

汪卫平, 杨修群, 张东海, 2020. 中国雨淞的时空变化[J]. 气象, 46(5): 666-674. Wang W P, Yang X Q, Zhang D H, 2020. Spatio-temporal changes of glaze in China[J]. Meteor Mon, 46(5): 666-674 (in Chinese).

## 中国雨淞的时空变化<sup>\*</sup>

汪卫平<sup>1</sup> 杨修群<sup>2</sup> 张东海<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 贵州省气候中心, 贵阳 550002

<sup>2</sup> 南京大学大气科学学院, 南京 210023

**提 要:** 基于 1954—2017 年中国 2426 个台站的日雨淞资料分析了中国雨淞日数的气候特征和变化特征。中国的雨淞主要出现在新疆和中国的 103°E 以东地区, 主要区域有三个, 分别是陕甘宁三省(区)交界、河南—湖北东部、江西—湖南—贵州—云贵川交界, 其中第三个区域范围最大、雨淞日数最多, 平均每年单站可达 5~50 d, 海拔 3047 m 的峨眉山雨淞日数(128 d)为全国最多。黄河以南的雨淞区域内, 海拔 1000 m 以上站点雨淞日数易多, 峨眉山、南岳、威宁、庐山是我国雨淞日数最多的几个站。我国雨淞基本出现在 9 月至次年 5 月, 最早出现最晚结束的区域在天山山脉、陕甘宁交界、云贵川交界站点。从范围大小、日数上均以江西—湖南—贵州—云贵川交界区域突出, 该区域雨淞日数在出现时段内呈主峰型分布, 出现时间主要集中在隆冬季节冷空气最活跃的 1 月中旬到 2 月上旬。三个主雨淞区的雨淞开始和结束日期无明显年代际差异, 而日雨淞概率有明显的年代际变化特征, 1961—2016 年期间的前 26 年明显高于后 30 年。1961—2016 年全国雨淞日数整体呈减少趋势, 1990 年后除贵州—湖南主雨淞区外, 雨淞范围明显减小。

**关键词:** 雨淞, 时空特征, 变化趋势

**中图分类号:** P467

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.05.007

## Spatio-Temporal Changes of Glaze in China

WANG Weiping<sup>1</sup> YANG Xiuqun<sup>2</sup> ZHANG Donghai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Guizhou Climate Centre, Guiyang 550002

<sup>2</sup> School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023

**Abstract:** Climatic characteristics and changes of glaze days in China were analyzed with the daily glaze observational dataset at 2426 stations in China from 1954 to 2017. China's glaze mainly occurs in Xinjiang and the parts east to 103°E of China. There are three major glaze zones: the area cross the borders of Shaanxi, Gansu and Ningxia provinces, the area of Henan and eastern Hubei provinces, and the area of Jiangxi, Hunan and Guizhou provinces, of which the third area is the central area, with 5—50 glaze days per year in average at every station. The 128 glaze days when glaze occurs in Mountain Emei at an altitude of 3047 meters are the most in China. In the glaze region south of the Yellow River, the glaze days at the stations with altitude more than 1000 meters are possibly more. The glaze occurs from September to May of next year, showing a peak pattern distribution with a beginning of glaze mainly from winter season when the cold air is the most active from January to mid-February. The probability of number of glaze days has obvious interdecadal variation characteristics, and it is significantly higher during the first 26 years than the latter 30 years during 1961—2016. From 1961 to 2016, the total number of glaze days in China is decreasing, and the area of glaze is significantly reduced since 1990 except for the main area of Guizhou and

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(41865007)和黔气科登[202003-01]共同资助

2019 年 2 月 12 日收稿; 2019 年 11 月 4 日收修定稿

第一作者: 汪卫平, 主要从事短期气候预测研究. Email: smile\_wp@163.com

Hunan provinces.

**Key words:** glaze, spatio-temporal characteristics, variation trend

## 引言

冻雨和雨淞是同一事物两个阶段的表现,冻雨是过冷却液态降水,从外观上与降雨无明显区别;雨淞是冻雨遇地面物体形成的均匀透明的冰状附着物,附着力强,密度大,雨淞的英文 glaze 的另一含义为“上釉”。冻雨和雨淞的视觉分辨性均较低,又被称为黑冰(black ice),在我国南方冬季雨日较多的静止锋区(汪卫平等,2017)多有出现,容易与阴雨天的路面湿滑相混淆。这些因素使得对雨淞的防范更需要依赖气象部门的预测预报和预警。此外,雨淞与雾凇在观测资料中同列于冰冻资料中,有的研究(王遵娅,2011;赵珊珊等,2010)将两者并同研究,雾凇是空气中的水汽直接凝华,或过冷雾滴直接冻结在物体上的乳白色冰晶沉积物,无论是外部形态还是空间分布,雨淞与雾凇都有一定差异。

2018年1月26日在贵州省鸭池河公路桥上发生一起油罐车侧翻事件,导致几十辆车追尾的交通事故,当日开始出现雨淞,因此雨淞可能是造成此次交通事故发生的主因。贵州鸭池河大桥于2016年5月合龙,是贵黔高速的控制性工程,桥面宽28 m,全长1450 m,桥面距离水面434 m,高度排名世界第五位,总投资7.8亿元,为目前世界上建成的最大跨径钢桁梁斜拉桥。近年来,贵州交通迅速发展,类似鸭池河大桥的世界级公路桥、铁路桥有多座。飞速发展的交通使雨淞的影响进一步放大,尤其是两端连接隧道架于河面之上的桥梁,在贵州多雨淞的背景环境下更是雨淞的温床,隧道与桥梁之间的视线变化、路况差别也使得桥梁是交通事故的敏感区、关键区,因而即便是轻微的雨淞,对交通影响也显著。除交通外,雨淞对输电线路、农业也有较大影响,气象观测中有专门的电线积冰厚度对雨淞(雾凇)进行进一步的度量。可见,雨淞从无到有、持续时间和厚度均有较大影响,因此有必要对我国雨淞时空分布进行研究分析。

冻雨在日本的关东平原、加拿大东南部、美国东部等地也多有发生,并被细分为冻雨、冻毛毛雨和冰丸,研究认为它们出现的关键结构是垂直方向上存在热熔层,即逆温结构,降水经过热熔层融化后再经

低于0℃层成为过冷却雨滴(Cortinas et al, 2004; Bernstein, 2000; Rauber et al, 2001; Matsushita and Nishio, 2008),这几个地方均邻海而且纬度较高。我国的雨淞中心区在内陆的中低纬地区,每年均有出现,但引起较大关注和研究热潮是在2008年南方低温雨雪冰冻过程之后,个例分析(丁一汇等, 2008; 孙建华和赵思雄, 2008; 马晓刚, 2009; 胡钰玲等, 2017)和成因研究是两大着眼点,伴随静止锋维持少动存在的锋面逆温是冻雨产生的重要环节(孙建华和赵思雄, 2008; 杨贵名等, 2008; 杜小玲等, 2014; 李登文等, 2009; 陶祖钰等, 2008; 漆梁波, 2012); 中高纬环流引导不断南下的冷空气与南方暖湿气流北上是大范围冻雨和降雪形成并持续在中国南方的必要条件(李崇银等, 2008; 陶诗言和卫捷, 2008; 王东海等, 2008; 杜小玲等, 2012)。2008年的雨雪冰冻过程还伴随着异常的季节内振荡(王阔等, 2012; 马宁等, 2011)。除了直接的锋面表现和环流特征外,赤道中东太平洋海温异常(丁一汇等, 2008; 李崇银等, 2008; 张庆云等, 2008)和北极海冰的年代际转型(牛璐等, 2015)也能通过对环流的影响而影响冻雨或南方雨雪的强度和范围。在2008年的极端气候事件中,降水形式包含了雨、雪、冻雨等多种形态,冻雨或雨淞并未独立研究。此外,也有的研究针对冻雨过程中的电线积冰进行模拟(杜骥等, 2019)。

由于雨淞在中国具有较强的区域性,因而针对雨淞的研究多以局地为主,以贵州和湖南较多。全国范围的雨淞则与雾凇并为冰冻来研究(赵珊珊等, 2010; 王遵娅, 2011),也有的研究冻雨或冰冻(雾凇、雨淞)过程(宗志平等, 2013),主要关注全国雨淞过程的总体状况和成因。雨淞的形成除依赖环流外,与海拔有较大关系,数据处理中表征雨淞日数采用格点数据会平滑掉一些重要特征,在求雨淞日数的空间平均时若包含未出现雨淞的站点,会导致平均值较小、与实况值偏差较大、可比性变弱;每年雨淞日数以冬季为主体涉及跨年问题,以往研究通常采用每年1—12月累计作为当年雨淞日数,雨淞的发生时段采用月为单位而非日,相对粗略;雨淞开始和结束日期的空间分布未有提及。本文采用2426个站点逐日数据,考虑了跨年问题,将重点放在出现雨淞的站点和区域,绘图采用站点形式,并分析了气候

态雨淞初、终日的空间分布,以及雨淞频次、范围的趋势变化。

## 1 资料与方法

本文所用资料是国家气象信息中心整编的1954年1月到2017年12月的2426个站点逐日雨淞资料,已经过基本质量控制。在计算多年平均年雨淞日数时,采用1—12月累计日数作为年雨淞日数。通过数据分析,6—8月全国基本无雨淞出现,9月至次年5月为雨淞出现时段,存在跨年现象,因此计算中将当年雨淞日数记为当年9月至次年5月之间的累计雨淞日数,于是统计年份为1954—2016年共63年。由于建站时间不同,资料长度不一,且存在缺测,本文中若在当年的研究时段内(9月1日至次年5月31日)出现10 d以上缺测,则该站该年资料不计入,若缺测年数达到10年则该站均为缺测,否则纳入计算站点和年份,最大限度保留了可用资料。在计算年时间序列时保留了1954—1960年的资料,在求时间站点平均时,由于1960年以前是站点快速增加的过程,1961年以后站数总体稳定,因此采用的是1961—2016年的资料。本文所用方法有表征变化趋势的倾向值和显著性检验,M-K突变检验等(魏凤英,2007)。

## 2 气候特征

### 2.1 全国雨淞日数空间分布

图1为1961—2017年的多年平均雨淞日数空间分布,从图中可以看到,雨淞主要出现在新疆的天山以北地区和我国103°E以东地区,除天山北侧少数站点平均每年雨淞日数在1 d以上外,黄河以北大都少于1 d。黄河以南地区雨淞日数明显增多,但存在明显的区域分布,年雨淞日数 $\geq 1$  d的站点主要在图1中A、B、C标识的三个方框区域内,这三个区域内1961—2017年平均雨淞日数 $\geq 1$  d的站点共314个站,涵盖了全国377个站的大多数,其中A区34个站,B区203个站,C区77个站。A区为陕甘宁三省(区)交界(33°~38°N、102°~109°E);B区为江西—湖南—贵州—云贵川交界(25°~30°N、102°~117°E);C区为河南—湖北东部(30°~35°N、112°~116°E)。从区域上来看,雨淞频次最高、站点最为

集中是贵州省及云贵川三省交界带,平均每年可达5~50 d;其次是湖南省,平均每年大都在1~8 d;均在B标识区域内。少数相对独立的站点雨淞日数明显高于周边,如四川峨眉山、湖南南岳、安徽黄山等。

图2为图1中雨淞日数 $\geq 1$  d的377个站点的海拔与雨淞日数分布,从单站来看,高雨淞日数站点为雨淞区域内的高海拔高山站点,例如四川的峨眉山海拔是3047 m,雨淞日数为全国最多,年日数近130 d,也是气候态雨淞日数 $\geq 1$  d的海拔最高站点,其周边站点年雨淞日数低于1 d或无雨淞出现,此外,湖南南岳、江西庐山、安徽黄山、甘肃华家岭、河南鸡公山这些高山站也表现为较周边明显多雨淞日数的特点,由此可见,在我国雨淞区域内的高海拔山地较低海拔处容易出现雨淞,海拔500 m以下无雨淞高值站点,500 m、尤其是1000 m以上海拔的站点更容易出现雨淞。雨淞日数还依赖于所处的地理位置及影响该区域的天气或气候系统,贵州境内的雨淞日数与海拔高度的关系最为明显,与当地地理位置和云贵静止锋的影响有关,而我国西部的青藏高原、云南中西部、四川中西部等地区海拔虽高,但几无雨淞出现。

### 2.2 高山代表站雨淞分布特征

参考图2,选取8个海拔较高、雨淞日数较多的高山站点:峨眉山(3047.4 m)、湖南南岳(1265.9 m)、贵州威宁(2237.5 m)、江西庐山(1164.5 m)、安徽黄山(1840.4 m)、河南鸡公山(733.5 m)、甘肃华家岭(2450.6 m)、四川布拖(3045.1 m),分别分析它们的年雨淞日数变化特点和逐日雨淞气候概率。

在选取的8个高山站中,仅峨眉山站的变化比较特殊,其余高山站变化相对一致,为显示清晰,图3展示了6个高山站的年雨淞日数时间序列,可见这6个高山站的年雨淞日数均具有明显的年际变化,周期约为2~4 a。峨眉山站的年雨淞日数为75~167 d,其次是湖南的南岳、贵州的威宁和安徽黄山站,为19~87 d,甘肃华家岭和四川布拖日数更少。除峨眉山站有明显减少趋势以外,其余高山站的趋势性变化并不明显,峨眉山站的减少趋势在20世纪末开始出现,1961—1994年的均值为141 d,而1994—2016年的均值仅为106 d,并在2013年出现最低值(75 d)。

图4是8个高山站1961—1986年、1987—2016年

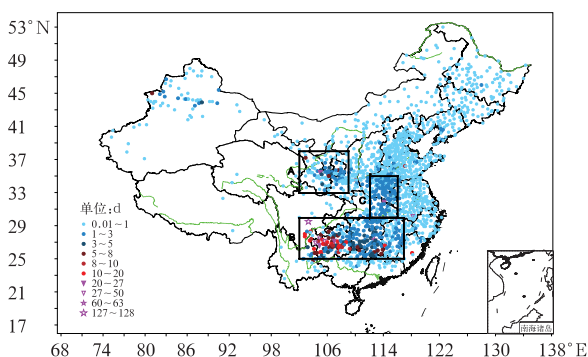


图1 1961—2017年中国气候  
态年雨淞日数分布

Fig. 1 Climatic annual glaze days  
over China in 1961—2017

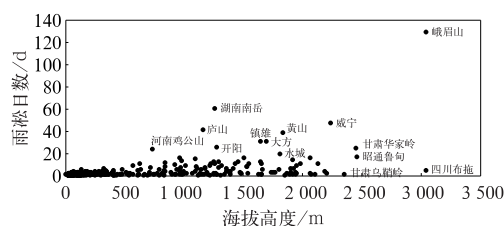


图2 1961—2017年全国年平均雨淞日数 $\geq 1$  d 站点  
(377个站)的海拔与雨淞日数分布

Fig. 2 The altitude and annual glaze days at  
stations with annual glaze days  $\geq 1$  d  
in 1961—2017 (377 stations)

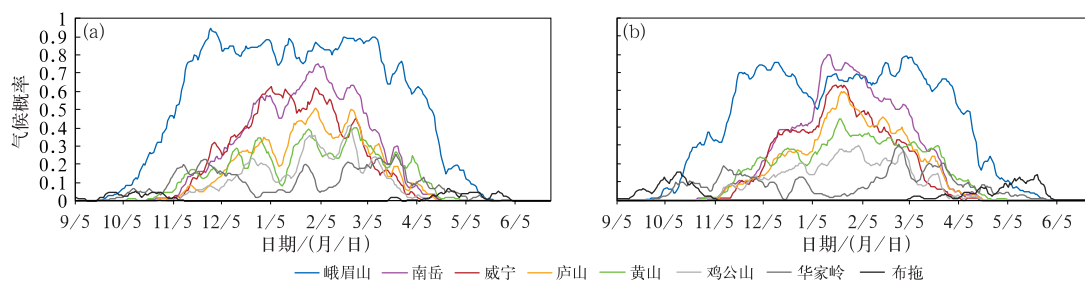


图4 1961—1986年(a)和1987—2016年(b)高山站逐日雨淞气候概率

Fig. 4 Time series of climatic daily glaze probability in 1961—1986 (a)  
and 1987—2016 (b) at mountain stations

## 2.3 雨淞开始和结束日期

### 2.3.1 开始日期

从图1中选取多年平均年雨淞日数 $\geq 1$  d的站点(共377个),由于1961年之前的站数较少,选取1961—2016年计算平均雨淞开始日期(无雨淞年不计入),由图5a可见,雨淞从10月20日至次年2月2日陆续开始,开始时间最早的是四川峨眉山和甘肃华家岭(10月下旬开始出现),前者海拔为3047 m,后

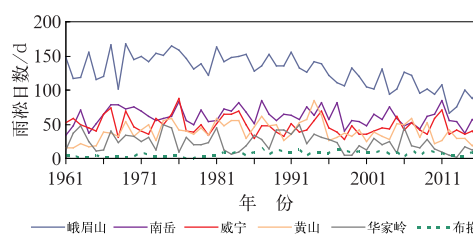


图3 1961—2016年高山站雨淞日数时间序列

Fig. 3 Time series of the number of glaze  
days at mountain stations in 1961—2016

期间的雨淞日数气候概率,由图可见,峨眉山站概率值明显高于其他高山站点,11月中旬至次年3月中旬,1961—1986年期间概率值稳定在0.74~0.95的高位,1987—2016年期间概率值相对之前26年的小,为0.5~0.78,其中1月5日是概率为0.5的谷值。南岳、威宁、庐山、黄山的概率总体变化一致,前26年的12月28日至次年2月28日为多峰值特征,而后30年表现为1月中下旬的一个主概率峰值特征。除峨眉山站外,以南岳和威宁的概率值最大,后30年甚至在1月6日至次年2月5日期间超过峨眉山的气候概率。四川布拖的雨淞气候概率表现为两端多中间无,在10月和4、5月有雨淞出现,深秋到冬季反而没有出现。

者海拔为2451 m;其次有7个站在11月开始出现雨淞,其中新疆3个站、甘肃1个站,其余3个南方站点均为海拔较高的高山站,分别是安徽黄山、湖南南岳、贵州威宁。12月开始的站点中,除了少数比较分散的站点外,主要集中在新疆北部、陕甘宁三省(区)交界处、贵州西北部及云贵川三省交界处。我国雨淞开始的时间,主要集中在1月上中旬,也是隆冬开始的时节,河南、湖北、江西、湖南、贵州中东部的雨淞大多于这段时间开始出现。

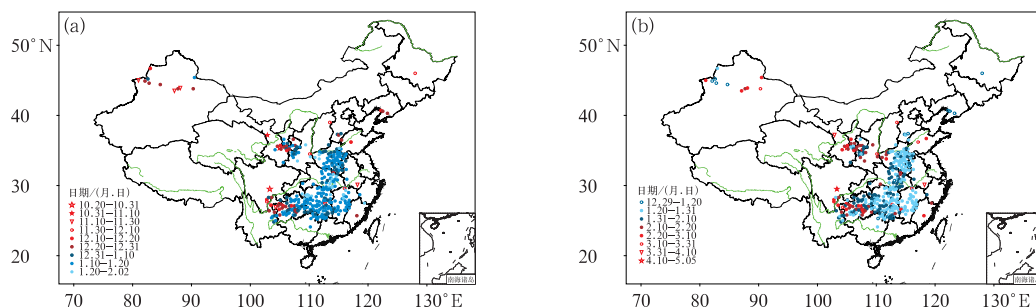


图 5 全国年雨淞日数 $\geq 1$  d 站点(377 个站)气候态雨淞开始日期(a)和结束日期(b)

Fig. 5 Climatic onset (a) and end (b) dates at stations with annual glaze days  $\geq 1$  d (377 stations)

### 2.3.2 结束日期

与开始日期同样地,计算各站点的 1961—2016 年平均雨淞结束日期(无雨淞年不计入),由图 5b 可见,雨淞从 12 月 29 日至次年 5 月 5 日陆续结束,结束时间最晚的四川峨眉山和甘肃华家岭于 4 月中下旬或 5 月初才结束。大部分站点在 1 月下旬至 2 月上旬结束。陕甘宁三省(区)交界、贵州中部及云贵川交界一带基本在 2 月中旬到 3 月上旬结束。如南岳、黄山、泰山等分散的高海拔站点 3 月中旬到 4 月上旬结束。在新疆、东北的 8 个北方站点,雨淞开始时间早,结束时间也早,1 月中旬雨淞就结束了。雨淞结束时间最晚的南方站点是贵州省西北部威宁的 3 月中下旬,其海拔为 2238 m,位于 27°N。

## 2.4 年内逐日概率分布

图 6 为三个主要雨淞区(如图 1 方框所示)内 1961—2017 年平均雨淞日数 $>1$  d 的站点的雨淞逐日气候概率,区域雨淞气候概率指的是当日出现的雨淞累计站数(每年当日雨淞站数累加)与该日总站次(区域内站数乘以总年数)的比值,最大值为 1。分三个年代段来分析逐日雨淞的气候概率:1961—2016 年、1961—1986 年、1987—2016 年,其中 2007 年冬季即 2008 年 1—2 月出现的雨淞过程较极端,尽管对这一年冰冻雨雪的研究较多,鉴于并未将雨淞单独列出,本文将该年单独列出与气候状态比较。雨淞集中出现在冬半年,因此时间选取从 9 月 1 日至次年的 5 月 31 日,并进行了 7 d 滑动平均处理。

图 6a 为 A 区陕甘宁区域(共取 34 个站)的逐日雨淞气候概率,从 9 月至次年 5 月,呈多峰值型分布,1961—2016 年与 1961—1986 年两条线变化较一致,分别存在四个峰值,以 1 月下旬至 3 月下旬期

间概率最大,即 1961—1986 年的 0.07;这种多峰值特点可能是因为该区域内雨淞日数的基数较小,概率体现的是个别多雨淞年份的阶段特征。该区域逐日雨淞气候概率具有明显的年代际特征,主要表现在峰值时段的 1 月下旬至 3 月下旬,1961—1986 年的 26 年期间雨淞出现概率基本大于 0.02,有四个峰值,而 1987—2016 年的 30 年期间基本低于 0.02,在 2 月上旬至 3 月下旬有两个峰值。

图 6c 为 C 区河南至湖北东部(共取 77 个站)的逐日雨淞气候概率,亦呈多峰值特征,其雨淞出现时段在三个区域中最短,在 11 月 6 日至次年 3 月 27 日期间,概率最大值是出现在 1961—1986 年期间 1 月下旬的 0.07。1961—2016 年期间前 26 年的雨淞概率明显高于后 30 年。

图 6b 为 B 区江西—湖南—贵州—云贵川交界(共取 203 个站)的逐日雨淞气候概率,可见三个区域中该区域范围最大,单峰型最明显,雨淞概率峰值在 1 月中旬至 2 月上旬期间,约为 0.16。1961—1986 年与 1987—2016 年的雨淞概率对比,开始和结束时间基本一致,时间分别在 10 月中旬和 5 月上旬。前 26 年期间的雨淞概率呈现两个峰值,主峰值为 1 月 31 日的 0.16,次峰值为 2 月 22 日的 0.09;后 30 年期间雨淞概率呈单峰型,峰值为 1 月 23 日的 0.1。可见后 30 年雨淞的频次及影响时间范围明显减弱。

图 6d 在图 6b 的基础上去掉 1961—2016 年期间的概率线,叠加了同区域站点 2007 年冬季(即 2008 年初雨淞概率),对于一年的区域气候概率而言,主要反映的是雨淞发生范围占比。对比可见,2008 年初雨淞影响范围和强度在 1 月中旬至 2 月中旬期间显著高于多年平均值,体现出较强的极端

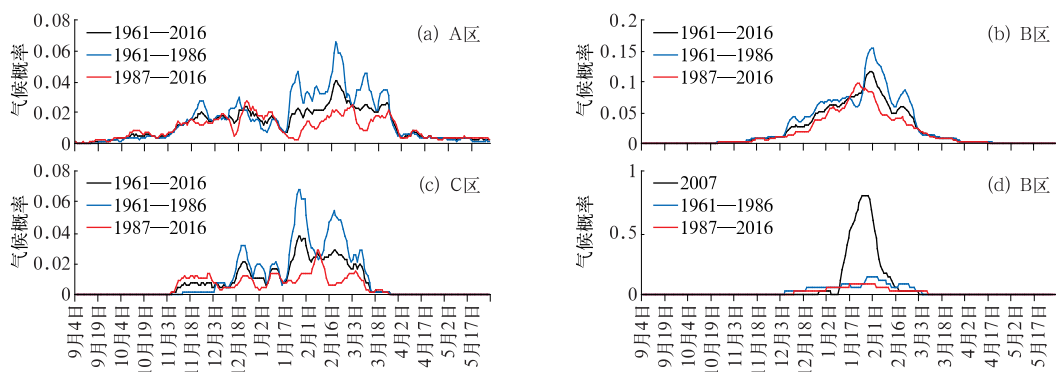


图6 三个主雨淞区(a,b,c)内气候态雨淞日数 $\geq 1$  d的站点在不同年代的逐日雨淞气候概率以及(d)在B区上叠加了2007年冬至2008年初雨淞发生范围概率

Fig. 6 Time series of climatic daily glaze probability in 1961—2016 over three main glaze zones (a, b, c) and for a superposition of 2007 over zone B (d)

性。2008年1月9—24日(16 d),雨淞范围迅速扩大;1月25—30日的高峰期间出现雨淞的站数占到了该区域的80%;1月31日至2月16日(17 d)雨淞范围快速缩小,整个区域而言此次过程的持续时间从1月9日至2月16日,2月16日以后雨淞范围仅限于少数站点。

### 3 变化特征

#### 3.1 空间趋势变化

图7为1961—2016年雨淞日数倾向值的空间分布,计算方法见魏凤英(2007)。如图所示,除了少数站点呈未通过显著性水平检验的增加趋势以外,全国的雨淞日数整体呈减少趋势,减少显著的区域分布在陕甘宁三省(区)交界、河南、湖北东部、湖南西南部、贵州北部以及云贵川交界,倾向值为 $-1\sim 0$ ,

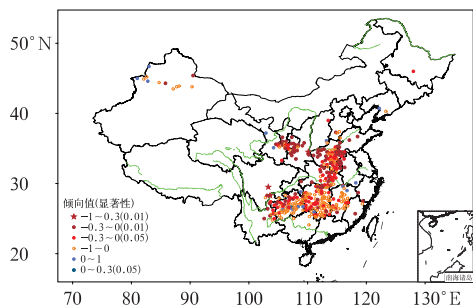


图7 1961—2016年雨淞日数倾向值的空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of the linear trend of glaze days over China in 1961—2016

大部分通过了0.01的显著性水平检验,少部分通过了0.05的显著性水平检验;此外,在贵州中部、湖南东部、以及江西亦为减少趋势,但趋势不明显。高海拔站点的趋势变化上,以峨眉山为代表的庐山、南岳、泰山、武夷山等均为减少趋势,其中峨眉山减少最明显,黄山的雨淞日数为增加趋势,但未通过显著性水平检验。

#### 3.2 主雨淞区雨淞日数的年变化

图8为图1所示三个区域1954—2016年逐年平均单站雨淞日数。如图8a可见,在陕甘宁三省(区)交界区域,1993年之前雨淞日数处在偏多阶段,一半以上年份的雨淞日数多于63年平均,1993年之后均低于3.4 d的多年平均;图8c为河南至湖北区域,主要差别在1979年之前和之后,1979年之前最高和次高值分别可达12.1和8.6 d,而1979年之后,有20年不足1 d,最多的2005年也仅为4.1 d。

图8b和8d分别为贵州—湖南主雨淞区域雨淞日数的时间序列和其对应的M-K曲线,可见,2007年为该区域1954年以来雨淞日数的次高值,平均的单站日数达到17.1 d,最高值为1954年的19.4 d,第三、第四高值是1976年的16 d、1968年的14.3 d。历史最少年是2016年,仅为1.3 d。贵州—湖南主雨淞区域的雨淞日数具有明显的年代际、年际和趋势变化,1963—1984年为年代际雨淞偏多阶段,并有明显2~3 a的年际变化,大值为8.2~19.4 d,小值为2.4~6.4 d;1985—2006年为年代际雨淞日数偏少阶段,大值为4.4~8.4 d,低值为1.7~3.4 d。

1956—1962 年以及 2010—2016 年分别为持续减少阶段。从时间演变上来看,对图 8b 的时间序列做 M-K 检验可见,1990 年为突变时间节点,之后为减少阶段,1998—2016 年通过了 0.05 显著性水平检验。

### 3.3 历年雨淞范围及起止日期变化

图 9 是 1961—2016 年雨淞发生站数和平均起止日期变化,其中图 9a 为全国区域,图 9b~9d 为图 1 中所示 A、B、C 区域,除去少数年份缺测的站

点,用于计算的全国和三个区域的站数分别是 1756、28、183、70 个。由图可见全国和三个区的雨淞起止日期均有较一致的变化,即开始早则结束早,开始晚则结束也晚,并且无明显年代际变化;全国平均的雨淞开始日为 1 月 6 日,结束日为 1 月 31 日;陕甘宁主雨淞区的平均开始日期为 12 月 24 日,结束时间为 2 月 18 日(图 9b);贵州、湖南主雨淞区的平均开始日期为 1 月 6 日,结束时间为 2 月 7 日(图 9c);河南、湖北主雨淞区的平均开始日期为 1 月 11 日,结束时间为 1 月 29 日,为三个区域中雨淞持续时间

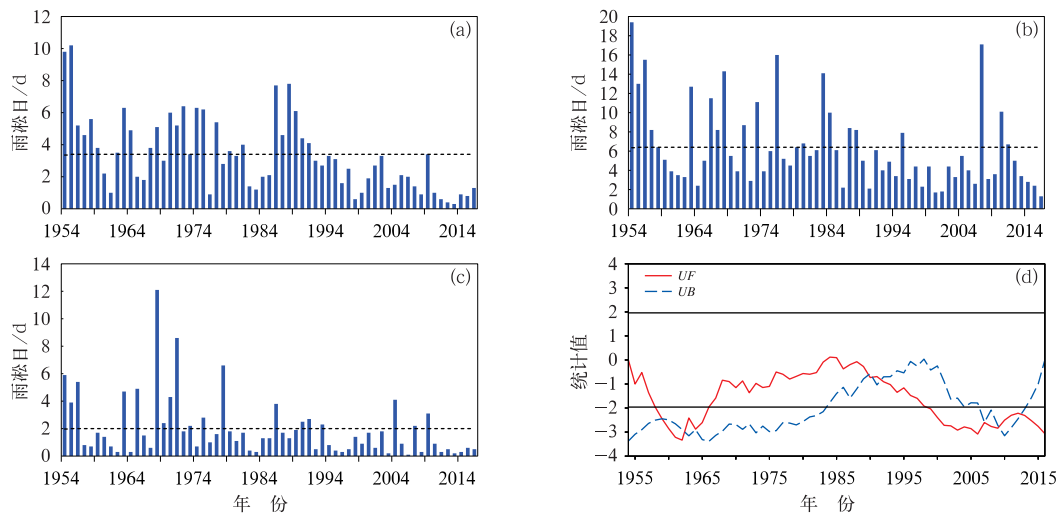


图 8 1954—2016 年三个主雨淞区(a,b,c)平均单站雨淞日数及图 8b 对应的 M-K 曲线(d)

Fig. 8 Time series of the averaged number of glaze days at stations over three main glaze zones in 1954—2016 (a,b,c) and the M-K curve in Fig. 8b (d)

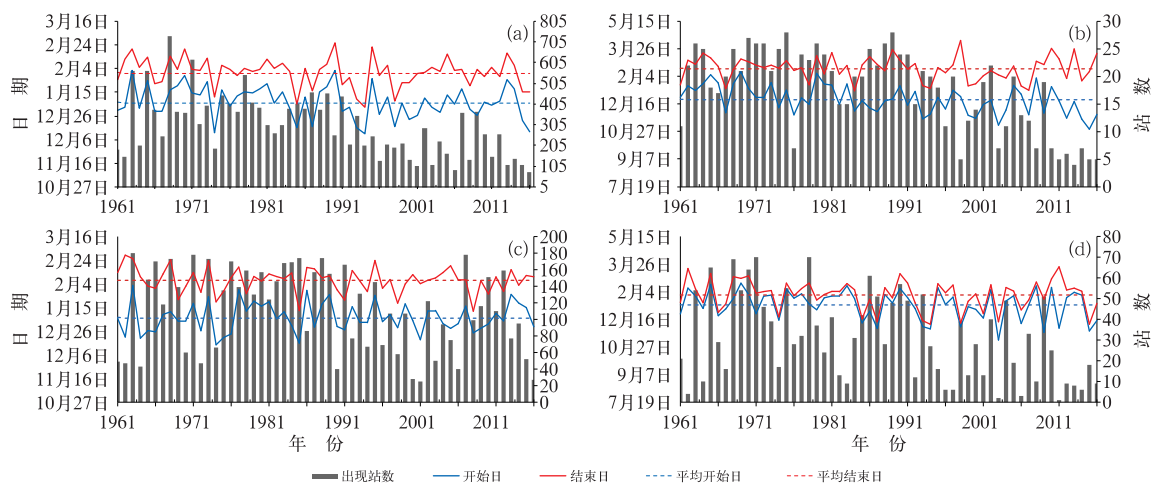


图 9 1961—2016 年雨淞范围和起止日期时间序列

(a) 全国, (b, c, d) 三个主雨淞区

Fig. 9 Time series of station number with glaze range, and onset and end dates of glaze in 1961—2016 over China (a) and three main glaze zones (b, c, d)

最短(图 9d)。从发生站数上来看,全国范围内雨淞发生站数最多的是 1968 年的 731 个站,其次是 1971 年的 620 个站,最少的是 2016 年的 79 个站;1961—1990 年期间是雨淞发生站数偏多阶段,1991 年以后站数明显减少,其间最多的 2009 年仅 369 个站发生雨淞。A 区(图 9b)在 1991 年之前雨淞发生站数大多维持在 15~25 个站,1991 年以后趋势性减少,尤其 2011—2016 年维持近 56 年来的低值,每年仅 5~7 个站出现雨淞;B 区(图 9c)在 1991 年以后的站数减少不似全国明显,虽然在 1991—2006 年期间为相对少的阶段,但 2007—2014 年站数又处在相对多的阶段,2007 年的 164 个站仅较最多年份 1963 年的 167 个站略少,说明我国 1990 年以后雨淞发生范围变小的区域在贵州和湖南两省以外的地区更明显;C 区(图 9d)年雨淞发生站数年际变化较大,有的年份雨淞发生站数仅 9~24 个站,有的年份,达到 69、70 个站,1991 年之后这种特征仍然维持,但偏多的年份以及出现的站数较之前明显减少。2011—2016 年维持近 56 年来的低值,6 年中有 5 年低于 10 个站。

## 4 结 论

基于 1954—2017 年中国 2426 个台站的日雨淞资料分析了中国雨淞日数的气候及变化特征,得到以下主要结论:

(1)雨淞在新疆和我国 103°E 以东的大部分地区均有出现,主要区域有三个,分别是陕甘宁三省(区)交界、从北向南的河南—湖北东部、从东向西的江西—湖南—贵州—云贵川交界,第三个是中心区,平均每年雨淞日数可达 5~50 d。以上雨淞区域中黄河以南海拔 500 m、尤其是 1000 m 以上站点的雨淞日数易多,尤以海拔 3047 m 的峨眉山雨淞日数全国最多,年日数约为 128 d,贵州境内的雨淞日数与海拔高度的关系最为明显。雨淞日数主要还依赖于地理位置和环流影响,青藏高原等地海拔虽高,却基本无雨淞。

(2)我国雨淞主要出现在 10 月中旬至次年 5 月上旬,呈峰值型分布,并有明显的年代际特征,1961—2016 年间,前 26 年的雨淞逐日雨淞概率均高于后 30 年;出现时间最早和结束最晚的是峨眉山。我国雨淞开始的时间主要集中在隆冬开始时节 1 月中旬,大部分站点在 1 月下旬至 2 月上旬结

束,陕甘宁三省(区)交界、贵州及云贵川交界一带基本在 2 月中旬到 3 月上旬之间结束。在新疆、东北的北方站点,雨淞开始早,结束也早,1 月中旬雨淞就结束了。

(3)1961—2016 年全国雨淞日数整体呈减少趋势,显著减少区域在陕甘宁三省(区)交界、河南、湖北东部、湖南中东部、贵州北部以及云贵川交界。南方主雨淞区域年平均单站雨淞日数为 1.3~19.4 d,1963—1984 年为日数偏多阶段,1956—1962 年以及 2010—2016 年分别为持续减少阶段,除年代际变化外,还有 2~3 年的年际变化。1990 年为突变时间节点,1998—2016 年为减少阶段(通过了 0.05 的显著性水平检验)。全国雨淞发生站数最多的 1968 年共出现 731 个站,最少的 2016 年为 79 个站;1990 年以后雨淞范围明显减少,减少明显的区域在贵州和湖南两省以外的地区。

## 参考文献

- 丁一汇,王遵娅,宋亚芳,等,2008. 中国南方 2008 年 1 月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其与气候变暖的关系[J]. 气象学报, 66(5): 808-825. Ding Y H, Wang Z Y, Song Y F, et al, 2008. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with the global warming[J]. Acta Meteor Sin, 66(5): 808-825(in Chinese).
- 杜骅,周宁,韩永翔,等,2019. 河南省一次冻雨过程中电线积冰厚度模拟[J]. 气象, 45(5): 641-650. Du S, Zhou N, Han Y X, et al, 2019. Simulation of wire ice thickness during a freezing rain process in Henan Province[J]. Meteor Mon, 45(5): 641-650(in Chinese).
- 杜小玲,高守亭,彭芳,2014. 2011 年初贵州持续低温雨雪冰冻天气成因研究[J]. 大气科学, 38(1): 61-72. Du X L, Gao S T, Peng F, 2014. Study of the 2011 freezing rain and snow storm in Guizhou[J]. Chin J Atmos Sci, 38(1): 61-72(in Chinese).
- 杜小玲,高守亭,许可,等,2012. 中高纬阻塞环流背景下贵州强冻雨特征及概念模型研究[J]. 暴雨灾害, 31(1): 15-22. Du X L, Gao S T, Xu K, et al, 2012. Study on the synoptic features of strong freezing rain with blocking pattern in Guizhou and conceptual model[J]. Torr Rain Dis, 31(1): 15-22(in Chinese).
- 胡钰玲,赵中军,康彩燕,等,2017. 中国南方 2008 年与 2016 年两次低温雨雪冰冻天气过程对比分析[J]. 冰川冻土, 39(6): 1180-1191. Hu Y L, Zhao Z J, Kang C Y, et al, 2017. A comparative study of the two weather processes with cold and snowing in southern China in 2008 and 2016[J]. J Glaciol Geocryol, 39(6): 1180-1191(in Chinese).
- 李崇银,杨辉,顾薇,2008. 中国南方雨雪冰冻异常天气原因的分析[J]. 气候与环境研究, 13(2): 113-122. Li C Y, Yang H, Gu W, 2008. Cause of severe weather with cold air, freezing rain and snow over south China in January 2008[J]. Climatic Environ

- Res, 13(2): 113-122 (in Chinese).
- 李登文, 乔琪, 魏涛, 2009. 2008 年初我国南方冻雨雪天气环流及垂直结构分析[J]. 高原气象, 28(5): 1140-1148. Li D W, Qiao Q, Wei T, 2009. Analyses on the freezing rain and snow weather circulation and vertical structure of southern China in early 2008 [J]. Plateau Meteor, 28(5): 1140-1148 (in Chinese).
- 马宁, 李跃凤, 据建华, 2011. 2008 年初中国南方低温雨雪冰冻天气的季节内振荡特征[J]. 高原气象, 30(2): 318-327. Ma N, Li Y F, Ju J H, 2011. Intraseasonal oscillation characteristics of extreme cold, snowy and freezing rainy weather in southern China in early 2008 [J]. Plateau Meteor, 30(2): 318-327 (in Chinese).
- 马晓刚, 2009. 2008 年 1 月我国南方罕见冰冻雨雪灾害性天气诊断分析[J]. 气象与环境学报, 25(1): 23-26. Ma X G, 2009. Diagnosis of catastrophic freezing rain and sleet in January 2008 in the southern China [J]. J Meteor Environ, 25(1): 23-26 (in Chinese).
- 牛璐, 黄菲, 周晓, 2015. 北极海冰的年代际转型与中国冻雨年代际变化的关系[J]. 海洋学报, 37(11): 105-117. Niu L, Huang F, Zhou X, 2015. Decadal regime shift of Arctic sea ice and associated decadal variability of Chinese freezing rain [J]. Acta Oceanol Sin, 37(11): 105-117 (in Chinese).
- 漆梁波, 2012. 我国冬季冻雨和冰粒天气的形成机制及预报着眼点[J]. 气象, 38(7): 769-778. Qi L B, 2012. Formation mechanism and forecast on freezing rain and ice pellet in winter of China [J]. Meteor Mon, 38(7): 769-778 (in Chinese).
- 孙建华, 赵思雄, 2008. 2008 年初南方雨雪冰冻灾害天气静止锋与层结结构分析[J]. 气候与环境研究, 13(4): 368-384. Sun J H, Zhao S X, 2008. Quasi-stationary front and stratification structure of the freezing rain and snow storm over southern China in January 2008 [J]. Climatic Environ Res, 13(4): 368-384 (in Chinese).
- 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, 13(4): 337-350. Tao S Y, Wei J, 2008. Severe snow and freezing-rain in January 2008 in the southern China [J]. Climatic Environ Res, 13(4): 337-350 (in Chinese).
- 陶祖钰, 郑永光, 张小玲, 2008. 2008 年初冰雪灾害和华南准静止锋[J]. 气象学报, 66(5): 850-854. Tao Z Y, Zheng Y G, Zhang X L, 2008. Southern China quasi-stationary front during ice-snow disaster of January 2008 [J]. Acta Meteor Sin, 66(5): 850-854 (in Chinese).
- 王东海, 柳崇健, 刘英, 等, 2008. 2008 年 1 月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析[J]. 气象学报, 66(3): 405-422. Wang D H, Liu C J, Liu Y, et al, 2008. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over the Southern China in January 2008 [J]. Acta Meteor Sin, 66(3): 405-422 (in Chinese).
- 王阔, 封国林, 孙树鹏, 等, 2012. 基于 2008 年 1 月中国南方低温雨雪冰冻事件 10~30 天延伸期稳定分量的研究[J]. 物理学报, 61(10): 109201. Wang K, Feng G L, Sun S P, et al, 2012. Study of the stable components in extended-range forecasting for the coming 10-30 days during the snow storm event in January 2008 [J]. Acta Phys Sin, 61(10): 109201 (in Chinese).
- 汪卫平, 杨修群, 张祖强, 等, 2017. 中国雨日数的气候特征及趋势变化[J]. 气象科学, 37(3): 317-328. Wang W P, Yang X Q, Zhang Z Q, et al, 2017. The climatic characteristics and trends of rainy days over China [J]. J Meteor Sci, 37(3): 317-328 (in Chinese).
- 王遵娅, 2011. 中国冰冻日数的气候及变化特征分析[J]. 大气科学, 35(3): 411-421. Wang Z Y, 2011. Climatic characters and changes of ice-freezing days in China [J]. Chin J Atmos Sci, 35(3): 411-421 (in Chinese).
- 魏凤英, 2007. 现代气候统计诊断与预测技术: 第 2 版 [M]. 北京: 气象出版社: 37-39, 63-66. Wei F Y, 2007. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology [M]. Beijing: China Meteorological Press: 37-39, 63-66 (in Chinese).
- 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 G M, Kong Q, Mao D Y, et al, 2008. Analysis of the long-lasting cryogenic freezing rain and snow weather in the beginning of 2008 [J]. Acta Meteor Sin, 66(5): 836-849 (in Chinese).
- 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 Q Y, Xuan S L, Peng J B, 2008. Relationship between Asian circulation in the middle-high latitude and snowfall over South China during La Niña events [J]. Climatic Environ Res, 13(4): 385-394 (in Chinese).
- 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 S S, Gao G, Zhang Q, et al, 2010. Climate characteristics of freezing weather in China [J]. Meteor Mon, 36(3): 34-38 (in Chinese).
- 宗志平, 马杰, 张恒德, 等, 2013. 近几十年来冻雨时空分布特征分析[J]. 气象, 39(7): 813-820. Zong Z P, Ma J, Zhang H D, et al, 2013. Analysis on the spatial-temporal characteristics of freezing rain in recent decades [J]. Meteor Mon, 39(7): 813-820 (in Chinese).
- Bernstein B C, 2000. Regional and local influences on freezing drizzle, freezing rain, and ice pellet events [J]. Wea Forecasting, 15(5): 485-508.
- Cortinas J V Jr, Bernstein B C, Robbins C C, et al, 2004. An analysis of freezing rain, freezing drizzle, and ice pellets across the United States and Canada, 1976-90 [J]. Wea Forecasting, 19(2): 377-390.
- Matsushita H, Nishio F, 2008. A simple method of discriminating between occurrences of freezing rain and ice pellets in the Kanto Plain, Japan [J]. J Meteor Soc Jpn, 86(5): 633-648.
- Rauber R M, Olthoff L S, Ramamurthy M K, et al, 2001. A synoptic weather pattern and sounding-based climatology of freezing precipitation in the United States East of the Rocky Mountains [J]. J Appl Meteor, 40(10): 1724-1747.