

甘璐,李津,邓长菊,等.北京市电网雷害分布规律及风险评估.应用气象学报,2014,25(4):499-504.

北京市电网雷害分布规律及风险评估

甘璐^{1)*} 李津¹⁾ 邓长菊¹⁾ 张德山¹⁾ 扈海波²⁾ 叶宽³⁾

¹⁾(北京市专业气象台,北京 100089)

²⁾(中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089)

³⁾(北京电力试验研究院,北京 100075)

摘 要

根据 1996—2009 年北京市逐日电网灾害资料分析了北京市电网雷害的发生规律,结果显示:北京市电网雷害存在季节变化和日变化特征。结合同期气象观测站的雷暴日资料、北京市各区县的经济和人口密度特征提出了电网雷害概率、电网雷害频度、电网雷害密度、经济易损模数和生命易损模数作为北京市电网雷害风险评估指标。在此基础上,采用 4 级分区法对上述电网雷害易损性评估指标进行分级,并将北京市各区县按照 5 个电网雷害评估指标的所属等级值累加,得到电网雷害综合易损风险评估的评估系数。结果表明:北京地区电网雷害高风险区集中在北京城区中心附近,山区和山前迎风坡地带尽管电网雷害频次较高,但电网雷害风险却相对较低。

关键词: 电网雷害; 风险评估; 易损度; 防雷减灾

引 言

随着人民生活对电力依赖程度的不断提高及输电线路总长度的扩展、传输容量的不断增长,对电网的安全性和可靠性要求越来越高。如何有效降低极端天气情况下电网灾害的发生是供电部门的一项重要课题。北京市雷电活动频繁且强烈,据统计电网雷害占电网灾害总数的 71.3%,远高于因其他极端天气引起的电网灾害的总和^[1]。电网雷害已经成为威胁北京市电网安全稳定运行的最主要、最突出的矛盾。近年来,我国也结合自身电网特点开展了一系列电网雷击故障分析和防雷评估技术的相关研究^[2-3]。陈家宏等^[4-5]和王剑等^[6]率先在华北地区进行针对电网雷害的评估技术研究,并于 2007 年在国内外首次研制出针对电网的雷害分布图,确定了华北地区为雷害比较严重的区域。赵淳等^[7]采用电网雷害风险评估体系绘制了电网雷害风险分布图和单一线路雷害风险分布图,确定了 500 kV 电网的重

点改造线路、区段和杆塔。国家电网武汉电力科学研究院于 2011 年形成系统化的电网雷害风险评估技术^[8]。以上分析从电网分布及电网雷害本身考虑电网雷害风险的高低,随着灾害风险评估方法的进一步发展,综合考虑灾害发生的风险概率和损失已经成为气象灾害风险评估的重要方面^[9-13]。本文根据北京电力试验研究院提供的电网资料分析了电网雷害的分布特点以及易损情况,并根据各易损度的评价分析结果形成综合易损度以及北京市电网雷害综合易损区划图,为建立科学规范的电网雷害风险评估体系、确定电网防雷改造的重点区域提供参考。

1 资料来源和易损评价指标

本文电网雷害的资料由北京电力试验研究院提供,共收集了 1996—2009 年北京市各电网沿线的受灾数据。对电网灾害的类型判断主要参考供电部门对电网灾害事件的记录和描述进行致灾成因分析。

2013-09-25 收到, 2014-04-21 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306043),北京市气象局科技研发专项(2013BMBKYZX13),北京市气象局“精细化预报服务和业务平台创新团队”项目

* email: zytganlu@163.com

电网雷害资料共统计了北京市朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区、延庆县、昌平区、怀柔区、密云县、平谷区、顺义区、门头沟区、房山区、大兴区、通州区共 14 个区县的电网受灾情况。根据区域自然灾害风险形成过程主要考虑 4 个因素综合作用的影响,即危险性(H)、暴露性(E)、脆弱性(V)和防灾减灾能力(R)^[14]。图 1 显示了 4 个因素以及相应的因子。危险性主要反映本地区的雷电活动特征,雷电是产生电网雷害的直接原因,与当地的气候背景以及下垫面性质等因素有关。通常,地闪频数是最直接反映孕灾环境的雷电灾害评估指标,由于目前国内气象部门还没有统一标准的业务运行闪电定位系统,且北京市闪电定位系统运行时间不长,还未积累较长时间尺度的地闪频数资料,用雷暴日数代表一个区域内雷电活动的频繁程度仍有一定的参考价值^[15]。暴露性包括经济暴露和人口暴露,经济暴露反映在经济易损模数 $E(E = E_s/S$, 单位: 亿(人民币) $\cdot \text{km}^{-2}$, E_s 为北京市各区县的国民生产总值, S 为北京市各区县的行政面积),指区域内发生雷电灾害时单位面积上可能受影响的经济情况;人口暴露反映

在生命易损模数 $L(L = L_s/S$, 单位: 万人 $\cdot \text{km}^{-2}$, L_s 为北京市各区县人口和暂住人口总和),指区域发生电网雷害时单位面积上可能受影响的人口数量。上述各区县的人口和经济特征统计资料来自北京市统计局 2010 年发布的北京市统计数据^①,并假定各区县的人口和经济特征具有相对稳定性,人口增长和经济发展大致同步。电网的脆弱性指电网在雷电灾害中的承载能力,主要反映在杆塔结构特征,包括输电线路的防雷设备等。电网的防灾减灾能力反映在电网的雷击跳闸率和跳闸重合率,通过电网雷害概率、电网雷害频次和电网雷害密度 3 个副因子来反映。其中,电网雷害概率 P (单位: %)是指各区县发生电网雷害的次数与该区县发生的雷暴数的比值,也是反映发生电网雷害可能性的重要指标;电网雷害频次 $F(F = N/\text{年数}$, N 为 1996—2009 年电网雷害总数)是指区域内每年发生的电网雷害次数,反映了区域灾害发生频率和次数的高低;电网雷害密度 $D(D = N/S$, 单位: 次 $\cdot \text{km}^{-2}$)是指单位面积内所发生的电网雷害次数。

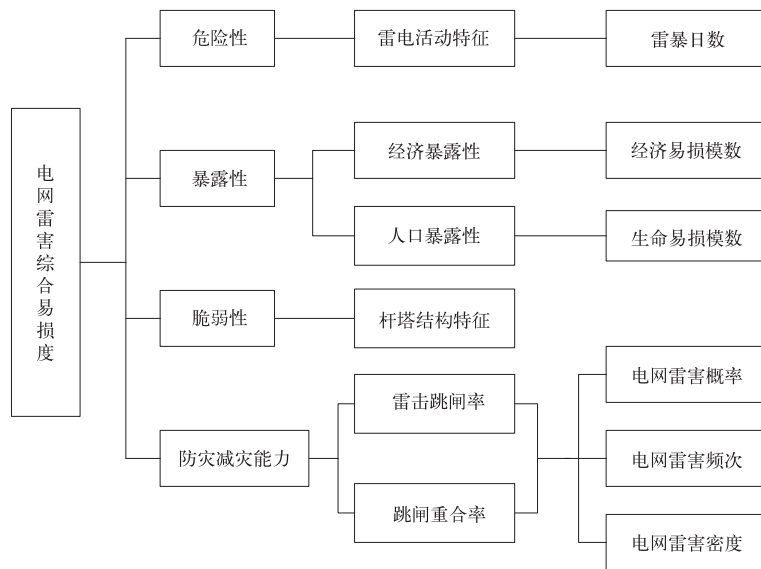


图 1 电网雷害风险概念框架

Fig. 1 Conceptual framework of power grid lightning disaster

2 电网雷害分布规律

目前北京市的输电线路主要包括了 500, 220, 110 kV 和 35 kV 的高、中、低压输电线路。从输电

线路的百分比看,500 kV 高电压输电线路主要分布于北京地区外围,约占总输电线路的 3%。从电网雷害的发生来看,各输电线路电网雷害分别占总数的 1.6%, 17.7%, 41.8% 和 38.9%。因此,电网雷害的发生主要集中在 220 kV 以下的中低压的输电

① <http://www.bjstats.gov.cn/>.

线路。由于 220 kV 以下的输电线路在北京地区呈网格状均匀分布,分析电网雷害的时空分布对于认识北京地区电网雷害的发生规律具有重要意义。图 2 给出了 1996—2009 年北京市各输电线路的电网雷害受灾的时间分布曲线。从电网雷害年变化曲线(图 2a)可以看到北京市电网雷害主要集中在 4—10 月,6—9 月是电网雷害的高发期,占全年电网雷害总数的 88.4%,其中 8 月的电网雷害总数达 82 起,占全年电网雷害总数的 32.9%,11 月—次年 3 月几乎没有电网雷害发生。电网雷害的季节分布特征与华

北雨季的季节性移动以及北京的初雷和终雷的发生密切相关。夏季暖湿气流旺盛,对流性天气相对较多引起雷电活动频繁有关。从电网雷害的日变化曲线(图 2b)可以看到,15:00(北京时,下同)—21:00 电网雷害处于高发期,约占电网雷害总数的 51.0%,08:00—15:00 处于相对低发期,占电网雷害总数的 15.3%。因此,北京市电网雷害也存在一定的日分布规律。

图 3 给出了北京市电网雷害的地域分布情况,可以看到,北京市西部和北部山区的电网雷害要明

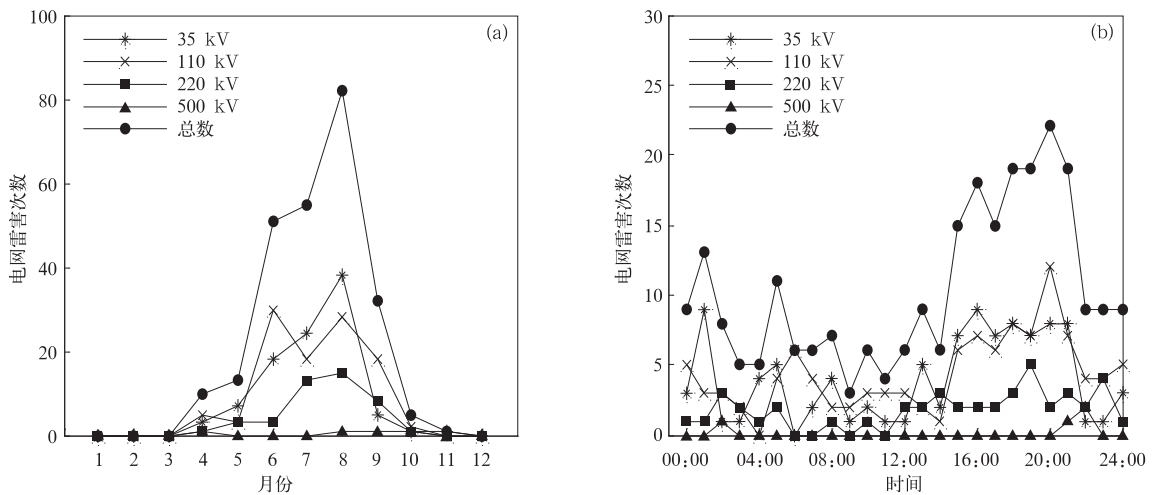


图 2 1996—2009 年北京市各输电线路的电网雷害分布 (a)年变化,(b)日变化
Fig. 2 Distribution of power grid lightning disasters from 1996 to 2009 in Beijing
(a)annual variation,(b)diurnal variation

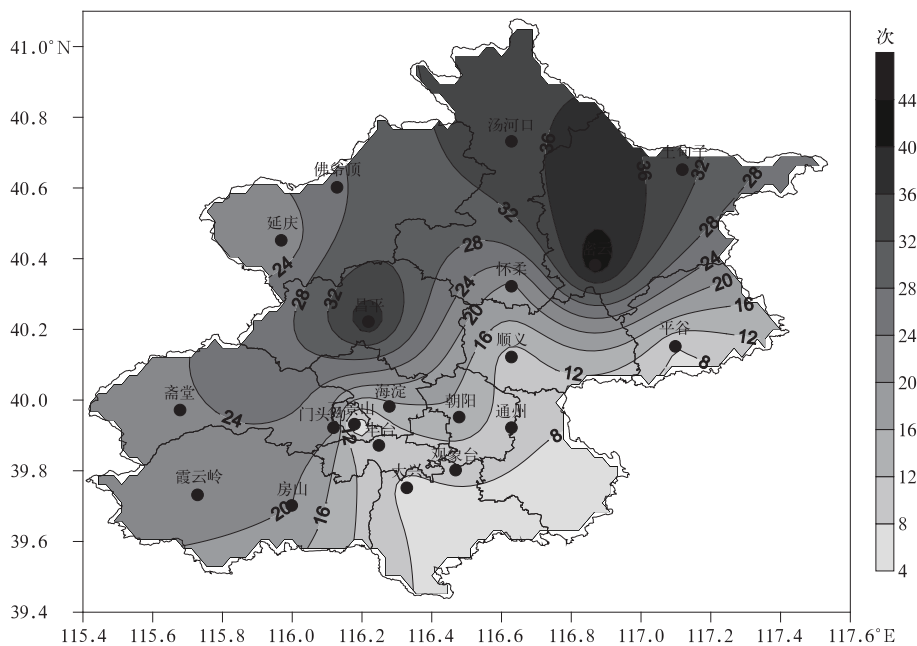


图 3 北京市电网雷害的地域分布特征
Fig. 3 Distribution of power grid lightning disasters in Beijing

显高于东南部地区。北京处于华北平原的边缘,地势呈现西北高、东南低的特点。西部和北部山区居多,地势较高,东南则是向渤海倾斜的平原地区。山区的地形抬升作用往往使对流性天气的发生频率和强度要明显高于东南部的平原地区。因此,电网雷害的分布和北京地形关系密切。

3 北京市电网雷害易损指标分级

表1为北京市各区县的电网雷害概率、电网雷害频次、电网雷害密度、经济易损模数和生命易损模数的统计情况。由表1可以看到,北京市发生电网

雷害的平均概率为3.97%,高于平均概率的区县大部分集中在北京西部和北部的延庆、昌平、密云、门头沟和房山。电网雷害概率最高为昌平,可达8.84%;石景山的概率最低,为1.12%。因此,北京市电网雷害的发生概率与北京的地形特点有一定关系。当云团移近山前时易加强不稳定层结的对流运动,使得雷暴的强度也加强,对于承灾能力相同的防雷设备,山区电网雷害的发生概率要高于平原地区。从电网雷害频次看密云和昌平的雷害频次较高,年发生次数在2次以上。北京市中心城区附近的朝阳、海淀、丰台和石景山电网雷害密度、经济易损模数和生命易损模数均较高。

表1 北京市各区县电网雷害易损评估分析指标

Table 1 Power grid lightning disaster vulnerability assessment of various districts in Beijing

地名	电网雷害 概率/%	电网雷害年 频次/次	电网雷害密度/ (次·10 ⁻² km ⁻²)	经济易损模数/ (亿·km ⁻²)	生命易损模数/ (万人·km ⁻²)
朝阳区	3.50	1.07	3.30	4.59	0.93
海淀区	3.52	1.07	3.48	5.34	0.95
丰台区	2.22	0.71	3.27	1.77	0.77
石景山区	1.12	0.36	5.93	2.49	0.97
延庆县	4.42	1.50	1.05	0.03	0.02
昌平区	8.84	2.79	2.90	0.25	0.11
怀柔区	3.91	1.36	0.90	0.07	0.02
密云县	8.41	3.07	1.93	0.05	0.02
平谷区	1.72	0.57	0.84	0.09	0.05
顺义区	2.65	0.71	0.98	0.52	0.09
门头沟区	4.54	1.50	1.45	0.05	0.02
房山区	4.82	1.43	1.01	0.12	0.05
大兴区	1.82	0.50	0.68	0.23	0.16
通州区	2.82	0.71	1.10	0.26	0.16

4 北京市电网雷害综合易损区域

影响电网雷害发生的因素很多,包括输电线路的杆塔结构、该地区的地形和地质特征、极端性天气发生的频率和次数等。为了得到电网雷害的综合易损度,参考文献[16]中的对称不等分间隔的分级方法将电网雷害分为4级,并赋予各等级如下定值:极高为1,高为0.8,中为0.5,低为0.2。按照5个电网雷害评估指标风险系数的结果进行累加,并取其平均值得到北京市各区县电网雷害的综合易损度。最后,根据区域综合易损度的评估分析结果,参考蒋勇军等^[17]的分区法将电网雷害分为低易损区(0~0.59)、中易损区(0.60~0.69)、高易损区(0.70~0.79)和极高易损区(0.80~1.00),结果如表2所示。

表2 北京市电网雷害综合易损度区划表

Table 2 Vulnerability zoning of power grid lightning disaster in Beijing

易损度级别	区域
低易损区	大兴区、怀柔区、平谷区、延庆县、顺义区、门头沟区
中易损区	密云县、房山区、通州区、石景山区
高易损区	丰台区
极高易损区	朝阳区、海淀区、昌平区

由表2可以看出,朝阳区、海淀区和昌平区为电网雷害的极高易损区,丰台区为电网雷害的高易损区,密云县、房山区、通州区和石景山区为电网雷害的中易损区,其余区县为电网雷害的低易损区。

5 结论和讨论

本文分析了1996—2009年北京市电网雷害的

分布规律,结合同期气象观测站的雷暴日资料,以及北京市的人口和经济情况,提出了北京市电网雷害评估指标,并对北京市各区县进行了电网雷害综合易损度的区划分析,主要结论如下:

1) 北京市电网雷害主要发生在6—9月,占全年电网雷害总数的88.4%,其中8月的电网雷害最高,占全年总数的32.9%。15:00—21:00是电网雷害的高发期。西部和北部电网雷害频次明显高于东南平原地区。

2) 北京市电网雷害风险评估分析结果表明:朝阳区、海淀区和昌平区为电网雷害的极高易损区,丰台区为电网雷害的高易损区,密云县、房山区、通州区和石景山区为电网雷害的中易损区,其余区县为电网雷害的低易损区。

北京市电网雷害易损度评估和易损区划可为北京市电网的防雷减灾规划提供参考,同时也为开展较大面积区域的易损性评估和易损区划进行了有益探索。本文在进行风险评估时存在一定不足,区域易损性除了综合考虑自然系统对各种环境变化的敏感性和区域社会经济系统的脆弱性外,还取决于区域自然和社会经济系统受到保护的水平。同时,不同级别输电线路的防雷抗灾能力是风险评估需要考虑的重要因素,这也是有待于进一步探讨的问题。

参 考 文 献

- [1] 甘璐,叶宽,张德山,等.北京市电网灾害的时空分布特征及与气象因素的关系.气象,2012,38(3):349-352.
- [2] 王剑,刘亚新.2006年华北电网输电线路雷击故障分析.华北电力技术,2006(12):1-5.
- [3] 赵淳,陈家宏,李晓岚,等.山区复杂地形条件下输电线路雷击跳闸故障分析方法.电网技术,2011,35(12):136-141.
- [4] 陈家宏,王剑,董学芳,等.电网雷害分布图研究.高电压技术,2008,34(10):2016-2021.
- [5] 陈家宏,王剑,董学芳,等.华北电网雷害分布图的研制与应用研究.武汉:国网武汉高压研究院,2007.
- [6] 王剑,刘亚新,陈家宏,等.基于电网雷害分布的输电线路防雷配置方法.高电压技术,2008,34(10):2065-2069.
- [7] 赵淳,陈家宏,王剑,等.电网雷害风险评估技术研究.高电压技术,2008,37(12):3012-3021.
- [8] 国网电力科学研究院.电网雷害风险评估技术研究.武汉:国网电力科学研究院,2011.
- [9] 扈海波,轩春怡,诸立尚.北京地区城市暴雨积涝灾害风险预防评估.应用气象学报,2013,24(1):99-108.
- [10] 陈家金,李丽纯,林晶,等.福建省枇杷气象灾害综合风险评估.应用气象学报,2014,25(2):232-241.
- [11] 任义方,赵艳霞,王春乙.河南省冬小麦干旱保险风险评估与区划.应用气象学报,2011,22(5):537-548.
- [12] 扈海波,董鹏捷,潘进军.基于灾损评估的北京地区冰雹灾害风险区划.应用气象学报,2011,22(5):612-620.
- [13] 卞洁,李双林,何金海.长江中下游地区洪涝灾害风险性评估.应用气象学报,2011,22(5):604-611.
- [14] 张会,张继权,韩俊山.基于GIS技术的洪涝灾害风险评估与区划研究——以辽河中下游地区为例.自然灾害学报,2005,14(6):141-146.
- [15] 郭虎,熊亚军.北京市雷电灾害易损性分析、评估及易损性区划.应用气象学报,2008,19(1):35-39.
- [16] 尹娜,肖稳安.区域雷灾易损性分析、评估及易损度区划.热带气象学报,2005,21(4):441-448.
- [17] 蒋勇军,况明生,匡鸿海,等.区域易损性分析、评估及易损度区划——以重庆市为例.灾害学,2001,16(3):59-64.

Risk Assessment and Temporal-spatial Distribution of Power Grid Lighting Disasters in Beijing

Gan Lu¹⁾ Li Jin¹⁾ Deng Changju¹⁾ Zhang Deshan¹⁾ Hu Haibo²⁾ Ye Kuan³⁾

¹⁾ (*Beijing Professional Meteorological Observatory, Beijing 100089*)

²⁾ (*Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089*)

³⁾ (*Beijing Research of Electric Power Test Institute, Beijing 100075*)

Abstract

Based on the daily power grid disaster data during 1996—2009 in Beijing, power grid disasters caused by the thunder and lighting (hereafter referred as power grid lighting disasters) are investigated. Results show that power grid lighting disasters present seasonal and daily variations in Beijing. Seasonal variation characteristic of power grid lighting disasters is mainly centralized from June to September, account for 88.4%. The highest appear in August, it can account for 32.9%. And daily variation characteristics analysis shows that from 1500 BT to 2100 BT is the high-incidence period. The analysis on spatial distribution of power grid lighting disasters indicates that there are more disasters in the north than those in the south. In terms of the same period of the daily thunderstorm data, economic and population characteristics, five indices are selected to evaluate the risk of power grid lighting disasters in Beijing, such as power grid lighting disaster probability, power grid lighting disaster frequency, power grid lighting disaster density, economic vulnerability module and life vulnerability module, respectively. And the different power grid lighting disaster evaluation indices are investigated. Four-grade classification methods are used to classify the evaluation indices in order to assess the risk of the power grid lighting disasters in Beijing. Firstly, the five indices are classified into four degrees with a given value as follow: The highest and the lowest degrees are 1.0 and 0.2, while the intermediate degrees are 0.8 and 0.5. Secondly, the comprehensive vulnerability evaluation index of power grid lighting disasters is obtained by adding the degree values of five indices. Then the comprehensive vulnerability evaluation index is also graded as four degrees, which are defined as the maximal damageable area, the high-damageable area, the medium damageable area and the lower damageable area. Finally, regional vulnerability zoning of the power grid lighting disasters are obtained by the average value of the power grid lighting disaster vulnerability evaluation indices. From the result of risk zoning, it can be concluded that the relatively higher power grid lighting disaster risk zones mainly locate in urban area of Beijing, while risks of mountain areas and their piedmont areas are relatively lower. Results of power grid lighting disaster vulnerability evaluation might be provided for the power grid lighting protection and disaster reduction proposal in Beijing.

Key words: power grid lighting disaster; risk assessment; vulnerability degree; lighting protection and disaster reduction