

# 基于 GIS 技术的雷电活动专家分析系统研究

张星炜

(江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京 211103)

[摘要] 本文提出了建立雷电活动专家分析系统的重要性,介绍了基于 GIS 技术的雷电活动专家分析系统的基本结构和功能特点,并展示了应用成果.实践证明,雷电活动专家分析系统能够为调度运行、防雷设计与评估提供重要的决策支持,提高江苏电网安全稳定水平.

[关键词] 雷电定位, GIS, 雷电活动专家分析系统, 雷电参数

[中图分类号] P446 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2014)04-0084-07

## Study of Lightning Activity Expert Analysis System Based on GIS Technology

Zhang Xingwei

(Institute of Electrical Science, Jiangsu Provincial Electric Company, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** This paper proposes the importance of establish a lightning activity expert analysis system. It introduces the basic structure and function of lightning activity expert analysis system based on GIS technology, and displays the results of the application. Practice has proved that lightning activity expert analysis system can provide important decision of dispatching, design and evaluation for lightning protection. It improves the level of security and stability of Jiangsu power grid.

**Key words:** lightning location, geographic information system, lightning activity expert analysis system, lightning parameters

随着电网规模的飞速发展,电网的空间分布越来越密集,雷电已经成为严重影响电网安全运行的重要因素,提升电网的防雷减灾能力显得尤为重要.据统计,在我国高压输电线路运行的总跳闸次数中,由于雷击引起的跳闸次数约占 40% ~ 70%<sup>[1]</sup>. 防雷减灾事关经济建设、社会发展和人民生命财产的安全.为了减小雷电损失、降低雷击风险,人类需要的雷电参数越来越多,也越来越细.与此同时,国内传统雷电参数的获取方式极为粗糙,数据量也很有限,迫切需要随地理位置、地形地貌变化、有针对性的雷电参数,为制定更加有效、经济技术水平更高的雷电防护措施奠定基础.

经过十多年的发展、完善,全国所有网省公司均建立了雷电定位系统,该系统已成为雷击故障点快速定位、雷击事故鉴别的主要技术手段,提高了电网的雷击故障应急处理能力,同时积累了大量的雷电监测数据,可充分利用这些数据进行各种雷电参数的分析研究.

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)作为一门集计算机科学、地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学和管理科学等为一体的新兴边缘学科,融各类应用对象为一体,迅速形成一门综合性高新技术,日益受到人们的重视.它采用直观的地理图形方式,输入、组织、管理、分析、使用以及输出与地理空间相应的各种数据,并可进一步进行规划布局、预测预报、决策支持、动态模拟等加工处理.

研究建立基于 GIS 技术的雷电活动专家分析系统,可实现雷电信息的空间分布显示与分析,同时可方便、快捷地对雷电参数进行统计.该系统可为雷电定位系统测量数据统计样本分析、完整的区域雷电参数统计、输电线路走廊雷电参数统计提供全套方案,为江苏电网防雷设计、评估提供平台,可以为电网防雷工作提供有力的决策支持.

收稿日期:2014-09-23.

通讯联系人:张星炜,工程师,研究方向:雷电定位监测和 GIS 技术研究. E-mail:zxw\_nanjing@sina.com

## 1 研究现状

雷电定位系统一般由一定数量的雷电探测站及用于控制处理雷电数据的中心站组成,目前有 40 多个国家建立了自己的雷电定位系统和雷电监测网,广泛应用于气象、电力、航天、航空、军事、通信、林业、建筑、交通、保险、旅游等行业<sup>[2-5]</sup>. 中国雷电定位系统在电力系统中得到广泛应用,全国各网省电力公司都建立了各自的雷电定位系统,且大多数都建立了雷电查询定位平台<sup>[6]</sup>. 江苏电网建立了由 1 个中心站、19 个模拟探测站、16 个数字探测站组成的雷电定位系统,同时建立了可用于雷电查询定位和雷电数据 Web 发布的 GIS 平台.

目前各网省公司建立的雷电查询定位平台实现了雷击故障点快速定位,为输电线路雷击跳闸定位分析提供了重要支持. 但这些平台功能较局限,偏重于雷击点查询定位,对于雷电活动的分析应用还较欠缺,没有充分利用 GIS 技术的空间分析功能;对于雷电参数统计的功能也较有限,没有形成对雷电日、雷电小时、地闪密度  $N_g$ 、地面落雷密度  $\gamma$ 、地闪总数、正极性比率、平均电流、雷电流幅值等雷电参数的全面统计分析能力,无法实现对电网防雷设计、评估的帮助.

雷电参数如雷电日、地闪密度、雷电流幅值概率分布等用以表示区域雷电活动强弱特征,是防雷工程设计中重要的基础数据<sup>[7-12]</sup>,分析统计雷电参数对电网防雷工作有着重要意义. 鉴于此,本文研究建立基于 GIS 技术的雷电活动专家分析系统,运用 GIS 空间分析方法实现对雷电活动的专家分析能力,可以对任意区域、输电线路走廊的雷电参数进行全面统计分析,以帮助电网运行、检修人员及时掌握雷电运动态势,保证电网安全稳定运行.

## 2 雷电活动专家分析系统的基本结构与功能特点

### 2.1 雷电活动专家分析系统的基本结构

雷电活动专家分析系统由四大功能模块组成,即雷电数据导入模块、数据重算模块、雷电参数统计模块及显示与输出模块,如图 1 所示.

雷电数据导入模块用于从雷电数据库中读取雷电样本数据,导入到雷电活动专家分析系统中.

数据重算模块是当导入的雷电样本数据不完整或不准确,不符合统计要求时,对雷电样本数据进行重新计算、处理,形成新的样本数据,再重新导入到雷电活动专家分析系统中.

雷电参数统计是雷电活动专家分析系统的核心模块,提供雷电日、雷电小时、地闪密度  $N_g$ 、地面落雷密度  $\gamma$ 、地闪总数、正极性比率、平均电流、雷电流幅值累积概率曲线和表达式、雷电流幅值比率曲线等雷电参数的统计与分析,且可将正、负极性雷电分离分别进行各种雷电参数的统计.

显示与输出模块用于将雷电参数的统计结果以包括 Excel 表、柱状图、曲线、图片、GIS 图层文件在内的各种形式显示或输出.

### 2.2 雷电活动专家分析系统的功能特点

#### 2.2.1 可实现 GIS 数据分析

由于雷电数据样本巨大,且雷电数据本身具有空间属性,必须选择一个高效的、功能强大的 GIS 平台来处理这些海量的数据,以其为基础扩展出雷电参数分析功能模块,最终构成分析软件. 美国 ESRI 公司是专业开发地理信息系统的厂家,是目前世界上三大 GIS 的厂家之一,其开发的 ArcObjects 是当前最优秀的 GIS 软件之一. 其组件提供了大量的通用统计程序与统计方法,方便雷电系统进行相关的分析与直观显示;还提供了独立 COM 组件的产品 ArcGIS Engine,方便进行再开发. 雷电活动统计分析系统就是使用 VB 开发环境和 Windows 操作系统,利用 ArcEngine 构建的一个功能强大、具有良好扩展性的雷电参数分析工具.

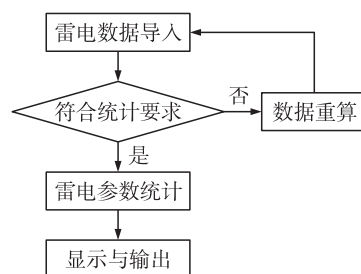


图 1 雷电活动专家分析系统的基本结构

Fig. 1 The basic structure of lightning activity expert analysis system

### 2.2.2 可实现雷电参数统计功能

雷电参数的统计功能可按多种主题方式进行统计分析. 空间主题分析: 分析多个行政区、线路走廊、线路走廊区块、点位缓冲区、网格、自定义多边形内的某种类型的数据样本, 通过比较多个区域之间的雷电日、雷电小时、密度等参数得到雷电活动在这多个区域组成的大区域上的空间分布规律.

时间主题分析: 分析一个行政区、线路走廊、线路走廊区块、点位缓冲区、网格、自定义多边形内的某种类型的数据样本, 按月、年来比较雷电日、雷电小时、密度、比率等参数得到该区域雷电活动在时间上的分布规律.

电流主题分析: 分析一个行政区、线路走廊、线路走廊区块、点位缓冲区、网格、自定义多边形内的某种类型的数据样本, 按电流幅值来求得该区域雷电幅值概率曲线、中值电流.

缓冲区划分: 在分析点、线等对象时, 先定义一个缓冲区; 为研究输电线路沿线雷电活动规律, 系统针对输电线路提供了对线路缓冲区沿线按长度等分的功能; 为研究线路的引雷宽度, 提供了建立多级缓冲区的功能.

### 2.2.3 显示与输出

ESRI 的 ArcEngine 本身提供图形化输出功能, 同时还可利用微软 Excel 提供的表格统计与显示功能, 灵活地实现雷电参数的输出与显示, 并可存储到指定目录下, 随时可将其调出查看.

空间主题的分析结果主要是以每年一幅、多年平均形成一系列统计结果图层, 根据某统计结果参数的值分段着色形成 GIF 图片; 根据某统计结果参数的值做 GIS 主题图形成 GIF 图片; 以二维表和棒形图形式存于 Excel 文件; 以电子地图文件形式发布统计结果, 可以为其他 GIS 系统所用.

时间主题的分析结果主要是以每年一个月表、多年按月平均月表及多年之间比较的年表形成二维表和棒图的形式存于 Excel 文件.

电流主题的分析结果主要是以每年一个、多年累积形成二维表和正负幅值概率曲线、正负比率曲线、正闪百分比棒图存于 Excel 文件.

### 2.2.4 雷电数据样本的按需划分

在数据预处理之后, 可将这个准确的数据样本进行进一步划分, 定义主放电、后续放电、次序放电、第三次回击等数据样本类型, 后续可根据需要研究不同数据样本类型的特性.

### 2.2.5 图层数据选择自由控制

数据按照属性分图层存放, 可分别对各图层数据进行处理, 采用图层数据选择功能, 有针对性地进行各种雷电参数的统计.

### 2.2.6 良好的可扩展性和批处理能力

系统具有非常好的可扩展性, 可随着 ArcGIS Engine 的发展而不断发展完善. 数据分析是一个需要长时间计算的过程, 为此系统设计了批处理功能, 在用户定义好所有的任务开始计算后可实现无人值守, 自动生成报表.

### 2.2.7 友好的界面

雷电活动专家分析系统界面清楚明了, 界面友好, 操作简便. 主界面包括标题栏、菜单栏、工具栏、图层栏和主窗口 5 个部分, 如图 2 所示.

## 2.3 雷电活动专家分析系统中参数统计的实现算法

雷电参数统计的总体思路是: 采用网格法将统计对象划分成一系列面积近似相等的网格, 统计各个网格中的雷电参数, 多个网格中的雷电参数值形成雷电参数的空间分布; 对多个网格数据采用一定的数据分类方法进行分组, 对不同组网格采用不同的颜色进行渲染, 形成雷电参数的分级分色空间分布图.

针对雷电地闪密度的统计算法为: 将被统计区域划分为  $n$  个经纬大小相等的网格, 各网格面积记为  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , 则网格总面积  $S_a = S_1 + S_2 + \dots + S_n$ , 相应各网格内的地闪次数分别记为  $N_1, N_2, \dots, N_n, N_1 + N_2 + \dots +$

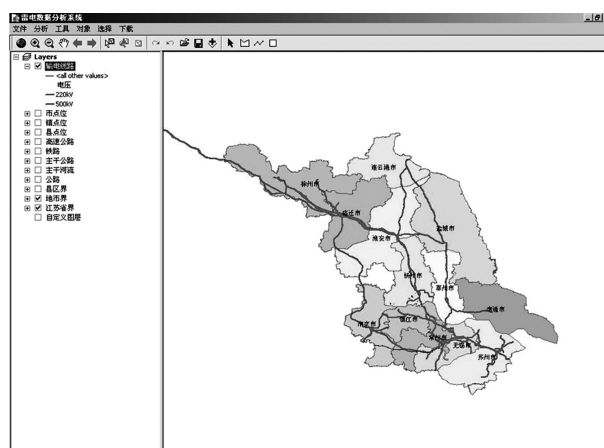


图2 雷电活动专家分析系统主界面

Fig.2 The main interface of lightning activity expert analysis system

$N_n = N_a$ , 则地闪密度的平均值  $N_g$  可表示为

$$N_g = \sum_{i=1}^n N_{gi} S_i / \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n N_i / \sum_{i=1}^n S_i = N_a / S_a.$$

雷电日(雷电小时)的统计也采用网格法,但该网格法与地闪密度网格划分有所不同,其网格大小不是任意选取,而是要以传统气象雷电日数值为参考,在一定范围内选取.考虑到气象观测站人耳监听范围,雷电日(雷电小时)统计的网格大小一般在  $0.1^\circ \times 0.1^\circ \sim 0.225^\circ \times 0.225^\circ$  范围内指定.对某一行政区、省、用户自定义区域来说,其平均雷电日(雷电小时)是以这些区域为对象,按一定大小网格进行划分并以网格为对象进行统计后得到的网格雷电日(雷电小时)的平均值.

雷电流幅值分析统计可得到统计对象区域内的雷电流幅值累积概率曲线及其拟合表达式、雷电流幅值比率曲线、雷电流幅值分布直方图.通过与 IEEE 工作组推荐概率分布曲线进行比较,发现采用  $P = \frac{1}{1+(I/a)^b}$  形式描述统计累积概率曲线效果较好,其中参数  $a$  反映了中值电流,参数  $b$  反映了曲线的“陡度”.随着雷电监测数据样本的不断积累,可以实现雷电流幅值分布更精确的统计分析.

### 3 雷电活动专家分析系统的应用

雷电活动专家分析系统基于 GIS 图层,可实现任意时段、任意区域、任意线路走廊的落雷数、雷电日、地闪密度、雷电流幅值的统计输出.应用该系统,可为输电线路防雷设计、评估与分析提供重要帮助.

#### 3.1 全省各地区雷电活动统计

应用雷电活动专家分析系统,可以方便地统计任意时间段、任意行政区域的落雷数、雷电日、地闪密度等参数.表 1 所示为 2013 年 8 月全省及 13 个地市的落雷统计.从表中可以看出,2013 年全省 8 月落雷总数 117 405 个.纵观各城市的落雷情况,徐州落雷数最多,达到 26 492 个;落雷密度最大的是无锡,达到 2.84 个/ $\text{km}^2$ .

表 1 2013 年 8 月落雷统计数据

Table 1 The statistics of lightning in Jiangsu Province in August 2013

地区	总雷电数	正雷电数	负雷电数	雷电日	地闪密度
江苏省	117 405	12 376	105 029	9	1.149
南京	8 538	1 011	7 527	10	1.296
南通	16 940	811	16 129	7	1.827
宿迁	10 443	903	9 540	11	1.219
常州	5 333	577	4 756	9	1.222
徐州	26 492	2 287	24 205	12	2.356
扬州	3 799	580	3 219	8	0.571
无锡	13 082	1 217	11 865	9	2.840
泰州	4 093	338	3 755	7	0.706
淮安	6 770	1 284	5 486	9	0.681
盐城	7 653	1 705	5 948	6	0.507
苏州	23 482	2 327	21 155	8	2.716
连云港	14 977	1 253	13 724	10	1.977
镇江	4 308	297	4 011	9	1.131

同时专家系统还能对历年雷电数据进行雷电流幅值概率统计,图 3 所示为 2005 ~ 2013 年江苏省所有雷电的电流幅值分布的统计曲线.

#### 3.2 全省雷电活动强度分布分析

应用雷电活动专家分析系统,可实现地闪密度图的生成,用于江苏电网雷电活动规律的分析.例如,江苏全省 2009 ~ 2012 年雷电地闪密度图分别如图 4 ~ 图 7 所示,其地闪密度面积分布图如表 2 所示.

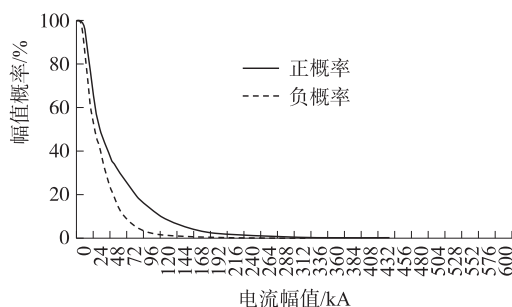


图 3 2005 ~ 2013 年江苏省雷电流幅值概率分布曲线

Fig. 3 The curve of distribution probability of lightning current amplitude in Jiangsu Province from 2005 to 2013



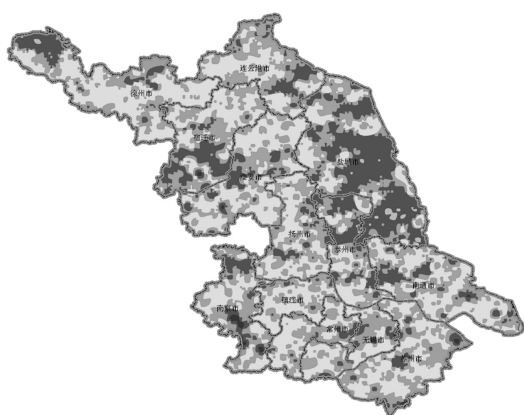


图 4 2009 年雷电地闪密度图  
Fig. 4 The map of lightning flash density in Jiangsu Province in 2009

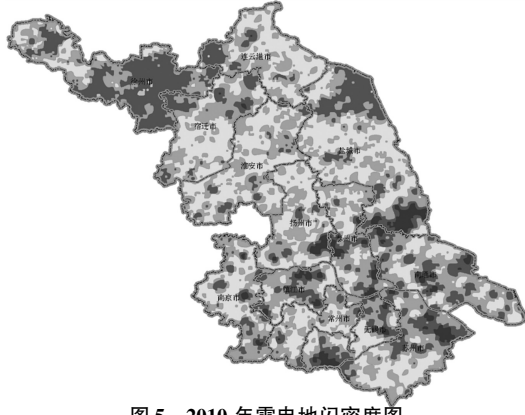


图 5 2010 年雷电地闪密度图  
Fig. 5 The map of lightning flash density in Jiangsu Province in 2010

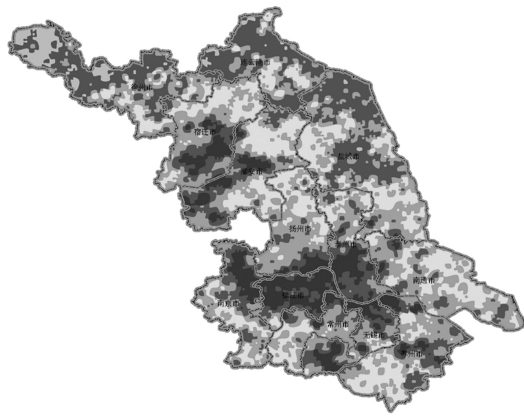


图 6 2011 年雷电地闪密度图  
Fig. 6 The map of lightning flash density in Jiangsu Province in 2011

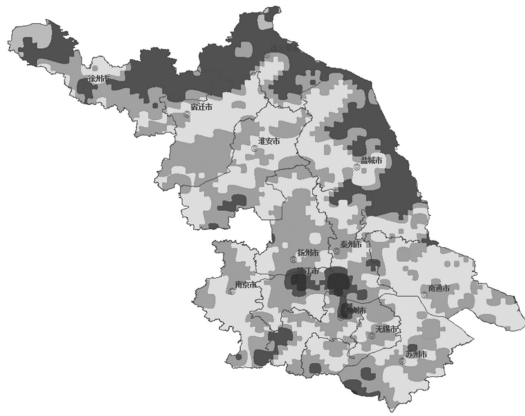


图 7 2012 年雷电地闪密度图  
Fig. 7 The map of lightning flash density in Jiangsu Province in 2012

表 2 江苏省 2009 ~ 2012 年雷电地闪密度面积分布统计

Table 2 The statistics of area distribution of lightning flash density in Jiangsu Province from 2009 to 2012

地闪密度	2009 年面积分布 (占总面积百分比)/%	2010 年面积分布 (占总面积百分比)/%	2011 年面积分布 (占总面积百分比)/%	2012 年面积分布 (占总面积百分比)/%
0 ~ 0.78	0.28	0.11	2.41	1.47
0.78 ~ 2.0	16.8	11.2	17.1	19.0
2.0 ~ 2.78	21.1	12.6	10.7	11.7
2.78 ~ 5.0	44.6	38.1	23.5	39.0
5.0 ~ 7.98	14.9	25.3	24.1	25.9
7.98 ~ 11.0	2.02	9.77	12.3	2.28
11.0 以上	0.37	2.91	9.79	0.66

注:江苏地区总面积为 100 000 km<sup>2</sup> 左右.

由地闪密度分布图及其面积分布表可得出江苏近 4 年来雷电活动规律:

- (1)近 4 年来以 2011 年雷电地闪密度最大,2011 年江苏地闪密度在 5.0 以上的区域接近 50%,其中 11.0 以上的区域占总面积的 9.79%,远高于其他年份.
- (2)纵观近 4 年的雷电地闪密度分布,雷电活动呈现南强北弱的态势,雷电集中分布在苏南和苏中地区.

3.3 输电线路走廊雷电易击区分析

应用雷电活动专家分析系统,可针对任意输电线路走廊进行落雷统计分析,确定易受雷击段,指导线路防雷改造.

以 800 kV 直流线路锦苏线(江苏段)为例,锦苏线起点位于四川锦屏换流站,终点位于苏州换流站,

其江苏段从南向北杆塔依次编号为 4 142#~4 240#, 全长约 43 km. 以 2 km 带宽统计走廊沿线 2008~2012 年各年及平均年的地闪密度分布情况, 如图 8~图 13 所示.

从 2008~2012 年地闪密度空间分布来看, 4 160#~4 175#杆塔段地闪密度相对较大, 为易受雷击段, 在此段中, 一旦出现绝缘子运行状态不好、杆塔接地电阻较高或避雷线保护角较大等情况, 则较易发生闪络, 从而引发事故.

## 4 结语

基于 GIS 技术的雷电活动专家分析系统充分利用了 GIS 的强大空间分析能力, 结合雷电定位分析模型, 实现了雷电参数的全面分析统计. 雷电活动专家分析系统的应用能够为省市各级供电公司及时掌握雷电运动态势, 做好电网防雷评估、分析工作, 提供重要的决策支持, 提高工作效率. 在防雷设计改造工作中, 可起到指导作用, 做到有的放矢, 避免盲目投入, 从而提升经济效益, 为电网安全稳定运行提供重要保障.

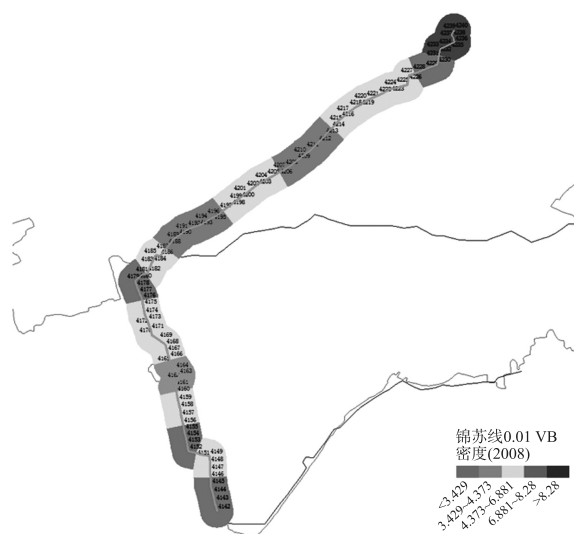


图 8 锦苏线 2008 年地闪密度空间分布图

Fig. 8 The map of lightning flash density along Jingsu Line in 2008

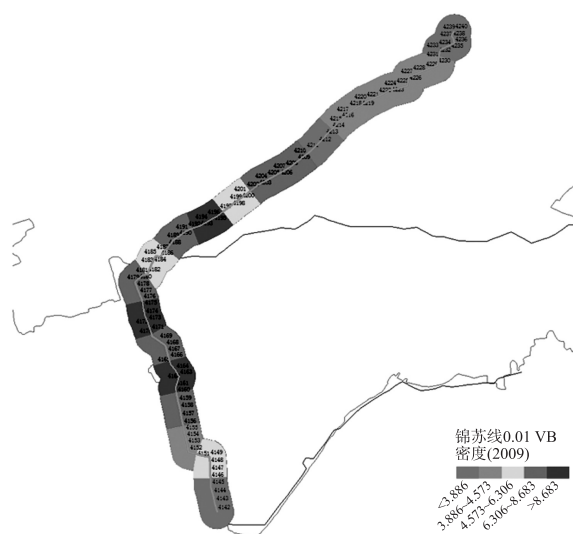


图 9 锦苏线 2009 年地闪密度空间分布图

Fig. 9 The map of lightning flash density along Jingsu Line in 2009

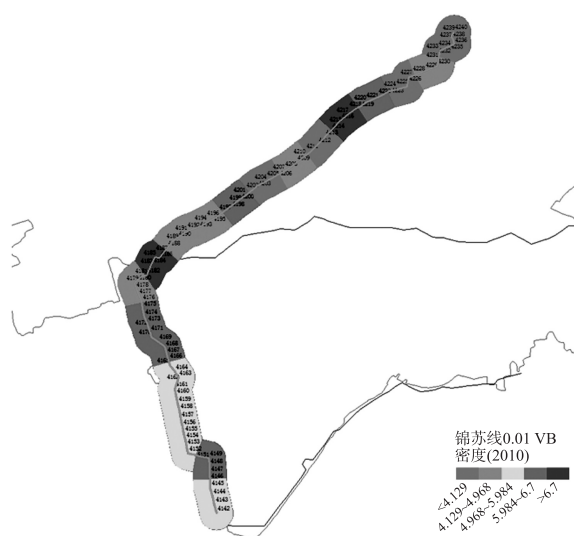


图 10 锦苏线 2010 年地闪密度空间分布图

Fig. 10 The map of lightning flash density along Jingsu Line in 2010

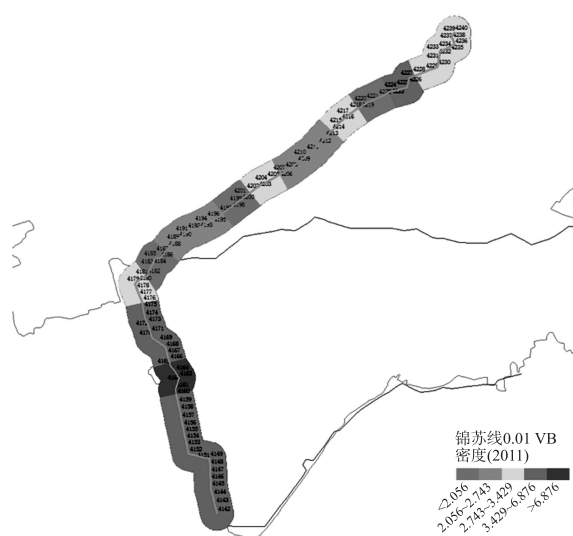


图 11 锦苏线 2011 年地闪密度空间分布图

Fig. 11 The map of lightning flash density along Jingsu Line in 2011

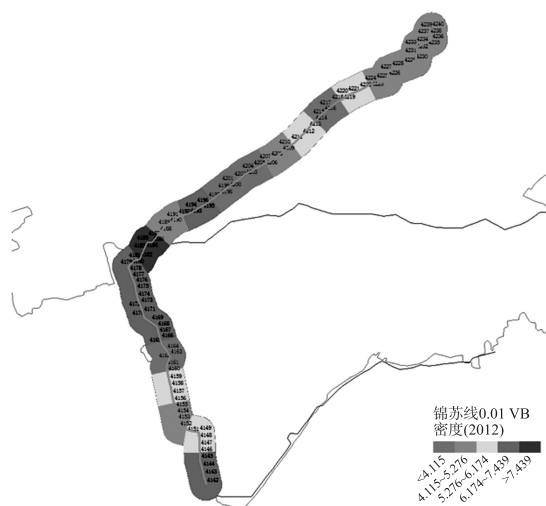


图12 锦苏线2012年地闪密度空间分布图

Fig. 12 The map of lightning flash density along Jingsu Line in 2012

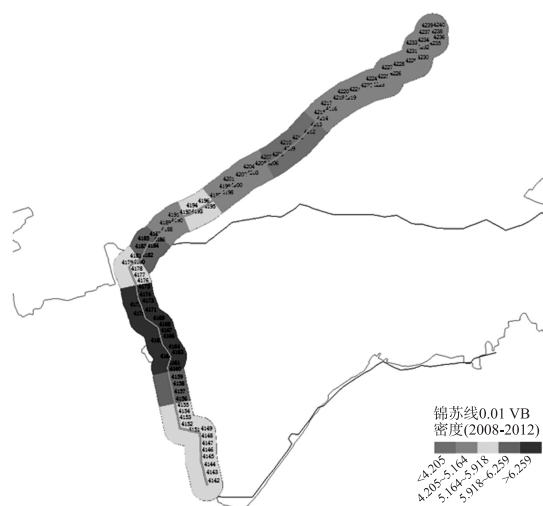


图13 锦苏线2008~2012年地闪密度空间分布图

Fig. 13 The map of lightning flash density along Jingsu Line from 2008 to 2012

## [参考文献] (References)

- [1] 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,(11):8-14.  
Chen Jiahong,Zhang Qin,Feng Wanxing,et al. Lightning location system and lightning detection network of China Power Grid [J]. High Voltage Engineering, 2008,(11):8-14. (in Chinese)
- [2] Chen Jiahong,Fan Lingmeng. Lightning Location System and Lightning Parameters[C]//The 3rd Asian Lightning Protection Forum. Tokyo,2005:5-13.
- [3] Lightning and Insulation Subcommittee of the T&D Committee. Parameters of lightning strokes: a review [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005,20(1):346-358.
- [4] Gerhard Diendorfer, Wolfgang Schulz, Rakov V A. Lightning characteristics based on data from the austrian lightning locating system[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1998,40(4):452-464.
- [5] Shim E B,Woo J W,Han S O,et al. Lightning characteristics in Korea and lightning performance of power systems[C]//Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002. IEEE/PES,2002,1(3):534-539.
- [6] 国网武汉高压研究院. 国网雷电监测网络方案及相关技术研究[R]. 武汉:国网武汉高压研究院,2007.  
Wuhan High Voltage Research Institute of SGCC. Project of state grid lightning detection network and research on relating technologies[R]. Wuhan: Wuhan High Voltage Research Institute of SGCC,2007. (in Chinese)
- [7] 杜澍春. 关于输电线路防雷计算中若干参数及方法的修改建议[J]. 电网技术,1996,20(12):53-56.  
Du Shuchun. Suggestion on revising the calculation method and some parameters used in lightning protection of transmission lines[J]. Power System Technology,1996,20(12):53-56. (in Chinese)
- [8] Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society. IEEE Std1243-1997 IEEE guide for improveing the lighting perfoemance of transmission lines [S]. New York: the Institute of Electrical and Electronics Engineering,1997.
- [9] International Electrotechnical Commission. IEC 61312\_1-1995 Protection against lightning electromagnetic impulse-part1: general principles[S]. Geneva:the IEC Central Office,1995.
- [10] 陈家宏,郑家松,冯万兴,等. 雷电日统计方法[J]. 高电压技术, 2006,32(11):115-118.  
Chen Jiahong,Zheng Jiasong,Feng Wanxing,et al. Statistical method of thunderstorm day [J]. High Voltage Engineering, 2006,32(11):115-118. (in Chinese)
- [11] 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. (in Chinese)
- [12] 国网武汉高压研究院. 区域雷电分布及线路落雷密度研究[R]. 武汉:国网武汉高压研究院,2007.  
Wuhan High Voltage Research Institute of SGCC. Research on regional lightning distribution and lightning density of transmission lines[R]. Wuhan:Wuhan High Voltage Research Institute of SGCC,2007. (in Chinese)

[责任编辑:陆炳新]