

《海上光伏钢结构防腐技术规程》 编制说明

《海上光伏钢结构防腐技术规程》标准编制工作组

二〇二四年七月

1. 国内外情况

目前，海上光伏钢基和支架的防腐措施主要包括以下几种：

(1) 阴极保护法：通过在光伏支架、钢基表面施加电流，使光伏支架、钢基等钢结构成为阴极，从而减缓腐蚀的发生。此方法可在牺牲阳极保护法和外加电流阴极保护法两种方式中选择

(2) 防腐涂层法：在钢基及支架表面涂上具有防腐功能的涂层，通过涂层的交联密度、屏蔽性、耐化学性和耐候性设计，提高涂层对钢结构的保护作用。如部分项目采用镀锌和石墨烯复合涂层技术，该技术在新的阴极保护技术原理基础上，纯碳本征石墨烯激活高纯度锌，对光伏支架基材形成长效的阴极保护，防护年限超过 25 年，是海洋浸没区和浪溅区的良好保护方案。

(3) 复合防腐方法：结合阴极保护法和防腐涂层法的优点，在不同的位置和情况下采用不同的方法或者二者搭配使用，从而对钢结构进行有效防护。

(4) 选择不锈钢材质的支架或者钢基也是一种有效的耐海水防腐措施，如 316、316L 等，但成本相对较高。

T/CSIQ8010-2018 标准规定了钢制太阳发电站支架部位的防腐处理。但该标准主要针对陆上光伏产品，并未针对海洋工况进行特别说明，此外，该标准仅涉及涂层技术，未包含阴极保护防腐技术相关要求。

2. 研究目的及意义

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，本标准拟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，主要包含各组件的涂层防腐技术要求；阴极保护技术要求；腐蚀监测系统技术要求；各产品施工、检验及验收要求等技术规范，从而规范防腐产品的技术指标，提升防腐产品的可靠性。

3. 主要研究内容和规程框架设计

本标准主要规定了海上光伏支架及桩基础的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、联合防腐方法及相关技术要求以及防腐蚀监测系统的技术要求。

本标准适用于全浸在海水或埋设在海底泥下的光伏支架等钢结构的防腐设计、施工和验收。

从标准适用范围、规范性引用文件、术语和定义、基本要求、柔性支架结构及基础设计、防腐等几个方面进行设计。具体内容见标准大纲，初步框架设计如下：

前言

引言

1 范围

2 规范性引用文件

3 术语和定义

4 总则

5 腐蚀控制措施及分类

5.1 腐蚀控制措施

5.2 腐蚀控制分类

6 涂层保护

6.1 要求

6.2 试验方法

6.3 检验规则

7 阴极保护

6.1 一般规定

7.2 保护电位

7.3 保护电流密度

7.4 电连续性技术要求

7.5 电绝缘装置技术要求

7.6 牺牲阳极阴极保护系统

7.7 外电流阴极保护系统

7.8 系统记录 and 文件

7.9 运行和维护

8 腐蚀监测

8.1 监测传感器

8.2 监测设备

8.3 监测数据管理系统

9 安全、卫生 and 环境保护

9.1 一般规定

9.2 安全、卫生

9.3 环境保护

10 完工验收

10.1 表面处理

10.2 涂料保护

10.3 热喷涂保护

附录 A (规范性) 涂料性能要求和试验方法

附录 B (规范性) 漏点检验方法

附录 C (规范性) 热喷涂涂层结合强度检测方法

附录 D (规范性) 牺牲阳极计算方法

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

附录 F (资料性) 外加电流阴极保护的设计计算

附录 G (资料性) 直流电源的设计计算

参考文献

4. 主要工作过程

2023 年 12 月，标准正式立项，成立标准编制组。

2024 年 4 月，召开标准启动会，对标准起草工作按工作内容、时间进度进行了安排部署。

2024 年 5-6 月份，标准编制组针对标准框架、标准定位、技术内容进行多次内部研讨，针对海上光伏钢结构防腐措施及分类、涂层保护、腐蚀监测等关键要素进行细致分析，对要点内容进行一一研讨，完成了《海上光伏钢结构防腐技术规程》征求意见稿。

在征求意见稿的基础上，完成意见征集、稿件修改工作，2024 年 8 月，计划完成《海上光伏钢结构防腐技术规程》送审稿。送审稿经过专家审查后，编制组根据专家意见与建议对送审稿作进一步修改与完善，拟定 2024 年 10 月形成报批稿，拟定 2024 年 12 月发布。

5. 与现有标准、制定中标准的协调配套情况

防腐涂层及阴极保护技术领域已有部分国内及国际标准，如 GB/T31972 海上浮式生产储存设备腐蚀防护、GB/T33314 腐蚀控制工程生命周期通用要求、DNV-RP-B401 阴极保护设计等。目前，国外海上光伏项目的应用较少，尚未制定专门的防腐技术规范，国内方面仅中国检验检疫学会发布的 T/CSIQ8010-2018 标准规定了钢制太阳能发电站支架部位的防腐处理。但该标准主要针对陆上光伏产品，并未针对海洋工况进行特别说明，此外，该标准仅涉及涂层技术，未包含阴极保护防腐技术相关要求。综上所述，目前国内未见有针对海上光伏的钢结构物防腐的规范和标准。

6. 与其他行业或领域的关系及跨行业、跨领域的协调情况

本标准属于防腐技术规范，不涉及具体的产品制造及检验相关内容，所采用的具体产品需参照相应的国家标准。如采用的牺牲阳极应参照 GB/T4948 铝合金牺牲阳极，GB/T4950 锌合金牺牲阳极等，采用的参比电极应参照 GB/T7387 船

用参比电极技术条件。相关内容详见标准的规范性引用文件。

7. 标准对产业发展的支撑作用及解决的主要问题

中国是目前全球最大的能源消费国，在所有的能源消费中，化石能源消费占比达到 85%。中国的能源禀赋是“富煤缺油少气”，其化石能源消耗中占比最大的是煤炭，这就造成了中国的 CO₂ 排放问题，2022 年 CO₂ 排放量达到了 121 亿吨，占全球总排放量的 32.88%，“双碳”目标的实现面临较大压力。中国的石油和天然气对外依存度分别达到了 70%和 40%，对我国的能源安全造成了巨大的挑战。在这样的大背景下，中国的能源结构调整势在必行，必须发展多元化的能源结构。清洁能源在“替煤减碳”过程中发挥着重要作用，尤其是风能、太阳能等可再生能源。

近年来，随着双碳目标的提出，清洁能源相关产业有了长足的发展。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。我国大陆各地区的太阳能年辐射总量约 5×10^{16} MJ，相当于 24000 亿吨煤。丰富的太阳能资源为我国开发利用太阳能创造了有利条件，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，本标准拟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，主要包含各组件的涂层防腐技术要求；阴极保护技术要求；腐蚀监测系统技术要求；各产品施工、检验及验收要求等技术规范，从而规范防腐产品的技术指标，提升防腐产品的可靠性。

8. 与国际标准（国外先进标准）的对比分析及采用国际标准（国外先进标准）的情况

海上光伏设备在国外的应用较少，国外组织未针对海上光伏设备制定专门的防腐技术规范。DNV-RP-B401 对阴极保护设计进行了比较详细的规定，但未专门针对海上光伏系列产品的防腐进行说明，也不包含涂层及腐蚀检测方面的内容。BS EN 12496 海水和海泥中牺牲阳极保护规定了海上和海泥中牺牲阳极的用量，但同样未针对海上光伏产品进行说明，不包含其他防腐产品。涂层本标准在制定过程中没有查询到相应的国际、国外标准，因此没有采标。

9. 涉及国内外专利及处置情况

本申报标准属于防腐技术规范，所采用的技术均为成熟产品，不涉及专利问题。

10. 其他需要说明的情况

提出单位相关业绩情况如下：

山东电力工程咨询院有限公司成立于 1958 年，是山东省首家具有全国最高资质等级“工程设计综合甲级”单位，在全国电力勘察设计行业率先同时拥有国内外百万千瓦级超超临界火电、特高压输变电、中国三代核电工程、海上光伏 EPC 总承包业绩，同时也是国家高新技术企业、山东省电力勘测设计协会会长单位。