



中华人民共和国国家标准

GB/T 31404—2015

核电站海水循环系统防腐蚀作业 技术规范

Technical specification for anticorrosion operation of seawater circulation
system in nuclear power plant

2015-05-15 发布

2015-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	2
5 涂层防腐蚀	2
5.1 设计	2
5.2 表面处理	2
5.3 涂层	3
5.4 涂层的维护和修补	5
6 阴极保护	6
6.1 一般规定	6
6.2 保护电位	6
6.3 保护电流密度	6
6.4 电连续性	6
6.5 电绝缘装置	7
6.6 牺牲阳极阴极保护系统	7
6.7 外加电流阴极保护系统	8
6.8 系统记录和文件	11
6.9 运行和维护	11
7 腐蚀监检测系统	12
7.1 传感器	12
7.2 测量和采集设备	13
7.3 数据管理系统	13
附录 A (资料性附录) 牺牲阳极计算	14
附录 B (资料性附录) 不同参比电极测定钢在海水中的保护电位及对应关系图	16
附录 C (资料性附录) 外加电流阴极保护的设计计算	17
附录 D (资料性附录) 直流电源的设计计算	18

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

本标准由全国防腐蚀标准化技术委员会(SAC/TC 381)归口。

本标准起草单位:苏州热工研究院有限公司、阿克苏诺贝尔防护涂料(苏州)有限公司负责起草,北京碧海舟腐蚀防护工业股份有限公司、中国工业防腐蚀技术协会、浙江永固为华涂料有限公司、新疆中重化工有限公司、青岛大仓管道防腐保温器材有限公司、西安泰金工业电化学技术有限公司、沈阳航天新星机电有限责任公司、大连理工大学。

本标准主要起草人:刘爽、林斌、林泽泉、高玉柱、费克勋、徐克文、邸建军、刘进伟、张文礼、王磊、许言专、鞠鹤、张玉萍、张大治、单龙信、张景远、金辉、丁宝峰、刘贵昌。

核电站海水循环系统防腐蚀作业 技术规范

1 范围

本标准规定了核电站海水循环系统防腐蚀作业的总则、涂层、阴极保护和监检测系统等技术要求。本标准适用于滨海核电厂海水循环系统的防腐蚀作业。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GBZ 1 工业企业设计卫生标准

GB/T 1725 色漆、清漆和塑料 不挥发物含量的测定

GB/T 1728 漆膜、腻子膜干燥时间测定法

GB/T 1731 漆膜柔韧性测定法

GB/T 1732 漆膜耐冲击测定法

GB/T 1733 漆膜耐水性测定法

GB/T 1740 漆膜耐湿热测定法

GB/T 1768 色漆和清漆 耐磨性的测定 旋转橡胶砂轮法

GB/T 1771 色漆和清漆 耐中性盐雾性能的测定

GB/T 4948 铝-锌-铟系合金牺牲阳极

GB/T 4950 锌-铝-镉合金牺牲阳极

GB/T 5210 色漆和清漆拉开法附着力试验

GB/T 6750 色漆和清漆 密度的测定 比重瓶法

GB/T 7387 船用参比电极技术条件

GB/T 7388 船用辅助阳极技术条件

GB/T 7790 色漆和清漆 暴露在海水中的涂层耐阴极剥离性能的测定

GB/T 8923.1—2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 8923.2—2008 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第2部分:已涂覆过的钢材表面局部清除原有涂层后的处理等级

GB/T 13452.2 色漆和清漆 漆膜厚度的测定

GB/T 16166 滨海电厂海水冷却水系统牺牲阳极阴极保护

GB/T 17005 滨海设施外加电流阴极保护系统

GB/T 18570.3 色漆涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第3部分:涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定(压敏粘带法)

GB/T 18581 室内装饰装修材料 溶剂型木器涂料中有害物质限量

GB 24408 建筑用外墙涂料中有害物质限量

GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范

GB 50726 工业设备及管道防腐蚀工程施工规范

CB* 3220 船用恒电位仪技术条件

JTJ 275 海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范(附条文说明)

SY/T 0063 管道防腐层检漏试验方法

SY/T 0516 绝缘接头与绝缘法兰技术规范

ISO 12944-5 色漆和清漆 防护漆体系对钢结构的腐蚀防护 第5部分:防护漆体系(Paints and varnishes Corrosion protection of steel structures by protective paint systems Part 5: Protective paint systems)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

牺牲阳极阴极保护 sacrifice cathodic protection

通过与牺牲阳极连接向被保护体提供阴极电流以实现阴极保护的电化学保护方法。

3.2

外加电流阴极保护 impressed current cathodic protection

通过外加电源向被保护体提供阴极电流以实现阴极保护的电化学保护方法。

3.3

极化 polarization

由于金属和电解质之间有净电流流动而导致的电极电位偏移现象。

4 总则

4.1 当采用海水作为冷却水水源时,应进行厂址的滨海水文地质和海生物资源调查,根据水文地质条件和海生物资源及其分布情况,采取相应的防腐蚀措施。

4.2 核电厂海水循环系统宜采取防腐蚀涂层和阴极保护联合保护措施防止腐蚀,其有效性应与电厂设计寿命一致。

4.3 重要厂用水管道等下游设计有换热器设备的,不应使用存在成片脱落风险的衬胶作为防腐措施。

4.4 确定保护系统的质保等级时应考虑被保护系统的质保等级。

4.5 确定保护系统的抗震等级时应考虑被保护系统的抗震等级。

5 涂层防腐蚀

5.1 设计

防腐蚀涂层及防污涂层的设计应考虑海水环境、结构特性、预期工作寿命、施工环境和施工条件(施工季节、工厂涂装、现场涂装及维修保养等)、现场补涂条件、防腐蚀涂层及其与阴极保护相配合的经济合理性。

5.2 表面处理

5.2.1 要求

在涂装前,应对基体表面进行处理,使其表面干燥、干净、无异物。

5.2.2 等级

5.2.2.1 钢结构的表面除锈质量控制应符合 GB/T 8923.1—2011 的规定,钢结构表面除锈等级应达到

GB/T 8923.1—2011 中规定的 $Sa2 \frac{1}{2}$ 。

5.2.2.2 表面粗糙度应达到 $40 \mu\text{m} \sim 75 \mu\text{m}$ 。

5.2.2.3 表面清洁度应按照 GB/T 18570.3 进行评定,灰尘数量和尺寸等级均应不高于 2 级。

5.2.3 涂装时间

涂装应在表面处理完成后 4 h 内进行。

5.3 涂层

5.3.1 性能要求

选用的涂料宜为厚浆型改性环氧树脂涂料,管道的涂层总厚度不应低于 $800 \mu\text{m}$,其他设备的涂层总厚度不应低于 $350 \mu\text{m}$,但厚度均不应高于最低厚度的两倍,性能的测试结果应符合表 1 和表 2。

表 1 涂料性能要求

项 目		质量指标	试验方法
容器中状态		搅拌后均匀无硬块	目测
不挥发物含量/%		≥ 90	GB/T 1725
密度/(kg/L)		≥ 1.6	GB/T 6750
挥发性有机化合物(VOC)含量/(g/L)		≤ 250	GB/T 13331
重金属含量 (mg/kg)	铅(Pb)	$\leq 1\ 000$	GB 24408
	镉(Cd)	≤ 100	GB 24403
	六价铬(Cr^{3+})	$\leq 1\ 000$	GB 24408
	汞(Hg)	$\leq 1\ 000$	GB 24408
干燥时间	表干/h	≤ 4	GB/T 1723
	硬干/h	≤ 8	GB/T 1723

表 2 涂层性能要求

项 目	质量指标	试验方法
附着力/MPa	≥ 10	GB/T 5210
柔韧性/mm	≤ 4	GB/T 1731
耐冲击性/cm	≥ 50	GB/T 1732
耐磨性(1 000 g/1 000 r,CS10)/mg	≤ 90	GB/T 1768
耐阴极剥离性(1.5 V,30 d)/mm	≤ 3.5	GB/T 7790
耐湿热性/a	≥ 1	GB/T 1740
耐水浸泡/a	≥ 1	GB/T 1733
耐盐雾性/h	$\geq 6\ 000$	GB/T 1771
耐氯离子渗透性/[mg/(cm ² ·d)]	$\leq 5.12 \times 10^{-5}$	JTJ 275

5.3.2 等级

防腐涂层等级分级规则应符合 ISO 12944-5 的规定,可分为低、中和高三个等级,耐久性年限范围见表 3。

表 3 耐久性年限等级

涂层等级	耐久性年限/a
低	≤5
中	5~15
高	≥15

5.3.3 安全、卫生 and 环境保护要求

防腐涂层施工时应满足下列安全、卫生 and 环境保护的要求:

- a) 安全标准控制应符合 GB 50726 的规定;
- b) 各种设备产生的噪声应符合 GB/T 50087 的规定;
- c) 空气中粉尘含量应符合 GBZ 1 的规定;
- d) 电气设备应符合《中华人民共和国爆炸危险场所电气安全规程》的规定。电气设施应整体防爆,操作部分应设触电保护器;
- e) 所有机械设施的转动和运动部位应设有保护罩等保护设施;
- f) 施工人员应配备合适的安全防护措施。

5.3.4 涂装

5.3.4.1 工厂涂装应符合下列要求:

- a) 按照涂料施工工艺施工;
- b) 预留部位形成的裸露表面应涂刷底漆;
- c) 应保证涂层的完整性、连续性及其与底材的附着力,性能应符合表 2 要求。

5.3.4.2 现场涂装应符合下列要求:

- a) 根据涂料固化要求,确定施工环境,环境温度不应低于 0℃,构件表面温度应至少高于露点温度 3℃;
- b) 根据表面处理要求,确定表面处理工艺;
- c) 应符合现场施工的管理和涂装质量控制要求。

5.3.5 设备的检验验收、贮存、运输和安装

5.3.5.1 涂装完成后的设备质量检验应符合下列规定方可验收:

- a) 外观:目视检查应无流挂、气泡、破损、裂纹、剥离等缺陷;
- b) 厚度:采用测厚仪测量干膜厚度,应符合 GB/T 13452.2;
- c) 附着力:采用拉开法测定附着力,应符合 GB/T 5210;
- d) 连续性:采用电火花检测仪进行检漏,应符合 SY/T 0063,并按式(1)、式(2)计算:
当防腐涂层厚度大于 0.5 mm 时,检漏电压按式(1)计算:

$$U = 7\,843 \sqrt{T} \dots\dots\dots (1)$$

当防腐涂层厚度小于或等于 0.5 mm 时,检漏电压按式(2)计算:

$$U = 3\,294\sqrt{T} \text{ 或 } U = 5\,000T \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- U ——检漏电压,单位为伏特(V);
 T ——防腐涂层平均厚度,单位为毫米(mm);
 7 843、3 294、5 000——无量纲常数。

5.3.5.2 防腐构件检验后不宜长期露天存放,如存放超过3个月,应及时检验和修补。

5.3.5.3 防腐构件在装卸、堆放、移动、运输和安装过程中应使用专用衬垫及吊带,严禁使用裸钢丝绳。

5.3.5.4 安装前应对防腐涂层完整性进行检查,对破损处进行修复。修复和补口应使用与原防腐涂层相容的材料,且不得低于原防腐涂层性能。

5.3.5.5 验收需至少包含以下竣工资料:

- a) 防腐工程的施工组织设计相关文件;
- b) 防腐涂料的出厂合格证及质量检验报告;
- c) 防腐涂层的质量检查记录和验收报告;
- d) 有返修时,返修记录应包括返修位置、原因、方法、数量和检验结果;
- e) 其他有关资料。

5.4 涂层的维护和修补

5.4.1 涂层的维护

涂层维护应满足以下要求:

- a) 每次大修应全面检查涂层至少一次;
- b) 周期一季度以下的检查,应目视检查可见部位;
- c) 周期一季度以上的检查,应整体全面目视检查设备结构面、焊缝、连接处等;
- d) 任何周期内的检查,发现涂层损坏应进一步检查(清洁、刮铲、锤击等),应确认损坏程度并做好记录,若怀疑钢构件腐蚀严重影响强度应检查其另一侧以确认。

5.4.2 涂层的修补

5.4.2.1 表面处理应符合以下要求:

- a) 底漆破损应打磨至基底且满足 GB/T 8923.2—2008 的 St3 等级要求;
- b) 底漆未破损应清除松软涂层,损坏涂层的边口应打磨至分层,各层涂层颜色相近,无法分层的要打磨平缓;
- c) 彻底清洁表面,使其干燥、干净、无异物。

5.4.2.2 修补前应做好以下准备工作:

- a) 新建设备应查阅涂层配套表,旧设备应查阅上次涂装的记录;
- b) 应选用原品种、品牌和型号的涂料及原涂层配套或与原涂层相容的涂料;
- c) 应查阅资料,确认所用涂料对环境和底材的温度和湿度限制。

5.4.2.3 涂层修补应满足以下要求:

- a) 修复范围应大于损伤表面;
- b) 补涂底漆时,小面积宜使用刷子,大面积宜使用喷涂;
- c) 确定总干膜厚度,应根据施工方法决定涂层道数、各道涂层涂装时间间隔;
- d) 涂层修补后要注意保护,防止湿涂层被踩踏或破坏;浸水或可能浸水区域,涂层修补完成后需等涂层彻底固化后再浸水。

6 阴极保护

6.1 一般规定

- 6.1.1 阴极保护可采用牺牲阳极法或外加电流法。
- 6.1.2 应避免对相邻结构物造成干扰。
- 6.1.3 管道应设置绝缘装置,将其与其他管道隔离。
- 6.1.4 新建核电厂的阴极保护设计、施工应与结构的设计、施工同时进行,并同时投入使用。
- 6.1.5 运行中追加阴极保护时,应对腐蚀环境和腐蚀状况进行检测与评估。
- 6.1.6 为保证阴极保护系统设备在可能遇到的工况下完成其功能,只有经过时间和类似运行工况验证的设备才可使用,保证系统功能的丧失不会影响被保护系统的正常运行。
- 6.1.7 辅助阳极和参比电极连接接口应保证正常运行条件下无渗漏,电极在极限安全地震震动(SL-2)期间及之后,应保持其结构的完整性,不脱落、无渗漏。参比电极的布置位置应能全面反映保护电位。
- 6.1.8 当金属材质发生变更或替代时,阴极保护的保护准则、保护电流密度和保护区域需要重新确定与计算。
- 6.1.9 阴极保护部件应耐海水中泥沙的冲刷。

6.2 保护电位

- 6.2.1 钢板、铸铁构件、铜合金管、不锈钢等组成的设备或系统,保护电位应在 $-0.80\text{ V}\sim-1.00\text{ V}$ (相对于银/氯化银参比电极,下同)。
- 6.2.2 钛与钢、铸铁、铜合金等金属组成的设备,钛表面的电位应不负于 -0.75 V 。
- 6.2.3 高强度(屈服强度不小于 700 MPa)保护电位应在 $-0.80\text{ V}\sim-0.95\text{ V}$ 。
- 6.2.4 断电长时间后(24 h或更长)的电位衰减至少为 100 mV 。

6.3 保护电流密度

保护电流密度与结构材质、运行工况、表面涂层状况、海水流速以及水质状况等因素有关,设计时按表4选取保护电流密度。

表4 保护电流密度 单位为毫安每平方米

设备名称	材质和表面状态					
	钢及铸铁		铜合金	钛合金	不锈钢	
					涂漆	裸露
拦污栅及导槽						150~200
旋转滤网	20~50	80~100				150~200
闸门	20~50	80~100				
海水管道	20~50	80~100				
二次滤网						150~200
凝汽器	10~30	80~100	150~200	50~60		

6.4 电连续性

- 6.4.1 钢结构各部件之间应实现电连接,接触电阻小于 $1\text{ }\Omega$ 。

6.4.2 非焊接连接的管道及管道设施应采用跨接电缆或其他有效的电连接方式。

6.4.3 采用紧固件连接的金属结构,应清除紧固部位连接面的绝缘层。

6.5 电绝缘装置

6.5.1 涂漆的阴极保护管道与无阴极保护管道之间应设置绝缘法兰,绝缘法兰的设计、安装应符合 SY/T 0516 的规定。

6.5.2 应在绝缘法兰上安装避雷器。

6.6 牺牲阳极阴极保护系统

6.6.1 材料的选择

6.6.1.1 选用牺牲阳极的化学成分和电化学性能应符合 GB/T 4948、GB/T 4950 的规定,或电化学性能优于上述标准规定并通过鉴定的阳极;

6.6.1.2 对于不同电阻率的淡水介质,应按照 GB/T 16166 的规定选用适合的阳极;

6.6.1.3 对于高强钢和有氢脆敏感性的不锈钢,宜选用具有低驱动电位的阳极。

6.6.2 结构和规格的确定

6.6.2.1 牺牲阳极宜采用平贴式结构,阳极与被保护结构的接触面应涂覆环氧系列涂料,其规格型号优先在 GB/T 16166、GB/T 4948、GB/T 4950 中选取;

6.6.2.2 牺牲阳极铁脚应符合 GB/T 4948、GB/T 4950 的规定。

6.6.3 保护计算

6.6.3.1 保护电流计算参见 A.1;

6.6.3.2 阳极接水电阻计算参见 A.2;

6.6.3.3 单只阳极发生电流计算参见 A.3;

6.6.3.4 单只阳极平均发生电流计算参见 A.4;

6.6.3.5 牺牲阳极使用寿命计算参见 A.5;

6.6.3.6 牺牲阳极数量计算见 A.6。

6.6.4 验收、贮存及安装

6.6.4.1 牺牲阳极具有出厂检验合格证、化学成分分析报告和电化学性能测试报告。

6.6.4.2 牺牲阳极应贮存在库房内,防潮、防水,阳极工作面保持清洁,不得沾染油污。

6.6.4.3 牺牲阳极的安装可采用焊接或螺栓固定方式,安装应牢固可靠,因安装造成的涂层破损应等质量修补。

6.6.5 保护效果检测

6.6.5.1 保护电位应符合 6.2 的规定,测量应符合下列要求:

- a) 拦污栅、旋转滤网等敞开式结构可使用固定式和便携式参比电极测量;
- b) 管道、凝汽器等设备使用固定安装的参比电极测量。

6.6.5.2 停机检查时,设备表面应无锈蚀,抽样清除阳极表面的腐蚀产物,阳极溶解应均匀,剩余量可满足一个大修周期的使用。

6.6.6 牺牲阳极更换

当出现下列情况时,应更换牺牲阳极:

- a) 对阳极溶解速率进行评估,当剩余量不能满足一个大修周期;
- b) 阳极不溶解或溶解不均匀,并应采用电化学和化学成分分析找出原因;
- c) 经认定,由于牺牲阳极自身原因造成的被保护结构电位不符合要求。

6.7 外加电流阴极保护系统

6.7.1 系统组件

6.7.1.1 直流电源应符合下列要求:

- a) 应选用恒电位仪;
- b) 恒电位仪的性能应符合 CB* 3220 的规定;
- c) 恒电位仪机柜的结构、尺寸、外壳防护等级、颜色、进出线方式应符合设计要求。

6.7.1.2 辅助阳极应符合下列要求:

- a) 辅助阳极宜选用钛基金属氧化物阳极,或性能更优并通过技术鉴定的辅助阳极。辅助阳极的性能应符合 GB/T 7388 的规定;
- b) 辅助阳极结构和安装方式应符合 GB/T 7388 的规定;
- c) 安装结构应满足 6.1.7 的要求;
- d) 小口径管道(直径小于 1 200 mm)不宜采用嵌镶式结构。

6.7.1.3 参比电极应符合下列要求:

- a) 参比电极的性能应符合 GB/T 7387 的规定;
- b) 电阻率小于或等于 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 的海水中可采用银/氯化银或锌参比电极;电阻率大于 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 的海水中宜采用高纯锌参比电极,不同参比电极测定钢在海水中的保护电位及对应关系参见附录 B;
- c) 参比电极结构和安装方式应符合 GB/T 7387 的规定;
- d) 安装结构应满足 6.1.7 的要求;
- e) 小口径管道(直径小于 1 200 mm)不宜采用嵌镶式结构。

6.7.1.4 轴接地装置应符合下列要求:

- a) 鼓形滤网应在轴的端部设置轴接地装置,作为鼓形滤网旋转部分的阴极汇流点;
- b) 轴接地装置的结构和性能应符合 GB/T 17005 的规定;
- c) 轴接地装置安装在水密接线盒内,水密接线盒的防护等级不低于 IP65;
- d) 参比电极测量接地点与阴极汇流点不应同时接入一套轴接地装置。

6.7.1.5 电缆应符合下列要求:

- a) 所用电缆均为低烟、无卤、阻燃绝缘护套的铜芯电缆,参比电极及测量电缆应为屏蔽电缆;
- b) 浸于海水中的电缆应采用耐海水电缆,电缆与阴极和测量接地点连接应采用防水电缆接头,紧固件应采用 316 L 不锈钢或更耐蚀的不锈钢;
- c) 阴极电缆和阳极电缆应具有合理的截面,通常允许的压降小于 2 V;
- d) 连接到同一根电缆上的多只阳极的输出电流之差应小于 10%;
- e) 电缆接头与辅助阳极、参比电极的连接应进行加固和密封处理,并用密封接线盒保护。

6.7.2 系统设计

6.7.2.1 阴极保护系统的设计应符合下列要求:

- a) 应设计临时牺牲阳极用于核电厂调试期间的鼓形滤网腐蚀防护,牺牲阳极的设计应满足 6.6 的规定;
- b) 对粗格栅、加氯框、细格栅、鼓形滤网的保护应采用分区保护,其中鼓形滤网至少分为 3 个区域

进行独立保护；

- c) 对重要厂用水管道内壁的保护应将前段管道的起始段、末段和板式换热器的出口管段独立分区保护。

6.7.2.2 保护电流的计算应符合下列要求：

- a) 结构物所需保护电流计算参见 C.1；
- b) 凝汽器管束保护面积计算参见 C.2；
- c) 保护电流密度选取见 6.3。

6.7.2.3 辅助阳极尺寸、数量及布置应符合下列要求：

- a) 应先确定辅助阳极的材质和结构，再确定辅助阳极的尺寸和数量；
- b) 辅助阳极的工作面应满足阳极额定输出，常用阳极在海水中的主要性能参见表 C.1；
- c) 阳极的数量及布置应保证电流分布均匀、被保护结构电位均在保护电位范围内；
- d) 对于粗格栅、加氯框、细格栅和鼓形滤网的保护，宜采用悬挂式阳极，阳极数量应满足各部件均匀保护和系统可靠性要求；
- e) 对于重要厂用水管道内壁的保护，应考虑到在涂层完全脱落的情况下，仍能满足保护要求；
- f) 对于凝汽器的保护，每个水室通常安装多只阳极，阳极安装在水室盖板上；
- g) 对于二次滤网的保护，阳极安装在上下游的管道上。

6.7.2.4 直流电源容量应符合下列要求：

- a) 直流电源额定输出电流计算参见 D.1；
- b) 直流电源额定输出电压计算参见 D.2；
- c) 直流电源额定功率计算参见 D.3。

6.7.2.5 参比电极应符合下列要求：

- a) 参比电极的安装位置应能检测被保护结构的最正和最负电位；
- b) 安装在凝汽器上的参比电极应靠近管板，离管板的距离不超过 200 mm；
- c) 安装在重要厂用水管道上的参比电极应能全面检测管道的电位，并能有效监测最正和最负电位；
- d) 用于鼓形滤网的参比电极应能测量内部结构和外部结构的电位。

6.7.3 安装

6.7.3.1 电连续性应符合下列要求：

- a) 按照设计要求，进行结构电连接，接触电阻应满足 6.4 的要求；
- b) 按照设计要求，安装轴接地装置，性能应满足 6.7.1.4 的要求；
- c) 根据电连续性测试结果，对施工图、结构物进行评估，确定是否需要增加电连接。

6.7.3.2 绝缘性能应符合下列要求：

- a) 管道安装绝缘法兰，性能应满足 6.5 的要求；
- b) 被保护的设备导轨不应与结构物钢筋电连接。

6.7.3.3 阳极和参比电极的安装应符合下列要求：

- a) 使用已被试验或工程实践证明的方法进行阳极和参比电极的安装；
- b) 根据设计要求进行阳极和参比电极的安装；
- c) 严禁阳极、参比电极与任何金属构件发生短路。

6.7.3.4 阳极和参比电极的电缆连接应符合下列要求：

- a) 每一个阴极保护区域都应配置多根与阳极、参比电极连接的电缆；
- b) 阳极、参比电极与电缆的连接方式和安装方法应通过试验或工程实践证明能满足电连接的要求。

6.7.3.5 电气安装应符合下列要求：

- a) 所有电气安装工作应按照相关核电厂电气安全标准进行；
- b) 除特殊要求外，所有的安装工作均应有下列电气安全措施：
 - 1) 交流电缆与低压直流电缆、参比电极测量电缆分开；
 - 2) 直流电源输出端、接线盒及其连接端的电缆都应标识；
 - 3) 电缆应有完善的支撑和保护以避免环境、人和其他的破坏；
 - 4) 阳极和参比电极的电缆连接接头应在密封罩或接线盒内；
 - 5) 密封罩和接线盒应采取完善的防水密封措施；
 - 6) 直流电源输出电压超过 24 V 时，阳极应设置隔离系统，避免人与其直接接触；
 - 7) 按照相关核电厂标准对设备的电气安全、测试和维护进行标识。

6.7.3.6 安装过程中的测试应符合下列要求：

- a) 所有回路的极性检查；
- b) 所有回路的电性连接检查；
- c) 所有回路的绝缘检查应证实直流电源的正极电缆与负极电缆、参比电极电缆与测量接地电缆之间是电性绝缘的；
- d) 应对直流电源的绝缘电阻、介电常数、输入阻抗进行测试，测试方法和结果应符合 CB* 3220 的要求。

6.7.4 调试及验收

6.7.4.1 应对阴极保护系统所有组成部件进行全面的外观检查，确认安装无误，并正确标识。

6.7.4.2 在通电前应进行下列测试和记录：

- a) 用固定参比电极测量结构的自腐蚀电位；
- b) 用便携式参比电极测量敞开结构的自腐蚀电位。

6.7.4.3 通电应符合下列要求：

- a) 结构浸水后才能通电；
- b) 初始通电时，应采用手动方式以较低的电流值进行通电，通电过程中监测电位值，当极化至最小保护电位时，可转入自动模式。应对下列内容进行测量和记录：
 - 1) 用固定式和便携式参比电极测得的电位；
 - 2) 直流电源的输出电压和输出电流；
 - 3) 给定电位。
- c) 确认测量结果的极性应符合设计要求，应与 6.7.4.2 的测试结果相比，通电后的电位向负方向偏移。如果出现电位向正方向偏移，应进行检查。

6.7.4.4 调试应符合下列要求：

- a) 鼓形滤网的调试应在进水 24 h 内且旋转稳定后进行；
- b) 重要厂用水系统的调试应在管道完全充水 72 h 内且稳定后再进行；
- c) 调试应先采用恒电流模式，再投入恒电位模式，有智能极化功能的阴极保护系统可直接采用智能调试模式；
- d) 应将系统的保护电位调整到满足 6.2 的要求；
- e) 系统应在初始设置的电位下极化足够长的时间（通常在 3 d~5 d），然后进行初始性能评估。

6.7.4.5 调试后的性能评估应符合下列要求即可验收：

- a) 用固定参比电极测量结构的保护电位应符合 6.2 的规定；
- b) 用便携式参比电极测量敞开结构的保护电位应符合 6.2 的规定；
- c) 测量直流电源输出电流、输出电压。测量值变化应平稳，应在设计范围内并有裕量。

6.8 系统记录 and 文件

6.8.1 质量和测试记录应包括质量计划、质量文件、外观检查和测试结果。

6.8.2 安装和试运行报告应包括以下内容：

- a) 工程整体描述、工程参与者(如业主、设计工程师、监理工程师、承包商、分包商)和系统设计、监理、试运行负责人及职责；
- b) 有关系统安装和试运行的施工说明、规范、图纸以及设计计算书；
- c) 有关安装和试运行的详细描述；
- d) 竣工文件应包含系统安装及其组成部件的详细描述，满足对系统及其主体部件进行检查、维护和更换的需要；
- e) 系统通电前后和初始系统性能评估期间所有的测量数据；
- f) 系统运行记录。

6.9 运行和维护

6.9.1 运行和维护手册

运行和维护手册应包括下列内容：

- a) 系统的详细描述和竣工图纸；
- b) 日常维护和检查周期以及程序；
- c) 性能评估及数据分析的周期和程序；
- d) 日常维护、检查和性能评估；
- e) 系统的维护/维修程序；
- f) 系统主要部件清单(包括数据表和备件来源)，以及这些部件和整个系统的维护程序。

6.9.2 运行和维护程序

6.9.2.1 周期和程序应符合下列要求：

- a) 运行、维护检查、测试的周期和程序应按照系统运行和维护手册的要求进行；
- b) 有数据采集的阴极保护系统，可减少现场测量的频次；
- c) 如经过连续的检查 and 测试，系统性能没有出现故障、损坏或明显的波动，可延长日常检查和测试的周期；
- d) 如运行期间阴极保护系统出现故障或因其他原因导致停机，应在 24 h 内恢复，每年阴极保护系统的累计失效时间不应大于 72 h。

6.9.2.2 日常检查程序应包括下列内容：

- a) 功能检查：
 - 1) 确认所有系统在运行；
 - 2) 测量直流电源的输出电压和输出电流；
 - 3) 对阴极保护系统进行全面的外观检查；
 - 4) 数据评估。
- b) 性能评估：
 - 1) 测量保护电位；
 - 2) 记录给定电位；
 - 3) 评估数据；
 - 4) 调整给定电位。

6.9.3 系统复查

6.9.3.1 检测和测试工作最长时间间隔不能大于 12 个月,应包括下列各项:

- a) 对上次复查以后所有的测试数据和检查记录进行复查;
- b) 按照 6.9.2.2 进行性能评估;
- c) 对系统进行外观检查;
- d) 对数据进行复查和分析整理;
- e) 如有必要,调整直流电源输出。

6.9.3.2 复查报告应包括下列内容:

- a) 工作描述;
- b) 收集的数据;
- c) 有关改变运行和维护或系统复查间隔时间和程序的建议;
- d) 对系统改进的建议。

7 腐蚀检测系统

7.1 传感器

7.1.1 基本要求

7.1.1.1 应在施加阴极保护系统前腐蚀最严重处安装监测传感器用于评估阴极保护的效果。

7.1.1.2 可使用参比电极测量金属构筑物电位来判断系统的性能。

7.1.1.3 电位衰减探头、电流密度探头、宏电池探头、保护度探头等也可与参比电极配合使用。

7.1.1.4 监测传感器使用寿命应满足设计要求。

7.1.2 参比电极

宜采用铜/硫酸铜或高纯锌参比电极。

7.1.3 其他传感器

7.1.3.1 电位衰减探头

电位衰减探头应可用于测量被保护结构在有限时间内电位的变化(在电源通和断之间),但通常不超过 24 h。该种探头不可用于测量被保护结构的绝对电位或超过 24 h 的长期电位衰减。

7.1.3.2 电流密度探头和宏电池探头

- a) 电流密度探头和宏电池探头应能够测量被保护结构的保护电流密度;
- b) 电流密度探头和宏电池探头应由与被保护结构成分相同的材料制造;
- c) 可通过阴极保护系统通电后宏电池与被保护结构之间净电流方向是否发生变化来确认活性腐蚀区域是否受到足够的保护。

7.1.3.3 保护度探头

保护度探头应能够测量被保护结构涂层防腐与阴极保护的保護度。

7.2 测量和采集设备

7.2.1 数字仪表

7.2.1.1 数字仪表应满足以下要求：

- a) 最小分辨率为 1 mV；
- b) 精度为 ± 1 mV 或更高；
- c) 输入阻抗不小于 10 M Ω 。

7.2.1.2 零电阻电流表或其他装置的精度和分辨率应能使电流的测量精度小于被测量值的 $\pm 1\%$ 。

7.2.2 数据记录仪

数据记录仪应满足以下要求：

- a) 应有多通道输入或多路转接器；
- b) 应装有识别测试位置、传感器、恒电位仪系统和阳极区域等功能的软件；
- c) 最小输入阻抗为 10 M Ω ；
- d) 测量范围为 2 000 mV 时分辨率至少为 1 mV；
- e) 精确度为 ± 5 mV 或更高；
- f) 应能够在电源断电的 0.1 s~0.5 s 内采集到电位；
- g) 便携式数据记录仪应能够在户外和现场环境下使用；
- h) 固定式数据记录仪应放置在适合于现场环境和气候条件的盒子里，能与传感器、恒电位仪装置等连接，应具备与网络的连接和实时在线显示数据的功能。

7.3 数据管理系统

7.3.1 数据管理系统应能对校对、整理和评估阴极保护效果的数据和文件进行处理。

7.3.2 处理内容应至少包括下列信息：

- a) 阳极区域布置图；
- b) 传感器类型和位置；
- c) 恒电位仪装置参数；
- d) 初始(试运行前)传感器读数；
- e) 试运行数据；
- f) 试运行后的传感器数据；
- g) 试运行后恒电位仪装置的输出数据；
- h) 事件记录(如检查日期、系统运行的变化等)。

7.3.3 传感器测得的数据应能通过网络上传，并可自动保存在监测设备或计算机中。

附 录 A
(资料性附录)
牺牲阳极计算

A.1 保护电流计算

保护电流按式(A.1)计算:

$$I = i \times S \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

I ——保护电流,单位为安培(A);

i ——保护电流密度,单位为安培每平方米(A/m²);

S ——保护面积,单位为平方米(m²)。

A.2 阳极接水电阻计算

阳极接水电阻按式(A.2)计算:

平贴阳极:

$$R = \frac{\rho}{L + B + 2H} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

R ——阳极接水电阻,单位为欧姆(Ω);

ρ ——海水电阻率,单位为欧姆厘米($\Omega \cdot \text{cm}$);

L ——阳极长度,单位为厘米(cm);

B ——阳极宽度,单位为厘米(cm);

H ——阳极厚度,单位为厘米(cm)。

A.3 牺牲阳极发生电流计算

阳极的发生电流按式(A.3)计算:

$$I_f = \frac{\Delta E}{R} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

I_f ——单只阳极的发生电流,单位为安培(A);

ΔE ——阳极驱动电位,单位为伏特(V)(锌合金阳极取 0.25 V、铝合金阳极取 0.30 V、镁合金阳极取 0.65 V);

R ——阳极接水电阻,单位为欧姆(Ω)。

A.4 阳极平均发生电流计算

阳极平均发生电流按式(A.4)计算:

$I_m = 0.7 I_f$ (A.4)

式中：
 I_m —— 阳极平均发生电流，单位为安培(A)；
 I_f —— 阳极发生电流，单位为安培(A)；
0.7 —— 参考系数。

A.5 牺牲阳极使用寿命计算

牺牲阳极使用寿命按式(A.5)计算：

$$Y = \frac{Q \times G}{8\,760 I_m} \times \frac{1}{K}$$
 (A.5)

式中：
 Y —— 阳极使用寿命，单位为年(a)；
 Q —— 阳极实际电容量，单位为安培小时每千克(A · h/kg)；
 G —— 每只阳极质量，单位为千克(kg)；
 $1/K$ —— 阳极利用系数，取 0.85；
 I_m —— 每只阳极平均发生电流，单位为安培(A)。

A.6 牺牲阳极数量计算

牺牲阳极数量按式(A.6)计算：

$$N = \frac{I}{I_f}$$
 (A.6)

式中：
 N —— 牺牲阳极数量；
 I —— 保护电流，单位为安培(A)；
 I_f —— 每只阳极发生电流，单位为安培(A)。

附录 B

(资料性附录)

不同参比电极测定钢在海水中的保护电位及对应关系图

不同参比电极测定钢在海水中的保护电位及对应关系见图 B.1。

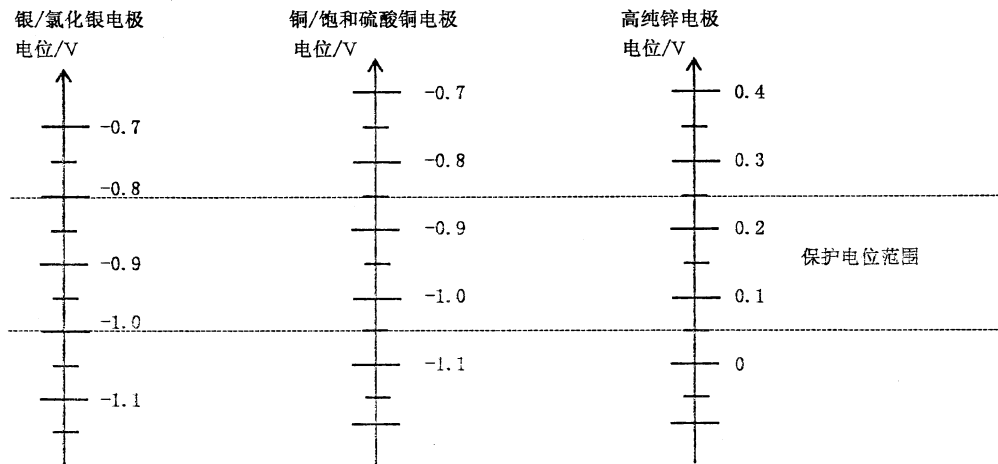


图 B.1 不同参比电极测定钢在海水中的保护电位及对应关系图

附录 C
(资料性附录)
外加电流阴极保护的设计计算

C.1 保护电流计算

保护电流按式(C.1)计算：

$$I = \sum i_i S_i \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：
I ——保护电流，单位为安培(A)；
i_i ——被保护结构内各种材料在不同涂装条件下的保护电流密度，单位为安培每平方米(A/m²)；
S_i ——被保护结构内各种材料在不同涂装条件下的浸水面积，单位为平方米(m²)。

C.2 凝汽器管束保护面积

凝汽器管束保护面积按式(C.2)计算：

$$S = 12n\pi d^2 \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：
S ——凝汽器管束保护面积，单位为平方米(m²)；
n ——冷凝管数量；
d ——冷凝管直径，单位为米(m)。

C.3 常用阳极在海水中的主要性能

常用阳极在海水中的主要性能见表 C.1。

表 C.1 常用阳极在海水中的主要性能

阳极种类	电流密度/(A/m ²)		消耗率 mg/(A·a)	设计使用寿命 a
	最大	通常		
铂/铌	2 000	500~1 000	6	20~40
铂/钛	2 000	500	6	20~40
钛基金属氧化物	1 000	500	3~5	20~40

附录 D
(资料性附录)
直流电源的设计计算

D.1 直流电源额定输出电流计算

直流电源额定输出电流按式(D.1)计算:

$$I_n = I\eta \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

I_n ——额定输出电流,单位为安培(A);

I ——被保护结构保护电流,单位为安培(A);

η ——电流负荷余量系数,通常为 1.1~1.15。

D.2 直流电源额定输出电压计算

直流电源额定输出电压按式(D.2)计算:

$$V = I_a R_a + E + K \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

V ——恒电位仪额定输出电压,单位为伏特(V);

I_a ——单只阳极排出电流,单位为安培(A);

R_a ——单只阳极接水电阻,单位为欧姆(Ω);

K ——相关因数, $K = (0 \sim 50\%) I_a R_a$;

E ——反电动势的数值,单位为伏特(V),一般取 2。

单只阳极接水电阻按式(D.3)计算:

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

R_a ——单只阳极接水电阻,单位为欧姆(Ω);

L ——阳极体长度,单位为厘米(cm);

r ——阳极体半径,单位为厘米(cm);

ρ ——海水电阻率,单位为欧姆厘米($\Omega \cdot \text{cm}$)。

D.3 直流电源额定功率计算

直流电源额定功率计算按式(D.4)计算:

$$P = \left(\frac{V \times I}{\eta} \right) \times 1.2 \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

P ——额定功率,单位为瓦特(W);

V ——额定输出电压,单位为伏特(V);

I ——额定输出电流,单位为安培(A);

η ——工作效率;

1.2 ——电源裕量系数。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
核电站海水循环系统防腐蚀作业
技术规范

GB/T 31404—2015

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 38 千字
2015年3月第一版 2015年3月第一次印刷

*

书号: 155066·1-50817 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 31404-2015