

近 33 a 珠海市雷暴日数的时间变化特征^{*}

张生奇,童志明^{**},王超,许楷铖,郭燕龙

(珠海市气象局,广东珠海 519000)

摘要:基于珠海市近 33 a 雷暴日资料,利用 Morlet 小波分析、累积距平和 M-K 突变检验等方法对珠海市雷暴日的演变趋势、周期变化和突变特征等进行全面分析,结果表明:(1)珠海市雷暴日有明显的季节变化特征,表现为夏半年偏多,冬半年偏少;(2)雷暴日的年际变化表现为下降-上升-平缓的演变特征,而且在各个时间尺度上都有明显的周期变化;(3)四季雷暴日的年际变化不同,春季、秋季和冬季均有不同程度下降趋势,而夏季为上升趋势,并通过 99% 的信度检验;(4)四季雷暴日在不同时间尺度上的周期变化不同,春季周期振荡在 4~6 a 的时间尺度最为剧烈,夏季在 6~8 a 的时间尺度上,秋季从高频到低频都有明显的周期振荡,冬季各个频率上的周期振荡都较为明显,2000 年之后周期振荡有转弱的趋势;(5)M-K 突变检验表明夏季雷暴日在 1994—1995 年有突变现象。研究结果有助于了解珠海地区雷暴的变化特征,对科学防御雷暴灾害、科学规划和设计雷电防护等有重要作用。

关键词:雷暴日 小波分析 累积距平 M-K 突变检验 珠海

中图分类号:P446 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2019)02-0132-08

0 引言

珠海市位于广东省的南部,珠江入海口的西南岸,地理位置属于珠江三角洲地区。珠海市属于亚热带海洋性季风气候区,同时也是雷暴、短时强降水、冰雹等强对流天气频发的地区,其天气影响系统有西太平洋副热带高压、热带辐合带、季风槽等^[1-2]。雷暴作为一种发生在积雨云中、云间或者云地之间的放电现象,常常伴有降水,有时还会出现大风、冰雹、龙卷等强对流天气^[3-4]。雷暴天气由于具有水平尺度小、生消演变快、破坏力强等特点,预报难度非常大^[5-7],是雷暴灾害频发的沿海地区重点研究的课题之一^[8-9]。

近年来,随着珠海市经济的快速发展和人民生活水平的提高,雷电活动的频发对当地的经济和社会影响越来越严重,财产损失也逐渐增多,人民群众的生产安全和生活环境都受到严重影响^[10-12]。

目前针对雷暴的研究主要从大尺度、长期变化的角度进行分析,如林建等^[13]分析我国雷暴日资料结果指出,我国雷暴日呈现下降的趋势,其中下降最为显著的区域为高原地区和我国南方地区。巩崇水等^[14]分析我国雷暴日的时空分布特征及其异常变化,结论与林建等^[13]的研究基本一致;李桑等^[15]分析我国南方地区 1980—2010 年雷暴频次的变化特征,发现南方雷暴频次在 20 世纪 80 年代至 21 世纪

^{*} 广东省气象局科研项目(2014C05)资助。

【作者简介】

张生奇(1979—),男,工程师,主要从事气象服务、防雷减灾及突发预警业务研究和管理工。

【**通信作者】

童志明(1986—),男,工程师,主要从事气象服务、防雷减灾救灾工作,E-mail: tongzhiming@foxmail.com。

【引用本文】

DOI:10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20190515.009

张生奇,童志明,王超,等.近 33 a 珠海市雷暴日数的时间变化特征[J].广西科学院学报,2019,35(2):132-139.

ZHANG S Q, TONG Z M, WANG C, et al. Characteristics of time change of thunderstorm days in Zhuhai City in the near 33 years [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2019, 35(2): 132-139.

初呈现先下降, 随后表现为弱的上升趋势。Zheng等^[16]分析我国雷暴的时空变化特征指出, 雷暴主要发生在青藏高原和我国南方地区。然而对区域性较强、尺度较小的雷暴变化特征研究还不多见。因此本研究主要根据珠海市气象局提供的 1981—2013 年雷暴日资料, 利用 Morlet 小波分析、累积距平和 Mann-Kendall 突变检验(M-K 突变检验)等方法对其进行分析, 特别是对各个季节的雷暴变化特征进行重点研究, 以期充分了解珠海市雷暴天气的活动特征, 对雷暴天气的预报、预警和防灾减灾等均具有重要意义。

1 资料及分析方法

本文选用 1981—2013 年共 33 a 逐月雷暴日观测资料进行分析, 资料来自珠海市气象局。雷暴日定义为一天内听到雷声, 时间为前一日 20 时至当日 20 时, 记为一个雷暴日。本文所用的分析方法主要有 Morlet 小波分析、累积距平分析和 M-K 突变检验方法。Morlet 小波分析是目前主流的多尺度周期性分析方法, 其实部的变化系数大小代表某一尺度波动振幅的大小, 反映他所对应时段时间尺度的周期性是否显著, 小波系数正负分别表示该时段要素为偏多期和偏少期, 小波系数零值线对应要素气候突变(转折)期。相比于传统的 Fourier 分析, 他具有多分辨率分析的特点, 近年来被广泛地应用于多尺度气候分析的研究中^[17-18], 并取得良好的效果。累积距平是一种由曲线直观判断气候变化趋势的方法, 可以反映要素的年代际变化的升降起伏^[19]。M-K 突变检验方法^[20-23]也称无分布检验方法, 可以从观测资料的时间序列中精确地确定达到信度要求的突变开始时间, 其优点是不需要样本遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 适用于类型变量和顺序变量。此外本文分析中还用到回归分析、11 年二项式平滑、相关分析等统计方法^[24]。

2 结果与分析

2.1 雷暴日年际变化特征

珠海市年雷暴日各个年代的平均值分别为 60.2 d (20 世纪 80 年代)、58.4 d (20 世纪 90 年代) 和 60.9 d (2000 年之后), 呈现出略有下降、随后上升的变化趋势, 但变化幅度不大。从图 1 珠海市雷暴日的年际变化中可以看出, 近 33 a 雷暴日有明显的年际变化, 其回归系数为 $-0.12 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ (表 1), 趋势系数值为 -0.01 , 下降不显著。从变化曲线上可以看

出, 珠海市年雷暴日可分为 3 个阶段: 第一阶段为 20 世纪 80 年代初期至 90 年代初期的明显下降时期, 1983 年珠海市雷暴日为 86 d, 为近 33 a 最大值, 而 1991 年下降至 35 d, 下降 59.3%; 第二阶段为 20 世纪 90 年代初期至末期的稳定缓慢上升时期, 从 90 年代初的 35 d 上升至 70 d 左右; 第三阶段为 2000 年后的平稳变化时期, 珠海市雷暴日基本在 60 d 附近摆动。

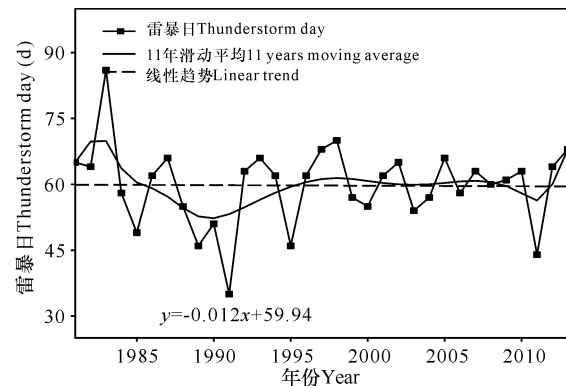


图 1 1981—2013 年珠海市雷暴日的年际变化

Fig. 1 Annual variations of thunderstorm days in Zhuhai City during 1981 to 2013

2.2 雷暴日月际和季节变化特征

1981—2013 年, 珠海市出现的雷暴日共 1 971 d, 平均每年出现雷暴日有 59.7 d (算术平均值), 属于多雷地区(表 2)。如图 2 所示, 珠海市的雷暴日季节变化较为明显, 大值主要出现在夏半年, 冬半年偏低。就月际变化(图 2)而言, 珠海市雷暴日呈单峰型的变化趋势, 1—4 月雷暴日较少, 基本在 6 d 以下; 4 月份以后进入汛期, 降水增多, 雷暴日增加, 直到 8 月达到最大, 月均雷暴日为 13.03 d。夏半年是珠海市主要的降水季节, 雷暴日偏多, 6 月、7 月和 8 月月雷暴日均在 10 d 以上, 8 月后雷暴日迅速下降。事实上, 4 月进入春季, 入侵珠海的冷空气势力开始减弱, 海洋暖湿气流日趋活跃, 随着太阳辐射加强, 夏季风逐渐占优势, 雷暴等强对流天气相继出现, 并在 8 月份达到最大。初秋(9—10 月), 盛行风向从偏南风转为偏北风, 雷暴发生概率开始减少, 但受南海和西太平洋热带气旋、热带气团及东风波等天气系统的影响, 珠海地区仍会有较多的雷暴发生。深秋(11 月), 受极地大陆性气团影响, 冷空气入侵增多、增强, 珠海雷暴日进入极少期。冬季, 珠海地区常被单一的大陆冷性气团控制, 低层盛行东北季风, 大气层结稳定, 雷暴发生概率最小。

表 1 珠海市年和四季雷暴日的变化趋势

Table 1 Trends of annual and seasonal thunderstorm days in Zhuhai City

时间 Time	平均值 Average value	均方差 Mean square error	回归系数 Regression coefficients ($d \cdot (10 a)^{-1}$)	趋势系数 Trend coefficients	信度 Reliability
全年 All year	59.7	9.1	-0.12	-0.01	不显著 Not significant
春季 Spring	15.8	6.6	-1.13	-0.17	不显著 Not significant
夏季 Summer	33.5	5.3	2.37	0.44	99%
秋季 Autumn	9.2	3.3	-0.67	-0.21	不显著 Not significant
冬季 Winter	1.2	1.9	-0.66	-0.33	95%

表 2 珠海市 1981—2013 年月雷暴日数统计 (d)

Table 2 Statistics on the number of monthly thunderstorm days in Zhuhai City from 1981 to 2013 (d)

月份 Month	月雷暴日数 Monthly thunderstorm days	平均每月雷暴日数 Average monthly thunderstorm days
1	3	0.09
2	33	1.00
3	78	2.36
4	175	5.30
5	270	8.18
6	344	10.42
7	331	10.03
8	430	13.03
9	255	7.73
10	43	1.30
11	7	0.21
12	2	0.06

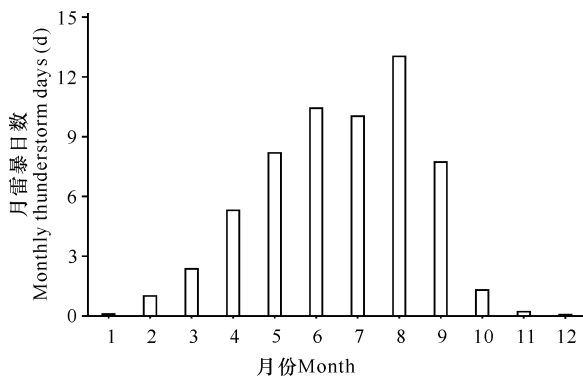


图 2 珠海市雷暴日的月际变化

Fig. 2 Inter-monthly changes of thunderstorm days in Zhuhai City

由图 3 可见,各季雷暴日的年际变化有明显的不同。从春季雷暴日近 33 a 的变化趋势可看出,2010 年以前雷暴日表现为波动式下降,而在近 3 a 有明显的上升趋势,但整体上呈缓慢下降趋势,其回归系数为 $-1.13 d \cdot (10 a)^{-1}$,没有通过信度检验。夏季是四季雷暴日年际变化中唯一表现为上升趋势的季节,回归系数为 $2.37 d \cdot (10 a)^{-1}$,通过 99% 的信度检验,上升非常显著。我国南方雷暴的变化主要与大尺度环流、水汽条件、低空急流和不稳定条件有关^[10],李丽平等^[25]的研究表明华南地区近些年来降水增多,水汽条件较好,这可能对珠海地区夏季雷暴增多有促进作用。夏季雷暴日对珠海市年雷暴日的贡献最大,其变化大致可以分为 2 个阶段,第一阶段从 20 世纪 80 年代初到 90 年代初期,雷暴日剧烈变化时期,从 1986 年的 44 d 到 1989 年的 23 d,变化幅度非常大;第二阶段是 20 世纪 90 年代至 2013 年的波动上升时期,雷暴日在 35 d 附近波动上升。秋季雷暴日表现为波动式下降趋势,但是从趋势系数上看下降并不显著。冬季是四季中雷暴日最少的季节,近 33 a 来也表现为下降趋势,回归系数为 $-0.66 d \cdot (10 a)^{-1}$,达到 95% 的信度检验。

2.3 雷暴日周期变化与累积距平

图 4 给出珠海市年雷暴日距平序列的 Morlet 小波变换系数实部在时间-频率域中的变化。如图 4 所示,年雷暴日在 14~16 a 较长时间尺度上经历多一少一多一少一多的交替,其周期振荡较为明显。在 4~6 a 的时间尺度上,20 世纪 80 年代初至 90 年代末周期振荡非常明显,且最大正负值中心出现在此区域,说明年雷暴日在 4~6 a 的时间尺度的波动强度

大, 2000 年之后周期振荡转弱。2~3 a 的短时间尺度上, 90 年代中期之前也有较为明显的周期振荡, 但强度较小, 随后周期振荡也转弱。这变化特征与利赛明等^[1]的研究基本一致。

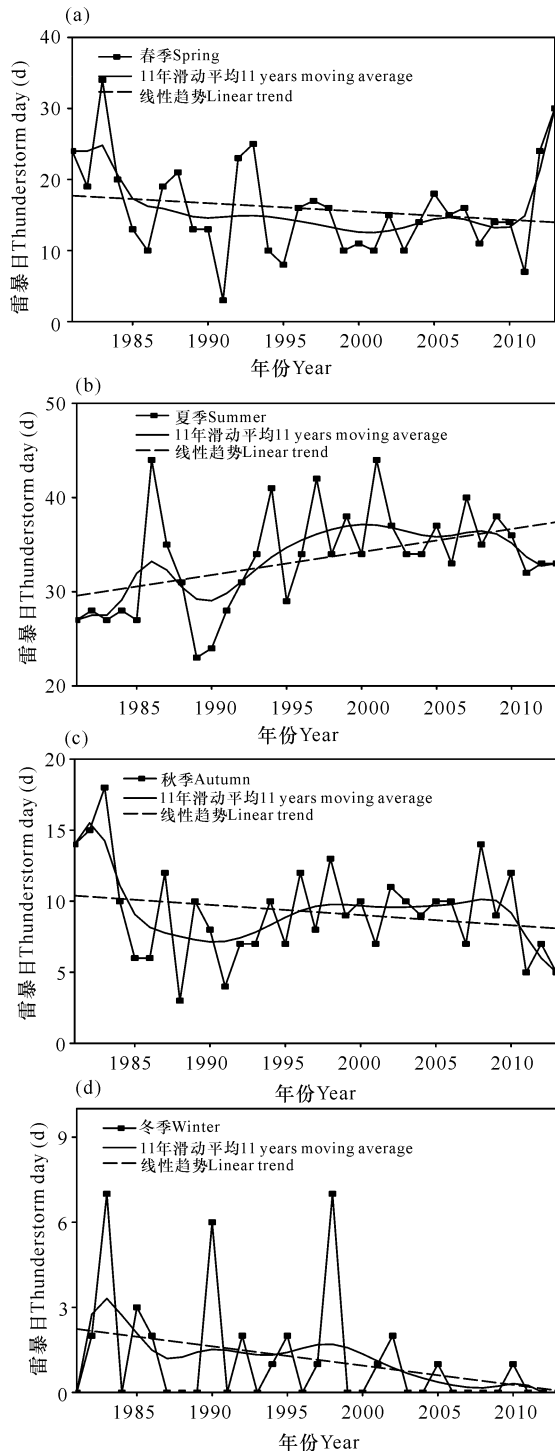


图 3 1981—2013 年珠海市各季雷暴日的年际变化

Fig. 3 Inter-annual variations of the seasonal thunderstorm days in Zhuhai City from 1981 to 2013

从图 5 中可以清楚看出, 珠海市年雷暴日累积距

平在近 33 a 来表现为上升—下降—平稳的变化特点。从 20 世纪 80 年代初期至末期为上升时期, 80 年代末期至 90 年代初期为下降时期, 而且下降幅度较大, 随后为平稳变化时期。累积距平的变化特征与珠海市雷暴日的年际变化基本一致。

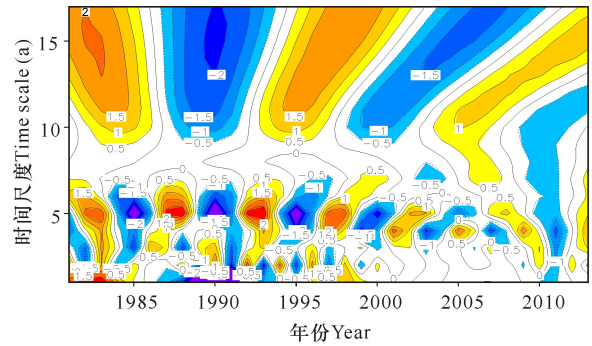


图 4 珠海市年雷暴日 Morlet 小波变换系数实部

Fig. 4 Morlet wavelet variation coefficient of annual thunderstorm days in Zhuhai City

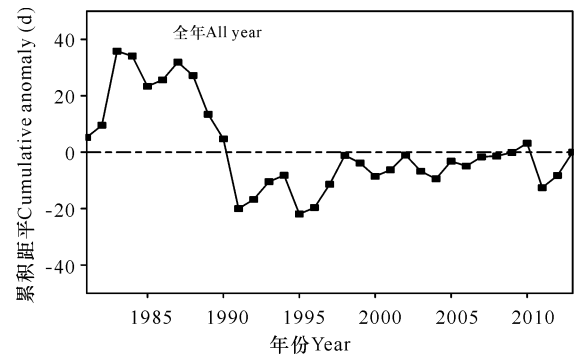


图 5 珠海市年雷暴日变化累积距平

Fig. 5 Cumulative annual thunderstorm days in Zhuhai City

2.4 四季雷暴日的周期变化

由图 6a 可知, 春季雷暴日在 14~16 a 较长时间尺度上的周期变化明显, 11~12 a 时间尺度上也有明显的周期变化, 但是周期振荡最为剧烈的时间尺度为 4~6 a, 特别是在 20 世纪 80 年代初至 2000 年初, 周期变化更为明显。夏季雷暴日(图 6b)在 10~12 a 长时间尺度上出现较明显的周期振荡; 6~8 a 时间尺度上的周期振荡最为明显, 这也说明夏季雷暴日在这一时间尺度上周期振荡大, 雷暴日变化剧烈。由图 6c 可见, 秋季雷暴日从高频到低频都有明显的周期振荡, 特别是在 1~3 a 短时间尺度上, 则有更多雷暴日偏多和偏少期的循环交替, 但是强度都较为一般, 没有特别强烈的周期振荡。冬季(图 6d)雷暴日与秋季较为类似, 各个频率上的周期振荡都较为明显, 但是在 2000 年之后各个时间尺度上的雷暴日周期振荡均有转弱的趋势。

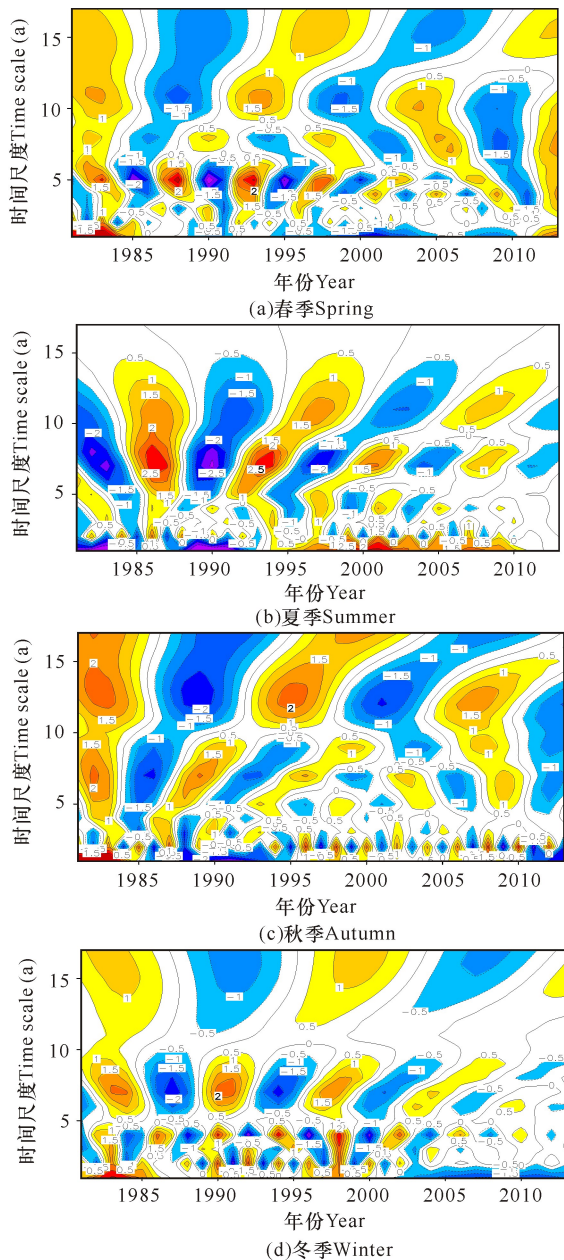


图6 1981—2013年珠海市各季雷暴日 Morlet 小波变换系数实部的年际变化

Fig. 6 Inter-annual variations of morlet wavelet variation coefficient of the seasonal thunderstorm days in Zhuhai City from 1981 to 2013

2.5 四季雷暴日的累积距平分析

从图7可以清楚看出,春季雷暴日累积距平在20世纪80年代初至90年代中期呈平稳变化趋势,90年代中期后呈快速下降趋势。夏季雷暴日的累积距平与春季明显不同,80年代初至90年代中期呈快速下降趋势,随后又急速上升。相比而言,秋季和冬季雷暴日累积距平变化较为平缓,变化幅度为 $-20 \sim 20$ d。秋季累积距平在20世纪80年代中期之前表

现为快速上升,80年代中期至90年代中期表现为略有下降,随后缓慢上升的趋势。冬季雷暴日累积距平在20世纪90年代中期以前是缓慢上升趋势,90年代末期之后表现为缓慢下降趋势。

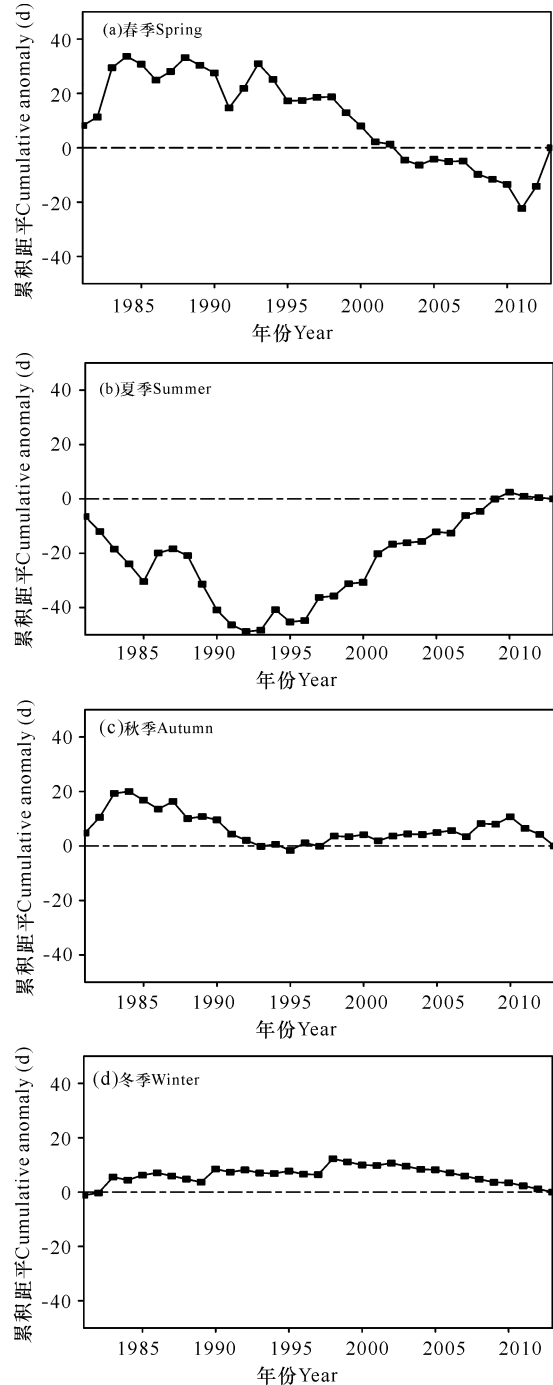


图7 珠海市四季雷暴日变化累积距平

Fig. 7 Cumulative anomalies of seasonal thunderstorm days in Zhuhai City

2.6 四季雷暴日的突变检验

突变时间是表示雷暴日长期变化趋势序列发生变化的一个突变时段,本文采用 Mann-Kendall 法对

珠海市四季雷暴日变化趋势进行突变检验, 取显著性水平 $\alpha = 0.05$, 相应的检验临界值 $U_{\alpha} = \pm 1.96$ 。由图 8 可以看出, 春季和冬季 UF 曲线在近 33 a 整体呈现下降趋势, 其中冬季下降趋势更为迅速。而夏季 UF 曲线则在 1981—2013 年期间呈快速上升趋势, 并在 2009 年超过 0.05 的置信水平, 说明夏季雷暴日

有明显上升趋势, 这与前面分析一致。秋季 UF 曲线在 20 世纪 90 年代初之前呈快速下降趋势, 90 年代之后表现为缓慢上升趋势。另外春季、秋季和冬季的 UF 曲线与 UB 曲线近 33 a 来均没有交点, 说明珠海市这三季的雷暴日并没有突变特征, 但是夏季近 33 a 有 3 个交点, 分别为 1994—1995 年、2009—2010 年和 2012—2013 年。其中 2009—2010 年的交点在置信区间之外, 突变点不可信。UF 曲线在 90 年代初之后均表现为快速上升趋势, 因此 2012—2013 年的交突变点也不可信。而 UF 曲线在 90 年代中期之前 UF 曲线变化幅度较大, 之后则表现为稳定的上升趋势, 由此可推断出 1994—1995 年的突变点可信, 表明夏季雷暴日在该点前后有明显不同的变化趋势。

3 结论

本文利用 Morlet 小波分析、累积距平分析和 M-K 突变检验等统计方法, 对珠海市 1981—2013 年共 33 a 雷暴日资料进行系统分析, 得到以下结论:

(1) 近 33 a 珠海市雷暴日有明显的季节变化特点, 夏半年是雷暴主要的发生时段。雷暴日月际变化呈单峰型, 1—4 月雷暴日较少, 4 月份以后进入汛期, 降水增多, 雷暴日增加, 其中 8 月最大, 随后雷暴日迅速下降。

(2) 雷暴日 33 a 来的年际变化表现为下降—上升—平缓的演变特征。同时在各个时间尺度上都有明显的周期变化, 其中在 4~6 a 时间尺度, 20 世纪 80 年代初至 90 年代末周期振荡非常明显, 且最大正负值中心出现在此区域, 说明年雷暴日在这一时间尺度的波动强度非常大。另外累积距平的变化趋势与年际变化基本一致。

(3) 四季雷暴日均有明显的年际变化特点, 春季近 33 a 表现为波动式下降趋势, 夏季雷暴日上升趋势明显, 且其趋势系数通过 99% 的信度检验。秋季雷暴日也表现为波动式下降趋势, 但是从趋势系数上看下降并不显著。冬季是四季中雷暴日最少的季节, 近 33 a 来也表现为下降趋势, 达到 95% 的信度检验。

(4) 四季雷暴日在不同时间尺度上的周期变化不同。春季雷暴日周期振荡在 4~6 a 时间尺度最为剧烈, 而夏季雷暴日周期变化出现在 6~8 a 时间尺度上, 秋季雷暴日从高频到低频都有明显的周期振荡, 冬季雷暴日在各个频率上的周期振荡都较为明显, 2000 年之后周期振荡有转弱的趋势。

(5) M-K 突变检验表明, 春季、秋季和冬季的雷

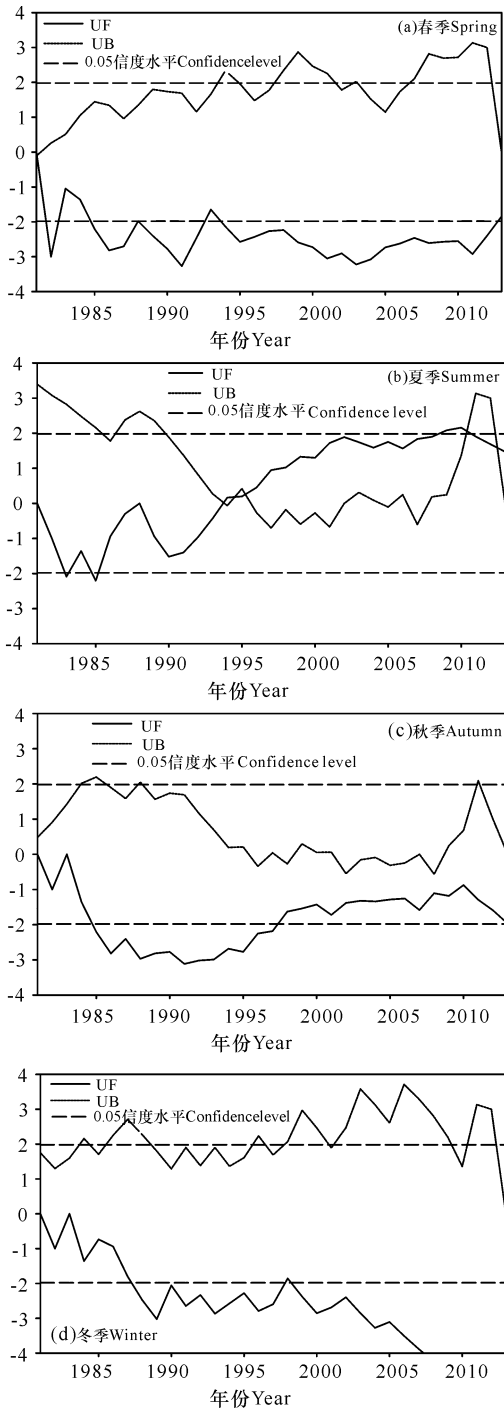


图 8 珠海市 1981—2013 年雷暴日 M-K 检验曲线图

Fig. 8 Mann-Kendall test curve of seasonal thunderstorm days in Zhuhai City from 1981 to 2013

暴日没有突变特征,而夏季在 1994—1995 年有突变现象。

本文主要分析珠海市雷暴日近 33 a 来的时间变化特征,但仍存在一定的局限性和不足之处,如资料的单一性,局地天气因素和不同环流形势等对珠海市雷暴发生发展的影响,影响雷暴天气条件的变化等,这些还有待于未来进一步的探讨和研究。本研究结果有助于了解珠海地区雷暴的变化特征,对科学防御雷暴灾害、科学规划和设计雷电防护等意义重大。

参考文献

- [1] 利赛明,邵应泉,仇健. 珠海市近 30 年雷暴的气候特征分析[J]. 广东气象,2014,36(2):36-39.
- [2] 仇健,陈惜茂,黎红源,等. 珠海市雷电活动的时空分布特征[J]. 广东气象,2016,38(1):27-31.
- [3] 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.
- [4] 姚蓉,许霖,唐佳,等. 湖南省雷暴时空特征及变化趋势[J]. 气象与环境科学,2017,40(3):65-70.
- [5] BOCCIPPPI D J, GOODMAN S J. Regional differences in tropical lightning distributions [J]. Journal of Applied Meteorology,2000,39(12):2231-2248.
- [6] 林溪猛,卢辉林,黄月清,等. 福建古雷石化基地雷电活动特征及对策分析[J]. 气象与环境科学,2016,39(4):109-114.
- [7] 赵定池,李毅,尤伟,等. 拉萨地区夏季夜间雷暴的物理量指数分析[J]. 气象与环境科学,2017,40(1):114-119.
- [8] 梁维亮,屈梅芳,赖珍权,等. 广西地区一次强雷暴天气过程雷达特征及环境场分析[J]. 气象与环境学报,2016,32(3):10-18.
- [9] 邵凌云,栾健,王迪,等. 辽宁省内陆与沿海城市雷暴活动特征对比分析[J]. 气象与环境学报,2017,33(2):95-100.
- [10] 易燕明,杨兆礼,万齐林,等. 近 50 年广东省雷暴、闪电时空变化特征的研究[J]. 热带气象学报,2006,22(6):539-546.
- [11] 杨天琦,邱洋,江珂. 基于 DFA 的雷暴日时间序列分形特征分析[J]. 气象与环境科学,2016,39(4):115-120.
- [12] 陈冰,李国龙,马路金,等. 化州雷暴气候特征及其与 ENSO 的关系[J]. 广东气象,2015,37(2):32-36.
- [13] 林建,曲晓波. 中国雷电事件的时空分布特征[J]. 气象,2008,34(11):22-30.
- [14] 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.
- [15] 李桑,龚道溢. 1980—2010 年中国南方雷暴频次的统计特征及其变化[J]. 高原气象,2015,34(2):503-514.
- [16] ZHENG L L, SUN J H, WEI J. Thunder events in China:1980—2008 [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters,2010,3(4):181-188.
- [17] 孙激. 北京城区与郊区雷暴气候特征及其变化对比分析[J]. 气候与环境研究,2011,16(5):649-656.
- [18] 虞海燕,刘树华,赵娜,等. 我国近 59 年日照时数变化特征及其与温度、风速、降水的关系[J]. 气候与环境研究,2011,16(3):389-398.
- [19] 符传博,唐家翔,丹利,等. 1960—2013 年我国霾污染的时空变化[J]. 环境科学,2016,37(9):3237-3248.
- [20] 向辽元,陈星黎翠红,等. 近 55 年中国大陆地区降水突变的区域特征[J]. 暴雨灾害,2007,26(2):149-153.
- [21] 白松竹,李春芳,王磊. 近 45 年 5—9 月阿勒泰地区强降水气候变化趋势与突变特征[J]. 暴雨灾害,2009,28(1):84-87.
- [22] 高荣,钟海玲,董文杰,等. 青藏高原积雪和季节冻融层的突变特征及其对中国降水的影响[J]. 冰川冻土,2010,32(3):469-474.
- [23] 戴洋,罗勇,王长科,等. 1961—2008 年若尔盖高原湿地的气候变化和突变分析[J]. 冰川冻土,2010,32(1):35-42.
- [24] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京:气象出版社,2007.
- [25] 李丽平,白婷. 华南夏季多年平均降水低频特征及其与低频水汽输送关系[J]. 大气科学学报,2014,37(3):323-332.

Characteristics of Time Change of Thunderstorm Days in Zhuhai City in the Near 33 Years

ZHANG Shengqi, TONG Zhiming, WANG Chao, XU Kaicheng, GUO Yanlong

(Zhuhai Meteorological Bureau, Zhuhai, Guangdong, 519000, China)

Abstract: Based on the data of thunderstorm days in Zhuhai City in recent 33 years, the evolution trend, periodic variation and mutation characteristics of thunderstorm days in Zhuhai City were comprehensively analyzed by Morlet wavelet analysis, cumulative anomaly and M - K mutation test. The results show that: (1) thunderstorm days in Zhuhai have obvious seasonal variation characteristics, which are more in summer half year, and less in winter half year. (2) The interannual variation of thunderstorm days is characterized by a decline-rise-gentle evolution, and there are obvious periodic variations on various time scales. (3) Interannual variations of thunderstorm days are different in the four seasons, with different degrees of decline in spring, autumn and winter, while in summer, it shows an upward trend, and the reliability test is 99%. (4) The four seasons have different periodic changes on different time scales. The spring periodic oscillation is the most severe on the time scale of 4-6 years, while in summer the most severe oscillation is on the time scale of 6-8 years. There are obvious periodic oscillations in autumn from high frequency to low frequency. The periodic oscillations at various frequencies in winter are more obvious. After 2000, the periodic oscillations tend to weaken. (5) M-K mutation test shows that there is a sudden change in summer thunderstorm days from 1994 to 1995. The research results will help to understand the changing characteristics of thunderstorms in Zhuhai area, and play an important role in scientific defense against thunderstorms and scientific planning and designing in lightning protection.

Key words: thunderstorm day, wavelet analysis, cumulative anomaly, M-K Mutation test, Zhuhai

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxkx.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>