

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 Zunya. 2011. Climatic characters and changes of ice-freezing days in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (3): 411–421.

中国冰冻日数的气候及变化特征分析

王遵娅

国家气候中心, 北京 100081

摘 要 利用 1954~2009 年中国台站雨淞和雾淞日数统计分析了我国冰冻日数的气候及变化特征。我国的冰冻主要出现在新疆、西北东部、内蒙古东部、东北、华北、淮河流域及江南一带, 年均冰冻日数一般有 1~5 天, 5 天以上的重冰区主要分布在新疆北部、陕西南部、东北中部、华北东部、秦岭、云南东北部、贵州等地。雨淞大都出现在我国南方地区, 而雾淞主要出现在我国北方地区。冰冻主要发生在 11 月至次年 3 月, 尤其是冬季。中国冰冻、雨淞和雾淞日数在 1954~2009 年间出现了显著减少的变化趋势, 并在 1990 年代初突变减少, 雾淞的减少趋势较雨淞明显。中国冰冻、雨淞和雾淞日数的减少与气温的显著上升及相对湿度和风速的显著减小关系密切。另外, 冰冻(雨淞、雾淞)日数与亚洲极涡的面积和强度, 乌拉尔山和贝加尔湖阻塞高压的强度及西太平洋副高的面积、强度和位置均具有显著的相关关系。1954–2009 年间, 亚洲极涡面积显著减小且强度减弱, 乌拉尔山和贝加尔湖阻塞高压显著增强, 西太平洋副高面积缩小、强度减弱并明显西伸。这些变化可能引起了我国冰冻(雨淞、雾淞)日数的大幅减少。

关键词 冰冻 雨淞 雾淞 变化趋势 大气环流指数

文章编号 1006–9895 (2011) 03–0411–11

中图分类号 P461

文献标识码 A

Climatic Characters and Changes of Ice-Freezing Days in China

WANG Zunya

National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract Climatic characters and changes of ice-freezing days in China are analyzed based on the daily rime and glaze observational dataset at 743 stations in China from 1954 to 2009. It is found that ice-freezing occurs mainly in Xinjiang, eastern Northwest China, eastern Inner Mongolia, Northeast China, North China, the Huaihe River valley and the region to the south of the Yangtze River, with the rime being almost in the southern part of China while the glaze in the northern part. Annual ice-freezing day generally ranges from 1 to 5 days and heavy ice-freezing regions scatter in northern Xinjiang, southern Shannxi, central Northeast China, eastern North China, Qinling mountain range, northeastern Yunnan, Guizhou, and so on. During 1954 to 2009, the ice-freezing days show a significant decreasing trend and an abrupt change point is observed in the early 1990s, with the decreasing amplitude of rime days greater than that of glaze days. This decrease in ice-freezing days has close relevance with the obvious increase in the temperature and decrease in the relative humidity and the wind speed. Additionally, the ice-freezing days are closely related to the extent and intensity of Asian polar vortex, the intensity of the Ural blocking high and the Baykal blocking high, as well as the extent, intensity and location of the western Pacific subtropical high. Further, during 1954–2009, the extent and the intensity of Asian polar vortex decreased, and the Ural and Baykal blocking

highs intensified, the extent and the intensity of the western Pacific subtropical high decreased while the subtropical high shifted more westward. These changes in general circulation may cause the significant decrease in ice-freezing (glaze, rime) days in China.

Key words ice-freezing, glaze, rime, climatic character, changing trend

1 引言

2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日我国大部尤其是南方地区遭受了历史罕见的低温雨雪冰冻灾害。持续而大范围的冰冻天气使贵州、湖南、广西、云南等省的输电线网受到沉重打击, 对社会和人民生活造成了巨大损害 (王遵娅等, 2008; 王凌等, 2008), 引起了各方学者的关注, 对其产生原因进行了多方面的研究 (陶诗言和卫捷, 2008; 丁一汇等, 2008; 李崇银等, 2008; 陶祖钰等, 2008; 张庆云等, 2008; Wen et al., 2009; 谭桂荣等, 2010)。随着电力、通讯网络的快速发展, 冰冻作为一种重要气象灾害对我国社会经济的影响越来越大, 因而有必要对冰冻的气候及变化特征, 其产生原因、机理和影响进行更为深入的研究, 以便为防灾减灾提供依据和参考。

前人的一些研究表明, 冰冻现象主要由雨淞、雾淞、湿雪冻结等天气状况造成 (Makkonen, 2000)。中国大部地区的冰冻天气以雨淞和雾淞为主, 这在我国云、贵、川、粤北等地区是较为常见的, 尤其是在严冬和初春季节 (谭冠日等, 1985; 王守礼, 1993)。20 世纪 90 年代初, 张家诚 (1991) 对中国雨淞和雾淞的分布特征进行统计发现, 中国年平均雨淞日数在南方较北方多, 雾淞日数北方多于南方, 雨淞和雾淞都是潮湿地区较干旱地区多, 山区比平原多。湖南省冰区分布与山地走向一致, 从 20 世纪 70 年代起冰冻天气的频次和强度都有减小趋势 (李军等, 2004); 贵州省冰冻日数从西向东、从中部向南北两侧递减, 20 世纪 80 年代开始冰冻日数逐年减少 (杨利群, 1999; 张宇发, 1999); 三峡地区是我国典型的雾淞覆冰区, 海拔高度超过 800 m 的垭口及风口覆冰特别严重 (蒋兴良等, 1998)。最近, 赵珊珊等 (2010) 的研究表明, 我国大部地区冰冻天气发生频次减少而强度增强。

由于冰冻天气在中国的分布具有较强的区域性特征, 因而针对冰冻天气的研究也多以局地分析为主, 缺乏对中国冰冻天气分布及变化特征等的全面

了解。针对这个问题, 本文将对我国雨淞和雾淞的空间分布及不同时间尺度的变率进行较为全面和细致的分析。

2 资料和方法

本文主要利用中国 743 站雨淞和雾淞的天气现象资料, 时间长度为 1954~2009 年。该资料由国家气象信息中心整编, 进行了初步的质量控制, 在计算之前, 我们还对资料长度短于 30 年的站点进行了剔除, 最终利用 699 个站点的资料进行本文的分析。分析中, 若某站某日有雨淞或雾淞发生, 则定义该日为一个冰冻日。

本文所用的分析方法包括线性趋势分析、小波分析、相关分析等。

3 气候特征

图 1 显示了中国年冰冻日数的气候平均值 (1971~2000 年平均, 下同), 从图中可以看到, 四川东部、云南大部、广东南部、广西南部、海南等地为无冰区, 经统计共有 142 站; 年平均冰冻日数在 1 天以下的少冰区主要分布在内蒙古西部和东南部、青海大部、西藏东南部、广东北部、广西北部、长江三角洲等地, 共 181 站; 年冰冻日数在 1 天以上的站点分布在新疆、西北东部、内蒙古东部、东北、华北、淮河流域及江南一带, 其中冰冻日数在 1~5 天的站点最多, 有 227 站, 5~10 天, 10~30 天和 30 天以上的站点数分别有 51、45 和 23 站, 主要分布在新疆北部、陕西南部、东北中部、华北东部、秦岭、云南东北部、贵州等地, 大部分的重冰区, 尤其是年冰冻日数在 30 天以上的站点都分布在海拔较高的山地区域。统计发现, 全国有 51.7% 的站点平均每年会出现 1 天以上的冰冻, 其中年均冰冻日数在 5 天以上的站点占全国总站数的 17.7%; 而 48.3% 的站点无冰或少冰。

为了进一步了解雨淞和雾淞各自的分布特点, 我们对我国各站的年均雨淞和雾淞日数进行了分析。如图 2 所示, 中国大部地区都没有或基本没有

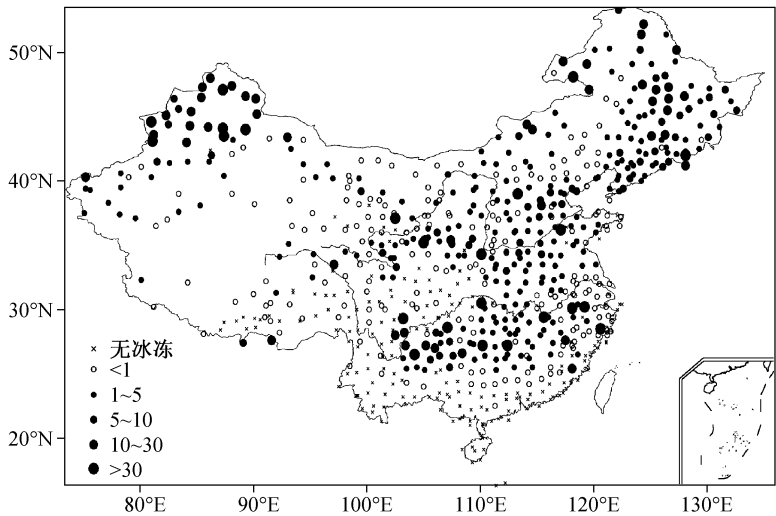


图 1 中国年冰冻日数 (单位: d)
Fig. 1 Distribution of annual ice-freezing days at each station of China (units: d)

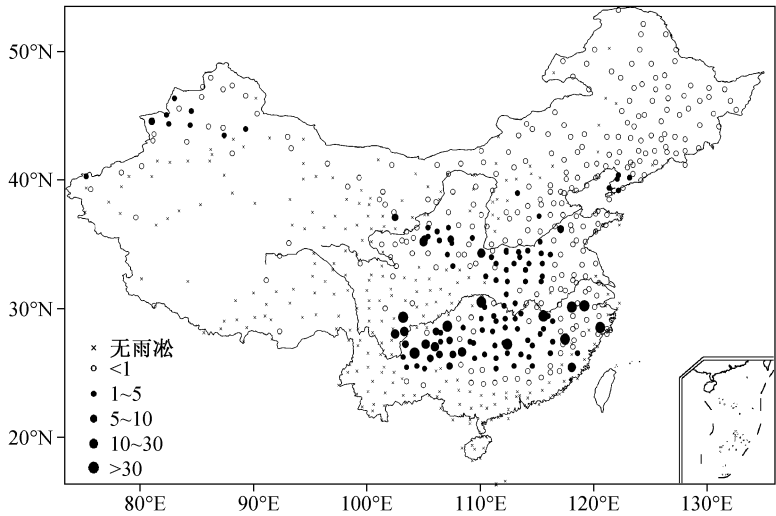


图 2 中国年雨淞日数 (单位: d)
Fig. 2 Distribution of annual glaze days at each station of China (units: d)

雨淞发生,其中无雨淞站点 272 个,年均雨淞日数在 1 天以下的站点 279 个;而年均雨淞日数在 1 天以上的站点 118 个,仅占全国总站数的 17.6%,主要分布在我国南方地区,尤其是长江以南一带,包括云南、贵州、江西、湖南、浙江、福建等省。而我国北方地区偶发雨淞,仅在新疆西北部 and 辽宁南部部分站点的年均雨淞日数在 1 天以上。另外,秦岭山区、湖北、河南等地的年均雨淞日数也有 1~5 天。值得注意的是,中国年均雨淞日数在 5 天以上的站点仅 30 站,集中分布在云南东北部和贵州等地。

对雾淞而言,在进行统计的 669 站中,有 269 个站点的年均雾淞日数在 1 天以上,占 40.2%,主要分布在长江以北地区,包括新疆、东北、华北东部、淮河流域、秦岭山区等地(图 3),且雾淞日数在 5 天以上的站点共 99 站,占统计总站数的 14.8%,集中在新疆北部、东北中部、华北东部、秦岭山区一带,而长江以南地区仅个别站点出现雾淞,年均雾淞日数均在 30 天以上,其余大部分站点没有雾淞发生或年均雾淞日数在 1 天以下。

图 4 显示了中国各站海拔高度与冰冻日数的关系,可以清楚地看到,冰冻日数在 20 天以上的站

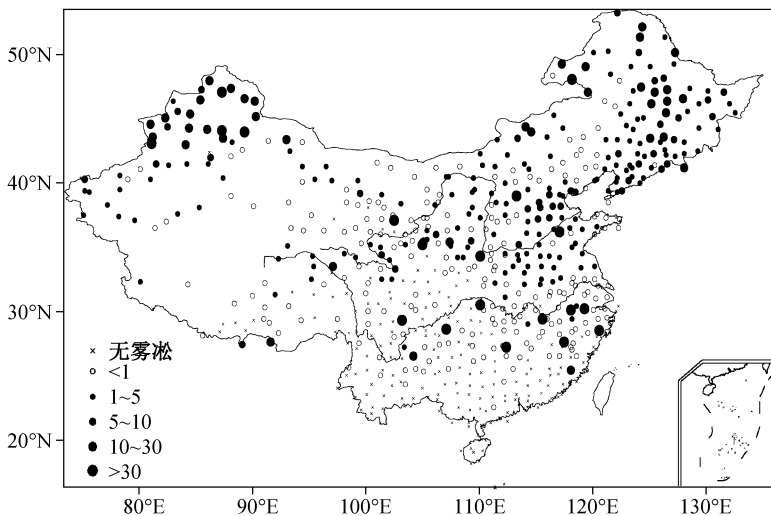


图 3 中国年雾凇日数 (单位: d)

Fig. 3 Distribution of annual rime days at each station of China (units: d)

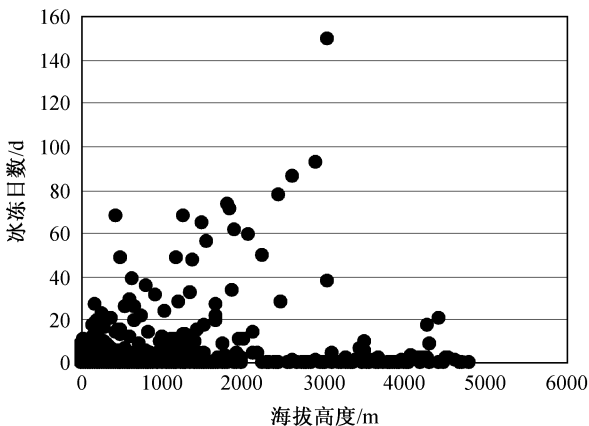


图 4 中国各站海拔高度与冰冻日数的分布

Fig. 4 Distribution of altitude and ice-freezing days at each station of China

点其冰冻日数与海拔高度呈明显的线性关系,即海拔高度越高则冰冻日数越多。实际上,高山是冰冻的频发地区,如四川峨眉山的年均冰冻日数达 150 天左右,山西五台山在 90 天左右,浙江天目山在 60 天以上等。但我们也能注意到,很多 2000 m 以上站点的冰冻日数并不多,甚至有的站点并不出现冰冻天气。这是由于很多站点虽然地处高原或山地,但由于空气湿度、气温、所在地点的坡度坡向等条件不适合雨凇或雾凇的生成,这样的站点就会少发生甚至不发生冰冻。对雨凇和雾凇分别进行同样的分析也能得到相似的结果。

从冰冻日数在各月的分布情况看(图 5),冰冻主要发生在 11 月至次年 3 月,尤其是 12 月至次年

2 年的隆冬季节,其中以 1 月最多,2 月和 12 月次之,3 月和 11 月也较多,7 月和 8 月没有冰冻发生。另外可以注意到,雾凇日数总体而言多于雨凇日数,雾凇在 12 月和 1 月最为频发,而雨凇在 1 月和 2 月最多。

4 变化特征及周期分析

图 6a 显示了 1954~2009 年中国平均冰冻、雨凇和雾凇日数的逐年演变。统计发现,三者的全国平均日数分别为 4.9 天、1.1 天和 3.9 天。从图 6a 可以非常清楚地看到,三者都在这几十年间出现了明显减少,其中冰冻日数的减少趋势最为显著,线性变化趋势系数为 $-0.9 \text{ d}/10\text{a}$ 。雾凇日数的减少较雨凇明显,其线性变化趋势系数分别为 $-0.78 \text{ d}/10\text{a}$ 和 $-0.17 \text{ d}/10\text{a}$ 。并且,冰冻、雨凇、雾凇日数都在 20 世纪 90 年代初出现突变(显著减少),由之前的以正距平为主变为之后以负距平为主。为了确定突变点,我们对中国年冰冻日数序列进行了 Mann-Kendall 检验(简称 MK 检验)。这是一种非参数突变检验方法,最初由 Mann (1945) 发展用于检测序列的变化趋势,后 Goossens and Berger (1986) 将其发展成一种能检测气候突变的新方法。从图 6b 可以看到,中国的冰冻日数自 1957 年左右开始减少,至 1968 年左右统计曲线超过 95% 的信度检验线,表明从此时起冰冻日数显著减少。并且,两条统计曲线在 1990 年相交,按照符淙斌和王强 (1992) 的补充说明,虽然交点在信度区间之

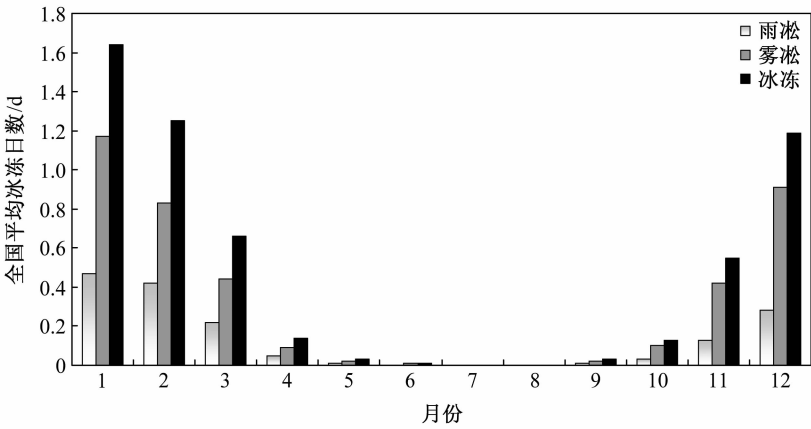


图5 中国月平均冰冻日数(单位:d)
Fig. 5 Monthly ice-freezing days averaged over China (units: d)

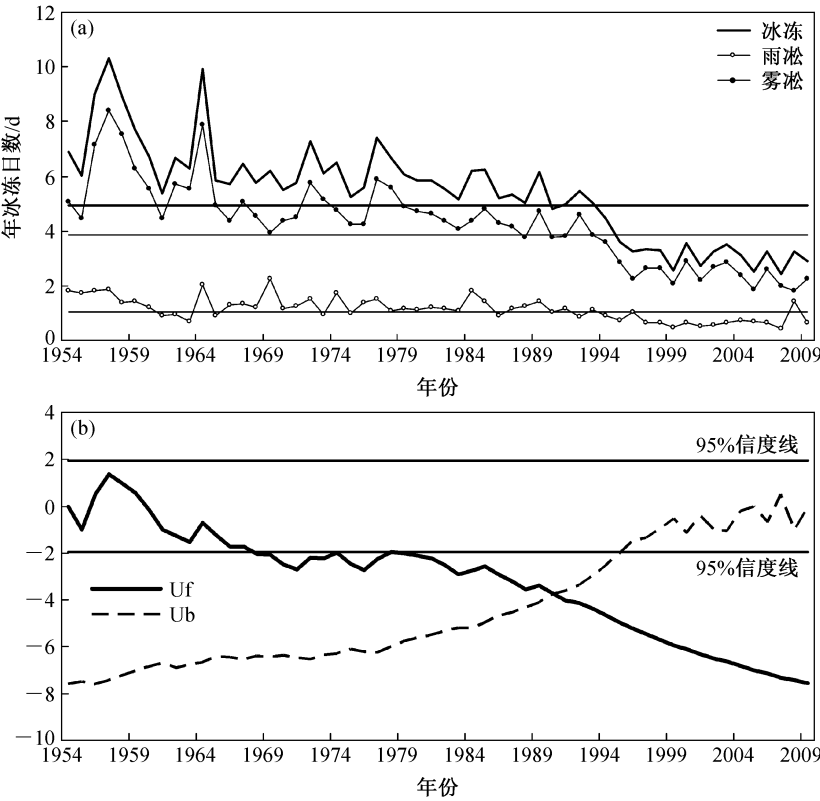


图6 1954~2009年中国年冰冻、雨淰、雾淰日数序列(a)和中国年冰冻日数的MK检验(b)
Fig. 6 (a) Time series of annual ice-freezing days, glaze days, and rime days averaged over China from 1954 to 2009 and (b) the Mann-Kendall test of annual ice-freezing days

外,但根据冰冻日数序列判断,这是一真实突变点。为了进一步验证该突变点的可靠性,我们还利用滑动 t 检验和 Yamamoto 方法对序列进行了分析,两种方法检测到的突变点均在 1994 年。综上,1990 年代初中国年均冰冻日数发生了突变减少。

分别对中国年雾淰和雨淰日数序列进行突变点检验发现,其变化特征与冰冻日数相似,并且也是在 1990 年代初出现突变减少。
从图 6a 还可以注意到,2008 年的雨淰日数较常年偏多,并且是自 1994 年以来唯一出现的正距

平值,而雾凇日数没有表现出偏多的情况,这表明2008年给我国造成大范围灾害和损失的冰冻灾害主要是由雨凇造成。2008年初,在强拉尼娜事件背景下,欧亚中高纬地区的大尺度环流异常稳定使冷空气不断自西北向东南输送,同时孟加拉湾和南海的暖湿空气不断北上,冷暖气流在中国南方地区频繁交汇,使对流层中低层形成逆温层和局地经向环流产生异常,从而在长江及其以南出现了大范围且长时间的雨凇天气(丁一汇等,2008;张庆云等,2008;杨贵名等,2008)。这在近些年是很罕见的。很有意思的是,无论是2008年的雨凇日数还是冰冻日数,在历史上都不算特别多,但造成的损失之大,灾害之重是历史罕见的,这虽然与冰冻在南方的长时间持续有关,但也在很大程度上体现了社会经济高速发展下电力通讯设施在自然灾害面前的脆弱性。另外,我们简要分析了中国平均冰冻、雾凇、雨凇日数与气温的相关关系(表1),可以看到冰冻、雾凇、雨凇日数与日平均气温、日最高气温和日最低气温均成显著的负相关关系,相关系数大都在-0.7以上,通过了99%的信度检验,这表明近几十年来中国冰冻日数的减少与气温的显著升高有密切关系。另外,中国冰冻、雨凇和雾凇日数与相对湿度和平均风速均呈显著的正相关关系,通过了99%的信度检验。1954~2009年,无论是中国平均相对湿度还是平均风速都出现了显著的下降趋势,这也与中国冰冻、雨凇和雾凇日数的减少有一定关系。

表 1 中国平均冰冻、雾凇、雨凇日数与气温、相对湿度和平均风速的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between annual ice-freezing days, rime days, and glaze days in China with daily temperature, daily maximum temperature, daily minimum temperature, daily relative humidity, and daily wind speed

	日平均气温	日最高气温	日最低气温	相对湿度	平均风速
冰冻日数	-0.79	-0.73	-0.78	0.60	0.70
雾凇日数	-0.74	-0.65	-0.74	0.58	0.67
雨凇日数	-0.77	-0.80	-0.70	0.50	0.62

上面的分析显示中国平均冰冻、雨凇和雾凇日数在近几十年出现了显著减少,下面我们将进一步讨论各站的变化情况。考虑到一些站点无冰或少冰,因而在讨论各站冰冻日数的变化趋势时仅对年均冰冻、雨凇和雾凇日数大于1天的站点进行分

析。从图7a可以看到,大部分站点的冰冻日数在1954~2009年都出现了显著的减少趋势,尤其是在新疆北部和东北中部一带,线性变化趋势系数小于-5 d/10a,而大部分站点的线性变化趋势系数在0到-2.5 d/10a之间。雨凇日数的减少趋势大都在0到-1 d/10a之间,云南东北部和贵州北部小于-1 d/10a(图7b)。大部站点的雾凇日数也在1954~2009年间也呈现出显著的减少趋势,线性变化趋势系数一般在0到-2.5 d/10a之间,趋势系数小于-2.5 d/10a的站点主要分布在新疆北部、内蒙古东北部和东北西部等地,这与冰冻日数的情况相似(图7c)。

除长期变化趋势外,我国的冰冻日数还存在明显的年际和年代际变化周期。图8显示了对冰冻日数进行小波分析的结果,可以看到,20世纪70年代中期以前中国的冰冻日数具有显著的2~4年和4~8年周期。对雨凇日数进行小波分析的结果表明,其具有显著的2~4年和准20年周期,而雾凇日数的2~4年和4~8年周期也通过了显著性检验(图略)。

5 冰冻日数与大尺度环流指数的关系

为了了解影响中国冰冻日数的大尺度环流因子,我们对冰冻日数与一些主要大尺度环流指数的相关关系进行了分析。前文已指出中国冰冻主要发生在冬春季节,而以往的研究发现北极涛动(AO)(龚道溢和王绍武,2003)、冬季风(施能,1996)及欧亚-太平洋遥相关(EUP)(Wallace and Gutzler, 1981)对东亚冬季气候有非常重要的影响,本文则首先计算了这3个指数与中国冰冻日数的相关关系。年冰冻日数与年AO指数,冬季风指数和冬季EUP指数的相关系数分别为-0.21, -0.11和0.14,均没有通过信度检验,表明这3项指数与中国冰冻日数的相关关系不明显。

极涡和阻塞高压是与东亚气候关系密切的中高纬环流系统,为了讨论其与中国冰冻日数的关系,我们计算了亚洲极涡强度和面积指数(王遵娅和丁一汇,2009)及乌拉尔、鄂霍次克和贝加尔阻塞高压指数与中国冰冻、雨凇和雾凇日数的相关系数。乌拉尔(40°N~50°N, 40°E~70°E)、鄂霍次克(50°N~60°N, 120°E~150°E)和贝加尔(50°N~60°N, 80°E~110°E)阻塞高压指数分别为500 hPa

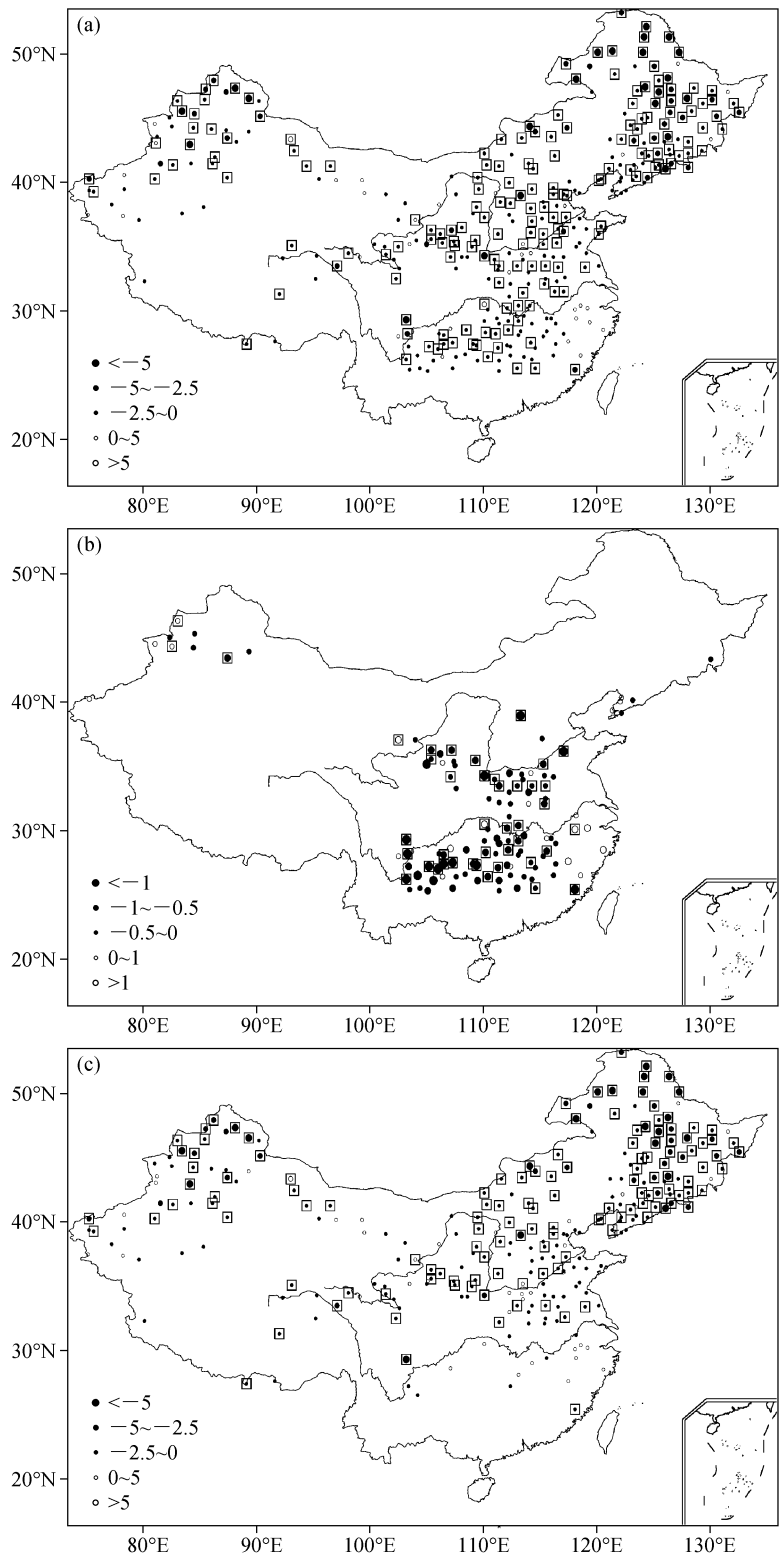


图 7 1954~2009 年中国各站冰冻 (a)、雨凇 (b) 和雾凇 (c) 日数线性变化趋势系数分布 (单位: d/10a)。方框表示通过了 95% 的显著性检验

Fig. 7 Linear trend coefficients of (a) ice-freezing days, (b) rime days, and (c) glaze days at the stations of China from 1954 to 2009 (units: d/10a). The square frames denote exceeding the 95% confidence level

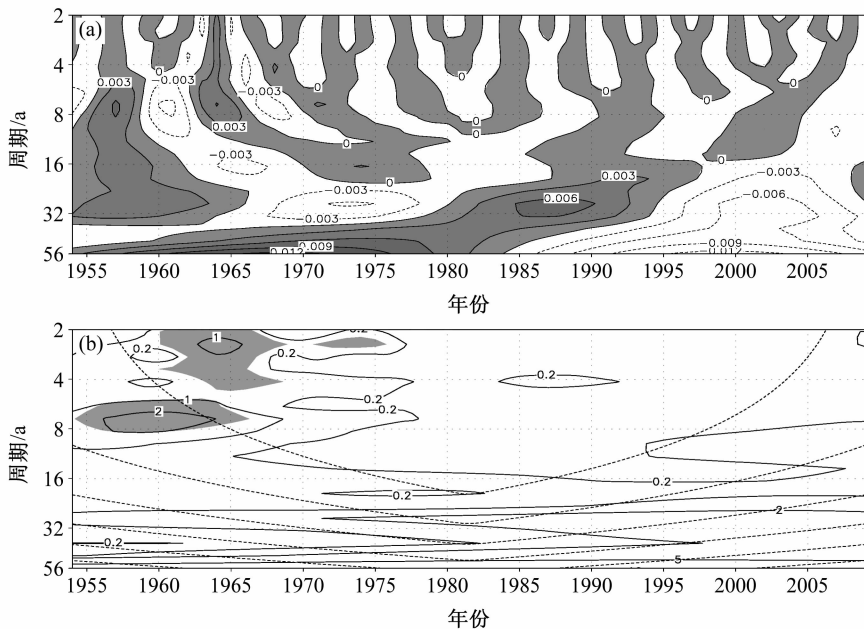


图 8 中国冰冻日数序列的小波实部 (a, 阴影为正值区) 和显著性检验 (b, 阴影表示通过了 90% 的显著性检验)
Fig. 8 (a) Real part (the shaded area denotes positive values) and (a) significance test (the shaded area denotes exceeding the 90% confidence level) of time series of ice-freezing days in China

相应区域平均的高度标准化值 (赵振国, 1999)。如表 2 所示, 冰冻、雨淞和雾淞日数与亚洲极涡的面积和强度指数呈显著的正相关关系, 即亚洲极涡面积偏大, 强度偏强则我国冰冻、雨淞和雾淞日数多, 并与欧亚中高纬地区的阻塞高压呈负相关关系, 其中与乌拉尔和贝加尔阻塞高压的负相关系数通过了 95% 的显著性检验, 但与鄂霍次克海阻塞高压的相关关系不显著。进一步的分析表明, 1954~2009 年间亚洲极涡面积和强度指数都出现了显著的减弱, 而乌拉尔和贝加尔阻塞高压显著增强, 这可能引起了冰冻、雨淞和雾淞日数在近几十年的显著减少。

表 2 极涡指数和阻塞高压指数与中国冰冻、雨淞、雾淞日数的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between annual indices of polar vortex and blocking highs with annual ice-freezing, rime, and glaze days in China

	亚洲极涡		阻塞高压		
	面积指数	强度指数	乌拉尔	鄂霍次克	贝加尔
冰冻日数	0.62*	0.36*	-0.60*	-0.24	-0.49*
雨淞日数	0.58*	0.19	-0.33*	-0.22	-0.49*
雾淞日数	0.58*	0.37*	-0.62*	-0.22	-0.46*

注: * 表示通过了 95% 的信度检验。

西太平洋副热带高压作为影响东亚气候的重要中低纬环流系统, 可能也与我国冰冻日数的多寡有一定关系, 因而分析了西太平洋指数与冰冻日数的相关关系。根据赵振国 (1999) 的定义, 西太平洋副热带高压的面积指数为 $5^{\circ} \times 10^{\circ}$ 网格的 500 hPa 平均环流图上 10°N 以北, $110^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ}$ 范围内 588 dagpm 等值线包括的网格点数; 强度指数为 588 dagpm 等值线内各格点的平均高度值编码 (588 编码为 1, 589 编码为 2, 590 编码为 3, 以此类推) 之和; 脊线指数为 $110^{\circ} \text{E} \sim 150^{\circ} \text{E}$ 范围内副高脊线与每隔 5° 的 9 条经线焦点的平均纬度值; 北界指数为副高北侧 588 dagpm 等值线 (东西 2 个脊点间) 与每隔 5° 的 9 条经线交点的纬度平均值; 西伸脊点指数为 $90^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ}$ 范围内 588 dagpm 等值线最西位置所在的经度。表 3 显示了 1954~2009 年西太平洋副高各项指数与中国年冰冻、雨淞、雾淞日数的相关关系。可以看到, 西太平洋副高面积和强度指数与冰冻、雨淞、雾淞日数均具有很显著的负相关关系, 表明冬季副高面积偏小, 强度偏弱有利于我国冰冻日数偏多。并且, 副高西伸脊点指数与冰冻、雨淞、雾淞日数呈显著的正相关关系, 表明副高偏西有利于我国雨淞、雾淞等冰冻天气。但西太平洋副高脊线和北界指数与我国冰冻日数的关系不

密切。分析还发现, 1954~2009 年西太平洋副高面积和强度指数均表现出非常显著的下降趋势, 而西伸脊点指数显示出显著的上升趋势, 这种变化与我国冰冻(雨淞、雾淞)日数的明显减少关系密切。

表 3 西太平洋副热带高压指数与中国冰冻、雨淞、雾淞日数的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between annual indices of the western Pacific subtropical high and annual ice-freezing, rime, and glaze days in China

	面积指数	强度指数	脊线指数	北界指数	西伸脊点指数
冰冻日数	-0.51*	-0.46*	-0.08	-0.06	0.35*
雨淞日数	-0.48*	-0.44*	-0.12	-0.19	0.40*
雾淞日数	-0.49*	-0.43*	-0.06	-0.02	0.31*

注: * 表示通过了 95% 的信度检验。

6 主要结论

通过对中国近几十年来冰冻的气候及变化特征的分析可以看到:

(1) 中国的冰冻主要出现在新疆、西北东部、内蒙古东部、东北、华北、淮河流域及江南一带, 年均冰冻日数一般有 1~5 天, 5 天以上的重冰区主要分布在新疆北部、陕西南部、东北中部、华北东部、秦岭、云南东北部、贵州等地, 30 天以上的站点大都位于海拔较高的山地区域; 其余地区无冰或少冰, 站点占全国统计站点的 48.3%。

(2) 中国冰冻的空间分布具有区域性强的特征, 雨淞大都出现在我国南方地区, 尤其是长江以南的云南、贵州、江西、湖南、浙江、福建等地, 而雾淞主要出现我国北方地区, 以新疆北部、东北中部、华北东部、秦岭山区一带最多。冰冻主要发生在 11 月至次年 3 月, 尤其是冬季。雾淞在 12 月和 1 月最为频发而雨淞在 1 月和 2 月最多。

(3) 中国冰冻日数具有显著的 2~4 年和 4~8 年周期, 雾淞也是如此, 而雨淞具有显著的 2~4 年周期。中国冰冻、雨淞和雾淞日数在 1954~2009 年间出现了显著减少的变化趋势, 并在 1990 年左右突变减少, 雾淞的减少趋势较雨淞明显。雾淞减少趋势最明显的地区在新疆北部和东北中部一带, 雨淞在云南东北部和贵州北部。

(4) 中国冰冻日数的减少与气温的显著上升及相对湿度和风速的明显减小关系密切。并且, 冰冻

日数与亚洲极涡的面积和强度, 乌拉尔和贝加尔阻塞高压的强度及西太平洋副高的面积、强度和位置均具有显著的相关关系。1954~2009 年间, 亚洲极涡面积减小, 强度减弱; 乌拉尔和贝加尔阻塞高压明显增强; 西太平洋副高面积减小, 强度减弱, 且西伸脊点显著偏西, 这些变化可能引起了我国冰冻(雨淞、雾淞)日数的大幅减少。

参考文献 (References)

丁一汇, 王遵娅, 宋亚芳. 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. 2008. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with the global warming [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (5): 808 - 825.

符淙斌, 王强. 1992. 气候突变的定义和检测方法 [J]. 大气科学, 16 (4): 482 - 493. Fu C B, Wang Q. 1992. The definition and detection of the abrupt climatic change [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 16 (4): 482 - 493.

龚道溢, 王绍武. 2003. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响 [J]. 地理学报, 58 (4): 559 - 568. Gong D Y, Wang S W. 2003. Influence of Arctic oscillation on winter climate over China [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 58 (4): 559 - 568.

Goossens C H, Berger A. 1986. Annual and seasonal climatic variations over the Northern Hemisphere and Europe during the last century [J]. Ann. Geophys., 4: 385 - 400.

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 and Environmental Research (in Chinese), 13 (2): 113 - 122.

李军, 禹伟, 许源, 等. 2004. 基于湖南省冰冻分布及气候特征的思考 [J]. 湖南电力, 24 (2): 16 - 19. Li J, Yu W, Xu Y, et al. 2004. Analysis of frost distribution and its characteristics in Hunan [J]. Hunan Electric Power (in Chinese), 24 (2): 16 - 19.

蒋兴良, 孙才新, 顾乐观, 等. 1998. 三峡地区导线覆冰的特性及雾淞覆冰模型 [J]. 重庆大学学报 (自然科学版), 21 (2): 16 - 19. Jiang X L, Sun C X, Gu L G, et al. 1998. Power lines icing characteristics of the Three Gor-

- ges District and a model of the accumulation of ice on electric on electric power lines [J]. *Journal of Chongqing University (Natural Science Edition)* (in Chinese), 21 (2): 16 - 19.
- Makkonen L. 2000. Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet snow on structure [J]. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 358: 2913 - 2939.
- Mann H B. 1945. Non-parametric tests against trend [J]. *Econometrika*, 13: 245 - 259.
- 施能. 1996. 近 40 年东亚冬季风强度的多时间尺度变化特征及其与气候的关系 [J]. *应用气象学报*, 7 (2): 175 - 182.
- Shi N. 1996. Features of the East Asian winter monsoon intensity on multiple time scale in recent 40 years and their relation to climate [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 7 (2): 175 - 182.
- 谭冠日, 严济远, 朱瑞兆. 1985. 应用气候 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 3 - 56.
- Tan G R, Yan J Y, Zhu R Z. 1985. *Applied Climatology* (in Chinese) [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 3 - 56.
- 谭桂容, 陈海山, 孙照渤, 等. 2010. 2008 年 1 月中国低温与北大西洋涛动和平流层异常活动的联系 [J]. *大气科学*, 34 (1): 175 - 183.
- Tan G R, Chen H S, Sun Z B, et al. 2010. Linkage of the cold event in January 2008 over China to the North Atlantic Oscillation and stratospheric circulation anomalies [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 34 (1): 175 - 183.
- 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 and Environmental Research* (in Chinese), 13 (4): 337 - 350.
- 陶祖铨, 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 Meteorologica Sinica* (in Chinese), 66 (5): 850 - 854.
- Wallace J M, Gutzler D S. 1981. Teleconnection in the geopotential height field in the Northern Hemisphere [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 109: 784 - 812.
- 王凌, 高歌, 张强, 等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 I. 气候特征与影响评估 [J]. *气象*, 34: 95 - 100.
- Wang L, Gao G, Zhang Q, et al. 2008. Analysis of the severe cold surge, ice-snow and frozen disasters in South China during January 2008; I. Climatic features and its impact [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 34: 95 - 100.
- 王守礼. 1993. 云南高海拔地区电线覆冰问题研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 7 - 44.
- Wang S L. 1993. Study of the Wire Ice Coating in the High Altitude Regions of Yunnan Province (in Chinese) [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 7 - 44.
- 王遵亲, 张强, 陈峪, 等. 2008. 2008 年初我国低温雨雪冰冻灾害的气候特征 [J]. *气候变化研究进展*, 4: 63 - 67.
- Wang Z Y, Zhang Q, Chen Y, et al. 2008. Characters of meteorological disasters caused by the extreme synoptic process in early 2008 over China [J]. *Advances in Climate Research* (in Chinese), 4: 63 - 67.
- 王遵亲, 丁一汇. 2009. 夏季亚洲极涡的长期变化对东亚环流和水汽收支的影响 [J]. *地球物理学报*, 52 (1): 20 - 29.
- Wang Z Y, Ding Y H. 2009. Impacts of the long-term change of the summer Asian polar vortex on the circulation system and the water vapor transport in East Asia [J]. *Chinese. J. Geophys.* (in Chinese), 52 (1): 20 - 29.
- Wen M, Yang S, Kumar A, et al. 2009. An analysis of the large-scale climate anomalies associated with the snowstorms affecting China in January 2008 [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 137: 1111 - 1131, doi: 10.1175/2008MWR2638.1.
- 杨利群. 1999. 贵州暴雨洪涝、秋绵雨和凝冻的气候特征及灾情分析 [J]. *贵州气象*, 23 (4): 3 - 8.
- Yang L Q. 1999. Climatic characters and situation analysis of rainstorm and flood, autumn persistent rainfalls and rime in Guizhou [J]. *Journal of Guizhou Meteorology* (in Chinese), 23 (4): 3 - 8.
- 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 Meteorologica Sinica* (in Chinese), 66 (5): 836 - 849.
- 张家诚. 1991. 中国气候总论 [M]. 北京: 气象出版社, 199 - 201.
- Zhang J C. 1991. *Pandect of Climate in China* (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 199 - 201.
- 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 and Environmental Research* (in Chinese), 13 (4): 385 - 394.
- 张宇发. 1999. 贵州气候灾害近 50 年变化趋势 [J]. *成都气*

象学院学报, 14 (1): 88 - 92. Zhang Y F. 1999. Variation trend of climatic calamities in the past 50 years in Guizhou [J]. Journal of Chengdu Institute of Meteorology (in Chinese), 14 (1): 88 - 92.

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. Climatic characteristics of freezing weather in China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 36 (3): 34 - 38.

赵振国. 1999. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京: 气象出版社, 45 - 50. Zhao Z G. 1999. Study on Summer Flood and Drought in China and the Relating Circulation Factors (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 45 - 50.