

江苏北部沿海风电场气象灾害风险评估

杨梦兮¹ 班欣²

(1 中国海洋大学, 青岛 266100; 2 江苏省连云港市气象局, 连云港 222006)

摘要 在对江苏北部沿海 9 个国家基本(一般)气象站近 60 年来热带气旋样本统计分析基础之上, 结合近 4 年闪电定位仪资料, 分析了影响江苏北部沿海地区的热带气旋、沿海大风和闪电的时空分布规律及其可能对该区域风电场造成的影响。结果表明: ①影响江苏北部沿海地区的热带气旋以西北行路径和登陆后北上出海居多, 占总数的 73.2%; ②建国以来影响该区域的热带气旋中, 有 87.7% 的热带气旋可为风电场带来经济效益, 进行适当防御后不会造成损失的占 12.3%, 尚无破坏型热带气旋个例; ③江苏北部沿海地区雷雨季节(6—8 月)应加强对机组的防雷检查, 特别是江苏北部沿海地区的盐城区段更应该加强雷电防护监测工作; ④江苏北部沿海地区 50 年一遇最大风速和极大风速符合国家 III / II 型风机安全运行标准。

关键词 风电场 沿海 热带气旋 闪电 评估

引言

近年来, 作为新能源的风电产业在世界各地得到了迅猛发展, 我国在积极开发陆上风电的同时, 沿海风电产业开发也进入了快速发展期。江苏省沿海地区是国家海上风电开发的先行地区, 也是国家确定的七个风电产业发展基地之一。截至 2012 年, 已建成包括华电连云港灌云 100 MW 风电场、国电盐城大丰 200 MW 风电场、龙源如东 182 MW 风电场等在内的 50 MW 以上风电场 14 座, 总装机容量 1581 MW^[1]。虽然沿海风电有其潜力巨大、风速稳定等优势, 但其运行环境复杂, 在面对热带气旋、强雷电等恶劣天气时, 常使其面临更加严峻的考验。因此如何更好的保障沿海风电场安全运营, 已成为其开发时必须首先解决的关键问题。

近年来, 国内外开展了大量的关于热带气旋和雷电工程防护评估的研究^[2-5]。赵宝庆^[6]等对 45 年间影响中国东海附近海区热带气旋时空分布特征进行分析。班欣^[7]等利用沿海梯度测风塔资料对不同天气系统引起的强风湍流演变特征及其对风电场影响进行剖析。田艳婷^[8]等从雷电灾害易损性分析角度出发, 选取雷击大地密度、雷电灾害频数、经

济易损模数、生命易损模数 4 个指标, 采用灾后分析法对河北省雷电灾害易损性进行了评估。但目前结合相关沿海风电场运营保障的研究还较少, 此外当前大多数风电场建设还主要依靠国际电工委员会(IEC) 制定的主要参数, 其应用于无热带气旋影响的内陆风电场较为适宜, 而对于受热带气旋影响频繁的我国沿海地区并不完全适用。本文利用近 60 年热带气旋历史资料及近 4 年沿海闪电定位仪资料, 对热带气旋、沿海大风和闪电等可能对江苏北部沿海风电场构成较大威胁的气象灾害进行研究, 为今后该地区的风电场建设及运营管理提供科学依据。

1 资料来源

所用资料包括: 江苏北部沿海地区赣榆站、新浦站、西连岛站、东海站、灌云站、燕尾港站、灌南站、射阳站、大丰站等 9 个国家基本(一般)气象站 1951—2011 年 10 m 高度测风资料; 中国气象局上海台风研究所编制的《热带气旋年鉴》1951—2011 年有关热带气旋资料; 江苏省气象局闪电定位系统 2007—2010 年 4 年闪电定位仪探测资料, 包括南京主站、新浦和建湖为江苏北部沿海站及徐州、淮安、盱眙、

扬州、南通、宜兴等6站。江苏北部沿海气象观测站点位置见图1。

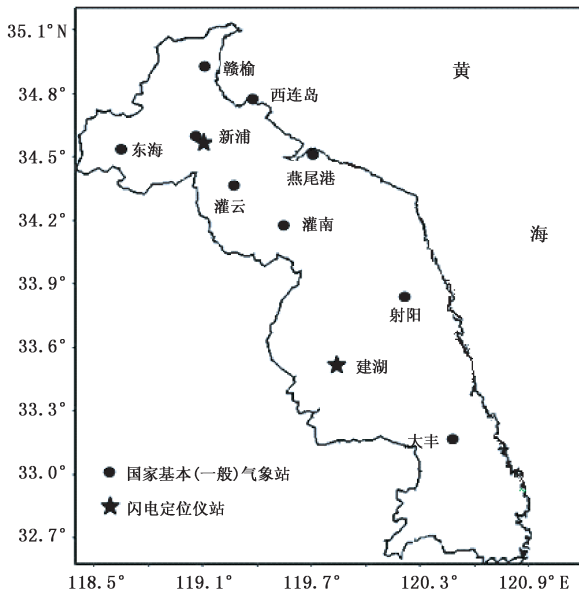


图1 江苏北部沿海气象观测站点分布

2 影响江苏北部沿海的热带气旋基本特征

2.1 热带气旋影响时间分布特征

热带气旋是影响我国沿海地区主要的气象灾害之一,它往往会带来狂风暴雨等多种灾害性天气,具有破坏性极大,毁灭性极强的特点。据历史资料统计,每年能影响到江苏省的热带气旋平均有3.1个,最多年份7个,最少年份只有1个,个别年份没有。

根据1951—2011年《热带气旋年鉴》有关热带气旋资料分析,对江苏北部沿海地区影响较大的热带气旋(检索标准:进入东经125°以西、北纬30°以北的热带气旋)共有106个,平均1.7个/a;其中最严重(出现区域性大暴雨并伴有大范围强风)的有1956年、1974年、1981年、1997年、2000年和2005年。每年进入该区域的热带气旋最多可达5个(1985年),最少1个也没有(共8年)。每年从5月至11月都有可能遭受热带气旋影响,其中7月中旬到9月中旬为热带气旋影响集中时期,以8月份最多。

2.2 热带气旋影响路径特征

根据历史统计分析并结合实际预报经验,我们把影响江苏北部沿海地区的热带气旋移动路径分为以下5类(图2):①西北行路径:热带气旋在125°E

以西的海面向西北移动,然后转向北上;②登陆北上出海类:在闽、浙登陆,转向进入江苏后出海;③沿江江苏沿海北上类:热带气旋中心沿江苏海岸线北上;④正面登陆江苏类:在长江口附近登陆江苏;⑤南海穿出类:在广东登陆后向东北方向移动,并在30°N附近再次入海。其出现概率依次为41.5%、31.7%、9.8%、4.8%、12.2%,5种路径中以西北行类和登陆后北上出海类居多,原因是海上西北行的热带气旋常常能保持较大强度,且从海面一侧近距离靠近江苏北部,如2005年的台风“麦莎”和“卡努”都是在浙江沿海登陆,从赣榆和燕尾港出海。相比之下其他3种路径出现次数少,影响也相对弱。

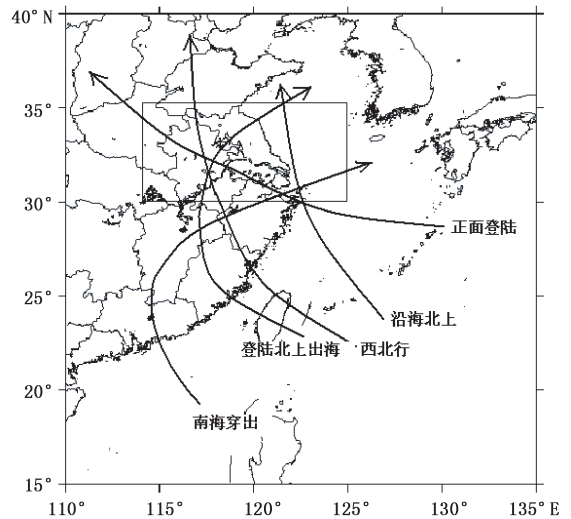


图2 影响江苏北部沿海地区的热带气旋移动路径

3 热带气旋对江苏北部沿海风电场的影响评估

热带气旋对风电场的影响利弊兼有,强度较弱的热带气旋以及其外围环流影响的区域,可以给风电场带来较长的“满发”时段(风电机以满额风速运转);但是对于强度较强的热带气旋如台风,则会给风电场带来极大的破坏。

目前国内新一代大型风机已具备较强的抗风能力,其抗风能力可以达到抗70 m/s的极大风速,并且大型风机的切出风速也达到了25 m/s^[9]。可见,风力在10级以下的热带气旋影响时,就其平均风力来说,可为风电场带来良好的发电效益。由此,根据大型风机的性能技术指标以及我国现行的热带气旋预报发布技术规定,就大型风电场的风力发电生产而言,可以将登陆我国的热带气旋划分为效益型、防

御型和破坏型 3 类:①效益型热带气旋:受热带气旋影响,最大风力在 10 级以下;②防御型热带气旋:受热带气旋影响,最大风力在 10~11 级;③破坏型热带气旋:受热带气旋影响,最大风力在 12 级及以

上。按照以上分类标准,我们将建国以来影响江苏北部沿海地区的热带气旋按其风电场的效益进行分类(表 1)。

表 1 1951—2011 年影响江苏北部沿海地区的热带气旋效益分类

	最大风速/(m·s ⁻¹)	61 年总个数	占总数比率/%	年平均个数
效益型	<24.5	93	87.7	1.5
防御型	24.5~32.6	13	12.3	0.2
破坏型	>32.6	0	0	0
总数		106		1.7

从表 1 可以看出,建国以来影响江苏北部沿海地区的热带气旋中,可为风电场带来可观经济效益的效益型热带气旋占总数的 87.7%,平均每年 1.5 个;进行适当防御后即不会造成损失的防御型热带气旋占总数的 12.3%,平均每年 0.2 个;无破坏型热带气旋个例。可见热带气旋将每年为江苏北部沿海风电场带来较为客观的效益的同时,对其自身安全防御等级要求较广东、海南、福建、浙江等省份的沿海风电场要小的多。

4 沿海大风对江苏北部沿海风电场的影响评估

风电场工程设计通常要考虑当地的极端大风事件,即考虑风机对极端大风造成强风压的抵抗能力,防止其损坏及保障周围公共安全。50 年一遇最大风速(10 min 平均风速)和极大风速(3 s 平均风速)是判别风电场安全等级的主要指标,综合考虑我国风能年际变化特点及评估资料均一性原则,利用江苏北部沿海地区 9 个国家基本(一般)气象站 30 年以上气象资料计算各站 10 m 高度处 50 年一遇最大风速。

风速的年最大值 x 采用极值 I 型的概率分布,其分布函数为:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\}$$

式中: u 为分布的位置参数,即分布的众值; α 为分布的尺度参数。

分布参数与均值 μ 和标准差 σ 的关系按照下式确定:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \mu)^2}$$

$$\alpha = \frac{c_1}{\sigma} \quad u = \mu - \frac{c_2}{\alpha}$$

式中: v_i 为连续 n 年最大风速样本序列;当 n 取 30 年时, $c_1 = 1.11238$ $c_2 = 0.53622$ 。

50 年一遇最大风速:

$$V_{50-\max} = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[\ln \left(\frac{50}{50-1} \right) \right]$$

经计算,江苏北部沿海地区 10 m 高度 50 年一遇最大风速为 18.4~29.0 m/s,射阳站最小,西连岛站最大。然后利用江苏沿海地区风切变指数 α (平均取 0.15)^[10-13] 推算出风电场轮毂高度(70 m)处 50 年一遇最大风速。

$$v_2 = v_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha$$

式中, v_2 为高度 z_2 处的风速, v_1 为高度 z_1 处的风速, α 为风切变指数。

根据国际风电机组设计标准^[14],由平均阵风系数(一般取 1.4,目前我国风能资源评估中也多采用这样的阵风系数^[15-16])推算出各站 70 m 高度处 50 年一遇极大风速。计算结果见表 2。

表 2 江苏北部沿海地区风电场轮毂高度 50 年一遇最大风速和极大风速

	内陆							m/s	
	内海			沿海				近海	
	东海站	新浦站	赣榆站	灌云站	灌南站	射阳站	大丰站	燕尾港站	西连岛站
70 m 高度最大风速	27.1	25.3	26.5	25.8	26.2	24.7	25.6	36.6	38.9
70 m 高度极大风速	38.0	35.4	37.1	36.1	36.7	34.6	35.8	51.2	54.5

经计算发现江苏北部海岸带及其内陆地区,其 50 年一遇最大风速和极大风速符合国家 III 型风机安全运行标准,而其近海则应选择抗风等级更高的 II 型风机(表 3),但总体而言抗风等级较浙江、福建、广东等省低。

表 3 国家风力发电机安全运行等级 m/s

	安全等级		
	I	II	III
风速	<50	<42.5	<37.5
极大风速*	<70	<59.5	<52.5

注: * 表示与最大风速对应的极大风速。

5 影响江苏北部沿海地区的闪电基本特征

5.1 闪电时间分布特征

根据江苏北部沿海地区(以连云港和盐城为例)2007—2010 年 4 年的闪电定位仪资料分析得出:江苏北部沿海地区闪电发生频次较高,2007—2010 年共发生 23 万余次闪电,相当于每天闪电高达 150 余次。闪电月变化规律(4 年平均)为(图 3):夏季为高发期,即在 6—8 月最多,8 月达到峰值;10 月至次年 1 月次数很少,部分年份 1 月和 12 月甚至无闪电发生。

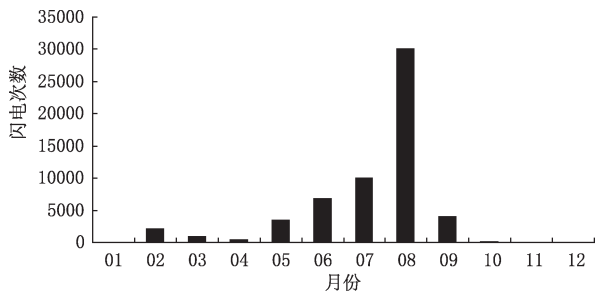


图 3 2007—2010 年江苏北部沿海地区(连云港和盐城)闪电年变化直方图

统计 2007—2010 年 4 年平均每天中 00:00—01:00, 01:00—02:00, …, 23:00—24:00 每小时的闪电频数,从而得到闪电的时变化规律。由图 4 可见,闪电具有明显的日变化特征:13:00—19:00 为闪电频数的高值区,并在 15:00—16:00 达到极大值,可达 4600 次/h;同时,闪电频数在夜间 23:00—03:00 还有一个次峰值区;上午 05:00—12:00 闪电发生较少,为低值区。

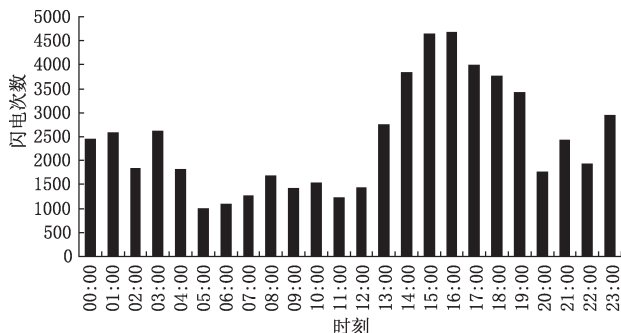


图 4 2007—2010 年江苏北部沿海地区(连云港和盐城)闪电日变化直方图

5.2 闪电空间分布特征

为了分析江苏北部沿海地区闪电的空间分布特征,将江苏北部沿海地区(118.38°~121.00°E), (32.55°~35.15°N)按 0.05°×0.05°划分为 2968 个网格,统计每一网格内(25 km²)的 4 年总闪电数,经过插值得闪电密度(图 5)。江苏北部沿海地区的闪电活动有两个高值中心,其一位于建湖县靠近淮安的蒋营镇,另一个极值中心位于盐都区和建湖县交界处的楼王镇,其值均可达到每个 0.05°×0.05°网格 700 次。盐城西部地区位于射阳湖畔,湖荡交错,水网纵横,湖水导电率低,易接闪。入夜后由于湖泊和陆地的热容不同,陆地辐射降温较水体快,一般水体附近的底层气温高于陆地,因此容易导致该地区热对流的发生,故闪电闪击的概率大,发生的闪电数

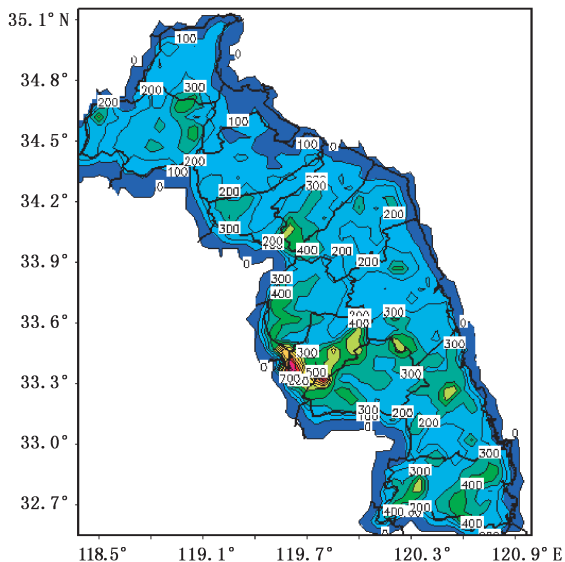


图 5 江苏北部沿海地区闪电密度分布(每 25 km² 闪电次数)

多。江苏北部沿海地区连云港区段沿海地区闪电密度值较小,4年的总闪电不超过每个 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 网格100次,而盐城区段沿海地区闪电密度值较北部大,闪电一般在每个 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 网格200~300次。

闪电活动随季节和时段的不同有明显的变化,户外作业时应根据季节变化和日变化合理安排工程进度。江苏北部沿海地区各建筑物内灵敏设备安装、调试,应尽可能避开闪电高发期,即6—8月的13:00—19:00和23:00—03:00,最好安排在10—12月或是1—4月的05:00—12:00。特别是闪电密度值较大的蒋营镇和楼王镇地区,户外作业应合理安排工期,尤其是高空作业和弱电系统设备的安装、调试应避开闪电高发期和时段,这样至少可将潜在雷击危险显著降低到1%以下。

6 闪电对江苏北部沿海风电场的影响评估

由于风力发电机组的高度一般在70 m以上,且分布在沿海地区,而这些地区雷雨天气较为频繁,雷击的破坏力强,可以在很短的时间内对发电机组造成严重的破坏,风机遭受雷击是影响风电场安全持续运行和发挥风电经济效益的重要因素所在,提高风力发电机组的防雷水平具有十分重要的现实意义。

雷击保护最关注的是每一次雷击放电的电流波形和雷电参数。雷电参数包括峰值电流、转移电荷及电流陡度等。风电机组遭受雷击损坏的机理与这些参数密切相关,其遭雷击受损通常有4种情况:①设备直接遭受雷击而损坏;②闪电脉冲沿着与设备相连的信号线、电源线或其他金属管线侵入设备使其受损;③设备接地体在雷击时产生瞬间高电位形成地电位“反击”而损坏;④设备因安装的方法或安装位置不当,受闪电在空间分布的电场、磁场影响而损坏。风电机组的防雷保护包括叶片的防雷保护、机舱的防雷保护、风向仪传感器的防雷保护、轴承的防雷保护、机舱内各部件的防雷保护、电气控制系统的防雷保护、塔架及引下线的防雷保护和接地系统。风电机组根据国家标准应按一类防雷建筑物进行防雷设计,总的来说,风电机组的防雷系统设计主要采用等电位连接、屏蔽和隔离保护以及安装电涌保护器(SPD)等措施来减少闪电的损害。

影响风力发电机组遭雷击的因素主要分为自然

条件和人为因素,自然条件因素主要指风力发电机组所处的地理位置、海拔、地质条件、雷暴活动等,人为因素主要是风力发电机组的接地系统。有资料表明^[17],高山上的机组比平原机组遭雷击的概率要高,接地电阻值高的机位比接地电阻值低的机位产生雷击的概率高。江苏北部沿海地区的风电场主要集中在海岸线上,其海拔较低,沿海地区接地电阻值也较低,由江苏北部沿海闪电密度分布图(图5)可以看出,海岸线一带的闪电密度较内陆区域低,故闪电时间分布特征是影响江苏北部沿海风电机组遭受雷击的重要评估因子。从该地区年闪电活动的月平均分布情况,由于该地区闪电活跃期为每年的6—8月,特别是13:00—19:00和23:00—03:00这两个时段,因此该期间应加强对机组的防雷检修,特别是江苏北部沿海地区的盐城区段更应提前做好检查、实时监控和及时维修等雷电防护工作。

7 小结

(1)影响江苏北部沿海地区的热带气旋年平均1.7个,以西北行路径和登陆后北上出海的数量居多,占总数的73.2%。

(2)建国以来影响江苏北部沿海地区的热带气旋中,可为风电场带来经济效益的热带气旋占其总数的87.7%,平均1.5个/a;进行适当防御后不会造成损失的占12.3%,平均0.2个/a;尚无破坏型热带气旋个例。

(3)江苏北部海岸带及其内陆地区,其50年一遇最大风速和极大风速符合国家Ⅲ型风机安全运行标准,而其近海则应选择抗风等级更高的Ⅱ型风机。

(4)江苏北部沿海地区闪电6—8月最多,8月达到峰值,10月至次年1月次数很少;闪电具有明显的日变化特征,13:00—19:00为闪电频数高值区,最大可达4600次/h,而上午5:00—12:00闪电发生频次较少。

(5)江苏北部沿海地区闪电密度值小,4年总闪电数连云港区段小于每 25 km^2 100次,相对内陆防雷要求低,但盐城区段在每 25 km^2 200~300次,雷雨季节应加强机组雷电防护监测工作。

致谢:衷心感谢中国海洋大学胡瑞金教授对本文给予的帮助和指导,以及审稿人提出的建设性意见。

参考文献

- [1] 汪辉. 江苏沿海风电场概况和运行特性分析[J]. 电气应用, 2012, 31(17):17-18.
- [2] 张容炎, 张秀芝, 蔡连娃, 等. 热带气旋对中国沿海风电开发的影响[J]. 气象, 2009, 35(12):88-95.
- [3] 钟颖颖, 冯民学, 焦雪, 等. 两次雷暴过程的地闪及回波特征[J]. 气象科技, 2012, 40(4):620-626.
- [4] 刘喆, 白洁, 张文军, 等. 1949—2009年西北太平洋热带气旋气候特征[J]. 气象科技, 2012, 40(2):249-255.
- [5] 冯民学, 焦雪, 钟颖颖, 等. 江苏洋口港区雷电特性及风险区划[J]. 气象科学, 2012, 32(1):86-93.
- [6] 赵宝庆, 车永刚, 孙光武. 45年间影响中国东海附近海区热带气旋统计特征[J]. 气象科技, 2009, 37(5):556-559.
- [7] 班欣, 冯还岭, 祁欣, 等. 连云港沿海近地层湍流强度特征[J]. 气象科技, 2012, 40(2):285-292.
- [8] 田艳婷, 吴孟恒, 史锋旗, 等. 河北省雷电灾害易损性综合评估与区划[J]. 气象科技, 2012, 40(3):507-512.
- [9] 国家发展和改革委员会. 风能资源评价技术规定[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004年.
- [10] 彭怀午, 冯长青, 包紫光. 风资源评价中风切变指数的研究[J]. 可再生能源, 2010, 28(1):21-28.
- [11] 杜燕军, 冯长青. 风切变指数在风电场风资源评估中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(5):62-66.
- [12] 马惠群, 曲宁, 李超, 等. 风电场风切变指数研究[J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(6):88-90.
- [13] 陈飞, 班欣, 祁欣, 等. 连云港沿海地区及近海风能资源评估[J]. 气象科学, 2008, 28(增刊):101-106.
- [14] International Electrotechnical Commission. International Standard IEC61400-1: 2005[S].
- [15] 呼津华, 王相明. 风电场不同高度的50年一遇最大和极大风速估算[J]. 应用气象学报, 2009, 20(1):108-113.
- [16] 王晓林, 包紫光. 满洲里地区风电场50年一遇的极大风速探讨[J]. 电力科学与工程, 2009, 25(9):61-63.
- [17] 庄严. 风力发电厂雷电风险评估[J]. 电气制造. 2010, 11:76-78.

Risk Assessment of Wind Farm Meteorological Disasters in Coastal Region of North Jiangsu

Yang Mengxi¹ Ban Xin²

(1 Ocean University of China, Qingdao 266100; 2 Lianyungang Meteorological Service, Jiangsu, Lianyungang 222006)

Abstract: Based on the analysis of tropical cyclones in six national basic stations in the recent 60 years, combining with the data of the lightning location system in the recent 4 years, the temporal and spatial distributions of tropical cyclones, coast gales, and ground lightning flashes influencing the coastal region of the northern Jiangsu are analyzed, and their effects on the wind forms in the region are discussed. Results show: (1) Tropical cyclones influencing the coastal region of the northern Jiangsu are mainly moving northwestward on the ocean and northward after landing, and the tropical cyclones of this kind account for 73.2%. (2) Since 1945, 87.7% of tropical cyclones brought economic benefits for wind power in this region; 12.3% of tropical cyclones did not cause losses after adequate defenses; and there was no destructive tropical cyclone. (3) The lightning protection examination of wind-driven generators should be strengthened in thunderstorm season (June to August), especially in Yancheng. (4) The extreme wind speed and maximum wind speed with a recurrence period of 50 years comply with the national standards for safe operation for Model-Ⅲ/Ⅱ wind-driven generators.

Key words: wind farm, coastal region, tropical cyclone, ground lightning flash