 设计使用年限 30 年以上的防腐技术应根据涂装配套、工艺要求和环境适应性分析确定,可选择包覆厚度不小于 1mm 耐腐蚀合金、包覆厚度不小于 5mm 的热塑性聚乙烯复合包覆层、包覆厚度不小于 3mm 的环氧玻璃钢包覆层和包缠矿脂胶带防腐系统。

水下区涂层系统

表 4.3.7

设计使用年限 (a)	配套涂料名称			平均涂层厚度 (μm)
10 ~ 20	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧树脂漆、聚氨酯漆	250 ~ 300
		面层	厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆	125
	同品种 配套		厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、环氧沥青漆	450 ~ 500
5 ~ 10	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧树脂漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆	150
		面层	厚浆型环氧漆、氯化橡胶漆、聚氨酯漆	75 ~ 100
	同品种 配套		厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆、 环氧沥青漆	300 ~ 350

设计使用年限 20 年以上的涂层系统

表 4.3.8

环境区域	配套涂料名称			平均涂层厚度 (μm)
大气区	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧云铁涂料、环氧玻璃磷片涂料	350 ~ 400
		面层	氟碳涂料	100

续表 4.3.8

环境区域	配套涂料名称			平均涂层厚度 (μm)
浪溅区、水位变动区、水下区	组合配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧云铁涂料	400
			环氧玻璃磷片涂料	350
		面层	环氧重型防腐涂料、厚浆型聚氨酯涂料、厚浆型环氧玻璃磷片涂料	250 ~ 300
	同品种底面层配套		环氧重型防腐涂料	800
			厚浆型聚氨酯涂料	800
			厚浆型环氧玻璃磷片涂料	700

4.3.10 设计使用年限 10 年以上的防腐蚀涂层性能应符合表 4.3.10 的规定。

设计使用年限 10 年以上的防腐蚀涂层性能 表 4.3.10

性能	指标	测试方法执行标准
耐盐雾(h)	4000	《漆膜耐盐雾测定法》(GB 1771)
耐老化(h)	2000	《漆膜老化测定法》(GB 1865)
耐湿热(h)	4000	《漆膜耐湿热测定法》(GB 1740)
附着力(MPa)	4	《色漆和清漆 拉开法附着力试验》(GB 5210)
耐电位(V)	- 1.20	《船舶及海洋工程阳极屏涂料通用技术条件》(GB 7788)

注：①耐电位指标为相对于银/氯化银电极；
②当采用外加电流阴极保护时配套涂层耐阴极电位为 - 1.50V。

4.4 金属热喷涂

4.4.1 金属热喷涂保护系统应包括金属喷涂层和封闭层,复合保护系统还应包括涂层。

4.4.2 金属热喷涂方法可采用气喷涂或电喷涂法。

4.4.3 采用金属热喷涂的钢结构表面必须进行喷射或抛射处理，

表面清洁度和表面粗糙度应符合第 4.2.4 条的规定。

4.4.4 热喷涂金属丝应光洁、无锈、无油、无折痕,金属丝直径宜为 2.0mm 或 3.0mm。

4.4.5 喷涂用金属材料应符合表 4.4.5 的规定。

4.4.5.1 锌应符合现行国家标准《锌锭》(GB/T 470)中规定的 Zn99.99 的质量要求。

4.4.5.2 铝应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》(GB/T 3190)中规定的 1060 的质量要求。

4.4.5.3 锌铝合金的金属组成应为锌 85% ~ 87%,铝 13% ~ 15%。锌铝合金中锌应符合现行国家标准《锌锭》(GB/T 470)中规定的 Zn99.99 的质量要求,铝应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》(GB/T 3190)中规定的 1060 的质量要求。

4.4.5.4 铝镁合金的金属组成应为镁 4.8% ~ 5.5%,铝 94.5% ~ 95.2%。

4.4.5.5 Ac 铝的金属组成应为硒 0.1% ~ 0.3%,铝 99.7% ~ 99.9%。

4.4.6 采用金属热喷涂层的钢结构件应与未喷涂构件电绝缘或对未喷涂部位实施阴极保护。

4.4.7 封闭剂应具有较低的黏度,并应与金属涂层具有良好的相容性。涂层涂料应与封闭层有相容性,并应有良好的耐蚀性。金属热喷涂常用的封闭剂、封闭涂料和涂装涂料可参见附录 A。

4.4.8 金属热喷涂系统可参照表 4.4.8-1 和表 4.4.8-2 选用。并应符合下列规定。

大气区金属热喷涂系统		表 4.4.8-1
设计使用年限(a)	喷涂系统	最小局部厚度(μm)
≥20	喷锌 + 封闭	250 + 60
	喷铝 + 封闭	200 + 60
	喷 Ac 铝 + 封闭	150 + 60
	喷锌 + 封闭 + 涂装	250 + 30 + 100
	喷铝 + 封闭 + 涂装	200 + 30 + 100
	喷 Ac 铝 + 封闭 + 涂装	150 + 30 + 100

续表 4.4.8-1

设计使用年限(a)	喷涂系统	最小局部厚度(μm)
10 ~ 20	喷锌 + 封闭	160 + 60
	喷铝 + 封闭	120 + 60
	喷 Ac 铝 + 封闭	100 + 60
	喷锌 + 封闭 + 涂装	160 + 30 + 100
	喷铝 + 封闭 + 涂装	120 + 30 + 100
	喷 Ac 铝 + 封闭 + 涂装	100 + 30 + 100

浪溅区、水位变动区金属热喷涂系统 表 4.4.8-2

设计使用年限(a)	喷涂系统	最小局部厚度(μm)
≥20	喷铝 + 封闭	250 + 60
	喷 Ac 铝 + 封闭	200 + 60
	喷铝 + 封闭 + 涂装	250 + 30 + 100
	喷 Ac 铝 + 封闭	200 + 30 + 100
10 ~ 20	喷铝 + 封闭	150 + 60
	喷 Ac 铝 + 封闭	150 + 60
	喷 Ac 铝 + 封闭 + 涂装	150 + 60 + 100
	喷铝 + 封闭 + 涂装	150 + 30 + 100
5 ~ 10	喷铝 + 封闭	100 + 30
	喷 Ac 铝 + 封闭	100 + 30
	喷铝 + 封闭 + 涂装	100 + 30 + 60
	喷 Ac 铝 + 封闭 + 涂装	100 + 30 + 60

4.4.8.1 热喷涂材料宜选用铝、铝合金或锌合金。

4.4.8.2 腐蚀严重和维护困难的部位应增加金属涂层的厚度。

4.5 阴 极 保 护

4.5.1 阴极保护可采用牺牲阳极阴极保护、外加电流阴极保护或两种保护的联合，牺牲阳极阴极保护可适用于电阻率小于 500Ω·cm 的海水或淡海水中的钢结构防腐。

4.5.2 预应力桩与钢桩混合使用的工程宜采用牺牲阳极阴极保护。采用外加电流阴极保护时,严禁出现过保护现象。

4.5.3 阴极保护设计应收集如下资料,必要时可进行现场测定:

- (1)钢结构的材质、外形尺寸、表面状况,与相邻结构物的关系;
- (2)介质的盐度或化学成分;
- (3)介质的温度、含氧量、电阻率和 pH 值;
- (4)波浪、潮位、海水流速和水中泥沙含量等;
- (5)介质的污染情况等。

4.5.4 阴极保护测量用参比电极应具有极化小、稳定性好、不易损坏、使用寿命长和适用环境介质等特性。参比电极类型及主要技术性能可参照现行国家标准《船用参比电极技术条件》(GB 7387)和表 4.5.4 选用。

常用参比电极主要技术性能 表 4.5.4

名称	电极结构	电位(V)	适用环境
饱和甘汞电极	Hg/Hg ₂ Cl ₂ 饱和 KCl	+ 0.242	淡水、海水
饱和硫酸铜电极	Cu/饱和 CuSO ₄	+ 0.316	海水、淡水、土壤
海水氯化银电极	Ag/AgCl 海水	+ 0.250	海水
锌合金电极	Zn 合金	- 0.784	海水、淡水、土壤

注:电极电位的参照电极为标准氢电极。

4.5.5 海港工程钢结构的保护电位应符合表 4.5.5 的规定。

钢结构的保护电位 表 4.5.5

环境、材质		保护电位(V)		
		饱和硫酸铜 电极	海水氯化银 电极	锌合金 电极
含氧环境中的钢	最正值	- 0.85	- 0.78	+ 0.25
	最负值	- 1.10	- 1.05	+ 0.00
缺氧环境中的钢(有硫酸盐还原菌腐蚀)	最正值	- 0.95	- 0.90	+ 0.15
	最负值	- 1.10	- 1.05	+ 0.00
高强钢($\sigma_s \geq 700\text{MPa}$)	最正值	- 0.85	- 0.78	+ 0.25
	最负值	- 1.00	- 0.95	+ 0.10

4.5.6 阴极保护面积应包括水位变动区、水下区和泥下区钢结构的表面积。

4.5.7 海港工程钢结构的初期保护电流密度可参照表 4.5.7 选值,必要时可通过现场试验确定。有防腐涂层的钢结构初期保护电流密度应在表 4.5.7 中的选值的基础上乘以涂层破损系数,涂层破损系数应按附录 B 确定。

海港工程钢结构的初期保护电流密度 表 4.5.7

环境介质	钢结构表面状态	保护电流密度(mA/m ²)		
		初始值	维持值	末期值
静止海水	裸钢	100 ~ 130	55 ~ 70	70 ~ 90
流动海水	裸钢	150 ~ 180	60 ~ 80	80 ~ 100
海泥	裸钢	25	20	20
海水堆石	裸钢	60 ~ 90	40 ~ 50	50 ~ 75
海水中混凝土或水泥砂浆包覆	裸钢	10 ~ 25		
水位变动区混凝土	钢筋	5 ~ 20		

4.5.8 采用阴极保护的钢结构必须确保每一个设计单元或整体具有良好的通电连续性,连接方式可采用直接焊接、焊接钢筋连接或电缆连接,连接点面积应大于连接用钢筋或电缆的截面积,连接电阻不应大于 0.01Ω。

4.5.9 总保护电流可按下列公式计算:

$$I = \sum I_n + I_f \tag{4.5.9-1}$$

$$\sum I_n = \sum i_n s_n \tag{4.5.9-2}$$

式中 I ——总保护电流(A);
 I_n ——被保护钢结构各分部位的保护电流(A);
 I_f ——其他附加保护电流(A);
 i_n ——被保护钢结构各分部位的初期保护电流密度(A/m²);
 s_n ——被保护钢结构各分部位的保护面积(m²)。

4.5.10 牺牲阳极材料可采用铝合金或锌合金,其品种、化学成分、电化学性能、金相组织和表面质量等应符合现行国家标准《铝-

锌-镉系合金牺牲阳极》(GB 4948)和《锌-铝-镉合金牺牲阳极》(GB 4950)的有关规定。

4.5.11 牺牲阳极材料应根据环境介质条件和经济因素综合确定,铝合金材料在海泥中应慎用。

4.5.12 牺牲阳极的几何尺寸和质量应能满足阳极初期发生电流、末期发生电流和使用年限的要求,其型号、规格可按现行国家标准《铝-锌-镉系合金牺牲阳极》(GB 4948)和《锌-铝-镉合金牺牲阳极》(GB 4950)选用,也可另行设计。

4.5.13 牺牲阳极的铁芯结构应能保证在整个使用期与阳极体的电连接,并能承受自重和使用环境所施加的荷载,其埋设方式和接触电阻应符合现行国家标准《铝-锌-镉系合金牺牲阳极》(GB 4948)和《锌-铝-镉合金牺牲阳极》(GB 4950)的有关规定。

4.5.14 牺牲阳极的接水电阻和发生电流可按附录 C 计算。牺牲阳极的数量和使用年限可按附录 D 计算。

4.5.15 牺牲阳极的布置应使被保护钢结构的表面电位均匀分布,宜采用均匀布置。牺牲阳极的安装位置应满足下列要求:

(1)牺牲阳极的安装顶高程与设计低水位的距离不小于 1.2m;

(2)牺牲阳极的安装底高程与海泥面的距离不小于 1.0m。

4.5.16 牺牲阳极与被保护钢结构间的距离不宜小于 100mm,当小于 100mm 时应在牺牲阳极与被保护钢结构之间设屏蔽层,其尺寸可参照附录 E 计算。屏蔽层的材料及技术指标应符合现行国家标准《船舶及海洋工程阳极屏涂料通用技术条件》(GB 7788)的有关规定。牺牲阳极紧贴钢结构表面安装时,除应按规定装配屏蔽层外,还应对贴近钢结构表面的牺牲阳极底面进行绝缘涂装。

4.5.17 牺牲阳极的安装方式可采用焊接或螺栓连接。采用螺栓连接时应确保牺牲阳极在有效使用期内与被保护钢结构之间的连接电阻不大于 0.01Ω 。

4.5.18 外加电流阴极保护应包括辅助阳极、直流电源、参比电极、检测设备和电缆。

4.5.19 辅助阳极的材料和几何形状应根据设计使用年限、使用条件、被保护钢结构型式、阳极材料的性能和适用性综合确定。采用埋地式高硅铸铁阳极时,其化学成分和力学性能应符合现行国家标准《高硅耐蚀铸铁件》(GB 8491)的有关规定。常用辅助阳极的性能和几何形状可参照附录 F 选用。

4.5.20 辅助阳极应均匀布置,其数量和位置应保证钢结构各部位的保护电位符合第 4.5.5 条的规定。

4.5.21 辅助阳极的布置方式可采用远阳极或近阳极。采用远阳极布置时,应采取措施消除杂散电流对临近钢结构和停靠船舶的影响。远阳极与被保护钢结构的距离不宜超过 100m。采用近阳极布置时,应避免局部过保护现象。辅助阳极与被保护钢结构的最小距离应根据阳极的输出电流和介质的电阻率确定,并不宜小于 1.5m,当辅助阳极与被保护钢结构的距离小于 1.5m 时,应使用阳极屏蔽层,其尺寸可按附录 E 计算。

4.5.22 辅助阳极接头的水密性应符合现行国家标准《船用辅助阳极技术条件》(GB/T 7388)的规定,接头的绝缘电阻应大于 $1\text{M}\Omega$,其耐用年限应与阳极体的设计使用年限一致。

4.5.23 辅助阳极的绝缘座、绝缘密封件、阳极电缆、靠近阳极的支架和阳极保护套管应采用耐海水、耐碱和耐氯气腐蚀的材料制成。

4.5.24 阳极体和阳极电缆应根据使用条件和安装方式进行适当保护。

4.5.25 辅助阳极的接水电阻可参照附录 C 的有关公式计算。

4.5.26 在干燥条件下采用埋地式远阳极时,可采用含碳回填料包填。

4.5.27 整流器或恒电位仪应具有性能稳定和环境适应性强等特点,其外壳应采用防干扰的金属外壳,并应进行妥善的防腐处理。

4.5.28 直流电源的输出电流、输出电压应根据使用条件、辅助阳极的类型、被保护结构所需电流和保护系统回路电阻计算确定。

4.5.29 直流电源的总功率可按下列公式计算:

$$P_i = \left(\sum_{i=1}^m I_i \right)^2 R \quad (4.5.29-1)$$

$$P = K \left(\sum_{i=1}^n P_i \right) \quad (4.5.29-2)$$

式中 P_i ——单台直流电源功率(W);
 m ——单台直流电源所担负的阳极数量;
 I_i ——每支阳极的发生电流(A);
 R ——阴极保护回路的总电阻(Ω),包括阳极接水电阻、电缆导线电阻和介质电阻;
 P ——直流电源总功率(W);
 K ——系数,取 1.25 ~ 1.50;
 n ——直流电源的台数。

4.5.30 直流电源的布置应根据电源的台数、钢结构的形式、平面布置条件、维护管理和经济因素确定。电源可集中布置在若干个控制室中,也可分散布置在被保护钢结构工程的相应位置上。

4.5.31 参比电极的性能和使用环境应符合第 4.5.4 条的规定,其使用年限及更换方式应在设计文件中予以明确,参比电极的安装位置和数量应根据被保护钢结构和阴极保护的有关设计参数确定,每台直流电源必须布置不少于一个参比电极。

4.5.32 外加电流阴极保护的监控设备可根据平面布置和维护管理条件采用控制室集中控制或分散布置于工程结构的相应位置上。监控设备应符合下列规定:

4.5.32.1 监控设备应适应所处的环境,当采用户外分散布置时,其保护性外壳应能抵御海水飞溅、盐雾、雨水、紫外线和海洋腐蚀介质的侵蚀,测量导线和仪器的连接点应绝缘密封。

4.5.32.2 监控设备应具有测量、调节并显示钢结构保护电位、电源设备的输出电流和输出电压等基本功能。有条件时,应采用具有远距离遥测、遥控和分析评估功能的监控设备。

4.5.32.3 监控设备应设有手动检测接线端子和备用参比电极接线端子。

4.5.33 参比电极电缆应选用耐海水腐蚀和耐老化的屏蔽电缆,

参比电极电缆不应紧靠动力电缆,其屏蔽层必须接地。阳极电缆和阴极电缆宜采用多股铜芯电缆,电缆护套应具有良好的绝缘、抗老化、耐海洋环境和耐海水腐蚀性能,阴极、阳极电缆芯横截面积可按下式计算:

$$S = \frac{\rho L}{R} \quad (4.5.33)$$

式中 S ——阴极、阳极电缆芯横截面积(mm^2);

ρ ——电缆的电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$);

L ——电缆长度(m);

R ——电缆电阻(Ω)。

4.5.34 外加电流阴极保护应用于有易燃易爆气体的环境中时,电源和检测设备应设置防爆装置;各种接线点应进行绝缘密封,并置于密闭的接线盒中;所有电缆应敷设于电缆套管中,不得有外露点。危险区域的划分、仪器设备防爆等级要求和安装位置,应满足现行国家标准《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》(GB 50058)的有关规定。

4.5.35 采用阴极保护的钢结构靠近其他金属结构或附近有杂散电流源,使该钢结构或相邻的其他金属结构的电位偏正 20mV 时,应采取有效措施防止杂散电流腐蚀。

5 防腐蚀施工

5.1 一般规定

5.1.1 防腐蚀工程所用的设备、材料和仪器必须经过实际应用或有关试验论证,并具备出厂质量合格证或质量检验报告,必要时应进行质量复检。

5.1.2 防腐蚀工程的施工应满足国家有关法律、法规对环境保护的要求,防腐蚀施工应有妥善的安全防范措施。

5.2 表面预处理

5.2.1 喷射清理的等级应符合第 4.2.4 条的规定。工作环境必须满足空气相对湿度低于 85%,钢结构表面温度不低于露点以上 3℃,露点计算见附录 G。表面脱脂净化方法的适用范围可见表 5.2.1。

表面脱脂净化方法的适用范围 表 5.2.1

清洗方法	适用范围	注意事项
采用汽油、过氯乙烯、丙酮等溶剂清洗	清除油脂、可溶污物、可溶涂层	若需保留旧涂层,应使用对该涂层无损的溶剂,溶剂及抹布应经常更换
采用如氢氧化钠、碳酸钠等碱性清洗剂清洗	除掉可皂化涂层、油脂和污物	清洗后应充分冲洗,并做钝化和干燥处理
采用 OP 乳化剂等乳化清洗	清除油脂及其他可溶污物	清洗后应用水冲洗干净,并做干燥处理

5.2.2 喷射清理所用的压缩空气应经过冷却装置和油水分离器

处理,油水分离器应定期清理。

5.2.3 喷射式喷砂机的工作压力宜为 0.50 ~ 0.70MPa;喷砂机喷口处的压力宜为 0.35 ~ 0.50MPa,但对壁厚小于 4mm 的薄壁构件,压力可略低于下限。

5.2.4 喷嘴与被喷射钢结构表面的距离宜为 100 ~ 300mm;喷射方向与被喷射钢结构表面法线之间的夹角宜为 15° ~ 30°。

5.2.5 喷嘴孔口磨损直径增大 25% 时宜更换喷嘴。

5.2.6 喷射清理所用的磨料必须清洁、干燥。磨料的种类和粒度应根据钢结构表面的原始锈蚀程度、设计或涂装规格书所要求的喷射工艺、清洁度和表面粗糙度进行选择。壁厚大于或等于 4mm 的钢构件可选用粒度为 0.5 ~ 1.5mm 的磨料,壁厚小于 4mm 的钢构件应选用粒度较小的磨料。

5.2.7 涂层缺陷的局部修补和无法进行喷射清理时可采用手动和动力工具除锈。

5.2.8 表面清理后,应用吸尘器或干燥、洁净的压缩空气清除浮尘和碎屑,清理后的表面不得用手触摸。

5.2.9 清理后的钢结构表面应及时涂刷底漆,涂装前如发现表面被污染或返锈,应重新清理至原要求的表面清洁度等级。

5.2.10 喷砂工人在进行喷砂作业时应穿戴防护用具,在工作间内作业时呼吸用空气应进行净化处理。

5.2.11 露天作业时应作防尘和环境保护,并应符合国家有关法律法规的规定。

5.3 涂层保护

5.3.1 涂装前应对钢结构表面进行外观检查,钢结构的表面清洁度和表面粗糙度应满足设计要求。

5.3.2 涂装方法和涂刷工艺应根据所选用的涂料的物理性能、施工条件和被涂钢结构的形状进行选择,并应符合涂料规格书或产品说明书的规定。

5.3.3 表面预处理与涂装之间的间隔时间不宜超过 4h,车间作

业或湿度较低的晴天不应超过 12h。

5.3.4 需在工地拼装焊接的钢结构,其焊缝两侧应先涂刷不影响焊接性能的车间底漆,焊接完毕后应对焊缝热影响区进行二次表面清理,并应按设计要求进行重新涂装。

5.3.5 涂层系统各层之间的涂装间隔时间应符合产品说明书或规格书的要求,如超过其最长间隔时间,应用粗砂布打毛后再涂刷下一道涂层。

5.3.6 涂装后应对涂膜进行维护,在固化前应避免雨淋、曝晒及践踏,在吊装搬运过程中应采取减少对涂层损伤的措施。

5.4 金属热喷涂

5.4.1 采用金属热喷涂施工的钢结构表面清洁度、表面粗糙度、热喷涂材料的规格和质量指标、涂层系统的选择应符合第 4.4 节的有关规定。

5.4.2 表面预处理与热喷涂施工之间的间隔时间,海洋环境条件下不应大于 4h,晴天或湿度不大的气候条件下不得超过 12h,雨天、潮湿、有盐雾的气候条件下不得超过 2h。

5.4.3 工作环境的大气温度低于 5℃或钢结构表面温度低于露点 3℃时,应停止热喷涂施工操作。

5.4.4 金属热喷涂施工应符合现行国家标准《热喷涂操作安全》(GB 11375)的有关规定。

5.4.5 金属热喷涂所用的压缩空气应干燥、洁净;喷枪与被喷射钢结构表面宜成直角,最大倾斜角度不得大于 45°,喷枪的移动速度应均匀,各喷涂层之间的喷枪走向应相互垂直、交叉覆盖;一次喷涂厚度宜为 25 ~ 80 μm ,同一层内各喷涂带之间应有 1/3 的重叠宽度。

5.4.6 金属热喷涂层的封闭剂或首道封闭涂料施工宜在喷涂层尚有余温时进行,并宜采用刷涂方式施工,其施工工艺应符合第 5.3 节的有关规定。

5.4.7 钢构件的现场焊缝两侧应预留 100 ~ 150mm 宽度涂刷车间

底漆临时保护,待工地拼装焊接后,对预留部分应按相同的技术要求重新进行表面清理和喷涂施工。

5.4.8 在装卸、运输或其他施工作业过程中应采取措施防止金属热喷涂层局部损坏。如有损坏,应按原设计要求和施工工艺进行修补。

5.5 阴极保护

5.5.1 结构的电连接可采用直接电焊连接、钢筋电连接和电缆连接等方式,所用的材料和施工方式应满足设计要求。

5.5.2 电连接钢筋或电缆的外露部位应采取适当的防腐保护措施。

5.5.3 参比电极的品种、规格型号和性能指标应满足设计要求。

5.5.4 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,在敷设时应留有适当的余量。

5.5.5 参比电极电缆应采用钢质或 PVC 电缆护套管保护;电缆护套管不应存在水中接头,水上部位的套管接头应进行防水密封;电缆套管应采用钢质或塑料支架进行固定;采用钢质套管或钢质支架固定时,应采取相应的防腐蚀措施。

5.5.6 参比电极与保护套管组装完毕后应进行绝缘密封,其安装位置及安装方式应满足设计要求。参比电极及其电缆安装、敷设完毕后,应对测量线路的连续性、测量读数的偏差进行校核。

5.5.7 海水电阻率大于 $30\ \Omega\cdot\text{cm}$ 并采用 Ag/AgCl 海水参比电极测量电极电位时,应采取 Cu/饱和 CuSO_4 参比电极修正读数偏差。

5.5.8 参比电极屏蔽层的接地可采用与测量仪器金属外壳连接的方式,也可另设专用接地极,其接地点应进行防水密封。

5.5.9 测量电缆可采用直接与保护钢结构连接或与钢筋连接的方式,其连接方法应确保连接点坚固、耐久,接地点不得与阴极保护的阴极接地点共用或紧靠,并应做好绝缘密封。

5.5.10 监测用控制台或其他电位监测仪器的规格型号和性能指标应满足设计要求。

5.5.11 电位监控仪器的安装位置及安装方法应符合设计和产品说明书的要求;户外安装的监控仪器应采取相应的防护措施。

5.5.12 牺牲阳极储存和搬运过程中应避免受到污染。安装前应对牺牲阳极的尺寸、质量、表面状态和化学成分进行现场检查,其化学成分应符合产品标准的规定,尺寸、质量和表面质量应符合现行国家标准《铝-锌-镉系合金牺牲阳极》(GB 4948)和《锌-铝-镉合金牺牲阳极》(GB 4950)的有关规定。

5.5.13 牺牲阳极的短路连接采用水下电焊连接时,其焊接长度、焊缝高度、所用的水下焊条及焊接工艺应满足设计要求,并应由取得合格证书的水下电焊工进行焊接。

5.5.14 牺牲阳极的安装位置应符合设计要求。

5.5.15 牺牲阳极施工完毕后,应对被保护钢结构进行一次全面保护电位检测。

5.5.16 恒电位仪或整流器进入现场后,应对其内部接线牢固、外形及元器件进行检查,设备的额定参数应满足设计要求,并应进行通电检查。

5.5.17 辅助阳极外观、尺寸,阳极自带连接电缆的规格、长度,阳极接头及其绝缘密封的完整性应满足设计要求。

5.5.18 阴极保护电源电缆、阴极电缆、阳极电缆、参比电缆和控制电缆规格及截面尺寸应满足设计要求,绝缘缺陷或损伤应及时修复。

5.5.19 直流电源的安装位置及保护方式应满足设计要求,直流电源的安装施工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。直流电源的交流输入端应安装外部切断开关,其金属外壳应接地,接地电阻应小于 4Ω 。当多台直流电源集中安装于室内时,应保持适当的距离;当分散布置于室外时,应设置有通风、防腐蚀和防飞溅的金属外壳,并应有防护措施。

5.5.20 辅助阳极及其屏蔽层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。辅助阳极的

连接电缆水中部分应留有足够的长度余量。

5.5.21 阴极保护电缆的敷设和连接方法应满足设计要求。电缆应采用钢管或聚氯乙烯管加以保护,或敷设于有盖的电缆管沟中,不应暴露于日光曝晒和腐蚀性较强的环境中;电缆套管或管沟中的电缆应分类固定于电缆支架上,当采用钢质电缆支架时,应根据所处环境采取相应的防腐蚀措施;参比电极电缆应与动力、电源电缆保持适当距离,不得与动力电缆、阴极电缆和阳极电缆使用同一个电缆套管,在电缆管沟中应置于不同的排架上。

5.5.22 阴极保护电缆的连接,阳极分流点和阴极汇流点的施工应满足设计要求,室外的连接点应有良好的密封措施。

5.5.23 阴极保护电缆敷设完毕后,应对敷设线路和通电连续性进行检查。

5.5.24 在外加电流阴极保护施工完毕,提交竣工验收之前,应至少进行连续一个月的通电调试。发现保护电位达不到设计要求时,应及时采取补救措施。

6 检验与验收

6.1 检 验

6.1.1 表面清洁度应按现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》(GB 8923)中相应的照片进行目视对照检查。检验数量应符合表 6.1.1 的规定。

表面清洁度检验数量 表 6.1.1

钢结构名称	检 验 数 量
小型钢构件	不少于构件总数的 10%,且每工班不少于 5 件
大型、整体钢结构	每 50m ² 对照检查 1 次,且每工班检查次数不少于 1 次
钢管桩、钢板桩	不少于钢桩总数的 10%,且每工班不少于 1 根

6.1.2 表面粗糙度应按照现行国家标准《涂装前钢材表面粗糙度等级的评定(比较样块法)》(GB/T 13288)的有关规定,用标准样块目视比较评定表面粗糙度等级,或用剖面检测仪、粗糙度仪直接测定表面粗糙度。检验数量应符合表 6.1.2 的规定。

表面粗糙度检验数量 表 6.1.2

钢结构名称	检 验 数 量
小型钢构件	不少于构件总数的 10%,且每工班不少于 5 件
大型、整体钢结构	每 50m ² 对照检查 1 次,且每工班检查次数不少于 1 次
钢管桩、钢板桩	不少于钢桩总数的 10%,且每工班不少于 1 根

注:①采用比较样块法时,每一评定点面积不小于 50mm²;
②采用剖面检测仪或粗糙度仪直接检测时,取评定长度为 40mm,在此长度范围内测 5 点,取其算术平均值为该评定点的表面粗糙度值。

6.1.3 表面清理施工环境的温度和湿度应用温湿度仪进行测量,并按附录 G 计算对应的露点,检验数量每工班不得少于 3 次。

6.1.4 涂装施工前应逐件进行外观检查,表面不得有污染或返锈。

6.1.5 涂层的附着力应满足设计要求,其检验应符合下列规定。

6.1.5.1 涂层厚度小于或等于 $120\mu\text{m}$ 时,附着力的检验可采用划格法并按现行国家标准《色漆和清漆划格试验》(GB 9286)的有关规定执行。

6.1.5.2 涂层厚度大于 $120\mu\text{m}$ 小于等于 $250\mu\text{m}$ 时,附着力的检验可采用切割法。

6.1.5.3 涂层厚度大于 $250\mu\text{m}$ 时,附着力的检验可按现行国家标准《色漆和清漆 拉开法附着力试验》(GB/T 5210)的有关规定执行。涂层附着力的破坏性检查可用同条件下制作的板状试件进行。

6.1.5.4 附着力的检验数量,钢管桩或钢板桩每 10 根桩应检验 1 根,其他钢结构每 200m^2 检测数量不得少于 1 次,且总检测数量不得少于 3 次。

6.1.6 涂装作业环境的温度和湿度应用温湿度仪进行测量,检验数量每工班不得少于 3 次。

6.1.7 涂层表面应均匀,色泽一致,不应有皱皮、流淌、气泡和裂纹等缺陷,外观检查应采用目视逐件检查。

6.1.8 涂层的干膜厚度应采用精度不低于 10% 的测厚仪进行检测,测厚仪应经标准样块调零修正,每一测点应测取 3 次读数,每次测量的位置相距 $25 \sim 75\text{mm}$,取 3 次读数的算术平均值为此点的测定值。测定值达到设计厚度的测点数不应少于总测点数的 85%,且最小测值不得低于设计厚度的 85%。涂层的干膜厚度的检测数量,钢管桩或钢板桩每根不得少于 3 个测点,大型钢结构每 10m^2 不得少于 3 个测点,小型钢构件每 2m^2 不得少于 1 个测点。

6.1.9 金属热喷涂涂层厚度的检测方法应按现行国家标准《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》(GB 11374)的有关规定执行。涂层厚度的检验数量,平整的表面每 10m^2 表面上的测量基准面数量不得少于 3 个,结构复杂的表面可适当增加基准面数量。

6.1.10 金属热喷涂涂装作业环境的温度和湿度应用温湿度仪进行测量,检验数量每工班不得少于 3 次。

6.1.11 金属热喷涂涂层结合性能检验应按现行国家标准《金属和其他无机覆盖层 热喷涂锌、铝及其合金》(GB/T 9793)的有关规定执行。结合性能检验数量钢管桩或钢板桩每 10 根桩应检验 1 根,其他钢结构每 200m² 检测数量不得少于 1 次,且总检测数量不得少于 3 次。

6.1.12 金属热喷涂涂层的外观应均匀一致,涂层不得有气孔、裸露底材的斑点、附着不牢的金属熔融颗粒、裂纹及其他影响使用性能的缺陷。涂层外观应逐件进行目视检查。

6.1.13 阴极保护的电连接应满足设计要求,可采用目视检测所有连接点和外露部位。

6.1.14 参比电极屏蔽层的接地方式和接地点、电缆的敷设线路和固定方式、参比电极的安装位置和固定方式可采用目视方法进行检验,通电连续性和电极的测量偏差可采用万用表和校核参比电极进行逐件测定。

6.1.15 电源电缆、阴极电缆、阳极电缆、测量电缆和控制电缆的外观与规格型号应采用目视检查,电缆的绝缘电阻应采用电工摇表进行逐根检测,电连续性应采用万用表进行逐根检测。

6.1.16 仪器、设备的规格型号应采用目视检查,电源设备应进行逐件通电检查,监控仪器应采用万用表和校核参比电极进行逐件检查。

6.1.17 牺牲阳极的化学成分应在现场取样,送检测单位进行检测。检验数量每批次不得少于 1.5%,且不得少于 1 件。

6.1.18 牺牲阳极的尺寸、重量和表面状态应进行现场抽样检查。检查数量每批次不得少于 5%,且不得少于 3 件。

6.1.19 牺牲阳极的短路连接应采用水下摄像或其他水下成像技术检验焊缝长度、高度及连续性。检查数量应为总数的 5% ~ 10%,且不得少于 3 块。

6.1.20 辅助阳极应逐件检验阳极外形尺寸、外观和规格型号。

6.1.21 阴极保护电位应对每一个单元构件进行现场检测,检测方法见附录 H。

6.2 验 收

6.2.1 钢结构的表面清理检查和检测结果应得到质量监督员或监理工程师的签字确认。

6.2.2 防腐蚀涂层施工验收应与表面清理验收合并进行,验收前应确认表面清理施工记录和质量证明材料齐全且满足设计要求。

6.2.3 金属热喷涂施工验收应与表面清理验收合并进行,验收前应确认表面清理施工记录和质量证明材料齐全且满足设计要求。

6.2.4 阴极保护验收可独立进行,也可与涂装或热喷涂施工验收合并进行。

6.2.5 防腐蚀工程竣工验收时,应提交下列资料:

- (1)设计文件及设计变更通知书;
- (2)磨料、涂料、热喷涂材料、牺牲阳极、辅助阳极、参比电极、动力电缆、阴极阳极电缆、测量电缆、控制电缆、电源装置、调节仪器、监控仪器和测量仪器的产地与材质证明书;
- (3)施工记录;
- (4)施工检查、检测记录和外加电流阴极保护的调试记录;
- (5)竣工图纸;
- (6)维护管理建议。

7 维护管理

7.0.1 海港工程钢结构的腐蚀与防腐调查可分为定期检查和特殊检查。定期检查可分为常规检查和详细检查,定期检查的项目、内容、部位和周期应符合表 7.0.1 的规定。特殊检查的检查项目和内容可根据具体情况确定,或选择定期检查项目中的一项或几项。

定期检查的项目、内容、部位和周期 表 7.0.1

项目 分类	检查项目	检查部位	检查内容	检查周期 (a)
常规 检查	防腐涂层外观检查	水上涂装钢结构	涂层破损情况	1
	阴极保护运行检测	水中钢结构	保护电位、仪表状态	1
	阳极使用环境检查	水中钢结构	海泥面标高、阳极固定	1
详细 检查	水下外观检查	水中钢结构	局部腐蚀、涂层破损	5
	涂层防腐性能检查	水上钢结构	鼓泡、剥落、锈蚀	5
	腐蚀量检测	钢结构	测定钢结构壁厚	5
	阳极外观检查	牺牲、辅助阳极	腐蚀产物表面溶解情况	5~10
	阳极消耗量检测	牺牲阳极	测定阳极实际尺寸	5~10
	电连接检测	阴极保护的钢结构	测定连接电阻	5~10

7.0.2 钢结构的防腐蚀维护管理应包括下列内容：

(1)根据常规检查和特殊检查情况,判断钢结构、防腐涂层和阴极保护的状态；

(2)根据详细检查的结果对钢结构的防腐蚀效果做出判断,确定更新或修复的范围。

7.0.3 钢结构防腐涂装的现场修复应符合下列规定：

7.0.3.1 涂层破损处的表面清理宜采用喷砂除锈,其表面清洁度应达到现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级及除锈等级》(GB 8923)中规定的 Sa2 $\frac{1}{2}$ 级,当不具备喷砂条件时,可采用动力或手工除锈,其表面清洁度等级应达到 St3 级。

7.0.3.2 搭接部位的涂层表面应无污染、附着物,并应具有一定的表面粗糙度。

7.0.3.3 修补涂料宜采用原涂装配套或能相容的防腐涂料,并应能满足现场的施工环境条件,修补涂料的存储和使用应符合产品使用说明书的要求。

7.0.4 防腐蚀修复施工应有妥善的安全防范措施。

7.0.5 易燃易爆环境中的钢结构防腐蚀修复不得采用增加建筑物安全风险和存在安全隐患的防腐蚀技术和工艺。

7.0.6 钢结构防腐蚀维护管理档案应包括下列内容:

- (1)钢结构的设计、施工资料和竣工资料;
- (2)涂料、阴极保护的设计资料、施工资料和竣工资料;
- (3)特殊检查、常规检查和详细检查的检查记录,检查记录包括工程名称、检查方式、日期、环境条件和发现异常的部位与程度;
- (4)各项检查所提出的建议、结论和处理意见;
- (5)涂装、阴极保护修复的设计和施工方案;
- (6)涂装、阴极保护修复的施工记录、检测记录和验收结论。

附录 A 常用封闭剂、封闭涂料和涂装涂料

常用封闭剂、封闭涂料和涂装涂料 表 A.0.1

类型	种类	成膜物质	主颜料	主要性能
封闭剂	磷化底漆	聚乙烯醇 缩丁醛	四盐基 铬酸锌	能形成磷化—钝化膜,可提高封闭层、封闭涂料的相容性及防腐性能
	双组分环氧漆	环氧	铬酸锌、 磷酸锌或 云母氧化铁	能形成磷化—钝化膜,可提高封闭层、封闭涂料的相容性及防腐性能,与环氧类封闭涂料或涂装涂料配套
	双组分聚氨酯	聚氨基 甲酸酯	锌铬黄或 磷酸锌	能形成磷化—钝化膜,可提高封闭层、封闭涂料的相容性及防腐性能,与聚氨酯类封闭或涂装涂料配套
封闭涂料或涂装涂料	双组分环氧或环氧沥青	环氧 沥青	—	耐潮、耐海水、耐化学药品性能优良,但耐候性差
	双组分聚氨酯漆	聚氨基 甲酸酯	—	综合性能优良,耐潮湿、耐海水、耐化学药品性能好,有些品种具有良好的耐候性,可用于受阳光直射的海港大气区域

附录 B 阴极保护普通涂装的涂层破损系数

B.0.1 涂层的初始破损系数可取 1% ~ 2%, 每年破损系数增加值可根据涂料品种和设计使用年限取 1% ~ 3%, 也可根据涂层的设计使用年限按表 B.0.1 选取。

涂层的破损系数 表 B.0.1

设计使用年限 (a)	破损系数(%)		
	初期值	平均值	末期值
10	2	7	10
20	2	15	30
30	2	25	60
40	2	40	90

注:普通涂装涂层指设计使用年限在 20 年以内、干膜厚度 250 ~ 500 μ m 的防腐蚀涂层。

附录 C 牺牲阳极的接水电阻和 发生电流计算方法

C.0.1 牺牲阳极接水电阻计算方法应符合下列规定。

C.0.1.1 阳极与被保护钢结构的安装距离大于 30cm, 且 $4L/r \geq 16$ 的长条状阳极, 接水电阻可按下列公式计算:

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$r_c = \frac{C}{2\pi} \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$r_m = r_c - (r_c - r_t)\mu \quad (\text{C.0.1-3})$$

式中 R_a ——阳极的接水电阻(Ω);

ρ ——海水电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$);

L ——阳极长度(cm);

r ——阳极等效半径(cm), 分为 r_c 和 r_m ;

r_c ——初期等效半径(cm);

r_m ——末期等效半径(cm);

C ——阳极截面周长(cm);

r_t ——阳极铁芯半径(cm);

μ ——牺牲阳极的利用系数, 取 0.85 ~ 0.90。

C.0.1.2 板状阳极接水电阻可按下列公式计算:

$$R_a = \frac{\rho}{2L} \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$L' = \frac{L + b}{2} \quad (\text{C.0.1-5})$$

式中 R_a ——阳极的接水电阻(Ω);

ρ ——海水电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$);

L' ——阳极的当量长度(cm);

L ——阳极长度(cm);

b ——阳极宽度(cm)。

C.0.1.3 其他阳极的接水电阻可按下式计算:

$$R_a = \frac{0.315\rho}{\sqrt{S}} \quad (\text{C.0.1-6})$$

式中 R_a ——阳极的接水电阻(Ω);

ρ ——海水电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$);

S ——阳极的裸露面积(cm^2)。

C.0.2 单个牺牲阳极发生电流可按下式计算:

$$I_a = \frac{\Delta V}{R} \quad (\text{C.0.2})$$

式中 I_a ——单个牺牲阳极的发生电流(A);

ΔV ——驱动电压(V), 锌合金阳极取 0.20 ~ 0.25V, 铝合金阳极取 0.25 ~ 0.30V;

R ——牺牲阳极和被保护钢结构之间的回路总电阻(Ω), 其值近似于牺牲阳极的接水电阻 R_a 。

附录 D 牺牲阳极的数量和使用年限计算方法

D.0.1 牺牲阳极的数量可按下式计算:

$$N = \frac{I}{I_a} \quad (\text{D.0.1})$$

式中 N ——阳极数量(个);

I ——总保护电流(A);

I_a ——单个阳极的发生电流(A)。

D.0.2 牺牲阳极的使用年限可按下式计算:

$$t = \frac{W_i \mu}{EI_m} \quad (\text{D.0.2})$$

式中 t ——牺牲阳极的使用年限(a);

W_i ——单个牺牲阳极的净重(kg);

μ ——牺牲阳极的利用系数,长条状阳极取 0.85 ~ 0.90,手
镯式阳极取 0.75 ~ 0.80,其他形状阳极取 0.75 ~
0.85;

E ——牺牲阳极的消耗率(kg/(A·a));

I_m ——维持保护电流(A),其值为(0.50 ~ 0.55) I ;

I ——总保护电流(A)。

附录 E 阳极屏蔽层的尺寸计算方法

E.0.1 涂层耐阴极剥离电位值可按表 E.0.1 选用

涂层耐阴极剥离电位值 表 E.0.1

涂 层 种 类	耐阴极剥离电位值 (V)
环氧沥青系涂层	- 1.25
有机富锌涂层	- 1.30
无机富锌涂层	- 1.30
环氧系涂层	- 1.50

注:剥离电位值为相对于 Ag/AgCl 电极。

E.0.2 圆形阳极的屏蔽层尺寸可按下式计算

$$r = \frac{\rho I_a}{2\pi (E_0 - E)} \tag{E.0.2}$$

式中 r ——阳极屏蔽层的半径(m);
 ρ ——介质的电阻率($\Omega\cdot m$);
 I_a ——阳极的额定输出电流(A);
 E_0 ——结构物的保护电位(V);
 E ——屏蔽层外延的涂层所能经受的最负电位(V),按涂层耐阴极剥离电位参照表 E.0.1 取值。

E.0.3 长条形阳极的屏蔽层尺寸可按下列公式计算

$$b_0 = \frac{2L \exp[2\pi L (E_0 - E) / \rho I_a]^{\frac{1}{2}}}{\{\exp[2\pi L (E_0 - E) / \rho I_a]\} - 1} + 2b \tag{E.0.3-1}$$

$$L_0 = \frac{L \{ \{\exp[2\pi L (E_0 - E) / \rho I_a]\} + 1 \}}{\{\exp[2\pi L (E_0 - E) / \rho I_a]\} - 1} + L \tag{E.0.3-2}$$

式中 b_0 ——阳极屏蔽层的宽度(m);

- L ——阳极长度(m);
- E_0 ——结构物的保护电位(V);
- E ——屏蔽层外延的涂层所能经受的最负电位(V),按涂层耐阴极剥离电位参照表 E.0.1 取值;
- ρ ——介质的电阻率($\Omega \cdot m$);
- I_a ——阳极的额定输出电流(A);
- b ——阳极宽度(m);
- L_0 ——阳极屏蔽层的长度(m)。

附录 F 常用辅助阳极性能和几何形状

常用辅助阳极性能和几何形状 表 F.0.1

阳极名称	密度 (g/cm ³)	工作电流密度 (A/m ²)	消耗率 (kg/(A.a))	利用率 (%)	几何形状	使用环境
碳钢、铸铁	7.8	10 ~ 100	8 ~ 10	30 ~ 50	—	海水、淡水、 土壤
高硅铬铁	7.0	50 ~ 300	0.2 ~ 1.0	50 ~ 90	棒状、 圆筒状	海水、淡水、 土壤
铅银合金 (含 2% 银)	11.3	50 ~ 250	0.1	80	长条状	海水
铅银合金 (含 3% 银)	11.3	50 ~ 300	0.1	80	圆盘状	海水
铅银微铂	11.3	50 ~ 1000	8×10^{-3}	80	圆盘状	海水
镀铂钛	5.0	≤ 1250	6×10^{-6}	90	片状、 圆盘状	海水
铂钛复合	—	≤ 1500	6×10^{-6}	90	长条状	海水
铂铌复合	—	≤ 2000	6×10^{-6}	90	长条状	海水
钛基金属 氧化物	—	500 ~ 1000	5×10^{-6}	—	长条状、 圆盘状	海水

附录 G 露点换算表

露点换算表 表 G.0.1

相对湿度 (%)	环境温度(℃)									
	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
95	-6.5	-1.3	3.5	8.2	13.3	18.3	23.2	28.0	33.0	38.2
85	-7.2	-2.0	2.6	7.3	12.5	17.4	22.1	27.0	32.0	37.1
80	-7.7	-2.8	1.9	6.5	11.5	16.5	21.0	25.9	31.0	36.2
75	-8.4	-3.6	0.9	5.6	10.4	15.4	19.9	24.7	29.6	35.0
70	-9.2	-4.5	-0.2	4.59	9.1	14.2	18.5	23.3	28.1	33.5
65	-10.0	-5.4	-1.0	3.3	8.0	13.0	17.4	22.0	26.8	32.0
60	-10.8	-6.0	-2.1	2.3	6.7	11.9	16.2	20.6	25.3	30.5
55	-11.5	-7.4	-3.2	1.0	5.6	10.4	14.8	19.1	23.0	28.0
50	-12.8	-8.4	-4.4	-0.3	4.1	8.6	13.3	17.5	22.2	27.1
45	-14.3	-9.6	-5.7	-1.5	2.6	7.0	11.7	16.0	20.2	25.2
40	-15.9	-10.3	-7.3	-3.1	0.9	5.4	9.5	14.0	18.2	23.0
35	-17.5	-12.1	-8.6	-4.7	-0.8	3.4	7.4	12.0	16.1	20.6
30	-19.9	-14.3	-10.2	-6.9	-2.9	1.3	5.2	9.2	13.7	18.0

附录 H 海港工程钢结构电位检测方法

H.0.1 检测钢结构的自然腐蚀电位或阴极保护电位,可作为评价该结构所处环境腐蚀性的参数。

H.0.2 电位检测仪器应采用最小分辨率 1mV、内阻大于 10M Ω 的高内阻数字万用表和符合现行国家标准《船用参比电极技术条件》(GB/T 7387)有关规定的 Ag/AgCl 参比电极或 Cu/饱和 CuSO₄ 参比电极。

H.0.3 电位检测应按下述步骤进行:

- (1)将参比电极放入水中,并靠近待测钢结构的表面;
- (2)用导线将参比电极、万用表和所测钢结构形成回路,用万用表读取测试数据。

H.0.4 电位测量时参比电极应放置到被测钢结构的表面附近,且不得与被测钢结构直接接触。

附录 J 本规范用词用语说明

J.0.1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度的用词用语说明如下:

(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”或“可”;

反面词采用“不宜”。

J.0.2 条文中指定应按其他有关标准、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、参加单位、 主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中交天津港湾工程研究院有限公司

参 加 单 位:中交四航工程研究院有限公司

中交上海港湾工程设计研究院有限公司

主 要 起 草 人:马化雄(中交天津港湾工程研究院有限公司)

赵立鹏(中交天津港湾工程研究院有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

吴三余(中交上海港湾工程设计研究院有限
公司)

李俊毅(中交天津港湾工程研究院有限公司)

总校人员名单:胡 明(交通部水运司)

李德春(交通部水运司)

何文辉(交通部水运司)

吴敦龙(中交水运规划设计院有限公司)

李树奇(中交天津港湾工程研究院有限公司)

叶国良(中交天津港湾工程研究院有限公司)

徐树华(中交天津港湾工程研究院有限公司)

赵立鹏(中交天津港湾工程研究院有限公司)

黄孝蘅(中交天津港湾工程研究院有限公司)
马化雄(中交天津港湾工程研究院有限公司)
唐 聪(中交天津港湾工程研究院有限公司)
马 悦(中交天津港湾工程研究院有限公司)
董 方(人民交通出版社)

管理组人员名单:马化雄(中交天津港湾工程研究院有限公司)
赵立鹏(中交天津港湾工程研究院有限公司)
王胜年(中交四航工程研究院有限公司)
徐树华(中交天津港湾工程研究院有限公司)
李俊毅(中交天津港湾工程研究院有限公司)

中华人民共和国行业标准

海港工程钢结构防腐蚀技术规范

JTS 153—3—2007

条文说明

目 录

1 总则	(51)
3 基本规定	(53)
4 防腐蚀设计	(56)
4.1 一般规定	(56)
4.2 表面预处理	(56)
4.3 涂层保护	(58)
4.4 金属热喷涂	(59)
4.5 阴极保护	(61)
5 防腐蚀施工	(67)
5.1 一般规定	(67)
5.2 表面预处理	(67)
5.3 涂层保护	(68)
5.4 金属热喷涂	(68)
5.5 阴极保护	(69)
6 检验与验收	(70)
6.1 检验	(70)
6.2 验收	(71)
7 维护管理	(72)

1 总 则

1.0.1 本条为制订本规范的目的。随着海港工程中钢材用量的迅速增长,钢结构的腐蚀问题日益突出。选择适当的防腐蚀技术,合理的设计,科学的施工,适度的维护管理,是确保海港工程钢结构安全、耐久的重要措施。

1.0.2 海港工程中的油气储罐、埋地管道及海底管线的防腐蚀设计和施工,石油部《钢质管道及储罐防腐蚀工程设计规范》(SYJ 0007);《埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范》(SYJ 36)和《滩海石油工程防腐蚀技术规范》(SY/T 4091)等规范中已做出了明确、详细的规定,可以借鉴。

1.0.3 海港工程钢结构的防腐蚀设计和施工,所使用的材料、设备和工艺,可能会对作业人员的身体健康和人身安全有不利影响;也可能对施工环境和使用环境造成一定程度的污染。

本规范引用的标准为《涂装技术术语》(GB 8264)、《船舶及海洋工程腐蚀与防护术语》(GB 12466)、《金属腐蚀及防护术语和定义》(GB 10123)、《涂装前钢材表面锈蚀等级及除锈等级》(GB 8923)、《涂装前钢材表面粗糙度等级的评定》(GB/T 13288)、《热喷涂金属件表面预处理通则》(GB 11373)、《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》(GB 11374)、《热喷涂操作安全》(GB 11375)、《热喷涂层抗拉强度的测定》(GB 8641)、《金属和其他无机覆盖层 热喷涂锌、铝及其合金》(GB/T 9793)、《铝-锌-镉系合金牺牲阳极》(GB/T 4948)、《锌-铝-镉合金牺牲阳极》(GB/T 4950)、《船用参比电极技术条件》(GB/T 7387)、《船舶及海洋工程阳极屏涂料通用技术条件》(GB 7788)、《滨海设施外加电流阴极保护系统》(GB/T 17005)、《港工设施牺牲阳极保护设计和安装》(GB 156)、《滩海石油工程防腐

蚀技术规范》(SY/T 4091)、《水工金属结构防腐蚀规范》(SL 105)、《钢制储罐罐底外壁阴极保护技术标准》(SY/T 0088)、《船用辅助阳极技术条件》(GB 7388)、《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》(GB 50058)和《牺牲阳极电化学性能试验方法》(GB/T 17848)等。

3 基本规定

3.0.1 海洋环境对钢结构具有很强的腐蚀性,钢结构受腐蚀后的物理、机械性能下降等,影响了工程结构的使用功能及外观,降低了工程的使用寿命。需要指出的是,钢结构在海洋环境中的局部腐蚀速度远大于平均腐蚀速度(约为平均腐蚀速度的 5~10 倍),这种局部腐蚀会造成结构物腐蚀穿孔或应力集中,成为结构物的安全隐患。以平均腐蚀速度为计算依据的腐蚀裕量法并不能完全弥补局部腐蚀造成的危害。

3.0.2 本条是对防腐蚀工程的一般要求,防腐蚀是一门边缘学科,海港工程钢结构所处环境复杂,各个部位的腐蚀速度有很大的差别,适用的防腐蚀方法也各不相同。因此,根据不同的气候、环境和使用条件,选择适宜的防腐蚀措施,才能做到先进、经济、实用。

3.0.3 海洋环境区域对海工钢结构的腐蚀行为有很大的影响,需采用不同的防腐蚀技术措施。本条对钢结构各部位的划分,仍沿用《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ 230—89),分为 5 个区,但对无掩护条件下水位变动区各部位的划分方式及说明,采用了交通部《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)第 3 章第 3.0.4 条的规定。

3.0.4 本条为一般规定,普通碳素结构钢和低合金钢为海港工程中最常用的材料,也可以适用各种常规的防腐蚀工艺措施。

含有铜、磷、铬、镍、钼等合金组分的耐大气腐蚀低合金钢(耐侯钢),在大气中的耐蚀性与碳钢相比有很大的提高,但耐侯钢在海洋大气中的耐蚀性不如在普通大气和工业大气中那么突出。仍然需采用涂料或其他防腐蚀措施。因而建议进行技术经济论证。

在 20 世纪 70 ~ 80 年代,国内外防腐界曾掀起耐海水腐蚀钢种研究热潮,冶金部钢铁研究院青岛海水腐蚀研究所等单位依据国内各单位的试验研究结果,筛选出 10 种性能较好的钢种进行定点实海试验。根据国内外的实验研究结果,耐海水低合金钢在平均中潮位以上部位的耐腐蚀性能有较大提高,而对水下区以下部位的平均腐蚀速度影响不大。因而建议在选用时进行技术经济论证并采取防腐蚀措施。

不同材质的钢材在电解质溶液(如海水)中,会因腐蚀电位的不同而造成电偶腐蚀。因而要求在水位变动区以下部位,避免使用不同钢种,消除电偶腐蚀的影响。

3.0.5 阴极保护可以影响钢结构在海水中的腐蚀疲劳特性,在规范限定的保护电位范围内,阴极保护能使钢在海水中的疲劳值达到大气中的水平。但阴极保护过保护时,可能会加速某些高强度低合金钢腐蚀疲劳裂缝扩展。因而要求控制保护电位范围。

3.0.7 引用《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ 230—89)中第 3.2.2 条和第 3.2.3 条规定,我国沿海的水文、气候及海水的化学成分有很大差别,对钢结构的腐蚀速度有较大的影响,此规定中对碳素钢单面腐蚀速度及阴极保护保护度的取值已做出了明确可靠的规定。

目前各种常规的防腐蚀措施,均难以确保 100% 的保护度。涂层和金属热喷涂层即使在设计使用年限内,也会因针孔或机械破损而造成小面积局部腐蚀。阴极保护也仅能提供 90% 以上的保护度。因此,本条规定为不同部位的钢结构在采取相应防腐蚀措施后的腐蚀裕量。

密闭结构内氧气不能得到有效补充,腐蚀过程不可能连续进行,因此无需考虑防腐蚀措施。

3.0.9 处于水上的海工钢结构的浪溅区部位防腐涂层的修复和施工难度大,成本高,质量不易保证。鉴于防腐蚀涂层的保护期限较短,建议尽量减少钢结构在浪溅区的面积。

狭窄的结构间缝隙是各种防腐蚀措施的死角。在大气区、浪

溅区和水位变动区,保护涂层一旦损坏,将无法修复;在水下区或泥下区,也会因屏蔽作用而导致阴极保护电流难以到达,从而造成保护不足。浪溅区的“E”型、“K”型和“Y”型构件,不仅难以确保防腐蚀施工质量,而且容易造成积水,延长表面潮湿时间而加速钢结构的腐蚀。

对焊接接头的连续焊接及双面焊接要求,是为了避免出现狭窄的缝隙,防止出现无法进行防腐处理的部位。

3.0.10 保证钢结构之间通电连续性的电连接,如能在水上施工,并将电连接钢筋置于混凝土的保护性环境中,将使阴极保护技术的应用更为经济可靠。

3.0.11 本条为预埋辅助钢构件设置的一般原则,目的在于简化防腐蚀措施。

3.0.12 阴极保护设计一般不计算临时钢结构的保护面积,该部分结构在工程结束后若不拆除,将影响阴极保护效果。

4 防腐蚀设计

4.1 一般规定

4.1.1 钢结构所处的环境条件,结构型式和使用状况等资料,是进行防腐蚀设计的重要条件,是防腐蚀方法选择和设计计算的依据。

4.1.2 本条是防腐蚀设计文件的基本要求。

4.1.3 本条为海港工程各部位可供选择的防腐蚀措施,可以根据设计使用期限、施工、维修和更换的难易程度选择适宜的防腐方法,做到安全可靠,经济实用。

4.2 表面预处理

4.2.1 防腐蚀涂层的有效使用寿命有多种影响因素,如涂装前钢材表面预处理质量、涂料的品种、组成、涂膜的厚度、涂装道数、施工环境条件及涂装工艺等。下表列出各种因素对涂层寿命影响的统计结果。

各种因素对涂层寿命的影响表

因素	影响程度(%)
表面预处理质量	49.5
涂膜厚度	19.1
涂料种类	4.9
其他因素	26.5

由表可见,表面预处理质量是涂层过早破坏的主要影响因素,对金属热喷涂层和其他防腐蚀覆盖层与基体的结合力,表面预处理质量也有极重要的作用。

4.2.2 表面清洁度是指除去钢铁表面氧化皮、铁锈和其他附着物的程度。清洁度等级越高,涂层的保护效果越好。

表面粗糙度指预处理后基体金属表面的粗糙程度。适宜的粗糙度能使涂层与基体很好咬合,从而具有理想的结合强度。

由于腐蚀环境、腐蚀方式、钢材表面状况和涂层品种及厚度各不相同,对表面预处理的要求也有所区别。因此,规定设计文件中,列出表面预处理的清洁度和粗糙度要求。

4.2.3 脱脂净化的目的是除去基体表面的油脂和机加工润滑剂等污物。这些有机物附着在基体金属表面上,会严重影响涂层的附着力,并污染喷(抛)射处理时所用的磨料。

残存的清洗剂,特别是碱性清洗剂,也会影响涂层的附着力。

多数溶剂都易燃且有一定的毒性,采取相应的防护措施是必要的,如通风、防火、呼吸保护和防止皮肤直接接触溶剂等。

钢结构表面的焊渣、毛刺和飞溅物等附着物会造成涂层的局部缺陷。本条规定主要引用石油部《滩海石油工程防腐蚀技术规范》(SY/T 4091—95)的第 3.2.1.3 款和第 3.2.1.4 款的规定。

4.2.4 现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》(GB 8923)对涂装前钢结构的表面状态,包括锈蚀等级和除锈等级都做出了明确的规定。

4.2.4.1 表面清洁度对涂装系统的保护效果影响很大。就保护性能而言,表面清洁度等级越高越好,但表面预处理费用会随着清洁度等级的提高而急剧增加。水利部《水工金属结构防腐蚀规范》(SL 105—95)的编制说明表 2.2.2 中列出了表面清洁度及其相对费用的统计结果,如下表所示。本款仅对不同涂层的最低表面清洁度等级做出规定。

表面清洁度等级和预处理费用比较表

清洁度等级	预处理效率(m ² /d)	相对费用
Sa1	483	1
Sa2	232	2+
Sa2 $\frac{1}{2}$	139	3 1/2
Sa3	93	5+

海工钢结构处于严酷的腐蚀环境中,需要有良好防腐蚀措施。化学处理剂处理后的钢材表面可能尚存留有处理剂的残液。同时,由于钢结构表面锈层的厚度和结构不同,经渗透、转化后的涂层附着力和保护性能均可能出现局部缺陷,整体性能下降。因此,这类表面处理剂仅适用于陆域易维修、保护寿命要求较短或易于重新涂装施工的钢构件。即使彻底的手工和动力除锈(St_3 级),其表面粗糙度也难以达到金属热喷涂层和高性能防腐蚀涂层的要求,对涂层的结合强度会有一定程度的影响。

除了极恶劣的环境及部分高要求的无机涂层(如无机富锌漆)外。 $Sa2\frac{1}{2}$ 级的表面清洁度能以相对低的成本满足绝大多数情况的需要。因此,规定重要钢结构,难以维修和受腐蚀强烈的钢构件,因此作出本款规定。

4.2.4.2 涂层与基体金属的结合力主要依靠涂料极性基团与金属表面极性分子之间的相互吸引,粗糙度的增加,可显著加大金属的表面积,从而提高了涂膜的附着力。但粗糙度过大也会带来不利的影响,当涂料厚度不足时,轮廓峰顶处常会成为早期腐蚀的起点。因此,规定在一般情况下表面粗糙度值不宜超过涂装系统总干膜厚度的 $1/3$ 。本款内容主要引自水利部《水工金属结构防腐蚀规范》(SL 105—95)第 2.2.2.2 款的规定。

4.3 涂层保护

4.3.1 海工钢结构的防腐涂料与普通工民建或装饰性涂料相比,对耐候性、耐蚀性和耐久性等方面的性能提出了更高的要求,新产品的性能鉴定重点未必能与此相吻合,因此,如未经工程实践证实,根据这些性能的对比试验结果,估算该涂料的保护年限是必要的。

4.3.2 在涂装配套中,因底、中、面漆所起作用不同,各厂家同类产品的成分配比也有所差别。如果一个涂装系统采用不同厂家的产品,配套性难以保证。一旦出现质量问题,不易分析原因,也难

以确定责任者。

4.3.3 同一类型的防腐涂料,由于其主要成膜物质(树脂)相同,因而具有相似的基本性质,但由于次要和辅助成膜物质的不同或生产、处理工艺的差异,某些性能会有较大的差别。要求提供完备的材质证明资料,才能按产品要求进行施工,也有利于对厂家和产品进行选择。

4.3.4 有的高性能涂料(如无机富锌涂料)对表面预处理的等级有严格要求,因此设计时所选用的涂料品种与所要求的表面预处理等级和施工的环境条件相符。

4.3.5 防腐蚀涂装配套中的底漆、中间漆和面漆因使用功能不同,对主要性能的要求也有所差异,但同一配套中的底漆、中间漆、面漆宜有良好的相容性。

4.4 金属热喷涂

4.4.1 金属喷涂层多孔且表面凸凹不平,因而喷涂完毕后进行封闭,堵住孔隙、填平凹坑可延长涂层的使用寿命。金属热喷涂层和涂料的复合保护系统是指在封闭层上再加涂面漆,以提高装饰和防腐蚀效果。

4.4.2 金属热喷涂工艺有火焰喷涂法、电弧喷涂法和等离子喷涂法等。由于环境条件和操作因素所限,目前在工程上应用的热喷涂方法仍以火焰喷涂法为主。该方法用氧气和乙炔焰熔化金属丝,由压缩空气吹送至待喷涂结构表面,即本条的气喷法。气喷法适用于热喷涂锌涂层,电弧喷涂法适用于热喷涂铝涂层,等离子喷涂法适用于喷涂耐腐蚀合金涂层。

4.4.3 金属热喷涂层对表面清洁度的要求很高,表面粗糙度值也比涂料大,手工和动力除锈无法满足其表面预处理要求。

4.4.4、4.4.5 热喷涂用金属材料的品质指标采用了国家标准《金属和其他无机覆盖层 热喷涂锌、铝及其合金》(GB/T 9793—1997)(等同于 ISO2063:1991)的规定。工程上常用的热喷涂材料一般为 $\Phi 3.0\text{mm}$ 的金属丝。

4.4.6 金属热喷涂常用的材料为锌铝及合金,其电极电位比钢结构低。在腐蚀性电解质中,如果采用热喷涂防腐的钢构件与未采用热喷涂的钢构件相连接。金属涂层便成了牺牲阳极,会溶解自身,并对未喷涂部位提供保护电流,从而导致喷涂层过早失效,未能达到预期的保护寿命。根据调查分析,毛里塔尼亚友谊港引桥栏杆和华能大港电厂水工钢闸门喷涂层的过早失效均属于这种情况。

值得注意的是,金属热喷涂构件通过预埋铁件与混凝土中的结构钢筋连接,如果该混凝土结构处于经常性的潮湿状态中,也会促使金属喷涂层溶解破坏。

4.4.7 金属热喷涂层属于多孔结构,喷涂之后热喷涂层的封闭方式有两种,即自然封闭和人工封闭。

自然封闭指金属涂层暴露在正常使用中,通过其自身的自然氧化而使孔隙封闭。

人工封闭指使用封闭剂使金属涂层表面转化(如磷化)或选用适当的涂装体系进行封孔。从而达到封闭涂层孔隙,阻止腐蚀介质直接渗透到钢结构表面的目的。

在复合保护系统中,封闭剂或封闭涂料可起到中间漆的作用,增强金属涂层和面漆的结合力。附录 A“常用的封闭剂、封闭涂料和涂装涂料”的表 A.0.1,引自《钢结构腐蚀防腐热喷涂锌、铝及其合金涂层选择与应用导则》(JB/T 8427—96)的表 2。

4.4.8 在海洋大气中,锌虽然也能通过氧化而自然封闭,但由于其氧化膜不够致密、坚韧,保护效果相对较差。因而未经人工封闭的锌涂层用于海港工程的大气区在经济上是不适宜的。在海水中,锌的腐蚀产物多孔,体积大且可溶于水,使锌表面得不到保护。

铝在海洋环境中,能生成致密、坚韧、不透水的 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 氧化膜,钝化后的铝涂层具有良好的保护效果。

本条对金属涂层的厚度控制值改用“最小局部厚度”,是为了与 ISO 国际标准相一致,《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》(GB 11374—89)和《金属和其他无机覆盖层 热喷涂锌、铝及其合金》

(GB/T 9793—1997)中已对其测量和评定方法作了规定。铝、锌及其合金对钢结构来说都是牺牲性涂层,其失效形式与涂层的厚度有直接的关系。

海工钢结构各部位金属喷涂系统的选择规定在《海港工程防腐技术规定》(JTJ 230—89)的基础上,参考并引用了《热喷涂锌、铝及其合金涂层选择与应用导则》(JB/T 8427—96)的表示方法及部分数据。

4.5 阴极保护

4.5.1 阴极保护的原理是通过通电回路向被保护金属结构表面输送电子,只有在电解质溶液中才能保持通电回路的畅通。

牺牲阳极法阴极保护和外加电流法阴极保护均是成熟的防腐蚀技术,在国内外有众多成功的工程先例,两者各有优点和不足,设计者根据工程的性质,保护系统的可靠性、施工条件、环境条件、供电、维护管理和资金投入情况进行综合评估,选择经济适用的保护系统。

对海水中的钢结构,近年来随着铝合金牺牲阳极性能的不断提高及阴极保护经验、参数的积累,采用牺牲阳极阴极保护的海港钢结构数量迅速增加。

采用联合保护措施可以提高保护系统的效率和可靠性。

对采用牺牲阳极阴极保护的大型海工钢结构,采用外加电流阴极保护系统施加初期的大电流可使被保护钢结构迅速极化,并在其表面形成稳定的钙镁沉积物覆盖层,从而降低钢结构所需的初期保护电流密度。

4.5.2 钢结构在表面电位负于 -1100mV (Ag/AgCl 参比电极)时,容易产生析氢,在高应力状态下可能会产生氢脆、断裂造成工程事故。因此,对预应力桩与钢桩混合使用的工程,当预应力桩无法与保护系统绝缘时,规定采用外加电流或高负电位的牺牲阳极(如:镁合金阳极)的阴极保护方式要限制其最负保护电位。

4.5.3 钢结构的种类和保护设计准则(见第 4.5.5 条)与施工工

艺的选择有关,外型尺寸会对保护电流的分布产生影响,表面状态(如涂装、裸露等)会影响保护参数的选择,外加电流阴极保护系统可能会对相邻的非保护钢结构造成杂散电流腐蚀,牺牲阳极保护系统的使用寿命和保护效果也可能受到相连接的邻近钢结构的影响。

钢结构所处的环境介质条件是阴极保护方法和保护参数选择的重要依据,在通常的海洋环境条件下,海水温度每升高 1°C ,钢结构所需的保护电流密度需提高 $2\text{mA}/\text{m}^2$,海水温度每升高 10°C ,裸露钢结构的腐蚀速度将增加 30% 以上,海水的流速、悬浮物的性质和泥砂含量等均对腐蚀速度有重大的影响;介质的化学成分、pH 值和污染情况会影响钢结构的腐蚀形式。介质的电阻率是保护系统选择和阳极接水电阻计算的重要参数,是阴极保护设计时需掌握的资料。

4.5.4 海港工程中常用的参比电极是饱和硫酸铜 ($\text{Cu}/\text{饱和 CuSO}_4$) 参比电极和海水氯化银 ($\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{海水})$) 参比电极,其中 $\text{Cu}/\text{饱和 CuSO}_4$ 电极因需经常更换硫酸铜晶体和溶液,并清洁电极表面,不宜用作固定安装的永久性测量电极, $\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{海水})$ 参比电极是海水中理想的参比电极,既可以作为临时测量用电极,也可以作为固定安装的永久性参比电极,但在使用时有如下情况:

(1)即使在洁净的海水中, $\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{海水})$ 参比电极也有一定的使用期限,《滨海设施外加电流阴极保护系统》(GB/T 17005—1999)中推荐的 $\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{海水})$ 参比电极的使用寿命是 7 ~ 10 年,导线绝缘和接头密封受损是电极失效的主要原因,对设计使用寿命很长的阴极保护系统,存在电极的更换问题。

(2) $\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{海水})$ 参比电极的电位测试结果在一定程度上会受到海水电阻率的影响,在电阻率高的淡海水(如河口港)中, $\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{海水})$ 参比电极的测量读数会负于结构物的实际保护电位,因此对电阻率明显高于正常海水(电阻率约在 $20 \sim 30\Omega \cdot \text{cm}$ 之间)的区域,使用 $\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{海水})$ 参比电极作为检测、监控电极时,有读数修正问题。

4.5.5 本条为判断钢结构保护程度的电位准则。作为阴极保护效果的判据,还有电位偏移准则、目测、无损检测准则和试片法检测准则等。

由于保护电位检测简便易行,既可定点长期监测,也可进行全面检测,十几年来沿海钢结构阴极保护的工程经验也证明了电位准则的有效和可靠。对重要工程或特殊环境,有时也辅以其他判定准则。

在受污染、缺氧的海水或海泥中,易发生硫酸盐还原菌腐蚀,其最小保护电位值比正常含氧环境中更负;屈服强度大于 700MPa 的高强钢在海洋环境中存在氢致应力开裂的危险,因而对其最大保护电位进行限定,在有硫酸盐还原菌和硫化物的环境中,这种钢对氢致应力开裂更为敏感。

4.5.7 环境介质条件对海工钢结构所需的初期保护电流密度有很大的影响,各典型海区的设计保护电流密度如表 1 所示,从表中可见世界各海区钢结构所需的保护电流密度有很大的差别,本条所推荐的初期保护电流密度仅适用于我国沿海的海工钢结构。

典型海区的保护电流密度 表 1

区 域	典型电流密度 (mA/m ²)		
	初始	平均	最终
墨西哥湾	110	55	75
美国西海岸	150	90	100
库克湾海口	430	380	380
北海北部(北纬 57°~62°)	180	90	120
北海南部(北纬 57°以南)	150	90	100
阿拉伯湾	130	65	90
印度	130	70	90
澳大利亚	130	65	90
巴西	180	65	90
西非	130	65	90
印度尼西亚	110	55	75
海泥(室温)	25	20	15

对有涂层或包覆层的钢结构,由于涂覆层的预期使用寿命与阴极保护系统的设计使用寿命可能不一致。涂覆层的破坏率与时间的关系参见表 2。

涂覆层破坏率与时间的关系 表 2

使用时间(a)	破坏率 (%)		
	初期	平均	最终
10	2	7	10
20	2	15	30
30	2	25	60
40	2	40	70

对钢筋混凝土中的钢筋,英国《阴极保护》(BS7361:1991)中推荐的阴极保护准则是极化衰减,即钢筋的瞬间断电电位与断电 4 小时后的电位差大于 100mV。推荐的保护电流密度是 5 ~ 20mA/m²。由于国内缺乏对钢筋混凝土中钢筋进行阴极保护的工程实例,条文中规定的保护电流密度仅适用于处于水位变动区以下,延伸进入混凝土中,如胸墙、墩台等,或用水泥砂浆进行防腐蚀包覆的钢结构以及与伸入混凝土中的钢结构相连接的混凝土钢筋。

4.5.8 海工钢结构大多分散布置,将同一保护系统的钢结构连接成一个通电整体,是确保阴极保护系统可靠性、有效性和经济性的重要前提。

4.5.9 保护电流的计算方式保留原《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTJ 230—89)的计算方式。

4.5.10 牺牲阳极的驱动电压低,在高电阻率的介质中,发生电流难以满足钢结构的保护要求,在平均潮位以上部位,大多数时间缺少导电性介质,保护度低。

4.5.11 铝合金牺牲阳极适用于海水或淡海水中,但用于海泥中时,由于铝合金在海泥中可能会钝化,即使在海泥中性能优良的阳极品种,其电流效率也会有所下降,而且其电化学性随着海泥的性质、温度和使用时间而变化。

4.5.12 牺牲阳极阴极保护系统的设计原则:

(1)有足够的保护电流促使被保护钢结构开始极化(初期保护电流);

(2)在保护系统的整个设计使用期限内提供适当的保护电流(维持保护电流);

(3)在设计寿命的后期仍能维持足够的保护电流。

合理的选择或调整牺牲阳极的几何尺寸和结构型式,可以满足上述三项要求所需的阳极数量尽可能接近,从而使设计更为经济合理。一般情况下,适当增大阳极的长度和铁芯直径,可以增加牺牲阳极的发生电流和后期维护电流。

4.5.13 阳极的铁芯对牺牲阳极在整个设计使用期限内起着支承、定位和导电作用,因而国标对其埋设方式和接触电阻均做了明确的规定。

4.5.14 牺牲的发生电流、接水电阻、阳极的数量和使用寿命采用国内外现行标准、规范所推荐的计算方法。其中利用系数的取值规定主要引自《港工设施牺牲阳极保护设计和安装》(GB 156—86)和《滩海石油工程防腐蚀技术规范》(SY/T 4091—95)。

牺牲阳极阴极保护所需的阳极的设计原则:有足够的阳极工作表面使被保护钢结构开始极化(初期电流);为被保护钢结构在整个设计使用寿命内提供适当的保护电流(维护电流);在设计使用寿命后期维持足够的发生电流能力(末期电流)。

4.5.15 牺牲阳极的驱动电位较低,阳极均匀分布可提高保护电流的利用效率,避免出现保护不足的情况。

牺牲阳极暴露于空气中时,因通电回路中断,无法发出保护电流;铝合金牺牲阳极被埋入海泥中时,其发生电流和电流效率均会有所下降,有些品种可能还会出现钝化或逆转现象,因而一般避免出现此种使用情况。

4.5.16 牺牲阳极与被保护钢结构的距离过近或紧贴安装时,会对电流的分散产生影响,阳极底面消耗速度增大,腐蚀产物产生的膨胀压力也可能造成阳极过早失效。阳极屏蔽层计算方法引自

《滨海设施外加电流阴极保护系统》(GB/T 17005—1997)。

4.5.17 牺牲阳极的安装和短路连接方式中,焊接方式牢固可靠,适合于长期保护系统,螺栓连接适合于短期且易于更换的场合,电缆连接方式适用于临时保护用阳极。

4.5.18 本条为外加电流阴极保护系统的基本组成,可以选择的新技术还包括智能评估软件、遥测系统及自动控制、调节设备等。

4.5.19 ~ 4.5.26 对外加电流阴极保护用辅助阳极设计的原则要求。

4.5.27 ~ 4.5.30 对外加电流阴极保护系统直流电源的设计原则要求。

4.5.31 对参比电极的规格型号及选用原则的一般规定。

4.5.32 直流电源及监控系统采用分散布置方式的优点:

(1)在电流供应能力不变的情况下,可大幅度降低整流器的输出电压、输出功率、减少阴极、阳极主电缆的截面积和用量,从而大大降低工程成本;

(2)可大幅度降低阴极保护系统的维护电力供应,从而降低维护成本。

4.5.33 阴极保护用电缆的类型、选择原则和计算方法。

4.5.34 对易燃易爆环境中外加电流阴极保护系统的安全要求。

5 防腐蚀施工

5.1 一般规定

5.1.1 海港工程钢结构的防腐蚀施工与陆上或地下钢结构的防腐保温工程相比,具有很大的特殊性和复杂性,本条对防腐工程所使用的原材料和仪器设备的进场检验提出了原则要求。

5.1.2 海港工程钢结构的防腐蚀施工,所使用的材料、设备和工艺,可能会对作业人员的身体健康和人身安全有不利影响,也可能对施工环境和使用环境造成一定程度的污染,因此作出本条规定。

5.2 表面预处理

5.2.1 表面处理的质量对涂层和金属热喷涂层的质量有重大影响,在第 4.2.3 条说明中已对此作出说明。本条对脱脂净化及工作环境作出规定。

5.2.2 由空压机所提供的压缩空气含有一定的油和水,油会严重影响涂层的附着力,水会加速被涂覆钢结构返锈,空压机的压缩空气温度较高,一般约 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$,用未经冷却的空气直接喷射温度相对较低的钢结构表面,可能会产生冷凝现象;油水分离器内部的过滤材料经过一定时间使用后会失效。

5.2.3 薄壁钢构件在承受较大喷射压力时,可能会产生变形,因此使用的喷射压力可适当降低。

5.2.4、5.2.5 提高工作效率的工艺要求。

5.2.6 磨料的选择是表面清理中的重要环节,一般 A 级和 B 级锈蚀等级的钢构件选用丸状磨料;C 级和 D 级锈蚀等级使用棱角状磨料效率较高;丸状和棱角状混合磨料适用于各种原始锈蚀等

级的钢结构表面。

5.2.7 手工除锈不能除去附着牢固的氧化皮,动力除锈也无法清除蚀孔中的铁锈,且动力除锈有抛光作用,降低涂层的附着力,因此不适用于防腐蚀要求较高的海工钢结构的表面清理,只能作为修复或辅助手段。

5.2.8~5.2.11 表面清理的常规质量、安全、劳保和环保措施。

5.3 涂层保护

5.3.1、5.3.2 表面处理的重要性见第 4.2.3 条说明。

5.3.3 表面清理与涂装之间的间隔时间越短越好,具体时间间隔要求因施工现场的空气相对湿度和粉尘含量的不同而有较大区别。

5.3.4 焊缝及焊接热影响区是涂料保护的薄弱环节之一,本条为质量强化措施。

5.3.5 不同涂料品种的初凝和终凝时间有很大差别,因此,涂层系统各层之间的涂装间隔时间要求也有所不同,按照产品说明书的要求施工,可以保证涂层间的结合力。

5.3.6 为现场质量保证措施。

5.4 金属热喷涂

5.4.2 缩短表面预处理与热喷涂施工之间的时间间隔,可以减少被保护钢结构表面返锈和结露的机会,从而保证金属热喷涂层的附着力。间隔时间越短越好,具体时间间隔要求因施工现场的空气相对湿度和粉尘含量的不同而有较大区别。

5.4.3 被喷涂钢结构表面在温度低于露点以上 3℃,或空气相对湿度大于 85%时,容易结露形成水膜,从而造成热喷涂层的附着力显著下降。

5.4.4 现场施工的劳保、环保和安全措施。

5.4.5 金属热喷涂施工的其他质量控制要求。

5.4.6 在金属热喷涂层的封闭剂或首道封闭涂料施工时,如果喷

涂层的温度过高,会对封闭材料的性能产生不良甚至破坏性影响,温度过低会影响渗透封闭效果,本条内容仅提供一种理想选择。

5.4.7 现场焊缝的施工质量保证措施。

5.4.8 海工钢结构保护层的现场修复条件恶劣,修复质量难以保证,因此,采取适当措施减少或避免金属热喷涂层在工程施工过程中损坏是必要的。

5.5 阴 极 保 护

5.5.3 本条为进货检验规定。

5.5.4 ~ 5.5.9 参比电极的安装、质量、检测及调试要求。

5.5.12 牺牲阳极现场进货检验要求。

5.5.22 阴极保护电缆的连接,阳极分流点和阴极汇流点的施工要求。

5.5.23 阴极保护系统的检测及调试要求。

6 检验与验收

6.1 检 验

6.1.1、6.1.2 表面处理的重要性在第 4.2.1 条说明中已做出明确说明,表面清洁度和表面粗糙度是表面处理质量的两项重要指标。

6.1.3 由于不同的涂料品种对作业环境温、湿度的敏感性有所差别,且对涂层和金属热喷涂层的施工质量有重大影响。

6.1.4 该检查项目为隐蔽工程验收的具体措施。

6.1.5 ~ 6.1.8 本节 4 个检验项目是确保涂层耐久性、防腐性能 and 外观质量的重要指标。

6.1.9 ~ 6.1.12 本节四个检验项目是确保涂层耐久性、防腐性能 and 外观质量的重要指标。

6.1.13 本款为保护系统电连接的质量与安全措施。

6.1.15 确认电缆规格型号、绝缘等级和通电连续性等产品质量指标的措施。

6.1.16 本款为电气设备进场的常规检验要求。

6.1.17 ~ 6.1.19 牺牲阳极的化学成分、外观、尺寸、重量和短路连接情况,反映了阳极的电化学性能、厂家的技术和质量控制水平和使用年限,对阴极保护设计指标的实现有直接影响,是确保工程质量的重要措施。

6.1.20 辅助阳极的常规进场检验措施。

6.1.21 阴极保护电位是重要的设计指标,也是阴极保护效果最常规、最重要的判据,本条款规定旨在对保护系统的有效性进行校核。

6.2 验 收

6.2.1 ~ 6.2.5 对表面清理、涂装施工、金属热喷涂施工和阴极保护施工的工序性和验收方式进行界定,并提出竣工验收时的技术和质量文件。

7 维护管理

7.0.1 对定期检查各项目的内容、方式、作用及相互关系说明如下:

防腐涂层外观检查是对水上涂装钢结构进行的一般性检查,主要方法为目视检查涂层是否有破损及分辨破损的类型,估测破损的范围和程度,填写检测记录表,判定是否需进行详细检查。

阴极保护运行检测是检查阴极保护系统是否处于正常运行状态。对采用牺牲阳极法的阴极保护工程,通过测定钢结构的保护电位,记录其数值及变化,就可以了解保护系统的现状,判断钢结构是否处于正常保护状态,确定异常的部位并决定是否需要进行水下详细检查。

阳极使用环境检查是确定阳极的使用环境条件及安装、固定状态是否满足设计使用条件。

水下外观检查是对钢结构进行水下录像和潜水探摸,确定钢结构涂层破损和局部腐蚀的具体位置、范围和程度,作为防腐蚀修复或结构补强的判断依据。

涂层防腐性能检查是对防腐涂层进行详细检查和测定,通过记录涂层的变色、粉化、鼓泡、剥落、返锈和破损面积等对涂层的保护性能进行评定,以便决定是否采取修复措施。

钢结构腐蚀量的检测原则上采用无损检测方法,用超声波测厚仪测量钢结构的壁厚,根据设计原始厚度和使用时间推算出腐蚀量和腐蚀速度。厚度测定结果可用于评价防腐蚀措施的保护效果,判断是否需要修复或补强。

牺牲阳极外观检查和消耗量检测一般同时进行。阳极外观检查是通过腐蚀产物是否疏松、易脱落及阳极的溶解是否均匀来判

断阳极的质量;牺牲阳极消耗量检测是通过测量阳极的剩余尺寸,推算阳极发生电流是否满足保护需要,使用寿命是否满足设计要求。

钢结构的通电连续性是阴极保护设计的前提,对实施阴极保护的钢结构,测量各单元构件之间的连接电阻,可分析保护电流的分布情况。

7.0.2 钢结构的防腐蚀维护管理参考步骤:

(1)根据常规检查、特殊检查情况,判断钢结构、防腐涂层和阴极保护系统是否处于正常状态。如未发现异常,将检查记录作为结构物管理档案的一部分保存;如果发现异常情况,可根据异常情况的性质和程度决定是否进行有针对性地详细检查;

(2)根据详细检查的结果对钢结构的防腐蚀效果做出判断,决定是否需要对保护系统进行修复或更新,修复的范围和程度。

7.0.5 对易燃易爆环境中的钢结构物,进行防腐蚀设计及施工时,将面对比新建结构物更复杂的安全问题,对拟采用的防腐蚀技术和施工工艺的安全性进行论证,同时,制定相应的施工安全措施,执行使用单位的安全管理规定。



统一书号：15114·1177