

文章编号:2096 - 5389(2018)05 - 0032 - 05

## 基于数理统计方法的闪电气候研究

黄惺惺<sup>1</sup>, 鲁峻麟<sup>2</sup>, 庄燕洵<sup>1</sup>, 殷启元<sup>1</sup>

(1. 广东省气象公共安全技术支持中心, 广东 广州 510641; 2. 广州市突发事件预警信息发布中心, 广东 广州 511430)

**摘要:** 基于广东省 1999—2015 年闪电定位系统数据, 利用数理统计方法得出广东省闪电气候年际变化特征、季节变化特征、月变化特征, 利用最小二乘法得到闪电密度气候变化趋势系数和年、季节的气候倾向率。利用 Matlab 来对广东省 1999—2013 年的雷暴日进行分析, 得出其年际周期变化规律, 最后采用 EOF 方法, 借助 ArcGIS 平台得出广东省闪电密度空间向量场分布图。结果表明: 由 1999—2015 年, 广东全省的地闪密度总体趋势是逐渐增加, 闪电日数最多的月份集中在 6—8 月 (夏季); 雷暴日存在变化具有周期性、规律性, 分别有 13~16 a, 7~11 a, 2~6 a 3 种不同尺度的周期; 闪电密度空间分布特征主要有一致型、局部型、纬向型和经向型 4 种类型。

**关键词:** 数理统计; 闪电密度; 气候变化; 空间分布

**中图分类号:** P463.2 **文献标识码:** A

## Lightning climate study based on mathematical statistics

HUANG Xingxing<sup>1</sup>, LU Junlin<sup>2</sup>, ZHUANG Yanxun<sup>1</sup>, YIN Qiyuan<sup>1</sup>

(1. Guangdong Technical Support Center of Meteorological Public Security, Guangzhou 510641, China;  
2. Guangzhou Emergency Early Warning Release Center; Guangzhou 511430, China)

**Abstract:** Based on the data from the lightning location system of Guangdong province from 1999 to 2015, the mathematical statistics was used to obtain the characteristics of the annual variation of lightning in Guangdong province, the seasonal variation and monthly variation. The least square method was used to obtain the climate change tendency coefficient of lightning density, the seasonal and annual climatic tendency rate. The matlab was used to analyze the thunderstorm days in Guangdong province from 1999 to 2013 to obtain the pattern of annual periodic change. The EOF method was used to obtain the distribution of spatial vector field of lightning density in Guangdong province. The results show that from 1999 to 2015, the overall trend of lightning density in Guangdong province was on the rise with the number of lightning days peak in the period from from June to August (summer); the change of thunderstorm days is periodic and regular. there are 3 periods of different scales: 13—16 years, 7—11 years, 2—6 years. There are four types of spatial distribution of lightning density: uniform, local, weft and warp.

**Key words:** mathematical statistics; lightning density; climate change; spatial distribution

### 1 引言

广东省是雷电灾害大省, 雷电灾害常常引起社会的关注, 具有较大的影响力, 为了保证雷电灾害防御重点单位和区域的安全生产工作, 深入研究全

省闪电气候特征变化显得十分重要。早在 2000 年张敏锋<sup>[1]</sup>等人利用 1997—1998 年的闪电资料分析得出广东地区全天之中闪电高发时段为 00—06 时和 12—18 时; 易燕明<sup>[2]</sup>等人通过分析广东省雷暴日和闪电日的时空分布发现雷暴日和闪电日的趋势

收稿日期: 2018 - 01 - 08

第一作者简介: 黄惺惺 (1987—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事气象防雷研究, E-mail: 54986153@qq.com。

资助项目: 广东省防雷中心自立科研项目 (DLPC - Sel - 005 - 2014); 广东省闪电气候变化特征分析与研究。

变化有明显的区域特征;庄燕洵<sup>[3]</sup>等人、刘三梅<sup>[4]</sup>等人利用广东省闪电定位系统数据对广东省雷电活动特征进行了分析,得出全省的闪电密度高值区和雷电流分布情况。本文通过对最近 17 a 广东省的闪电气候进行研究,着重分析全省闪电气候年际变化特征、季节变化特征、月变化特征和闪电密度气候变化趋势等相关参数,得出雷暴日年际周期变化规律和闪电密度空间向量场分布规律,对减少雷电灾害事故具有重要意义,同时对闪电监测预警具有一定的辅助研究意义。

## 2 数据来源与研究方法

本文选取广东省闪电定位系统近 17 a(1999—2015 年)的闪电数据进行分析研究。此套系统共有 16 个雷电方向时差探测站,在全省分布均匀,探测范围覆盖全省,能实时监测地闪活动。该系统建于 1995 年,1997 年开始运行,2004 年进行过硬件升级,升级之后探测覆盖范围变广,探测到的闪电数据增多,数据源更加详实可靠,探测效率和探测精度进一步提高,对闪电事件的探测效率可达约 93%<sup>[5]</sup>,平均定位精度约 800~1 000 m,珠三角地区平均定位精度可达约 320 m。

本文以每天 00—24 时为一个时段,如果在这个时段出现闪电则记录为一个闪电日,一个闪电日内包含多次闪电。主要采用的研究方法有小波分析和 EOF 分析等。EOF 分析法是经验正交函数分析方法,也称特征向量分析或主成分分析,该方法以场的时间序列为分析对象。

## 3 闪电密度时间变化特征分析

### 3.1 年际变化特征

图 1 给出了 15 a(1999—2015 年)广东省闪电密度的距平情况和变化趋势,由图可知,全省的闪电密度值总体呈上升趋势。通过计算得出,闪电密度的年际气候趋势倾向率  $a$  为 0.53 大于 0,说明闪电密度随着年份增加而出现明显的增加,其中  $a$  的大小反应了闪电密度增加的速率,气候倾向率  $10a$  则为 5.3,表明每 10 a 闪电密度增加的幅度为 5.3 次/( $\text{km}^2 \cdot 10 \text{ a}$ )左右。从图 2 广东省闪电密度累积距平图可以看出,全省闪电密度在 2006 年前后发生了变化,2006 年以前年闪电密度负距平为主转变为年闪电密度正距平为主,说明 2006 年以前闪电密度值较低,2006 年以后闪电密度值增大。

### 3.2 季节变化特征

由图 3 季节分布柱状图可以看出,全省闪电日

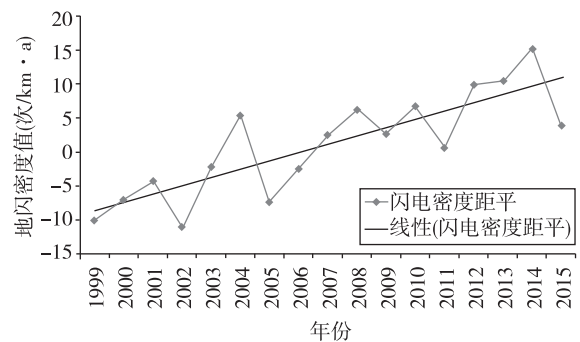


图 1 1999—2015 年广东省闪电密度距平图

Fig. 1 The lightning density departure map of guangdong province from 1999 to 2015

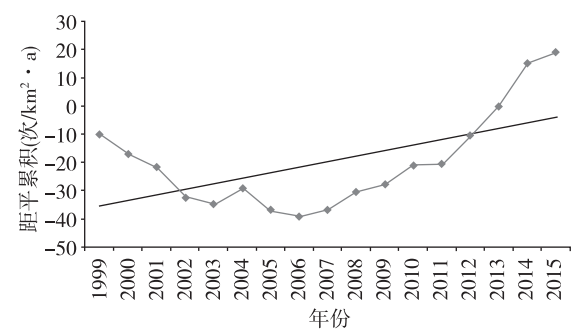


图 2 1999—2015 广东省闪电密度累积距平图

Fig. 2 The cumulative lightning density departure map of guangdong province from 1999 to 2015

数夏季(6—8 月)为全年最多,占全年总闪电日数的 30.59% 以上;春季(3—5 月)次之,闪电日数约占全年 28.63%;秋季(9—11 月)闪电日数约占全年 22.26%;冬季(12 月—次年 2 月)最少,约占全年 18.52%。造成这种季节分布的主要原因是 3—5 月广东已进入前汛期,也是华南暴雨高发期,雷电活动频繁;而 6—8 月份由于受暖湿气流、局部对流抬升影响易形成强对流天气,因此多雷电。

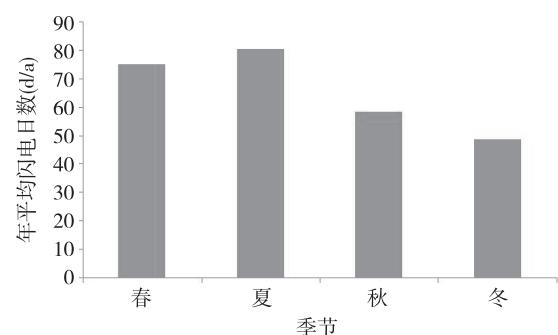


图 3 1999—2015 广东省闪电季节分布图

Fig. 3 Distribution of lightning season in guangdong province from 1999 to 2015

表1可以看出广东省春季平均闪电日数为75.5 d,夏季为79.6 d,秋季和冬季分别为58.3 d和48.5 d。闪电日数除了夏季以1.4 d/10 a 速率减少以外,其他三季总体都表现为增加,其中春季以2.7 d/10 a 的速率显著增加,秋季和冬季分别以0.9 d/10 a 和1.2 d/10 a 的速率增加,其变化规律和变化趋势见图4。

表1 1999—2015年广东省季节闪电气候倾向率和相关系数

Tab.1 Seasonal lightning climatic tendency rate and correlation coefficient in guangdong province from 1999 to 2015

季节	均值/d	趋势值/(d/10 a)	相关系数
春季	75.5	2.7	0.42
夏季	79.6	-1.4	-0.09
秋季	58.3	0.9	0.24
冬季	48.5	1.2	0.48

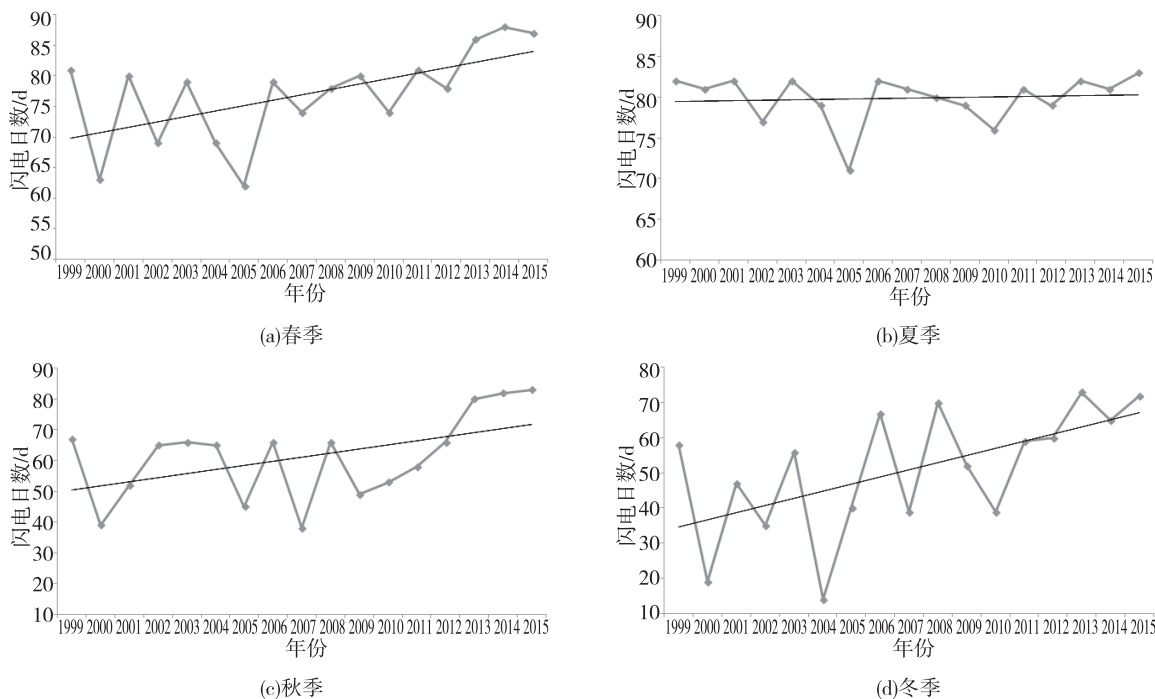


图4 1999—2015年广东省四季闪电日数变化图

Fig. 4 The variation of four seasonal lightning days in guangdong province from 1999 to 2015

### 3.3 月变化特征

广东省几乎每个月都会出现闪电,图5为1—12月平均闪电日数,由图可知闪电日数月变化特征十分明显,全年有91.81%的闪电出现在1—10月。其中闪电日数在8月份为全年最高值,月平均闪电日数高达28 d,占据全年总闪电日数的10.51%。12月往往为全年闪电日数的最低值,比例仅为2.65%。

### 3.4 周期变化特征

闪电日其中一个重要特征为多时间尺度。多时间尺度是指:闪电日变化规律,并不存在真正意义上的变化周期,而是其变化周期随着研究尺度的不同而发生相应的变化,这种变化具有特定的规律:即大时间尺度和小时间尺度时间的周期往往互相嵌套。也就是说,闪电日变化在时间域中存在多层次的时间尺度结构和局部变化特征。

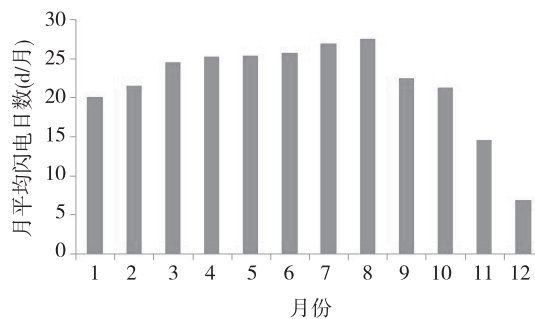


图5 1999—2015年广东省月平均闪电日变化

Fig. 5 The changes of monthly average lightning days in guangdong province from 1999 to 2015

图6为小波系数实部等值线图,小波系数实部的正负代表着雷暴日数的多少。由图可知,雷暴日变化过程中有不同尺度的年周期变化特征。总的来说,在雷暴日变化过程中存在着13~16 a、7~

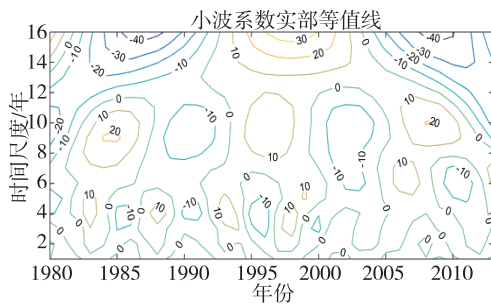


图6 小波系数实部等值线图(1980—2013年雷暴日数据)  
Fig. 6 Contour map of wavelet coefficients real part (1980—2013 thunderstorm data)

11 a 以及 2 ~ 6 a 的 3 类尺度的周期变化规律。13 ~ 16 a 和 7 ~ 11 a 两类尺度的周期变化表现出稳定性和全域性,而 2 ~ 6 a 尺度的周期变化在 2000 年前有一定稳定性。此外,13 ~ 16 a、7 ~ 11 a 尺度中分别出现了高低交替的准 2 次震荡和准 4 次震荡。

#### 4 闪电密度空间分布特征

本文采用 EOF 分析法来进一步分析研究广东省闪电密度的空间分布特征,将随时间变化的变量场分解为不随时间变化的空间函数部分以及只依赖时间变化的时间函数部分。

从表 2 可以看出前 6 个特征向量场累积的方差贡献最大,占了总方差的 95% 以上,这种结果证明

使用 EOF 分析特征向量场是合适的,在分析类似闪电这种天气气候来说是十分收敛的。

表 2 闪电密度 EOF 分析前 6 个特征向量场的方差贡献  
Tab. 2 Percent of total variance explained by first six eigenvectors was analyzed by EOF

序号	特征值	个别方差贡献/%	累积方差贡献/%
1	11.092	73.948	73.948
2	1.219	8.124	82.072
3	0.857	5.713	87.785
4	0.495	3.3	91.085
5	0.4	2.665	93.75
6	0.22	1.469	95.219

图 7 为通过 EOF 分解广东省 21 个地市 15 a 平均地闪密度得出的前 4 个特征向量场分布情况。EOF 分解结果显示:第一特征向量场 EOF1 全数为正值,称为“一致型”,此种特征表现能出全省平均地闪密度空间分布的主要特点,即全省闪电密度值增加或减少的趋势是统一的。高值区域主要分布在珠江三角洲一带,低值区域主要分布在粤北,这种分布情况和广东省海拔北高南低的地形情况有一定关系。第二特征向量场 EOF2 大致呈纬向型分布,负值区域出现在广州市,高值中心出现在中山市,说明当全省闪电密度发生变化时,广州具有变化小,中山具有变化大的特征;第三特征向量场 EOF3

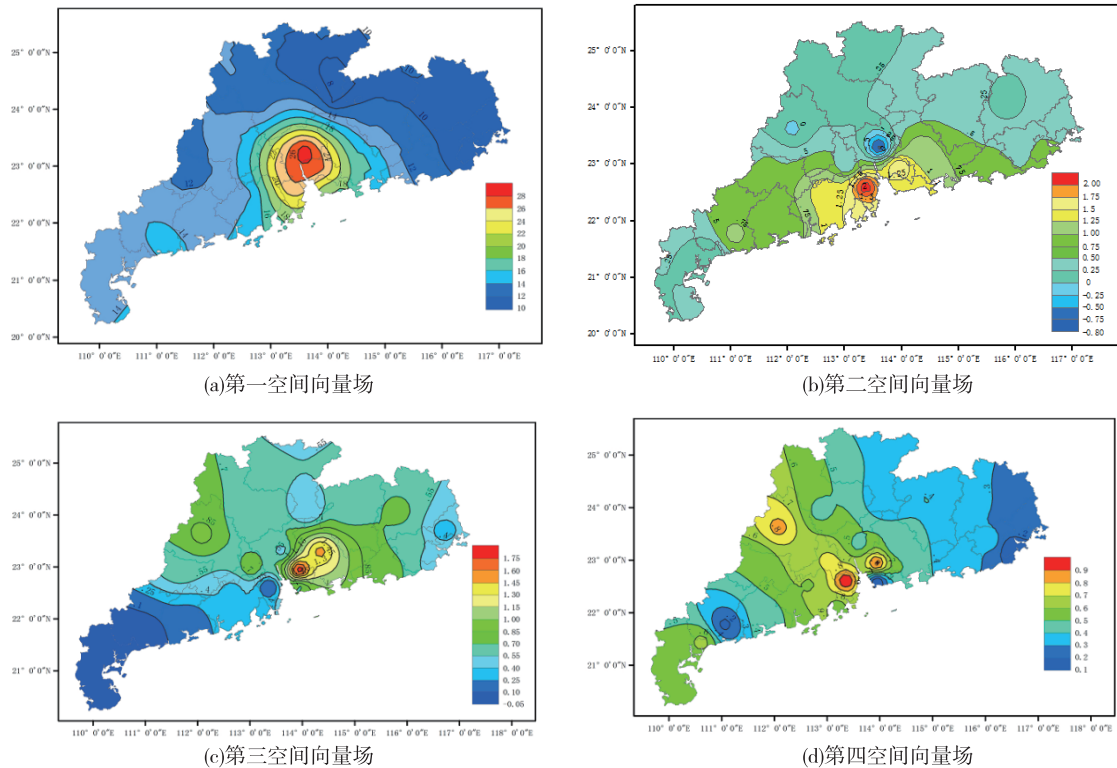


图 7 闪电密度空间向量场

Fig. 7 Lightning density spatial vector fields

负值区域出现在粤西,说明当全省其他区域闪电密度一致增加时,粤西闪电密度相对减少,EOF3反映了局部性对全省闪电密度的影响。第四特征向量EOF4全部为正值且大致呈经向分布,闪电密度由西向东呈现“减少—增加—减少”的规律。

## 5 结论

①1999—2015年来,广东省闪电密度值随着年份增加整体呈上升趋势,每10 a闪电密度增加的幅度为5.3次/(km<sup>2</sup>·10 a)左右。

②全省闪电日数夏季(6—8月)为全年最多,且以1.4 d/10 a速率减少。春季、秋季和冬季总体都表现为增加,其中春季以2.7 d/10 a的速率显著增加,秋季和冬季分别以0.9 d/10 a和1.2 d/10 a的速率增加。

③广东省几乎每个月都会出现闪电,闪电日数具有明显的月变化特征,其中8月份达到闪电日数的峰值,月平均闪电日数高达28 d,占据全年总闪电日数的10.51%。12月为全年闪电日数的最低值,比例仅为2.65%。

④在雷暴日变化过程中存在着13~16 a、7~11 a以及2~6 a的3类尺度的周期变化规律。13~16 a和7~11 a两类尺度的周期变化表现出稳定性和全域性,而2~6 a尺度的周期变化在2000年前有一定稳定性。

⑤广东省闪电密度空间分布特征主要有一致型、局部型、纬向型和经向型4种类型。

## 参考文献

- [1] 张敏锋,刘欣生,张义军,等. 广东地区雷电活动的气候分布特征团[J]. 热带气象学报,2010,16(1):46-53.
- [2] 易燕明,杨兆礼,万齐林,等. 近50 a广东省雷暴、闪电时空变化特征的研究[J]. 热带气象学报,2006,22(6):539-546.
- [3] 庄燕洵,刘三梅,黄惺惺,等. 广东省地闪密度空间分布的特征分析[J]. 广东气象,2014,36(4):57-60.
- [4] 刘三梅,贺灿花,许锐文,等. 广东省1999—2013年雷电活动特征的分析[J]. 广东气象,2014,36(6):32-39.
- [5] 陈绿文,张义军,吕伟涛,等. 闪电定位资料与人工引雷观测结果的对比分析[J]. 高电压技术,2009,35(8):1896-1902.
- [6] 陈思蓉,朱伟军,周兵. 中国雷暴气候分布特征及变化趋势[J]. 大气科学学报,2009,32(5):703-710.
- [7] 巩崇水,曾淑玲,王嘉媛,等. 近30 a中国雷暴天气气候特征分析[J]. 高原气象,2013,32(5):1442-1449.
- [8] 李传龙,高焱,蒙小亮. 万宁市区雷暴特征初步分析与雷电防护[J]. 气象研究与应用,2010,31(1):104-107.
- [9] 李敬校,李加启,肖稳安,等. 重庆市雷暴气候变化特征分析[J]. 热带地理,2011,31(2):171-177.
- [10] 刘垚,缪启龙,刘森,等. 杭州市雷电活动特征及雷电灾害区划[J]. 气象与减灾研究,2011,34(4):62-67.
- [11] 王学良,余田野,朱传林,等. 我国中部五省雷暴日时空分布特征[J]. 热带地理,2013,33(1):13-20.
- [12] 邓德文,汪如良. 基于ADTD数据的江西省雷电活动特征分析[J]. 气象与减灾研究,2016,39(1):63-69.
- [13] 王宝鉴,刘维成,黄玉霞,等. 1961—2011年甘肃雷暴气候分布特征及变化趋势[J]. 中国沙漠,2015,35(5).
- [14] 张春松,杨晓玲,刘蓉,等. 甘肃武威市雷暴天气时空分布特征[J],2015,33(4):659-665.
- [15] 程胡华,焦育忠,段龙飞,等. 山西岢岚地区雷暴气候统计特征及其严重年大气环流背景[J]. 干旱气象,2016,34(4):640-647.