

李兆华, 刘平英. 风电场雷击风险分析及防护措施研究——以云南某风电场为例[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 120–123.
[Li Zhaohua and Liu Pingying. Analysis of Lightning risk and Countermeasures For Wind Farm in Plateau mountain region [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 120–123.]

风电场雷击风险分析及防护措施研究

——以云南某风电场为例*

李兆华, 刘平英

(云南省雷电中心, 云南 昆明 650034)

摘要:近年来, 风力发电行业发展迅猛, 风电场的安全运行日益受到关注。雷电灾害成为影响风电场正常运行的主要气象灾害, 因雷击造成风电机组、箱变及其附属电气设施损坏, 导致严重经济损失的情况时有发生, 风电场的防雷保护现状和形势已不容乐观。该文以云南某高海拔风电场为例, 在实地考察、数据采集的基础上, 结合高原山地的特殊环境、风电场所在区域的雷电活动情况及土壤电阻等条件, 分析风电场存在的雷击风险, 提出相应的雷电灾害防御措施, 从而为风电场的防雷保护提供技术参考。

关键词:风电场; 雷击风险分析; 防雷保护; 云南

中图分类号: P427.32; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)01–0120–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.01.023

云南省风能资源丰富, 风电场选址主要位于开阔、迎风的山区, 其风能优势较为明显, 地形和气候条件较为复杂。风电场建设规模大、区域跨度大、资金投入高、系统设备构成复杂, 风电机组作为地面上高耸突出的物体长期暴露在露天的自然环境中, 不可避免地受到雷电的影响, 近年来雷击风电机组、箱变及其附属电气设备造成严重经济损失的情况屡有发生。董燕萍以地处云南高海拔、高湿度运行环境的某风电场防雷改造工程为例, 比较高海拔风电场的防雷方案较平原地区的不同, 论述了风力发电机的防雷方案^[1]; 倪穗燕、聂长春等通过对某风电场多年的雷灾实例进行统计, 得出风电机组的叶片和箱式变压器是受损几率较高的部分的结论^[2]; 孙云等通过对风电场防雷接地系统的施工工艺进行阐述, 对多种降阻措施的有效性进行了分析^[3]; 刘菁通过对南方某风电场发生的雷击跳闸事故进行分析, 提出需采取的一些防雷措施^[4]; 王惠等从灾害易损性的角度出发, 提出某一地区雷击灾害的发生及其损失情况与该地所处的地理位置、大气环境、人口密度及经济发展状况有关的结论^[5]; 彭超贤结合云南雷电活动特点, 得出地质地貌条件对雷击选择性放电存在一定影响的结论^[6]; 袁湘玲、

盖程等利用雷暴日资料、雷电灾害资料, 结合经济和人员分布特征, 将雷暴日数、雷电灾害频度及经济易损模数作为雷电灾害易损性评估指标, 提出相应的大气雷电环境分析方法^[7–8]; 李家启等在雷电灾害网络分析的基础上, 通过对体系内各评估指标进行量化分析, 对评估结果进行等级划分, 进而建立了能对雷电灾害严重程度进行定量描述的综合评估模式和划分雷电灾害等级的标准^[9]; 马金福等从周边建筑物对所考虑建筑物的扩大宽度影响的角度, 提出周边建筑物的高度、相对位置、环绕程度等均对建(构)筑物截收面积存在的影响^[10]; 邓春林等基于雷电定位数据的分析, 采用定位误差圆覆盖法配合环境因素定性提取区域雷击风险因子, 分析雷暴活动时空频率分布特性, 研究限定区域内不同时段、不同雷电流强度造成的影响, 建立区域的雷击风险评估模型^[11]。上述相关文献探讨了风电场的地理位置特点和防雷保护的重要性以及雷击风险分析的基本方法。通过云南省多个风电场进行防雷现状的勘察, 了解到目前关于风电场的防雷保护研究还较为缺失, 特别是高原山地风电场的雷击风险分析与研究较少, 为有效防御和减少雷击对风电场带来的不利影响, 避免及减少雷电灾害造成的经济

* 收稿日期: 2014–07–21 修回日期: 2014–09–25

基金项目: 云南省气象局业务能力专项项目(YZ201403)

作者简介: 李兆华(1959–), 男, 云南昆明人, 工程师, 主要从事防雷装置检测、雷电灾害鉴定及研究等工作。

通讯作者: 刘平英(1986–), 女, 云南昆明人, 工程师, 主要从事雷击风险评估及相关研究工作。

E-mail: liupingying19865@163.com

损失,根据风电场的使用性质、配套设施特点、人员分布情况开展风电场的防雷保护研究是目前亟待解决的问题。

1 资料和方法

本文以云南省文山州某风电场(图1)为例,结合2010—2012年近3年云南省闪电定位系统观测资料及雷电灾情统计资料,通过讨论该风电场所在区域的雷电强度、雷暴日数、闪电活动的逐月及逐时分布等特征参数,分析风电场存在的雷击风险和防雷保护的重要性,找出风电场防雷保护的薄弱环节,进而提出综合防雷保护措施,为风电场的防雷设计和施工提供相应的技术依据,分析中应用了部分实测资料。

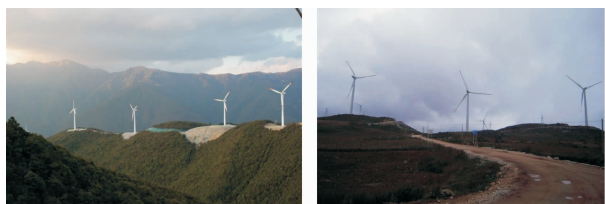


图1 位于云南文山及大理的风电场

2 风电场防雷保护的的特殊性

2.1 选址环境的特殊性

云南省目前已投入使用或在建的风电场大多设置在迎风的主山或风能资源较好的野外,这些区域具有高海拔、高土壤电阻率及地势开阔的特点。本文探讨的某风电场地貌为岩溶侵蚀地貌,山脊高程为2 250~3 800 m,山脊顶较缓,山顶地带植被为较茂密的荆棘、灌木,其余大部分为草地。采用SMART-EC/M12127系列多功能接地电阻测试仪进行土壤电阻率测试,选取5个典型区域,同时考虑季节参数的影响,得到某风电场土壤电阻参数如表1所示。通过对数据进行分析,可看出场区整体的土壤电阻率较高,数值在几百至数千 $\Omega \cdot m$ 之间,高土壤电阻率环境不利于雷电能量的泄放,增大了区域内风机遭到直击雷损害的风险。

表1 各选点区域土壤电阻参数

| 测试点 | 海拔/m | 土壤电阻率/($\Omega \cdot m$) | 观测天气情况 |
|-----|---------|----------------------------|--------|
| 1 | 2 259.3 | 636.98 | 多云 |
| 2 | 2 278.7 | 491.82 | 多云 |
| 3 | 2 286.1 | 1 320.27 | 多云 |
| 4 | 2 312.9 | 967.74 | 多云 |
| 5 | 2 351.2 | 1 512.63 | 多云 |

2.2 风电机组构造的特殊性

近年来,风电机组的装机容量不断增加,轮毂高度和叶片直径不断提高,风机的有效高度大

多在60 m以上,这在一定程度上增大了风机遭受直击雷的概率。雷击易造成叶片、箱变、塔筒物理损坏,可导致系统线路短路甚至引发火灾,影响风电场的正常运行,间接造成严重的经济损失,并对人员的人身安全构成安全隐患。风电场建设项目防雷装置的设计和施工质量,直接关系到工程的质量和运行安全,做好风电场雷电灾害防御极为关键。

3 某风电场雷击实例

本文讨论的某风电场自投产以来,仅在3个月内就发生了多次因雷击导致风电机组受损、箱变损毁、设备停运的事故,造成的经济损失高达几十万元,发生的几起典型雷灾实例如下:

(1)2012年4月,雷击造成7号箱变低压侧母排烧损,避雷器严重损坏,二次配线外层绝缘损坏(图2)。当天场内共有9台箱变的避雷器计数器动作。

(2)2012年5月,雷击导致该风电场15、16、17、21号箱变跳闸。

(3)2012年6月,雷击导致风电场风机停止运行,造成20号箱变损坏,低压室内元件烧损,二次线外层绝缘损坏(图3)。



图2 雷击导致7号箱变损坏



图3 雷击导致20号箱变原件损坏

4 存在的雷击风险分析

雷云对地放电,对地面上露天的建(构)筑物和设施会构成危害,主要分为直接危害和间接危害。直接危害主要表现为雷电引起的热效应、机

机械效应和冲击波造成的危害；间接危害主要表现为雷击电磁脉冲和雷电波侵入等。

4.1 直击雷

雷云对地放电击中物体时，强大的雷电流从雷击点注入被击物体，其热效应可使雷击点周围局部金属熔化，当雷电击中输电线路时，可将其熔断。雷击风塔时，在电动力作用下，会引起塔筒变形甚至折断。由于雷电流幅值很高，作用时间很短，击中风机及其构件时，在其内部瞬时产生大量热量，在短时间内使物体内部的水分被蒸发、汽化，迅速膨胀而产生巨大的爆炸力，使被击风电机组发生物理损坏。雷电流由散流装置入地过程中形成的电位梯度过大，附近区域人员可能受到接触电压和跨步电压的危害。

4.2 雷电感应

当雷击发生后，局部地区的感应电荷不能在短时间内消失，形成局部高电压。这种由雷电感应产生的过电压可使接地不良的金属器件之间发生火花放电，对风电场的箱变和控制系统而言，这种火花放电可能引发火灾。

4.3 雷击电磁脉冲

风电场内各类架空及埋地线路构成复杂，雷电流在泄放入地的过程中，能在所流过的路径周围产生很强的暂态脉冲电磁场，处在该电磁场中的导体会产生感应过电压（流），导致电子设备及系统失效，影响公众服务。

5 雷电活动时空分布特征

5.1 闪电活动逐月及逐时变化分析

通过闪电活动的逐时和逐月变化分布（图4、图5）可看出，该风电场所处区域的雷电活动多发生在6-9月，8、9两月雷电活动最为频繁，8月闪电频次达到最大值。闪电活动从午后呈逐渐增加的趋势，14:00以后闪电活动急剧增多，闪电集中发生在15:00-22:00，该时段强闪电出现的频数很高，夜间22:00闪电频数达到最大值。

5.2 雷暴日数

雷暴日是判断雷暴特征规律的重要参数，是对气象台站雷电多年观测资料进行统计的结果。通过对近5年雷暴日数统计（图6）可看出，该风电场所在区域近5年雷暴日数最高达119 d，最少也有84 d。

5.3 风电场所在区域雷电强度分析

结合2010-2012年闪电观测数据，得到图7所示，该风电场所在区域雷电流强度的绝对值在15~35 kA的范围内，局部区域雷电流强度的绝对值在40~60 kA，个别区域的雷电流强度超过了100 kA，说明该风电场所在区域的雷电强度较大，存在着一定的雷灾隐患。

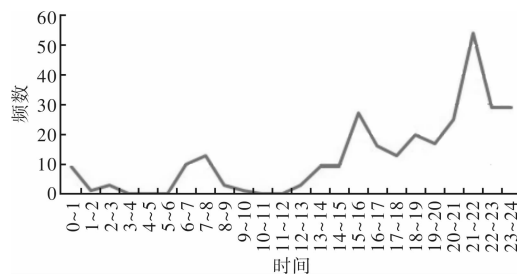


图4 闪电活动的逐时分布

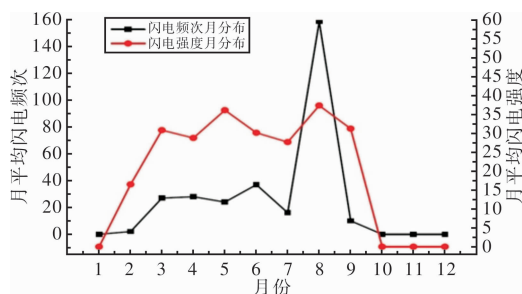


图5 闪电活动的逐月分布

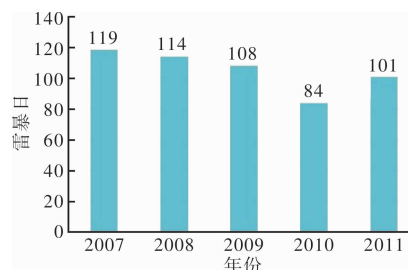


图6 雷暴日数分布

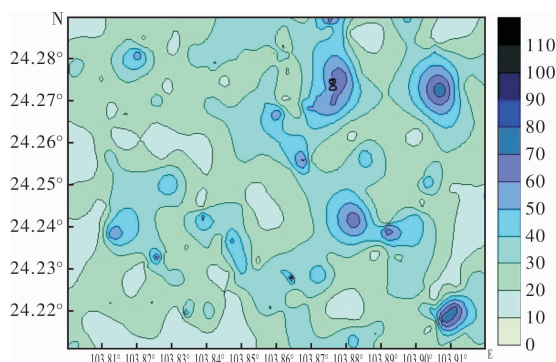


图7 雷电强度分布

综上所述，本文探讨的该风电场所在区域大气雷电环境较为复杂，发生雷电灾害的可能性较大。雷击易损坏风电机组系统设备，还会影响风电场的正常运行，造成严重的经济损失和人身伤害。6-10月雷暴活动频繁，闪电活动频繁，8月总闪电数达到最大值，10月以后，强对流活动相对减弱，闪电活动也逐渐减少。由于雷雨天气具有突发性和剧烈性的特征，雷电活动随季节和时段的不同有明显变化，雷暴频发时段应加强对雷电灾害的防范力度，现场高空作业和弱电系统设

备的安装、调试应避开雷暴高发时段。

6 风电场的防雷保护措施研究

6.1 直击雷防护措施

6.1.1 风电机组机舱的接闪

机舱主机架与叶片相连,在机舱罩顶上后部设置一个或多个高于风速、风向仪的接闪杆可减小风速计和风向仪遭受直击雷的风险。设置叶片防雷系统能够减小或避免直击雷对叶片本体造成的损害。专设的引下线连接机舱和塔架,机舱和偏航刹车盘通过接地线连接。

6.1.2 接地

接地是防雷设计施工中的重要环节之一,由于风电场主要建设山顶或野外,这些区域地理环境复杂,土层结构不均匀且有垂直分层,土壤电阻率较高,应采取相应措施降低接地电阻。宜采用换土、使用降阻剂或将接地体埋于较深的低电阻率土壤中等方法降低接地电阻。

6.2 雷击电磁脉冲的防护

6.2.1 过电压保护

在风机和箱变的电源线路和信号线路的关键部位、敏感设备的端口设置电涌保护器,可以限制由于各种原因(如反击、侵入波、感应、操作不当)出现的过电压,泄放雷电流。

6.2.2 等电位连接

等电位能够在雷击时起到均压屏蔽的作用,减小需要防雷的空间内各金属物与系统之间的电位差。机舱的组件如主轴承、发电机、齿轮箱等都应做好等电位连接。风轮与机舱间、机舱与塔柱间、尾舵与水平轴间应通过铆接、焊接或螺栓连接等方法做可靠电气连接。

6.3 警示标识的设置

在山脊风口、升压站接闪杆等室外有可能因雷击而产生接触电压和跨步电压伤害的区域,应设置直击雷危险警示牌。在风电场雷击事故常发地段设置警示标志,提供必要的雷电灾害警示告知信息,有效防御和减少雷击风险。

6.4 建立风电场防雷资料管理制度

风电场投入运行后,建设单位应建立风电场防雷资料的管理制度,值班记录中要包含雷电灾害、防雷装置的运行情况等内容。防雷装置应由熟悉雷电防护技术的专职或兼职人员负责管理。对防雷装置的设计、安装、隐蔽工程图纸资料、痕迹材料、数码图片资料、年检报告等均应及时归档、妥善保管,使风电场的雷电防御工作更具有针对性和指向性。

7 结论

(1)随着风电机组单机容量的增大、轮毂高度

和叶片直径的不断提高,风电机组的有效高度大多在 60 m 以上,风电机组作为地面上的高耸突出物体长期暴露在大气环境中,叶片、塔筒、电气设备、机舱遭受雷击的可能性较大。选址位置的特殊性和风电机组的结构特点使其雷电防御要求与普通的建(构)筑物存在明显区别。高土壤电阻率环境不利于雷电能量的泄放,增大了风机遭到直击雷的风险。应加强高海拔、高土壤电阻率区域对降阻方法的研究。

(2)本文探讨的该风电场大气雷电环境较为复杂,发生雷电灾害的可能性较大。雷击易损坏风电机组系统设备,还会间接影响风电场的正常运行,造成严重的经济损失和人身伤害。由于雷雨天气具有突发性和剧烈性的特征,6-10 月雷暴活动频繁,闪电活动急剧增多,8 月总闪电数达到最大值,10 月以后,强对流活动相对减弱,闪电活动也逐渐减少。雷电产生强大的电效应、热效应、机械力效应易使雷击点发生物理损坏,雷电流由散流装置入地过程中形成的电位梯度过大,附近区域人员可能受到接触电压和跨步电压的危害。雷电流能在所流过的路径周围产生很强的暂态脉冲电磁场,处在该电磁场中的导体会产生感应过电压(流)。造成系统设备损坏,影响公众服务。

综上所述,针对当前风电场雷电防护的形势,为有效防御和减少雷击对风电场的不利影响,保障风电场的正常运行和人员的人身安全,应确定风电场防雷保护的重要环节,规范风电场雷击风险评估、防雷装置的设计审核和检测工作,结合风电机组周边地形地貌、人员分布和建(构)筑物布局,采取有效的防雷保护措施,开展风电场专项防雷工程建设,处理好恶劣地质条件下接地方案和降阻等的技术难点,切实提高风电场雷电灾害防御能力和安全管理水平。

参考文献:

- [1] 董燕萍. 试论高海拔风电场防雷减灾方案[J]. 四川水力发电, 2013, 32(4): 127-131.
- [2] 倪穗燕, 聂长春. 南澳风电场雷灾特点及原因分析[J]. 气象研究与应用, 2013, 34(2): 87-89.
- [3] 孙云. 风电场防雷接地系统的施工工艺分析[J]. 应用能源技术, 2012(11): 46-49.
- [4] 刘菁. 风电场雷击事故的分析及防范措施[J]. 科技广场, 2009(9): 210-211.
- [5] 王惠, 邓勇, 尹丽云, 等. 云南省雷电灾害易损性分析及区划[J]. 气象, 2007, 33(12): 83-87.
- [6] 彭超贤. 云南雷电活动及易击点分析[J]. 云南电力技术, 2008, 36(2): 51.
- [7] 袁湘玲, 王振会, 肖稳安, 等. 雷电灾害潜在与现实现易损性分析及区划研究——以黑龙江省为例[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 20-25.
- [8] 盖程程, 翁文国, 袁宏永. 雷电灾害对储罐影响的定量风险评估方法研究[J]. 灾害学, 2012, 27(2): 92-95.

(下转第 140 页)