

湿热沿海地区环境条件对风电机组的影响分析

李慧¹, 黄海军¹, 王俊¹, 赵钺¹, 黄开云¹, 宋晓萍²

(1. 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;

2. 湘潭电机股份有限公司 海上风力发电技术与检测国家重点实验室, 湖南 湘潭 411102)

摘要: 主要针对我国东南湿热沿海地区的温湿度、盐雾、台风和雷暴等环境因素进行分析, 并对各个环境因素对风电机组正常运行可能产生的不利影响进行了总结, 对风电机组在东南沿海地区恶劣的环境条件下的设计、制造、运行和维护提供了一定的参考。

关键词: 湿热沿海; 风电机组; 环境条件; 影响分析

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.05.004

中图分类号: TG172; TM315 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)05-0017-05

Influence of Environment Conditions on Wind Generating Set in Hot and Humid Coastal Areas

LI Hui¹, HUANG Hai-jun¹, WANG Jun¹, ZHAO Yue¹, HUANG Kai-yun¹, SONG Xiao-ping²

(1. State Key Laboratory of Environmental Adaptability for Industrial Products, China Electric Apparatus Research Institute Co., Ltd, Guangzhou 510663, China;

2. State Key Laboratory of Offshore Wind-Power Technology and Testing, XEMC Windpower Co., Ltd, Xiangtan 411102, China)

Abstract: The environmental conditions in coastal areas of Southeast China were analyzed, including temperature-humidity, salt fog, typhoon, and thunderstorm. The impacts of various environmental factors on the normal running of wind power generating set were summarized. The purpose was to provide references for design, manufacture, operation, and maintenance of wind generating set in China.

Key words: hot and humid coastal area; wind generating set; environment condition; impact analysis.

我国东南沿海地区拥有较为丰富的风能资源。例如: 广东省濒临南海, 有 4300 多千米海岸线和上千个岛屿, 亚热带季风长年不断, 近海可供开发的风

电资源规模达 1100 万千瓦左右, 同时, 东南沿海用电消费需求量大, 有利于风电的短距离消费。这些有利因素促使东南沿海地区开始大规模风电机组的

收稿日期: 2013-05-14

基金项目: 海上风力发电技术与检测国家重点实验室开放基金

作者简介: 李慧(1984—), 女, 山西朔州人, 硕士, 从事工业产品的环境适应性技术研究。

装机运行。风电机组是在户外长期服役的大型复杂装备,不可避免地会受到温度、湿度、风速、雷暴等各种环境因素的作用,影响其长期稳定运行。随着风电产业的快速发展,环境适应性问题逐渐引起风电行业的关注和重视。

值得注意的是,我国东南沿海属于典型的湿热沿海环境,目前国内外关于湿热沿海环境条件对风电机组影响的研究较少,因此笔者对湿热沿海地区的环境条件进行分析,探讨了湿热沿海环境条件对风电机组的影响,希望对风电机组的设计、制造、运行和维护提供一定的参考。

1 温湿度对风电机组的影响

1.1 湿热沿海地区的温湿度情况

我国东南沿海地区属于湿热海洋性季风气候,夏季能维持较长时间35℃以上的高温闷热天气,且有较长的雨季,2—4月为梅雨季节,5—9月为台风大雨季节,空气湿度大,相对湿度平均每月为85%^[1]。图1和图2分别是广东省和福建省月平均湿度曲线图。

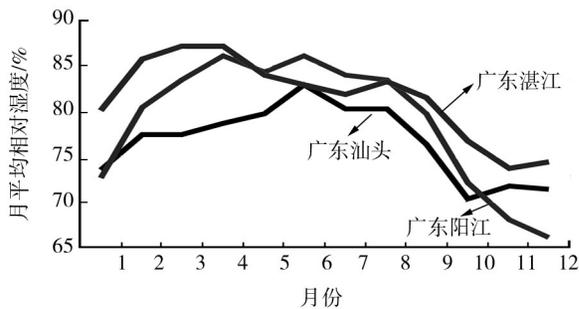


图1 广东省的月平均湿度曲线

Fig. 1 Monthly average humidity of Guangdong province

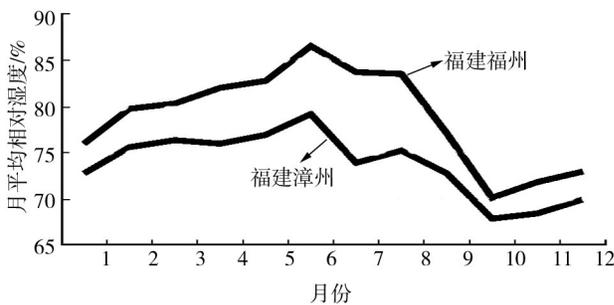


图2 福建省的月平均湿度曲线

Fig. 2 Monthly average humidity of Fujian province

由图1可知,广东省沿海地区4月湿度最高,11—12月湿度最低,其中阳江和湛江地区每年的3—8月湿度都在80%以上。由图2知,福建沿海地区6月湿度最高,10月湿度最低,其中漳州地区3—8月的湿度都在80%以上。

图3和图4分别是广东省和福建省沿海城市的月平均温湿度曲线图。

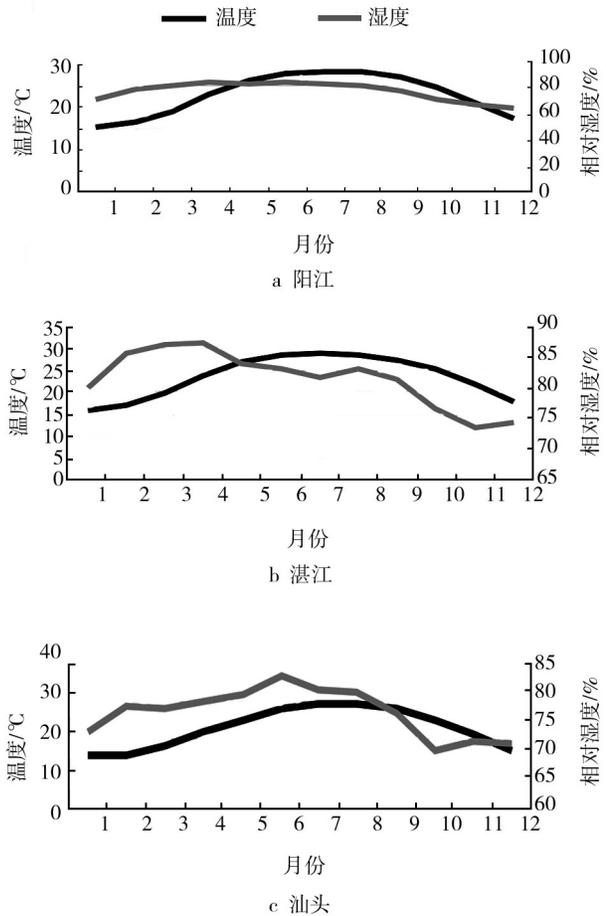


图3 广东各地的月平均温湿度曲线

Fig. 3 Monthly average temperature and humidity in various regions of Guangdong province

由图3—4可知,广东省三个沿海城市5—8月都属于高温高湿环境,福建省的福州在6月、漳州在6—8月都处于高温高湿环境。

1.2 高温高湿对风电机组的影响

一般来说,当相对湿度大于80%时,称为高湿。高温高湿环境可以加快电气设备金属材料的腐蚀和绝缘材料的老化。变频器和开关设备大多靠空气间隙绝缘,空气湿度大时,绝缘性能下降,变频器内部

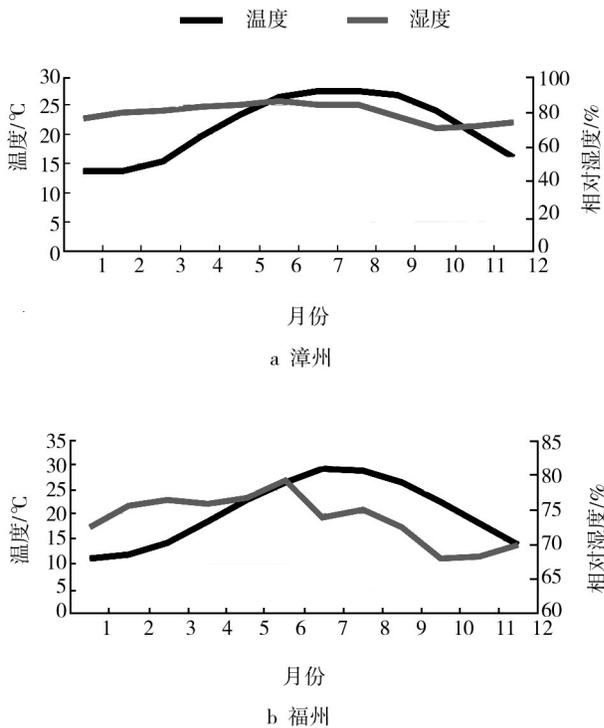


图4 福建漳州和福州的月平均温湿度曲线
Fig. 4 Monthly average temperature and humidity in Zhangzhou and Fuzhou of Fujian province

风机运行积累的灰尘也容易吸收水分,使绝缘电阻降低,最终导致变频器线路板绝缘性能差,电压击穿,发生短路,甚至引起设备自燃。

环境温度为 25 ~ 30 °C,相对湿度为 90% ~ 100%时,是霉菌繁殖的良好环境条件^[3]。湿热沿海地区一年有 5~6 个月处于高湿环境,3~4 个月处于高温高湿环境,风电机组的机舱内部通风不好,有利于霉菌的生长。霉菌自身含有的水分和代谢过程中分泌出的酸性物质与绝缘材料相互作用,使设备绝缘性能下降。

高温高湿环境对风电叶片也有重要的影响,风电叶片的主要材料为玻璃钢复合材料,在高温高湿环境下,复合材料基体内部因为吸湿发生溶胀,分子间的间距增加,材料的刚度降低,水分子扩散使基体内部的微裂纹、微孔等发生形态变化。湿热环境对复合材料界面的耐水性能和力学性能也有较高的要求^[2]。塔筒内外表面有镀锌和聚合树脂组成的防腐涂层,高温高湿环境条件可以加快涂层的老化,使涂层粉化、起泡等,涂层的附着力减小,保护性能下降,导致机舱底盘和塔筒的金属材料受到腐蚀。

另外,高温高湿环境使风电机组内部发电机和齿轮箱的润滑油油温升高,油黏度下降,导致轴承和齿轮等关键部件因润滑不良产生磨损,严重时使整个风电机组发生故障。

2 盐雾对风电机组的影响

2.1 湿热沿海地区的盐雾情况

湿热沿海地区空气温度高、湿度大,海水中的盐分蒸发后溶于空气的水滴中形成盐雾,经过大气的平流和紊流作用,高盐雾的大气不断扩散到近海地区。图 5 是我国湿热沿海、湿热内陆和暖温沿海地区盐雾浓度月变化情况的统计曲线。

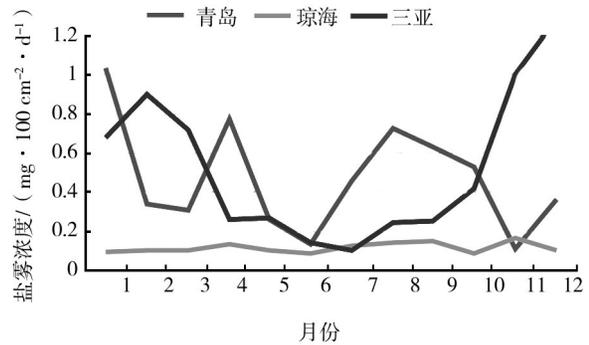


图5 盐雾浓度月变化统计曲线
Fig. 5 Monthly change statistics of salt fog concentration

由图 5 可知,湿热沿海地区的三亚和暖温沿海地区的青岛盐雾浓度都在 0.15 mg/(100 cm² · d) 以上,均远远大于湿热内陆地区的琼海。

2.2 盐雾对风电机组的影响

盐雾对风电机组电气设备的影响与空气湿度有密切关系。在湿润的空气中,盐雾电离出大量氯离子,氯离子穿透金属表面的防护膜与内部金属发生化学反应,另外氯离子具有一定的水合能,容易吸附在设备表面的孔隙和缝隙,导致金属材料的零部件腐蚀。环境温度为 35 °C,盐液质量分数在 3% 时对物体的腐蚀作用最大^[4]。长期处于近海和海上的高湿度高盐雾环境中,电气设备内部的线圈和触头腐蚀后,导致电接触不良,使电气设备发生短路或绝缘性能下降,给整个风电机组的安全运行带来不利影响。

盐雾对风电机组叶片的影响主要是在叶片静电

的作用下,盐雾与空气中的其他颗粒物在叶片表面形成覆盖层,严重影响叶片的气动性能,产生噪音污染和影响美观^[5]。风电机组塔架和基础在盐雾环境中的腐蚀也不容忽视,尤其是有螺栓连接和焊接的部位。表1列出了风电机组内部和外部在湿热沿海地区和暖温沿海地区的大气腐蚀性等级,风电机组外部的腐蚀等级主要是以碳钢10 a的平均腐蚀速率进行评定。

表1 不同地区金属的腐蚀等级

Table 1 Metal corrosion level of different areas

地点	气候类型	大气腐蚀性等级	
		风电机组外部	风电机组内部
海南万宁	湿热沿海	C5	C4
海南琼海	湿热内陆	C4	C3
广东广州	湿热内陆	C4	C3
山东青岛	暖温沿海	C4	C3

由表1可知,风电机组内部的腐蚀等级一般都

比外部低一个等级,机组外部在暖温沿海地区和湿热内陆地区的大气腐蚀等级相当,都为C4级,在湿热沿海地区的大气腐蚀等级更为严酷,为C5级,因此对塔架等钢结构的腐蚀防护提出更高的要求。

3 台风对风电机组的影响

3.1 我国湿热沿海地区的台风情况

根据我国气象局“关于实施热带气旋等级国家标准 GB/T 19201—2006”的通知,热带气旋按中心附近地面最大风速划分为6个等级,按底层中心附近最大平均风速由强到弱依次为超强台风、强台风、台风、强热带风暴、热带风暴和热带低压。当底层中心附近最大平均风速大于32.7 m/s时,热带气旋发展为台风。表2为1990—2007年我国东南沿海地区热带气旋的登陆频次统计^[6]。

表2 1990—2007年东南沿海地区热带气旋登陆频次

Table 2 1990—2007 frequency distribution of tropical cyclones in southeast coastal areas

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	合计	百分比/%
热带低压	1	1	4	3	1	0	1	11	10.8
热带风暴	0	1	1	5	6	0	0	13	12.7
强热带风暴	0	3	5	10	5	1	0	24	23.5
台风、强台风、超强台风	1	3	13	20	13	4	0	54	53.0
合计	2	8	23	38	25	5	1	102	100
百分比/%	2.0	7.8	22.5	37.3	24.5	4.9	1.0	100	

由表2的统计数据可知,1990—2007年的18 a间,东南沿海地区登陆热带气旋共有102个,其中属于台风、强台风和超强台风(中心最大风力 ≥ 12 级)的共有54个,占总数的53.0%。可见我国东南沿海热带气旋登陆频率高,而且强度大。

3.2 台风对风电机组的影响

风电机组的叶片是台风最容易破坏的部件。台风经过时,风向在风电机组的顺桨方向和垂直叶面方向急速变换吹入,叶片受到的不确定性载荷增加,叶片可能由于刚度不足而发生扭曲振动,严重时产生裂纹甚至折断,整个风电机组产生致命性的破坏^[7]。叶片扭曲振动严重时,机组变桨系统受到的载荷增加,当载荷增加到超过设计值时,连接叶片的拐臂容易

发生断裂,叶片不受控制甚至发生飞车事故。

台风还可能使连接风轮和主轴的主轴承座发生位移偏移,风电机组地脚折断,连接齿轮箱和发电机的联轴器损坏。电网停电时,机舱和风轮侧向受力大且方向不断变化,机组的偏航系统也会遭到破坏。当台风作用在风机的最大弯矩大于塔架和基础的设计值时,容易使风电机组发生倒塌。

此外,台风使风电机组外部的风速风向仪和避雷针损坏,风电场线路发生断杆、倒杆、斜杆等故障。

4 雷暴对风电机组的影响

4.1 我国湿热沿海地区发生雷暴的情况

雷暴是伴随着雷电的强对流天气,一般伴有阵

雨,有时还会出现局部的大风、冰雹等。空气中的尘埃颗粒、水蒸气等随着气流的运动、摩擦,以及受到风的作用,令其作切割地球磁场的磁感线运动,使不同的电荷、带电微粒进一步分离、极化,最终在云层上下层形成分别带正负电荷的雷云。当雷云的电场强度达到足够大时,将引起雷云的内部或雷云间的强烈放电,或雷云对大地、其他物体间放电,形成雷电。

雷暴日是雷暴活动天数的统计,气象站在当地一天内听到雷声就记录一次雷暴日,它一定程度上反映了某个地区雷暴的发生规律。总闪电密度定义为:每年每平方千米上发生的总闪电次数。该值能够较精确地反映全年雷电活动的多少,单位是 $\text{fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。图6是1995年到2005年卫星观测全国平均雷暴密度分布图。

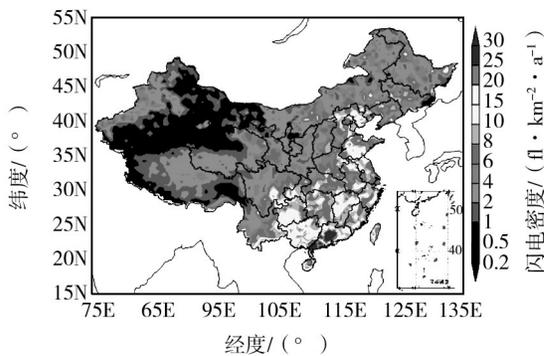


图6 1995—2005全国平均雷暴密度分布
Fig. 6 National average thunderstorms density distribution map during 1995—2005

由图6的数据表明,中国陆地的闪电密度平均值为 $4.2 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,极大值为 $31.44 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,位于广东省沿海地区。图7为海南、广东和福建省沿海城市的雷暴日统计图。

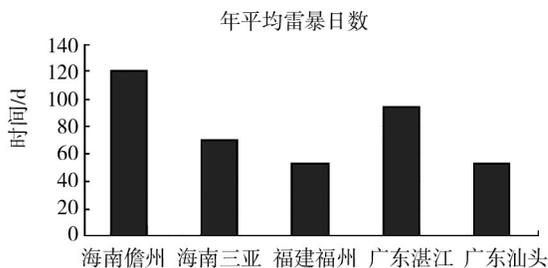


图7 沿海地区的雷暴日统计
Fig. 7 Statistics on thunderstorm days of coastal areas

从图7可以看出,海南儋州和广东湛江的雷暴日数最高,大约90~120 d之间,其他地区稍低,但均属于雷击频繁区域。

4.2 雷暴对风电机组的影响

随着风电机组装机容量的不断上升,为了捕获最大的风能,风力发电机的轮毂高度也在不断增加,从而导致风电机组遭受雷击的可能性大大增加。位于风力发电机最高处的叶片,在雷击事故中最容易击中其叶尖部分,有时也可能击中叶片的翼面,导致整个叶片损坏。雷电击中叶尖后,释放大量能量,强大的雷电流使叶尖结构内部的温度急骤升高,水分受热汽化膨胀,从而产生较大的机械力,造成叶尖结构爆裂破坏,严重时使整个叶片开裂。

雷暴对机舱内部电气设备的影响也不容忽视。据日本新能源和发展技术组织研究,风电机组超过50%的故障发生在低压电路、控制电路和通讯电路中。频繁的低压电路故障容易导致风电机组利用率恶化,耗电量增加。风电机组故障报告中,因雷暴引起的低压电路电解质击穿和过载保护设备的烧毁等故障不在少数,已经引起了人们的关注。

5 结语

我国风力资源丰富的东南沿海地区具有典型湿热沿海环境条件,长时间处于高温、高湿、高盐雾的状态。同时,雷暴和台风等极端天气也较为频繁,整体气候环境条件较为恶劣。

因此,湿热沿海地区需要关注高温、高湿、盐雾、台风和雷暴对风电机组的电气设备、叶片和塔筒的影响,应采取针对性的措施,提高抵御恶劣环境的能力。

1) 应对电气设备密集的机舱进行密封、防潮、降温保护,减小电气设备的腐蚀程度,同时塔架、叶片等结构件防腐措施应按照C5等级进行设计。

2) 为增强抗台风能力,近海风电机组设计时应考虑叶片根部加固,最好使用智能偏航系统,减少不确定性风载荷对风电机组的破坏。

3) 对于雷电频发的沿海地区,风电机组叶片、机舱、塔架、发电机和控制器等各个部件的防雷措施

(下转第26页)

的主要风区集中在德国、英国、丹麦及挪威沿海地区。德国全境年最高雷击密度为5个/(km²·a),而北部风区的雷击密度较低,最高不超过3个/(km²·a),所以按照德国、丹麦的相关统计数据,雷击仅占机装机总量的不足10%。与我国内蒙地区部分风场的雷击(不完全统计)数据相持平。我国东南沿海雷暴多于内陆,而欧洲大陆雷暴要严重于欧洲沿海。例如我国广东湛江年雷暴次数高达94.6次,汕头和福州较低也分别有52.6和49.4次,而内蒙古包头约为34.7次。目前很多风力发电机组的防雷设计仍然参考德国或者丹麦的机组雷击数据,从整体来讲是不能满足我国实际需要的,这对于我国风力发电机组的整机防雷和风场机组接地设计都存在一定的影响,这也导致了我国早期引入并安装在东部沿海地区的风力发电机组累计损坏程度较高^[5]。

雷电对风电机组的损坏有:雷电释放的巨大能量引起风机桨叶爆裂、电气设备绝缘烧损、控制元件击穿等。其中,雷击事故中最容易击中的是叶尖部分,雷电击中叶尖后,释放大量能量,强大的雷电流使叶尖结构内部的温度急剧升高,水分受热汽化膨胀,从而产生较大的机械力,造成叶尖结构爆裂破坏,严重时使整个叶片开裂。有时也可能击中叶片的翼面,导致整个叶片损坏。应加强风电机组的防雷设计,根据不同的雷击损坏机理,对叶片、机舱、轴承等机械部件以及信号、控制线路等采取不同的防雷措施。由于雷电是一种自然现象,要使风力机完全不被雷电击中和损坏是不可能的,但必须尽量采取各种有效手段来减少被雷电击中的损失^[6]。

4 结论

1) 我国东南沿海风电机组长时间在高温、高湿状态下运行,从而对风电机组散热、绝缘等性能提出更高的技术要求,而对风电机组耐低温性能的要求有所降低。

2) 我国东南沿海相对于欧洲沿海地区台风频发,最大风速可高达60 m/s。为确保风电机组安全运行,沿海及海上风电机组最大抗风能力应比欧洲海上风电机组要求更为严格。

3) 我国东南沿海雷暴频率高于欧洲沿海地区,因此需要进一步重视风电机组的防雷系统和结构的设计。

参考文献:

- [1] 刘琦,许移庆.我国海上风电发展的若干问题初探[J].上海电力,2007,20(2):144—148.
- [2] 薛海梅.大型海上风力发电的开发[J].发电设备,2007,23(2):161—164.
- [3] 王宏波.低温环境对风力发电机组的影响[J].科技文汇,2009(12):277—278.
- [4] 肖运启,贾淑娟.我国海上风电发展现状与技术分析[J].华东电力,2010,38(2):277—280.
- [5] 赵海翔,王晓蓉.风电机组的雷击机理和防雷技术[J].电网技术,2003,27(7):12—15.
- [6] 张礼达,任腊春.恶劣气候条件对风电机组的影响分析[J].水力发电,2007,23(10):67—69.

(上接第21页)
应该特别关注。

参考文献:

- [1] 张彩先,杨小河,周邵华,等.东南沿海环境因素对直升机的影响[J].装备环境工程,2010,7(6):127.
- [2] 李波.湿热老化对环氧树脂复合材料电学性能影响研究[D].武汉:武汉理工大学,2010:4—5.
- [3] 王帅.自然环境对风力发电机组安全运行的影响分析[J].中国安全生产科学技术,2009,5(6):216—217.

- [4] 梁志强,莫银锋,李添宾.盐雾对风力发电机组的危害及对策[J].电器工业,2011(5):92—93.
- [5] 卢敏,唐先贺,冯学斌,等.盐雾老化对风电叶片用环氧树脂性能的影响[J].玻璃钢/复合材料,2012(1):145—149.
- [6] 张丽佳,刘敏,权瑞松,等.中国东南沿海地区热带气旋特点与灾情评估[J].华东师范大学学报(自然科学版),2009(2):43—44.
- [7] 张秀芝,闫俊岳,杨校生,等.台风对我国风电开发的影响与对策[M].北京:气象出版社,2010:60—67.