

我国东南沿海海上风电塔架防护涂装体系设计与评价思考

张晓东, 王俊, 揭敢新, 黄海军, 赵钺

(中国电器科学研究院有限公司 工业产品环境适应性国家重点实验室, 广州 510663)

摘要: 针对我国东南沿海湿热、亚湿热地区海上风电塔架服役环境的特殊性, 对开展针对性的涂装防护体系设计和实验室性能评价方法提出了一些改进设想。设计防护体系时, 应充分考虑风电塔架各腐蚀区域的主要环境影响因素, 选择合适的涂料体系并适当增加涂层厚度; 采用单因素环境试验对涂层的性能进行实验室评估时, 应适当增加每一种试验项目的时间, 并结合服役环境增加测试项目。

关键词: 海上风电; 塔架; 服役环境; 防护涂装体系; 性能评价

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.05.002

中图分类号: TG172; TG174.4 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)05-0007-04

Consideration on Design and Evaluation of Protective Coating System for Offshore Wind Tower in Southeast Coast of China

ZHANG Xiao-dong, WANG Jun, JIE Gan-xin, HUANG Hai-jun, ZHAO Yue

(State Key Laboratory of Environmental Adaptability for Industrial Products,

China National Electric Apparatus Research Institute Ltd, Guangzhou 510663, China)

Abstract: Improvement thoughts for protective coating system design and laboratory performance evaluation methods were put forward through analysis of the particularity of service environment of offshore wind tower constructed in our southeast coast. It was concluded that main environmental factors influencing wind tower corrosion in different region should be considered to select suitable coating system and increase coating thickness; the test periods of one-factor laboratory performance test should be lengthened and test items should also be added according to service environment.

Key words: offshore wind turbine; wind tower; service environment; protective coating system; performance test

在风电场建设由陆上向海上转移的过程中, 其所面临的截然不同的环境适应性难题是每个建设者必须高度重视的问题^[1-3]。我国海南、广东以及福建等湿热、亚湿热海洋气候地区的风电场建设尤其如

此。具体表现为: 1) 服役环境条件复杂。高温、高湿、高盐雾以及台风、雷暴等, 对海上风电机组的设计与防护提出了更高要求; 2) 运行维护困难。运行维护受天气影响, 很难做到及时, 并且租用船舶或者

收稿日期: 2013-05-06

作者简介: 张晓东(1978—), 男, 高级工程师, 主要从事工业产品环境服役寿命预测与防护方法研究。

直升飞机的费用昂贵;3)可借鉴经验较少。欧洲是全球海上风电发展最为成熟区域,但其海洋环境条件与我国湿热海域环境差异较大,积累的数据和经验并不一定适用。

塔架(在我国主要指塔筒,具有结构紧凑,安全可靠,维护方便,外形美观等特点)是整个风机的结构支撑部分,其是否安全服役是整个风机25 a寿命的重要保证,科学合理的防护措施就显得尤为必要。因此,作为系列研究的一部分,文中主要就湿热海上风电塔筒的防护涂装体系的针对性设计与评价方法进行探讨。

表1 湿热海洋环境中的风电塔筒及其基础的腐蚀区域划分及服役环境特征分析

Table 1 The corrosion regional division and service environment characteristic analysis of wind tower and its base in the damp-hot marine environment

区 域	位置划分	服役环境特征
海洋大气区	设计高水位加1.5 m以上的区域	受阳光影响、高温高湿、高盐雾浓度
飞溅区	设计高水位加1.5 m至设计高水位减1.0 m之间区域	受阳光影响、海浪飞溅,浸润时间长,干湿频繁交替
潮差区	设计高水位减1.0 m之间区域至设计低水位减1.0 m之间区域	间或会受阳光影响,与饱和了空气的海浪接触
全浸区	设计低水位减1.5 m以下海水淹没的区域	与海水直接接触
海泥区	在全浸区内被海泥覆盖的区域	与富含海水的土壤直接接触

2 塔架防护涂装体系设计

钢结构在海洋环境中的腐蚀规律性较强^[4-5],其一般腐蚀规律如图1所示,结合湿热、亚湿热海上风电塔筒的服役环境,在参考ISO 12944-2^[6]腐蚀环境分类和ISO 12944-5^[7]防护漆体系的基础上,针对25 a的服役寿命要求,设计湿热海上风电塔筒各部分的防护涂装体系,见表2。

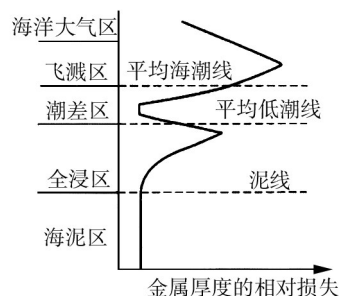


图1 钢桩在海滨试验5 a后的腐蚀示意

Fig. 1 Schematic drawing of steel pile corrosion after exposure for 5 years in the marine environment

1 湿热海上风电塔筒服役环境条件分析

根据所处海洋腐蚀环境和水位变动情况,海上风电塔筒外表面及其基础结构可以分成5个腐蚀区域^[4]:海洋大气区、飞溅区、潮差区、全浸区和海泥区。我国东南沿海由于环境温度长年较高,连锁引起塔筒各区域所处的环境有其一定的特殊性,如潮差区冬季不会受到浮冰的影响等。表1列举了湿热、亚湿热地区海上风电塔筒各区域的主要环境特征。

海洋大气区涂装体系中,环氧富锌底漆的厚度由一般60 μm 增加到80 μm ,增强其牺牲阳极保护的能力;环氧云铁中间漆的厚度也较常规海上平台的涂装厚度有所增加,主要是考虑高温高湿条件下,延缓水汽及盐粒子的扩散速度;面漆部分,一般认为聚氨酯面漆服役寿命为10~15 a,氟碳面漆服役寿命可达到25 a以上。这里采用一道聚氨酯面漆加涂一道氟碳面漆,一方面可以降低涂装成本,另一方面也是基于二者之间的附着力优于两道氟碳漆之间的附着力。

飞溅区/潮差区的涂装方面,现有的资料中几乎没有考虑阳光的影响,底涂与面涂均为环氧体系。但如前文所述,这一部分同样会受到阳光的影响,而环氧漆不耐阳光照射。因此,有必要考虑加涂聚氨酯面漆进行封闭。

全浸区与海泥区涂装体系的区别主要在于需要考虑全浸区海水的流动对涂层的影响,因此,全浸区的环氧面漆需要具备较好的耐磨性。

塔筒内壁环境条件一般采用对应C4腐蚀等级的涂装体系,考虑到湿热海洋环境的高湿度,同样需

表2 湿热海上风电塔筒的防护体系设计
Table 2 Protective coating system design for different region of damp-hot offshore wind tower

海洋大气区	环氧富锌底漆(80 μm)	
	+	
	环氧云铁中间漆(240 μm)	
飞溅区/塔筒外壁	+	
	聚氨酯面漆(40 μm)+氟碳面漆(40 μm)	
	环氧厚浆底漆(80 μm)	
潮差区	+	
	耐磨环氧玻璃鳞片漆(600 μm)	
	+	
全浸区	耐磨聚氨酯面漆(80 μm)	
	环氧厚浆底漆(300 μm)	
	+	
海泥区	耐磨环氧玻璃鳞片漆(300 μm)	
	环氧厚浆底漆(300 μm)	
	+	
塔筒内壁	环氧厚浆底漆(300 μm)	
	环氧富锌底漆(60 μm)	
	+	
—	环氧云铁中间漆(180 μm)	
	+	
	聚氨酯面漆(60 μm)	

注:表中各涂膜厚度均指干膜厚度。

要合理增加环氧云铁中间漆的厚度。

3 涂装体系评价方法设计

目前对于海上涂装体系的实验室性能测试依据主要有ISO 12944-6^[8]和ISO 20340^[9]。ISO 12944-6采用的是单因素环境试验叠加方法,如评价海洋环境条件下高耐久性涂层性能的环境试验为720 h水冷凝试验加1440 h人造盐雾试验,要求每一单项测试的性能达标即可。ISO 20340则采用动态循环试验模拟服役过程中温度的波动、紫外线照射,高盐度潮湿环境以及干湿交替等,被认为是目前全球最严格的防腐涂层性能测试方法。Douglas对传统静态盐雾试验、动态循环腐蚀试验与室外暴露的相关性进行了研究,结果表明动态循环腐蚀试验与室外暴露试验的相关性(相关系数:0.699)远优于静态盐雾试验与室外暴露试验的相关性(相关系数:-0.11)。

以上两个标准的设计思路虽然有一定的差别,但在长期的实践中都有一定的指导意义,不过同样都有一定的局限性。如ISO 12944-6所考虑的环境试验种类较少,不能模拟海上风电塔筒涂装体系的所有环境因素,特别是没有考虑涂装体系耐光老化性能及与阴极保护共同使用时涂层的耐阴极剥离性能。ISO 20340同样也没有考虑涂装体系的耐阴极

表3 湿热海上风电塔筒各区域的性能测试组合
Table 3 Design of performance test methods for offshore wind tower in different damp-hot region

环境类型	试验项目	试验条件	测试标准
海洋大气区	紫外光老化试验	光源:UVB313	GB/T 23987—2009
	水冷凝	试验时间:2000 h	GB/T 13893—2008
		水温:(38±2)℃	
飞溅区	中性盐雾试验	试验时间:2000 h	GB/T 1771—2007
		液体介质:人造海水;	
	浸泡试验	试验时间:4200 h	GB/T 9274
全浸区	紫外光老化试验	试验时间:720 h	GB/T 23987—2009
	中性盐雾试验	试验时间:4200 h	GB/T 1771—2007
	阴极剥离试验	方法A,试验介质:人造海水	GB/T 7790
—	浸泡试验	试验时间:720 h	GB/T 7790
		试验时间:4200 h	
	阴极剥离试验	方法A,试验介质:人造海水	GB/T 7790
—	浸泡试验	试验时间:720 h	GB/T 7790
		试验时间:4200 h	
	阴极剥离试验	方法A,试验介质:人造海水	GB/T 7790

剥离性。笔者所在单位目前已与风电企业及部分涂料生产企业合作开展湿热海上风电涂装体系的实验室性能测试方法改进研究。改进后的单因素环境试验组合见表3。后续将开展与暴露试验的相关性研究以及ISO 20340测试方法的严酷度进行对比。

4 结语

我国湿热海洋环境条件具有更为严重的腐蚀性,湿热海上风电塔筒的防护涂装体系及其性能评价方法均应进行针对性改进,并在实践中不断完善,以服务于我国风电产业的发展。

参考文献:

- [1] 严晓建. 丹麦海上风电发展及其经验借鉴[J]. 中国市场, 2010(13):82—84.
- [2] 姚兴佳, 隋红霞, 刘颖明, 等. 海上风电技术的发展与现状[J]. 上海电力, 2007(2):111—118.
- [3] 高坤, 李春, 高伟, 等. 新型海上风力发电及其关键技术研究[J]. 能源研究与信息, 2010, 26(2):110—116.
- [4] 侯健, 郭为民, 邓春龙. 深海环境因素对碳钢腐蚀行为的影响[J]. 装备环境工程, 2006, 5(6):82—84.
- [5] 陈翔峰, 穆振军, 许春生. 碳钢及低合金钢在厦门海域实景暴露腐蚀规律研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(6):21—24.
- [6] ISO 12944-2, Paints and Varnishes—corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 2: Classification of Environments[S].
- [7] ISO 12944-5, Paints and Varnishes—corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 5: Protective Paint Systems[S].
- [8] ISO 12944-6, Paints and Varnishes—corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 6: Laboratory Performance Test Methods[S].
- [9] ISO 20340, Paints and Varnishes—performance Requirements for Protective Paint System for Offshore And Related Structures[S].
- [10] 杨振斌, 薛桁, 袁春红, 等. 用于风电场选址的风能资源评估软件[J]. 气象科技, 2001, 29(3):54—57.
- [11] 陕华平, 肖登明, 薛爱东. 大型风电场的风资源评估[J]. 华东电力, 2006, 34(2):15—18.
- [12] 连捷. 风电场风能资源评估及微观选址[J]. 电力勘测设计, 2007, 4(1):71—73.
- [13] 靳全, 苏春. 基于幂律过程和改进参数估计方法的风电场风能评估[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(35):107—111.
- [14] 2002 GBT, 风电场风能资源评估方法 [S].
- [15] MASTERS G M. Renewable and Efficient Electric Power Systems[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005:367—369.
- [16] SHERIDAN B, BAKER S D, Pearre N S, et al. Calculating the Offshore Wind Power Resource: Robust Assessment Methods Applied to the US Atlantic Coast[J]. Renewable Energy, 2012, 43:224—233.
- [17] S RENSEN B. A New Method for Estimating Off-shore Wind Potentials[J]. International Journal of Green Energy, 2008, 5(3):139—147.
- [18] 经志友, 齐义泉, 华祖林. 南海北部陆架区夏季上升流数值研究[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(3):1—8.
- [19] 白绍桐, 胡晓春, 陈显扬, 等. 风电场微观选址工作的探讨[J]. 华电技术, 2008, 30(3):73—76.
- [20] 广东明阳风电[DB/OL]. <http://www.mywind.com.cn/upfile/File/2012/3.0%E5%85%86%E7%93%A6SCD%E9%A3%8E%E5%8A%9B%E5%8F%91%E7%94%B5%E6%9C%BA%E7%BB%84.pdf>.