

文章编号: 1004-8227(2010)07-0839-08

中国南方7省冰冻天气时空分布规律研究

王海军^{1,2}, 覃军³, 张峻^{1,2}

(1. 湖北省气象信息与技术保障中心, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北省气象局气候变化中心, 湖北 武汉 430074;
3. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074; 4. 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

摘要: 利用我国南方7省1951~2008年112站逐日气象资料,采用极差标准化数据处理技术,设计了可反映我国南方地区冰冻天气时空分布的综合指标体系。指标体系定义了冰冻日、单站冰冻天气过程、综合冰冻指数及区域持续性冰冻过程,并基于综合冰冻指数分位数,对冰冻天气过程进行了分级。给出了发生区域持续性冰冻过程年度的冰冻起止时间和地理分布范围,通过对冰冻日、雨淞雾淞日、冰冻指数及其重现期等项目分析,揭示了我国南方地区冰冻天气时空分布规律,主要有:(1)我国南方地区发生区域持续性冰冻灾害天气最严重的前5位分别为2008、1955、1984、1964、1957年度,其中2007~2008年度最严重。1951~2008年冰冻日数和冰冻指数减小明显;(2)贵州是我国南方地区冰冻天气最为严重省份,其次为安徽、湖南和湖北。冰冻天气与海拔高度相关性较好,海拔越高,冰冻越严重;(3)我国南方地区的冰冻天气,贵州和湖南南部地区以冻雨为主,其他地区以降雪为主。经评估分析,综合冰冻天气指数具有时间和空间可比性,可较好地描述大范围冰冻天气的时空分布规律。

关键词: 中国南方; 冰冻天气; 时空分布规律; 综合指标
文献标识码: A

2008年1月中旬~2月上旬,我国南方地区出现了持续“低温雨雪冰冻”天气,给当地交通运输、能源供应、电力传输、通讯设施、农业生产、群众生活造成严重影响^[1]。对于2008年初的持续“低温雨雪冰冻”天气,许多学者已从天气个例分析、气候特征诊断以及灾害评估等方面进行过研究。如马晓刚^[2]对该期间天气进行了分析,王凌^[3]等揭示了其气候特征,并评估了所造成的影响,赵琳娜^[4]等研究了其对我国重点行业的影响及致灾成因。此外李崇银^[5]等对我国南方雨雪冰冻异常天气原因进行了分析,认为大气环流的组合性异常是造成持续雨雪冰冻天气的直接原因。国外学者在冻雨致灾^[6]、冻雨气候特征^[7,8]、冻雨时空分布^[9]及城市化对冻雨事件影响^[10]等方面进行了大量研究。

对于气象灾害,一般通过建立或应用相应指标进行研究。陈波^[11]以日降水量大于25 mm以上降水的频次为洪涝指标研究湘江流域洪涝灾害,张星^[12]等通过给予不同气象灾害不同权重来综合评估农业气象灾害,吴东丽^[13]等将冬小麦不同发育阶段的水分产量反应系数应用到降水距平干旱指数

中,弥补了降水距平百分率作为农业干旱指数只涉及气候干旱的不足。万素琴^[14]等用雨雪日数、雨雪总量、日平均气温 $\leq 0.5^{\circ}\text{C}$ 连续日数、平均气温和极端最低气温建立了冰冻过程综合指数。这些指标所使用数据仅采用单站历史资料序列,能很好反映单站(或范围较小的空间区域如文献^[14])各个年份的相对变化,但当站点之间气候差异较大时(如我国南方地区),指标的数值在各个站点之间的可比性(即空间可比性)就较差。因此在研究我国南方地区冰冻天气的时空变化规律时,建立可反映空间变化的冰冻天气指标很有必要。

目前我国对于冰冻灾害天气的研究成果较多,但这些研究或仅仅关注某一特定时间(如2008年),或关注特定地区,如某一省份^[15~19],对于我国整个南方地区历史上的冰冻灾害天气(尤其是区域持续性冰冻灾害天气)的时间和空间分布特征进行系统研究尚未见相关文献报道。本文通过建立具有时间和空间可比性的冰冻天气指标着手,系统分析我国南方地区冰冻天气的时间和空间分布规律,为深入研究该地区冰雪灾害天气及其机理提供背景资料。

收稿日期: 2009-11-14; 修回日期: 2009-12-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAC48B02)、湖北省自然科学基金项目(2007ABA200)、中国气象局气候研究开放实验室课题(LCS-2006-08)和中国气象局武汉区域气象中心科技创新团队建设联合资助。

作者简介: 王海军(1963~),男,湖北省仙桃人,高级工程师,主要从事气象信息处理及气候变化研究。

1 研究区域和资料

经统计,我国南方广东、广西、福建及重庆等省市出现冰冻日数较少,所以本文研究地理范围为出现冰冻日数较多的安徽、贵州、湖北、湖南、江苏、江西、浙江等 7 省地区。各省气象观测台站数量见表 1。资料为 7 省国家基本基准气象站的逐日平均气温、最高最低气温、降水量、相对湿度等气象要素及 1971~2000 年雨淞、雾淞日数的 30 年平均值。资料来源于国家气象信息中心资料室,数据已经过相关质量控制及检查。

表 1 各省台站数量一览表

Tab. 1 Number of Provinces Meteorological Stations

省份	安徽	贵州	湖北	湖南	江苏	江西	浙江
台站数	15	17	17	20	13	15	15

本文使用的资料年代为 1951~2008 年,剔除了建站晚于 1960 年台站。由于冰冻天气现象发生在冬半年,通常跨年发生,所以本文在统计有关年数据时采用年度表示,如 1962 年度的冰冻日数统计的是 1961 年 10 月~1962 年 4 月的冰冻日数。由于海拔高度较高的气象台站其冰冻日数及冰冻指数比其他台站显著偏多偏大,所以在统计有关平均值时,剔除了安徽黄山、湖南南岳、江西庐山、贵州威宁和湖北五峰等 5 个高山气象站的数据。

2 冰冻天气指标建立

2.1 冰冻日定义

尽管冰冻日定义在我国各地不统一,但一般包括两个气象因子,即气温和降水,如文献[1]将冰冻日定义为气温小于 0°C ,且有降水发生。本文在他人研究基础上^[20],经对台站观测资料统计分析,并结合中国南方地区天气气候特点,将冰冻日定义如下:日平均气温小于等于 1.0°C ,且有降水(雨或雪等)或日平均相对湿度大于等于 90%,则该日定义为一个冰冻日。

2.2 单站持续性冰冻天气过程定义

如某站连续 3 d 中有 2 d 或以上为冰冻日,则称该站有一持续性冰冻天气过程,第一个冰冻日为该过程的冰冻开始日期,过程结束日期与后续天气条件有关。如其后连续 2 d 日平均气温大于 1.0°C ,则称该持续性冰冻过程结束,冰冻过程结束日为最后

一个日平均气温小于等于 1.0°C 的日期。

2.3 综合冰冻天气指标建立

许多研究表明,孤立的冰冻日所造成的灾害影响一般有限,持续、低温且有明显雨雪或冰冻的天气才能形成灾害,当这种天气影响的地理范围较广时造成损失更大。文献[15]指出,造成剧烈冰冻天气的原因既不仅仅是持续低温,也不仅仅是降水量大,而是二者的配合与相互影响。所以采用单一的气象参数如气温、降水量或冰冻天数等,都难以准确刻画一个冰冻天气过程的影响程度。为此必须采用包含持续、低温和雨雪等因子的综合指标来表示某一个冰冻天气过程的影响程度。该指标应能反映单站的历年冰冻天气变化规律和不同台站的冰冻天气空间分布规律,即同一台站不同年份的指数能够合理反映该站冰冻天气情况,同样指标大小也应反映不同台站的冰冻天气情况,即不同台站,如因子数据相同其指标大小相同(通常指标体系中其大小一般不相同,其大小还与各站因子的历史分布有关)。

参考文献[14],本文分别采用 4 个代表持续低温冰冻天气过程程度的因子:(1)过程期间冰冻日数;(2)过程期间降水降雪总量;(3)过程期间平均气温;(4)过程期间极端最低气温。则各因子指数 I 和冰冻指数可分别表述为:

$$I_{j,1} = \frac{d_{ij} - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \quad (1)$$

$$I_{j,2} = \frac{r_{ij} - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \quad (2)$$

$$I_{j,3} = \frac{t_{ij} - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} \quad (3)$$

$$I_{j,4} = \frac{t_{li} - t_{l\min}}{t_{l\max} - t_{l\min}} \quad (4)$$

$$Z_{ij} = I_{j,1}/I_1 + I_{j,2}/I_2 + I_{j,3}/I_3 + I_{j,4}/I_4 \quad (5)$$

1~5 式中: d 为冰冻持续日数; i 为台站序号; j 为持续冰冻天气过程序号; d_{\max} 为最多冰冻日数(统计范围为所有台站,时间为 1971~2000 年, d_{\min} 、 r_{\max} 、 r_{\min} 、 t_{\max} 、 t_{\min} 、 $t_{l\max}$ 、 $t_{l\min}$ 的统计空间和时间范围与此相同); d_{\min} 为最少冰冻日数; r 为过程降水总量; r_{\max} 为过程最大降水总量; r_{\min} 为过程最小降水总量; t 为过程平均气温; t_{\max} 为过程平均气温最大值; t_{\min} 为过程平均气温最小值; t_l 为过程最低气温; $t_{l\max}$ 为过程最低气温最大值; $t_{l\min}$ 为最低气温最小值; I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 分别为冰冻日数、过程降水总量、过程平均气温、过程最低气温 4 个因子平均值; I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 分别为上述 4 个因子指数; Z 为综合冰冻天气过程指数(简称冰冻指数)。由定义可知,冰冻指数越大,

表明冰冻过程越严重。

为消除各因子本身数据大小及量纲差异,在设计综合冰冻指数时,分别对因子进行了极差标准化处理。由于极差采用整个空间范围内的极值,故该冰冻指数除了时间上具有可比性外,在空间上也具有较好可比性。为减小持续冰冻天气过程期间平均气温、降水总量、极端最低气温等因子在空间范围内的极值附近对冰冻指数放大作用所造成的影响,在计算冰冻指数时对上述 3 个因子取值范围(r_{\max} , t_{\min} , l_{\min})进行了调整,调整后的数据分别为 50.0 mm、 -4.0°C 和 -9.0°C ,当因子超出取值范围时,直接采用调整后的数据。

2.4 单站持续性冰冻过程等级划分

根据冰冻指数大小,我们将冰冻天气过程分为 5 个等级,见表 2。等级是通过冰冻指数的 90、95、98、99 百分位数来划分,分别记为 Z_{90} 、 Z_{95} 、 Z_{98} 、 Z_{99} 。统计本文中 $Z_{90} = 8.0$ 、 $Z_{95} = 9.7$ 、 $Z_{98} = 12.0$ 、 $Z_{99} = 13.8$ 。

表 2 冰冻天气过程等级定义

Tab. 2 Classification of Freezing Weather Process

等级	条件	说明
1	$Z \leq Z_{90}$	一般
2	$Z_{90} < Z \leq Z_{95}$	较严重
3	$Z_{95} < Z \leq Z_{98}$	严重
4	$Z_{98} < Z \leq Z_{99}$	特严重
5	$Z > Z_{99}$	罕见

2.5 区域持续性冰冻天气过程

我国南方地区,如某年度有 20% 以上气象站出

表 3 冰冻指数 ≥ 2 级冰冻过程中降水与温度频率分布

Tab. 3 Frequency Distribution of Precipitation and Temperature with Freezing Index Rate More than 2

过程降水总量各量级出现频率(%)					
< 5 mm	5~ 10 mm	10~ 20 mm	20~ 50 mm	50~ 100 mm	≥ 100 mm
1.3	4.8	11.1	45.0	31.9	6.0
过程平均气温各范围出现频率(%)					
$\geq 0.0^{\circ}\text{C}$	- 0.1~ - 1.0 $^{\circ}\text{C}$	- 1.1~ - 2.0 $^{\circ}\text{C}$	- 2.1~ - 3.0 $^{\circ}\text{C}$	- 3.1~ - 4.0 $^{\circ}\text{C}$	< - 4.1 $^{\circ}\text{C}$
5.0	16.4	31.3	18.7	12.5	16.0
过程极端最低气温各范围出现频率(%)					
$\geq - 2.0^{\circ}\text{C}$	- 2.1~ - 4.0 $^{\circ}\text{C}$	- 4.1~ - 6.0 $^{\circ}\text{C}$	- 6.1~ - 8.0 $^{\circ}\text{C}$	- 8.1~ - 10.0 $^{\circ}\text{C}$	< - 10.1 $^{\circ}\text{C}$
0.8	7.0	16.5	18.9	17.2	39.6

综上所述,当出现 2 级及以上等级持续性冰冻过程天气时,绝大部分过程持续时间在 7 d 以上,期间的冰冻日数在 5 d 以上,过程的平均气温较低(低于 0°C),极端最低气温低于 -4.0°C ,过程降水明显(10 mm 以上),冰冻日的平均相对湿度大都在 85% 以上。这反映了 2 级及以上冰冻指数天气过程其持续时间较长、温度低、降水明显、相对湿度较高,由此

现 2 级及以上等级冰冻过程,且至少有 10% 站出现 3 级及以上等级冰冻天气过程,则认为我国南方地区该年度出现了区域持续性冰冻天气过程。

3 冰冻指数评估

本文以 2 级及以上冰冻天气过程详细说明过程中各气象要素的配置情况,即过程持续天数、过程中的冰冻日数、过程期间的总降水量、温度及相对湿度等要素分布,以此评估冰冻指数对于冰冻天气过程的度量能力。

3.1 冰冻天气过程持续天数及冰冻日数

经统计,我国南方地区 112 站 1952~ 2008 年共 57 个年度中,2 级及以上冰冻天气过程共有 854 个,其中 87% 过程持续时间在 10 d 以上,88% 冰冻日数在 7 d 以上,表明 2 级以上冰冻过程持续时间一般较长(大于 10 d),且过程中冰冻日数大都在 7 d 以上。

3.2 冰冻过程降水、气温及相对湿度

从表 3 可看出,近 94% 冰冻过程降水量超过了 10 mm,80% 以上过程降水量超过了 20 mm,表明 2 级及以上冰冻过程中大部分都有非常明显的降水或降雪,约 38% 过程降水量超过了 50 mm;95% 过程日平均气温小于 0°C ;过程中极端最低气温 99% 极端最低气温低于 -2°C ;期间冰冻日的日相对湿度平均值超过 85% 的过程占 70%,大于 90% 占 4 成以上(表中未列出数据)。

表明冰冻指数可作为度量冰冻天气过程的严重程度。

据文献[3],华中和西南地区历史上出现严重低温冰冻的有 1954 年 12 月至 1955 年 1 月、1957 年 1~ 2 月、1964 年 2 月、1969 年 1~ 2 月及 1977 年 1~ 2 月、1984 年 1 月等,这与本文统计的区域持续性冰冻过程的年份和具体时间较吻合(表 7),从而验证了本文所设计冰冻指数具有较强的度量能力。

4 结果分析

4.1 冰冻日、雨淞和雾淞日时空分布

在 1952~2008 共 57 个年度中,大部分台站和年度都出现过冰冻日数,其中有 90% 以上台站出现过冰冻日的年度就达 35 个。表明在我国南方大部分地区冰冻是一个较常见天气现象。

表 4 冰冻日数和冰冻指数排名前 10 的年度(1951~2008)

Tab. 4 Number of Freezing Day and Freezing Index (Data from 1951 to 2008)

	排名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
冰冻日	年度	1957	1969	1955	1977	1964	2008	1984	1974	1967	1953
	冰冻日数(d)	18.0	17.6	16.5	16.3	14.5	14.5	14.3	12.2	11.8	11.2
冰冻指数	年度	2008	1955	1957	1964	1984	1969	1977	1972	1992	1974
	平均指数	9.9	8.7	8.3	8.3	7.6	7.5	7.4	6.6	5.6	5.5

表 5 各月冰冻日数和冰冻过程数(1951~2008)

Tab. 5 Number of Freezing Day and Freezing Process Each Month (Data from 1951 to 2008)

月份	11	12	1	2	3	4
平均冰冻日数(d)	0.06	0.87	2.58	1.91	0.14	0.00
过程开始平均个数*	0.01	0.21	0.57	0.32	0.02	0.00

* 以过程开始日期所在月份统计。

4.1.2 冰冻日空间分布

表 6 各省冰冻相关项目统计

Tab. 6 Statistics of Frozen-related Elements

省份	安徽	贵州	湖北	湖南	江苏	江西	浙江	
相关项目	平均冰冻日数(d)	9.40	11.00	5.90	6.70	5.50	4.70	2.80
	平均雨淞日数(d)	0.53	9.09	0.75	2.61	0.15	1.04	0.16
	平均雾淞日数(d)	1.25	0.71	0.43	0.16	0.68	0.29	0.09
	平均冰冻指数	4.50	4.50	2.90	2.90	3.40	2.10	1.90
各冰冻指数等级总次数	≥2 级/站次	101	107	57	62	46	32	27
	≥3 级/站次	54	67	20	27	15	9	11
	≥4 级/站次	20	27	4	15	2	1	1

注:表中除雨淞、雾淞日数统计时段为 1971~2000 年外,其他项目为 1961~2008 年度。

4.1.3 雨淞雾淞日空间分布

在我国南方地区,年平均雨淞日高值区主要分布在贵州及湖南南部,其中贵州中西部地区部分台站年平均日数超过了 10 d,湖南南部雨淞日在 3~5 d。雨淞日较少(年平均不足 1 d)地区有:浙江和江苏全境、安徽中东部、湖北西部及湖南、湖北、江西 3 省交界地区(图 2)。

年平均雾淞日与雨淞日的空间分布类型不同(图略)。第一,雾淞年平均日数远远小于雨淞日;第

4.1.1 冰冻日时间分布特征

我国南方地区,年平均冰冻日为 7.0 d,最多 18.0 d,发生在 1957 年度(表 4),最少出现在 2002 年度为 1.5 d。我国南方地区从 11 月~4 月各月都有冰冻日出现,其中 1 月最多,4 月最少(见表 5)。平均冰冻日 1952~1981 年度为 8.3 d,1982~2008 年度为 5.7 d,随着全球气候变暖,冰冻日减少了 2.6 d,减少幅度明显。

从各省冰冻日分布来看(见表 6),贵州最多为 11.0 d,安徽次之(9.4 d),浙江最少为 2.8 d,其他省份在 4.7~6.7 d。从图 1 可以看出,贵州省各站平均冰冻日都在 8 d 以上,大部分台站高于 10 d,安徽中北部及湖北北部在 8 d 以上。冰冻日较少区域(在 3 d 以下)有两个,一是浙江东南部江西东部地区;二是鄂西南地区。

二,二者分布区域不一样。除了在安徽北部、江苏北部、湖北中北部以及安徽中南部等少数地区雾淞日在 1 d 以上,其他地区均在 1 d 以下,其中浙江东部和南部、江西南部、湖南南部以及湖北西部均不超过 0.1 d。

4.2 持续性冰冻天气过程分析

4.2.1 时间分布特征

在我国南方地区 112 个气象站中并不是每站每年度都出现持续性冰冻天气过程。各年度出现持续

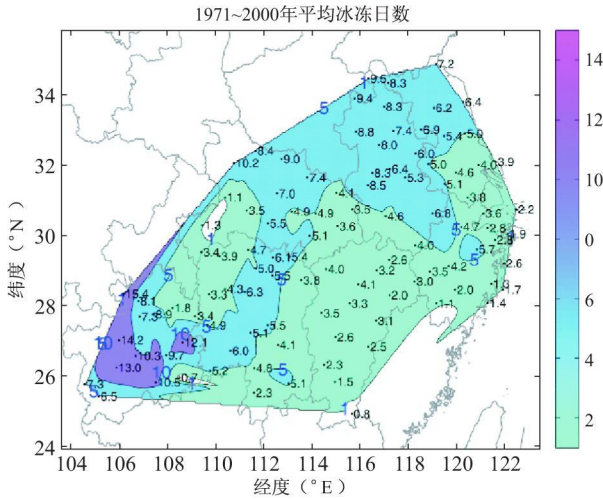


图 1 平均冰冻日空间分布图

Fig. 1 Spatial Distribution of Average Freezing Day

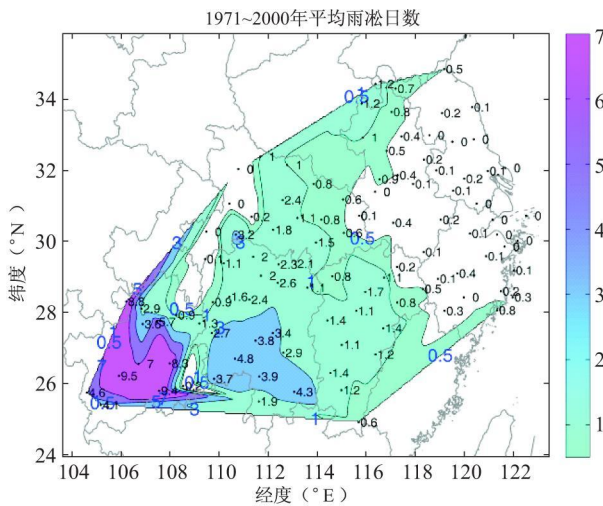


图 2 平均雨淞日空间分布图

Fig. 2 Spatial Distribution of Average Glaze Day

性冰冻天气过程差异较大。在 1952~ 2008 年度共 57 个年度中, 18 个年度有 90% 以上台站出现过持续性冰冻天气过程, 有 45 个年度 50% 台站出现过持续性冰冻过程, 其中 2002 年度出现台站比例最少, 为 12%。从表 5 可以看出, 出现持续性冰冻过程最多月份为 1 月, 其次为 2 月, 最少为 4 月。年平均指数 3.5, 年平均最大指数 9.9, 发生在 2008 年度, 最小指数出现在 1965 年度为 0.6 (图 3)。平均冰冻指数 1952~ 1981 年度为 4.1, 1982~ 2008 年度为 2.9, 后者比前者指数减少 1.2, 表明平均冰冻指数减少非常明显。

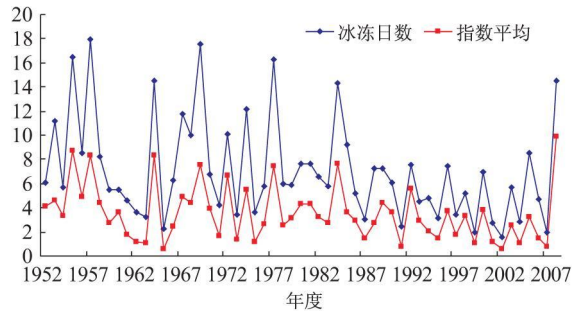


图 3 冰冻日数和冰冻指数年变化 (图中冰冻日数单位为 d, 冰冻指数无量纲)

Fig. 3 Annual Change of Freezing Day and Freezing Index

根据区域持续性冰冻天气过程指数定义, 统计出现区域性持续性冰冻天气过程的年度, 共有 8 个年度, 对其进行排序, 排序情况见表 7。2008 年度冰冻强度最强, 其中有 58% 以上台站达到或超过 3 级冰冻天气等级。

表 7 区域持续性冰冻天气过程

Tab. 7 Regional Persistent Freezing Weather Process

年度	强度排序	出现台站百分率 (%)		出现时间	各级冰冻天气空间分布	
		≥3 级	2 级		3 级	4 级
1955	2	45.1	14.1	1954 年 12 月下旬到 1955 年 1 月下旬	湖北大部、安徽、江苏西部, 贵州中西部	安徽中东部、湖北中东部、贵州西北部及江苏西部
1957	5	29.4	22.4	1957 年 1 月中旬到 2 月中旬	安徽全境、湖北东南、江苏西部及湖南西北部	安徽北部
1964	4	30.7	31.6	1964 年 2 月上旬到下旬	湖北北部、安徽中北部、湖南中西部、贵州西北部、浙江北部	安徽西北部、江苏西北部
1969	6	24.6	43.0	1969 年 1 月下旬到 2 月上旬	安徽全省	无
1974	8	10.5	14.9	1974 年 1 月下旬到 2 月下旬	安徽中西部和湖北北部	无
1977	7	21.1	19.3	1977 年 1 月下旬到 2 月上旬	浙江中西部及安徽东南部	贵州西北部
1984	3	35.1	21.1	1984 年 1 月中旬到 2 月中旬	安徽南部、江苏东南部、浙江中北部; 贵州除东北角大部	安徽中南部及浙江西北部、贵州西北部
2008	1	57.9	12.3	2008 年 1 月中旬到 2 月中旬	除浙江全境、江苏中东部、江西南部、湖北西部以外的地区都为严重及以上地区	安徽中南部、湖南中南部、贵州中北部

4. 2. 2 空间分布特征

经统计 (图略) 大部分站都出现过 3 级及以上冰

冻天气过程, 其中贵州西北部及安徽西北部的过程频次均超过了 5 次。为了进一步分析冰冻天气空间分

布,我们分析了区域持续性冰冻过程程度最严重的前 8 个年度 3 级和 4 级冰冻天气出现区域,见表 7。

4.2.3 冰冻指数重现期分析

本文利用广义极值分布对各站冰冻指数的重现期进行推断,参数估计采用线性矩法。经柯尔莫哥洛夫拟合优度检验可知,利用广义极值分布对冰冻指数拟合效果很好,所有台站冰冻指数都通过了信度为 0.05 显著性检验。

2008 年度我国南方地区的冰冻天气,18% 的台

站重现期在 100 a 一遇上,39% 台站重现期达到 50 a 一遇上,大部分站(64%)超过了 30 a 一遇。其中湖南大部、贵州东南部的重现期超过了 100 a 一遇,湖北东南部、江西西北部及湖南、贵州全省都超过了 50 a 一遇(图 4b)。所以从重现期角度分析,2008 年度为我国南方地区冰冻天气最为严重的年度;1955 年度 16% 站重现期在 50 a 一遇上,其中部分站超过了 100 a。安徽东北部、江苏西北部、湖北大部重现期都超过了 50 a 一遇(图 4 d)。

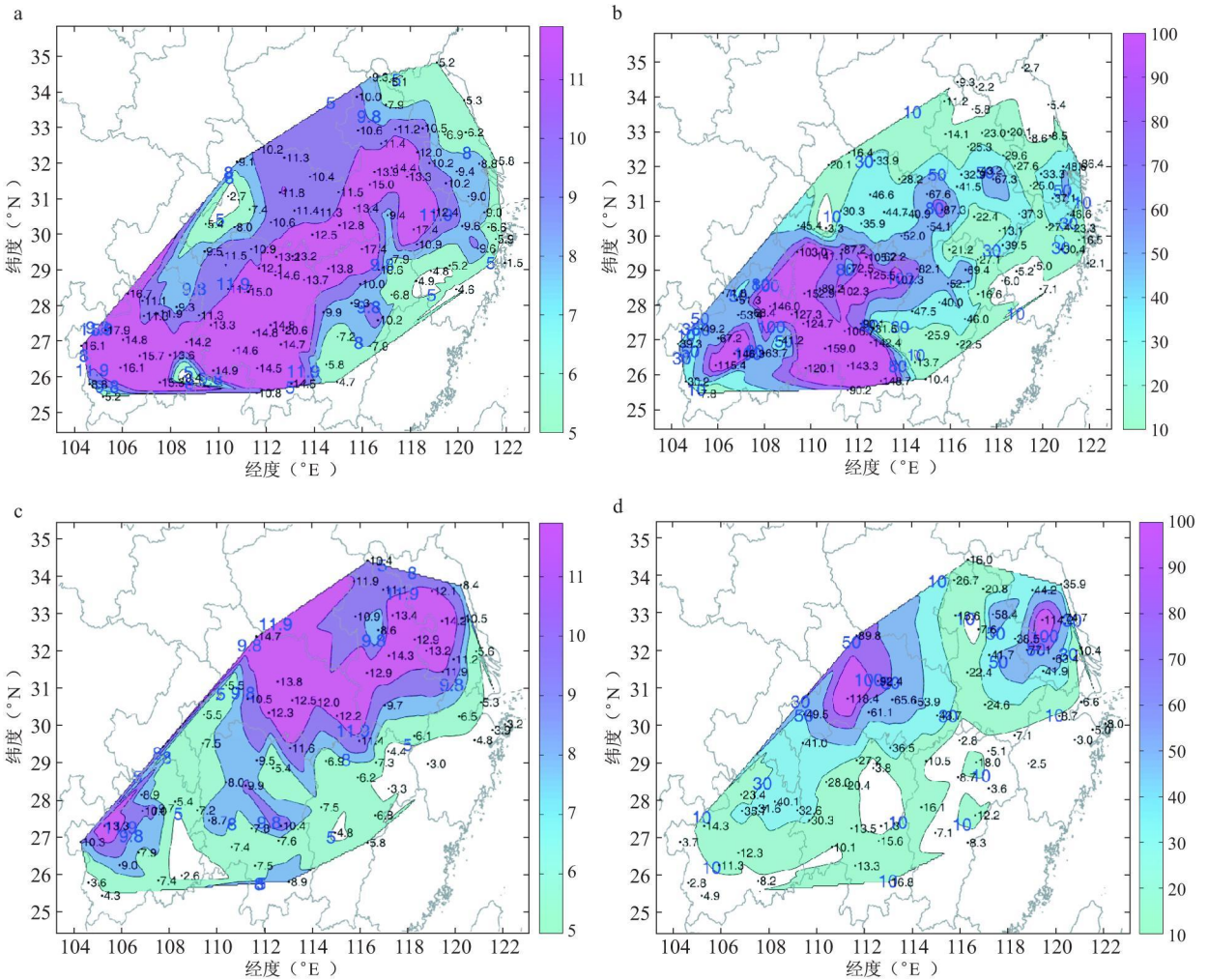


图 4 冰冻指数及重现期空间分布

a: 2008 年度冰冻指数; b: 2008 年度冰冻指数重现期; c: 1955 年度冰冻指数; d: 1955 年度冰冻指数重现期
Fig. 4 (a) Freezing Index in 2008; (b) Freezing Index Return Period in 2008; (c) Freezing Index in 1955; (d) Freezing Index Return Period in 1955

4.2.4 罕见等级冰冻天气台站

为进一步分析极端冰冻天气分布规律,统计了出现 5 级(罕见等级)冰冻天气过程台站,共 34 站次(数据表略)。有如下结论:(1) 5 级冰冻天气过程,出现最多省份依次为贵州、湖南和安徽,贵州最多为 14 站次,占有出现过程的 41%,浙江未出现;(2)

年代际和区域变化明显,安徽在 20 世纪 80 年代前和后出现站年各占一半,而湖南全部出现在 2008 年度,贵州 20 世纪 80 年代后出现占 79% 左右。表明 5 级冰冻天气过程 1980 年后多出现在湖南、贵州等南部省份;(3) 从重现期角度分析,湖南 2008 年度冰冻天气不但在空间上属于严重冰冻灾害,而其和本

省历史记录比, 2008 年度也是非常严重的冰冻灾害, 因为 2008 年度湖南除了一个站的重现期为 90 a 一遇外, 其余均超过了 100 a 一遇。

4.3 冰冻天气与海拔高度关系

为了分析冰冻天气与海拔高度关系, 本文统计了冰冻指数和雨淞日数与海拔高度的相关系数(图 5), 分别为 0.57 和 0.72, 相关系数都通过了信度为 0.05 显著性检验, 表明冰冻天气与海拔高度相关性

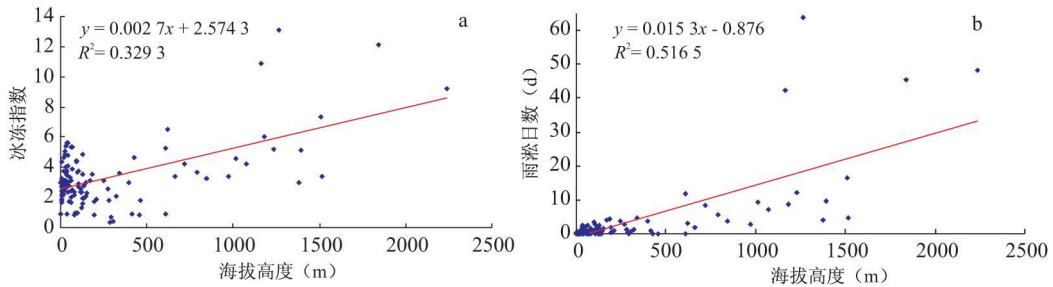


图 5 (a) 冰冻指数与海拔高度关系; (b) 雨淞日数与海拔高度关系

Fig. 5 (a) Relationship Between Freezing Index and Altitude; (b) Relationship Between Days of Glaze and Altitude

4.4 冰冻天气类型空间分布

从图 2 可以看出, 如将多年平均雨淞日在 3 d 以上地区定义为冻雨多发地区, 在 1 d 以上为冻雨可发生地区, 则我国贵州大部和湖南南部为冻雨多发地区, 而贵州、湖南、江西和湖北南部为冻雨可发生地区。所以贵州和湖南地区的冰冻天气包含有较多的冻雨天气, 其他地区以降雪为主。

4.5 冰冻日数与冰冻指数关系

从冰冻日数和冰冻指数的年代际变化(图 3)来看, 冰冻日数最多的年份并不是冰冻指数最大的年份, 出现年平均冰冻日数最多的 1957 和 1969 两个年度, 其指数并不是最大, 而指数最大的 2008 年度, 其冰冻日数排名第 6。所以冰冻日并不能准确刻画冰冻天气的分布(即出现平均冰冻日最多的年度其冰冻灾害并不是最严重), 而冰冻指数更能客观地反映冰冻天气的实际情况。

5 结论

(1) 我国南方地区从 11 月~ 次年 4 月都有冰冻现象发生, 但最严重的为 1 月, 其次为 2 月; 发生区域持续性冰冻天气最严重的前 5 位分别为 2008、1955、1984、1964、1957 年度, 其中 2008 年度最严重, 该年度有近 58% 台站达到了 3 级及以上等级, 超过 39% 台站冰冻天气重现期超过了 50 a 一遇; 程度最轻为 1965 和 2002 年度。

较好。为进一步分析它们之间的关系, 分析了海拔高度大于 1 000 m 台站(共 12 站)的平均雨淞日数和平均冰冻指数(数据表略)。其中湖南南岳、江西庐山、贵州威宁、安徽黄山 4 站年平均雨淞日数超过了 40 d, 南岳、黄山两站平均冰冻指数都超过了 4 级, 由此表明大部分海拔较高台站的冰冻比海拔低的台站明显严重。

(2) 20 世纪 80 年代后与 80 年代前相比, 冰冻日数和冰冻指数减小明显; 贵州和湖南南部地区的冰冻天气以冻雨天气为主, 其他地区以降雪为主。

(3) 通过冰冻日、冰冻指数及 5 级冰冻天气过程出现台站数综合分析, 贵州是我国南方地区冰冻天气最严重的省份(其中贵州西北部无论发生频次还是强度均最严重), 其次为安徽、湖南和湖北, 浙江最轻; 冰冻天气与海拔高度相关性较好, 海拔越高, 冰冻天气程度越严重。

(4) 本文提出的冰冻指数具有较好的时间和空间可比性, 可较好地刻画冰冻天气的时间和空间分布规律。

致谢 国家气象信息中心资料室提供了气象资料, 中国气象局武汉暴雨所徐桂荣博士绘制了部分图形, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 杨贵名, 孔 期, 毛冬艳, 等. 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, 2008, 66(5): 737~ 750.
- [2] 马晓刚. 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, 2009, 25(1): 23~ 27.
- [3] 王 凌, 高 歌, 张 强, 等. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析[J]. 气象, 2008, 34(4): 95~ 100.
- [4] 赵琳娜, 马清云, 杨贵名. 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, 2008, 13(4): 556~ 566.

- [5] 李崇银, 杨辉, 顾薇. 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, 2008, 13(2): 113~122.
- [6] CHANGNON S A, CREECH T G. Sources of data on freezing rain and resulting damages[J]. J Appl Meteor, 2003, 42: 1 514 ~ 1 518.
- [7] CORTINAS J. A climatology of freezing rain in the Great Lakes Region of North America[J]. Mon Wea Rev, 2000, 128: 3 574~ 3 588.
- [8] GAY D A, DAVIS R E. Freezing rain and sleet climatology of the southeastern USA[J]. Climate Res, 1993, 3: 209~ 220.
- [9] CHANGNON S A, KARL T R. Temporal and spatial variations of freezing rain in the contiguous United States: 1948 ~ 2000[J]. J Appl Meteor, 2003, 42: 1 302~ 1 315.
- [10] CHANGNON S A. Urban modification of freezing-rain events [J]. J Appl Meteor, 2003, 42: 863~ 870.
- [11] 陈波, 方伟华, 何飞, 等. 湘江流域洪涝灾害与降水的关系[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 92~ 96
- [12] 张星, 张春桂, 吴菊薪. 农业气象灾害综合评价中权重确定方法的研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 448~ 452.
- [13] 吴东丽, 王春乙, 张雪芬, 等. 华北冬小麦作物气候干旱指数研究[J]. 科技导报, 2009, 27(7): 32~ 36.
- [14] 万素琴, 周月华, 李兰, 等. 低温雨雪冰冻极端气候事件的多指标综合评估技术[J]. 气象, 2008, 34(11): 40~ 46.
- [15] 龙腾文, 赵景波. 湖南省 2008 年初低温雨雪冰冻灾害分析[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2008, 42(2): 314~ 319.
- [16] 胡菊芳, 王怀清, 彭静, 等. 2008 年 1~ 2 月江西低温雨雪冰冻灾害分析评估[J]. 气象与减灾研究, 2008, 31(1): 67~ 73.
- [17] 杜正静, 熊方, 何玉龙. 贵州严重冰冻天气过程典型模型及环流特征分析[J]. 贵州气象, 2009, 33(1): 7~ 10.
- [18] 陈正洪, 史瑞琴, 李兰. 湖北省 2008 年初低温雨雪冰冻灾害特点及影响分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(4): 639~ 644.
- [19] 李兰, 陈正洪, 周月华. 湖北省 2008 年初低温雨雪冰冻过程气候特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(3): 291~ 295.
- [20] 国家气候中心. 2008 年我国南方低温雨雪冰冻灾害及气候分析[M]. 北京: 气象出版社, 2008.

ON SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION OF THE FREEZING WEATHER IN SOUTHERN CHINA

WANG Hai-jun^{1,2}, QIN Jun³, ZHANG Jun^{1,2}

(1. Hubei Meteorological Information and Technological Support Center, Wuhan 430074, China;

2. Climate Change Research Center, Hubei Meteorological Bureau, Wuhan 430074, China;

3. School of Environmental Studies, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430007, China;

4. Open Laboratory of Climate Change Research, China Meteorological Bureau, Beijing 100081, China)

Abstract: Using daily meteorological data from 1951 to 2008 on 112 stations of seven provinces in southern China, the Maximum Difference Normalization Data Analysis Method was used to develop a Comprehensive Index System (CIS) which could reflect the temporal and spatial distribution of the freezing weather happened in southern China. The index system defined the freezing day, the freezing process at single station, freezing index and regional consecutive freezing process, finally the freezing process was classified based on the fraction of Comprehensive Freezing Index, the annual starting and ending data and geographical range in consecutive freezing process were given. Results show that: (1) The five serious regional consecutive freezing disasters happened in southern China are in 2008, 1955, 1984, 1964 and 1957, especially in early 2008, and the number of frost days and Freezing Index decreased obviously during 1951~ 2008; (2) The most extreme freezing weather happened in Guizhou Province, next in Anhui, Hunan and Hubei Province. The freezing weather showed better correlation with the altitude, i. e., the higher of the altitude the more extreme of the frozen; (3) In southern China, ice storm happened mainly in Guizhou province and in southern Hunan province while other regions are snow fall. The Comprehensive Synoptic Weather Index proposed in this paper is comparable in spatial-temporal variation, and can well describe the spatial-temporal variation of the freezing weather.

Key words: southern China; freezing weather; spatial-temporal distribution; Comprehensive Index