

近12年来影响风电场安全运行的气象灾害因子分布特征^{*}

柳艳香¹, 袁春红¹, 朱玲², 黄凤新¹, 郭鹏¹, 兰海波¹, 何晓凤¹

(1. 中国气象局风能太阳能资源中心, 北京 100081; 2. 沈阳区域气候中心, 沈阳 110016)

摘要: 影响风电场安全运行的主要气象灾害因子有雷暴、台风、积冰、极端低温和沙尘暴。本文利用全国 2000 年-2011 年近 12 年的逐日气象观测资料, 计算分析了各影响因子的分布特征。结果表明, 夏季雷暴的频发区主要集中在长江中下游以南地区; 影响我国的登陆台风增多, 登陆路径偏北。冬季北方地区的极端低温均低于 -20°C , 其中东北、内蒙古中东部和北疆地区低于 -30°C ; 积冰沿长江中下游地区分布, 云南东北部、贵州和湖南出现范围较大; 春季沙尘暴多出现在塔里木盆地到巴丹吉林沙漠一带。最后分析了空气密度对风电机组出力的影响。

关键词: 风电场; 雷暴; 极端低温; 积冰; 台风; 沙尘暴; 空气密度

中图分类号: TM614 文献标识码: A 文章编号: 1674-9219(2013)05-0070-05

The Distribution Characteristics of Meteorological Disaster and Its Effects on the Safe Operation of Wind Farm in the Past 12 Years

Liu Yanxiang¹, Yuan Chunhong¹, Zhu Ling², Huang Fengxin¹, Guo Peng¹, Lan Haibo¹, He Xiaofeng¹

(1. CMA Wind and Solar Energy Resources Center, Beijing 100081, China;

2. Shenyang Regional Climate Center, Shenyang 110016, China)

Abstract: The meteorological disaster factors on the secure operation of wind farm in different seasons were analyzed by the daily observation during 2000-2011. The results showed that the thunderstorm frequently occurred in the south of Yangtze River Basin in summer. The landing Typhoon is increasing and the track is moving northward in the coast of China. In winter, the extreme low temperature is lower than -20°C in the north of China, especially Northeast China, the mid-eastern Inner Mongolia and the northern Xinjiang, lower than -30°C . Ice accretion (glaze) mainly distributes in the mid-lower Yangtze River research. The range is large in Hunan, Guizhou and the northeastern Yunnan. In spring, sandstorm occurred in the Tarim Basin to the Badain Jaran Desert area. Finally, the analysis of the impact of air density on the output of wind turbine was given.

Keywords: wind farm; thunderstorm; extreme low temperature; ice accretion; typhoon; sandstorm; air density

0 引言

中国位于中纬度欧亚大陆腹地, 地势复杂, 气候布局复杂多变, 风能资源丰富。但是, 极端气象灾害对风电场的安全运行会造成不同程度的损害, 致使风电机组受损, 效益降低。我国风能资源丰富地区主要在“三北”(东北、华

北和西北)和东部沿海地区, 而在“三北”地区, 对风电场机组部件的安全运行造成威胁的极端气象因子有极端低温、积冰、沙尘暴等, 而对东部沿海风电场产生最大威胁的气象因子是台风, 雷暴对全国的风电场机组都会产生影响, 尤其对南方地区影响最大。尽管空气密度对风电机组不会产生威胁, 但它对高海拔地区的风电机组出力会造成很大

^{*} 基金项目: 科技部国际合作项目“基于中国复杂风资源特点的风力发电关键技术研究”(2010DFA62830), 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206054)资助项目。

的影响。

利用 2000 年—2011 年近 12 年来中国气象局的逐日观测资料,对雷暴、极端低温、积冰、沙尘暴、台风以及空气密度的变化特征进行了分析,以期对风电场的安全运行提供参考保障。

1 雷暴

雷暴为积雨云云中、云间或云地之间产生的放电现象。雷暴表现为闪电兼有雷声,有时亦可只闻雷声而不见闪电。雷暴发生时常伴有冰雹、大风、暴雨等多种极端天气现象。

我国的雷暴主要出现在夏季,春、秋季出现的几率相对较小。雷暴的主要分布特征是南多北少。近 12 年来,大于 30 天的年平均雷暴日数主要出现在长江中下游以南地区。我国南部沿海地形复杂,来自洋面丰沛的水汽由于动力抬升,对流活动强盛,雷暴频发,如在云南西南、广西南部、广东西南的部分地区及海南地区年平均雷暴日数会达到 60 天—70 天。其中,云南西南部最高可以达到 80 天,局部地区会超过 100 天。而青藏高原、云南西北部以及四川西部夏季对流活动旺盛,年平均雷暴日数基本在 40 天以上,青藏高原的中东部部分地区可以达到 60 天—70 天。长江中下游以北的华中、华北、东北地区的雷暴相对较少,基本少于 30 天,但京、晋、冀部分地区的雷暴日数会达到 30 天—40 天。除新疆西北地区之外,西北大部分地区的年平均雷暴日数小于 20 天,也是我国雷暴日数出现较少的地区。由于风电机组和输电线路多建设在空旷地带,尤其在地势较高的地方,裸露于雷雨云形成的大气电场中,很容易发生尖端放电而被雷电击中。雷暴发生时会产生强大的电流、炙热的高温、猛烈的冲击波、剧变的静电场和强

烈的电磁辐射等物理效应,造成风电机组叶片损坏、发电机绝缘击穿、控制元件烧毁等,致使设备和线路遭受严重破坏,即使没有被雷电直接击中,也可能因静电和电磁感应引起高幅值的雷电压行波,在终端产生一定的入地雷电流,造成不同程度的危害。

2 极端低温

极端低温是指在一定时期内出现的最低气温。极端低温均出现在冬季,受极地大陆冷气团的影响,特别是我国的北方地区极易受到冷空气的影响,致使温度骤降。我国极端低温的分布由南向北逐渐降低,呈现东北向西南略倾斜分布。黄河下游、秦岭至西藏东南以南地区的极端低温均高于 -15°C ,对风电场没有影响,而以北的大部分地区在 $-25^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 之间,东北、内蒙古中东部、新疆北部以及内蒙古西部的部分地区在 $-30^{\circ}\text{C} \sim -35^{\circ}\text{C}$ 之间,其中除了黑龙江东部的东北大部、内蒙古中东部以及北疆东部地区的极端低温在 $-35^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ 之间,黑龙江北部和内蒙古东部的极端低温会降至 -40°C 以下。历史上,我国最低气温 -52.3°C 出现在 1969 年 2 月 13 日黑龙江的漠河地区,它是我国有器测历史以来观测到的最低温度。

据 IEC 标准规定,风电机组的运行温度为 -20°C ,生存温度为 -30°C 。在我国风能资源丰富的“三北地区”(东北、华北、西北),极端最低温度均在 -20°C 以下。而东北、内蒙古中东部以及新疆北部地区的极端低温均低于 -30°C 。这些地区的风电场开发利用时都要考虑到极端低温对风电机组的影响。极端低温对电子电气器件的正常功能影响较大,液压系统也会因液压油粘度增大出现异常,致使机组难以运转,进而危及设备的安全运行^[1]。

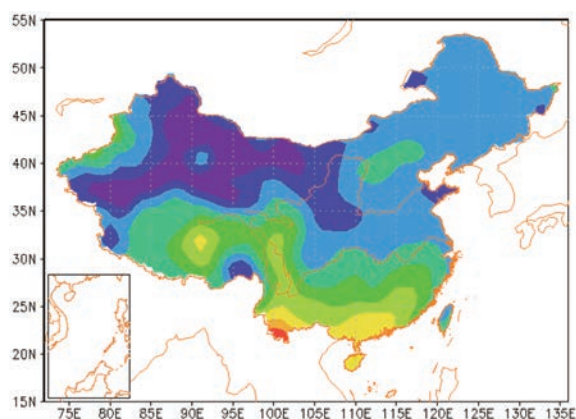


图1 2000年—2011年全国平均雷暴日数(单位:天)

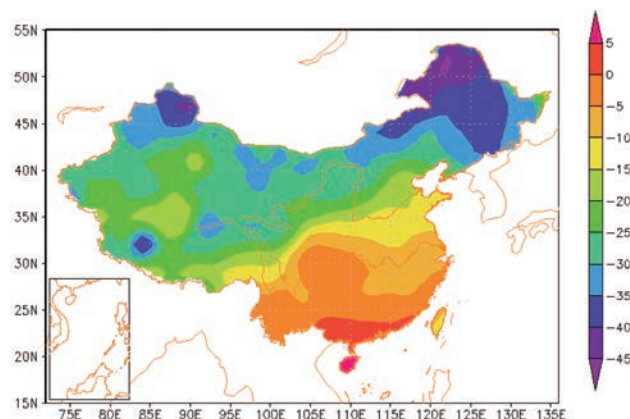


图2 2000年—2011年极端低温分布(单位:℃)

3 结冰

积冰是各种降水或雾与地面或空中冷却物体碰撞后冻结在其表面上的现象，包括雨凇和雾凇。雨凇是大气中过冷雨滴同低于 0℃ 的物体或地面相碰冻结成的坚硬冰层，而雾凇则是过冷却雾滴直接冻结在物体上形成乳白色冰晶物，有时结构松脆受震易塌落。积冰主要出现在冬季，有些地区春秋季节也会出现。它们多形成在空气中水汽含量比较丰富的地区，且随着海拔高度的增加而增多，但超过凝结高度以后又会随高度减少。在相近的温湿条件下，冻结厚度随风速增大而增加。积冰在增长过程中还可能有一种积冰交替积聚而形成混合积冰。对风电场影响较大的是雨凇、雾凇和混合积冰，雨凇的危害更为突出。

我国雨凇多分布在长江中下游以南地区，如四川南部、云南东北部、贵州和湖南大部、江西北部、湖北和安徽南部。雨凇出现范围较大的地区主要在湖南和贵州，贵州地势较高，雨凇的出现几率更高一些，几乎全省均有出现，大部分地区雨凇的年平均日数在 10 天以上，海拔较高的威宁地区甚至达到了 43.8 天，如图 3（a）所示。我国其余雨凇出现几率较高的地区均在海拔较高的山地，详见表 1。其中四川峨眉山（海拔高度 3048m）雨凇 12 年年平均日数达到了 106 天，位居我国雨凇出现几率之首。

我国雾凇分布以北方居多，如图 3(b) 所示。天山以北的新疆地区，是我国雾凇出现面积最大且出现频率较高的

区域，蔡家湖可高达 52 天。同样，雾凇出现频率较高的区域也多在高山站，如四川峨眉山出现的频率最高可达 115 天，甘肃华家岭可达 65 天，安徽黄山、南岳衡山的出现日数在 50 天以上，山东泰山、陕西华山、新疆巴里坤在 40 天—50 天，江西庐山、甘肃乌鞘岭、山西五台山及吉林等地在 30 天—40 天。

积冰对风电场的安全存在很大的危害。风电机组叶片表面积冰，会造成叶片负载增加，粗糙度增大，风电机组机翼的气动性能就会大大降低，从而影响机组的正常运行。积冰严重时，会导致导线跳头、扭转甚至拉断或结构倒塌等事故。同时，积冰对导线、杆件、风电机组自带的常规测风仪中的风杯、风标、输电线路电线等都会造成一定程度的影响，给风电场的正常运行带来一定的威胁。

4 沙尘暴

沙尘暴是指强风将地面大量沙尘物质吹起卷入空中，使空气特别混浊，水平能见度小于 1000m 的严重风沙天气现象。强沙尘的水平能见度小于 500m。沙尘暴多发生在春季。中国西北地区是沙尘暴的频发地区，蒙古国中南部戈壁地区也是影响中国的主要沙源地。

我国沙尘暴多发生在春季的北方地区，如新疆、青海、甘肃、内蒙古等，而主要的沙源地在塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠、库姆塔格沙漠、柴达木盆地以及巴丹吉林沙漠。

表1 各高地雨凇多年平均日数

地区	四川峨眉山	湖南南岳	贵州威宁	江西庐山	安徽黄山	甘肃华家岭
平均日数（天）	106.5	56.2	43.8	40.6	37.4	19.3

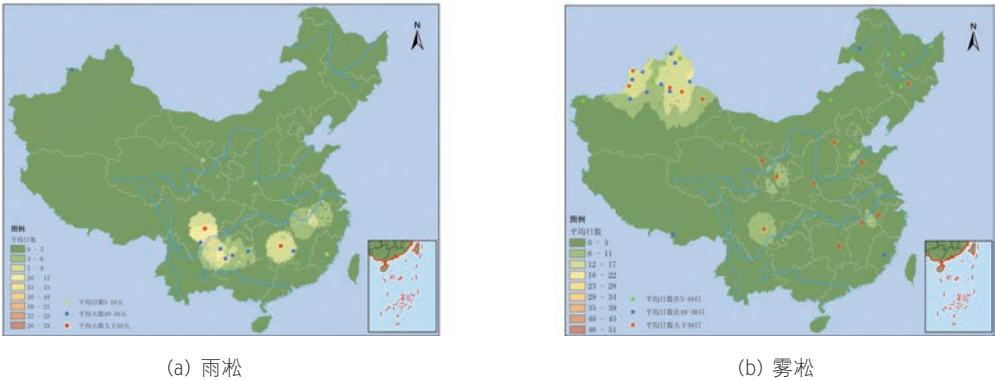


图3 2000年-2011年全国平均积冰分布（单位：天）

近 12 年来，沙尘暴主要分布在沿南疆的塔里木盆地向东延伸到内蒙古中东部的大部分地区，出现的年平均日数大于 3 天。南疆、青海西部以及内蒙古中部和西部的局部区域沙尘暴出现日数平均在 5 天—11 天，南疆局部地区可达 28 天。全国其余地区几乎没有沙尘暴出现或出现的平均日数少于 1 天，如图 4 所示。

强沙尘暴发生时风力往往达 8 级（风速 17.2m/s—20.8m/s）以上，有时甚至可达 12 级（>32.7m/s），大风夹带的沙砾不仅会使叶片表面严重磨损，甚至会造成叶面凹凸不平，破坏叶片的强度和韧性，影响风电机组出力。

5 台风

热带气旋是发生在热带或副热带洋面上的低压涡旋，是一种强大而深厚的热带天气系统，热带气旋按照其强度的不同，可分为 6 个等级：热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风。根据国际惯例，中国对发生在北太平洋西部和南海的热带气旋依据的中心最大风力对应值见表 2。

热带气旋中心风力持续达到 12 级就称为台风。台风的水平尺度约几百公里到上千公里，最大风速出现在中心附近，不少热带气旋都伴有 12 级以上的大风区，8 级大风区半径一般可达上百公里。

由图 5、图 6 可见，2000 年以来，在西北太平洋生成的编号热带气旋数明显减少，明显低于近 30 年（1971 年-2000 年）的平均值，而登陆数却在显著增加。近 12 年以来，登陆我国的热带气旋共有 90 个，台风的平均登陆路径比较偏北（如图 7）。有研究表明，近 50 年来登陆中国的热带气旋

平均强度有显著增加，登陆时强台风的比例有所增加^[2-4]。

台风对风电场的影响是把双刃剑，有利有弊。既要充分利用台风带来的风力资源，也要防范台风对风电场带来的重大损失。2009 年的“莫拉克”台风使风电场多发电量 7.420GW/h^[5]，但 2006 年的台风“桑美”给浙江苍南风电场造成惨重的损失，28 台风电机组全部受损，5 台倒塌^[6]。

6 空气密度

空气密度也是影响风电场出力的一个重要因子。空气密度是指单位体积所具有的空气质量（kg/m³）。所谓的标准空气密度，是指风能计算中常用的标准大气压下海平面空气密度 1.225kg/m³。

图 8 是近 12 年来我国年平均空气密度分布。很明显，我国东部地区的空气密度大于西部地区。长江中下游以北的东部地区空气密度大于 1.20kg/m³，最大值出现在黑龙江地区，空气密度达 1.28kg/m³，也是我国近 12 年来空气密度最大的区域。青藏高原的空气密度最小，基本小于 1.0kg/m³，最小值只有 0.73kg/m³。新疆北部、华南地区介于 1.15kg/m³—1.20kg/m³ 之间。内蒙古中东部地区在 1.15kg/m³—1.25kg/m³ 之间，而中西部地区则介于 1.05 kg/m³—1.15kg/m³ 之间。西北其余大部分地区空气密度均低于 1.10kg/m³。

空气密度的大小会直接影响风能密度。空气密度的大小与气温、海拔高度、水汽压等因素有关。气温越低，空气密度越大；而海拔越高，空气密度则越小。与标准空气密度 1.225kg/m³ 相比，青藏高原平均空气密度按 0.74kg/m³ 计算。同等条件下，青藏高原的风能较标准密度下要减损 40% 左右。这意味着只有风速增加约 1.0m/s，实际的风能才可以达到标准空气密度下的量值。

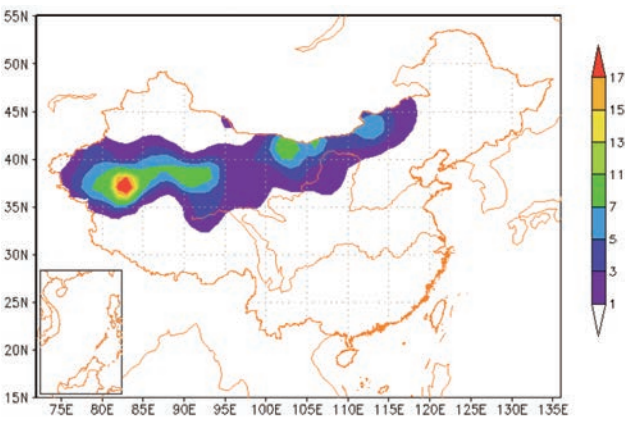


图4 2000年-2011年全国平均沙尘暴日数（单位：天）

表2 热带气旋等级

热带气旋	最大风力（级）	风速范围（m/s）
热带低压	6~7	10.8~17.1
热带风暴	8~9	17.2~24.4
强热带风暴	10~11	24.5~32.6
台风	12~13	32.7~41.4
强台风	14~15	41.5~50.9
超强台风	≥ 16	≥ 51.0

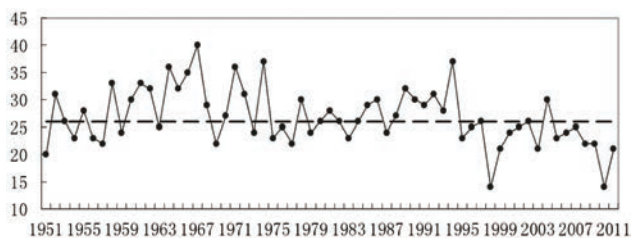


图5 1951年-2011年 西北太平洋热带气旋编号数

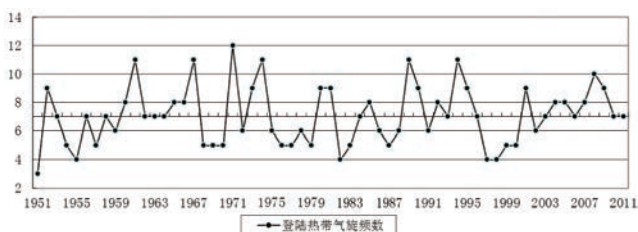


图6 1951年-2011年 西北太平洋热带气旋登陆数

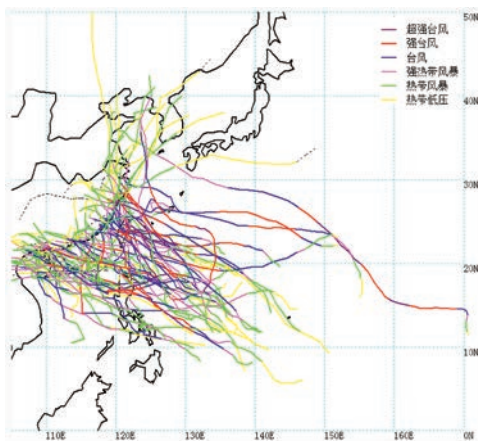
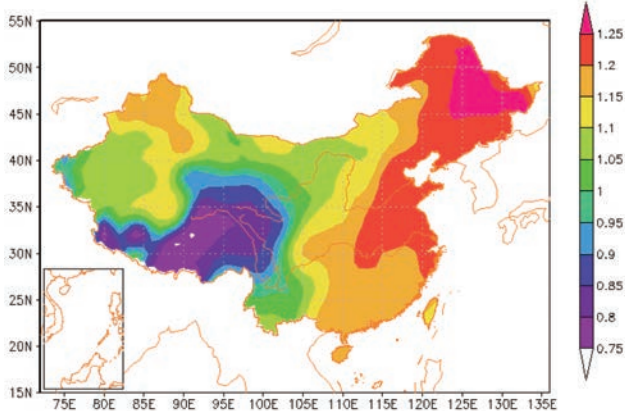


图7 2000年-2011年热带气旋登陆路径

图8 2000年-2011年全国平均空气密度 (单位: kg/m^3)

7 结论

通过对全国近 12 年来会对风电场安全运行造成威胁的气象灾害因子分布特征的分析, 初步得出如下结论:

(1) 夏季, 我国雷暴主要分布特征是南多北少。长江中下游以南是雷暴的频发地区, 广东西南部、广西和云南南部以及青藏高原中东部的年平均雷暴日数可以达到 60 天以上, 局部可达 100 天以上。近 12 年来, 影响我国的登陆台风增多, 登陆路径偏北。

(2) 冬季, 北方大部分地区的极端低温均低于 -20°C , 尤其是东北、内蒙古中东部和北疆地区, 极端低温低于 -30°C , 超过了风电机组的生存环境温度, 而内蒙古东部和黑龙江北部的极端最低温度低于 -40°C 的地区。积冰, 主要是雨凇, 多沿长江中下游地区分布, 出现几率较高的地区多在海拔较高的山地。而云南东北部、贵州和湖南地区的出现范围相对较大。

(3) 春季, 对风电场有影响的气象因子主要是沙尘暴。沙尘暴多出现在塔里木盆地到巴丹吉林沙漠一带, 其中新疆局部地区的年平均出现日数可达 28 天。

(4) 空气密度对风电机组的出力会造成较大影响。全国平均空气密度中, 黑龙江最大, 青藏高原最小, 平均只有 $0.74 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。与标准空气密度相比, 同等条件下, 青藏高原的风能会减损约 40%, 只有当风速增加约 1.0 m/s , 实际的风能才能达到标准空气密度下的量值。

以上结论只是针对影响风电场安全运行的气象灾害因子的宏观分析, 在实际应用中需要进一步考虑风电场所处的地理环境以及局部地区天气气候的影响, 尽可能防范气象灾害对风电场带来的不利影响。✖

参考文献

- [1] 孙鹏, 王峰, 康智俊. 低温对风力发电机组运行影响分析 [J]. 内蒙古电力技术, 2008, 26 (5): 8-17.
- [2] 雷小涂. 全球气候变化对台风影响的主要评估结论和问题 [J]. 中国科学基金, 2011 (2): 85-89.
- [3] 雷小涂, 徐明, 任福民. 全球变暖对台风活动影响的研究进展 [J]. 气象学报, 2009, 67 (5): 679-688.
- [4] 余帆, 李培, 李向军, 张涛. 近 60 年西北太平洋台风年代际变化特征及成因的初步分析 [J]. 海洋预报, 2012, 29 (1): 1-5.
- [5] 张秀芝等. 台风对我国风电开发的影响与对策 [M]. 北京: 气象出版社, 2010.
- [6] 王力雨, 许移庆. 台风对风电场破坏及台风特性初探 [J]. 风能, 2012 (5): 74-79.

收稿日期: 2013-03-21。

作者简介:

柳艳香 (1966-), 女, 博士, 研究员, 主要从事气候资源变化及预测研究。