



中华人民共和国国家标准

GB/T 33423—2016

沿海及海上风电机组防腐技术规范

Technical specification for anticorrosion of wind turbines in the
coastal and offshore area

2016-12-30 发布

2017-07-01 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

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、中蚀国际防腐技术研究院(北京)有限公司、中广核工程有限公司、阿克苏诺贝尔防护涂料(苏州)有限公司、中国工业防腐蚀技术协会、北京碧海舟腐蚀防护工业股份有限公司、江苏金陵特种涂料有限公司、盐城金达表面工程技术有限公司、新疆中重化工有限公司。

本标准主要起草人:刘爽、林泽泉、张家恩、李济克、韩雄炜、邸建军、赖广森、卞大荣、卞直兵、卢卓金、许吉专、张开军、应红、林斌、高玉柱、费克勋、高伟、曹路、朱志鹏、刘宝华、吕志鹏、姜黔川、陆峰、徐祥宁。

沿海及海上风电机组防腐技术规范

1 范围

本标准规定了沿海及海上风电机组采用涂层和阴极保护联合防腐的总则、涂层防护、阴极保护、腐蚀监检测系统。

本标准适用于沿海及海上风电机组的塔筒、套管架、桩基及其他部件的防腐蚀作业。

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。

- GB/T 1724 涂料细度测定法
- 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 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 1766 色漆和清漆 涂层老化的评级方法
- 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 1865 色漆和清漆 人工气候老化和人工辐射暴露 滤过的氙弧辐射
- 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 6739 色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度
- GB/T 6742 色漆和清漆 弯曲试验(圆柱轴)
- 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 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 9274 色漆和清漆 耐液体介质的测定
- GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验
- GB 11375 金属和其他无机覆盖层 热喷涂 操作安全
- GB/T 12608 热喷涂 火焰和电弧喷涂用线材、棒材和芯材 分类和供货技术条件
- 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 17731 镁合金牺牲阳极
- GB/T 19824 热喷涂 操作人员考核要求

GB/T 30790.1 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 第1部分:总则

GB 30981—2014 建筑钢结构防腐涂料中有害物质限量

GB/T 31415 色漆和清漆 海上建筑及相关结构用防护涂料体系性能要求

CB* 3220 船用恒电位仪技术条件

HG/T 3668—2009 富锌底漆

SY/T 0063 管道防腐层检漏试验方法

IEC 62321-5 电工产品中的相关物质的测定 第5部分:采用AAS、AFS、ICP-OES和ICP-MS测定聚合物和电子装置中的镉、铅和铬,以及金属中的镉和铅(Determination of certain substances in electrotechnical products—Part 5: Cadmium, lead and chromium in polymers and electronics and cadmium and lead in metals by AAS, AFS, ICP-OES and ICP-MS)

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。

4 总则

4.1 当采取防护涂料和阴极保护联合措施防止腐蚀时,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 确定保护系统的质保等级时,应同时考虑被保护系统的质保等级。

4.3 确定保护系统的抗震等级时,应同时考虑被保护系统的抗震等级。

5 涂层防护

5.1 设计原则

涂层防护体系设计应综合考虑以下因素:

- 沿海及海上风电机组防护涂料或热喷金属体系设计应综合水文地质、环境条件、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)等设计涂层防腐蚀体系;
- 宜采用环氧涂料体系进行涂层防护设计,其他类型涂料、包覆性材料、新材料、新工艺,经过类似工程验证或有资质的检测机构认证的,亦可设计使用;
- 采用热喷涂金属作为防护层,其涂层表面宜进行封闭处理并涂装涂料,封闭剂和涂装涂料应与热喷涂涂层相容;
- 采取防护涂层与阴极保护相配合使用时,应考虑其经济合理性。

5.2 环氧涂层体系

5.2.1 设计要求

基于风电机组基础暴露于腐蚀环境的实际情况,塔筒、导管架及桩基、其他金属件等防护涂料体系

设计应满足表 1 的规定；性能应满足表 2 的规定。

表 1 塔筒、导管架及桩基、其他金属件防护涂层体系

工况	涂装部位		涂层类型	涂层耐久性设计年限		
				低(5 a~15 a)	中(15 a~25 a)	高(25 a 以上)
				最低干膜厚度/ μm		
沿海及海洋 大气区域	塔筒	外表面	环氧富锌底漆	60	60	60
			环氧云铁中间漆	160	200	240
			聚氨酯面漆	60	60	60
		内表面	环氧富锌底漆	60	60	60
			环氧云铁中间漆	140	180	220
	套管架及 桩基(大 气环境)	外表面	环氧涂料	360	500	600
			聚氨酯面漆	60	60	60
		内表面	环氧涂料	360	500	600
	其他 金属件	碳钢	环氧富锌底漆	60	60	60
			厚浆型环氧漆	160	200	240
			聚氨酯面漆	60	60	60
		镀锌铝及 合金钢	低表面处理环氧涂料	120	180	240
			聚氨酯面漆	60	60	60
飞溅与潮差 区域	套管架及 桩基(飞 溅区、潮 差区)	外表面	高膜厚环氧涂料或 环氧玻璃鳞片涂料	600	800	1 000
		内表面	高膜厚环氧涂料或 环氧玻璃鳞片涂料	500	600	800
全浸区域	套管架及 桩基(海 水浸泡、 海泥区)	外表面	高膜厚环氧涂料或 环氧玻璃鳞片涂料	500	600	800
		内表面	高膜厚环氧涂料或 环氧玻璃鳞片涂料	500	600	800

注 1: 耐久性设计年限区别于“担保期限”,为首次主要维护涂装之前的时间,涂层失效程度参考 GB/T 30790.1。低耐久性设计年限为 5 a~15 a(不包括 15 a),中耐久性设计年限为 15 a~25 a(不包括 25 a),高耐久性设计年限为 25 a 以上。

注 2: 各附属构件连接及加强构件防腐与其本体防腐配套体系一致,叶片涂层可选用环氧腻子,环氧底漆,聚氨酯面漆或其他合适的叶片涂料的配套方案。

注 3: 某些附属构件如平台钢格栅,电缆管(内表面),钢爬梯,爬梯护笼,基础顶法兰上、下表面及法兰孔,桩身牛腿上表面与圈梁底面的导电接触面等可以不涂装防护涂料,采用热喷锌 $120\ \mu\text{m}\sim 140\ \mu\text{m}$,并对其表面进行封孔处理。

注 4: 若需要对混凝土结构进行防腐保护,可使用环氧和聚合物的砂浆涂料进行防护,要求该涂层具备抗氯离子渗透性能。

注 5: 风机偏航法兰连接面和变桨法兰面防腐需综合考虑抗滑移性,可采用热喷锌 $100\ \mu\text{m}\sim 150\ \mu\text{m}$,也可采用喷涂无机富锌底漆,漆膜厚度 $40\ \mu\text{m}\sim 70\ \mu\text{m}$ 。

注 6: 所采用的防护涂层底漆、中间漆、面漆均必须兼容,且防腐油漆须与阴极保护系统相兼容。

注 7: 涂层配套体系的不同层油漆,应采用不同的颜色进行区分,以便于施工监测。

表 2 不同部位防护涂料体系性能要求

测试项目			耐盐水性	附着力	耐盐雾性能	人工加速老化	循环老化试验	耐阴极剥离	耐湿热性
测试标准			GB/T 9274	GB/T 5210	GB/T 1771 GB/T 1766	GB/T 1865 GB/T 1766	GB/T 31415 GB/T 1766	GB/T 7790	GB/T 1740
性能要求			浸泡法, 5% NaCl 溶液浓度, 不生锈、不起 泡、不开裂、 不剥落,允许 1级变色和 1级失光	拉开法	无生锈、无起 泡、无开裂、 无剥落,划横 处腐蚀蔓延 宽度不高于 8 mm,允许 轻微变色 和失光	UVA-340 nm, 不生锈、不起 泡、不剥落、 不开裂、不粉 化,允许2级 变色、2级粉 化和2级失 光	无生锈、无起 泡、无开裂、 无剥落,划线 2 mm,腐蚀 蔓延宽度不 大于8 mm, 允许2级变 色和2级失 光	人造漏涂孔 直径6 mm, 钢材完全暴 露30 d,测 试后评估涂 层剥离等效 直径	无生锈、无起 泡、无开裂、 无剥落,允许 2级变色和 2级失光
涂装部位 / 涂层耐久性设计年限	塔筒 外表面	低(5 a~ 15 a)	—	≥5 MPa	≥720 h	≥480 h	—	—	≥720 h
		中(15 a~ 25 a)			≥1 440 h	≥720 h			≥1 440 h
		高(≥ 25 a)			≥2 400 h	≥1 440 h			≥2 400 h
	塔筒 内表面	低(5 a~ 15 a)	—	≥5 MPa	≥480 h	—	—	—	—
		中(15 a~ 25 a)			≥720 h				
		高(≥ 25 a)			≥1 440 h				
	导管 架及 桩基	低(5 a~ 15 a)	≥3 000 h	≥8 MPa	≥2 000 h	—	—	≤10 mm	≥3 000 h
		中(15 a~ 25 a)	≥4 500 h		≥3 000 h		4 200 h	≤8 mm	≥4 500 h
		高(≥ 25 a)	≥6 000 h		≥4 500 h		4 200 h	≤6 mm	≥6 000 h
	其他 金属 部件	低(5 a~ 15 a)	—	≥5 MPa	≥720 h	≥480 h	—	—	≥720 h
		中(15 a~ 25 a)			≥1 440 h	≥720 h			≥1 440 h
		高(≥ 25 a)			≥2 400 h	≥1 440 h			≥2 400 h

5.2.2 涂料技术要求

5.2.2.1 选用的涂料应符合相关环保要求,包括但不限于:

- a) 液体涂料的挥发性有机化合物(VOC)不高于 420 g/L,其中有害溶剂含量应符合 GB 30981—2014 中表 2 限量要求;
- b) 所用涂料中有害金属含量(铅 Pb、镉 Cd、六价铬 Cr⁶⁺、汞 Hg 等有害元素)应符合 GB 30981—2014 中表 3 限量要求。

5.2.2.2 选用的各种涂料应分别符合下列要求:

- a) 富锌底漆应符合表 3 的要求。

表 3 富锌底漆的性能要求

项 目		技术指标	试验方法
在容器中状态		粉末,应呈微小的均匀粉末状态。 液料和浆料,搅拌混合后应无硬块,呈均匀状态	目测
不挥发分(混合后)/%		≥80	GB/T 1725
不挥发分中金属锌含量/%		≥75	HG/T 3668—2009 中 5.7
适用期/h		≥5	HG/T 3668—2009 中 5.8
施工性		施工无障碍	HG/T 3668—2009 中 5.9
涂膜外观		涂膜外观正常	目测
干燥时间/h	表干	≤1	GB/T 1728
	实干	≤24	
附着力/MPa		≥5	GB/T 5210
耐盐雾性		720 h 划痕处单向扩蚀≤2.0 mm,未 划痕区无起泡、生锈、开裂、剥落等现象	GB/T 1771
铅 Pb、镉 Cd、六价铬 Cr ⁶⁺ 、 汞 Hg 含量/(mg/kg)		≤100	IEC 62321-5

- b) 环氧云铁/低表面处理环氧涂料应符合表 4 的要求。

表 4 环氧云铁/低表面处理环氧涂料的性能要求

项目		技术指标	试验方法
在容器中的状态		搅拌后无硬块,呈均匀状态	目测
混合后重量固含量/%		≥85	GB/T 1725
干燥时间/h	表干	≤4	GB/T 1728
	实干	≤24	
弯曲试验/mm		2	GB/T 6742
耐冲击性/cm		≥50	GB/T 1732
附着力/MPa		≥5	GB/T 5210
铅 Pb、镉 Cd、六价铬 Cr ⁶⁺ 、 汞 Hg 含量/(mg/kg)		≤100	IEC 62321-5

c) 环氧及环氧玻璃鳞片涂料应符合表 5 的要求。

表 5 环氧及环氧玻璃鳞片涂料的性能要求

项目	技术指标	试验方法
在容器中的状态	搅拌后无硬块,呈均匀状态	目测
混合后重量固含量/%	≥ 90	GB/T 1725
附着力/MPa	≥ 8	GB/T 5210
耐磨性/mg(1 000 g/1 000 r, CS10)	≤ 110	GB/T 1768
耐阴极剥离性/mm(1.5 V,30 d)	≤ 8	GB/T 7790
耐湿热性/a	≥ 1	GB/T 1740
耐水浸泡/a	≥ 1	GB/T 1733

d) 聚氨酯面漆应符合表 6 的要求。

表 6 聚氨酯面漆的性能要求

项目		技术指标	试验方法
		丙烯酸酯脂肪族聚氨酯面漆	
不挥发物含量/%		≥ 60	GB/T 1725
细度/ μm		≤ 35	GB/T 1724
干燥时间/h	表干	≤ 2	GB/T 1728
	实干	≤ 24	
耐弯曲性/mm		≤ 2	GB/T 6742
耐冲击性/cm		≥ 50	GB/T 1732
耐磨性/mg(1 000 g/1 000 r, CS10)		≤ 100	GB/T 1768
铅笔硬度(擦伤)		$\geq \text{F}$	GB/T 6739
附着力/MPa		≥ 5	GB/T 5210
人工加速老化		1 000 h 不起泡、不开裂、不脱落, 允许 1 级变色、1 级失光和 1 级粉化	GB/T 1865

5.3 热喷涂

5.3.1 金属材料

5.3.1.1 热喷涂金属可选用锌、锌合金、铝和铝合金材料。

5.3.1.2 热喷涂金属材料应满足以下要求:

- 锌:符合 GB/T 12608 要求的 Zn 99.99,锌的含量大于或等于 99.99 %;
- 锌合金:符合 GB/T 12608 要求的 ZnAl 15,锌的含量为 84%~86%,铝的含量为 14%~16%;
- 铝:符合 GB/T 12608 要求的 Al 99.5,铝的含量大于或等于 99.5%;

d) 铝合金:符合 GB/T 12608 要求的 AlMg 5, 镁的含量为 4.5%~5.5%。

5.3.1.3 喷涂用金属材料宜选用直径为 2.0 mm 或 3.0 mm 的线材, 线材直径公差应满足 GB/T 12608 的要求。

5.3.1.4 热喷涂材料的力学性能、表面性能和可使用性应满足 GB/T 12608 的要求。

5.3.2 涂层

5.3.2.1 热喷涂涂层最小厚度见表 7。

表 7 热喷涂涂层最小厚度

单位为微米

区域	喷锌	喷铝	喷 AlMg 5	喷 ZnAl 15
海洋大气区	200	160	160	160
飞溅与潮差区、全浸区	300	200	200	200

5.3.2.2 热喷涂涂层表面宜采用人工封闭的方法对热喷涂层进行封闭处理, 若采用自然封闭, 腐蚀所生成的氧化物、氢氧化物和(或)碱性盐在金属涂层的暴露环境中应不会溶解。

5.3.2.3 封闭剂宜使用黏度小、易渗透、成膜物中固体含量高, 能够使热喷涂涂层表面发生磷化的活性涂料或其他合适的涂料。

5.3.2.4 热喷涂涂层表面的涂装涂料可按表 1 的外表面涂层选择。涂料涂层的厚度宜为 240 μm ~320 μm 。

5.3.2.5 热喷涂涂层厚度应均匀, 两层或两层以上涂层应采用相互垂直、交叉的方法施工覆盖, 单层面不宜超过 100 μm 。

5.3.2.6 热喷涂锌及锌合金可采用火焰喷涂或电弧喷涂, 热喷涂铝及铝合金宜采用电弧喷涂。

5.3.2.7 热喷涂金属后应及时进行封闭或涂装, 最长不宜超过 2 h。

5.4 施工

5.4.1 一般要求

防腐涂层施工主要工艺流程为: 钢板表面预处理→喷砂除锈→除尘→检测→油漆喷涂→成品检测→涂层养护→损伤补涂。

涂装前应对涂装施工人员进行专业培训, 熟悉有关涂料的性能和涂层作业要领后, 方可施工。热喷涂操作人员应按 GB/T 19824 的规定进行考核, 热喷涂的操作安全应满足 GB 11375 的要求。

5.4.2 表面处理

5.4.2.1 表面处理方法宜为抛丸或喷砂处理。

5.4.2.2 在喷砂前应对基材状况进行评估, 对构件及与构件永久连接的附件的锐边、火焰切割边缘、毛刺要打磨到圆滑过渡, 且 $R \geq 2 \text{ mm}$, 焊疤及焊接熔合性飞溅打磨清除干净。用溶剂、乳胶、净化化合物或蒸汽清除基体表面的水分、油污、尘垢、污染物、铁锈、氧化皮、盐类及其他物质; 除锈质量应达到 GB/T 8923.1 中规定的 Sa2½ 的要求。表面粗糙度应遵循涂料供应商的建议。

5.4.2.3 采用无水无油的压缩空气或工业用除尘器, 吹除喷砂后基体表面附有的灰尘及磨料, 其表面清洁度应不低于 GB/T 18570.3 规定的 2 级。

5.4.2.4 表面处理后应在 4 h 内(相对湿度低于 80% 时), 4 h~12 h 内(相对湿度低于 65% 时)进行涂覆第一道底漆, 超过以上时限或当出现返锈或表面污染时, 应重新进行表面处理。

5.4.3 工厂施工

5.4.3.1 施工过程中的环境条件:气温应大于 5℃、相对湿度应低于 80%、钢板表面温度高于露点 3℃,每工班测量次数不得少于 3 次。

5.4.3.2 涂料混合比例、搅拌过程按油漆供应商说明要求进行,用湿膜卡检查涂层湿膜厚度是否满足要求。

5.4.3.3 为确保边缘、焊缝、角落处达到规定的膜厚,在每道涂层施工前,需对这些部位进行预涂。预留现场施工的部位(补口),而形成的裸露表面应涂刷底漆。

5.4.3.4 塔筒法兰与筒体采用热喷锌与喷涂油漆时,先行热喷锌,筒体待喷涂表面要做好保护,然后进行喷涂,喷涂时的搭接宽度要足够。

5.4.3.5 不同产品应参考供应商制定的相关施工工艺进行施工。

5.4.4 现场补涂

5.4.4.1 对预留的补口和运输、安装过程中造成的涂层破损和缺陷,应进行涂层修补,涂层修补区域为:

- a) 焊缝区域:现场焊接完成后未涂装的焊缝区域;
- b) 涂层损坏区域:由于热工作业和运输、吊装、装卸等原因造成的涂层损伤或损坏局部涂层部位;
- c) 有涂层缺陷的局部涂层:由于施工过程中施工不当造成的流挂、漏涂、针孔等局部涂层的位置;
- d) 涂层被严重污染的部位:被污染物严重污染,污染物已造成涂层损坏(如被水泥污染),或污染物已无法通过简单的清洗就能除去的局部涂层位置;
- e) 设备检修中存在的局部涂层破损。

5.4.4.2 环氧或其他涂层应选用与设计一致的产品,热喷涂锌和锌合金涂层可用富锌底漆修补,热喷涂铝和铝合金涂层可用铝粉底漆修补。

5.4.4.3 涂层修补前应进行表面处理,去除松散、损坏的涂层,对损伤至底材部位应使用动力工具处理至 St3 或 SP11。损伤部位的周边完好涂层须轻轻打毛,并打磨成平滑的过渡层。露出的金属基体应进行拉毛或电化学刻蚀处理,表面粗糙度达标后,用脱脂棉球蘸溶剂反复擦拭除油,直至无变色为止。宜将修补区域基体周边磨出较浅沟槽。涂装后 4 h 内不应淋雨。

5.4.4.4 修补时期的气候条件控制相同于新建结构涂装时的要求。

5.5 涂装检查

应检查涂层是否满足技术规格书要求,包括目视检查,如涂层的均匀性、颜色及光泽、外观,漏涂、缩孔、气泡、脱落、渗色、流挂等缺陷。应检测干膜的以下性能:

- a) 干膜厚度。涂装后应按 GB/T 13452.2 规定的方法进行涂层干膜厚度测定。平均干膜厚度应大于或等于设计厚度值,各点的干膜厚度不得低于额定干膜厚度的 80%,且不超过 10%。若要求最大漆膜厚度,不超过最大值。
- b) 附着力。采用拉开法测定附着力,应符合 GB/T 5210 的规定,对不适用拉开法测试的涂层应选用划格或划叉法,应符合 GB/T 9286 的规定。
- c) 漏涂点。对飞溅区、潮差区及全浸区的涂层应按照 SY/T 0063 进行漏涂点检测。发现任何漏涂点均应进行补涂,且修补处的干膜厚度复测结果应满足设计要求。

5.6 运输、贮存、安装

5.6.1 在运输、储存和安装过程中,应将油漆保护在最佳状态,以减少所需的修补工作。在油漆完全固化并达到能够抵抗搬运损伤的硬度之前,构件不应随便移动,且应尽可能减少搬运,通常遵照涂料供应商所推荐的固化时间。

5.6.2 涂层构件在装卸、堆放、移动、运输和安装过程中应使用合适的衬垫来保护已涂装好的构件,吊索应是织带型且吊点及吊索接触构件的棱角时应尽可能用橡皮软管或类似材料保护,不允许使用裸钢丝绳。

5.6.3 为避免运输或其他过程中的损坏,应采取必要的预防措施来保护油漆表面,如表面采用薄膜或其他软质材料来隔离,以避免漆膜损伤或外来物粘附在油漆表面上。

5.6.4 检验后的涂层构件,不宜长期露天存放,安装前应检查涂层系统的损伤情况。任何损伤都应按照规范进行修补。

5.7 质量验收

质量验收应包含以下资料:

- a) 涂料厂家生产许可证(复印件)、产品合格证及质量检验报告;
- b) 工程设计文件、施工技术方案等;
- c) 涂层的质量检查记录和验收报告等;
- d) 返修记录(如有),包括返修位置、原因、方法、数量和检验结果;
- e) 其他有关资料。

5.8 涂层的保养和维护

5.8.1 随着服役时间的增加,防腐涂层会存在老化、破损,牺牲阳极有可能被破坏、损耗或潮汐原因对部分区域无法防护,应定期对防腐措施进行检测和维护。

5.8.2 工程实施后初期 2 a 内,至少每半年检测一次;在运行维护 2 a 后每年检查一次,视防腐系统的运行情况,10 a 后可适当增加检测的频率。周期时间为一个季度的,应检查可见部位;周期时间为一个季度以上的,应全面检查设备结构面、焊缝及连接处等。对需要维修区域做好以下记录:

- a) 每次维修之前,对涂层进行 1 次~2 次检查,记录涂层的开裂、脱落、起泡、生锈、粉化等缺陷类型及面积比例;
- b) 根据检查记录,作出修补计划。

5.8.3 涂层的维护和修补前应查阅存档资料,掌握原使用涂料的使用条件和性能。表面处理应符合下列要求:

- a) 如底漆破损,涂层应打磨至基底,满足 St3 等级要求;
- b) 底漆未破损但有松软涂层,应去除松软部分,损坏涂层的边口应打磨至分层,无法分层的要打磨平缓,各涂层颜色要相近;
- c) 当受损区域大到可以采用喷砂方法进行处理时,宜在表面重新进行喷砂处理。

5.8.4 涂层的修补应符合下列要求:

- 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) 修补时每层涂料的厚度以及各道涂层覆涂间隔应按原始规范执行,厚度不够的应再次进行涂刷;
- d) 内部修补时,要提供通风和照明;
- e) 修补时期的环境条件控制相同于新建结构涂装时的要求;
- f) 修补后的涂层要注意保护,防止未固化涂层遭受踩踏或破坏;浸水或可能浸水区域,涂层修补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 阴极保护可采用外加电流法或牺牲阳极法。

6.1.2 避免对相邻结构物造成干扰。

6.1.3 新建风电机组的阴极保护设计、施工应与结构的设计、施工同时进行,并同时投入使用。

6.1.4 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。

6.1.5 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。

6.1.6 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。

6.1.7 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。

6.1.8 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、铸铁构件等组成的设备或系统,保护电位应在 $-0.80\text{ V} \sim -1.00\text{ V}$ 之间(相对于银/氯化银参比电极,下同)。

6.2.2 高强钢(屈服强度不小于 700 MPa)保护电位应在 $-0.80\text{ V} \sim -0.95\text{ V}$ 之间。

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8选取保护电流密度。

表8 保护电流密度

环境介质	保护电流密度/(mA/m ²)		
	初期值	维持值	末期值
海水	150~180	60~80	80~100
海泥	25	20	20
海水混凝土或水泥砂浆包覆	10~25		

6.4 电连续性技术要求

6.4.1 钢结构各部件之间应实现电连接,接触电阻小于 $0.1\ \Omega$ 。

6.4.2 非焊接连接的金属部件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以保证电连接。

6.5 电绝缘装置技术要求

涂漆的阴极保护构件与无阴极保护构件之间应设置绝缘装置。

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性能应符合 GB/T 4948、GB/T 4950、GB/T 17731 的规定，或电化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、GB/T 17731 的规定。

6.6.3 保护计算

6.6.3.1 保护电流计算参见附录 A 的式(A.1)。

6.6.3.2 阳极接水电阻计算参见附录 A 的式(A.2)。

6.6.3.3 单只阳极发生电流计算参见附录 A 的式(A.3)。

6.6.3.4 单只阳极平均发生电流计算参见附录 A 的式(A.4)。

6.6.3.5 牺牲阳极使用寿命计算参见附录 A 的式(A.5)。

6.6.3.6 牺牲阳极数量计算参见附录 A 的式(A.6)。

6.6.4 验收、贮存及安装

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

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 保护效果检测和牺牲阳极更换

6.6.5.1 保护电位测量应符合下列要求：

- a) 使用便携式参比电极测量，电位应符合 6.2 的规定。
- b) 使用固定安装的参比电极测量，电位应符合 6.2 的规定。

6.6.5.2 停机检查设备表面应无锈蚀，抽样清除阳极表面的腐蚀产物，检查阳极的溶解状况和剩余量。

6.6.5.3 牺牲阳极更换应符合下列要求：

- 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时，应更换；
- b) 阳极不溶解或溶解不均匀时，应更换；
- c) 被保护结构电位达不到最小保护电位时，应补充和(或)更换阳极。

6.7 外加电流阴极保护系统

6.7.1 系统组件技术要求

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 GB 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 6.1.6 的要求。

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 6.1.6 的要求。

6.7.1.4 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;
- 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 $2\ \text{V}$;
- 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;
- f) 电缆接头与阴极和测量接地点的连接应采用 316L 不锈钢或更耐蚀的不锈钢紧固件。

6.7.2 系统设计

6.7.2.1 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附录 C 的式(C.1);
- b) 保护电流密度选取见 6.3。

6.7.2.2 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。

6.7.2.3 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附录 D 的式(D.1);
- b) 直流电源额定输出电压计算参见附录 D 的式(D.2);
- c) 直流电源额定功率计算参见附录 D 的式(D.4)。

6.7.2.4 参比电极应符合下列要求:

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。

6.7.3 阴极保护系统的安装

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) 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:

结构物绝缘性能应满足 6.5 的要求。

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风电场电气安全标准进行。
- 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) 直流电源的测试,应按照 CB* 3220 进行。

6.7.4 调试与验收

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) 应将系统的保护电位调整到满足 6.2 的要求;
- b) 系统应在初始设置的电位下极化一定长的时间(通常在 3 d~5 d 之间),然后进行初始性能评估。

6.7.4.5 性能评估应符合下列要求:

- 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) 竣工文件应尽可能详细描述系统安装及其组成部件,以满足将来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 and 测试的周期。

6.9.2.2 日常检查程序应包括下列内容:

- a) 功能检查,包括:
 - 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,包括:
 - 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 腐蚀监检测系统

7.1 监检测传感器

7.1.1 基本要求

7.1.1.1 应在未施加阴极保护时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 电流密度探头、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 电流密度探头

7.1.3.1.1 电流密度探头可用于确定金属构筑物的保护电流密度。

7.1.3.1.2 电流密度探头应由与金属构筑物成分相同的材料制造。

7.1.3.2 保护度探头

保护度探头可用于测量金属构筑物涂层防腐与阴极保护的保护度,埋设在金属构筑物附近的土壤中。

7.2 监检测设备

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 $10\text{ M}\Omega$ ；
- d) 测量范围为 $2\ 000\text{ mV}$ 时分辨率至少为 1 mV ；
- e) 精确度为 $\pm 5\text{ mV}$ 或更高；
- f) 应能够在电源断电的 $0.1\text{ s}\sim 0.5\text{ s}$ 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 监测数据管理系统

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路上传，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:

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

式中:

- I ——保护电流的数值,单位为安培(A);
- i ——保护电流密度的数值,单位为安培每平方米(A/m²);
- S ——保护面积的数值,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:

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

式中:

- R ——阳极接水电阻的数值,单位为欧姆(Ω);
- ρ ——海水电阻率的数值,单位为欧姆厘米(Ω·cm);
- L ——阳极长度的数值,单位为厘米(cm);
- B ——阳极宽度的数值,单位为厘米(cm);
- H ——阳极厚度的数值,单位为厘米(cm)。

A.3 牺牲阳极发生电流计算

牺牲阳极的发生电流按式(A.3)计算:

$$I_t=\frac{\Delta E}{R} \quad \cdots \cdots \cdots (A.3)$$

式中:

- I_t ——单只阳极的发生电流的数值,单位为安培(A);
- ΔE ——阳极驱动电位的数值,单位为伏特(V),锌合金阳极取 0.25、铝合金阳极取 0.30、镁合金阳极取 0.65;
- R ——阳极接水电阻的数值,单位为欧姆(Ω)。

A.4 牺牲阳极平均发生电流计算

牺牲阳极平均发生电流按式(A.4)计算:

$$I_m=0.7I_t \quad \cdots \cdots \cdots (A.4)$$

式中:

I_m ——牺牲阳极平均发生电流的数值,单位为安培(A);

I_i ——牺牲阳极发生电流的数值,单位为安培(A)。

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:

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

式中:

Y ——阳极使用寿命的数值,单位为年(a);

Q ——阳极实际电容量的数值,单位为安培小时每千克(A·h/kg);

G ——每只阳极重量的数值,单位为千克(kg);

$1/K$ ——阳极利用系数的数值,取 0.85;

I_m ——每只阳极平均发生电流的数值,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:

$$N = \frac{I}{I_i} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

N ——牺牲阳极的数量,单位为只;

I ——保护电流的数值,单位为安培(A);

I_i ——每只阳极发生电流的数值,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。

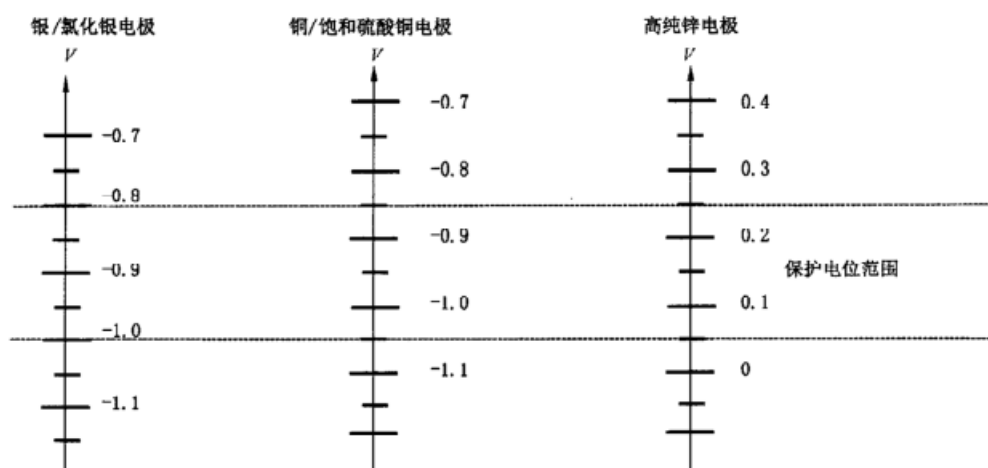


图 B.1 不同参比电极测定钢在海水中的保护电位及对应关系图

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：

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

式中：

I ——保护电流的数值，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的数值，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的数值，单位为平方米(m²)。

C.2 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:

$$I_n = I\eta \quad \text{.....(D.1)}$$

式中:

I_n ——额定输出电流的数值,单位为安培(A);

I ——被保护结构保护电流的数值,单位为安培(A);

η ——电流负荷余量系数,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:

$$V = I_a R_a + 2 + K \quad \text{.....(D.2)}$$

式中:

V ——恒电位仪额定输出电压的数值,单位为伏特(V);

I_a ——单只阳极排出电流的数值,单位为安培(A);

R_a ——单只阳极接水电阻的数值,单位为欧姆(Ω);

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

单只阳极接水电阻按式(D.3)计算:

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

式中:

R_a ——单只阳极接水电阻的数值,单位为欧姆(Ω);

L ——阳极体长度的数值,单位为厘米(cm);

r ——阳极体半径的数值,单位为厘米(cm);

ρ ——海水电阻率的数值,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:

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

式中:

P ——额定功率的数值,单位为瓦特(W);

V ——额定输出电压的数值,单位为伏特(V);

I ——额定输出电流的数值,单位为安培(A);

η ——工作效率。

目 次

前言 Ⅲ

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 涂层防护 2

5.1 设计原则 2

5.2 环氧涂层体系 2

5.3 热喷涂 6

5.4 施工 7

5.5 涂装检查 8

5.6 运输、贮存、安装 8

5.7 质量验收 9

5.8 涂层的保养和维护 9

6 阴极保护 10

6.1 一般规定 10

6.2 保护电位 10

6.3 保护电流密度 10

6.4 电连续性技术要求 10

6.5 电绝缘装置技术要求 10

6.6 牺牲阳极阴极保护系统 11

6.7 外加电流阴极保护系统 11

6.8 系统记录和文件 14

6.9 运行和维护 14

7 腐蚀监检测系统 15

7.1 监检测传感器 15

7.2 监检测设备 15

7.3 监检测数据管理系统 16

附录 A (资料性附录) 牺牲阳极计算 17

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 19

附录 C (资料性附录) 外加电流阴极保护的设计计算 20

附录 D (资料性附录) 直流电源的设计计算 21

沿海及海上风电机组防腐技术规范

1 范围

本标准规定了沿海及海上风电机组采用涂层和阴极保护联合防腐蚀的总则、涂层防护、阴极保护、腐蚀监检测系统。

本标准适用于沿海及海上风电机组的塔筒、套管架、桩基及其他部件的防腐蚀作业。

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。

- GB/T 1724 涂料细度测定法
- 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 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 1766 色漆和清漆 涂层老化的评级方法
- 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 1865 色漆和清漆 人工气候老化和人工辐射暴露 滤过的氙弧辐射
- 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 6739 色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度
- GB/T 6742 色漆和清漆 弯曲试验(圆柱轴)
- 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 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 9274 色漆和清漆 耐液体介质的测定
- GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验
- GB 11375 金属和其他无机覆盖层 热喷涂 操作安全
- GB/T 12608 热喷涂 火焰和电弧喷涂用线材、棒材和芯材 分类和供货技术条件
- 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 17731 镁合金牺牲阳极
- GB/T 19824 热喷涂 操作人员考核要求

GB/T 30790.1 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 第1部分:总则

GB 30981—2014 建筑钢结构防腐涂料中有害物质限量

GB/T 31415 色漆和清漆 海上建筑及相关结构用防护涂料体系性能要求

CB* 3220 船用恒电位仪技术条件

HG/T 3668—2009 富锌底漆

SY/T 0063 管道防腐层检漏试验方法

IEC 62321-5 电工产品中的相关物质的测定 第5部分:采用AAS、AFS、ICP-OES和ICP-MS测定聚合物和电子装置中的镉、铅和铬,以及金属中的镉和铅(Determination of certain substances in electrotechnical products—Part 5: Cadmium, lead and chromium in polymers and electronics and cadmium and lead in metals by AAS, AFS, ICP-OES and ICP-MS)

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。

4 总则

4.1 当采取防护涂料和阴极保护联合措施防止腐蚀时,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 确定保护系统的质保等级时,应同时考虑被保护系统的质保等级。

4.3 确定保护系统的抗震等级时,应同时考虑被保护系统的抗震等级。

5 涂层防护

5.1 设计原则

涂层防护体系设计应综合考虑以下因素:

- 沿海及海上风电机组防护涂料或热喷金属体系设计应综合水文地质、环境条件、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)等设计涂层防腐蚀体系;
- 宜采用环氧涂料体系进行涂层防护设计,其他类型涂料、包覆性材料、新材料、新工艺,经过类似工程验证或有资质的检测机构认证的,亦可设计使用;
- 采用热喷涂金属作为防护层,其涂层表面宜进行封闭处理并涂装涂料,封闭剂和涂装涂料应与热喷涂涂层相容;
- 采取防护涂层与阴极保护相配合使用时,应考虑其经济合理性。

5.2 环氧涂层体系

5.2.1 设计要求

基于风电机组基础暴露于腐蚀环境的实际情况,塔筒、导管架及桩基、其他金属件等防护涂料体系

设计应满足表1的规定;性能应满足表2的规定。

表1 塔筒、导管架及桩基、其他金属件防护涂层体系

工况	涂装部位		涂层类型	涂层耐久性设计年限		
				低(5 a~15 a)	中(15 a~25 a)	高(25 a以上)
				最低干膜厚度/ μm		
沿海及海洋 大气区域	塔筒	外表面	环氧富锌底漆	60	60	60
			环氧云铁中间漆	160	200	240
			聚氨酯面漆	60	60	60
		内表面	环氧富锌底漆	60	60	60
			环氧云铁中间漆	140	180	220
	套管架及 桩基(大 气环境)	外表面	环氧涂料	360	500	600
			聚氨酯面漆	60	60	60
		内表面	环氧涂料	360	500	600
	其他 金属件	碳钢	环氧富锌底漆	60	60	60
			厚浆型环氧漆	160	200	240
			聚氨酯面漆	60	60	60
		镀锌铝及 合金钢	低表面处理环氧涂料	120	180	240
			聚氨酯面漆	60	60	60
飞溅与潮差 区域	套管架及 桩基(飞 溅区、潮 差区)	外表面	高膜厚环氧涂料或 环氧玻璃鳞片涂料	600	800	1 000
		内表面	高膜厚环氧涂料或 环氧玻璃鳞片涂料	500	600	800
全浸区域	套管架及 桩基(海 水浸泡、 海泥区)	外表面	高膜厚环氧涂料或 环氧玻璃鳞片涂料	500	600	800
		内表面	高膜厚环氧涂料或 环氧玻璃鳞片涂料	500	600	800

注1: 耐久性设计年限区别于“担保期限”,为首次主要维护涂装之前的时间,涂层失效程度参考 GB/T 30790.1。低耐久性设计年限为 5 a~15 a(不包括 15 a),中耐久性设计年限为 15 a~25 a(不包括 25 a),高耐久性设计年限为 25 a 以上。

注2: 各附属构件连接及加强构件防腐与其本体防腐配套体系一致,叶片涂层可选用环氧腻子,环氧底漆,聚氨酯面漆或其他合适的叶片涂料的配套方案。

注3: 某些附属构件如平台钢格栅,电缆管(内表面),钢爬梯,爬梯护笼,基础顶法兰上、下表面及法兰孔,桩身牛腿上表面与圈梁底面的导电接触面等可以不涂装防护涂料,采用热喷锌 $120\ \mu\text{m}\sim 140\ \mu\text{m}$,并对其表面进行封孔处理。

注4: 若需要对混凝土结构进行防腐保护,可使用环氧和聚合物的砂浆涂料进行防护,要求该涂层具备抗氯离子渗透性能。

注5: 风机偏航法兰连接面和变桨法兰面防腐需综合考虑抗滑移性,可采用热喷锌 $100\ \mu\text{m}\sim 150\ \mu\text{m}$,也可采用喷涂无机富锌底漆,漆膜厚度 $40\ \mu\text{m}\sim 70\ \mu\text{m}$ 。

注6: 所采用的防护涂层底漆、中间漆、面漆均必须兼容,且防腐油漆须与阴极保护系统相兼容。

注7: 涂层配套体系的不同层油漆,应采用不同的颜色进行区分,以便于施工监测。

表 2 不同部位防护涂料体系性能要求

测试项目			耐盐水性	附着力	耐盐雾性能	人工加速老化	循环老化试验	耐阴极剥离	耐湿热性
测试标准			GB/T 9274	GB/T 5210	GB/T 1771 GB/T 1766	GB/T 1865 GB/T 1766	GB/T 31415 GB/T 1766	GB/T 7790	GB/T 1740
性能要求			浸泡法, 5% NaCl 溶液浓度, 不生锈、不起 泡、不开裂、 不剥落,允许 1级变色和 1级失光	拉开法	无生锈、无起 泡、无开裂、 无剥落,划横 处腐蚀蔓延 宽度不高于 8 mm,允许 轻微变色 和失光	UVA-340 nm, 不生锈、不起 泡、不剥落、 不开裂、不粉 化,允许2级 变色、2级粉 化和2级失 光	无生锈、无起 泡、无开裂、 无剥落,划线 2 mm,腐蚀 蔓延宽度不 大于8 mm, 允许2级变 色和2级失 光	人造漏涂孔 直径6 mm, 钢材完全暴 露30 d,测 试后评估涂 层剥离等效 直径	无生锈、无起 泡、无开裂、 无剥落,允许 2级变色和 2级失光
涂装部位 / 涂层耐久性设计年限	塔筒 外表面	低(5 a~ 15 a)	—	≥5 MPa	≥720 h	≥480 h	—	—	≥720 h
		中(15 a~ 25 a)			≥1 440 h	≥720 h			≥1 440 h
		高(≥ 25 a)			≥2 400 h	≥1 440 h			≥2 400 h
	塔筒 内表面	低(5 a~ 15 a)	—	≥5 MPa	≥480 h	—	—	—	—
		中(15 a~ 25 a)			≥720 h				
		高(≥ 25 a)			≥1 440 h				
	导管 架及 桩基	低(5 a~ 15 a)	≥3 000 h	≥8 MPa	≥2 000 h	—	4 200 h	≤10 mm	≥3 000 h
		中(15 a~ 25 a)	≥4 500 h		≥3 000 h			≤8 mm	≥4 500 h
		高(≥ 25 a)	≥6 000 h		≥4 500 h			≤6 mm	≥6 000 h
	其他 金属 部件	低(5 a~ 15 a)	—	≥5 MPa	≥720 h	≥480 h	—	—	≥720 h
		中(15 a~ 25 a)			≥1 440 h	≥720 h			≥1 440 h
		高(≥ 25 a)			≥2 400 h	≥1 440 h			≥2 400 h

5.2.2 涂料技术要求

5.2.2.1 选用的涂料应符合相关环保要求,包括但不限于:

- a) 液体涂料的挥发性有机化合物(VOC)不高于 420 g/L,其中有害溶剂含量应符合 GB 30981—2014 中表 2 限量要求;
- b) 所用涂料中有害金属含量(铅 Pb、镉 Cd、六价铬 Cr⁶⁺、汞 Hg 等有害元素)应符合 GB 30981—2014 中表 3 限量要求。

5.2.2.2 选用的各种涂料应分别符合下列要求:

- a) 富锌底漆应符合表 3 的要求。

表 3 富锌底漆的性能要求

项 目		技术指标	试验方法
在容器中状态		粉末,应呈微小的均匀粉末状态。 液料和浆料,搅拌混合后应无硬块,呈均匀状态	目测
不挥发分(混合后)/%		≥80	GB/T 1725
不挥发分中金属锌含量/%		≥75	HG/T 3668—2009 中 5.7
适用期/h		≥5	HG/T 3668—2009 中 5.8
施工性		施工无障碍	HG/T 3668—2009 中 5.9
涂膜外观		涂膜外观正常	目测
干燥时间/h	表干	≤1	GB/T 1728
	实干	≤24	
附着力/MPa		≥5	GB/T 5210
耐盐雾性		720 h 划痕处单向扩蚀≤2.0 mm,未 划痕区无起泡、生锈、开裂、剥落等现象	GB/T 1771
铅 Pb、镉 Cd、六价铬 Cr ⁶⁺ 、 汞 Hg 含量/(mg/kg)		≤100	IEC 62321-5

- b) 环氧云铁/低表面处理环氧涂料应符合表 4 的要求。

表 4 环氧云铁/低表面处理环氧涂料的性能要求

项目		技术指标	试验方法
在容器中的状态		搅拌后无硬块,呈均匀状态	目测
混合后重量固含量/%		≥85	GB/T 1725
干燥时间/h	表干	≤4	GB/T 1728
	实干	≤24	
弯曲试验/mm		2	GB/T 6742
耐冲击性/cm		≥50	GB/T 1732
附着力/MPa		≥5	GB/T 5210
铅 Pb、镉 Cd、六价铬 Cr ⁶⁺ 、 汞 Hg 含量/(mg/kg)		≤100	IEC 62321-5