

中华人民共和国交通部

# 海港工程钢结构防腐蚀技术规定

JTJ 230—89

(试 行)

1 9 9 0 · 北京

中华人民共和国交通部

# 海港工程钢结构防腐蚀技术规定

JTJ 230—89

(试 行)

试行日期：1990年1月1日

人 民 交 通 出 版 社

1990年·北京

中华人民共和国交通部  
**海港工程钢结构防腐蚀技术规定**

JTJ 230—89

(试 行)

人民交通出版社出版发行  
(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本:  $850 \times 1168 \frac{1}{32}$  印张: 1.5 字数: 33千

1990年2月 第1版

1990年2月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—1600册 定价: 1.50元

# 通 知

(89)交工字24号

我部组织编写的《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》已经审查批准,现颁发试行。本规定由交通部水运规划设计院负责管理。

希各单位在执行中注意搜集意见,总结经验,积累资料,并将有关意见函告交通部水运规划设计院。

交通部

1989年1月28日

## 编 制 说 明

海港工程钢结构受海洋环境影响而遭受不同程度的腐蚀，以往一般采用涂层保护或预留腐蚀裕量等措施。近十余年来，不少工程的钢结构水下区采用了阴极保护技术，取得了显著效果和经验，防腐蚀涂料试验研究工作也取得了一些新成果。为有效地延长钢结构使用年限，统一钢结构防腐蚀设计、施工和维护管理的技术要求，1985年底，交通部责成南京水利科学研究院和交通部第三航务工程局科研所组成编制组负责编写本技术规定。

编制组在编写过程中，总结和吸取了我国海港工程防腐蚀实践经验和科研成果，参考了国内外有关技术标准和规范，经一年多的努力，先后完成了初稿、征求意见稿，在广泛征求意见、讨论修改后，于1987年底完成送审稿，1988年经部审通过，总校定稿，由部颁发试行。

请各有关单位在使用中，将发现的问题和修改意见随时提供我院，以供再次修订时参考。

**交通部水运规划设计院**

**1989年1月**

# 目 录

第一章 一般规定	( 1 )
第二章 防腐蚀设计要求和方法选择	( 2 )
第一节 防腐蚀设计要求	( 2 )
第二节 防腐蚀方法选择	( 3 )
第三章 钢种选用及腐蚀裕量确定	( 4 )
第一节 钢种选用	( 4 )
第二节 腐蚀裕量确定	( 4 )
第四章 涂层系统保护	( 6 )
第一节 一般要求	( 6 )
第二节 涂料选择	( 6 )
第三节 表面处理及涂装	(10)
第四节 质量检查	(11)
第五节 维护管理	(12)
第五章 喷涂金属系统保护	(13)
第一节 一般要求	(13)
第二节 喷涂金属材料	(13)
第三节 喷涂金属系统	(13)
第四节 喷涂金属施工	(14)
第五节 检查与维护管理	(15)
第六章 阴极保护	(16)
第一节 一般要求	(16)
第二节 外加电流阴极保护系统的设计	(18)
(I) 系统的组成	(18)
(II) 辅助阳极设计	(18)
(III) 直流电源	(19)

(IV)	电缆·····	(20)
(V)	安全措施·····	(20)
第三节	外加电流阴极保护系统的施工及质量检查·····	(21)
第四节	外加电流阴极保护系统的调试·····	(22)
第五节	外加电流阴极保护系统的维护管理·····	(22)
第六节	牺牲阳极保护系统的设计·····	(23)
第七节	牺牲阳极保护系统的施工·····	(24)
第八节	牺牲阳极保护系统的质量检查·····	(24)
第九节	牺牲阳极保护系统的维护管理·····	(25)
附录一	名词术语·····	(26)
附录二	涂层和喷涂金属层检测方法·····	(30)
附录三	常用辅助阳极的材料性能和阳极体几何形状···	(34)
附录四	辅助阳极、牺牲阳极及屏蔽层(板)的计算···	(35)
附录五	外加电流阴极保护系统的施工检查要求·····	(37)

# 第一章 一般规定

**第1.0.1条** 本规定适用于海港工程（包括以潮汐为主的河口港工程）钢结构（如钢桩、钢栈桥等）的防腐蚀设计、施工和维护管理。

**第1.0.2条** 海港工程钢结构防腐蚀设计应与海港工程的结构设计同时进行，应根据材质、环境条件、使用要求以及施工、维护管理条件等，从结构整体考虑，做到技术可靠、先进、经济合理。对未采取防腐蚀措施的已建海港工程钢结构，宜根据腐蚀状况和现场施工条件，增补防腐蚀措施。临时性海港工程钢结构可不采取防腐蚀措施。

**第1.0.3条** 应及时总结海港工程钢结构防腐蚀的实践经验 and 科学试验成果，积极而慎重地采用防腐蚀新技术、新材料、新工艺。

**第1.0.4条** 防腐蚀设计、施工和维护管理应由防腐蚀技术人员负责。防腐蚀工程交付生产使用前应经竣工验收。

**第1.0.5条** 根据环境对海港工程钢结构的腐蚀程度，钢结构一般划分为大气、浪溅、水位变动、水下、泥下五个区。对于有掩护的海港，大气区和浪溅区的分界线为设计高潮位加1.5m；浪溅区和水位变动区的分界线为设计高潮位减1.0m；水位变动区与水下区的分界线为设计低潮位；水下区与泥下区的分界线为泥面。

**第1.0.6条** 海港工程钢结构的防腐蚀设计、施工和维护管理以及安全和劳动保护除应执行本规定外，尚应符合国家现行有关标准、规范的要求。



## 第二章 防腐蚀设计要求和 方法选择

### 第一节 防腐蚀设计要求

**第2.1.1条** 防腐蚀设计前应掌握被保护钢结构所处环境条件、结构型式、外型尺寸和使用特点等资料。当环境条件资料不足时，应进行现场勘察。

**第2.1.2条** 防腐蚀设计应从结构整体考虑出发，根据第2.1.1条规定所掌握的资料，按结构的不同部位，考虑保护年限、施工、维护管理、安全要求及技术经济效益等因素，选用相应的防腐蚀措施。在同一结构上，既可采用单一的防腐蚀措施，亦可联合采用多种防腐蚀措施。

**第2.1.3条** 进行防腐蚀初步设计时，应编制设计说明书，其技术指标应简单明确。防腐蚀施工图设计应包括施工图和施工工艺，并应规定施工质量检验标准。

**第2.1.4条** 海港工程钢结构在结构设计时，应尽量采取措施减少可能产生的腐蚀，并应满足防腐蚀施工和维护管理的要求：

一、钢结构在浪溅区应尽量减少暴露面积和避免焊接接头，对钢桩结构可降低混凝土胸墙或桩帽的底标高；

二、对于施工期间与主构件相连接的临时性钢构件，施工结束后应予拆除；

三、为便于架设脚手架和当采用外加电流阴极保护时架设电缆线的安全，可设置一些凸环、托架、导向装置和电缆管；

四、辅助构件应尽量采用管件，不宜采用背对背放置的角钢或槽钢等结构型式。

## 第二节 防腐蚀方法选择

**第2.2.1条** 大气区的防腐蚀一般采用涂层保护或喷涂金属层加封闭涂层保护。

**第2.2.2条** 浪溅区和水位变动区的平均潮位以上部位的防腐蚀一般采用重防蚀涂层或喷涂金属层加封闭涂层保护，亦可采用包覆有机复合层、树脂砂浆、混凝土以及包覆合金进行保护。

对于水位变动区平均潮位以下部位，一般采用涂层与阴极保护联合防腐蚀措施。

**第2.2.3条** 水下区的防腐蚀应采用阴极保护与涂层联合防腐蚀措施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。

对于孤立的小型钢结构，当采用阴极保护有困难时，可单独采用涂层保护。

**第2.2.4条** 泥下区的防腐蚀应采用阴极保护，但对埋设于泥下的金属管道，宜采用阴极保护与涂层联合防腐蚀措施。

**第2.2.5条** 对使用年限较短或处于腐蚀程度较均匀、腐蚀速度较低的海区的钢结构，经技术经济论证后，可仅采用腐蚀裕量法。

对钢板桩岸侧及易维修更换的钢构件，可仅采用腐蚀裕量法。

密闭的钢结构内壁一般不考虑腐蚀裕量。

**第2.2.6条** 当采用涂层或阴极保护时，结构设计尚应预留保护不足部分的腐蚀裕量。

## 第三章 钢种选用及腐蚀 裕量确定

### 第一节 钢种选用

**第3.1.1条** 海港工程钢结构用的钢材，一般采用碳素钢或碳锰钢，当结构设计对钢材强度要求较高时，可采用低合金钢。

**第3.1.2条** 大气区和浪溅区可采用耐候钢，但应进行技术经济论证。

**第3.1.3条** 当水下区采用耐海水钢时，应进行技术经济论证，并应进行阴极保护。

**第3.1.4条** 位于平均潮位以下部位的钢结构应尽量采用相同的钢种。当采用不同钢种时，应采取措施减少电偶腐蚀。

### 第二节 腐蚀裕量确定

**第3.2.1条** 钢结构在不同部位的单面腐蚀裕量  $\Delta\delta$  (mm) 可参照类似环境条件下钢结构的腐蚀实测数据确定，亦可按式 (3.2.1) 计算：

$$\Delta\delta = K[(1-P)t_1 + (t - t_1)] \quad (3.2.1)$$

式中：  $K$ ——钢材的单面平均腐蚀速度 (mm/a)，可参照第 3.2.2条取值，必要时可根据现场实测确定；

$P$ ——采用涂层保护或阴极保护或阴极保护与涂层联合防腐措施时的保护效率 (%)，可按第 3.2.3条取值；

$t_1$ ——采用涂层保护或阴极保护或阴极保护与涂层联合防腐措施时的设计使用年限 (a)；

$t$ ——被保护的钢结构设计使用年限 (a)。

**第3.2.2条** 碳素钢的单面平均腐蚀速度 (mm/a) 可按表3.2.2取值。

碳素钢的单面平均腐蚀速度 (mm/a) 表3.2.2

部 位	平均腐蚀速度
海上大气区	0.05~0.1
浪 溅 区	0.2~0.5
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  $\text{pH} = 4 \sim 10$  的环境条件，对有严重污染的环境，应适当增大。  
 ② 当采用低合金钢时，可参照表中数值取值，但大气区应适当减小。  
 ③ 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，其对应部位的平均腐蚀速度应适当增大。  
 ④ 钢板桩岸侧可参照泥下区取值。

**第3.2.3条** 当采用涂层保护时，在涂层的设计使用年限内其保护效率可取80%~95%；当采用阴极保护时，其保护效率  $P$  可按表3.2.3取值；当采用涂层与阴极保护联合保护措施时，其保护效率在平均潮位以下可取85%~95%，平均潮位以上可仅按涂层的保护效率取值。

阴极保护效率 ( $P$ ) 表3.2.3

部 位	$P$ (%)
平均潮位以上	$0 \leq P < 40$
平均潮位至设计低潮位	$40 \leq P < 90$
设计低潮位以下	$P \geq 90$

## 第四章 涂层系统保护

### 第一节 一般要求

**第4.1.1条** 防腐蚀涂层系统及其相应的表面处理等级和涂装方法应根据钢结构的使用目的、设计使用年限、环境介质、施工条件、工期和经济等因素综合分析研究确定。

**第4.1.2条** 防腐蚀涂料应具有良好的附着性、耐蚀性及符合第4.2.1~4.2.5条规定的有关要求并具有出厂合格证和检验资料。

### 第二节 涂料选择

**第4.2.1条** 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4.2.1选用。

**第4.2.2条** 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,并具有耐磨损、耐冲击、耐候的性能。浪溅区和水位变动区的涂层系统可按表4.2.2选用。

**第4.2.3条** 对位于浪溅区难于维修的钢结构,当涂层设计使用年限要求在10年以上时,应采用重防蚀涂层系统。一般采用无溶剂厚浆型涂料和高固体份涂料,亦可采用涂料与玻璃布的复合层。选用的涂料应符合下列要求:

一、耐盐雾4000h (按GB1771—79《漆膜耐盐雾测定法》测定);

二、耐老化2000h (按GB1865—80《漆膜老化测定法》测定);

三、耐湿热4000h (按GB1740—79《漆膜耐湿热测定法》测定)。

经盐雾、老化、湿热试验后,涂膜应符合附录二附表2.1的

大气区涂层系统

表4.3.1

设计使用年限 (a)	配 套 涂 料 名 称			平均涂层厚度(μm)		
				(1)	(2)	
10~20	底 层		富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75	
	面 层	I	氯化橡胶漆	280	250	
		II	聚氨酯漆			
		III	丙烯酸树脂漆			
		IV	乙烯树脂漆			
5~10	底 层		富锌漆(无机或有机富锌漆)	40		
	面 层	I	氯化橡胶漆	100		
		II	聚氨酯漆			
		III	乙烯树脂漆			
	同品种底面配套	第一类	I	橡胶树脂漆(氯化橡胶漆或氯磺化聚乙烯漆)	180~220	
			II	乙烯树脂漆		
			III	丙烯酸树脂漆		
		第二类	I	油性漆	190~230	
			II	酚醛树脂漆		
			III	醇酸树脂漆		
	IV		环氧酯漆			
		第三类	聚氨酯漆	220~240		
		第四类	环氧树脂漆	240~260		
	<5	同品种底面配套	I	油性漆	170~190	
II			酚醛树脂漆			
III			醇酸树脂漆			
IV			环氧酯漆			
			其 它	200		

注：①涂层厚度可按GB1764—79《漆膜厚度测定法》测定。

②不同涂料的表面处理等级应按表4.3.1-2确定。

③表列I、II、……配套涂料及平均涂层厚度(1)、(2)可任选其中一种。

④表列各种涂料、系指该涂料系列中的防锈漆和防腐蚀漆。

浪溅区涂层系统

表4.2.2

设计使用年限 (a)	配 套 涂 料 名 称				平均涂层厚度 ( $\mu\text{m}$ )		
					(1)	(2)	
10~20	第一类	底 层		富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75	
		中间层	I	环氧树脂漆	310	270	
			II	聚氨酯漆			
		面 层	I	氯化橡胶漆	130	130	
			II	乙烯树脂漆			
			III	丙烯酸树脂漆			
	第二类	底 层	I	环氧树脂漆	375		
			II	聚氨酯漆			
		面 底	I	氯化橡胶漆	65		
			II	乙烯树脂漆			
			III	丙烯酸树脂漆			
			III	丙烯酸树脂漆			
第三类	同品种底	I	环氧煤焦油沥青漆	450			
	面层配套	II	聚氨酯煤焦油沥青漆				
5~10	第一类	底 层		富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75	
		中间层	I	环氧树脂漆	180	135	
			II	聚氨酯漆			
			III	氯化橡胶漆			
		面 层	I	氯化橡胶漆	65	65	
			II	乙烯树脂漆			
	III		丙烯酸树脂漆				
	第二类	底 层	I	环氧树脂漆	230		
			II	聚氨酯漆			
			III	氯化橡胶漆			
		面 层	I	氯化橡胶漆	115		
			II	乙烯树脂漆			
			III	环氧树脂漆			
	第三类	同品种底	I	氯化橡胶漆	300		
			II	乙烯树脂漆			
			III	环氧煤焦油沥青漆			
		面层配套	IV	聚氨酯煤焦油沥青漆	350		
			第一类	底 层	I	环氧树脂漆	165
II					聚氨酯漆		
面 层	I	氯化橡胶漆		70			
	II	氨基化聚乙烯树脂漆					
	III	乙烯树脂漆					
	III	丙烯酸树脂漆					
第二类	同品种底	I	环氧树脂漆	240			
	面层配套	II	聚氨酯漆				

注：①涂层厚度可按GB1764—79《漆膜厚度测定法》测定。

②不同涂料的表面处理等级应按表4.3.1-2确定。

③表列I、II、……配套涂料及平均涂层厚度(1)、(2)可任选其中一种。

④表列各种涂料，系指该涂料系列中的防锈漆和防腐蚀漆。

水下区涂层系统

表4.2.5

设计使用年限 (a)	配套涂料名称			平均涂层厚度 ( $\mu\text{m}$ )	
				(1)	(2)
10~20	第一类	底 层	富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75
		中间层	I 环氧树脂漆	310	270
			II 聚氨酯漆		
	第二类	面层	I 氯化橡胶漆	120	130
			II 乙烯树脂漆 III 环氧树脂漆		
5~10	第一类	同品种底 面层配套	I 环氧煤焦油沥青漆	450	
			II 聚氨酯煤焦油沥青漆		
		底 层	富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75
	第二类	中间层	I 环氧树脂漆	175	135
			II 聚氨酯漆 III 氯化橡胶漆		
<5	第一类	面层	I 氯化橡胶漆	60	65
			II 乙烯树脂漆 III 环氧树脂漆		
	第二类	同品种底 面层配套	I 氯化橡胶漆	300	
			II 乙烯树脂漆	300	
	第三类	同品种底 面层配套	III 环氧煤焦油沥青漆	350	
			IV 聚氨酯煤焦油沥青漆	350	
<5	同品种底 面层配套	I	氯化橡胶漆	220	
		II	乙烯树脂漆	220	
		III	聚氨酯煤焦油沥青漆	230	
		IV	环氧煤焦油沥青漆	250	

注：①涂层厚度可按GB1764—79《漆膜厚度测定法》测定。

②不同涂料的表面处理等级应按表4.3.1-2确定。

③表列I、II、……配套涂料及平均涂层厚度(1)、(2)可任选其中一种。

④表列各种涂料，系指该涂料系列中的防锈漆和防腐蚀漆。



规定。

**第4.2.4条** 水下区和水位变动区平均潮位以下部位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，一般采用环氧树脂漆、聚氨酯漆、橡胶漆和富锌漆等。

涂层厚度应根据施工期防腐蚀要求和减小阴极保护初始电流密度的要求确定。

**第4.2.5条** 对于在水下区无法实施阴极保护的钢结构，应采用涂层系统保护。水下区涂料应具有良好的耐水性能，其涂层系统可按表4.2.5选用。

**第4.2.6条** 受石油污染的钢结构，应选用耐油性能良好的防腐蚀涂料。对易受磨损的钢结构（构件）应选用耐磨性能良好的防腐蚀涂料。

### 第三节 表面处理及涂装

**第4.3.1条** 钢结构涂装前应进行表面处理，表面处理等级标准应符合表4.3.1-1的要求。

**第4.3.2条** 不同品种涂料对表面处理的最低等级要求应符合表4.3.1-2的规定。

**第4.3.3条** 对于重要港口的主要钢结构，表面处理不宜采用转化型、稳定型和渗透型的化学处理剂。

**第4.3.4条** 涂有保养底漆但在贮运过程中锈蚀的钢结构，应在涂装前进行二次除锈，其等级标准可按表4.3.1-2确定。

**第4.3.5条** 钢结构涂装前应认真检验涂料品种、型号、规格和贮存期限，保证符合施工技术条件的要求。

**第4.3.6条** 涂装方法应根据涂料的物理性能，施工条件、涂装要求和被涂结构的情况进行选择，一般采用刷涂、滚涂和喷涂（包括普通喷涂和高压无气喷涂），亦可按涂料厂家要求进行。

表面处理等级标准

表4.3.1-1

表面处理等级划分		表面处理标准
喷射或抛射除锈	Sa1	轻度的喷射除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢，没有附着不牢的氧化皮、锈和油漆涂层等附着物
	Sa2	一般的喷射、抛射除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢，氧化皮、锈和油漆涂层等附着物已基本清除，其残留物应是牢固附着的
	Sa2 $\frac{1}{2}$	较彻底的喷射、抛射除锈。钢材表面应无可见的油脂、污垢、氧化皮、锈和油漆涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑
	Sa3	彻底的喷射、抛射除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢、氧化皮、锈和油漆涂层等附着物，表面应呈现均匀的金属光泽
手工和动力工具除锈	St2	一般的手工和动力工具除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢，没有附着不牢的氧化皮、锈和油漆涂层等附着物
	St3	彻底的手工和动力工具除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢，没有附着不牢的氧化皮、锈和油漆涂层等附着物，除锈比 St2 彻底，底材显露部分的表面应具有金属光泽
火焰除锈	F1	钢材表面应无氧化皮、锈和油漆涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅为表面变色(不同颜色的暗影)

不同涂料表面处理的最低等级

表4.3.1-2

涂 料 品 种		表面处理最低等级	
		喷射或抛射除锈	手工和动力工具除锈
非油性漆	无机富锌漆	Sa2 $\frac{1}{2}$	不允许
	酚醛树脂漆，环氧沥青漆	Sa2	St3
	醇酸树脂漆		St2
	其它漆类		不允许
油 性 漆		Sa2	St2

## 第四节 质量检查

第4.4.1条 涂装前应进行表面处理的质量检查，合格后方

能进行涂装。

**第4.4.2条** 涂装时，涂层道数和涂膜厚度应符合设计要求。应及时测定湿膜厚度（测定方法见附录二之一），以保证干膜厚度。

**第4.4.3条** 涂装时如发现漏涂，流挂发白、皱纹、针孔、裂纹等缺陷，应及时进行处理。每层涂装前应对上一层涂层进行检查。

**第4.4.4条** 涂装后应进行涂层外观目视检查。表面应均匀、无气泡、无裂缝等缺陷。

**第4.4.5条** 涂装后应进行涂层干膜厚度测定（测定方法见附录二之一）。干膜厚度大于或等于设计厚度值者应占检测点总数的90%以上，其它检测点的干膜厚度也不应低于90%的设计厚度值，当不符合上述要求时，应根据情况进行局部或全面修补。

**第4.4.6条** 厚膜涂层应进行针孔检测（测定方法见附录二之二），针孔数不应超过检测点总数的20%。当不符合上述要求时，应进行修补。

**第4.4.7条** 竣工验收应在规定的涂膜养护期后进行，验收时宜提交下列资料：

一、原材料出厂合格证、代用材料技术文件和其它质量检验文件；

二、原设计文件及设计变更文件；

三、表面处理及涂装工程记录（包括施工过程中对重大技术问题的处理记录）；

四、修补和返工记录。

## **第五节 维 护 管 理**

**第4.5.1条** 在使用过程中应对涂膜进行定期检查，发现有损坏时应及时进行修补。修补用涂料应尽量与原涂料配套。

**第4.5.2条** 对防腐蚀涂层系统应建立涂装及涂层检查记录卡，其内容可参照附录二之四。

## 第五章 喷涂金属系统保护

### 第一节 一般要求

**第5.1.1条** 喷涂金属系统一般包括喷涂金属层和封闭涂层。

**第5.1.2条** 喷涂金属所用的金属材料一般为铝、锌或锌-铝合金。

**第5.1.3条** 海港工程钢结构喷涂金属工艺，一般采用气喷涂法，亦可采用电喷涂法。

### 第二节 喷涂金属材料

**第5.2.1条** 气喷涂法所用金属材料应光洁、无锈、无油、无折痕，一般采用直径为2.0~3.0mm的金属丝。

**第5.2.2条** 金属丝的纯度应符合下列要求：铝丝含铝99.5%以上；锌丝含锌99.7%以上。

锌铝合金丝的金属组成，锌为95%~70%，铝为5%~30%。

### 第三节 喷涂金属系统

**第5.3.1条** 喷涂金属系统的封闭涂层，其底漆应具有良好的封孔性能，一般采用磷化底漆以及环氧、环氧酯、聚氨酯、乙烯树脂、氯化橡胶等底漆。

**第5.3.2条** 大气区和浪溅区、水位变动区喷涂金属系统的厚度应根据设计使用年限按表5.3.2-1和表5.3.2-2确定。

大气区喷涂金属系统

表5.3.2-1

设计使用年限 $T$ (a)	喷涂金属层厚度 ( $\mu\text{m}$ )	封闭涂层厚度 ( $\mu\text{m}$ )
$T \geq 20$	锌 250	30~60
	铝 200	
$10 \leq T < 20$	锌 150	30~60
	铝 100	

注：表中喷锌、喷铝可任选一种。

浪溅区和水位变动区喷涂金属系统

表5.3.2-2

设计使用年限 $T$ (a)	喷涂金属层厚度 ( $\mu\text{m}$ )	封闭涂层厚度 ( $\mu\text{m}$ )
$T \geq 20$	锌 300	60~100
	铝 250	
$10 \leq T < 20$	锌 150	60~100
	铝 150	

注：表中喷锌、喷铝可任选一种。

#### 第四节 喷涂金属施工

**第5.4.1条** 喷涂金属的表面处理最低等级为  $Sa 2 \frac{1}{2}$ 。选用磨料应满足钢结构处理后表面粗糙度不小于  $60 \sim 80 \mu\text{m}$  的要求。

**第5.4.2条** 钢结构表面处理后应尽快喷涂金属，其间隔时间不应超过 4 h（阴湿天气不应超过 1.5 h），当相对湿度大于 85% 时，不应进行喷涂金属作业。

**第5.4.3条** 喷涂金属层厚度应尽量均匀。喷涂时，同一层内每一喷涂带宜与前一喷涂带重叠  $1/3$  宽度，相邻层的喷涂带宜互相垂直、交叉覆盖。

**第5.4.4条** 喷涂金属后应尽快进行封闭涂层的涂装作业。

## 第五节 检查与维护管理

**第5.5.1条** 喷涂金属施工后应进行外观检查(目视或用5~10倍放大镜观察)。喷涂金属层应颗粒细密、厚薄均匀,并不得有固体杂质、气泡、孔洞及裂缝等缺陷。

**第5.5.2条** 对喷涂金属层应进行厚度测定(检测方法见附录二之五)。测定厚度不应小于设计厚度的75%,当达不到要求时,应进行补喷或重喷。

**第5.5.3条** 对喷涂金属层宜进行孔隙率检测(检测方法见附录二之六),检测面积一般约占总面积的5%,当不合格时,应进行补喷或重喷。

**第5.5.4条** 对喷涂金属层与钢结构的结合性能,可采用敲击或刀刮进行检测(检测方法见附录二之七),当不合格时,应进行补喷或重喷。

**第5.5.5条** 封闭涂层质量检查,可参照涂层质量检查有关规定进行。

**第5.5.6条** 对喷涂金属层系统应加强维护管理、定期进行检查。当封闭涂层有老化破损时,对于喷锌层可用富锌漆进行修补,对于喷铝层可用含铝粉涂料进行修补。

**第5.5.7条** 对喷涂金属系统应建立记录卡,其内容可参照附录二之四。

## 第六章 阴极保护

### 第一节 一般要求

**第6.1.1条** 阴极保护适用于海港工程平均潮位以下钢结构的防腐蚀。

**第6.1.2条** 阴极保护一般采用外加电流保护系统、牺牲阳极保护系统或上述两种系统的联合。

**第6.1.3条** 采用阴极保护时，应掌握钢结构所处的下列环境条件，必要时可进行现场测定：

一、介质的化学成分（氯离子、钙离子、镁离子、硫离子等）；

二、介质的电阻率；

三、介质的pH值；

四、介质的流速、温度、波浪、潮位及其变化；

五、介质的污染状况（氧化还原电位、化学耗氧量、溶解氧、硫酸盐还原菌数等）；

六、邻近钢结构的防腐蚀状况及其与被保护钢结构相互间的腐蚀影响。

**第6.1.4条** 阴极保护的主要参数——保护电位及达到保护电位所需的保护电流密度，应符合下列要求：

一、当钢结构采用碳素钢或低合金钢时，其相对饱和甘汞电极的保护电位范围应为 $-1.05 \sim -0.77\text{V}$ ；

二、设计时，保护电流密度一般取初期保护电流密度值，可参照表6.1.4取值，必要时可通过现场试验确定。

**第6.1.5条** 阴极保护用的参比电极应具有极化小、稳定性好、不易损坏、使用年限长等特性，并应适应其所处的环境介质，其类型及主要技术性能可参照GB7387—87《船用参比电极技

术条件》和表6.1.5选用。

常用的初期保护电流密度值

表6.1.4

环 境 介 质	钢结构表面状况	保护电流密度 (mA/m <sup>2</sup> )
静止海水	裸 钢	80~100
流动海水	裸 钢	100~150
静止海水	有 涂 层	10~20
流动海水	有涂层 (完好)	15~30
流动海水	有涂层 (破损)	30~50
流动淡水	裸 钢	70~100
泥 下	裸 钢	10~25
海水堆石	裸 钢	40~60
污染海水	裸 钢	150~200

常用参比电极主要技术性能和适用的环境介质 表6.1.5

名 称	电极结构	电位(V) (相对于标准氢电极)	适用的环境介质
饱和甘汞电极	Hg/Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> 饱和KCl	+0.242	淡水、海水
饱和硫酸铜电极	Cu/饱和CuSO <sub>4</sub>	+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

**第6.1.6条** 当阴极保护采用外加电流恒电位控制时, 每台恒电位仪至少应安装一个控制用参比电极, 其安装位置应选在该恒电位仪保护范围内具有代表性的阴极点处, 但不得靠近辅助阳极。测量用参比电极一般为携带式, 必要时也可安装在固定的位置。

**第6.1.7条** 阴极保护的总保护面积一般包括平均潮位以下的钢结构表面积 (包括水中及泥下)。当平均高潮位高出平均潮位较多时, 也可按平均高潮位以下的表面积计算。



注：总保护面积一般不计临时性钢构件面积，但对施工后不能拆除的与主体结构相连接的临时性钢构件，则应计入其面积。

**第6.1.8条** 总保护电流 $I(A)$ 可按式(6.1.8)计算：

$$I = K \sum I_n = K \sum i_n s_n \quad (6.1.8)$$

式中： $K$ ——安全系数，一般取1.1~1.2；

$I_n$ ——分部位的保护电流(A)；

$i_n$ ——分部位的初期保护电流密度(A/m<sup>2</sup>)；

$s_n$ ——分部位的保护面积(m<sup>2</sup>)。

**第6.1.9条** 采用阴极保护的钢结构应短路连接成一通电整体，其连接方式可用直接焊接、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芯的横截面面积，连接电阻不应大于0.01Ω。

## 第二节 外加电流阴极保护系统的设计

### (I) 系统的组成

**第6.2.1条** 外加电流阴极保护系统一般包括辅助阳极、直流电源(恒电位仪或整流器)、参比电极、检测设备和电缆。

### (II) 辅助阳极设计

**第6.2.2条** 辅助阳极布置应满足被保护钢结构各处的保护电位均符合第6.1.4条的要求，并应尽量分布均匀，其布置方式分近阳极和远阳极两种，可根据经验和通过室内、外试验确定。

当采用近阳极布置时，应设置屏蔽层或屏蔽筒。屏蔽层的尺寸可按附录四的有关公式计算；屏蔽筒的尺寸可根据阳极体的形状尺寸设计。

当采用远阳极布置时，阳极与被保护钢结构的距离一般不大于100m。

**第6.2.3条** 辅助阳极设计应包括阳极体材质、几何形状和电缆与阳极体接头型式的确定。

**第6.2.4条** 辅助阳极材料应选用消耗率低、表面工作电流密度适用范围大、极化性能好、对环境介质的适应性广、来源丰

富、制作方便的材质，并应经济合理。常用的辅助阳极材料可按附录三选用。

**第6.2.5条** 辅助阳极体的几何形状应根据阳极的设计使用年限、材料性能、环境介质、钢结构型式等进行设计。阳极体表面工作电流密度不应大于材料容许电流密度值，阳极体应表面光滑、棱角少，便于加工和安装。常用的辅助阳极体的几何形状可参照附录三选用，必要时可另行设计。

**第6.2.6条** 辅助阳极与电缆的接头应保证水密绝缘性能良好，接头在水中的绝缘电阻不应小于100MΩ，其耐用年限应与阳极体设计使用年限相一致。

**第6.2.7条** 辅助阳极的接水电阻可按附录四的相应公式计算。

### (III) 直流电源

**第6.2.8条** 为满足所需要的保护电流量，直流电源应有足够的输出功率，其功率可按下列公式计算：

一、单台直流电源功率 $W_1$ ：

$$W_1 = VI = \left( \sum_{i=1}^m I_i \right)^2 R \quad (6.2.8-1)$$

式中： $V$ ——直流电源输出电压（V）；

$I$ ——直流电源输出电流（A）；

$I_i$ ——每只阳极发生电流量（A）；

$m$ ——单台直流电源所担负的阳极数量；

$R$ ——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。

二、直流电源总功率 $W$ ：

$$W = K \sum_{i=1}^n W_i \quad (6.2.8-2)$$

式中： $K$ ——安全系数，一般取1.25；

$n$ ——直流电源台数；

$W_1$ ——单台直流电源功率。

**第6.2.9条** 直流电源（恒电位仪或整流器）的技术性能应稳定、可靠、环境适应性强，其输出电压和电流的额定值应根据设计要求选用。恒电位仪的技术性能、技术要求及其规格可参照GB3220—84《船用恒电位仪技术条件》选用，必要时可另行设计。

**第6.2.10条** 直流电源的布置应根据电源台数、钢结构型式、维护管理、经济等因素确定。电源可集中布置在若干个控制室中，亦可分散布置在被保护钢结构工程的相应位置上。

#### (IV) 电 缆

**第6.2.11条** 阴极保护用电缆一般包括阳极电缆、阴极电缆、控制用参比电极电缆和电源电缆。

**第6.2.12条** 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、耐老化性能，水下部分还应具有耐海水腐蚀性能。阳极电缆缆芯横截面面积 $S$  ( $\text{mm}^2$ )可按式(6.2.12)计算：

$$S = \frac{\rho L}{R} \quad (6.2.12)$$

式中： $L$ ——电缆长度 (m)；

$\rho$ ——电缆缆芯的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )；

$R$ ——导线电阻 ( $\Omega$ )；

$$R = \frac{V}{I}$$

其中： $I$ ——流经电缆的电流 (A)；

$V$ ——电缆允许压降 (V)。

**第6.2.13条** 控制用参比电极电缆应选用耐海水腐蚀和耐老化的屏蔽电缆。参比电极电缆不得紧靠动力电缆，其屏蔽线(层)必须一端接地。

**第6.2.14条** 电源电缆的护套应具有耐腐蚀和耐老化性能。

#### (V) 安 全 措 施

**第6.2.15条** 当钢结构处于有易燃、易爆气体的环境中时，

对阴极保护系统应设置防爆装置，各种接线点应置于密闭的接线箱（盒）中，其阳极接线头不得与金属接线箱（盒）外壳接触。

**第6.2.16条** 直流电源应置于通风、干燥的环境中，其安全措施应符合电器设备的安全技术要求。

**第6.2.17条** 当直流电源的输出电压超过 36V 时，严禁人员下水作业。当需进行水下作业时，必须先切断阴极保护系统电源。

**第6.2.18条** 当采用阴极保护的钢结构靠近其他金属结构，或附近有直流杂散电流，使该钢结构或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。

### 第三节 外加电流阴极保护系统的 施工及质量检查

**第6.3.1条** 电连接应满足本规定第 6.1.9 条的技术要求。当用焊接钢筋进行电连接时，应做好标记，在浇筑混凝土前应进行严格检查，不得漏焊。当钢筋焊接或电缆连接的接点位于大气或浪溅区时，应加密封保护。

**第6.3.2条** 辅助阳极及其屏蔽板（筒）的安装应符合施工图的要求。辅助阳极与被保护钢结构间不得产生金属短路。辅助阳极的水中电缆长度应留有足够的余量。

**第6.3.3条** 参比电极安装前应经检验合格，并按施工图的要求进行施工。水中参比电极电缆长度应留有一定的余量。参比电极接地点不得与阴极接地点共用或紧靠。

**第6.3.4条** 直流电源应置于通风良好、除尘方便之处。当直流电源分散安装在室外时，应设通风、防滴式的金属外壳。直流电源金属外壳应接地，其接地电阻应小于 4  $\Omega$ 。当直流电源的正、负极与相应的阳、阴极电缆连接时，严禁接反。

**第6.3.5条** 电缆应敷设于钢管、聚氯乙烯管、有盖的电缆沟（架）中，电缆不应遭受日光曝晒和腐蚀性较强的物质侵蚀。

**第6.3.6条** 电缆分段连接时，其连接点应有良好的密封措施，不得暴露在外，必要时应置于接线箱（盒）中，其阳极接线

头不得与金属接线箱（盒）外壳接触。电缆敷设时应尽量不损坏护套，部分损坏处应进行修补，严重损坏时应更换电缆。

**第6.3.7条** 阴极保护系统施工结束后，应按附录五的要求对施工质量进行全面检查，并做好记录。

#### **第四节 外加电流阴极保护系统的调试**

**第6.4.1条** 阴极保护系统调试前应按本规定有关技术要求，全面检查电源、设备、线路、接线、电连接、辅助阳极和参比电极等项目，应全面测定被保护钢结构在水中的自然腐蚀电位，并做好记录。

**第6.4.2条** 调试时应按直流电源的操作规程开机，采用逐级极化的方式操作，直至被保护钢结构的保护电位基本达到本规定第6.1.4条的要求为止。

**第6.4.3条** 调试结束后应由设计、施工和使用单位联合进行检查。设计、施工单位应向使用单位提交下列资料：

- 一、设计图、施工图和竣工图；
- 二、试运转报告、各项测试记录；
- 三、阴极保护系统维护管理操作规程。

#### **第五节 外加电流阴极保护系统的维护管理**

**第6.5.1条** 为保证阴极保护系统安全、正常运行，使用部门应制定管理制度，并由专门技术人员负责日常维护管理工作，及时排除故障、调整保护参数等。

**第6.5.2条** 阴极保护系统运行中应按时检测并记录直流电源的输出电流、输出电压、控制保护电位和辅助阳极发生电流等数据，如发现异常应及时检查并进行调整。辅助阳极和参比电极损坏或失效时应及时更换。

**第6.5.3条** 应定期全面检测被保护钢结构表面的保护电位、腐蚀状况（包括涂层的损坏状况）和保护系统的电缆损坏状况；当设有挂片时，还应按期测定其保护效果，各项检测均应作好详

细记录。当钢结构保护电位达不到第6.1.4条规定要求时,应及时采取有效的补救措施。

## 第六节 牺牲阳极保护系统的设计

**第6.6.1条** 牺牲阳极保护适用于海水或电阻率小于 $500\Omega\cdot\text{cm}$ 的淡海水中的海港工程平均潮位以下钢结构的防腐蚀。

**第6.6.2条** 牺牲阳极的材料应具有足够负的电极电位,在使用期内应能保持表面的活性、溶解均匀、腐蚀产物易于脱落,以及理论电容量大、电流效率高、易加工制造、材料来源充足、价廉等。

**第6.6.3条** 牺牲阳极材料品种可参照表6.6.3选用,在海港工程一般不采用镁合金材料。

牺牲阳极材料的化学成份、金相组织、表面质量、电化学性能、质量检验、铁芯结构等,应符合GB4948—85《铝—锌—铜系合金牺牲阳极》、GB4950—85《锌—铝—镉合金牺牲阳极》中规定的技术要求。

牺牲阳极材料适用的环境介质

表6.6.3

材 料	环 境 介 质	适 用 性
铝 合 金	海水、淡海水 (电阻率小于 $500\Omega\cdot\text{cm}$ )	可 用
	海 泥 中	慎 重 用
锌 合 金	海水、淡海水 (电阻率小于 $500\Omega\cdot\text{cm}$ )	可 用
	海 泥 中	可 用

**第6.6.4条** 牺牲阳极电化学性能的测试方法可按GB4948—85的附录C所规定的方法进行。

**第6.6.5条** 牺牲阳极体与铁芯间的接触电阻均应小于 $0.001\Omega$ ,其测量方法可按GB4948—85的附录B所规定的方法进行。

**第6.6.6条** 牺牲阳极的几何形状、尺寸和重量的选取,应保证阳极发生电流和使用年限符合设计要求,其型号、规格可按

GB4948—85和GB4950—85选用，亦可另行设计。

**第6.6.7条** 牺牲阳极铁芯的设计应保证在整个使用期间与阳极体的电连接，并能承受阳极设计荷载所需的强度，其埋设方式应保证在温度变化时可自由伸缩。

**第6.6.8条** 牺牲阳极的数量、接水电阻、电流效率和设计使用年限可参照附录四计算。

**第6.6.9条** 牺牲阳极布置应使被保护钢结构表面保护电位分布均匀，一般采用均匀布置。牺牲阳极与被保护钢结构间的距离不宜小于10cm，当小于10cm时，宜在牺牲阳极与被保护钢结构之间加屏蔽层，其尺寸可参照附录四计算。

### **第七节 牺牲阳极保护系统的施工**

**第6.7.1条** 牺牲阳极必须牢固地安装在被保护的钢结构上，并应与被保护钢结构进行短路连接，其连接方式应尽量采用焊接，亦可采用配件或电缆连接。

**第6.7.2条** 安装前应对牺牲阳极尺寸、重量、表面状况和铁芯进行检查。牺牲阳极工作表面不得沾有油漆、油污，其安装位置应符合设计要求。

**第6.7.3条** 当采用水下电焊安装牺牲阳极时，应由取得合格证书的水下电焊工进行焊接。

### **第八节 牺牲阳极保护系统的质量检查**

**第6.8.1条** 牺牲阳极交货时应按设计的技术要求进行检验，生产厂应提供包括有化学成份、电流效率、在海水介质中的工作电位和开路电位、溶解性能、尺寸与重量、阳极体与铁芯间的接触电阻等内容的产品合格证。

**第6.8.2条** 施工单位应按设计要求进行施工，并及时检查安装质量，保证牺牲阳极与被保护钢结构的短路连接可靠。当采用水下焊接时，其焊缝应尽量采用水下摄影或水下电视进行检查，检查焊缝的牺牲阳极数不得少于总数的5%~10%。当发现

有不符合要求的焊缝时，应对焊缝进行全面检查并及时修补。

**第6.8.3条** 牺牲阳极安装完毕后，施工单位应提交阴极保护竣工图，标明实际安装的阳极数量、位置，同时测量被保护钢结构表面的电位。当电位达不到第6.1.4条规定的要求时，应及时采取重焊、更换或增补牺牲阳极等补救措施。

### **第九节 牺牲阳极保护系统的维护管理**

**第6.9.1条** 牺牲阳极保护系统投入正常使用后，使用单位至少每隔半年应测一次保护电位，其测点布置至少在离每个牺牲阳极最近和最远处有测点，并记录有关数据、所使用的参比电极和测量方法，当发现被保护钢结构保护电位不符合第6.1.4条要求时，应及时检查牺牲阳极状况，并采取重焊、更换或增补牺牲阳极等补救措施。



## 附录一 名 词 术 语

### 1. 腐蚀 corrosion

材料与环境介质发生化学作用或电化学作用而产生的破坏现象。

### 2. 腐蚀速度 corrosion rate

金属单面的平均腐蚀速度，一般用单位时间内在单位面积上腐蚀所损耗的金属重量来表示 ( $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )，或以单位时间内金属腐蚀的深度（或厚度）表示 ( $\text{mm}/\text{a}$ )。

### 3. 腐蚀裕量 corrosion abundant

除钢结构设计所需的厚度外，为补偿预计的腐蚀损耗而增加的厚度。

### 4. 电偶腐蚀 galvanic corrosion

不同金属电接触时发生的腐蚀。

### 5. 杂散电流腐蚀 stray current corrosion

电流未按正常的电路流通，而由电力装置（或电力牵引装置）漏出，经其他导体（如水或土壤）流失再流回的那部分电流，称为杂散电流。当该电流流经处于该导体中的钢结构时，杂散电流流出该结构处造成的腐蚀，称为杂散电流腐蚀。

### 6. 电极电位 electrode potential

将金属浸于电解质溶液中时，金属与电解质溶液间所呈现出的电位。它随金属种类、电解质溶液成份和温度等因素而变化，一般以相对于某一参比电极的电位差来表示。

### 7. 腐蚀电位（电偶电位或自然电极电位） corrosion potential

保持自然腐蚀状态时的电极电位。对电池作用产生的腐蚀，该电位相当于该电池所发生的电位；对电偶产生的腐蚀，则相当

于形成电偶电池的电位。

8.极化 polarization

一个电极有外加电流时的电极电位与没有外加电流时的电极电位相比较,发生的电位偏离称为极化。当外加电流为阳极电流时,称为阳极极化;当外加电流为阴极电流时,称为阴极极化。

9.阴极保护 cathodic protection

使直流电流从金属周围的电解质中流入该金属,从而降低该金属腐蚀速度的方法。

10.最小保护电位 minimum protection potential

为使阴极保护对钢结构有效,应使该结构在电解质溶液中阴极极化到比某一电位更负的数值,该电位称为最小保护电位。

11.保护电流 protection current

在阴极保护过程中,使被保护钢结构达到保护电位所需要的电流。

12.屏蔽层 shield

为改变电流在阴极或阳极上的分布而设置的一种非导电屏障。

13.牺牲阳极 sacrificial anode

在电解质溶液中用一种电极电位相对较负的金属或合金同电极电位较正的金属结构连接在一起,依靠前者不断腐蚀所产生的电流来保护该金属结构,这种金属或合金称为牺牲阳极。

14.辅助阳极 auxiliary anode

外加电流阴极保护中用的阳极。

15.接水电阻 water connection resistance

阴极保护系统中阳极在水中的界面电阻。

16.参比电极 reference electrode

用以测量其他电极电位的一种电极。其自身的电极电位必须十分稳定。

17.开路电位 open circuit potential

牺牲阳极在电解质溶液中的自然电极电位。

18. 工作电位 working potential

牺牲阳极在电解质溶液中与被保护钢结构短路后的电极电位。

19. 驱动电压 driving voltage

牺牲阳极的工作电位与被保护钢结构表面极化后的电位之间的电位差。

20. 理论电容量 theoretical current capacity

根据法拉第定律计算阳极消耗单位重量所产生的电量, 单位: A·h/kg。

21. 实际电容量 practical current capacity

实际测得的阳极消耗单位重量所产生的电量, 单位: A·h/kg。

22. 涂料 paint

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。

23. 油漆 paint coating

涂料的习惯名称。在采用合成高分子材料以前, 是以植物油为基本材料来造漆的, 所以称之为油漆。

24. 无溶剂涂料 solventless paint

不含溶剂的涂料。它含有反应能力的活性稀释剂, 以代替一般的有机溶剂。

25. 厚浆型涂料 high build coating

即厚膜涂料。具有高粘度、高固体含量, 一次施工能达到较厚涂膜(膜厚标准为75 $\mu$ m以上)的涂料。

26. 涂层 coat

由一种涂料以一道或多道单一涂覆作业形成的保护层。

27. 涂膜 film

在底材上由单涂层或多涂层组成的整体保护层。

28. 涂层系统 coating system

为达到涂装目的、效果而选择的涂膜, 从底层到面层的多种组合系列的总称。

29.附着力 *adhesion*

干涂膜与其底材之间的结合力。

30.耐候性 *weather resistance*

涂膜在室外抵御日光、风雨、霜露、冷热、干湿等自然环境侵蚀的性能。

31.耐水性 *water proofness*

涂膜抵抗水质侵蚀的性能。

32.耐蚀性 *anti-corrosion*

涂膜抵抗环境腐蚀作用的性能。

33.老化 *aging*

涂膜受到各种因素的作用而发生褪色、变色、龟裂、粉化、剥落等，使防锈性能逐步消失的现象。

34.针孔 *pinhole*

在涂膜表面出现的一种凹陷透底的针尖细孔。

35.表面处理 *surface preparation*

对钢结构表面进行除锈和除去其他污物的处理。

36.二次除锈 *secondary surface preparation*

对已经一次除锈并涂有保养底漆或磷化保护膜的结构表面，除去锈层及其他污物的工艺过程。

37.重防蚀涂层 *heavy-duty corrosion-inhibiting coat*

用长效或超长效涂料涂装的防腐蚀涂层。

38.涂装 *painting*

涂覆涂料的施工。

39.金属喷涂 *metal spraying*

用喷枪将熔融金属喷射到底材上而形成涂覆金属层的方法。

40.封孔 *sealing*

封闭喷涂金属层的细孔，一般用粘度较低的涂料涂刷，直至不能被细孔吸收为止。

## 附录二 涂层和喷涂金属 层检测方法

### 一、涂层厚度的测定

1. 湿膜厚度可采用齿形、圆盘形或板状湿膜厚度计测定；
2. 干膜厚度应采用无损测厚仪测定，可按GB1764—79《漆膜厚度测定法》进行；

涂膜耐蚀评级标准

附表2.1

等 级	腐 蚀 状 况
1 级 良 好	轻微失光5%~20% 轻微变色 涂膜表面无显著变化，不允许起泡 不允许与锈和涂膜脱落
2 级 合 格	明显失光21%~50% 明显变色 涂膜表面起微泡，面积小于50%，局部小泡面积在40%以下，中泡面积1%以下 锈点直径在0.5mm以下 不允许涂膜脱落
3 级 不 合 格	严重失光 严重变色 涂膜表面明显起泡，整板微泡，小泡面积在5%以上，中泡2%以上，出现大泡 锈点面积达2%以上 出现涂膜脱落现象

注：①气泡面积计算：1%面积中有一个小泡即为1%，气泡等级：微泡为4倍放大镜可见者；小泡为直径0.5mm以下者；中泡为直径0.5~1.0mm者；大泡为直径1.1mm以上者。

②在板的四周边缘及板孔周围5mm的范围内以及外来因素所引起的破坏现象不计。

③外观检查采用4倍放大镜进行。

3.干膜厚度一般每  $5\text{ m}^2$ 测一点，每个面至少测三点。

## 二、涂层针孔检测

1.检测可用针孔仪进行，检测刷的探测行程一般为 $300\text{ mm}$ ；

2.检测点可参照涂层干膜厚度测点的选取原则确定。

## 三、涂膜评级标准

1.涂膜耐蚀性的评级标准可按附表2.1进行；

2.涂膜粉化、裂纹、起泡、生锈、脱落和耐候性综合评级标准可分别按附表2.2~2.7进行。

## 四、涂装与涂层检查记录卡内容

1.涂装记录：工期、施工单位、表面处理、涂装内容（底层、面层、返工修补）；

2.质量检查记录；

3.涂层使用过程中检查记录：变色、粉化、裂纹、起泡、生锈、脱落；

4.维护修补记录。

涂膜粉化评级标准

附表2.2

等 级	粉 化 状 况
0	无 粉 化
1	用力擦样板表面，手指沾上少量颜料粒子
2	用力擦样板表面，手指沾上较多颜料粒子
3	用力较轻，手指沾有较多颜料粒子
4	轻轻一擦，整个手指上沾满大量颜料粒子或出现露底

## 五、喷涂金属层厚度测定

1.测定喷涂金属层厚度一般采用无损测定方法，宜使用磁性测厚仪直接测量；亦可按喷涂面积的金属丝消耗量求喷涂金属层的平均厚度；

2.现场测定时，一般每 $100\text{ m}^2$ 面积中选取 $10\text{ m}^2$ ，测定20个测点，取其平均值。

涂膜裂纹评级标准

附表2.3

等 级	裂 纹 状 况
0	无 裂 纹
1	1.目测隐约可见,但在4倍放大镜或立体显微镜下明显可见 2.目测可见微小裂纹面积占10%以下
2	1.可见微小裂纹面积达11%以上 2.较深裂纹面积占10%以下
3	1.较深裂纹面积达11%以上 2.深达底层的裂纹面积占10%以下
4	裂纹深达底层面积达11%以上

涂膜起泡评级标准

附表2.4

等 级	起 泡 状 况
0	无 起 泡
1	气泡稀少
2	气泡中密分布
3	气泡密布
4	气泡稠密分布

涂膜生锈评级标准

附表2.5

等 级	生 锈 状 况	
	锈点小于1mm	锈点大于1mm
0	无 锈 点	无 锈 点
1	10 个 以 上	5 个 以 上
2	11~15个	6~9个
3	16~19个	10~11个
4	20个以上	12个以上

涂膜脱落评级标准

附表2.6

等 级	脱 落 面 积 (%)
0	无 脱 落
1	不大于0.5
2	0.6~1.0
3	1.1~3.0
4	3.1以上

涂膜耐候性综合评级标准

附表2.7

综合等级	单 项 等 级					备 注
	粉 化	裂 纹	起 泡	生 锈	脱 落	
优	1	0	0	0	0	综合评级达到 中级为合格
良	2	0	0	0	0	
中	3	1	1	1	1	
差	4	2	2	2	2	
劣	4	3	3	3	3	

注：①试验样板挂片试验：

曝晒样板尺寸：长250mm、宽150mm、厚0.8~1.5mm；

标准样板尺寸：长150mm、宽70mm、厚0.8~1.5mm。

②现场检查：检测的表面大小和数量可按第四章第四节(II)的规定进行，所取单个检测面积可按曝晒样板尺寸划格进行评级。

## 六、喷涂金属层孔隙率检测

喷涂金属层孔隙率的检测，一般用浸有10g/l铁氰化钾和20g/l氯化钠溶液的试纸进行。将试纸覆盖在被测面上约5~10min，试纸出现的兰色斑点小于1~3点/cm<sup>2</sup>时为合格。

## 七、喷涂金属层结合性能检测

1. 敲击：用尖头铁锤轻敲金属涂层，如音哑则表示脱层。

2. 刀刮：用合金刀进行刀刮剥离，如脱落面积超过检查面积的15%时则为不合格。



# 附录三 常用辅助阳极的材料性能和阳极体几何形状

附表3

常用辅助阳极的材料性能和阳极体的几何形状

阳极类别	阳极材料	比重	适用工作电流密度 (A/m <sup>2</sup> )	消耗率 (Kg/A·a)	最高利用率 (%)	阳极体几何形状	最大使用电压 (V)	使用环境	备 注
易溶性	碳钢、铸铁	7.8	10~100	8~10	50		不加限制	海水、淡水、土壤	可受用碳管和废钢轨
	石墨	约1.8	10~100	0.2~0.9	66	棒状、块状	不加限制	海水、淡水、土壤	质 脆
	高硅铸铁	7.0	50~300	0.2~0.5	50	圆筒形、棒状	不加限制	海水、淡水、土壤	质 脆
难溶性	磁性氧化铁		40~400	0.1	49		不加限制	海水、淡水、土壤	质 脆
	铝银合金	11.3	50~250	0.03~0.2	67	圆筒形、平板形	不加限制	海 水	不得用于水深超过30M处
	铝银合金微铂	11.3	50~1000	0.002~0.006	67	圆筒形	不加限制	海 水	不得用于水深超过30M处
微溶性	镀铂钛	5	250~750	$6 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$	85	圆筒形	8.75	海 水	宜慎重采用、价贵
	镀铂钨	16.8	500~2000	$6 \times 10^{-6}$	85	扁条形、网状、棒状	200	海水、淡水、土壤	宜慎重采用、价贵
	镀铂铱	8.8	500~2000	$6 \times 10^{-6}$	85	圆筒形	50	海 水	宜慎重采用、价贵

## 附录四 辅助阳极、牺牲阳极及 屏蔽层(板)的计算

### 一、阳极接水电阻 $R_a(\Omega)$ 的计算

1.细长型或棒状阳极接水电阻可按式(附4.1)计算:

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln\left(\frac{4L}{r}\right) - 1 \right] \alpha \quad (\text{附4.1})$$

式中:  $\rho$ ——介质电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ );

$L$ ——阳极长度 (cm);

$r$ ——阳极等效半径  $\left( r = \frac{C}{2\pi} \right)$  (cm);

$C$ ——阳极截面周长 (cm);

$\alpha$ ——屏蔽系数, 无屏蔽时,  $\alpha = 1$ ; 有开槽屏蔽时,  $\alpha$ 取1.2左右。

### 2.板状阳极接水电阻

(1) 单面使用时可按式(附4.2-1)计算:

$$R_a = 1.67 \rho S^{-0.727} \quad (\text{附4.2-1})$$

(2) 双面使用时可按式(附4.2-2)计算:

$$R_a = \frac{\rho}{2L'} \quad (\text{附4.2-2})$$

式中:  $S$ ——阳极表面面积 ( $\text{cm}^2$ );

$L'$ ——阳极的平均长度 (cm)。

(3) 球状阳极可按式(附4.3)计算:

$$R_a = \frac{\rho}{4\pi r_1} \quad (\text{附4.3})$$

式中:  $r_1$ ——阳极半径 (cm)。

二、每个牺牲阳极的发生电流  $I_a$  (A) 可按式 (附4.4) 计算:

$$I_a = \frac{\Delta V}{R} \quad (\text{附4.4})$$

式中:  $\Delta V$ ——牺牲阳极驱动电压 (V), 铝阳极取  $0.25 \sim 0.30$  V;  
锌阳极取  $0.20 \sim 0.25$  V;

$R$ ——牺牲阳极和被保护钢结构之间回路总电阻 ( $\Omega$ ),  
其值近似于牺牲阳极接水电阻  $R_s$ 。

三、牺牲阳极材料的电流效率  $\eta$  (%) 可按式 (附4.5) 计算:

$$\eta = \frac{A I_a t'}{F M n} \times 100\% \quad (\text{附4.5})$$

式中:  $A$ ——牺牲阳极材料金属元素的原子量;

$t'$ ——通电的时间 (h);

$F$ ——法拉第常数 (为  $96500$  C 或  $26.8$  A·h);

$n$ ——阳极溶解时的化合价;

$M$ ——实际消耗量 (g)。

#### 四、牺牲阳极数量和总重量计算

1. 阳极数量  $N$  (个) 可按式 (附4.6) 计算:

$$N = \frac{I}{I_a} \quad (\text{附4.6})$$

式中:  $I$ ——总保护电流 (A)。

2. 阳极的总净重  $W$  (kg) 可按式 (附4.7) 计算:

$$W = \frac{8760 I_m t}{q} K \quad (\text{附4.7})$$

式中:  $I_m$ ——维持保护电流 (A), 其值为  $0.50 \sim 0.55 I$ ;

$t$ ——设计使用年限 (a);

$q$ ——阳极材料的实际电容量 (A·h/kg);

$K$ ——安全系数, 一般取  $1.1 \sim 1.2$ 。

五、牺牲阳极设计使用年限 $t(a)$ 可按式(附4.8)校核:

$$t = \frac{W_1 \cdot f}{E_g \cdot I'_a} \quad (\text{附4.8})$$

式中:  $W_1$ ——每个阳极的净重(kg);

$f$ ——利用系数,一般取0.75~0.85;

$E_g$ ——阳极的消耗率(kg/A·a);

$I'_a$ ——设计使用年限内每个阳极的平均发生电流(A)。

## 六、屏蔽层(板)尺寸的计算

1.圆片状阳极的圆形屏蔽层(板)的半径 $r'(cm)$ 可按式(附4.9)计算:

$$r' = r + \frac{\rho I_a}{2\pi(E_0 - E)} \quad (\text{附4.9})$$

式中:  $E$ ——涂层能耐的最负电位(V);

$E_0$ ——平均保护电位(V)。

2.长条状阳极的矩形屏蔽层(板)的长度 $l'(cm)$ 和宽度 $b'(cm)$ 可按式(附4.10)和式(附4.11)计算:

$$l' = \frac{4L}{\arcsin \left[ \frac{(E_0 - E)\pi L}{\rho I_a} + 1 \right]} + L \quad (\text{附4.10})$$

$$b' = \frac{4L}{\arcsin \left[ \frac{(E_0 - E)\pi L}{\rho I_a} + 1 \right]} + 2r \quad (\text{附4.11})$$

# 附录五 外加电流阴极保护系统的 施工检查要求

## 一、电连接的检查

1. 是否有漏接处;
2. 焊接是否符合要求, 电缆连接是否有松动;

3.暴露于大气区、浪溅区的连接点是否密封良好。

## 二、阳极线路、阴极线路的检查

1.线路安装是否正确，连接点是否暴露在外；

2.阴极、阳极线路是否接反；

3.接线处是否有松动。

## 三、辅助阳极安装检查

1.安装是否牢固、位置是否正确；

2.辅助阳极与钢结构之间是否有金属短路。

## 四、参比电极安装检查

1.安装是否牢固、位置是否正确；

2.电极的率定数据是否合格。

## 五、电缆敷设的检查

1.电缆护套有无破损，绝缘性能是否良好；

2.电缆是否敷设在钢管、聚氯乙烯管、有盖的电缆沟（架）

中；

3.参比电缆是否紧靠电源电缆；

4.参比电缆屏蔽线是否一端接地；

5.电源电缆是否专用。

## 六、直流电源的检查

1.仪器外壳是否接地良好；

2.阴极接地点是否与参比电极接地点共用；

3.电源电缆与仪器连接的相序是否正确。

## 七、安全措施的检查

当存在易燃、易爆气体时是否装有防爆装置。

## 本规定主编单位和主要 起草人名单

主编单位 南京水利科学研究  
院

参加单位 交通部第三航务工程局科学研 究  
所

起 草 人 朱秀娟      郑子林      陈水根  
             洪定海      杨荪胜