

ICS 27.160

CCS F 12



T

团 体 标 准

T/CSPSTC XXX—202X

海上光伏钢结构防腐技术规程

Technical specification for anticorrosion of offshore photovoltaic
steel structures

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发 布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总则 4

5 腐蚀控制措施及分类 4

 5.1 腐蚀控制措施 4

 5.2 腐蚀控制分类 5

6 涂层保护 7

 6.1 要求 7

 6.2 试验方法 12

 6.3 检验规则 13

7 阴极保护 13

 7.1 一般规定 13

 7.2 保护电位 14

 7.3 保护电流密度 14

 7.4 电连续性技术要求 14

 7.5 电绝缘装置技术要求 14

 7.6 牺牲阳极阴极保护系统 14

 7.7 外电流阴极保护系统 15

 7.8 系统记录和文件 16

 7.9 运行和维护 16

8 腐蚀监测 17

 8.1 监测传感器 17

 8.2 监测设备 17

 8.3 监测数据管理系统 17

9 安全、卫生 and 环境保护 18

 9.1 一般规定 18

 9.2 安全、卫生 18

 9.3 环境保护 18

10 完工验收 18

 10.1 表面处理 18

 10.2 涂料保护 19

 10.3 热喷涂保护 19

附录 A（规范性）涂料性能要求和试验方法 21

附录 B（规范性）漏点检验方法 24

附录 C（规范性）热喷涂涂层结合强度检测方法 25

附录 D（规范性）牺牲阳极计算方法 26

附录 E（资料性）不同参比电极测定钢在海水中的保护电位及对应关系图 27

附录 F（资料性）外加电流阴极保护的设计计算 28

附录 G（资料性）直流电源的设计计算 29

参考文献 30

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东电力工程咨询院有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：XXXX

本文件主要起草人：XXXXX

引 言

近年来，随着双碳目标的提出，清洁能源受到了越来越多的重视。太阳能作为清洁能源的一种，是实现我国“双碳”目标的重要途径。然而随着当前光伏电站发展的不断推进，平整、开阔的土地资源越来越少，在这种形式下，海上光伏电站逐渐成为沿海地区进行光伏发电的第一选择。

海上光伏相较陆上光伏，具有天然的环境优势，不占用土地，水面开阔没有遮挡物，日照较长且利用充分，可显著提升发电量，同时易与其他产业结合。然而，海洋环境是一种比较复杂的腐蚀环境，给金属结构的安全带来了很大的挑战。各厂家的钢制支架等产品采用防腐措施种类多样，但没有相应的规范要求，涂层和牺牲阳极等产品性能参差不齐，存在安全风险。

针对这些问题，本文件提出适用于海上光伏钢制设施的防腐措施及具体的检验标准，主要包含海上光伏支架、桩基础、檩条、连接件等钢结构的表面预处理及涂料保护、热喷涂金属保护、阴极保护等防腐措施和腐蚀监测系统技术要求、各产品施工检验及验收要求，从而规范海上光伏防腐产品的技术指标，提升海上光伏防腐产品的可靠性。

海上光伏钢结构防腐技术规程

1 范围

本文件规定了沿海和海上光伏支架及桩基础的钢结构的腐蚀控制措施及分类、涂层保护、阴极保护、腐蚀监测、安全、卫生和环境保护、完工验收的要求。

本文件适用于沿海和海上光伏的上部支架、桩基及其他附件的防腐蚀作业。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 色漆、清漆和印刷油墨 研磨细度的测定
- 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 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 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 3186 色漆、清漆和色漆与清漆用原材料取样
- GB/T 4948 铝—锌—钢系合金牺牲阳极
- GB/T 4950 锌合金牺牲阳极
- GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法
- GB/T 5210 色漆和清漆拉开法附着力试验
- GB/T 6462 金属氧化物覆盖层厚度测量 显微镜法
- 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 8923.2 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 9274 色漆和清漆 耐液体介质的测定
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 13288.1 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第1部分：用于评定喷射清理后钢材表面粗糙度的 ISO
- GB/T 13452.2 色漆和清漆 漆膜厚度的测定
- GB/T 13893.2 色漆和清漆 耐湿性的测定 第2部分：冷凝（在带有加热水槽的试验箱内暴露）
- GB/T 13912 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法
- 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通用要求

- GB/T 17731 镁合金牺牲阳极
- GB/T 17848 牺牲阳极电化学性能试验方法
- GB/T 18570.3 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 18570.6 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第6部分:可溶性杂质的取样 Bresle 法
- GB/T 18570.9 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第9部分:水溶性盐的现场电导率测定法
- GB/T 18838.1 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理用金属磨料的技术要求 导则 和分类
- GB/T 30648.2 色漆和清漆 耐液体性的测定 第2部分:浸水法
- GB/T 30786 色漆和清漆 腐蚀试验用金属板涂层划痕标记导则
- GB/T 30789.1 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的标识 第1部分:总则和标识体系
- GB/T 30789.2 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的标识 第2部分:起泡等级的评定
- GB/T 30789.3 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的标识 第3部分:生锈等级的评定
- GB/T 30789.4 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的标识 第4部分:开裂等级的评定
- GB/T 30789.5 色漆和清漆 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的评价 第5部分:剥落等级的评定
- GB/T 30789.6 色漆和清漆 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的评价 第6部分:胶带法评定粉化等级
- GB/T 30789.7 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的标识 第7部分:天鹅绒布法评定粉化等级
- GB/T 30789.8 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的标识 第8部分:划线或其他人造缺陷周边剥离和腐蚀等级的评定
- GB/T 30789.9 色漆和清漆 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化强度的评价 第9部分:丝状腐蚀等级的评定
- GB/T 30790.3 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 第3部分:设计依据
- GB 30981 工业防护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
- GB/T 31586.1 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 涂层附着力/内聚力(破坏强度)的评估和验收标准 第1部分:拉开法试验
- GB/T 35509 油气田缓蚀剂的应用和评价
- GB/T 37356 色漆和清漆 涂层目视评定的光照条件和方法
- GBZ 1 工业企业设计卫生标准
- CB 3220 船用恒电位仪技术条件
- HG/T 3668 富锌底漆
- HG/T 3792 交联型氟树脂涂料
- HG/T 4755 聚硅氧烷涂料
- JT/T 695-2007 混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件
- NB/T 10626 海上风电场工程防腐蚀设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

沿海和海上光伏场 coastal and offshore photovoltaic fields

建设在沿海和海上的光伏电站项目及其附属构筑物。

3.2

上部支架 upper support

在水体上安装光伏组件的支架系统。

3.3

设计适用年限 design life

设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的年限。

3.4

腐蚀 corrosion

因环境或技术体系方面原因而产生的一种金属和所处环境之间的物理、化学相互作用，导致金属性质的变化及功能的损伤。

3.5

腐蚀损坏 corrosion damage

因环境或技术体系方面原因而产生的，导致对金属的功能有损害的腐蚀结果。

3.6

腐蚀控制 corrosion control

通过采取各种手段，保护容易锈蚀的金属物品的，来达到延长其使用寿命的目的，通常采用化学、物理、电化学等腐蚀控制方法。

3.7

涂料保护 paint protection

将涂料涂布于物体表面，涂料在一定条件下形成致密的保护层，从而保护涂层内的材料不受腐蚀性物质的侵害。

3.8

涂层配套体系 coating system

被应用或将被应用到某种基材上提供防腐蚀保护的油漆或相关产品的总成。

3.9

过渡底漆 transition primer

直接涂到物体表面作为面漆坚实基础的涂料。

3.10

挥发性有机化合物 volatile organic compounds

在标准状态下具有较高饱和蒸气压（大于13.33 Pa）、低沸点、小分子量，且在常温下易于挥发的有机化合物。

3.11

金属涂层 metal coating

用喷镀法、电镀法或氧化法、烧蓝法、磷酸盐处理法以及其他方法涂装于制品的表面上。

3.12

热喷涂金属保护 thermal spray metal protection

利用热源将金属材料熔化、半熔化或软化，并以一定速度喷射到基体表面形成涂层的方法。

3.13

阴极保护 cathodic protection

通过降低腐蚀电位而达到的电化学保护。

3.14

牺牲阳极 sacrificial anode

靠着自身腐蚀速度的增加而提供电偶阴极保护的辅助电极。

3.15

牺牲阳极阴极保护 sacrificial anode 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。

3.16

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方法。

3.17

监测 monitor

为确定腐蚀控制工程全生命周期中某个系统、过程或活动（运行）状态进行的监视、检测活动。

4 总则

4.1 针对沿海和海上光伏的钢制支架等金属设备应采取有效防腐措施，包括涂层、牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护等措施。

4.2 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分布情况，采取相应的防腐蚀措施。

4.3 防腐系统设计使用年限宜考虑光伏组件设计使用年限，按照目前的工程经验和行业技术水平一般建议不宜小于 25 年。

4.4 本文件(所有部分)仅涉及设计用作力学结构材料，厚度不低于 3 mm 的碳钢或低合金钢制成结构的防腐蚀保护。

4.5 涂装、阴极保护等腐蚀控制技术的设计、施工单位应具备相应资质，施工设备应具有合格证明，腐蚀控制设计、施工、质量控制人员应经过专业培训。

5 腐蚀控制措施及分类

5.1 腐蚀控制措施

沿海及海上光伏组件根据不同的暴露环境、不同的部件以及全生命周期的不同阶段可采取材料选择、结构设计、腐蚀裕量、涂层保护、阴极保护、缓蚀剂、腐蚀监测等腐蚀控制措施。

5.1.1 材料选择

5.1.1.1 主体钢材的选择不应低于 GB/T 8923.1 中规定的 B 锈蚀等级。

5.1.1.2 焊接材料及螺栓、垫圈、节点板等连接构件的耐腐蚀性能不应低于主体材料。

5.1.2 结构设计

5.1.2.1 结构设计时不宜出现易使海水、雨水存留或其他腐蚀介质堆积的凹型结构，无法避免时应采取排水措施。

5.1.2.2 结构设计时不宜出现难以检查、维护的缝隙与死角，无法避免时应应对构件进行预涂装。

5.1.2.3 结构设计应符合 GB/T 30790.3 中规定。

5.1.3 腐蚀裕量

海上光伏钢结构的腐蚀裕量选取应符合 NB/T 10626 中 4.1 规定。

5.1.4 涂层保护

5.1.4.1 钢构件基材表面若采用热浸锌工艺，选用与其附着力好的过渡底漆。

5.1.4.2 涂层保护按照本文件中第 6 章执行。

5.1.5 阴极保护

阴极保护按照本文件中第 7 章执行。

5.1.6 缓蚀剂

缓蚀剂按照 GB/T 35509 中的第 7 章执行。

5.1.7 腐蚀监测

腐蚀监测按照本文件中第 8 章执行。

5.2 腐蚀控制分类

5.2.1 沿海及海上光伏机组应用领域的特征包括：

- a) 环境类型；
- b) 耐久类型；
- c) 表面类型；
- d) 结构类型；
- e) 工作类型。

5.2.2 环境类型

沿海及海上光伏机组内、外部暴露环境分为 3 个区域，分别为外部大气区、内部大气区、非大气区（包括外部飞溅和潮差区，内部潮差区、全浸和泥下区），以桩基固定式海上光伏机组为例，海上光伏环境分区及腐蚀环境类型示意图见图 1 所示。

- a) 外部大气区：飞溅区以上暴露于阳光、风、水汽、盐雾及雨中的部位，包括上部支架及飞溅区以上的基础部分，处于 C5（沿海）或 CX（海上）大气腐蚀环境；
- b) 内部大气区：飞溅区以上且不直接与海洋大气接触的部位，如密封支架内，处于 C3 或 C4 大气腐蚀环境；
- c) 非大气区：
 - 1) 外部飞溅和潮差区（或内部潮差区）：受潮汐、风和波浪（不包括大风暴）影响所致基础结构干湿交替的部位，处于 Im4 或 Im2 和 CX 腐蚀环境；
 - 2) 全浸和海泥区：飞溅区以下的部位，包括海中和海泥中两部分，处于 Im2、Im3 或 Im4 腐蚀环境。

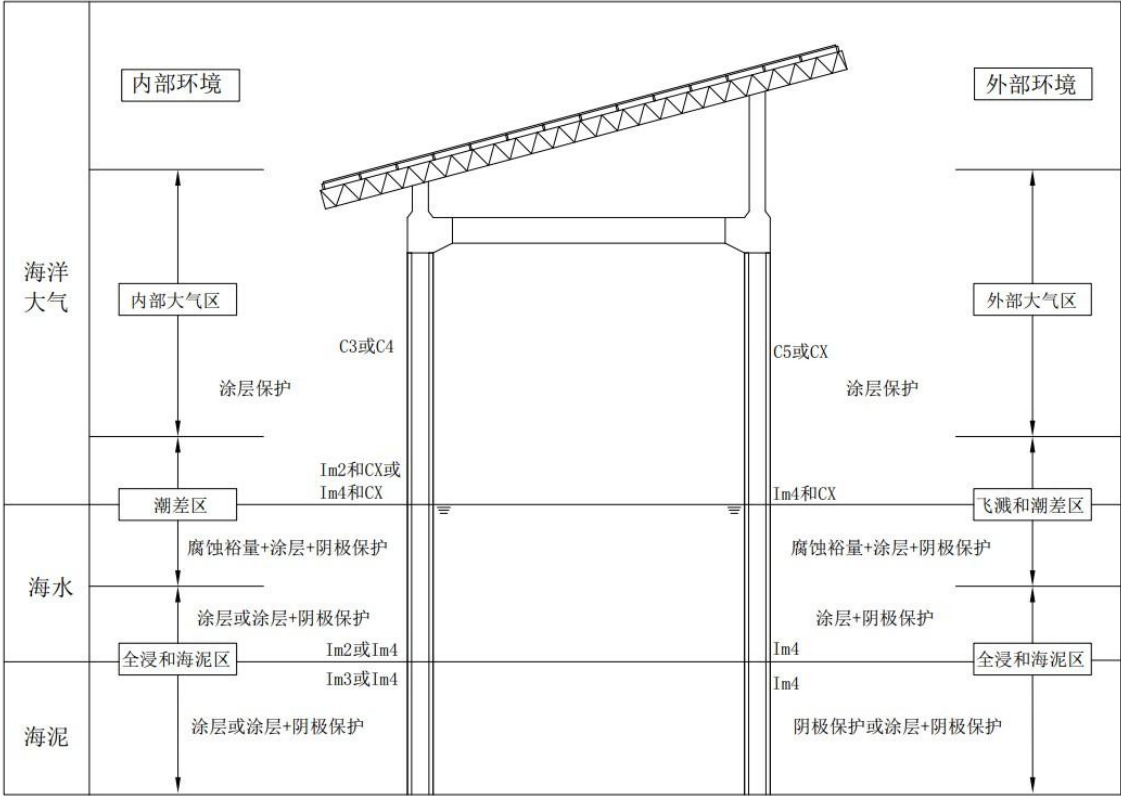


图 1 海上光伏环境分区及腐蚀环境类型示意图

5.2.3 耐久类型

主体结构腐蚀控制耐久性应不低于 25 年。

5.2.4 表面类型

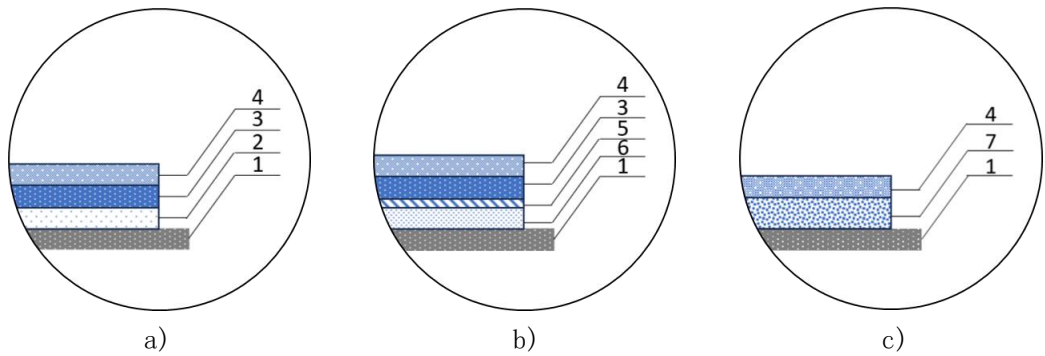
本文件适用于以下类型的碳素钢及低合金钢的表面以及混凝土表面：

- a) 无涂层表面；
- b) 金属涂层表面；
- c) 其他已涂漆表面。

5.2.5 结构类型

涂层配套体系结构分为以下 3 类：

- a) 底涂层+中间涂层+面涂层，见图 2 a) ；
- b) 金属涂层+过渡涂层+中间涂层+面涂层，见图 2 b) ；
- c) 底面合一涂层，见图 2 c) 。



标引序号说明:

- 1——钢基材;
- 2——底涂层;
- 3——中间涂层;
- 4——面涂层;
- 5——过渡涂层;
- 6——金属涂层;
- 7——底面合一涂层。

图 2 涂层结构示意图

5.2.6 工作类型

涂层保护的涂装阶段分为:

- a) 初始涂装: 新建光伏结构的初次涂装;
- b) 维修涂装: 光伏场在其运营全过程中对涂层进行的维修保养。

6 涂层保护

6.1 要求

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 沿海及海上光伏机组应综合水文地质、环境条件、结构特性、预期使用寿命、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)等选择合适的涂层保护体系。

6.1.1.2 选用的涂层材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)应不高于 420 g/L,其中有害溶剂含量限量应符合 GB 30981 规定;
- 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 规定。

6.1.1.3 当采取涂层与阴极保护相配合使用时,宜考虑涂层耐阴极剥离特性。

6.1.1.4 冰区海上光伏场结构的防腐蚀涂层宜提高抗冲击、耐磨性能要求。

6.1.2 施工单位和检测机构要求

6.1.2.1 施工单位

6.1.2.1.1 施工单位应具有防腐保温贰级及以上资质,具备保证工程安全、质量的能力。

6.1.2.1.2 施工人员应具备正确施工的能力。关键施工工序(喷射清理、喷漆、质检)施工人员应获得涂装中级工及以上证书。特种作业人员应具备相应资格。

6.1.2.2 检测机构

6.1.2.2.1 第三方检测机构应为独立于两个相互联系主体之外的机构。

6.1.2.2.2 第三方检测机构应具有国家级 CMA 和 CNAS 认证。

6.1.2.2.3 第三方检测机构提供的检测报告应配置电子二维码。

6.1.3 涂层体系

6.1.3.1 按照构件所处的暴露环境、底材材质、工况条件设计涂层配套体系。

6.1.3.2 较高防腐等级的涂层配套体系也适用于较低防腐等级的涂层配套体系，并可参照较低防腐等级的涂层配套体系设计涂层厚度。

6.1.3.3 钢结构、设备防护涂层体系的设计应符合表 1 规定，防护涂层体系性能应符合表 2 规定。

表 1 钢结构、设备防护涂层体系

单位为微米

暴露环境区域及腐蚀性等级	涂层体系			
	涂层体系编号	涂层类型	最低干膜厚度	最低总干膜厚度
外部大气区 (C5-沿海)	CS-01	热浸镀锌	50	290
		环氧连接漆	50	
		环氧厚浆中间漆	130	
		耐候型涂料 ^a	60	
	CS-02	环氧富锌底漆	60	320
		环氧厚浆中间漆	200	
		耐候型涂料 ^a	60	
	CS-03 ^e	厚浆型耐磨环氧涂料或环氧玻璃鳞片涂料	300	360
		耐候型涂料 ^a	60	
外部大气区 (CX-海上)	CS-04	热浸镀锌	50	330
		环氧连接漆	50	
		环氧云铁中间漆	150	
		耐候型涂料 ^a	80	
	CS-05	环氧富锌底漆	60	360
		环氧厚浆中间漆	220	
		耐候型涂料 ^a	80	
	CS-06 ^e	厚浆型耐磨环氧涂料或环氧玻璃鳞片涂料	400	460
		耐候型涂料 ^a	60	
内部大气区 (C4)	CS-07	环氧富锌底漆	60	260
		环氧厚浆漆	200	
	CS-08	热浸镀锌	50 ^b	
	CS-09 ^e	厚浆型耐磨环氧涂料或环氧玻璃鳞片涂料	300	300
内部大气区 (C3)	CS-10	环氧富锌底漆	60	200
		环氧厚浆漆	140	
	CS-11	热浸镀锌	50 ^b	
	CS-12 ^e	厚浆型耐磨环氧涂料或环氧玻璃鳞片涂料	240	240
非大气区（有阴极保护） (飞溅和潮差区 CX 和 Im4；全浸区和海泥区 Im4) ^d	CS-13	厚浆型耐磨环氧涂料或环氧玻璃鳞片涂料	800	860
		耐候型涂料 ^a	60	
非大气区（无阴极保护）	CS-14	聚酯玻璃鳞片涂料	1000	1060

暴露环境区域及腐蚀性等级	涂层体系			
	涂层体系编号	涂层类型	最低干膜厚度	最低总干膜厚度
(飞溅和潮差区 CX 和 Im2; 全浸区和海泥区 Im2) ^d		耐候型涂料 ^a	60	
a. 耐候性涂料可选用脂肪族丙烯酸聚氨酯面漆、聚硅氧烷面漆或氟碳面漆，可不用于全浸区。 b. 热浸镀锌层厚度应符合 GB/T 13912 中表 3 和表 4 规定。 c. 热浸镀锌和涂料复合涂层体系中总干膜厚度仅包括涂料的干膜厚。 d. 内部潮差区可不必涂装耐候型涂料面漆。 e. 该配套适用于桩基大气区内外防腐。				

表 2 防护涂层体系性能要求

单位为小时

环境区域	浸海水试验	耐湿性试验	中性盐雾试验	循环老化试验	阴极剥离试验
C3	—	480	720	—	—
C4	—	720	1440	1680	—
C5	—	—	—	2688	—
CX	—	—	—	4200	—
非大气区（有阴极保护）	4200	—	—	4200	4200
非大气区（无阴极保护）	4200	—	—	4200	—
浸海水试验后不生锈、不起泡、不开裂、不剥落，划线处腐蚀蔓延平均值 $M \leq 8.0$ mm。 凝露试验后不生锈、不起泡、不开裂、不剥落，允许轻微变色和失光。 中性盐雾试验后不生锈、不起泡、不开裂、不剥落，划线处腐蚀蔓延平均值 $M \leq 1.5$ mm。 循环老化试验后不生锈、不起泡、不开裂、不剥落，划线处腐蚀蔓延平均值：高冲击区域（如飞溅区等）的防护涂层体系，$M \leq 8.0$ mm；对于所有其它 C4、C5、CX 环境区域，对使用富锌底漆或镀锌的配套体系 $M \leq 3.0$ mm，对使用非富锌底漆的配套体系 $M \leq 8.0$ mm。 阴极剥离试验后，剥离面积的等效直径不应超过 20 mm。 浸海水、凝露、中性盐雾、循环老化试验前，防护涂层体系附着力 ≥ 5 MPa；浸水、凝露、中性盐雾、循环老化试验后，防护涂层体系附着力不应低于试验前附着力的 50%，且当附着力低于 5 MPa 时，基材（碳钢）与每一道漆之间不应出现附着破坏。 C4 防护涂层体系试验模式 1（耐湿性试验和中性盐雾试验）、试验模式 2（循环老化试验），可选一种或两种试验模式。 当海上光伏机组位于冰区时，应增加高冲击区域（如浪溅区等）防护涂层体系的抗低温冲击、耐磨测试					

6.1.4 涂层性能要求

- 6.1.4.1 涂料性能指标要求见附录A。
- 6.1.4.2 热浸镀锌性能指标要求应符合GB/T 13912。

6.1.5 工艺要求

6.1.5.1 表面处理

6.1.5.1.1 钢材表面预处理

钢结构在喷射清理除锈前应进行必要的结构预处理，包括。

- a) 粗糙焊缝打磨光滑，焊接飞溅物用刮刀或砂轮机除去。焊缝上深为 0.8 mm 以上或宽度小于深度的咬边(除封闭的内表面外)应补焊处理，并打磨光滑。
- b) 锐边用砂轮打磨成曲率半径为 2 mm 的圆角。
- c) 切割边的峰谷差超过 1 mm 时，打磨到 1 mm 以下。厚钢板边缘切割硬化层，用砂轮磨掉 0.3 mm。
- d) 表面层叠、裂缝、夹杂物，打磨处理，必要时补焊。

6.1.5.1.2 除油

表面油和油脂的清洁应采用溶剂或专用清洗剂和干净的抹布擦洗。

6.1.5.1.3 除盐分

经喷射清理后，检测钢板表面盐分，水溶性盐(相当于 NaCl)含量不大于 50 mg/m²。表面存在的盐分超标时应采用高压淡水冲洗。

6.1.5.1.4 除锈

除另有规定外，磨料、除锈等级、表面粗糙度要求如下：

- a) 喷射清理用金属磨料应符合 GB/T 18838.1 的要求；
- b) 根据表面粗糙度的要求，选用合适粒度的磨料；
- c) 环氧富锌底漆，钢材表面处理应达到 GB/T 8923.1 规定的 Sa2¹/₂ 级；
- d) 不便于喷射除锈的部位，手工或动力工具除锈至 GB/T 8923.1 规定的 St3 级；
- e) 热浸镀锌、不锈钢、铝合金表面需要涂装时，采用非金属磨料扫砂处理，也可采用动力工具或砂纸打磨拉毛处理。

6.1.5.1.5 除尘

喷射清理完工后，除去喷射清理残渣，使用真空吸尘器或无油、无水的压缩空气，清理表面灰尘。清洁后的喷射清理表面灰尘清洁度要求不大于 GB/T 18570.3 规定的 2 级。

6.1.5.1.6 表面处理后涂装的时间限定

当处理过的表面干燥且无油、无灰情况下，在无污染的情况下或者任何可见的表面损坏发生前（一般为 4 h），施工底漆作为防护。

6.1.5.2 涂装要求

6.1.5.2.1 施工环境要求

6.1.5.2.1.1 涂装环境符合以下要求：

- a) 工作环境的空气相对湿度不大于 85%；
- b) 基材表面温度至少高于露点 3℃；
- c) 周围环境温度宜在 5℃～38℃之间；
- d) 基材表面温度宜在 5℃～45℃之间；
- e) 潮湿表面只适用于涂料生产商产品数据手册中允许的或经批准的涂料类型；
- f) 施工环境温度（-5～5）℃，应采用低温固化产品或采取其它措施。

6.1.5.2.1.2 涂料配制和使用时间符合以下要求。

- a) 涂料应充分搅拌均匀后方可施工，宜采用电动或气动搅拌装置。对于双组分或多组分涂料，应先将各组分分别搅拌均匀后，再严格按比例混合并搅拌均匀。

- b) 混合好的涂料按照产品说明书的规定时间进行熟化。
- c) 涂料的混合使用期按产品说明书规定的适用期执行。
- d) 低温施工时，涂料混合和固化的温度应符合产品说明书的规定。

6.1.5.2.2 涂装工艺

6.1.5.2.2.1 涂装方法包括：

- a) 大面积喷涂宜采用高压无气喷涂施工；
- b) 焊缝、棱角沟槽、边角、流水孔等不易涂装的角落部位应采用刷涂或辊涂进行手工预涂处理，然后再大面积喷涂；
- c) 细长、小面积以及复杂形状构件可采用空气喷涂或刷涂、辊涂施工。

6.1.5.2.2.2 涂装间隔应符合以下规定：

- a) 按照设计要求和材料工艺进行底涂、中涂和面涂的施工；
- b) 每道涂层的涂装间隔时间应符合材料供应商的有关技术要求；
- c) 超过最大涂装间隔时间时，应进行表面拉毛处理后涂装。

6.1.5.2.2.3 现场末道面漆涂装应进行以下处理和检查：

- a) 对运输和装配过程中破损处进行修复处理；
- b) 采用淡水、清洗剂等对待涂表面进行清洁处理，除掉表面灰尘和油污等污染物；
- c) 试验涂层相容性与附着力，整个涂装过程中要随时注意涂装有无异常情况。

6.1.5.3 涂层要求

6.1.5.3.1 外观

涂层表面应平整、均匀一致，涂层应无漏涂、起泡、针孔、裂纹、返锈等异常现象，允许有轻微桔皮和局部轻微流挂。

6.1.5.3.2 干膜厚度

施工中随时检查湿膜厚度以保证干膜厚度满足设计要求。干膜厚度按表 1 设计的执行，涂层厚度达不到设计要求时，应增加涂装道数，直至合格为止。涂膜厚度测定点的最大值不能超过设计厚度的 3 倍。

6.1.5.3.3 附着力

涂层附着力测定应使用拉开法，涂层体系与底材的附着力及层间附着力平均值不低于 5 MPa，单个测定点最小值不小于 3 MPa。

注：附着力试验属于破坏性试验，其检测点的位置和数量应根据项目大小、涂层方案数量等因素严格控制。附着力测试完毕后，应按照相应的维修涂装工艺对涂层破坏点进行涂层维修。

6.1.5.3.4 漏点的测定

涂装完成且漆膜完全固化后，涂层应无漏点，如必要需按如下的规定进行漏点的检测：

- a) 当检测埋地或浸水环境下的涂层时，宜采用电火花检漏仪；
- b) 当涂层体系总干膜厚度小于 200 μm ，应采用低压检漏仪检测；
- c) 当涂层体系含金属颜料时，例如环氧富锌粉底漆、环氧铝粉底漆等，应采用低压检漏仪检测；
- d) 除另外商定外，漏点检验应符合本文件附录 B 中的规定执行。

6.1.5.4 维修涂装

6.1.5.4.1 涂膜劣化评定

涂层投入使用后,按照风电设施运行管理单位的规定定期检查,进行涂层劣化评定,评定方法依据 GB/T 30789.1、GB/T 30789.2、GB/T 30789.3、GB/T 30789.4、GB/T 30789.5、GB/T 30789.6、GB/T 30789.7、GB/T 30789.8、GB/T 30789.9。根据漆膜劣化情况,选择合适的维修或重涂方式。

6.1.5.4.2 维修涂装应符合以下要求:

- a) 当面漆出现 3 级以上粉化,且粉化减薄的厚度大于初始厚度的 50%,或由于外观要求时,彻底清洁面涂层后,涂装与原涂层相容的配套面漆;
- b) 当涂膜处于(2~3)级开裂,或(2~3)级剥落,或(2~3)级起泡,但底涂层完好时,选择相应的中间漆、面漆,进行维修涂装;
- c) 当涂膜发生大于 Ri2 锈蚀时,打磨处理和彻底清洁表面,涂装相应底漆、中间漆、面漆。

6.1.5.4.3 工艺要点应符合以下要求。

- a) 根据损坏的面积大小,钢结构外表面可分为以下两种重涂方式。
 - 1) 小面积维修涂装。先清理损坏区域周围松散的涂层,延伸至未损坏区域 50 mm~80 mm,并应修成坡口,表面处理至 Sa2 级或 St3 级,涂装低表面处理环氧涂料+面漆。
 - 2) 中等面积维修涂装。表面处理至 Sa2½ 级,涂装环氧富锌底漆+环氧(云铁)漆+面漆。
- b) 内表面维修或重新涂装底漆宜采用适用于低表面处理的环氧底漆,并宜采用浅色高固体分或无溶剂环氧涂料。
- c) 海洋腐蚀环境下的涂层修复先采用清洁剂、淡水等清洁后,再表面打磨粗糙和除锈处理。
- d) 处于干湿交替区的钢构件,在水位变动情况下涂装时,应选择表面容忍性好的涂料,并能适应潮湿涂装环境的涂层体系。
- e) 处于水下区的钢构件在浸水状态下施工时应选择可水下施工、水下固化的涂层体系。

6.2 试验方法

6.2.1 涂层配套体系

6.2.1.1 配套涂层体系样板制备好后,在温度(23±2)℃、相对湿度(50±5)%的标准试验环境条件下养护 14 d 后进行涂层性能测试。

6.2.1.2 拉开法附着力按 GB/T 5210 的规定进行。涂层试验前附着力测试的状态调节按 6.1.1 进行;涂层试验后附着力测试,试验后的样板均应在温度(23±2)℃、相对湿度(50±5)%的标准试验环境条件下状态调节 168 h 后测试。

6.2.1.3 耐海水性按 GB/T 30648.2 的规定进行。

6.2.1.4 耐湿性按 GB/T 13893.2 的规定进行。

6.2.1.5 耐盐雾性按 GB/T 10125 中性盐雾试验的规定进行。除另有商定外,试板投试前按 GB/T 30786 的规定在试板上划一条平行于试板长边的单线划痕,V 形切口,并划透至底材,划痕宽度 W 为 0.2 mm~1.0 mm。试验结束后划痕处的处理按 GB/T 10125 中 12.3.1 中 a) 进行。在 GB/T 37356 中规定的自然日光或人造日光下目视观察,检查试板划痕处底材腐蚀蔓延,同时检查试板未划痕区涂层破坏现象。

6.2.1.6 循环老化试验按 GB/T 31415 中附录 A 规定进行。

6.2.1.7 阴极剥离试验按 GB/T 7790 中方法 A 的规定进行。

6.2.1.8 涂层体系试验后,漆膜表面缺陷评判按 GB/T 1766 的规定进行。

6.2.2 表面处理

6.2.2.1 表面处理等级评判按照 GB/T 8923.1、GB/T 8923.2 进行。

6.2.2.2 表面粗糙度评判按照 GB/T 13288.1 进行。

6.2.2.3 表面油污检查可采用以下两种方法。

- a) 粉笔试验法(适用于非常光滑的钢结构表面):对于怀疑有油污污染的部位,用粉笔划一条直线贯穿油污区域。如果在该区域内,粉笔线条变细或变浅,说明该区域可能被油污污染。

- b) 醇溶液试验法(适用于所有钢结构表面):对于怀疑有油污污染的部位,用蘸有异丙醇的脱脂棉球擦拭,并将擦拭后的棉球中的异丙醇挤入透明玻璃管中,加入2倍~3倍的蒸馏水,振荡混合约20 min。以相同体积的异丙醇蒸馏水溶液为参照,如果溶液呈混浊状,表明钢结构表面有油污污染。

6.2.2.4 表面灰尘清洁度评判按 GB/T 18570.3 进行。

6.2.2.5 表面水溶性盐(相当于 NaCl)测定按 GB/T 18570.6 和 GB/T 18570.9 进行。当钢材确定不接触氯离子环境时,可不进行表面可溶性盐分的检测;当不能完全确定时,应进行首次检测。

6.2.3 现场涂层

6.2.3.1 涂层厚度

6.2.3.1.1 湿膜厚度按 GB/T 13452.2 中的 4.2.4 梳规或 4.2.5 轮规规定的方法进行测试。

6.2.3.1.2 干膜厚度按 GB/T 13452.2 进行测试。

6.2.3.2 涂层附着力

涂料涂层附着力按 GB/T 31586.1 进行。

6.3 检验规则

6.3.1 取样

6.3.1.1 产品按 GB/T 3186 规定取样,也可按商定方法取样。取样量根据检验要求确定。现场取样应使用专用的样品取样罐。确保现场取样罐的清洁,没有灰尘、水等杂质。

6.3.1.2 抽检的产品包装完整,标志清晰。

6.3.1.3 采用电动或气动搅拌装置,确保抽检产品均匀一致。

6.3.2 检验项目

6.3.2.1 除另有规定外,进场涂料抽检项目按涂料生产商企业标准进行抽检。

6.3.2.2 现场涂层检测项目按照 6.1.5.3 执行。

6.3.3 判定原则

6.3.3.1 型式检验包括涂层配套体系性能检测的全部项目,应由涂料供应商提供符合 6.1.2.2 的检测机构出具涂层性能的合格的检测报告。

6.3.3.2 进场时,涂料生产商应提供满足企业标准的合格证书。

6.3.3.3 抽检时,结果全部符合要求的为合格,检测结果有一项及以上指标不符合要求时,可对不符合要求的项目进行复检,复验结果仍不符合要求的,则判该批产品为不合格。

7 阴极保护

7.1 一般规定

7.1.1 阴极保护可采用外加电流法或牺牲阳极法。

7.1.2 避免对相邻结构物造成干扰。

7.1.3 新建光伏设备的阴极保护设计、施工应与结构的设计、施工同时进行。

7.1.4 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。

7.1.5 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。

7.1.6 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、使用寿命长和适用海底介质等特性。参比电极主要技术性能可参考 GB/T 7387。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。参比电极的布置位置应能全面反映保护电位。

7.1.7 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。

7.2 保护电位

7.2.1 钢、铸铁构件等组成的设备或系统，保护电位应在-0.80 V~-1.00 V 之间（相对于银/氯化银参比电极，下同）。

7.2.2 高强度（屈服强度不小于 700 Mpa）保护电位应在-0.80 V~-0.95 V 之间。

7.3 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、海水流速及水质状况等因素有关，设计时按照下表选取保护电流密度，如表 3。

表 3 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

7.4 电连续性技术要求

7.4.1 钢结构各部件之间应实现电连接，接触电阻小于 0.1 Ω。

7.4.2 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。

7.4.3 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。

7.5 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。

7.6 牺牲阳极阴极保护系统

7.6.1 材料的选择

7.6.1.1 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、GB/T 17731 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。

7.6.1.2 对于不同电阻率的淡海水介质，应按照 GB/T 16166 的规定选用适合的阳极。

7.6.1.3 对于海洋渔业区和其他有水质要求的区域宜选用低锌铝阳极。

7.6.2 保护计算

7.6.2.1 牺牲阳极规格可在国标规定的型号中选取，亦可根据业主要求重新设计。

7.6.2.2 保护电流、阳极接水电阻、单只阳极发生电流、牺牲阳极使用寿命、牺牲阳极数量计算参照相关规定。

7.6.3 验收、贮存及安装

- 7.6.3.1 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学性能测试报告。
- 7.6.3.2 牺牲阳极应贮存在库房内，防潮、防水，阳极工作表面保持清洁，不应沾染油污。
- 7.6.3.3 牺牲阳极的安装应采用焊接固定方式，安装应牢固可靠，因安装造成的涂层破损应等质量修补。

7.7 外电流阴极保护系统

7.7.1 系统组件技术要求

7.7.1.1 直流电源符合下列要求：

- a) 宜选用恒电位仪；
- 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。

7.7.1.2 辅助阳极符合下列要求。

- 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 7.1.6 的要求。

7.7.1.3 参比电极符合下列要求。

- 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 E。
- 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 7.1.6 的要求。

7.7.1.4 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 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。

7.7.2 系统设计

7.7.2.1 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 F 的式 (F. 1)；
- b) 保护电流密度选取见 7.3。

7.7.2.2 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 F.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。

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

7.7.2.4 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。

7.7.3 阴极保护系统的安装

7.7.3.1 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 7.4 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。

7.7.3.2 绝缘性能应符合下列要求：

结构物绝缘性能应满足 7.5 的要求。

7.7.3.3 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) 不应阳极、参比电极与任何金属构件发生短路。

7.7.3.4 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。

7.7.3.5 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。

7.7.3.6 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。

7.8 系统记录 and 文件

7.8.1 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。

7.8.2 安装和运行报告应包括以下内容：

- a) 工程整体描述、工程参与者和系统设计、监理、试运行负责人及职责；
- b) 有关安装和试运行的施工说明、规范、图纸以及设计计算书。

7.9 运行和维护

7.9.1 运行和维护手册

运行和维护手册应包括以下内容：

- a) 主要部件清单、竣工图纸以及设计计算书；
- 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。

7.9.2 运行和维护程序

7.9.2.1 运行和维护程序符合以下要求：

- a) 运行、维护检查、测试周期应按照系统要求和维护手册进行；
- b) 有数据采集的阴极保护系统，可减少现场测量频次。

7.9.2.2 日常检查程序应包括以下内容：

- a) 牺牲阳极寿命评估；
- b) 测量保护电位；
- c) 涂层状况评估。

8 腐蚀监测

8.1 监测传感器

8.1.1 基本要求

8.1.1.1 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。

8.1.1.2 可使用参比电极测量金属表面电位来判断系统的性能。

8.1.1.3 电流密度探头、保护度探头等也可与参比电极配合使用。

8.1.2 参比电极

宜采用银氯化银和高纯锌复合参比电极。

8.2 监测设备

8.2.1 数字仪表

8.2.1.1 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 。

8.2.1.2 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 $\pm 1\%$ 。

8.2.2 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 2000 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。

8.3 监测数据管理系统

8.3.1 数据管理系统应能对阴极保护效果的数据和文件进行处理。

8.3.2 处理内容应至少包括下列信息：

- a) 传感器类型和位置;
- b) 运行数据;
- c) 事件记录(如检查日期、系统运行的变化等)。

9 安全、卫生 and 环境保护

9.1 一般规定

防腐蚀工程的施工应符合国家有关规范、法规对环境保护的要求并应有妥善的劳动保护和安全防范措施。

9.2 安全、卫生

9.2.1 工作场所基本卫生要求应符合 GBZ 1。

9.2.2 作业前, 应进行安全技术交底及安全教育, 根据作业风险制定相应的安全预案。

9.2.3 正确选择和使用个人防护装备, 按要求定期对个人防护装备进行检测。

9.2.4 作业前, 应了解天气情况。如雷雨天气不应出海作业, 雷雨天气结束后 1 h 内不应靠近机组。

9.2.5 高空作业前, 应指定至少一名监护人在现场监护工作, 监护人员和作业人员共同对现场环境进行安全风险监测, 排除安全隐患。

9.3 环境保护

在海上光伏设施作业过程中, 应遵守《中华人民共和国海洋环境保护法》的相关规定。

10 完工验收

10.1 表面处理

10.1.1 粗糙度检查

除另有规定外, 磨料、除锈等级、表面粗糙度要求如下:

- a) 喷射清理用金属磨料应符合 GB/T 18838.1 的要求;
- b) 根据表面粗糙度的要求, 选用合适粒度的磨料;
- c) 热喷锌、喷铝, 钢材表面处理分别应达到 GB/T 8923.1 规定的 Sa3 级;
- d) 有机涂层底漆, 钢材表面处理应达到 GB/T 8923.1 规定的 Sa2¹/₂~Sa3 级;
- e) 不便于喷射除锈的部位, 手工或动力工具除锈至 GB/T 8923.1 规定的 St3 级。

10.1.2 清洁度检查

10.1.2.1 喷射清理完工后, 除去喷射清理残渣, 使用真空吸尘器或无油、无水的压缩空气, 清理表面灰尘。

10.1.2.2 清洁后的喷射表面灰尘清洁度要求不大于 GB/T 18570.3-2005 规定的 3 级。

10.1.3 盐分检查

经喷射清理后, 检测钢板表面水溶性盐含量, (CX)/Im4 环境下水溶性盐 (相当于 NaCl) 含量不大于 50 mg/m²。表面存在的盐分超标时应采用高压淡水冲洗。

10.1.4 表面处理后涂装的时间限定

当处理过的表面干燥且无油、无灰的情况下, 应立即喷涂预处理车间底漆作为钢材的短期防护。二

次表面处理在无污染的情况下或者任何可见的表面损坏发生前（一般为 4 h），施工底漆作为防护。

10.2 涂料保护

10.2.1 实验室涂层体系性能检测应符合下列规定：

- 耐盐水性性能试验按 GB/T 9274 的规定进行；
- 耐湿热性能试验按 GB/T 1740 的规定进行；
- 耐盐雾性能试验按 GB/T 10125 中性盐雾试验的规定进行；
- 耐老化性能试验按 GB/T 1865 的规定进行；
- 附着力试验按 GB/T 5210 的规定进行。

10.2.2 现场检测

10.2.2.1 对每道涂层的所有表面需目视检查涂层的外观。

10.2.2.2 涂层干膜厚度应符合以下规定：

- 连续涂装的表面作为一个检测区域；
- 检测区域内的测点数量应满足表 2 的要求，在难以施工的区域应适当增加测点数量，测点位置应均匀分布在整個检测区域内；
- 如果某测点的干膜厚度低于设计干膜厚度的 80% 或大于规定的最大干膜厚度或大于设计干膜厚度的 3 倍（未规定最大干膜厚度），在距该测点 10 mm 以内的地方重复测量一次，用第二次测量结果作为该测点的干膜厚度；
- 检测区域内允许的重复测量次数应满足表 4 的要求。

表 4 监测区域内的测点数量和重复测量次数要求

测试区域面积/长度 m^2/m	最少测点数量/个	检测区域内允许重复测量的最大次数/次
≤ 1	5	1
1~3	10	2
3~10	15	3
10~30	20	4
30~100	30	6
> 100	每增加 100 m^2 或 100 m 或一个构件，增加 10 个测点	最少测点数量的 20%

10.2.2.3 涂层附着力应符合下列规定：

- 如有需要可进行涂层附着力测量，按 ISO 16276-1 的规定进行；
- 附着力可在结构物上测量，也可在同条件下制作的试件上测量，需经各方协商同意；
- 在结构物上测量时，检测区域内有效测点数量应满足表 4 的要求，测点位置应具有代表性；
- 测量试件的尺寸至少为 100 mm×100 mm×10 mm；试件数量应满足表 5 规定的测点数量要求；
- 附着力测量是破坏性的，在结构物上测量时，应对测量处进行涂层修复。

表 5 检测区域内有效测点数量

检测区域面积/ m^2	最少有效测点数量/个
≤ 1000	每 250 m^2 设 3 个
> 1000	12 个，每增加 1000 m^2 增加 1 个测点

10.3 热喷涂保护

10.3.1 热喷涂材料性能

为了评价一种热喷涂材料，可在供应商和用户间安排一次喷涂性能试验。

10.3.1.1 热喷涂涂层外观

对所有热喷涂涂层表面需进行目视外观检查，热喷涂涂层表面应均匀一致，无气孔或基体裸露的斑点，没有附着不牢的金属熔融颗粒和影响涂层使用寿命的缺陷。

10.3.1.2 热喷涂涂层厚度符合以下规定。

- a) 涂层厚度宜采用磁性法测量。必要时可采用横截面显微镜法。磁性法按 GB/T 4956 的规定进行，横截面显微镜法按 GB/T 6462 的规定进行。
- b) 涂层有效面积在 1 m^2 以上时，应在一个面积为 10 m^2 的基准面上测量 10 次，取其算术平均值为该基准面的局部厚度，测点分布见图 1；角钢、槽钢等杆形构件涂层有效面积在 $1\text{ cm}^2\sim 1\text{ m}^2$ 时，应在一个面积为 1 cm^2 的基准面上测量 3 次，取其算术平均值为该基准面的局部厚度。在 10 cm^2 基准面内测量点的分布见图 3。

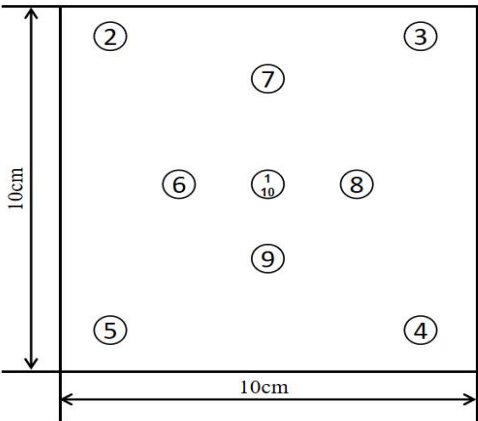


图 3 在 10 cm^2 基准面内测量点的分布

- c) 为了确定热喷涂涂层的最小局部厚度，应在涂层厚度可能最薄的部位进行测量。
- d) 基准面数量的确定应使基准表面的总面积不小于有效表面面积的 5%，基准表面应均匀分布在整个有效表面上。

10.3.1.3 热喷涂涂层结合强度

热喷涂涂层结合强度可按照附录 C 进行定性检测，也可按照 ISO 16276-1 进行定量检测。

10.3.2 阴极保护

牺牲阳极的化学成分和电化学性能应符合 GB/T4948、GB/T4950、GB/T17731，检验程序参考 GBT 17848。

附录 A
(规范性)
涂料性能要求和试验方法

A.1 环氧富锌底漆的性能要求见表(A.1)。

表 A.1 环氧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		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—2020 中 5.4.6
适用期/h		≥ 2	HG/T 3668—2020 中 5.4.7
施工性		施工无障碍	HG/T 3668—2020 中 5.4.8
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		≥ 6	GB/T 5210
耐盐雾性(800h)		划痕处单向扩蚀 ≤ 2.0 mm，未划痕区 不起泡、不生锈、不开裂、不剥落	GB/T 10125

A.2 环氧厚浆中间漆性能要求见表(A.2)。

表 A.2 环氧厚浆中间漆性能要求

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/%		≥ 80	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
---------	----------	-----------

A.3 厚浆型耐磨环氧涂料、环氧玻璃鳞片涂料和聚酯玻璃鳞片涂料性能要求见表（A.3）。

表 A.3 厚浆型耐磨环氧涂料、环氧玻璃鳞片和聚酯玻璃鳞片涂料性能要求

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/%		≥ 80	GB/T 1725
干燥时间/h	表干	≤ 4	GB/T 1728
	实干	≤ 24	
附着力/MPa		≥ 8	GB/T 5210
弯曲试验/mm		2	GB/T 6742
耐冲击性/cm		50	GB/T 1732
耐磨性/mg (CS-10, 1 000 g/1 000 r)		≤ 100	GB/T 1768
抗氯离子渗透性 mg/(cm ² ·d)		$\leq 5.0 \times 10^{-3}$	JT/T 695-2007 附录 B.2

A.4 环氧连接漆性能要求见表（A.4）。

表 A.4 环氧连接漆性能要求

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/%		≥ 60	GB/T 1725
干燥时间/h	表干	≤ 2	GB/T 1728
	实干	≤ 12	
附着力/MPa		≥ 5	GB/T 5210, 热浸锌基材

A.5 耐候面漆技术指标见表（A.5）。

表A.5 耐候面漆技术指标

序号	项目	技术指标			测试方法
		聚氨酯面漆	氟碳面漆	聚硅氧烷面漆	
1	不挥发分含量/%	≥ 65	≥ 50	≥ 75	GB/T 1725
2	细度/ μm	≤ 35			GB/T 1724

3	溶剂可溶物氟含量 /%		—	≥ 24	—	HG/T 3792-2014 附录 A
4	基料中硅氧键含量 (全漆)/%		—	—	≥ 15	HG/T 4755-2014 附录 A
5	干燥时间/h	表干	≤ 2			GB/T 1728-2020 乙法
		实干	≤ 24			GB/T 1728-2020 甲法
6	附着力(拉开法)/MPa		≥ 5			GB/T 5210
7	人工加速老化(氙灯)		1000 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	3000 h 不起泡、不开裂、不脱落, 允许 2 级变色、2 级失光和 2 级 粉化		GB/T 1865

附 录 B
(规范性)
漏点检验方法

- B.1 漏点检验前，涂层表面应干燥。
- B.2 采用电火花检漏仪检测时，涂层的检漏电压应为 $4V/\mu m$ 。连续检测时，检漏电压应每 4 h 校正一次。检查时，探头应接触涂层表面，探头移动速度宜为 0.2 m/s 。
- B.3 采用低压检漏仪检测时，宜采用低压湿海绵法进行漏点检验，检漏时电解液距金属裸露面的距离不应小于 13 mm，检漏电压宜为 9 V。
- B.4 涂层应全部进行漏点检验，检验出的漏点应进行补涂。应将漏点周围至少 50 mm 范围内的涂层用砂轮或砂纸打毛，然后涂刷涂料至符合要求。固化后应再次进行漏点检验直至合格。

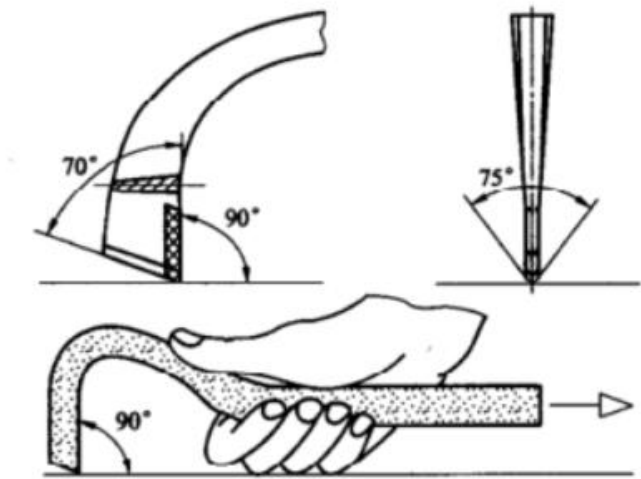
附录 C
(规范性)
热喷涂涂层结合强度检测方法

C.1 原理

将涂层切断至基体，使之形成具有给定尺寸的方形格子，涂层不应产生剥离。

C.2 装置

具有硬质刃口的切割工具，其形状如图C.1所示。



图C.1 切割工具

C.3 操作

操作应遵循：

- a) 使用 C.1 规定的道具，切出表 C.1 中规定的格子尺寸；
- b) 切痕深度，要求应将涂层切断至基体金属；
- c) 切割成格子后，采用供需双方协商认可的一种合适粘胶带，借助一个辊子施以 5N 的载荷将粘胶带紧压在这部分的涂层上，然后沿垂直涂层表面方向快速将粘胶带拉开；
- d) 如不能使用此法，则测量涂层结合强度的方法应取得供需双方同意。

表C.1 格子尺寸

覆盖格子的近似表面/mm×mm	涂层厚度/mm	划痕之间的距离/mm
15×15	≤200	3
25×25	大于 200	5

C.4 检测结果

无涂层从基体上剥离或每个方格子的一部分涂层仍然粘附在基体上，并损坏发生在涂层的层间而不是发生在涂层和基体交界处，则认为合格。

附录 D
(规范性)
牺牲阳极计算方法

D.1 阳极型号选择

D.2 阳极具体设计

根据式 (D.1) 计算总的保护电流。

$$I_2 = i_2 \times S_2 \quad (\text{D.1})$$

式中：

i_2 ——牺牲阳极保护电流密度，根据阳极型号选择决定；

S_2 ——需要牺牲阳极系统保护的面积；

I_2 ——所需保护电流，单位为安培 (A)。

D.3 阳极用量计算

阳极的用量按式 (D.2) 计算：

$$W = \frac{8760 \times t \times I_m}{Q \times \frac{1}{K}} \quad (\text{D.2})$$

式中：

W_2 ——牺牲阳极用量，单位为千克 (kg)；

t_2 ——设计保护年限，单位为年 (a)；

I_m ——平均维持电流值，单位为安培 (A)， $I_m=0.9I_2$ ；

Q_2 ——牺牲阳极的实际电容量，单位为安时每千克 (Ah/kg)；根据阳极型号确定。

$1/K_2$ ——牺牲阳极有效利用系数，通常取 0.8。

附录 E
(资料性)

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 E. 1。

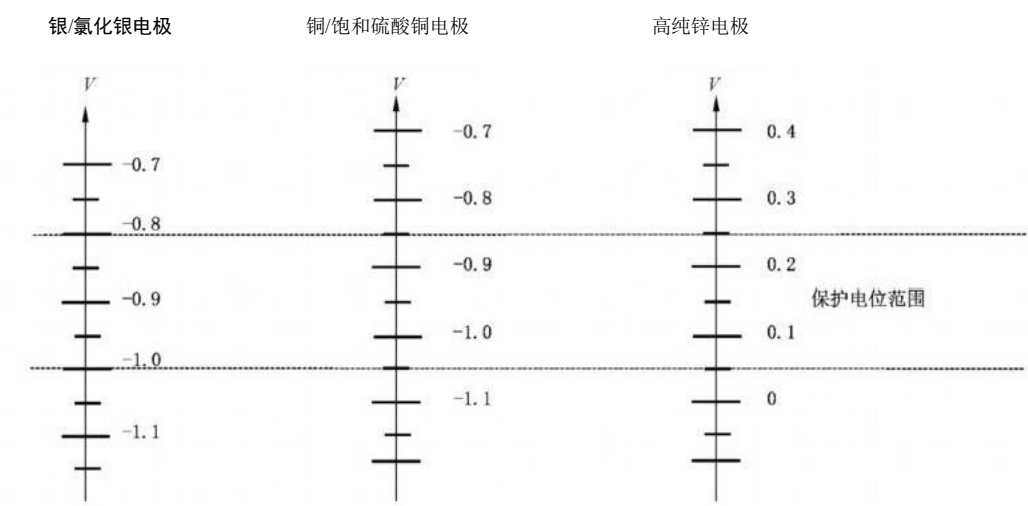


图 E. 1 不同参比电极测定钢在海水中的保护电位及对应关系图

附录 F
(资料性)
外加电流阴极保护的设计计算

F.1 保护电流计算

保护电流按式 (F.1) 计算：

$$I = \sum i_i S_i \tag{F.1}$$

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)。

F.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 F.1。

表 F.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	2000	500C~100C	6	20~40
铂/钛	2000	500	6	20~40
钛基金属氧化物	1000	500	3~5	20~40

附录 G
(资料性)
直流电源的设计计算

G.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 (G.1) 计算:

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

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。

G.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 (G.2) 计算:

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

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 (G.3) 计算:

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

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 ($\Omega \cdot \text{cm}$)。

G.3 直流电源额定功率计算

直流电源额定功率计算按式 (G.4) 计算:

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

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。

参 考 文 献

- [1] GB/T 470-2008 锌锭
- [2] GB/T 1731-2020 漆膜、腻子膜柔韧性测定法
- [3] GB/T 3190-2020 变形铝及铝合金化学成分
- [4] GB 6514-2008 涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化
- [5] GB/T 6739-2022 色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度
- [6] GB/T 6753.3-1986 涂料贮存稳定性试验方法
- [7] GB/T 10834-2008 船舶漆耐盐水性的测定 盐水和热盐水浸泡法
- [8] GB/T 12608-2003 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
- [9] GB/T 17850.1-2017 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理用非金属磨料的技术要求 第1部分：导则和分类
- [10] GB/T 30790.2-2014 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐保护 第2部分：环境分类
- [11] GB/T 30790.6-2014 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐保护 第6部分：实验室性能测试方法
- [12] GB/T 31817-2015 风力发电设施防护涂装技术规范
- [13] JTS 153-2015 水运工程结构耐久性设计标准
- [14] NB/T 31006-2011 海上风电场钢结构防腐技术标准