

我国东南沿海与欧洲沿海风电机组服役 环境条件的差异性分析

陈川¹, 王俊¹, 黄海军¹, 揭敢新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: 对我国东南沿海主要的气象环境条件因素, 包括温度、湿度、风资源、台风、雷暴等, 以及它们对风电机组的影响与欧洲沿海进行了对比分析。结果表明, 我国东南沿海地区与欧洲沿海气象环境条件有着显著差异, 对风电机组有着不同的影响, 发展海上风电不能完全借鉴欧洲海上风电场经验。研究结果为我国东南沿海海上风电机组的设计、制造、运行和维护提供了参考。

关键词: 海上风电; 东南沿海; 气象环境条件; 欧洲沿海

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.05.005

中图分类号: TG 172; X820.3; TM314 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)05-0022-05

Discrepant Analysis between Service Conditions of Offshore Wind Turbine in Southeast China Coast and Europe Coast

CHEN Chuan¹, WANG Jun¹, HUANG Hai-jun¹, JIE Gan-xin¹, HUANG Kai-yun¹, SONG Xiao-ping²

(1. State Key Laboratory of Environmental Worthiness 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 main meteorological environmental factors in the southeast coast of our country and their effects on the wind turbine, including temperature, humidity, wind resources, typhoons, thunderstorms, and so on, were analyzed comparatively with that of the costal area of Europe. It was concluded that there are significant different meteorological conditions between the southeast coast of our country and the European coastal area, which have different influence on wind turbine, therefore, development of offshore wind power in the southeast coast of China can not entirely draw on experiences of European offshore wind farm. The purpose was to provide references for design, manufacture, operation and maintenance of wind generating set in China.

Key words: offshore wind power; southeast coast of China; meteorological condition; Europe costal area

收稿日期: 2013-06-06

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: 陈川(1987—),男,四川富顺人,硕士,主要从事风电相关工业产品的环境适应性技术研究。

沿海及海上风电与陆上相比,具有风资源更加丰富,风速稳定,单机容量大,年利用时数高,靠近电网负荷中心,适合大规模开发等优势。我国海岸线长,海域面积辽阔,且海洋风资源约为陆地的3倍左右^[1],具备开发建设海上风电的良好条件。沿海及海上风电是今后保证能源安全、保持经济持续增长和保护环境的一个强有力的手段。

我国东南沿海与欧洲沿海发展海上风电同样面临着盐雾、海水、海浪、潮汐、太阳辐射等自然环境的影响,但是引进欧洲海上风电技术的同时,我国沿海湿热地区需要关注高温高湿、风资源、台风和雷暴等气候环境上的差异,以及这种差异的综合作用对风电机组的电气设备、叶片和塔筒的影响。我国东南沿海湿热地区环境具有独特性,欧洲引进的先进技术和产品不能完全适用,容易发生部件故障停机、控制失灵、短路等环境适应性问题,从而影响整个风力发电设备的正常稳定运行,而且给风电企业带来重大的经济损失。为推进我国海上风电产业的大规模发展,必须对我国东南沿海与欧洲沿海环境的差异性进行认真分析,并对风力发电设备的环境适应性问题开展针对性的研究。

1 温湿度差别及其对海上风电的影响

1.1 我国东南沿海与欧洲沿海温湿度比较

图1所示为我国东南沿海地区(湛江徐闻(110.2° E, 20.3° N)、汕头南澳(117° E, 23.4° N)、福州平潭(119.8° E, 25.5° N))三个气象观测站与欧洲沿海两个气象观测站(荷兰德科赫(4.8° E, 53.1° N)、英国阿伯波斯(4.2° W, 52.1° N))累年月平均气温变化曲线。

我国东南沿海大部分地区属于亚热带海洋性季风气候,6—9月份平均气温均在25℃以上,月平均气温全年均在10℃以上。而欧洲沿海大部分属于温带海洋气候,冬无严寒、夏无酷暑,最冷月平均气温均在0℃以上,最热月平均气温在15℃左右。

图2所示为我国东南沿海与欧洲沿海典型地区累年月极端最低气温变化曲线。

我国东南沿海地区累年极端最低气温均在0℃以上,几乎不会发生结冰现象,七八月份极端最低气

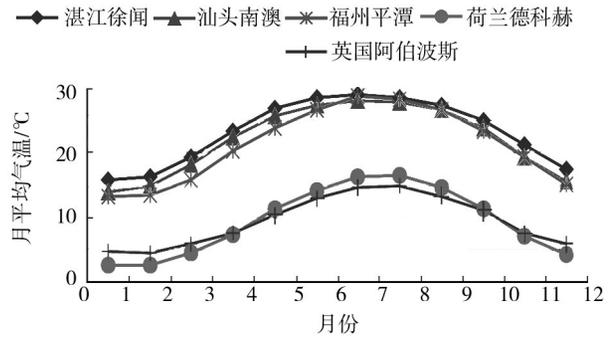


图1 我国东南沿海与欧洲沿海累年月平均气温变化曲线
Fig. 1 Monthly average temperature curves of southeast China coast and Europe coast

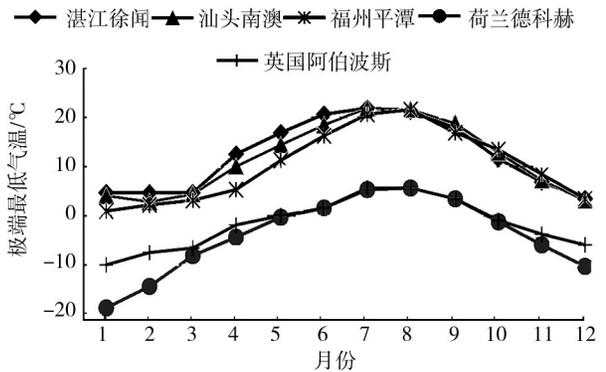


图2 我国东南沿海与欧洲沿海累年月极端最低气温变化曲线
Fig. 2 Monthly extreme maximum temperature curves of southeast China coast and Europe coast

温也在20℃以上。而欧洲沿海,例如英国阿伯波斯1月份极端最低气温低至-18.8℃,较为寒冷,夏季极端最低气温也在10℃以下。

图3所示为我国东南沿海与欧洲沿海典型地区累年月极端最高气温变化曲线。

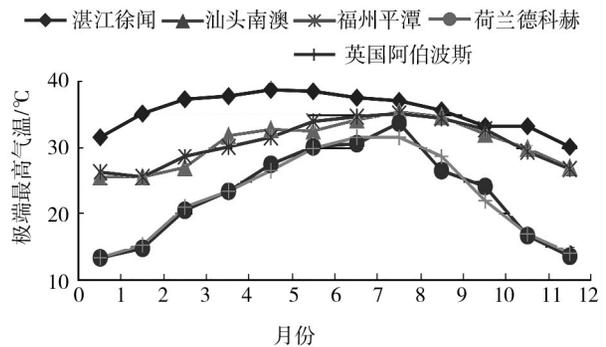


图3 我国东南沿海与欧洲沿海累年月极端最高气温变化曲线
Fig. 3 Monthly extreme minimum temperature curves between the southeast coast of China and the coast of Europe

我国东南沿海年极端最高气温达35℃左右,冬季极端最高气温也在25℃以上。其中湛江徐闻属于热带地区,3—8月极端最高气温均在37℃以上,冬季极端最高气温也高达30℃左右。欧洲沿海8月份极端最高气温达33.8℃,而冬季极端最高气温在10℃左右。

图4所示为我国东南沿海与欧洲沿海典型地区累年月平均相对湿度变化曲线。

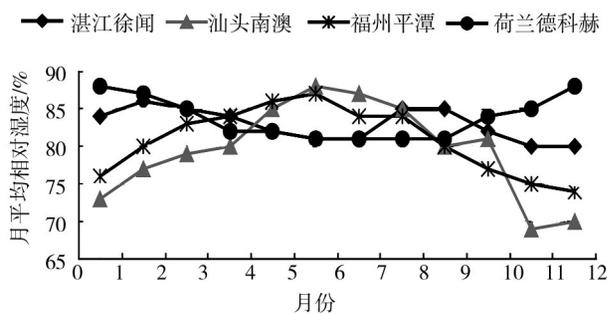


图4 我国东南沿海与欧洲沿海累年月平均相对湿度变化曲线
Fig. 4 Monthly average humidity curves of southeast China coast and Europe coast

我国东南沿海夏季雨水多、湿度大,冬季湿度相对较小,但冬季空气相对湿度也在60%以上。欧洲沿海全年湿度均较高,冬季平均相对湿度较夏季略高,荷兰德科赫全年平均相对湿度在80%以上。

综上所述,我国东南沿海与欧洲沿海温湿度变化差异明显。平均气温均变化不大,但欧洲沿海较我国东南沿海气温整体下降10℃左右。我国东南沿海高温高湿时间长,尤其湛江全年最高气温均在10℃以上,全年温度均在0℃以上;而欧洲沿海冬季温度低至-20℃左右,全年湿度均较高。我国东南沿海长期的高温高湿环境对风电机组的运行提出了更高的要求。

1.2 我国东南沿海高温高湿环境对风电机组的影响

在高温环境下,电器工作温度较高且又难于散热。一些功率较大的电源线在高温下也容易导致绝缘材料老化,严重时发生断裂、短路或触电事故,缩短了使用寿命。在夏季,风电机组接近满负荷且持续时间较长的情况下,可能会导致某些主要部件的温度逐渐升高,尤其是高温高湿环境下,散热较慢,对风电机组发电机、液压油、齿轮箱、冷却水、变压器

等关键部件的运行使用有严格的要求。

高湿的环境会使电器元件绝缘性能下降,严重时造成短路和漏电,烧毁零件或引起触电事故。高湿的环境也会使金属更易生锈,电器元件的生锈会造成电气参数改变和电路开路等故障,机械部分生锈使机件强度下降,运转不灵活,使设备负荷增加,引起故障。长期高温高湿的环境,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,也会导致设备绝缘性能下降。

高温高湿环境下,风机叶片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,对复合材料界面的耐水性能和力学性能有较高的要求,叶片的腐蚀与损坏直接影响其气动性能,影响风电机组的发电效率。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,涂层粉化、起泡等,使涂层的保护性能下降,使机舱底座和塔筒的金属材料受到腐蚀,使风机发电效率降低,严重时会导致塔筒的损坏以及抗冲击性能下降引起的折断等。另外,一般来说我国东南湿热地区盐雾、海水温度、海水盐度也较高,海洋中还存在多种藻类,水质污染也较为严重,整体腐蚀环境较为恶劣。因此,海上风电设施应重视腐蚀防护问题。

我国东南沿海对风电机组的低温要求相对欧洲较低,欧洲冬季低温高湿的环境则对风电机组零部件有不同的要求。传动系统中的齿轮箱、主轴等,承受冲击载荷,这类零部件需重点防止低温时的脆性断裂,提高材料和机件的多次冲击抗力。风电机组的塔筒作为承受载荷的主要部件,一般是大型焊接件,在低温环境下存在低温疲劳问题。同样风电机组中的液压油、润滑油等也受低温影响。在低温高湿的冬季,风机叶片甚至会发生结冰现象,从而降低风轮功率。而在我国湿热沿海则几乎不用考虑这些低温问题。

2 风资源的差别及其对风电机组的影响

2.1 风资源的利用

据中国风能协会和世界自然基金会估算,在离

海岸线 100 km、中心高度 100 m 范围内,7 m/s 以上风速给我国带来的潜在发电能力为年均 110×10^{12} kW,与欧洲北海的风电资源相当^[2]。

风力发电机组风轮的输出功率 P 与风轮的气动效率 C_p 、空气密度 ρ 、风轮的扫风面积 A 以及风速 v 之间的关系可表示为: $P = C_p \frac{\rho}{2} A v^3$ 。可见,不仅风速影响输出功率,空气密度的大小对输出功率也有影响。图 5 所示为我国东南沿海与欧洲沿海典型地区累年月平均空气密度变化曲线。

我国东南沿海与欧洲沿海空气密度变化规律相同,冬季温度降低,空气密度将增大,夏季气温上升,空气密度将下降,但我国湿热沿海空气密度全年较

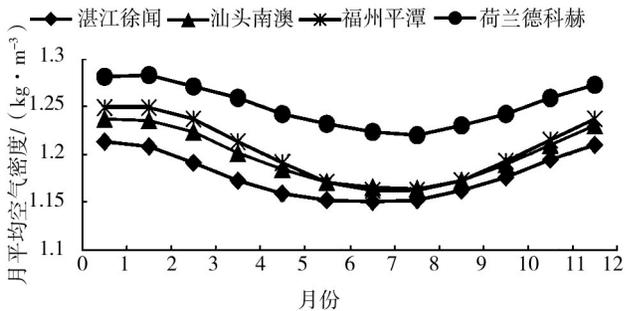


图5 我国东南沿海与欧洲沿海累年月平均空气密度变化曲线
Fig. 5 Monthly average air density curves of southeast China coast and Europe coast

欧洲沿海偏低。空气密度的下降,将导致机组的输出功率下降,应有的效益不能完全发挥,需要对叶片安装角等参数进行优化设置和必要的处理,尽量降低因空气密度变化带来的不利影响^[3]。

2.2 台风对我国东南沿海发展海上风电的影响

受地球自转及大气环流的影响,在太平洋西岸及大西洋西岸是台风及飓风生成和活动的地方。台风与飓风极具破坏力,其极限风速能达到 90 m/s 甚至更大,这对沿海风电场危害极大。欧洲沿海由于纬度较高,热带气旋转化为温带气旋,飓风袭击欧洲沿海的概率已经极小。与欧洲相比我国东南沿海则是台风的频发区,表 1 为我国东南沿海主要城市及其附近海域年台风次数统计表。

我国东南沿海均是台风频发区,其中全年台风数最高达 48 次。台风夹带的细小沙砾会破坏叶片表面,影响叶片的气动性能,产生噪音,严重的甚至

表 1 我国东南沿海主要城市及其附近海域年台风次数统计
Tab. 1 Number of typhoon in southeast China and the coastal cities

地区	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
福州	1	2	7	15	7	—	—	—	32
汕头	1	6	13	9	8	3	1	—	41
珠海	1	6	13	9	8	3	1	—	41
湛江	—	8	10	10	10	5	4	1	48

会破坏叶片表面强韧性,降低叶片整体强度。台风施加的静力效应和动力效应共同作用,不断增加风电机组的疲劳载荷,会使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,使整个风电机组产生致命性的损坏。台风也可能使连接风轮和主轴的主轴承座发生位移偏移,连接齿轮箱和发电机的联轴器损坏。当电网停电时,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;而且当台风作用在风机的最大弯矩大于塔筒和塔基的设计值时,甚至会使风电机组发生倒塌,甚至倾覆。此外,台风对测风装置的破坏会导致风力发电机组不能正确偏航避风,对输电线路的破坏则会导致整个系统的崩溃。因此,应该在抗台风设计上做工作,并且改进制造工艺,研制智能偏航系统,以积极应对台风的袭击^[4]。

3 雷暴对我国东南沿海发展海上风电的影响

随着风电机组装机容量的不断上升,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越来越大。

我国东南沿海雷暴活动与欧洲雷暴活动有着本质的区别,欧洲沿海与我国北方省份的纬度相当,在雷暴活动上基本相当,全球雷暴主要活动范围在 40° N—40° S 之间,所以在 40° N 线以北的地区雷暴活动都相对比较低。根据德国气象局公布的资料显示,德国全境的雷电分布主要集中在中西、西南部的山区,主要是由于西南地区属于阿尔卑斯山脉及巴伐利亚阿尔卑斯山区,造成锋面雷暴活动相对集中,而北部平原地区受到大西洋西风带的影响,冷空气对流较少,相对锋面雷暴活动更低。因此欧洲

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。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.