

廖玉芳, 张剑明, 李英. 2012. 湖南近 60 年雨淞的气候特征 [J]. 气候与环境研究, 17 (5): 594-606, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11049. Liao Yufang, Zhang Jianming, Li Ying. 2012. Climatological features of the glaze in Hunan Province in recent 60 years [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (5): 594-606.

湖南省近 60 年雨淞的气候特征

廖玉芳¹ 张剑明^{1,2} 李英³

1 湖南省气候中心, 长沙 410007

2 株洲市气象局, 株洲 412000

3 95666 部队 81 分队, 成都 610041

摘 要 采用湖南 97 个地面气象站点气象观测资料、运用经验正交函数、旋转经验正交函数、一元线性回归、Mann-Kendall、小波分析等方法分析了湖南雨淞的时空分布特征及变化趋势, 并与高山站的变化趋势进行了比较。结果表明: 湖南雨淞发生在 11 月至翌年 3 月, 空间分布特征呈现为南多北少、东多西少、迎风坡多、背风坡少、“三心二带”、高低交错。湖南雨淞日数空间分布既有全区一致性, 也存在着南北反向变化的差异, 空间分布大致可分为湖南南部、北部及中部、西北部 3 个异常区。湖南年雨淞日数和南岳高山站年雨淞日数呈现出的周期变化相同, 即均存在 2 a、4 a、9 a 和 24 a 左右的准周期, 2 a 和 4 a 周期尺度雨淞日数多和少转换频繁, 9 a 周期尺度在 1970 年代末以前振荡明显, 在 24 a 准周期尺度上经历了 1960 年代初期、1970 年代中期、1990 年代初期、2000 年代中期 4 个转折年份。在过去 60 年全省年雨淞日数呈显著减少趋势, 南岳高山站年雨淞日数趋势变化不明显, 但存在明显的年际和年代际变化。

关键词 湖南 雨淞 气候统计 气候变化 特征

文章编号 1006-9585 (2012) 05-0594-13

中图分类号 P466

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11049

Climatological Features of the Glaze in Hunan Province in Recent 60 Years

LIAO Yufang¹, ZHANG Jianming^{1,2}, and LI Ying³

1 Hunan Climate Center, Changsha 410007

2 Meteorological Bureau of Zhuzhou, Zhuzhou 412000

3 81 Squadron, 95666 Troops, Chengdu 610041

Abstract Using observational data from 97 meteorological ground stations in Hunan Province, the temporal and spatial characteristics and the variation trend of the glaze of Hunan Province were analyzed by EOF (Empirical Orthogonal Function), REOF (Rotated Empirical Orthogonal Function), linear regression, Mann-Kendall mutation, and wavelet analysis and the variation trend was compared with the mountain station data. The results indicate that the glaze occurred mostly between November and March of the following year; the spatial distribution of glaze days showed a higher incidence in the South and East and to windward, and a lower incidence in the North and West and to leeward. There were two high value centers and three low value centers distributed among the high and low value regions. The spatial distribution of the number of glaze days showed characteristics of regional consistency and a discrepancy in the reverse variation between the south and north, which can be classified into three anomaly areas:

收稿日期 2011-03-29 收到, 2012-06-24 收到修定稿

资助项目 2009 年中国气象局业务项目“全国气象灾害风险区划”, 中国气象局气候变化专项 200920, 湖南省气象局重点科研项目 200801, 中国气象局气候变化专项 CCSF-10-04, 湖南省科技计划重大专项 2008FJ1006

作者简介 廖玉芳, 女, 1962 年出生, 正研高工, 主要从事气象灾害研究。E-mail: lyf_13975681873@163.com

South and North Hunan, Central and Northwest Hunan, and Northeast Hunan. The yearly glaze days in both Hunan and Nanyue station present the same periodic change of 2, 4, 9, and 24 years. The glaze days converse more or less frequently between period of 2 and 4 years. There is a clear oscillation pattern of 9-year glaze day before the late 1970s. The 24-year glaze day exists during the four transition years in the early 1960s, mid-1970s, early 1990, and mid-2000. There is a significant decreasing trend in the number of glaze days in Hunan over the past 60 years, while the variation tendency in Nanyue station is not obvious although significant inter-annual and inter-decadal variations exist in Nanyue station.

Key words Hunan, glaze, climatic statistics, climatic change, characteristic

1 引言

冰冻是湖南冬半年常见的灾害性天气, 其发生次数在全国仅次于贵州省, 其危害程度在冻害中居首位, 它的发生与湖南地处特定的地理位置、特定的地形地貌和特定的气候条件等密切相关。随着社会经济的发展, 工农业生产及人民生活对冰冻天气变得越来越敏感, 尤其是电力、通讯网络的快速发展, 冰冻灾害对湖南社会经济的影响越来越大。

2008 年初发生在我国南方地区的大范围持续低温雨雪冰冻天气给社会经济造成了重大损失, 冰冻天气成因及其影响研究由此成为专家学者们的研究热点。布和朝鲁等 (2008)、纪立人等 (2008)、施宁等 (2008) 针对 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程系统性地开展了低纬环流系统的影响分析; 顾雷等 (2008)、陶诗言和卫捷 (2008)、王允等 (2008)、杨贵名等 (2008)、赵思雄和孙建华 (2008) 从天气动力学角度对其进行了成因分析; 常蕊等 (2008)、张庆云等 (2008) 分析了中国南方多雪年环流特征及对关键区海温的响应; 王怀清等 (2009)、严小冬等 (2009)、赵珊珊等 (2010) 进行了冰冻气候特征分析; 赵琳娜等 (2008) 开展了 2008 年初我国低温雨雪冰冻对重点行业的影响及致灾成因分析。

冰冻天气地域性差异大, 开展冰冻气候特征及其变化分析, 对防灾减灾具有重大意义。本文利用最新长序列气象观测资料, 对湖南冰冻日数的场分布特征及演变趋势进行了系统性分析, 并给出了相应的分析结论。

2 资料及方法

湖南省冰冻灾害主要由雨淞和雨淞加冻结雪造成, 本文采用的是湖南 97 个地面气象观测站自建站至 2010 年 4 月的雨淞观测资料 (图 1)。需说明的

是, 南岳高山站海拔高度高, 观测到的雨淞日数及持续时间是其他观测站的数十倍, 是孤立高值, 为了确保资料分析的代表性, 进行全省雨淞综合统计时去掉了南岳高山站的相关信息。

在进行湖南雨淞气候特征分析过程中, 用到的方法有相关分析、经验正交函数 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 分析、小波分析、Mann-Kendall 法等 (Torrence and Compo, 1998; 林振山和邓自旺, 1999; 魏凤英, 1999; 黄嘉佑, 2000)。

3 时空分布特征

3.1 空间分布特征及成因分析

3.1.1 空间分布特征

(1) 年平均雨淞日

湖南年平均雨淞日为 2.9 d, 各县 (市) 在 0.5 (龙山) ~ 7.2 (桂阳) d, 南岳为 60.4 d。其空间分布特点为: 南多北少、东多西少; 迎风坡多、背风坡少; “三心二带”、高低交错 (见图 2)。

南多北少、东多西少。以 28°N 为界将湖南划分为南、北两部分。北部 34 站年平均雨淞日数为 2.2 d, 南部 62 站年平均雨淞日数 3.4 d, 较北部平均多 1.2 d。以 112°E 为界将湖南分为东、西部, 西部 52 站年平均雨淞日数为 2.6 d, 东部 44 站年平均雨淞日数 3.3 d, 较西部平均多 0.7 d。

迎风坡多、背风坡少。龙山、桑植、张家界、慈利、永顺、古丈、宁远、宜章等诸多观测站位于山脉的背风坡, 年平均雨淞日数不到 2 d。武岗、桂阳、城步等观测站位于山脉的迎风坡, 年平均雨淞日数在 5 d 以上。

“三心二带”、高低交错。湖南 3 个雨淞高值中心为: 南岳高值中心, 年平均雨淞日数达 60.4 d, 为全省之最; 地处南岭山区的桂阳高值中心, 年平均雨淞日数 7.2 d; 地处雪峰山南端的城步高值中心, 年平均雨淞日数 6.9 d。二条雨淞高值带为: 城步、武冈、邵阳县至南岳, 呈东北—西南走向, 年

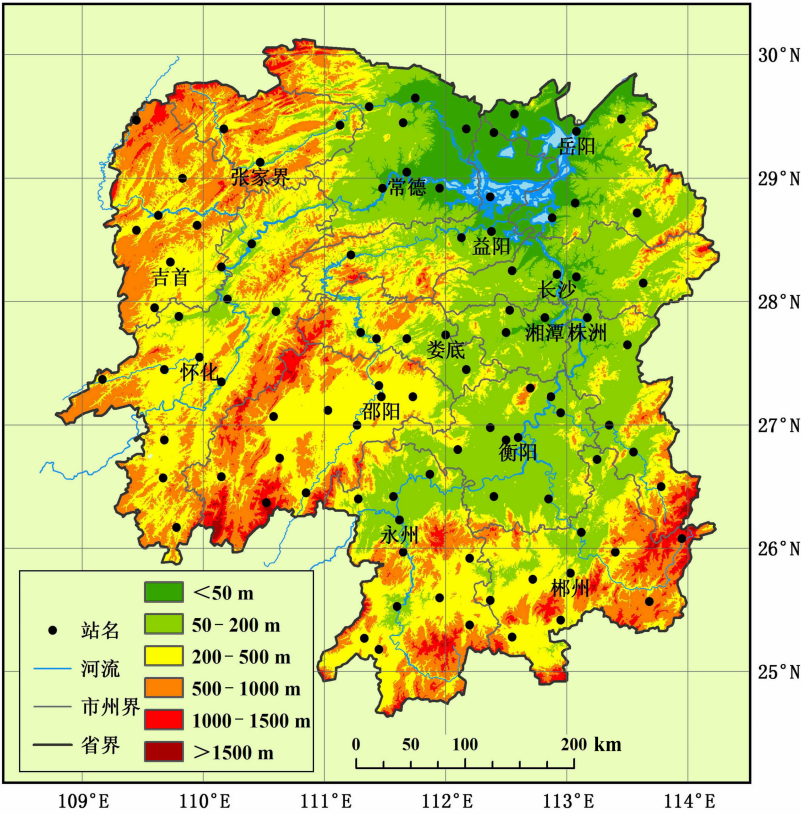


图1 湖南省97个地面气象观测站的空间分布
Fig. 1 The spatial distribution of 97 meteorological stations in Hunan Province

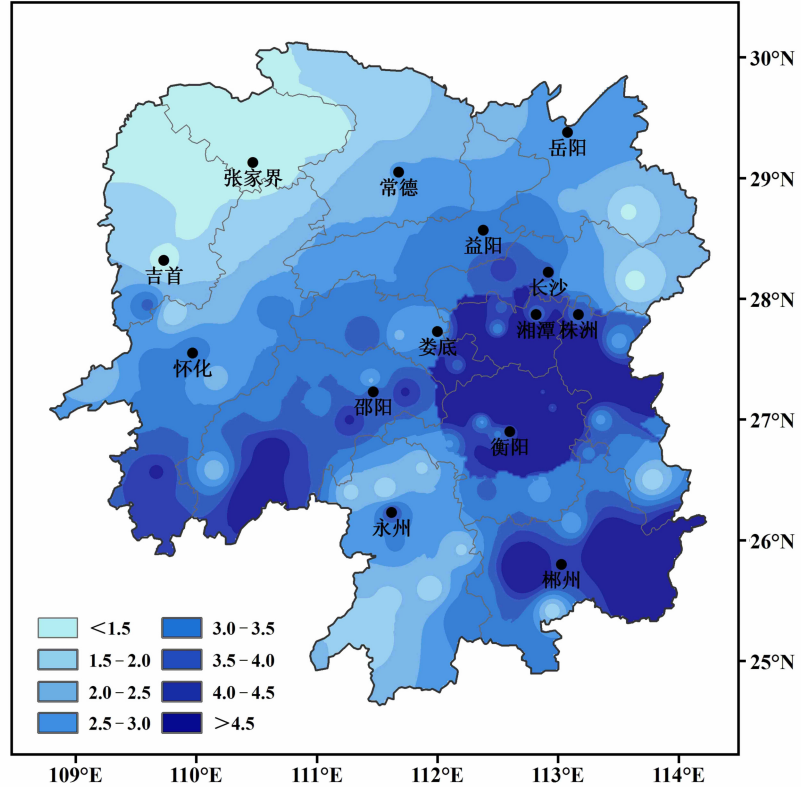


图2 湖南省1951~2010年年平均雨淞日数分布
Fig. 2 Spatial distribution of average annual glaze days in Hunan Province during 1951-2010

平均雨淞日数在 4 d 以上；桂阳、资兴至桂东，呈东西走向，年平均雨淞日数在 4 d 以上。高值带与低值带交错分布：城步高值带与桂阳高值带之间为低值带，年平均雨淞日数多在 2 d 以下；湘西北为低值带，年平均雨淞日数在 2 d 以下。高、低中心交错分布：靖州、城步间的绥宁低中心，邵阳县、永州之间的冷水滩低中心，永州、桂阳之间的宁远低中心，冷水江、双峰之间的涟源低中心等。

(2) 年平均雨淞厚度

经过标准冰厚转换后的湖南年平均雨淞厚度为 0.5 mm，雨淞厚度呈多心结构分布，且东部重于西部，南岳为全省高值中心，洞庭湖区、雪峰山南端、南岭东段为相对高值区。

(3) 雨淞初日期、终日期

湖南雨淞平均最早发生时间是 12 月 2 日，各县（市）雨淞最早发生时间为 11 月 16 日（湘阴、宁乡、长沙、芷江、湘潭）至 12 月 11 日（炎陵、江永、道县），南岳为 10 月 9 日；雨淞最早发生区域，自洞庭湖向南、沿湘江流域到湘东南呈哑铃状分布（图 3a）。湖南雨淞平均最晚结束时间是 3 月 5 日，各县（市）雨淞最晚结束时间为 2 月 20 日（麻阳）至 4 月 2 日（桂东），南岳为 4 月 21 日；雨淞最晚结束时间表现为多心结构，分布在洞庭湖区、雪峰山北端、湘中及湘东南（图 3b）。

(4) 雨淞最长持续时间

湖南平均雨淞最长持续时间为 14.3 d，各县（市）雨淞最长持续时间为 5（龙山、永顺、桑植、张家界、慈利、澧县）~27（衡阳、桂阳）d，南岳为 62 d。高值区呈人字型自洞庭湖岳阳开始，向南至衡阳分成二支，一支向雪峰山延伸至雪峰山南端，另一支继续向南延伸到郴州的桂阳然后折向东至汝城。高值区中表现为多心结构，持续 20 d 以上的中心分别位于长沙、衡阳市、雪峰山南端、桂阳、汝城等地。

3.1.2 成因分析

湖南雨淞空间分布特点与湖南特殊的地貌有着密切的关系。湖南地貌为东、南、西三面环山、中部丘岗起伏、北偏东为湖泊平原，呈朝东北开口、不对称状的马蹄形盆地（图 1），冷空气从湖南东北部进入后呈树根状展开，湘江谷地是冷空气长驱直入到达南岭以北的主要通道。当呈树根状展开的冷空气到达雪峰山脉的东部和南岭以北时，受高山阻

隔，在山脉以东和以北的区域不断堆积，形成在气象学上称之为“冷垫”的冷空气层；同时，来自孟加拉湾的暖湿气流覆盖在冷垫上，形成 850~700 hPa 的暖层，而在 850 hPa 以下是低于 0℃ 的冷空气层；当北方冷空气持续南下，又形成一个更高、更冷的气层。而进入湖南西北地区的冷空气还要顺着东北—西南走向的山脉继续南下，到达重庆、贵州境内才会受到高山阻挡而产生堆积。因此，雪峰山东侧、南岭北侧成为了湖南雨淞的高发地带，雨淞持续时间长，湘西北地区为雨淞低发区；洞庭湖至湘江流域及雪峰山沿线成为湖南雨淞最早发生、最晚结束的地带。

3.2 时间分布特征

湖南雨淞发生在 11 月至翌年 3 月（表 1），但冬季发生率最高，几乎占全年雨淞日数的 100%。11 月湖南东南部、湘江中下游地区、洞庭湖区部分站有雨淞天气出现，但全省平均雨淞日数只有 0.01 d。12 月全省平均雨淞日为 0.5 d，占全年雨淞日数的 17.2%；各县（市）雨淞日数为 0.1（龙山、桑植、张家界、吉首）~10.9（南岳）d。1 月全省平均雨淞日数为 1.4 d，占全年雨淞日数的 48.3%，为湖南雨淞高发月份；各县（市）雨淞日数为 0.2（龙山）~19.1（南岳）d。2 月全省平均雨淞日数为 1.0 d，占全年雨淞日数的 34.5%，为雨淞日数次高月份；各县（市）雨淞日数为 0.2（龙山、永顺）~16.8（南岳）d。3 月雨淞发生区主要位于南岳、湖南东北部、东南部及雪峰山沿线，全省平均雨淞日数为 0.03 d。4 月只有南岳出现雨淞天气。

表 1 湖南省逐月平均雨淞日数

Table 1 Monthly variations of average glaze days in Hunan Province

月份	平均雨淞日数/d	占全年雨淞日数的百分比
11 月	0.01	0
12 月	0.5	17.2%
1 月	1.4	48.3%
2 月	1.0	34.5%
3 月	0.03	0

3.3 空间分型

选取湖南 1961 年以来 89 个地面气象观测站年雨淞日数，采用 EOF 和旋转 EOF 分析方法，对湖南年雨淞日进行空间分型。表 2 给出了 EOF 和旋转 EOF

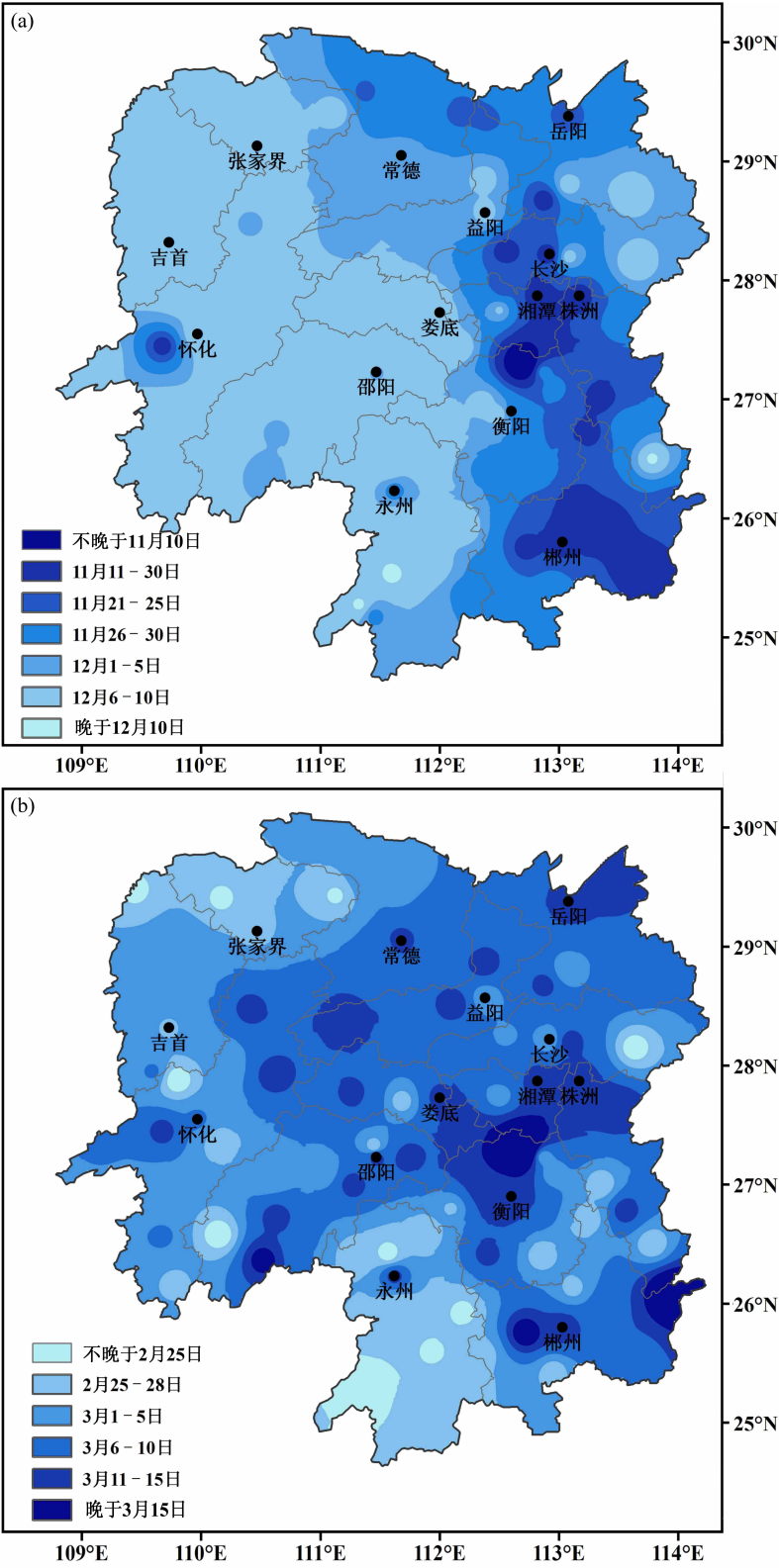


图3 湖南省雨凇 (a) 最早发生时间及 (b) 最晚结束时间空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of the (a) earliest time and (b) latest time of glaze in Hunan Province

对年雨淞日数场总方差的贡献。年雨淞日数的 EOF 分析结果表明, 前 2 个模态具有显著物理意义[根据 North (魏凤英, 1999) 提出的计算模态误差范围进行显著性检验], 累计贡献达 78.3%, 能反映出湖南年雨淞日数主要的空间分布

特征。

第一模态(方差贡献率占 69.0%) 在湖南区域内均为正值(图 4a), 说明湖南年雨淞日数在空间分布上具有很好的一致性, 即同时为多雨淞年或少雨淞年。特征量最大值在湖南中部地区, 中

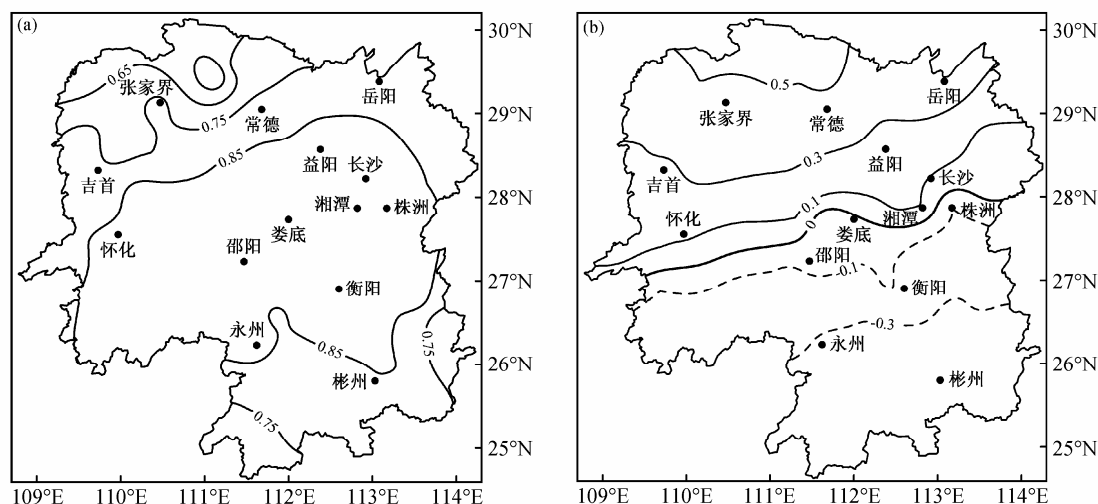


图 4 湖南省年雨淞日数的 (a) 第一和 (a) 第二 EOF 模态

Fig. 4 The (a) first and (b) second EOF modes of glaze days in Hunan Province

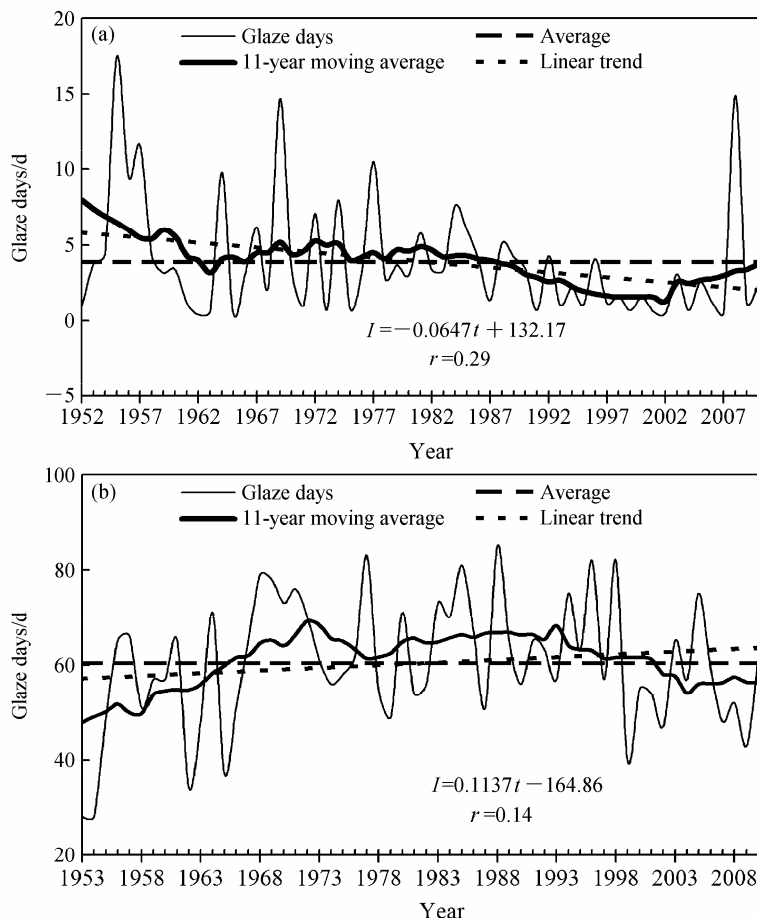


图 5 (a) 湖南省平均和 (b) 南岳年雨淞日数的时间变化趋势

Fig. 5 Time variation trends of the annual glaze days: (a) Averaged for Hunan Province; (b) Nanyue station

表 2 EOF 和旋转 EOF 前 7 个模态对总方差的方差贡献及累积方差贡献

Table 2 Variance contributions and accumulated variance contributions of the first seven Empirical Orthogonal Function (EOF) and rotated Empirical Orthogonal Function (REOF) modes to the total variances

EOF			REOF		
解释 方差	方差 贡献	累积方差 贡献	解释 方差	方差 贡献	累积方差 贡献
1	60.7	69.0%	31.1	35.3%	35.3%
2	8.2	9.4%	19.9	22.6%	57.9%
3	2.4	2.8%	9.6	10.9%	68.8%
4	2.4	2.7%	6.5	7.4%	76.1%
5	1.8	2.1%	6.0	6.8%	83.0%
6	1.5	1.7%	3.8	4.3%	87.2%
7	1.2	1.3%	1.5	1.7%	88.9%

心值达 0.9 以上, 然后向南部、西北部逐渐减小, 表明中部地区雨淞日数变率最大, 属雨淞日数异常敏感区。

第二模态分布具有南北反向特征 (方差贡献率占 9.4%), 南部为负值、北部为正值, 零等值线沿株洲、湘潭、娄底、怀化一线分布 (图 4b), 说明

湖南雨淞日数呈现南北反位相关系, 即为南多北少或南少北多型。北部特征量高值中心在临澧 (0.54), 南部负值中心在临武 (−0.50), 表明临澧、临武为该空间型中的雨淞日数变化最敏感区。

为了更清晰地表现不同地理区域的特征, 在 EOF 分析的基础上, 做最大正交方差旋转, 前 7 个主成分的累积方差达到 88.9%。对前 7 个主成分及对应的特征量进行旋转, 按照 North (魏凤英, 1999) 判别准则得到湖南年雨淞日数的 3 个主要空间异常气候区。以特征绝对值高值区基本布满全区为参考条件, 可将湖南年雨淞日数分为湖南南部、北部及中部、西北部 3 个异常区 (图略)。

湖南年雨淞日数的第一旋转模态, 若以 0.6 为临界条件, 高于 0.6 的区域主要位于湘中以南地区, 方差贡献为 35.3%, 最大值在临武 (0.91); 湖南年雨淞日数的第二旋转模态, 高于 0.6 的区域主要分布在湘北地区, 方差贡献率为 22.6%, 最大值在临澧 (0.91); 湖南年雨淞日数的第三旋转模态, 高于 0.5 的区域主要分布在湘西北和湘中的东部地区, 方差贡献为 10.9%, 中心值在古丈 (0.73)。

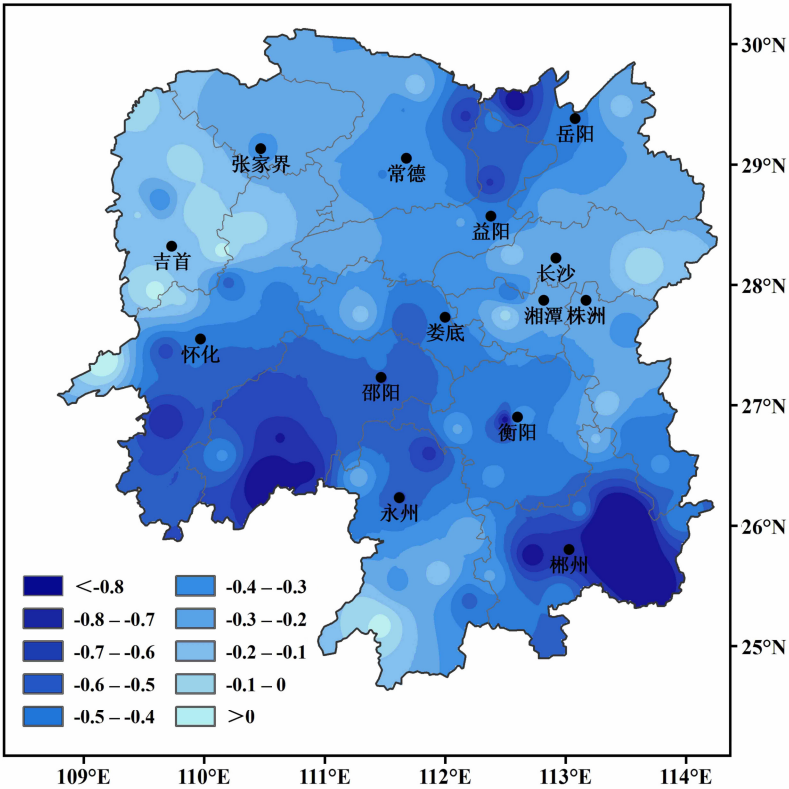


图 6 湖南省 1961~2010 年年雨淞日数变化趋势 [单位: $10^{-2} \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$] 空间分布
Fig. 6 Spatial distribution of variation trends [$10^{-2} \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$] of the annual glaze days in Hunan Province during 1961–2010

4 气候变化特征

4.1 时间变化

湖南 1951~2010 年历年平均年雨淞日数为 0~15.4 d。2001/2002 年全省 96 个地面气象观测站均未观测到雨淞天气, 5 年(1961/1962 年、1972/1973 年、1990/1991 年、2000/2001 年、2006/2007 年)全省平均年雨淞日数不到 0.1 d; 全省平均年雨淞日数 10 d 以上的有 3 年, 分别是: 1968/1969 年(14.0 d)、2007/2008 年(14.5 d)、1954/1955 年(15.4 d)。湖南年雨淞日数的年际变化曲线及 11 年滑动平均曲线(图 5a)显现出: 1950 年代中期、1960 年代中期至 1970 年代是我省雨淞高发期, 年雨淞日数偏多; 1980 年代至 2007 年为

低发期, 年雨淞日数偏少; 2008 年创下 1951 年以来的次高值, 其后又处于低值期。

南岳自 1952 年建站至 2010 年年雨淞日数在 28~85 d 之间。30 d 以下的年份有 2 年: 1952/1953 年、1953/1954 年, 年雨淞日数均为 28 d; 60 d 以上的年份有 29 年; 80 d 以上的年份有 5 年: 1983/1984 年、1996/1997 年、1994/1995 年、1975/1976 年、1986/1987 年, 年雨淞日数分别为 81、82、82、83、85 d。南岳年雨淞日数的年际变化曲线及 11 年滑动平均曲线(图 5b)显现出, 1960 年代中期以前和 2000 年代初以后是雨淞低发期, 雨淞日数偏少; 1960 年代中期到 2000 年代初是雨淞高发期, 年雨淞日数偏多。

分析年雨淞日数的线性趋势得出, 1951~2010 年湖南年雨淞日数呈显著减少趋势(通过 0.05 显著性水平检验), 减少速率为 $0.65 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$; 南岳

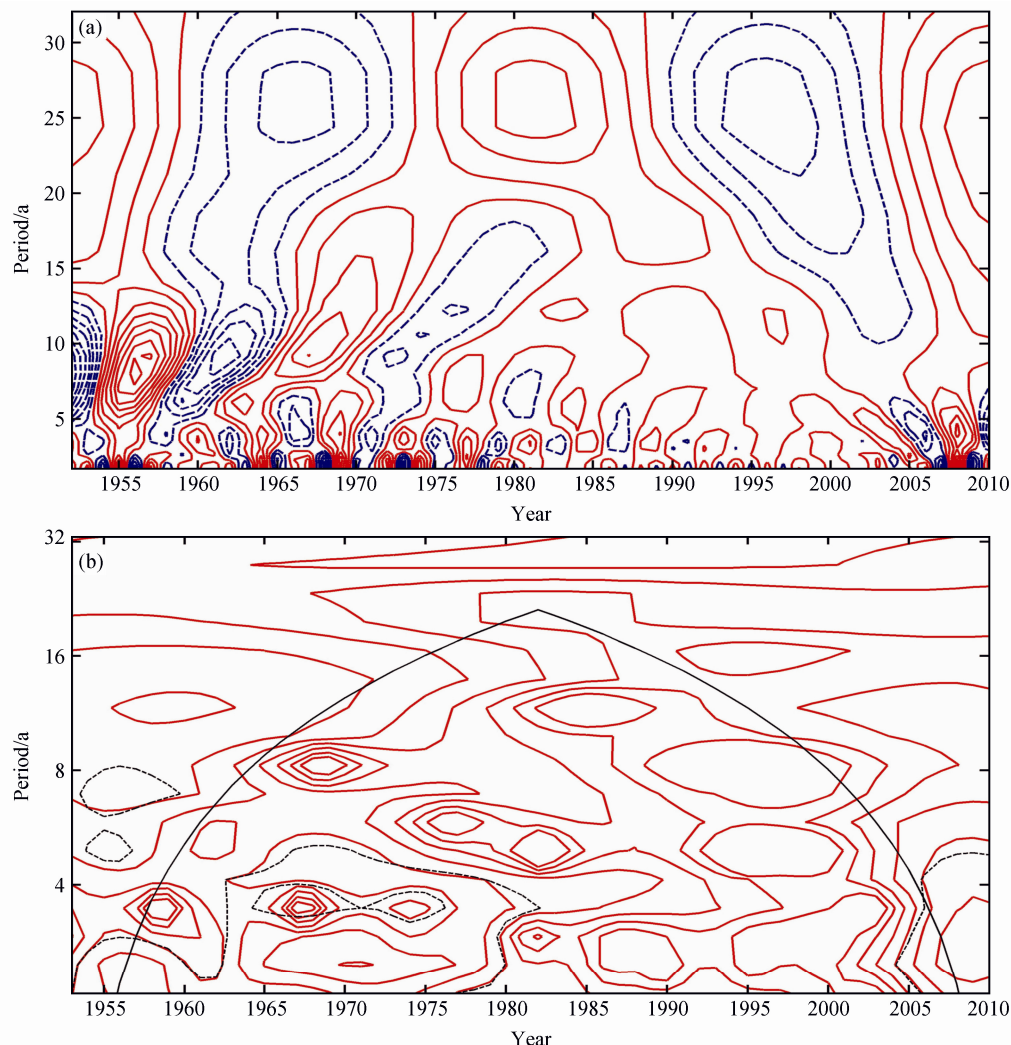


图 7 湖南省年雨淞日数的 Morlet 小波 (a) 系数实部等值线(实线和虚线分别表示同数偏多和偏少)和 (b) 功率谱分析(虚线表示通过 0.05 显著性检验的周期尺度; 黑实线表示去除边界效应后的周期尺度)

Fig. 7 Morlet wavelet (a) coefficients (solid and dashed lines denote days more and less than averaged) and (b) power spectrum analysis (dashed lines denote power spectrum above 0.05 significance level and black solid line denote the period scale after the boundary effect removal) of the annual glaze days in Hunan Province

1952~2010 年雨淞日数呈增加趋势, 增加速率为 $1.14 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 但未通过显著性检验。

从图 6 可见, 除湖南西部边缘的泸溪、凤凰、新晃和南部边缘的江华年雨淞日数呈增加趋势外, 其余地区年雨淞日数均呈减少趋势。

4.2 周期变化

4.2.1 Morlet 小波分析

(1) 湖南年平均雨淞日数

对年雨淞日数开展 Morlet 小波分析得出, 湖南年雨淞日数存在 4 个特征时间尺度, 分别是 2 a、4 a、9 a 和 24 a 左右的准周期 (图 7a)。2 a 时间尺度上, 在 60 年中始终存在, 且周期振荡稳定。4 a 时间尺度上, 在 1970 年代中期以前和 2000 年代初以后表现为 5 a 左右的周期振荡, 1970 年代中期到 2000 年代初表现为 3 a 左右的周期振荡。在 9 a 时间尺度上, 2000 年代初以前比较明显, 之后较弱。24 a 左右的时间尺度的周期振荡贯穿整个研究时段

且表现稳定, 1960 年代初以前为雨淞日数偏多期, 1960 年代初期到 1970 年代中期为雨淞日数偏少期, 1970 年代中期到 1990 年代初为雨淞日数偏多期, 1990 年代初到 2000 年代中期为雨淞日数偏少期, 之后为雨淞日数偏多期。

对年雨淞日数进行 Morlet 小波变换之后的功率谱分析 (图 7b) 可以看出, 湖南年雨淞日数存在显著的 2 a 和 4 a 准周期, 且周期的强度随时间变化, 准 2 年谱在 1950 年代初到 1980 年代初、2000 年代中期以后较显著, 其余年份较弱; 准 4 年谱在 1960 年代初到 1980 年代初较显著, 其余年份较弱。此外, 小波功率谱分析还检测出湖南年雨淞日数存在准 8 年、准 12 年和准 26 年左右的周期尺度。

(2) 南岳年雨淞日数

对南岳年雨淞日数开展 Morlet 小波分析, 结果表明, 南岳年雨淞日数也存在 4 个特征时间尺度, 分别是 2 a、4 a、9 a 和 24 a 左右的准周期 (图 8a)。

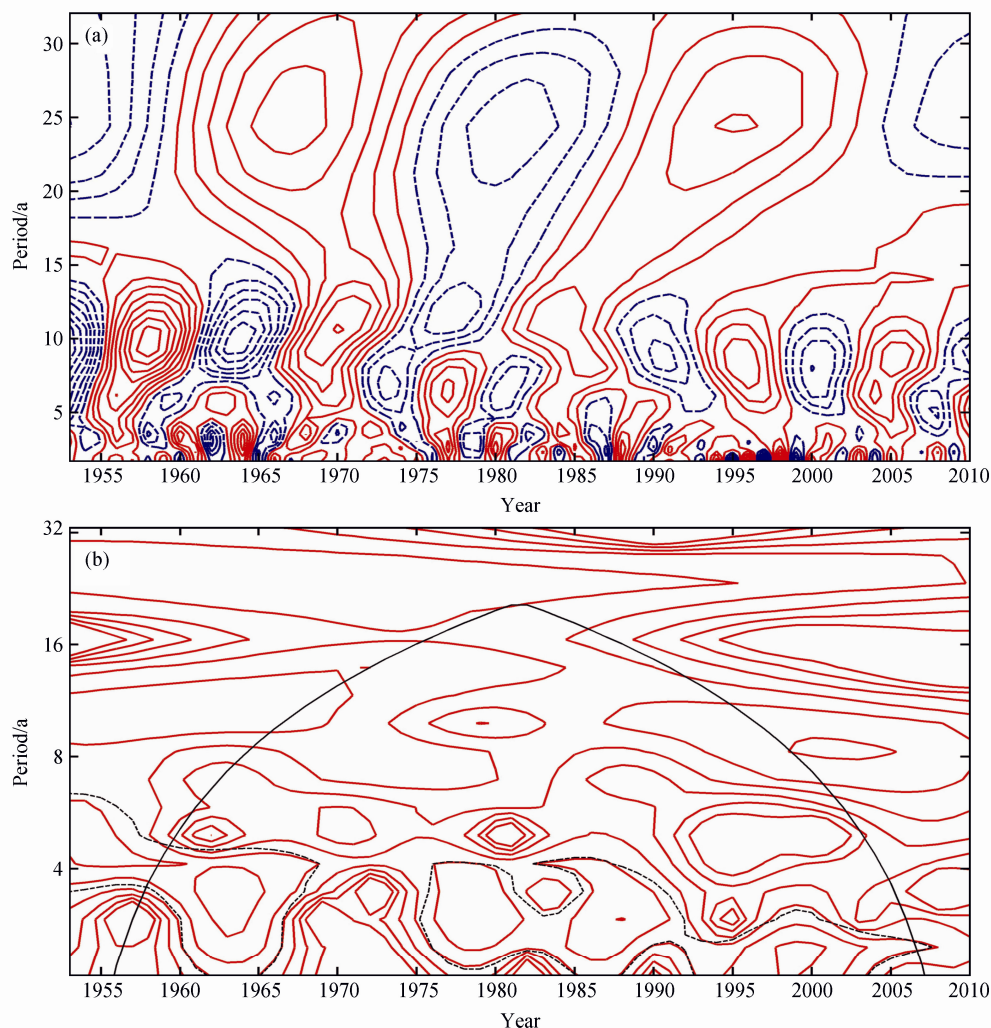


图 8 同图 7, 但为南岳站

Fig. 8 Same as Fig. 7, but for Nanyue station

2 a 时间尺度上, 在 60 年中始终存在, 且周期振荡稳定。4 a 和 9 a 左右的时间尺度上, 雨淞日数的偏多或偏少期之间转换频繁。24 a 左右时间尺度的周期振荡贯穿整个研究时段且表现稳定, 1960 年代初以前为雨淞日数偏少期, 1960 年代初期到 1970 年代中期为雨淞日数偏多期, 1970 年代中期到 1990 年代初为雨淞日数偏少期, 1990 年代初到 2000 年代中期为雨淞日数偏多期, 之后为雨淞日数偏少期。

对南岳年雨淞日数进行 Morlet 小波变换之后的功率谱分析得出, 南岳年雨淞日数存在显著的 2 a 准周期, 且周期的强度随时间变化, 准 2 年谱在 1950 年代中期到 1960 年代中期、1970 年代中期到 2000 年代中后期较显著, 其余年份较弱 (图 8b)。此外, 小波功率谱分析还检测出南岳年雨淞日数存在准 4 年、准 9 年、准 16 年和准 25 年左右的周期尺度。

4.2.2 雨淞日数特征时间尺度下的转折分析

不同时间尺度下的小波系数反映系统在该时

间尺度下的变化特征。小波系数的正值对应雨淞日数偏多期, 负值对应雨淞日数偏少期, 零值则对应雨淞日数由多到少或由少到多的转折点。湖南年雨淞日数墨西哥帽小波变换系数 (图 9a) 表明, 2 a 和 4 a 周期尺度雨淞日数多和少转换频繁; 9 a 周期尺度在 1970 年代末以前振荡明显; 在 24 a 准周期尺度上, 经历了 1960 年代初期、1970 年代中期、1990 年代初期、2000 年代中期 4 个转折年份。

南岳年雨淞日数墨西哥帽小波变换系数 (图 9b) 表明, 2 a 和 4 a 周期尺度雨淞日数多和少转换频繁; 9 a 周期尺度在 1970 年代初期以前和 1980 年代初以后振荡明显; 在 24 a 准周期尺度上, 经历了 1960 年代初期、1970 年代中期、1990 年代初期、2000 年代中期 4 个转折年份。

4.3 突变

图 10 a 给出了湖南平均年雨淞日数 Mann-Kendall 统计量曲线, 给定显著性水平 $\alpha=0.05$, 即 $u_{0.05}=\pm 1.96$ 。由 UF 曲线可见, 1950 年代湖南年雨

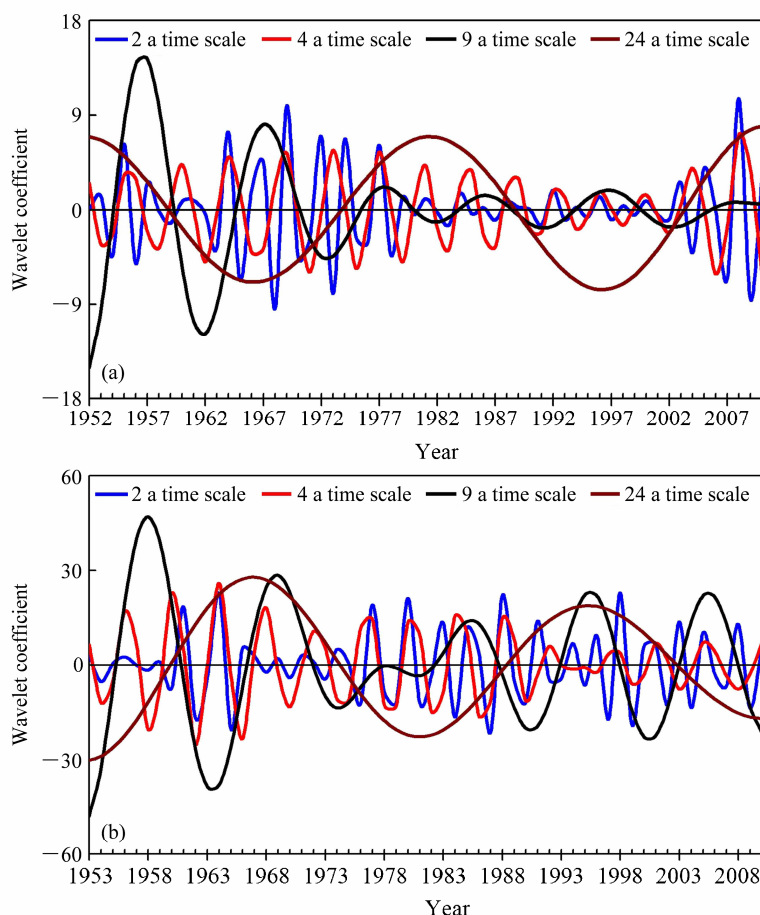


图 9 (a) 湖南省平均和 (b) 南岳年雨淞日数单尺度墨西哥帽小波变换系数曲线

Fig. 9 The single scaling coefficient of Mexican hat wavelet transform of the annual glaze days: (a) Averaged for Hunan Province; (b) Nanyue station

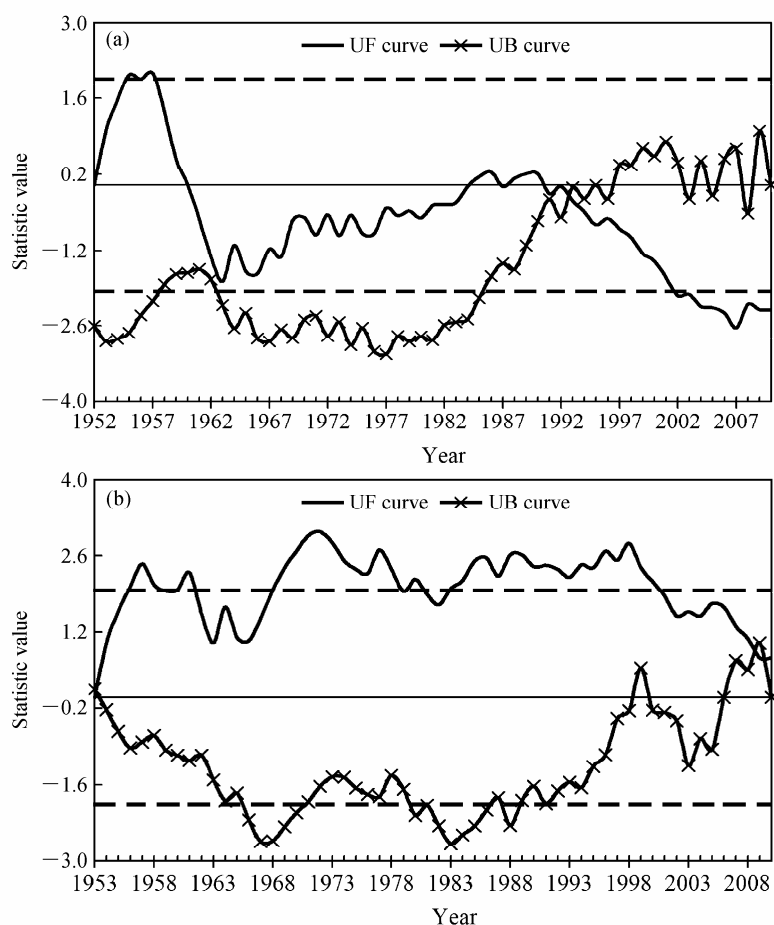


图 10 (a) 湖南省平均和 (b) 南岳年雨淞日数的 Mann-Kendall 曲线

Fig. 10 The Mann-Kendall abrupt curve of the annual glaze days: (a) Averaged for Hunan Province; (b) Nanyue station

淞日数有明显的增加趋势, 1955~1957 年 UF 值超过显著性水平 0.05 临界线, 表明年雨淞日数上升趋势显著; 1960 年代至 1970 年代呈下降趋势, 但未通过显著性检验; 1980 年代至 1990 年代初呈上升趋势, 但未通过显著性检验; 1993 年以后又呈现为下降趋势, 自 2002 年开始 UF 值超过显著性水平 0.05 临界线, 表明减少趋势十分显著。根据 UF 和 UB 曲线的交点的位置, 确定湖南年雨淞日数 1990 年代初的减少是一突变现象, 具体时间为 1993 年。

图 10b 给出了南岳的年雨淞日数 Mann-Kendall 统计量曲线, 由 UF 曲线可见, 南岳年雨淞日数呈现为上升趋势, 1950 年代后期 UF 值超过显著性水平 0.05 临界线, 表明上升趋势显著, 其后上升趋势转为不显著; 1960 年代后期开始第二次 UF 值超过显著性水平 0.05 临界线, 并持续到 1990 年代中期; 自 1990 年代末开始又变为上升趋势不显著。根据 UF 和 UB 曲线的交点的位置, 确定南岳年雨淞日数

2009 年是突变点。

5 小结

本文采用湖南省 97 个地面气象站点气象观测资料运用 EOF、REOF、一元线性回归、Mann-Kendall、小波分析等方法分析了湖南雨淞的时空分布特征及变化趋势, 同时进行了高海拔区与低海拔区雨淞变化趋势的比较。得到以下结果:

(1) 湖南年平均雨淞日数空间分布特点为: 南多北少、东多西少; 迎风坡多、背风坡少; “三心二带”、高低交错。雨淞平均最早发生时间为 12 月 2 日, 最晚结束时间为 3 月 5 日; 雨淞最早发生区域自洞庭湖向南、沿湘江流域到湖南东南呈哑铃状分布; 最晚结束时间表现为多心结构, 分布在洞庭湖区、雪峰山北端、中部及东南部地区。这种分布特点与湖南的地貌特征密切相关。

(2) 根据 EOF 和 REOF 分析, 湖南雨淞日数空

间分布既有全区一致性,也存在着南北反向变化的差异,空间分布大致可分为湖南南部、北部及中部、西北部3个异常区。

(3) 过去 60 年湖南年雨淞日数呈显著减少趋势, Mann-Kendall 统计检验结果表明湖南年雨淞日数 1990 年代初的减少是一突变现象,具体时间为 1993 年;南岳年雨淞日数呈增加趋势,但未通过显著性检验。湖南雨淞日数这种趋势上的变化是否与气候变暖及局地气候条件有关,有待作进一步的分析。

(4) 湖南年雨淞日数与南岳年雨淞日数的周期变化特征基本相同,即存在 4 个特征时间尺度,分别是 2 a、4 a、9 a 和 24 a 左右的准周期,但在 24 a 周期变化存在异相位变化。2 a 和 4 a 周期尺度雨淞日数多和少转换频繁;9 a 周期尺度在 1970 年代末以前振荡明显;在 24 a 准周期尺度上,经历了 1960 年代初期、1970 年代中期、1990 年代初期、2000 年代中期 4 个转折年份。

参考文献 (References)

- 布和朝鲁, 记立人, 施宁. 2008. 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析 I: 亚非副热带急流低频波 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 419-433. Bueh Cholaw, Ji Liren, Shi Ning. 2008. On the medium-range process of the rainy, snowy and cold weather of south China in early 2008. Part I: Low-frequency waves embedded in the Asian-African subtropical jet [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 419-433.
- 常蕊, 张庆云, 彭京备. 2008. 中国南方多雪年环流特征及对关键区海温的响应 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 468-477. Chang Rui, Zhang Qingyun, Peng Jingbei. 2008. Response of the atmospheric circulation with heavy snow over southern China to the sea surface temperature anomaly in the key areas [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 468-477.
- 顾雷, 魏科, 黄荣辉. 2008. 2008 年 1 月我国严重低温雨雪冰冻灾害与东亚季风系统异常的关系 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 405-418. Gu Lei, Wei Ke, Huang Ronghui. Severe disaster of blizzard, freezing rain and low temperature in January 2008 in China and its association with the anomalies of east asian monsoon system [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 405-418.
- 黄嘉佑. 2000. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 130-134. Huang Jiayou. 2000. Statistical Analysis and Prediction of Meteorological [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 130-134.
- 记立人, 布和朝鲁, 施宁, 等. 2008. 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析III: 青藏高原—孟加拉湾气压槽 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 446-458. Ji Liren, Bueh Cholaw, Shi Ning, et al. 2008. On the medium-range process of the rainy, snowy and cold weather of south China in early 2008. Part III: Pressure trough over the Tibetan Plateau/bay of Bengal [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 446-458.
- 林振山, 邓自旺. 1999. 子波气候诊断技术的研究 [M]. 北京: 气象出版社, 22-25. Li Zhenshan, Deng Ziwang. 1999. Wavelet Climate Diagnostic Technology [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 22-25.
- 施宁, 布和朝鲁, 记立人, 等. 2008. 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析 II: 西太平洋副热带高压的特征 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 434-445. Shi Ning, Bueh Cholaw, Ji Liren, et al. 2008. On the medium-range process of the rainy, snowy and cold weather of south China in early 2008. Part II: Characteristics of the western pacific subtropical high [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 434-445.
- 陶诗言, 卫捷. 2008. 2008 年 1 月我国南方严重冰雪灾害过程分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (4): 337-350. Tao Shiyan, Wei Jie. 2008. Severe snow and freezing-rain in January 2008 in the southern China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 337-350.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79 (1): 61-78.
- 王怀清, 彭静, 赵冠男. 2009. 近 50 年江西省雨淞过程气候特征分析[J]. 气象科技, 37 (3): 311-314. Wang Huaqing, Peng Jing, Zhang Guannan. 2009. Climatic characteristics of glaze weather in Jiangxi in past 50 years [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 37 (3): 311-314.
- 王允, 张庆云, 彭京备. 2008. 东亚冬季环流季节内振荡与 2008 年初南方大雪关系 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 459-467. Wang Yun, Zhang Qingyun, Peng Jingbei. 2008. Relationship between the intraseasonal oscillation of east asian monsoon circulation and the heavy snow over southern China in boreal winter of 2007/2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 459-467.
- 魏凤英. 1999. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 63-66. Wei Fengying. 1999. Modern Diagnosis and Prediction of Climate Statistics [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 63-66.
- 严小冬, 吴战平, 古书鸿. 2009. 贵州冻雨时空分布变化特征及其影响因素浅析 [J]. 高原气象, 28 (3): 694-701. Yan Xiaodong, Wu Zhanping, Gu Shuhong. 2009. Analyses on the space-time distribution characteristics and their influence factors of freezing rain in Guizhou Province [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 28 (3): 694-701.
- 杨贵名, 孔期, 毛冬艳, 等. 2008. 2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续性原因分析 [J]. 气象学报, 66 (5): 836-849. Yang Guiming, Kong Qi, Mao Dongyan, et al. Analysis of the long-lasting cryogenic freezing rain and snow weather in the beginning of 2008 [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (5): 836-849.
- 张庆云, 宣守丽, 彭京备. 2008. La Niña 年冬季亚洲中高纬环流与我国南方降雪异常关系 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 385-394. Zhang Qingyun, Xuan Shouli, Peng Jingbei. Relationship between Asian circulation in the middle-high latitude and snowfall over south China during La Niña events [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 385-394.
- 赵琳娜, 马清云, 杨贵名, 等. 2008. 2008 年初我国低温雨雪冰冻对重点

- 行业的影响及致灾成因分析 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 556–566.
- Zhao Linna, Ma Qingyun, Yang Guiming, et al. 2008. Disasters and its impact of a severe snow storm and freezing rain over southern China in January 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 556–566.
- 赵珊珊, 高歌, 张强, 等. 2010. 中国冰冻天气的气候特征 [J]. 气象, 36 (3): 34–38. Zhao Shanshan, Gao Ge, Zhang Qiang, et al. 2010. Climate characteristics of freezing weather in China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 6 (3): 34–38.
- 赵思雄, 孙建华. 2008. 2008 年初南方雨雪冰冻天气的环流场与多尺度特征 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 351–367. Zhao Sixiong, Sun Jianhua. 2008. Multi-scale systems and conceptual model on freezing rain and snow storm over southern China during January–February 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 351–367.