

Analysis of Anticorrosion Methods of Offshore Wind Power Facilities

Jinpeng Mao Wulei Dong

Zhongtian Ocean System Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226010, China

Abstract

With the development of The Times, the social demand for electricity is constantly increasing, coupled with the need for environmental protection, the development of wind power this clean energy is very rapid. As an important part of wind power, offshore wind power facilities generally operate at sea, and due to strong sea winds, their power generation efficiency is also high. However, offshore wind power facilities will be eroded by seawater, and corrosion of equipment will occur, which will affect the function of wind power facilities and even cause safety risks. Therefore, it is necessary to anti-corrosion treatment for offshore wind power facilities. This paper starts with the offshore wind power facilities, analyzes the corrosion causes and hazards of the offshore wind power facilities, and then integrates the relevant data to formulate targeted anti-corrosion methods to ensure the function of the wind power facilities.

Keywords

offshore wind power facilities; seawater erosion; anticorrosion treatment; quality control

海上风电设施的防腐方法分析

冒金鹏 董吴磊

中天海洋系统有限公司, 中国 · 江苏 南通 226010

摘 要

随着时代的发展, 社会对于电力的需求不断提升, 再加上环境保护的需要, 风电这种清洁能源的发展就十分迅速。海上风电设施作为风电的重要一环, 一般在海上进行作业, 由于海风较强, 其发电效率也较高。然而海上风电设施会受到海水的侵蚀, 出现设备腐蚀状况, 影响风电设施的功能, 甚至造成安全隐患, 所以针对海上风电设施的防腐处理就十分必要。论文从海上风电设施入手, 分析海上风电设施的腐蚀成因以及危害, 然后综合相关数据, 制定针对性地制定防腐方法, 保证风电设施的功能。

关键词

海上风电设施; 海水侵蚀; 防腐处理; 质量控制

1 引言

海上风电设施作为承担电力生产的设施, 一般规模较大而且较为复杂, 面对海上复杂的气候环境, 风电设施很容易受到海水侵蚀的影响, 出现腐蚀状况, 影响设备的功能, 严重者还会对人员安危产生影响。所以海上风电设施发展环节, 就需要加强对防腐的重视, 规避腐蚀状况对设施的影响。然而海上风电系统的影响因素较多, 腐蚀的状况也十分复杂, 实际治理环节, 就还存在技术以及资金等方面的问题, 需要相关人员综合分析风电设施的腐蚀状况, 并在此基础上制定针对性的防控方法, 以解决设施的腐蚀状况。海上风电设施如图 1 所示。



图 1 海上风电设施

2 海上风电设施概述

2.1 概念

海上风电设施 (Offshore Wind Farms) 是一种利用风力

【作者简介】冒金鹏 (1993-), 男, 中国江苏南通人, 本科, 助理工程师, 从事海上风电研究。

发电的技术，其风力涡轮机安装在海洋上，以便捕捉海上的风能转化为电力。相较于陆地风电场，海上风电场通常能获得更强、更稳定的风力，因此可以生成更多的电力^[1]。

2.2 特点

首先，海上的风速一般比陆地要高且更加稳定，风电场的发电效率通常更高；其次，由于风电设施位于海上，远离居民区，可以减少对环境的视觉和噪声干扰；其次，海上风电场可以建设得很大，因为海洋面积广阔，可以容纳更多的风力涡轮机；最后，海上风电设施面临独特的技术挑战，例如风力涡轮机的基础建设、维护保养、海洋环境对材料的腐蚀等。

2.3 优势

由于海上的风力更强，发电效率通常高于陆地风电场。而且海上风电是清洁的能源，有助于减少温室气体排放。此外，海上风电产业的发展可以带动相关技术和服务行业的增长。

3 海上风电设施腐蚀的成因

海上气候变化多种多样，所以造成腐蚀的原因也就较多，需要相关人员结合实际进行分析，为后续的解决奠定基础。一是盐雾，海洋环境中的盐雾会加速金属部件的腐蚀过程，尤其是钢结构和其他金属部件；二是湿气和水分，频繁的湿气和水分接触会加速材料的腐蚀，特别是在暴露于海洋气候中时；三是生物附着，海洋生物如贝类和海藻的附着会改变材料的腐蚀速率，并可能加速结构的损坏；四是电解腐蚀，海水的导电性使得金属结构可能发生电解腐蚀，尤其是在金属部件之间存在电位差时；五是温度变化，海洋环境中的温度变化可能导致材料膨胀和收缩，从而增加腐蚀的风险。这些状况的存在都会造成严重的风电设施腐蚀，需要相关人员对这些状况进行深入分析，结合相关信息制定针对性地解决策略。

4 海上风电设施腐蚀的危害

海上风电设施的腐蚀对其性能和安全性带来了一系列潜在的危害，主要体现在以下方面：第一，腐蚀会削弱风电设施的金属结构（如钢桩和基础），降低其承载能力和结构稳定性，增加结构失败的风险；第二，腐蚀会加速设备的老化和磨损，从而缩短风电设施的使用寿命，增加维护和更换部件的频率和成本；第三，腐蚀导致的损坏需要频繁的检查和维护，海上维修作业尤其复杂且昂贵，维护成本显著上升；第四，如果腐蚀影响到风力涡轮机的关键部件（如发电机和变桨系统），可能导致发电效率下降或停机，从而影响整体电力产出；第五，腐蚀可能导致结构故障或设备失效，增加安全隐患，对操作人员和设备造成危险，甚至可能引发海上事故；第六，腐蚀物质可能释放到海洋环境中，对海洋生态系统造成潜在污染。虽然海上风电场通常不会直接释放有害物质，但腐蚀破坏的设备可能间接对环境产生影响。综上所述，海上风电设施腐蚀会造成严重的影响，对其进行治理就

成为行业发展的关键。

5 海上风电设施的防腐方法

5.1 合理设计防腐涂层

海上风电设施的防腐涂层是保护设备免受海洋环境中腐蚀性因素影响的重要手段，主要包括以下内容，需要相关人员结合实际进行设计：一是环氧涂层，环氧涂层具有极好的防腐性能，能有效隔绝水分和盐雾，而且可以与各种金属表面形成坚固的附着层。通常用于风电设施的钢结构、基础部分和其他暴露于海洋环境的金属部件。二是聚氨酯涂层，聚氨酯涂层具有优异的耐紫外线和耐高温性能。而且其对机械磨损的抵抗力强，适合高冲击和磨损环境。常用于风电设施的外层涂覆，用以增加抗紫外线和耐磨损性能。三是锌基涂层，锌涂层在电化学腐蚀中充当牺牲阳极，保护底层金属不被腐蚀。常用于风电设施的钢结构部分，如风机塔筒的底部和基础部分。四是富锌环氧涂层，富锌环氧涂层含有较高比例的锌粉，对金属提供了额外的电化学保护。其与底材的附着性强，适用于钢铁表面。还可以用于海上风电设施的钢结构部分，尤其是在长期浸泡在海水中的结构。五是陶瓷涂层，陶瓷涂层对高温、化学腐蚀和机械磨损具有良好的抵抗力。涂层非常耐用，适合极端环境下使用。主要用于关键部件，如变桨系统和发电机外壳；此外还有复合涂层系统，该系统结合了不同类型涂层的优点，通过多层涂层系统提供综合保护，可以根据特定的环境条件 and 需求定制涂层组合。常用于需要额外保护的区域，如风机塔筒的底部和转子叶片。

选择涂层时，还需要综合考虑以下因素：首先，考虑海洋环境条件，不同涂层对盐雾、湿气和温度变化的耐受能力不同，需要根据具体的海洋环境选择合适的涂层；其次，考虑材料兼容性，涂层必须与底材具有良好的附着性，避免脱落或剥离；最后，重视成本和维护，高性能涂层通常成本较高，但能减少长期维护和更换成本。通过合适的防腐涂层和维护措施，可以显著延长海上风电设施的使用寿命，降低维护成本，提高整体经济效益。

5.2 牺牲阳极保护技术

牺牲阳极保护是一种广泛用于海上风电设施防腐的有效方法，特别适合保护钢结构等金属部件免受海洋环境腐蚀的影响。牺牲阳极保护也称为阴极保护，其基本原理是利用比结构金属（如钢）更易腐蚀的金属作为阳极，通过电化学反应保护结构金属不被腐蚀^[2]。牺牲阳极在腐蚀过程中会先于结构金属发生腐蚀，从而保护主要结构。

作业环节，常见的牺牲阳极材料包括以下几种：首先，锌阳极，锌是一种常用的牺牲阳极材料，因其具有良好的电化学性能和经济性，广泛应用于海洋环境；其次，铝阳极：铝合金阳极通常用于更具挑战性的海洋环境，特别是在温暖的海水中；最后，镁阳极，镁阳极用于低电位腐蚀环境，如淡水环境，虽然在海洋环境中不如锌和铝阳极常见。

应用环节,在海上风电设施中,牺牲阳极保护主要用于钢结构基础,如桩基和支撑结构,这些部件直接接触海水,容易受到腐蚀。此外,还有金属结构和设备,如风机的钢制支撑结构和海底电缆的金属护套。

安装环节,阳极应安装在金属结构的暴露部分,以确保最大程度地提供保护。阳极可以通过焊接、螺栓连接或其他方式固定在结构表面。需要注意的是,阳极会随着时间的推移被腐蚀,因此需要定期检查和更换,以保证其有效性。

相较于其他技术而言,牺牲阳极提供了一种可靠的保护方式,能够有效减少海洋环境中的腐蚀。而且牺牲阳极的维护相对简单,通常只需定期检查和更换阳极即可。但是牺牲阳极在使用过程中会逐渐被腐蚀,需定期检查和更换。而且虽然牺牲阳极的初始成本较低,但长期维护和更换可能增加总体成本。此外,牺牲阳极在腐蚀过程中会释放一定量的金属,需注意对海洋环境的潜在影响。综上所述,牺牲阳极保护是一种成熟且有效的防腐技术,在海上风电设施中广泛应用,能够有效保护金属结构免受海洋环境腐蚀的影响。然而,为了确保最佳效果,通常需要与其他防腐措施结合使用,并进行定期维护和检查。

5.3 合理选择防腐材料

海上风电设施的耐腐蚀材料选择至关重要,合适的材料可以应对严酷的海洋环境,常见的防腐材料主要有以下几种:一是不锈钢,该材料耐腐蚀性强,尤其是316L型不锈钢,适合于海洋环境中的关键部件;二是防腐涂层,主要包括环氧树脂涂层、聚氨酯涂层和富锌底漆,这些涂层能够有效隔离金属表面与腐蚀性介质接触;三是合金材料,如高镍合金和钛合金,这些材料具有优异的耐海水腐蚀性能;四是耐腐蚀混凝土,主要用于结构基础,添加了抗氯离子和抗硫酸盐的特种添加剂^[3]。实际防腐环节,选择材料时需考虑环境条件、成本和长期维护需求。

5.4 优化海上风电设施的结构设计

合理的结构也能够一定程度上规避腐蚀,海上风电设施就需要合理地对风电结构进行优化。首先,优化结构形状,减少积水和积盐的地方,避免复杂的结构缝隙和死角,降低腐蚀风险;其次,有效的排水系统可以防止水分积聚在结构部位,减少腐蚀风险;最后,还需要设计便于监测和维护的结构,确保定期检查和维修,及时发现并处理腐蚀问题。通过这些手段,就能够对现有的海上风电设施的结构进行优化,从而规避可能存在的腐蚀状况。

5.5 规避外界环境的影响

外部环境是导致海上风电设施腐蚀的关键,对外界环

境的隔绝就成为防腐的关键,需要相关人员通过以下手段进行设计:第一,要选择较少受侵蚀影响的海域,避免强腐蚀环境和极端天气条件;第二,要设计风电设施以承受风速和降雨量,减少环境对结构的影响;第三,应实时监测风速、湿度和盐度等环境因素,以便及时采取防护措施;第四,需要定期清洁设备表面,去除盐分和沉积物,减少腐蚀源;第五,可以使用防风网或遮挡设施减少风速和海盐喷雾对设备的直接影响;第六,需要安装盐水喷雾清洗系统,定期清洁设备表面,减少盐分积聚。并且设计有效的排水系统,防止积水和腐蚀性液体对设备造成影响^[4]。通过上述手段,就能够一定程度上规避外部海洋环境对风电设施的影响,对腐蚀状况进行控制。

5.6 需要制定合适的应急预案

应急预案可以在腐蚀状况发生后第一时间进行解决,尽可能降低对设施的影响,需要相关人员通过以下手段进行设计:第一,要制定详细的应急响应流程,包括人员分工、通讯方式和应急操作步骤;第二,要准备防腐材料、工具和替换部件,以便在发现问题时迅速修复;第三,应设置快速检测系统,及时发现腐蚀问题,并快速定位受损区域;第四,要对维护人员进行定期培训,确保他们能够熟练应对防腐相关的突发情况;第五,需要设计应急修复方案,包括临时保护措施和长期修复计划,减少设备停机时间。

6 结语

在生态环境日益恶化的今天,风力发电作为一种较为环保的发电方式一直以来受到人们的欢迎和认可,海上风电由于其资源丰富、不占用土地、靠近能源负荷中心、发展潜力巨大更是备受关注。海上风力发电设备为国家节省了大量的资源,因此关于海上风力发电的开发和维护就显得尤为重要,对于海上风电设施的防腐也是重中之重,在其材料防腐方面选择上应结合实际工况以高标准来保证设备的设计寿命。

参考文献

- [1] 玄晓阳,白润昊.腐蚀监测系统在海上风电场的实例应用分析[J].全面腐蚀控制,2020,34(9):81-86.
- [2] 兰志刚.海上风电防腐系统的污染物释放源及其对海洋环境的影响[J].全面腐蚀控制,2022,36(10):104-108.
- [3] 任伟,陈有登,谢志猛,等.海上风电防腐研究现状与前景[J].应用能源技术,2022(2):49-52.
- [4] 任伟,陈亚宾,徐华利,等.海上风电设备腐蚀机理及腐蚀现状研究[J].船舶工程,2021,43(S1):1-5.