

陆上风电碳钢变桨设备防腐设计与应用

Anti Corrosion Design and Application of Carbon Steel Pitch Equipment for Onshore Wind Power

刘纯斌¹ 赵彦鹏¹ 谢珍² 岳俊¹

Chunbin Liu¹ Yanpeng Zhao¹ Zhen Xie² Jun Yue¹

1. 国能信控互联技术(河北)有限公司 中国·河北 固安 065500

2. 国能信控互联技术有限公司 中国·北京 100039

1. CHN Energy I&C Interconnection Technology(Hebei) Co., Ltd., Gu'an, Hebei, 065500, China

2. CHN Energy I&C Interconnection Technology Co., Ltd., Beijing, 100039, China

摘要: 论文分析了陆上风电碳钢变桨设备的防腐要求,介绍了防腐设计依据、涂层体系及方案、防腐工艺施工的操作要求,并通过试验数据说明防腐设计方案及施工工艺达到了相关标准的要求,表明陆上风电碳钢变桨设备的规模应用取得预期的结果,从而形成了比较完整的关于陆上风电碳钢变桨设备防腐设计的技术规范和要求。

Abstract: This paper analyzes the anti-corrosion requirements of onshore wind power carbon steel pitch equipment, and introduces the anti-corrosion design basis, coating system and scheme, and the operation requirements of anti-corrosion process construction. Through the test data, it shows that the anti-corrosion design scheme and construction process meet the requirements of relevant standards, indicating that the scale application of onshore wind power carbon steel pitch equipment has achieved the expected results, thus, a relatively complete technical specification and requirements for anti-corrosion design of onshore wind power carbon steel pitch equipment have been formed.

关键词: 风电; 变桨; 设备; 防腐

Keywords: wind power; pitch; equipment; anti corrosive

DOI: 10.12346/etr.v3i8.4008

1 引言

风力发电是中国清洁能源的重要组成部分,推动能源清洁低碳发展,提高能源供应能力,开发利用风能、保障风能安全是风能行业可持续发展的重要措施。随着风电建设的快速发展,风能的利用离不开大型风力发电设备,而变桨设备作为大型风电机组控制系统的核心部件之一,对机组安全、稳定、高效的运行具有十分重要的作用。由于变桨设备长期服役,恶劣的环境会引起各种形态的腐蚀,腐蚀破坏会导致巨额的维护成本和经济损伤,变桨设备的防腐能力是当前大型风力发电机组技术研究的重点课题^[1]。

风电变桨设备一般要求安全运行 20 年以上,那就必须重视其结构件的防腐能力,根据运行环境,确定其腐蚀等级,设计合理的防腐方案应用于风电碳钢变桨设备,在环保、工

艺施工的可行性,综合成本上完成一个较大级别的提升^[2,3]。

目前主流变桨设备一般采用 SUS304 或 SUS316 不锈钢材质,不锈钢的防腐能力出众,但价格昂贵、同样用料的不锈钢比碳钢材料贵出 5~10 倍左右,而且不锈钢加工工艺相对复杂。随着风电机组功率越来越大,变桨设备也变得越来越,高额的设备成本并不利于行业的可持续发展。

2 碳钢变桨设备防腐设计

根据 ISO12944—2—1998 标准的腐蚀环境分类,陆上风力发电设备的机舱和轮毂外部、塔架筒体外表面属于 C3 腐蚀类型,机舱和轮毂及塔筒内部属于 C2 腐蚀类型。变桨设备均安装在轮毂内部,参考 C2~C4 范围内的腐蚀环境等级及 20 年防腐防护寿命要求来制定变桨设备的防腐等级,参考

【作者简介】刘纯斌(1981-),男,中国安徽安庆人,本科,工程师,从事风能与新能源技术研究。

ISO12944—5—1998 来制定变桨设备的防腐涂层设计膜厚^[1]。

2.1 设备工作环境

陆上风电变桨设备是安装在轮毂内的电气控制设备，工作在标准大气压下，环境温度 -40~50℃，相对湿度 10%~95%Rh，无冷凝，可忽略的辐射^[2]。

设备的工作环境是属于轮毂内部，因为风电厂一般建立在高原、沿海等工况较复杂区域，所以需要考考虑，其室外环境是含盐空气环境，具有一定的腐蚀性。

2.2 设备防腐级别

在 ISO12944—2—1998 中，环境分类分为大气腐蚀环境分类以及水和土壤的腐蚀性分类。对陆上风电变桨设备的防护，只需考虑大气腐蚀环境，不需考虑土壤腐蚀。大气腐蚀环境分为 6 大类大气腐蚀性级别，即 C1(非常低)、C2(低)、C3(中等)、C4(高)、C5-1(很高<工业>)、C5-M(很高<海洋>)，见表 1^[4,5]。

从表 1 中可以确定，陆上风电厂的工作环境符合 C2，但考虑风电厂所处位置为高原、沿海地区，外部环境为

C3，变桨设备有接触外部环境的可能，从安全角度出发，我们将变桨设备的防腐级别确定为 C3 较为合适。

2.3 设备防腐年限

防腐年限即耐久性，耐久性是指设备能够无故障的使用较长时间或使用寿命长。在 ISO12944—1 中，耐久性认为是建立维修计划的技术性指标。

依据 ISO12944 标准的相关规定，一般风力发电设备要求其防腐防护年限在 15 年以上，达到风力发电设备相同的 20 年寿命要求。所以我们将变桨设备的防腐年限确定为 20 年。

在防腐涂层设计中分三个耐久性范围，即：低 L(2~5 年)、中等 M(5~15 年)、高等 H(>15 年)^[1]。所以可以确定变桨设备的涂层耐久性要求为高等 H。

2.4 涂层防腐体系

常规涂料的选择依据腐蚀与防护要求进行。根据 C3 腐蚀环境，耐久性等级为高等 H 的要求，在 ISO12944—5 防护涂料体系中，对应腐蚀等级涂料的防腐体系见表 2^[5,6]。

表 2 中，1—NDFT= 名义干膜厚度；2—推荐涂料生产

表 1 大气环境腐蚀性分类和典型环境案例

腐蚀级别	单位面积上质量和厚度损失 (经 1 年暴露后)				温性气候下的典型环境案例 (仅供参考)	
	低碳钢		锌		外部	内部
	质量损失 (g.m ²)	厚度损失 (μm)	质量损失 (g.m ²)	厚度损失 (μm)		
C1 很低	≤ 10	≤ 1.3	≤ 0.7	≤ 0.1	—	加热的建筑物内部，空气洁净，如办公室、商场、学校和宾馆等
C2 低	100~200	1.3~25	0.7~5	0.1~0.7	低污染水平的大气，大部分是乡村地带	冷凝有可能发生的未加热的建筑，如库房、体育馆等
C3 中	200~300	25~50	5~15	0.7~2.1	城市和工业大气、中等的二氧化硫污染以及低盐度沿海区域	高湿度和游戏空气污染的生产厂房内，如食品加工厂、洗衣厂、酒厂、乳制品工厂等
C4 高	400~650	50~80	15~30	2.1~4.2	中等含盐度的工业区和沿海区域	化工厂、游泳池、沿海船舶和造船厂等
C5 很高 (工业)	650~1500	80~200	30~60	4.2~8.4	高湿度和恶劣大气的工业区域	冷凝和高污染持续发生和存在的建筑和区域
C5 很高 (海洋)	650~1500	80~200	30~60	4.2~8.4	高湿度和恶劣大气的工业区域	冷凝和高污染持续发生和存在的建筑和区域

表 2 对应腐蚀等级 C3 的涂料系统

系统编号	底漆涂层				后道涂层			期望的耐久性		
	基料	底漆类型	涂层数	NDFT ¹ /um	基料	涂层数	NDFT ¹ /um	L	M	H
A3.01	AK	M isc.	1~2	80	AK	2~3	120			
A3.02	AK	M isc.	1~2	80	AK	2~4	160			
A3.03	AK	M isc.	1~2	80	AK	3~5	200			
A3.04	AK	M isc.	1~2	80	AY,PVC,CR ²	3~5	200			
A3.05	AY,PVC,CR ²	M isc.	1~2	80	AY,PVC,CR ²	2~4	160			
A3.06	AY,PVC,CR ²	M isc.	1~2	80	AY,PVC,CR ²	3~5	200			
A3.07	EP	M isc.	1	80	EP,PUR	2~3	120			
A3.08	EP	M isc.	1	80	EP,PUR	2~4	160			
A3.09	EP	M isc.	1	80	EP,PUR	3~5	200			
A3.10	EP,PUR,ESI ³	Zn(R)	1	60 ⁴	--	1	60			
A3.11	EP,PUR,ESI ³	Zn(R)	1	60 ⁴	EP,PUR	2	160			
A3.12	EP,PUR,ESI ³	Zn(R)	1	60 ⁴	AY,PVC,CR ²	2~3	160			
A3.13	EP,PUR	Zn(R)	1	60 ⁴	AY,PVC,CR ²	3	200			

商进行相容性检查；3—推荐在 ESI 无机硅酸锌底漆上涂覆 1 道后续涂层作为连接漆；4—选择富锌底漆时，其 NDFT 可以选择 40~80 μm 。

2.5 防腐涂料方案

对于变桨设备防腐问题，根据涂料供应商体系要求和某加工供应商的工艺方案，针对碳钢变桨设备提供如下防腐配套方案。

防腐涂料方采用：底漆为低表面处理环氧树脂漆 DFT (μm) 干膜厚度 60 μm ，面漆为 PU 聚氨酯面漆 DFT (μm) 干膜厚度 100 μm ，总膜厚为 160 μm ，该方案符合涂料体系 A3.11。

3 涂料施工及检验

3.1 喷涂前处理

3.1.1 前处理

要对喷涂件所有油脂或因探伤留下的试剂要进行清洗，以达到所要求的钢结构表面清理标准 SSPC—SP1。

3.1.2 表面要求

在 ISO12944—5 防护涂料体系中，给出了碳钢表面处理的最低要求，钢材表面要求粗糙度达到 Sa2.5。表面清理等级应达到 ISO8502—3 标准要求，灰尘量小于 3 级^[5]。

3.2 喷涂施工

喷涂由预涂和喷涂两部分完成。对于设备中难以喷到的地方要先预涂，然后再对整体进行涂装作业。因为预涂为手工作业，其质量不易控制，因此，在结构设计时应考虑减少不必要的喷涂死角，降低喷涂作业的难度，确保施工质量。

3.3 喷涂检验

3.3.1 外观检查

涂层的外观和厚度上应该是均匀的，没有流挂、下垂、漏涂、针孔、起皱、光泽不匀、缩孔、颗粒、气泡等缺陷。

3.3.2 膜厚检查

检查涂膜厚度是否符合设计要求。

干膜厚度：施工硬干后进行检测。按照 SSPC—PA2 或 ISO2808 标准进行检测。

4 防腐性能

在 ISO12944—6 实验室性能测试方法中，碳钢基材的涂料体系的附着力测试试验程序，对于 C3 环境下高等级耐久

性要求，其冷凝试验要达到 240h。

4.1 冷凝试验数据

对碳钢样板提供的涂层设计方案中，其底漆在各项试验中的表现良好，在试验测试数据中，冷凝试验。已达到 2000h 无缺陷，划叉处平均单边扩散 1mm。符合 C3 环境下的防腐要求。

4.2 附着力试验数据

在测试样板上划格并用胶带撕拉，切割边缘完全平滑，无一格脱落，其涂层附着力等级为 0 级，实际测试是以上标准测试，测试等级为 0 级。

4.3 盐雾试验数据

采用 GB/T10125—1997 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验的中性盐雾 (NSS)，盐雾试验持续时间不得少于 48h，推荐的盐雾试验持续时间为 96h。在测试样板 96h 盐雾试验后，没有出现任何缺陷。

通过冷凝、附着力和盐雾试验数据可以看出，该防腐方案符合 ISO12944—1998 钢结构防腐涂装规范，具有一定的防腐性能。

5 结论

通过对陆上风电碳钢变桨设备防腐方案的研究和实施，从设计、施工到对涂层附着力及盐雾试验的测试结果表明，该方案符合标准要求：

- ①陆上风电碳钢变桨设备的防腐设计方案，已形成一套较为完整的设计方案和技术规范；
- ②防腐涂层施工质量是保证涂层有效寿命的重要手段；
- ③减少设备设计的涂装死角，可以保证喷涂的有效施工。

参考文献

- [1] 王仲颖,时璟丽,赵勇强,等.中国风电发展路线图2050[N].国家发展和改革委员会能源研究所,2014.
- [2] 陈川,王俊,黄海军,等.我国湿热沿海风电机组服役环境条件研究[J].装备环境工程,2015,12(2):116-120.
- [3] GB/T 33423—2016沿海及海上风电机组防腐技术规范[S].
- [4] ZPS1009606—54282.涂层系统技术要求[S].
- [5] 田兆会,李华明.风电装备腐蚀环境分析与涂料防护[J].中国涂料,2009,24(1):6-12.
- [6] 毛蕾蕾.涂料在钢结构防腐中的应用[J].上海涂料,2012,50(9):34-36.