

林翰英,刘康,伍肇雄,等. 肇庆市雷暴日数气候特征统计分析[J]. 气象研究与应用,2025,46(2):127-132.

LIN H Y, LIU K, WU Z X, et al. Statistical analysis of climatic characteristics of thunderstorm days in Zhaoqing City[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2025, 46(2): 127-132.

## 肇庆市雷暴日数气候特征统计分析

林翰英, 刘 康, 伍肇雄, 朱颖奇, 谭达兴, 梁桂莲, 梁倩敏

(肇庆市气象局, 广东 肇庆 526020)

**摘要:**利用肇庆市 1954—2013 年雷暴日人工观测资料及地面站气象观测逐月数据,分析近 60 a 来肇庆市雷暴的年际、月际变化特征,以及影响雷暴天气的气象因子。结果表明。(1)肇庆市处于多雷区,年际变化呈显著下降趋势,雷暴多发时段在 4—9 月。(2)肇庆市年雷暴日多尺度周期特征不显著。(3)在年变化上,雷暴日数与平均气温呈负相关,与降水量、相对湿度呈正相关;在月变化上,雷暴日与平均风速呈负相关,与降水量、平均气温、相对湿度、最大风速、极大风速呈正相关。

**关键词:**肇庆;雷暴;气候变化;数理统计

**中图分类号:**P446

**文献标识码:**A

**doi:**10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2025.2.18

人工雷暴的观测是人类研究和认识雷电发生过程的有效手段之一。我国的人工雷暴观测记录始于上世纪 50 年代,一直持续到 2013 年才由闪电定位监测系统代替人工雷暴观测。基于人工雷暴观测资料,不少学者对我国的雷电活动开展一系列研究,包括雷暴活动气候及其变化特征<sup>[1-4]</sup>、雷暴大风过程演变特征及其成因<sup>[5]</sup>、环境物理量指标<sup>[6-8]</sup>等方面的分析,以及开展雷电野外观测试验<sup>[9]</sup>。华南是雷暴和雷暴大风的多发区,前人对此开展相应研究,杨波等<sup>[10]</sup>利用经验正交方法研究华南区域春季雷暴多时空尺度分布,发现该地区春季雷暴活动存在 3—5 a 的短周期变化,其高发区中心区域在广西和广东的交界处。杨新林等<sup>[6]</sup>分析华南雷暴大风天气的环境条件,发现华南地区春夏季普通雷暴多发于雷州半岛到粤西地区,雷暴大风高发区位于粤西到珠三角地区,两种雷暴在不同季节伴随的大尺度环境存在较明显差异,同一季节的雷暴大风动力和热力条件总体强于普通雷暴条件。覃卫坚等<sup>[11]</sup>分析广西雷暴日时空变化特征指出广西雷电主要发生在春夏季节,长期变化呈减少趋

势。陈思蓉<sup>[12]</sup>研究认为华南两广地区是全国雷暴活动最频繁的几个地区之一。李衍雄、杨伟民、张春燕等<sup>[13-15]</sup>分别对 50 年代以来不同时间尺度的广东省雷暴时空特征及其与气候变暖的关系进行探索,发现广东省夏季雷暴日最多,春季次之,最多雷暴日数出现在 8 月,极端最多雷暴日数在 5 月;全省的雷暴空间分布极不均匀,总体分布由西北往东南减少,高值区出现在清远、肇庆和雷州廉江一带;雷暴开始日期比较分散,终止日期相对集中;在 21 世纪初叶以前年平均雷暴日数呈减少趋势,而之后雷暴日数呈增加趋势,表明全球气候变暖背景下雷暴活动的波动性。近年针对雷州半岛、阳江市、三亚市等地区的雷暴活动特征及其可能影响因子进行专题研究<sup>[16-18]</sup>指出,利用 2013 年前的人工观测数据和之后的闪电定位数据统计得到的雷暴日数无显著性差异,雷暴大风主要发生在 4—9 月,全年呈单峰、双峰型分布都有;地闪活动在 13—19 时最频繁,雷暴和地闪活动时空分布具有较好的一致性;降水和气温两个要素与雷电活动具有高度的正相关性。

收稿日期:2025-01-18

第一作者:林翰英(1973-),工程师,主要从事雷电灾害防御及技术应用研究。E-mail:1021871402@qq.com

肇庆市位于广东省中西部,受热带中低纬天气系统的影响,雷暴活动非常频繁,是雷击极高易发区,对此麦冠华、丁志平、赵鑫等<sup>[19-21]</sup>对肇庆市的雷暴进行研究,但这些研究存在观测资料年代远、局地分析、闪电定位数据样本不足等问题。前人研究认为雷暴人工观测数据和闪电定位数据分析雷暴特征结果较为一致<sup>[16]</sup>,因此,本文拟利用肇庆市更长序列(1954—2013年)的气象观测资料,统计分析60 a来肇庆市雷暴气候特征,及其可能影响因子,揭示该地区雷暴变化规律,以期为肇庆市雷电防灾减灾事业高质量发展提供决策依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

雷暴日数据来源于肇庆市高要国家气象站1954—2013年雷暴日人工观测数据。因2013年后国家气象站取消雷暴日人工观测改为闪电定位系统监测,故取雷暴日的研究时段为1954—2013年。

气温、降水、湿度、风速等气象要素来源于肇庆市高要国家气象站1954—2013年地面月值数据。

### 1.2 研究方法

选用线性倾向估计方法分析肇庆市雷暴日数的年际变化趋势。用 $y_i$ 表示雷暴日数值,用 $t_i$ 表示 $y_i$ 所分析对应要素的时间序列,从而建立一元二次方程:

$$y_i = a + bt_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

其中, $a$ 为截距, $b$ 为回归系数,表明雷暴日数的趋势倾向。若 $b > 0$ ,则表明雷暴日数随时间增加呈上升趋势;若 $b < 0$ ,则表明雷暴日数随时间增加呈下降趋势。

选用小波分析方法对肇庆市雷暴日数的时间序列进行小波分解,从而提取雷暴日近60 a的震荡周期。小波分析一方面可得出气候序列变化的尺度,另一方面还可体现出变化的时间位置,能够反映肇庆市雷暴日数在不同时间尺度中的变化特征。

选用Pearson相关系数方法对雷暴日数与任意一个气象要素进行线性相关性分析。该方法是计算两个随机变量的相关系数 $r$ ,其取值区间为 $-1.0 \sim +1.0$ 。若 $r > 0$ ,则表明两变量为正相关;若 $r < 0$ ,则表明两变量为负相关。 $|r|$ 越接近1,表明相关性越显著; $r = 0$ ,则表明两变量相互独立。

## 2 结果与分析

### 2.1 肇庆市雷暴气候特征

#### 2.1.1 雷暴日的年际变化特征

统计1954—2013年雷暴日人工观测资料显示,肇庆市年平均雷暴日数为82.8 d,比1960—2012年广东省年平均雷暴日数<sup>[15]</sup>偏多8.4 d,该地区属于雷暴多发区。利用线性倾向估计方法计算雷暴日数的线性变化,并绘制线性趋势线。由图1可知, $b = -0.6711$ ,表明肇庆市雷暴日数在1951—2013年间呈逐年下降趋势,下降速率为 $-6.711 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,相关系数 $|R| > r_{0.001}$ ,表明下降趋势通过 $\alpha = 0.001$ 的显著性水平检验。与杨伟民等<sup>[14]</sup>研究得到的广东省年平均雷暴日数下降速率 $-4.52 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 相比,肇庆市年平均雷暴日数气候倾向率下降更为明显。此外,肇庆市雷暴日数最多、最少的年份分别是1959年118 d、1990年53 d,两者相差65 d,此结果与麦冠华等<sup>[19]</sup>研究1954—2003年肇庆市雷暴特征结果一

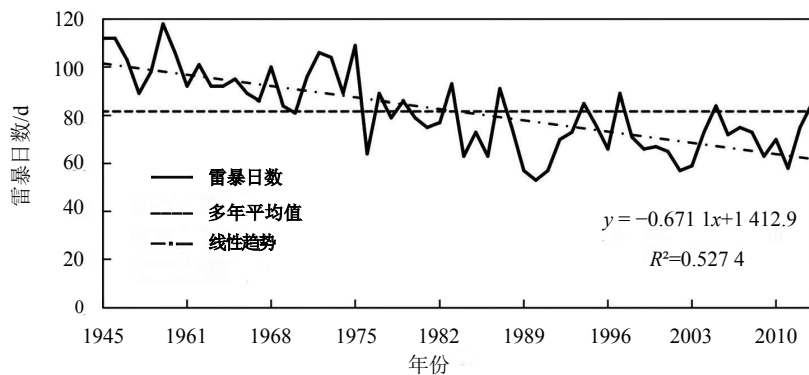


图1 肇庆市1954—2013年雷暴日数年际变化趋势

致,进一步说明该地区的雷暴活动在减少;广东省年平均雷暴日数的最多与最少年份差异达1.9倍,而肇庆市的最多与最少年份差异达2.2倍,说明肇庆市相比全省其雷暴日数年际波动更大。

### 2.1.2 雷暴日的多尺度周期特征

为进一步了解肇庆市年雷暴日的多尺度周期特征,分别绘制1954—2013年雷暴日时间序列的小波功率全谱图(图2a)和小波功率时频谱图<sup>[22-24]</sup>(图2b)。在小波全谱图上,可以看到10~12 a、20~24 a周期振荡能量波动最强,其次在5 a、和7 a左右表现2个较明显的波动,但是在以上振荡周期里,均未通过显著性检验,同时在小波功率时频谱图上,仅仅在1970—1980年之间表现出较明显的2 a左右的周期振荡特征。以上结果表明,肇庆市多年雷暴日的多尺度周期振荡特征并不明显,与杨波等<sup>[10]</sup>分析指出的华南江南地区雷暴活动存在着3~5 a短周期和16 a左右长周期变化的结论不同,说明华南地区雷暴活动气候特征存在空间差异。

## 2.2 雷暴日的月变化特征

将1954—2013年肇庆市12个月的雷暴日数分

别除以年份得到逐月的年均雷暴日数(图3)。由图3可知,除12月外,一年之中肇庆市均有雷暴发生,其中,4—9月为雷暴多发期,逐月雷暴日数均超过7 d,累计达到76.2 d,占全年雷暴日数的91.9%;5—8月为雷暴高发期,逐月雷暴日数均超过12 d,累计达到59.6 d,占全年雷暴日数的71.9%。雷暴日数最多是7月,为16.0 d;1—2月和10—12月雷暴发生较少,逐月雷暴日数均低于2.0 d,累计为3.1 d,占全年雷暴日数的3.7%。由此可见,春末至秋初期间为肇庆市雷电防御工作的关键时段。

## 3 雷暴日与气象要素的关系分析

越来越多的学者关注到雷电活动对气候变化的响应问题,有些研究不仅分析不同地区雷电活动的时空分布特征及长时间序列的气候变化规律,还计算其与降水、气温、风速、气压、云量等气象常规观测要素的相关性<sup>[18,25-27]</sup>。本文主要分析肇庆市1954—2013年平均雷暴日数与降水量、平均气温、平均相对湿度、平均风速、最大风速、极大风速等六个气象要素的关系。由图4可知,雷暴日数与平均气温的月

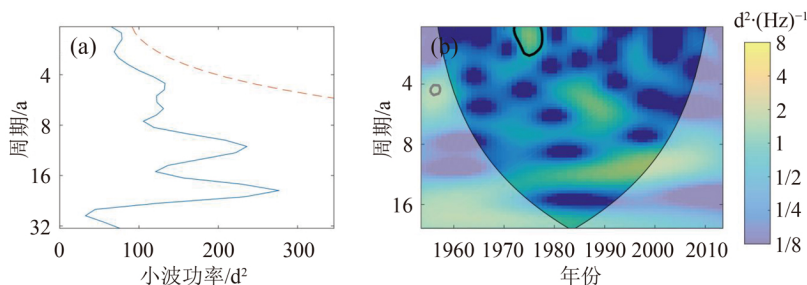


图2 肇庆市1954—2013年雷暴日数小波分析结果

(a)小波全谱图(蓝色实线为尺度平均小波功率谱曲线,红色短虚线为红噪声标准谱0.05信度检验线);(b)小波时频谱图(粗黑实线包围区域为红噪声标准谱0.05信度检验显著区域,细黑色实线为影响锥曲线,较重阴影区为可信区域,较轻阴影区为不可信区域,阴影填色为小波功率密度,单位:  $d^2 \cdot (Hz)^{-1}$ )

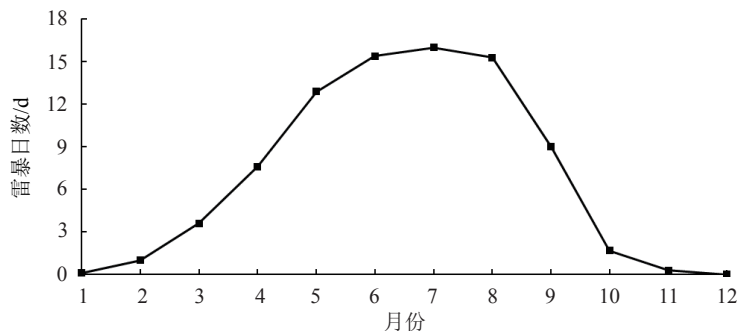


图3 肇庆市1954—2013年年平均雷暴日数月变化趋势

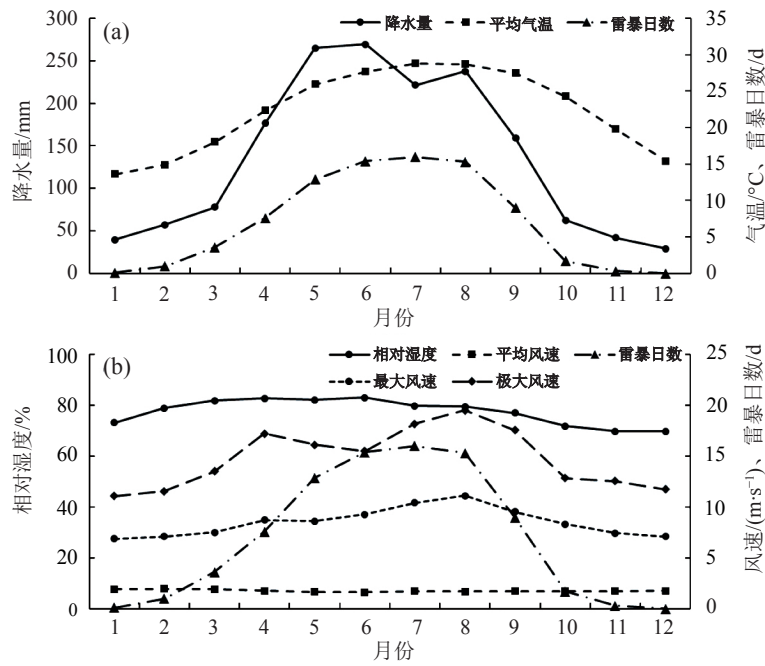


图4 肇庆市1954—2013年平均雷暴日数与气象要素逐月变化趋势  
(a)雷暴日与气温、降水的变化关系;(b)雷暴日与相对湿度、风速的变化关系

际变化规律基本一致,均为单峰型特征,峰值均在7月;降水量、相对湿度、最大风速和极大风速的月际变化呈双峰变化特征,但相对湿度与其他两个要素峰值出现时间有差异,前者出现在6月,后者出现在8月;平均风速则呈波动变化趋势,峰值出现在4月。

由表1的相关性系数分析可知,在月分布中,雷暴日数与6个气象要素的相关性均通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,其中,与降水量、平均气温、最大风速、极大风速的相关性更高,均通过 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验。表明雷暴日数与平均风速呈明显的负相关,即在一年之中,平均风速越小,雷暴日数越多;雷暴日数与其他5个气象要素呈明显的正相关,即在一年之中,这5类气象要素特征值越高,雷暴日数越多。在年分布中,雷暴日数与降水量、平均气温、相对湿度的相关性分别通过 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$ 、 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,表明雷暴日数与这3类气象要素

呈明显的正相关,即降水量越多、平均气温越高、相对湿度越大,则雷暴日数越多;雷暴日数与平均风速呈弱的负相关,没有通过显著性水平检验;由于最大风速和极大风速有缺测数据,因此未做年际变化的显著性检验。

## 4 结论

本文采用1954—2013年高要国家气象站的雷暴日数及降水量、气温、湿度、风速等气象要素资料,统计分析肇庆市雷暴活动的气候特征及气象影响因素,得到如下主要结论:

(1)肇庆市地处多雷区,1954—2013年年平均雷暴日数为82.8d;年际变化呈显著下降趋势;月际变化呈单峰分布特征,4—9月为雷暴多发期,5—8月为雷暴高发期,雷暴日数最多是7月,1—2月和10—12月雷暴发生较少。肇庆市年雷暴日多尺度周期特

表1 肇庆市雷暴日数与气象要素的相关性系数

| 时段 | 降水量      | 平均气温      | 相对湿度     | 平均风速     | 最大风速     | 极大风速     |
|----|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 月  | 0.9629** | 0.8440**  | 0.6458*  | -0.6250* | 0.8630** | 0.8514** |
| 年  | 0.2745*  | -0.4441** | 0.5862** | -0.2457  | /        | /        |

注:\*表示超过 $\alpha=0.05$ 显著性水平,\*\*表示超过 $\alpha=0.01$ 显著性水平。

征不显著。

(2)在年变化上,雷暴日数与降水量、相对湿度呈显著正相关,与平均气温呈显著负相关,全球气候变暖可能是导致雷暴日数减少的关键影响因子;在月变化上,雷暴日数与降水量、平均气温、相对湿度、最大风速、极大风速呈显著正相关,与平均风速呈显著负相关。表明雷暴对各类气象要素的变化具有较好的指示作用。

由于雷暴天气的发生发展机制较为复杂,文中仅探讨与部分气象要素的关系,没有涉及地形、大尺度环流背景等其他因素的影响机理,需要在后续工作中继续深入研究。此外,虽然肇庆市的雷暴活动呈逐年下降趋势,但雷击致灾的影响程度也在不断上升,仍需加强对雷暴天气的监测手段及提高短时临近预报预警的能力,积极做好雷电防灾减灾工作。

#### 参考文献:

- [1] 张敏锋,冯霞.我国雷暴天气的气候特征[J].热带气象学报,1998(2):61-67.
- [2] 郑淋淋,孙建华,卫捷.我国雷暴的日变化特征[J].暴雨灾害,2011,30(2):137-144.
- [3] 巩崇水,曾淑玲,王嘉媛,等.近30年中国雷暴天气气候特征分析[J].高原气象,2013,32(5):1442-1449.
- [4] 王学良,余田野,汪姿荷,等.1961—2013年中国雷暴气候特征及东亚夏季风影响研究[J].暴雨灾害,2016,35(5):471-481.
- [5] 植江玲,麦雪湖,黄先香.广东一次飑线大风的成因和预警分析[J].广东气象,2017,39(3):11-16.
- [6] 杨新林,孙建华,鲁蓉,等.华南雷暴大风天气的环境条件分布特征[J].气象,2017,43(7):769-780.
- [7] 罗栩羽,邓丽莹,尹淑娴.东莞市2007—2016年雷雨大风演变特征分析[J].广东气象,2018,40(2):23-26,30.
- [8] 罗欣,张华龙,陈元昭,等.广东雷暴大风天气环境参量的特征分析[J].广东气象,2023,45(3):13-17.
- [9] 张义军,吕伟涛,陈绍东,等.广东野外雷电综合观测试验十年进展[J].气象学报,2016,24(5):655-671.
- [10] 杨波,王园香,蔡雪薇.我国华南江南春季雷暴气候特征分析[J].热带气象学报,2019,35(4):470-479.
- [11] 覃卫坚,寿绍文,王咏青等.广西雷暴分布特征及灾害成因分析[J].自然灾害学报,2009,18(2):131-138.
- [12] 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.
- [13] 李衍雄.广东的雷暴及其分布[J].广东气象,1996(2):20-22.
- [14] 杨伟民,宋艳华,段吟红,等.1961—2008年广东省雷暴时空变化与气候变暖的关系[J].广东气象,2013,35(4):25-28.
- [15] 张春燕,刘霞,黄延刚.广东地区雷暴特征统计[C]//雷电委员会,中国气象科学研究院.第31届中国气象学会年会S9第十二届防雷减灾论坛——雷电物理防雷新技术.2014:310-315.
- [16] 文彬,杨春风,符靖茹.雷州半岛雷暴大风时空分布与环境参数特征[J].广东气象,2023,45(5):22-28.
- [17] 吴华斌,王光波,曾宪逢,等.阳江市地闪密度与雷暴日数的关系[J].广东气象,2025,47(1):39-43.
- [18] 卢小冬,尹群.三亚市雷暴气候特征统计分析[J].海峡科学,2024(2):11-14.
- [19] 麦冠华,郭媚媚.肇庆市五十年雷暴分布特点及防雷减灾对策[C]//中国气象学会2005年年会.2005:1353-1359.
- [20] 丁志平,陈国贞.肇庆高新区雷暴的频次特征及危化场所防雷策略[J].广东气象,2017,39(40):45-48.
- [21] 赵鑫,赵永云,黎凤娇,等.肇庆市雷电活动的规律[J].广东气象,2019,41(5):66-68.
- [22] TORRENCE C, COMPO G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1):61-78.
- [23] GRINSTED A, MOORE J C, JEVREJEVA S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series[J]. Nonlinear Processes in Geophysics, 2004, 11(5/6):561-566.
- [24] TORRENCE C, WEBSTER P J. Interdecadal changes in the ENSO-Monsoon system[J]. Journal of climate, 1999(12):2679-2690.
- [25] 刘正源.呼和浩特市雷暴日数变化特征与气象要素关系的分析[J].内蒙古气象,2019(3):20-23.
- [26] 胡颖,尹丽云,吴安坤,等.近35年云南省雷暴日数对气象常规参数响应的分析[C]//云南省气象学会.2016年云南省气象学术年会论文摘要集.云南省雷电中心,云南省人工影响天气中心,贵州省防雷减灾中心.2016:22-23.
- [27] 尼玛央珍,央金,洛桑曲珍.近30年西藏地区雷暴日数的气候分布特征[J].高原山地气象研究,2014,34(3):36-40.

## Statistical analysis of climatic characteristics of thunderstorm days in Zhaoqing City

LIN Hanying, LIU Kang, WU Zhaoxiong, ZHU Yingqi, TAN Daxing, LIANG Guilian, LIANG Qianmin  
(Zhaoqing Meteorological Bureau, Guangdong Zhaoqing 526020, China)

**Abstract:** Based on the observation data of thunderstorm days and monthly data from ground meteorological stations in Zhaoqing City from 1954 to 2013, this paper analyzes the characteristics of inter-annual and inter-monthly variations of thunderstorms in Zhaoqing City in the past 60 a, as well as the meteorological factors affecting thunderstorms in Zhaoqing City. The results show that: (1) Zhaoqing City is in a thunderstorm-prone area, with a significant downward trend in the interannual variation, and the most frequent thunderstorms occur in April—September. (2) There are no significant characteristics of the multi-scale cycle of the annual thunderstorm days in Zhaoqing City. (3) Regarding the annual variation, the number of thunderstorm days is negatively correlated with the average temperature and positively correlated with precipitation and relative humidity. As for the monthly variation, the number of thunderstorm days is negatively correlated with the average wind speed, and positively correlated with precipitation, average temperature, relative humidity, maximum wind speed, and very high wind speed.

**Key words:** Zhaoqing City; thunderstorms; climate change; mathematical statistics