

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.03.010

地域及气候对雷电参数的影响分析

李瑞芳¹, 曹晓斌¹, 陈奎¹, 尹春²

(1. 西南交通大学电气工程学院, 成都 610031; 2. 通用电气医疗系统贸易发展(上海)有限公司成都分公司, 成都 610031)

摘要: 雷电参数的分布情况与地域、大气条件等诸多因素相关,因此,全面深入地分析相关因素对雷电参数分布的影响十分必要。文中以广东省雷电定位系统数据为基础,基于 Google Earth 软件截取典型样本区域进行研究。将样本区域经过处理导入 Arc Map 中进行雷电参数的筛选分析,利用 Arc Map 的投影功能,按 UTM 标准进行投影,得出该区域的面积,由此求出落雷密度。通过对不同的地形、地域的雷电参数统计分析,得出山地落雷密度比平原大;城市落雷密度较比乡村地区大;通过对不同月份的雷电参数统计分析,发现雷电参数的季节分布明显,67.3%的落雷集中在夏季;通过对近5年的参数进行分析得出:少雷季节正极性雷所占比例较多雷季节大,正极性雷分布呈U型分布的特点。

关键词: 雷电参数; 地形; 季节; 落雷密度; 极性

Effects of Geographical and Climatic Conditions on Lightning Parameters

LI Ruifang¹, CAO Xiaobin¹, CHEN Kui¹, YIN Chun²

(1. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. General Electric Medical System Trade Development(Shanghai) Co., Ltd., Chengdu Branch, Chengdu 610031, China)

Abstract: Distributions of lightning parameters relate with geographical and atmospheric conditions. To analyze the effects of the relevant geographical and atmospheric factors on the distributions of the lightning parameters, this paper uses the data from the Guangdong Province lightning location system to sample representative regions by means of the software Google Earth. Each sampled region is treated and then input to Arc Map for screening analysis of lightning parameters. The projection function of Arc Map is adopted according to the standard UTM to obtain the area of the region, thereby to obtain lightning density. The lightning parameters of different terrains and geographies are analyzed statistically, and the results show that the lightning density is larger in mountainous terrain than in plain, and the lightning density in city is larger than that in rural area. The monthly statistics of the lightning parameters show a clear seasonal distribution, in which 67.3% of lightning falls in the summer. The statistics for the past five years indicate that the proportion of positive polarity lightning is larger in less lightning season than in more lightning season, and the distribution of positive polarity lightning features U-shape.

Key words: lightning parameters; terrain; season; lightning density; polarity

0 引言

雷电的频繁活动常导致灾害,对人类赖以生存的自然资源和人类创造的物质文明构成巨大的威胁,危及航空、海运、电网、通讯等诸多领域^[1-3]。但是

由于缺乏对雷电参数及其影响因素的了解以及受气候变化异常因素的影响,防雷措施事倍功半,因此研究雷电参数的影响因素对于减小和预防雷电灾害意义重大^[4-7]。

雷电参数的分布情况与地形地貌、土壤电阻率、大气条件等很多因素相关,虽然目前国内外在这方面有一些相应的文献,给出了雷击选择性与部分因

收稿日期:2015-10-09; 修回日期:2015-11-23

基金项目:国家自然科学基金(51507145)。

Projected Supported by National Natural Science Foundation of China(51507145).

素的相关联系^[8-11]。文[12]中通过模拟试验的方法,利用针—水池模型和针—针模型得出了放电过程中冲击峰值电流与土壤电阻率之间的关系;文[13]中利用先进星载热发射和反射辐射仪全球数字高程模型(ASTER GDEM)获取了地面落雷点的海拔高度信息,借助 GIS 系统分析了地面落雷点的雷电流幅值、雷电回击次数、地闪密度、正极性雷在总落雷次数中所占比例等参数随海拔高度的变化关系;文[14-17]中结合 GIS 系统数据,详细研究了广州地域雷电日、地闪总数、地闪密度、雷电流幅值、雷电流幅值概率分布等重要雷电参数。

文中以广东省某年雷电参数为数据基础,在 Arc Map 软件平台上利用筛选法研究广东省雷电参数分布情况,通过 Google earth 截取只有某一种参数(比如地形)的区域作为样本区域进行研究,将样本区域经过处理导入 Arc Map 中进行雷电参数的筛选,利用 Arc Map 的投影功能,由此分析不同的地形、地域、气候对雷电参数的影响。

1 基于 Google Earth 的筛选法分析

基于 Google Earth 的筛选法主要是通过 Google Earth 获取广东省的地形图,通过观察在相近区域内找出具有某一明显差异(如山区地带或者平原地带)而其他条件基本一致的区域,通过 Google Earth 的添加多边形功能将此区域截取,见图 1。将截取出的区域另存为 kml 文件。在 Arc Map 中使用 Arc Toolbox 的转换工具—由 KML 转出—KML 转图层,将选中的图层在 Arc Map 中打开。此时的图层还不是 Arc Map 中能够处理的图层文件,需要将图层文件另存为 shp 文件再打开,见图 2。



图 1 在 Google Earth 中选取标本区域示意图

Fig. 1 Schematic selected specimen area in Google Earth



图 2 将标本区域导入 Arc Map

Fig. 2 The specimen area lead into Arc Map

对于雷电参数的筛选,利用 Arc Map 的选择功能通过按位置选择来实现。将选定的标本区域作为源图层,雷电参数作为目标图层,通过“在源图层要素范围内”的筛选方式对目标图层进行数据筛选,筛选出标本区域内的雷电参数见图 3,将数据另存为 dbf 格式后,导入 excel 表格对该区域的雷电参数进行统计和分析。

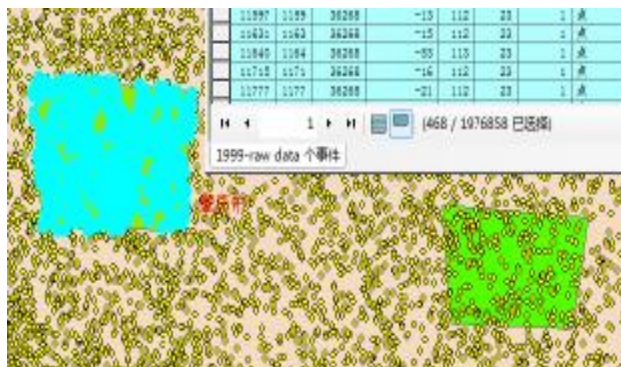


图 3 在标本区域内进行雷电参数的筛选

Fig. 3 Screening lightning parameters in the specimen region

按照 Google Earth 筛选法将特定区域和该区域内的雷电参数筛选出来后,只能筛选出落雷总次数,并不能求出其面积,也就不能求出该区域的落雷密度。在 Arc Map 中可以通过 Arc Toolbox 中的投影工具进行投影,求出任何区域的面积。

在 ArcGIS 软件中,采用 UTM 投影法,经过计算可求出广东省属于第 50 个 UTM 投影带,使用 Arc Map 的 Arc Toolbox 的数据管理工具,找到投影和变换功能,使用要素中的投影功能进行投影。输出坐标选择投影坐标系,投影方式选择 UTM 投影,选择 WGS 1984,选择北半球,投影带选择 WGS 1984 UTM Zone 50N 进行投影。待投影完成后打开投影图层的属性表就能知道该选定区域的投影面积,以便用于落雷密度计算。

2 山区和平地地形下雷电参数的比较分析

在研究方法明确之后将根据该方法进行大量数据的统计分析。文中根据 Google Earth 显示的广东省地形图,分别在不同地区选取十组山地地形和平地地形进行对比研究。由于表格当中的山地 1、平地 1 等序号相同的地形是从同一地区选取出来的,因此取相同的雷电日。通过筛选之后数据见表 1、图 4。

由表 1、图 4 中可以看出,10 组数据中,有 9 组数据山地的落雷密度都大于平地,只有第 10 组数据的平地落雷密度大于山地。

通过进一步的分析可知第 10 组数据位于湛江市和茂名市之间的区域,同时所选取山地地形实为

表 1 山地和平地落雷密度

Table 1 Lightning density of mountains and plains

地形	雷击次数/次	面积/km ²	雷暴日/天	落雷密度/(次·km ⁻² ·雷暴日 ⁻¹)
山地 1	447	100.816 600	89	0.049 818
平地 1	68	22.122 830	89	0.034 536
平地 2	221	37.868 770	93	0.071 244
山地 2	272	41.052 440	93	0.062 752
平地 3	211	31.509 800	89	0.075 239
山地 3	416	44.700 600	89	0.104 566
平地 4	13	4.281 743	89	0.034 113
山地 4	23	7.525 975	89	0.034 338
平地 5	72	12.021 910	91	0.065 814
山地 5	95	12.403 060	91	0.084 169
山地 6	470	73.685 820	90	0.070 871
平地 6	527	123.026 620	90	0.047 596
平地 7	258	207.077 400	77	0.016 118
山地 7	700	285.903 300	77	0.031 674
平地 8	405	72.209 480	79	0.070 461
山地 8	494	50.046 280	79	0.124 006
山地 9	687	111.483 200	96	0.064 192
平地 9	893	145.034 600	96	0.063 973
平地 10	240	21.014 420	98	0.116 538
山地 10	258	73.007 210	98	0.036 060

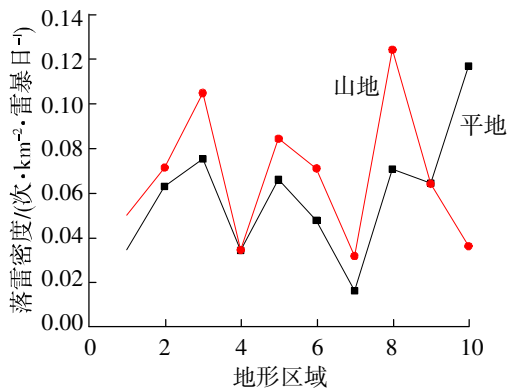


图 4 山地和平地落雷密度折线图

Fig. 4 Lightning density of mountains and plains

山地和丘陵相间的地形。该区域属于雷州半岛北部区域,落雷密度与海洋热流、以及海洋风暴和土壤电阻率等诸多因素有关,地形的影响所占比例较小。

从图 4 可看出:山区的落雷密度整体上比平原地区大。分析可以得出,在山区由于地形起伏,下垫面比较复杂,之间的热力状况差异随之也会很大,容易产生较强的空气对流。从雷电产生原因可知,雷电主要是由强烈的空气对流,云层之间相互撞击产生的。山区地区较平原地区更易产生对流天气,积雨云出现的概率比平原地区大;同时山峦的起伏使得空气的运动呈现出一种非常不规则的乱流状态,并

且能够影响到相当的高度,雷电天气就更容易形成。

此外,当从平原地区吹来的不稳定暖湿气进入山区以后,受到地形的抬升作用,也容易形成积雨云。因此,山区出现雷电的频率比平原地区高。

3 城市区域和乡村地区雷电参数影响因素分析

在采用筛选法研究山地和平地落雷密度时发现:取自城市地区的平地的落雷密度要比取自农村的落雷密度大。为了进一步分析确认城市地区和乡村地区落雷密度的差异,文中将专门选取 5 组城市区域和山地区域进行对比分析,结果见表 2、图 5。为了排除地形、海拔、气候等因素的影响,所选择的区域全部为平地地形同时相距距离较近,经纬度和气候差异不大。

表 2 城市区域和乡村区域落雷密度

Table 2 Lightning density of urban areas and rural areas

地形	雷击次数/次	面积/km ²	雷暴日/天	落雷密度/(次·km ⁻² ·雷暴日 ⁻¹)
城市平地 1	4 936	336.159 50	76	0.192 950
乡村平地 1	1 545	139.724 40	76	0.145 302
城市平地 2	1 545	66.864 87	94	0.244 253
乡村平地 2	1 152	265.149 70	94	0.045 927
城市平地 3	783	52.188 59	89	0.168 576
乡村平地 3	203	19.948 38	89	0.114 340
城市平地 4	81	13.191 93	79	0.077 137
乡村平地 4	30	6.404 137	79	0.058 850
城市平地 5	262	94.230 79	77	0.035 969
乡村平地 5	114	65.997 40	77	0.022 346

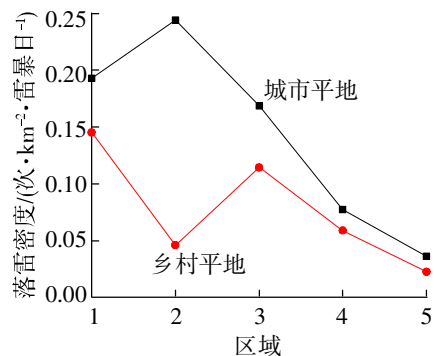


图 5 城市区域和乡村区域落雷密度折线图

Fig. 5 Lightning density of urban areas and rural areas

由表 2 和图 5 可知,城市地区的落雷密度远大于乡村地区的落雷密度。通过分析得出城市落雷密度远大于乡村落雷密度最主要的因素在于“热岛效应”^[18]的影响。随着城市的发展在城市气候中产生了一种对城市大气环流和温湿汽影响很大的效应——“热岛效应”。由于热岛效应城市气温明显高于郊区,

因城市热岛效应,市中心的空气受热不断上升,导致市区中心区域的压强减小,周围郊区相对较冷的空气向城区汇集以补充市区中心的压强差;市区中心上升的空气上升到一定高度后又向周围的郊区地区下沉以补充郊区的气流,就这样形成了一种郊区的热岛环流。热岛环流使大气层结变得不稳定,有利于对流的产生和对流活动的加强,增加的云层撞击的几率,容易形成对流云和对流性降水同时伴随雷电的发生;同时由于人类活动的影响以及城市污染越来越严重城市空气中的尘埃颗粒也比郊区地区多,这些尘埃附着在小雨滴上随着蒸发作用进入到大气层形成凝结核,有利于水汽凝结也使云层更加容易带上电荷产生雷云。

除了城市气候影响之外,城市地区电力线路、杆塔、通信设备、杆塔、电子设备等远多于乡村地区,这些设备由于自身带电或者电磁信号更容易吸引雷击,也是造成城市雷击多的原因之一。

4 季节因素对雷电参数的影响

4.1 季节对落雷次数的影响

文中以广东省为研究对象,分析广东省雷电参数的季节分布,结果见图6。

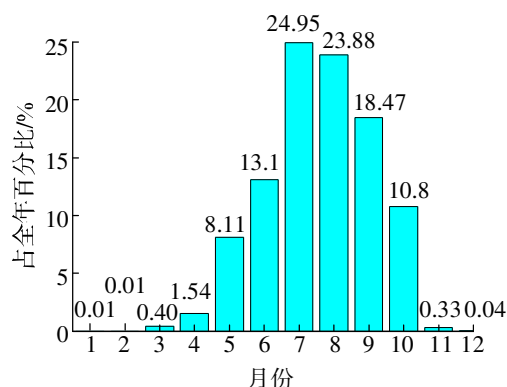


图6 广东省落雷次数月分布比例图

Fig. 6 Scale drawing of month's distribution of lightning strike in Guangdong Province

从图6中可知,广东省雷暴活动主要集中在春季末、夏季以及初秋时节。雷暴活动主要集中在4月到10月,从4月开始进入多雷期,到5月份开始雷击变得更加频繁,在7月达到高峰期,7月份一个月就占全年落雷次数的25%,多雷期一直持续到10月。其中,夏天是雷暴活动最频繁的季节,全年67.3%的雷暴活动集中在7、8月以及9月这3个月。从11月开始进入雷电活动的稀少期,从11月到次年3月整个广东省总共只有7437次落雷,仅占全年落雷总数的0.8%。从4月到10月广东全境共检测到1046430次落雷,落雷次数占全年总数的99.2%,由图6可以看

出,雷暴天气的季节分布特点明显。

4.2 季节对雷电流极性的影响

季节因素对雷电流极性所占比例有很大的影响。广东省某年雷电参数正、负闪比例结果见图7。

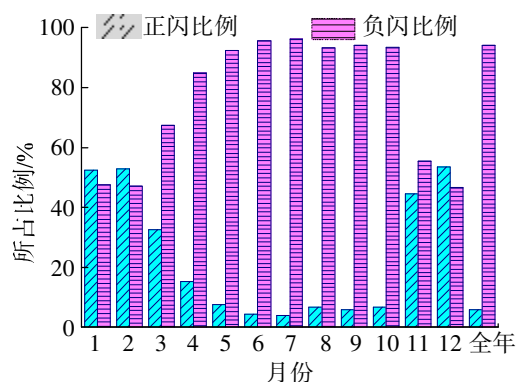


图7 广东省某年雷电参数正、负闪比例图

Fig. 7 Positive and negative flashes scale drawing of lightning parameters in Guangdong Province

从图7中可看出,正闪比例呈“U型”分布,负闪比例呈“倒U型”分布;即在雷暴天气很少的11月到次年3月,正闪的比例很高,接近占总闪的1/2,1、2月甚至超过1/2;在雷暴较多的4月到10月,负闪的比例占绝对多数,从5月到10月都是在90%以上,在7月达到巅峰占96.15654%。为了进一步证明在落雷少的月份11月到次年3月之间正极性雷所占的比例较落雷多的季节高,从全年来看,负闪也是占绝对多数的,全年负闪占总闪是94.114%,正闪只占5.886%。为进一步验证,文中将通过分析连续4年的数据来验证,结果见图8-11。

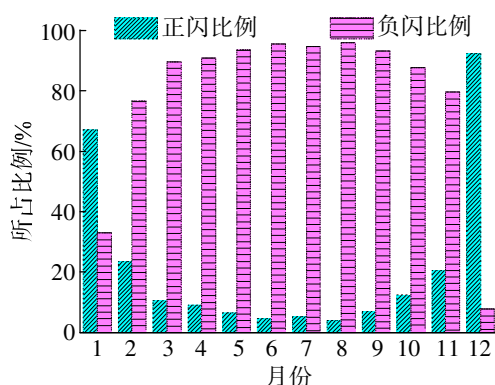


图8 2001年广东省正负闪比例

Fig. 8 The proportion of positive and negative flashes in 2001, Guangdong

从图8-11可以看出,正极性雷所占比例的时间分布特点仍然是“U型”分布的特点,负极性雷所占比例的特点仍是“倒U型”分布;即落雷少的月份正极性雷比例更高,落雷多的月份正极性雷所占的比例较低。

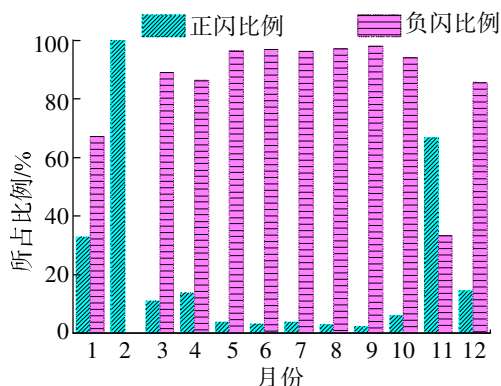


图9 2002年广东省正负闪比例

Fig. 9 The proportion of positive and negative flashes in 2002, Guangdong Province

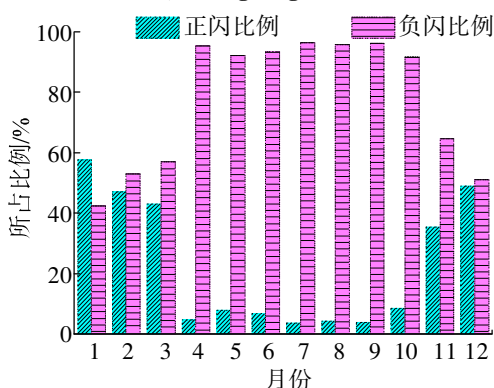


图10 2003年广东省正负闪比例

Fig. 10 The proportion of positive and negative flashes in 2003, Guangdong Province

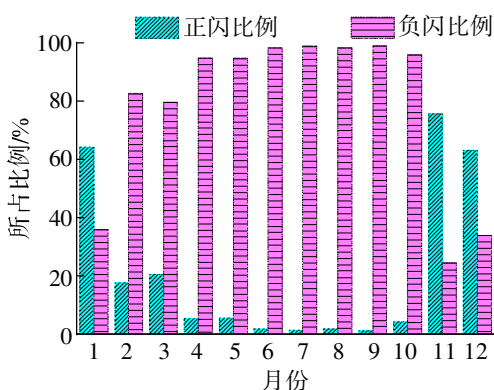


图11 2004年广东省正负闪比例

Fig. 11 The proportion of positive and negative flashes in 2004, Guangdong Province

5 结论

文中从地形、季节等几个方面研究雷电参数的影响因素,所得主要结论如下:

1)山区地域的落雷密度较平原地区落雷密度大,主要原因山区地区地形起伏,下垫面比较复杂,加之热力状况差异大容易产生较强的空气对流形成积雨云;其次在迎风坡,由于地形起伏当平原地区吹来的不稳定暖湿气进入山区以后,受到地形的抬升作用,容易形成积雨云造成雷暴天气。

2)城市区域的落雷密度要远大于乡村地区,主要是由于城市的发展形成特殊的“城市气候”其中的“热岛效应”造成城市的热循环和水循环被改变,加速了城市的大气环流使对流活动加强;同时由于城市空气中尘埃颗粒较乡村多,在大气循环中更容易形成凝结核使积雨云更容易形成。

3)雷电天气具有明显的季节性分布特点,广东省99%的雷暴天气发生在4月到10月之间,在7、8月达到巅峰;通过对近5年的雷电参数进行统计分析,得出少雷季节(11月到3月)正极性雷所占比例较多雷季节(4月到10月)大,正极性雷所占比例呈U型分布的特点。

文中以广东省雷电数据为依据进行研究,由于雷电数据量较少,数据来源地区较为单一(皆来自广东省),所以如果从定量方面来讲,还有待进一步工作,在后续的研究工作中,将注重收集全国典型地区的数据,如西北地区、中原地区等全国典型地区多年的雷电参数,深入定量研究雷电参数的影响因素。

参考文献:

- [1] 李晓岚,陈家宏,谷山强,等. 2000—2007年输电线路雷击闪络统计分析[J]. 高电压技术,2009,35(3):705-710.
LI Xiaolan, CHEN Jiahong, GU Shanqiang, et al. Statistics and analysis of lightning flashovers of transmission lines during 2000—2007[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35 (3):705-710.
- [2] MIKROPOULOS P N, TSOVILIS T E. Estimation of lightning incidence to overhead transmission lines[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(3):1855-1865.
- [3] 丁黎. 基于分类知识挖掘的雷电活动与地形关联性研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2011.
DING Li. Study classification based on knowledge mining lightning activity and terrain association [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [4] 陈家宏,冯万兴,王海涛,等. 雷电参数统计方法[J]. 高电压技术,2007,33(10):6-10.
CHEN Jiahong, FENG Wanxing, WANG Haitao, et al. Statistical method of lightning parameters[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(10):6-10.
- [5] 陈家宏,张勤,冯万兴,等. 中国电网雷电定位系统与雷电监测网[J]. 高电压技术,2008,34(3):425-431.
CHEN Jiahong, ZHANG Qin, FENG Wanxing, et al. Lightning location system and lightning detection network of China power grid[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34 (3):425-431.
- [6] 童雪芳,王海涛,陈家宏,等. 雷电定位系统地闪密度分布图与雷击故障相关性分析[J]. 高电压技术,2009,35 (12):2924-2929.

- TONG Xuefang, WANG Haitao, CHEN Jiahong, et al. Analysis of correlation between cloud-to-ground flash density map using LLS and lightning flashover[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(12): 2924-2929.
- [7] 罗毅, 王剑, 刘亚新, 等. 雷电定位监测系统在输电线路防雷中的应用[J]. 电网技术, 2009, 33(20): 173-176.
- LUO Yi, WANG Jian, LIU Yaxin, et al. Location and monitoring system in prevention of lightning faults of transmission line[J]. Power System Technology, 2009, 33(20): 173-176.
- [8] 李家启, 王劲松, 廖瑞金, 等. 重庆库区地貌 1999—2008 雷电流幅值频率分布特征[J]. 高电压技术, 2011, 37(5): 1123-1128.
- LI Jiaqi, WANG Jinsong, LIAO Ruijin, et al. Distribution characteristics of the lightning current amplitude and frequency in Chongqing reservoir landform during 1999—2008[J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(5): 1123-1128.
- [9] 高磊, 潘解祥. 城区与郊区不同地形地貌下云地闪分布规律初步研究[J]. 气象科技, 2009, 37(6): 729-733.
- GAO Lei, PAN Jiexiang. Distribution regularities of cloud-to-ground lightning flashes in urban and rural landforms[J]. Meteorological Science and Technology, 2009, 37(6): 729-733.
- [10] 李家启, 申双和, 廖瑞金, 等. 重庆地区雷电流幅值变化特征分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(12): 2918-2923.
- LI Jiaqi, SHEN Shuanghe, LIAO Ruijin, et al. Analysis of the lightning current amplitude change characteristics in Chongqing area[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(12): 2918-2923.
- [11] 李永福, 司马文霞, 陈林, 等. 基于雷电定位数据的雷电流参数随海拔变化规律[J]. 高电压技术, 2011, 37(7): 1634-1641.
- LI Yongfu, SIMA Wenxia, CHEN Lin, et al. Law between parameters of lightning current and elevation based on lightning detection data[J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(7): 1634-1641.
- [12] 钟连宏, 常美生. 不同土壤电阻率对雷电放电过程的影响[J]. 高电压技术, 1997, 23(1): 64-66.
- ZHONG Lianhong, CHANG Meisheng. Study on the effect of soils with various resistivities on lightning process[J]. High Voltage Engineering, 1997, 23(1): 64-66.
- [13] 申元, 王磊, 马御棠, 等. 海拔高度对云南某地雷电参数的影响[J]. 电力建设, 2012, 33(4): 35-37.
- SHEN Yuan, WANG Lei, MA Yutang, et al. Effects of elevation on lightning parameters in yunan province[J]. Electric Power Construction, 2012, 33(4): 35-37.
- [14] 陆国俊, 熊俊, 陈家宏, 等. 广州地域 1999—2008 年地闪密度图及雷电参数分析[J]. 高电压技术, 2009, 35(12): 2930-2936.
- LU Guojun, XIONG Jun, CHEN Jiahong, et al. Analysis of ground flash density and lightning parameters of Guangzhou in 1999—2008[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(12): 2930-2936.
- [15] 陈家宏, 童雪芳, 谷山强, 等. 雷电定位系统测量的雷电流幅值分布特征[J]. 高电压技术, 2008, 34(9): 1893-1897.
- CHEN Jiahong, TONG Xuefang, GU Shanqiang, et al. Distribution characteristics of lightning current magnitude measured by lightning location system[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(9): 1893-1897.
- [16] 陈家宏, 童雪芳, 冯万兴, 等. 1 000 kV 皖电东送输变电工程沿线的雷电分布特征[J]. 高电压技术, 2010, 36(1): 62-67.
- CHEN Jiahong, TONG Xuefang, FENG Wanxing, et al. Lightning distribution characteristics along the corridor of 1 000 kV Anhui-Shanghai transmission line[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(1): 62-67.
- [17] 孟晨, 李岩, 解江伟, 等. 雷电冲击下变压器等值电路电感参数的计算与分析[J]. 变压器, 2013, 50(4): 29-30.
- MENG Chen, LI Yan, XIE Jiangwei, et al. Calculation and analysis of inductance parameters of transformer equivalent circuit under lightning impulse[J]. Transformer, 2013, 50(4): 29-30.
- [18] 孙继松, 舒文军. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究[J]. 大气科学, 2007, 31(2): 311-320.
- SUN Jisong, SHU Wenjun. The effect of urban heat island on winter and summer precipitation in Beijing region[J]. Chinese Journal of Atmospheric Science, 2007, 31(2): 311-320.
- 李瑞芳(1980—), 女, 博士, 讲师, 从事高电压与绝缘技术方向的研究工作。
- 曹晓斌(1974—), 男, 博士, 硕士生导师, 从事高电压与绝缘技术方向的研究工作。

(上接第 62 页)

- CHEN Zhongren, WU Weining, CHEN Jiahong. Measuring and tracing of automatic arc-suppression devices in distribution networks[J]. Automation of Electric Power System, 2004, 28(10): 85-87.
- [18] 李晓波, 王崇林. 零残流消弧线圈综述[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(6): 116-121.
- LI Xiaobo, WANG Chonglin. Survey of zero-residual-current arc suppression coil[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(6): 116-121.
- [19] 姜齐荣, 赵东元, 陈建业. 有源电力滤波器[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [20] 林飞, 杜欣. 电力电子应用技术的 MATLAB 仿真[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- 陈忠仁(1971—), 男, 副教授, 主要从事消弧线圈与接地选线技术的研究。
- 黄健(1967—), 男, 高级实验师, 研究方向为电气自动化技术。
- 何业军(1982—), 男, 讲师, 研究方向为电气自动化技术。