

# 1960—2008 年南方地区冰冻时空分布特征

王颖<sup>1</sup> 王晓云<sup>2</sup> 江志红<sup>3</sup> 曾宪宁<sup>1</sup> 赵铁松<sup>1</sup> 邹晨曦<sup>1</sup> 王美双<sup>1</sup>

## 摘要

利用 1960—2008 年南方地区 240 个站点结冰日值和气温观测资料,采用回归分析、累计距平、离散功率谱、相关分析方法,结合 GIS 的空间分析功能,分析该地区冰冻的时空分布特征.结果表明:从时间变化特征看,1960—2008 年南方地区年平均冰冻日数呈现明显减少趋势(其中 1960—1986 年缓慢增加,1987—2008 年则迅速减少),冰冻主要集中在 1、12、2 月这 3 个月,周期以中长周期为主,主要的潜在周期有 49.0、24.5、16.3 和 4.1 a;从空间分布特征看,冰冻频率和冰冻强度均呈现出显著的纬度地带性和垂直地带性特征,整体趋势为由北向南逐渐下降,东西方向上两边高、中间低.

## 关键词

南方地区;冰冻;离散功率谱;冰冻周期;时空分布

中图分类号 P468

文献标志码 A

收稿日期 2010-07-12

资助项目 国家科技支撑计划(2008BAK50B02);  
国家自然科学基金(40901297)

## 作者简介

王颖,女,博士,主要从事气象灾害和城市气象研究. wangyingwf@nuist.edu.cn

## 0 引言

中国绝大部分地区每年冬季都会出现冰冻天气,严重的冰冻会对建筑业、电力行业、农业、林业、交通运输业等产生不同程度的影响.比如:它会造成越冬作物植株和各种林木果树的直接损伤;在冰冻天气背景下若遇上少量降水或湿度适宜,会进一步形成雨淞、雾淞天气,而其附着在电线上到一定程度会压断电线,给电力输送和通信带来危险;若遇上雨雪天气,地面易形成较厚且坚硬的冰冻,路面光滑,危及交通安全.2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日我国南方大部分地区发生了 50 a 一遇的低温雨雪冰冻灾害,据民政部 2 月 24 日统计:因灾死亡 129 人,失踪 4 人;农作物受灾面积  $1.19 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,成灾 8 764 万亩,绝收  $1.69 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ;倒塌房屋 48.5 万间,损坏房屋 168.6 万间;因灾直接经济损失 1 516.5 亿元<sup>[1]</sup>.由此可见,冰冻灾害一旦发生,会对社会稳定、经济发展和人民生活等各个层面产生非常严重的影响.冰冻天气是造成各类冰冻灾害的天气背景,因而冰冻天气的研究是研究冰冻灾害的第 1 步工作.

近些年众多国内学者已经对冰冻展开多方面的研究,研究成果主要集中在冰冻灾害对电力、通讯、林业、农业、交通等的影响分析<sup>[2-8]</sup>,冰冻灾害的天气过程和成因研究<sup>[9-11]</sup>,冰冻天气过程的数值模拟<sup>[12-13]</sup>和对冰冻天气中的雨淞、雾淞及其造成的电线结冰的研究<sup>[14-16]</sup>等,这些工作对于冰冻研究做了有益的尝试,对后续研究具有非常大的指导意义.但是,以往的研究还存在一些不足,比如在研究范围上小区域研究居多,对大范围大格局研究偏少;在研究的时间尺度上研究一次冰冻过程的较多,长时间尺度研究偏少;在研究内容上,对大范围长尺度的冰冻时空变化规律的研究比较少.而这些方面的研究既是冰冻灾害研究的基础工作,又是区域针对冰冻灾害开展防灾减灾工作的基础,所以它不仅具有学术价值,而且具有重要的现实意义.

本文选择中国的南方地区作为研究对象,拟从时空角度出发,研究冰冻的年际变化、年代际变化、月际分布、周期分布和空间分布,探讨其时空变化规律,并通过分析冰冻频率、冰冻强度与气温关系,来解释南方地区冰冻时空规律的成因,期望为冰冻预报和防治工作的开展提供有益的参考.

1 南京信息工程大学 遥感学院,南京,210044

2 中国气象局综合观测司,北京,100081

3 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京,210044

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区域概况

南方地区是指中国东部季风区的南部,位于秦岭—淮河一线以南、青藏高原以东地区,东、南分别面临东海和南海,面积约占全国的25%,人口约占全国的55%,是中国最重要的人口和经济中心。

南方地区的地势东西差异大,主要位于第2、3级阶梯,地形以丘陵和平原为主。东部平原、丘陵面积广大,有长江中下游平原(包括江汉平原、洞庭湖平原、鄱阳湖平原、太湖平原、巢湖平原以及长江三角洲等)和东南丘陵(包括江南丘陵、两广丘陵、闽浙丘陵);西部以高原、盆地为主,有四川盆地(西北部有成都平原)和云贵高原;除此之外,横断山脉、南岭山脉、雪峰山脉、武夷山脉分布其中。

对于南方地区的具体界线划定问题,出于科学性和可行性的考虑,采用的方法是以1月0℃等温线为主要界线,西面等温线曲折较大处参考800mm等降水线划定南北的界线(图1)。

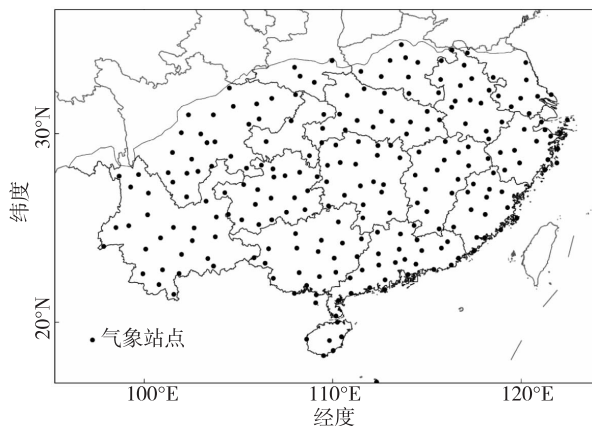


图1 南方地区气象站点分布

Fig. 1 Locations of the meteorological stations in southern China

### 1.2 资料来源

本文在国家气象信息中心提供的全国756个测站结冰日值和气温资料中,选择南方地区作为研究对象,在综合考虑记录完整性、空间代表性等因素的基础上筛选出240个满足1960—2008年连续观测的站点参与计算(图1)。

### 1.3 指标计算

为了研究南方地区冰冻的空间分布规律,分别选用多年平均冰冻日数作为冰冻频率指标,平均持续冰冻日数作为冰冻强度指标。多年平均冰冻日数是指各站点平均每年冰冻出现的日数,冰冻出现的

日数越多,造成灾害的可能性越大。平均持续冰冻日数是指各站点平均每次冰冻持续的日数,冰冻持续时间越长,它造成灾害的可能性越大。计算公式为

$$p = \sum_{i=1}^n x_i / n, \quad (1)$$

$$q = \sum_{i=1}^m x_i / m. \quad (2)$$

式(1)中: $p$ 为冰冻频率(即多年平均冰冻日数),单位:天/a; $x_i$ 为冰冻日数,单位:天; $n$ 为统计年数。式(2)中: $q$ 为冰冻强度(即平均持续冰冻日数),单位:天/次; $m$ 为统计年份内的冰冻发生次数,将连续的有冰冻出现的日数归为一次冰冻过程,单位:次。

### 1.4 数据处理与空间化

根据各站点的气象资料,将一年内逐日结冰日数累加获得各站点的年冰冻日数,将每年的各站点年冰冻日数累加后除以站点总数得到南方地区的年平均冰冻日数,用回归分析、累计距平、离散功率谱方法<sup>[17]</sup>等分析南方地区冰冻的时间变化特征。根据公式(1)、(2)计算各站点的冰冻频率和冰冻强度指标,利用Arcgis的反距离权(IDW)插值法进行空间插值,研究南方地区冰冻的频率和强度的空间变化特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 时间变化特征

#### 2.1.1 年际变化、年代际变化及线性变化趋势

从整体趋势来看,1960—2008年南方地区的冰冻日数平均值为25.1天,年平均冰冻日数表现为显著的减少趋势,其气候倾向减少率为1.7天/(10a),通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。由图2可知:1984、1963、1967、1962年冰冻日数异常偏多,分别为34.8、33.5、33.3和31.3天;2007、2002、2006、1994年冰冻日数异常偏少,分别为16.1、17.0、18.7和18.8天;2008年冰冻日数为29.8天,在49a的时间序列中位于第8位。在时间过程上,1960—1986年年平均冰冻日数缓慢增加,累计距平曲线出现波动上升趋势,到1986年累计距平达到最大,1987—2008年年平均冰冻日数迅速减少,累计距平曲线呈现明显的波动式下降趋势(图3)。

从各个站点趋势来看(图4、图5和表1),在1960—2008年期间,年冰冻日数也呈现出显著的减少趋势。除去沿海19个无冰冻日的站点,在余下的221个站点中,年冰冻日数减少的有197个站点,占余下站点数的89.1%,其中通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检

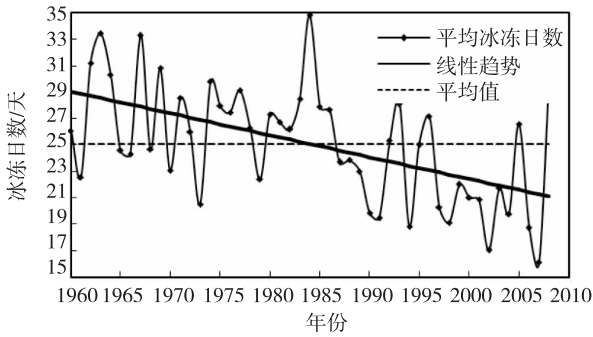


图2 南方地区年平均冰冻日数时间序列  
Fig. 2 Time series of annual average freezing days in southern China during 1960—2008

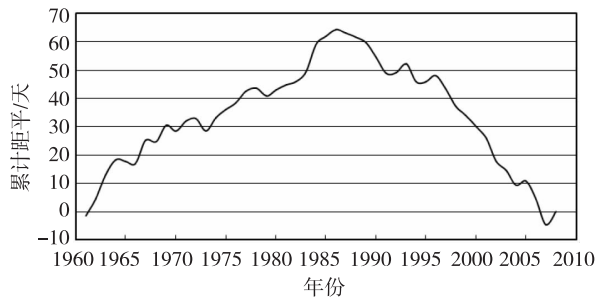
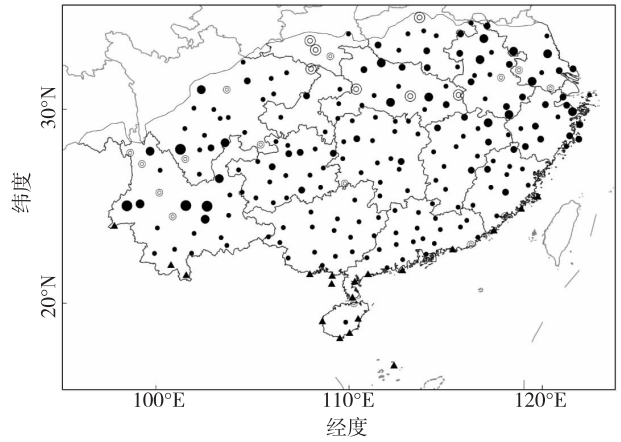


图3 南方地区年平均冰冻日数累计距平  
Fig. 3 Accumulated anomaly of annual average freezing days in southern China during 1960—2008

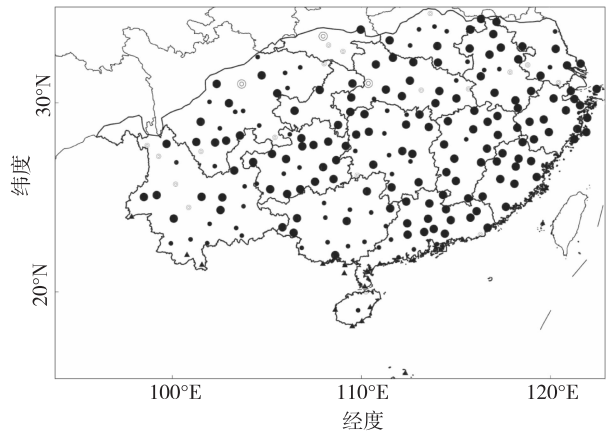
验的有 140 个站点. 趋势减小的站点遍布整个南方地区, 其中西南部和东部减少趋势相对较大, 减小趋势最大的站点是四川的木里和云南的昆明、腾冲、楚雄, 其气候倾向减少率分别为  $-11.9$ 、 $-9.5$ 、 $-8.9$ 、 $-7.6$  天/(10 a), 以上 4 个站点都通过  $\alpha = 0.01$  显著性检验. 年冰冻日数增加的站点有 23 个, 占 10.4%, 主要分布在陕西南部、长江流域和澜沧江流域, 但通过  $\alpha = 0.05$  显著性检验的只有 3 个. 增加趋势最大的站点是陕西的佛坪、石泉和湖北的英山和天门, 分别达到 6.8、4.1、1.9、1.9 天/(10 a), 但只有佛坪通过  $\alpha = 0.05$  的显著性检验. 由此可见, 无论

是从增减趋势的站点数量比例来看, 还是从通过显著性检验的站点数量来看, 南方地区各站点的年冰冻日数是以显著的减少趋势为主.



气候倾向率/(天/10 a):  
● [-12.0,-7.3]; ● [-7.3,-4.2]; ⊙ [0,1.3]; • [-4.2,-2.6];  
◐ [1.3,6.8]; ◑ [-2.6,0]; ▲ 无冰冻日站点.

图4 南方地区年冰冻日数气候倾向率  
Fig. 4 Inclination rate of yearly freezing days in southern China



气候倾向性显著性趋势减少的站点: ● 显著; ◑ 不显著.  
趋势增加的站点: ⊙ 显著; ◐ 不显著; ▲ 无冰冻日站点.

图5 南方地区年冰冻日数气候倾向率显著性  
Fig. 5 Statistical significance of inclination rate of yearly freezing days in southern China

表1 南方地区年冰冻日数气候倾向性及其显著性

Table 1 Inclination rate and its statistical significance of yearly freezing days in southern China

气候倾向率/ (天/(10 a))	有冰冻日的台站		显著 <sup>①</sup>		不显著	
	站点数	比例/%	站点数	比例/%	站点数	比例/%
大于0	23	10.4	3	13.0	20	87.0
小于0	197	89.1	140	71.1	57	28.9
等于0	1	0.5	0	0	1	100.0

注: ①表示通过  $\alpha = 0.05$  的显著性检验

### 2.1.2 月际分布分析

将冰冻日按月份统计分析发现,南方地区的冰冻主要集中在1月、12月、2月,这3个月冰冻日数占全年的86.1%,其中1月最多,占37.1%,12月次之,占26.7%,2月第3,占22.3%.

对各站点的冰冻日月份统计结果表明:在221个有冰冻日的站点中,有149个站点冰冻日数前3位的月份为1、12、2月,占67.4%;有43个站点的前3位的月份为1、2、12月,占19.5%.由此可见,86.9%的站点冰冻日最多的月份是1月.从冰冻分布的月份范围来看(图6),南方地区的东北部和西北部一年中有超过7个月会出现冰冻天气,最早的冰冻日开始于10月,最晚的冰冻日结束于次年4月,中部地区有5~6个月会出现冰冻天气,开始于11月结束于次年3—4月,南部沿海地区小于4个月,开始于12月结束于次年2月.

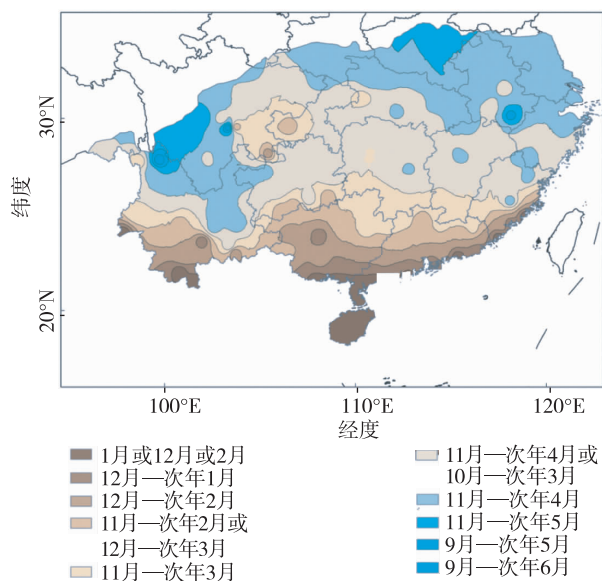


图6 南方地区冰冻的月际分布

Fig. 6 Monthly distribution of frost in southern China

### 2.1.3 周期分析

运用离散功率谱方法对221个有冰冻记录站点的年冰冻日数的时间序列计算冰冻周期.结果表明:在通过显著水平 $\alpha = 0.05$ 检验的周期中,南方地区以中长周期为主,主要的潜在周期有49.0、24.5、16.3、4.1 a,分别占站点总数的71.3%、16.7%、9.9%、9.3%.从拥有周期数量上来看,绝大多数站点存在1~2个潜在冰冻周期,其中存在1个潜在周期的站点有121个,2个的有58个,分别占站点总数

的63.0%和30.2%.最短的潜在冰冻周期为2.0 a(河池、高要、广州),最长的为49.0 a.

由图7发现,南方地区潜在冰冻周期自西向东有逐渐增加的趋势.为了验证这个结果,分别计算冰冻周期与经度、纬度和海拔高度的偏相关系数,发现周期与经度存在一定的弱正相关,偏相关系数为0.178,通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验.49.0 a的潜在周期影响南方绝大部分地区,24.5 a的潜在周期主要影响四川、云南、湖北和河南等地,16.3 a的潜在周期主要影响四川、陕西、云南和湖北等地,4.1 a的潜在周期主要影响浙江、贵州和湖北等地.

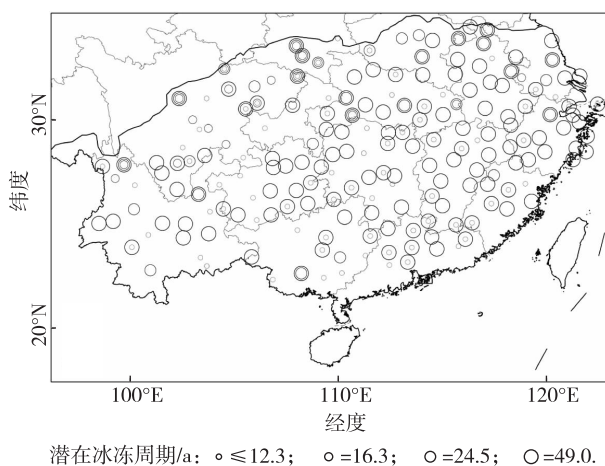


图7 南方地区冰冻的周期分布

(圈的数量代表每个站点拥有周期的数量)

Fig. 7 Distribution of frost cycles in southern China

(the number of circles represents the number of frost cycles occurred in that station)

## 2.2 空间分布特征

### 2.2.1 冰冻频率空间分布特征

计算南方地区各站点1960—2008年多年平均冰冻日数,并以此作为冰冻频率指标,绘制冰冻频率空间分布图(图8).结果表明:南方地区冰冻频率的范围为0~167.3天/a;云南的瑞丽、景洪、勐腊,福建的平潭、崇武、东山,广东的汕尾、湛江、电白、上川岛、徐闻,广西的东兴、涠洲岛、北海,海南的东方、琼海、三亚、陵水、西沙等19个站点49.0 a内无冰冻出现;最大值出现在该区海拔最高(3 276.7 m)的站点——云南的香格里拉.

由图8发现,该区冰冻频率的空间分布呈现出显著的纬度地带性和垂直地带性特征,整体趋势自

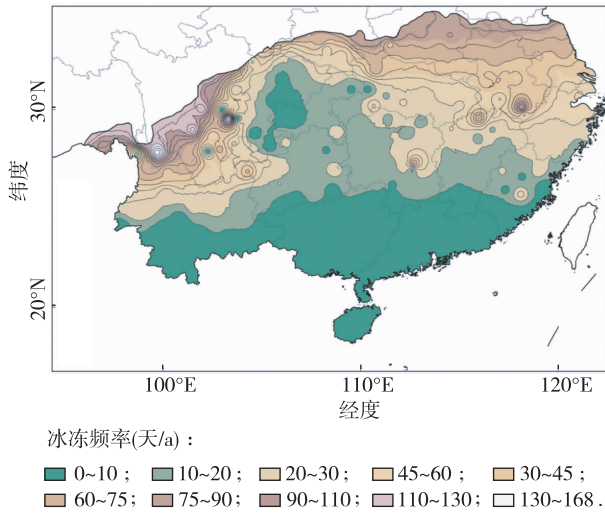


图8 南方地区冰冻频率空间分布

Fig. 8 Distribution of frost frequency in southern China

北向南逐渐下降,东西方向上两边高、中间低. 高值区分布在海拔较高的西南横断山脉北段地区和纬度较高的江淮平原,主要包括四川西南、云南北部、西藏东南、江苏、安徽、河南、湖北北部、陕西南部,冰冻频率均 $\geq 45.0$ 天/a;低值区分布在纬度较低的南部沿海地区和海拔较低的四川盆地,主要包括福建东南部、江西南部、广东、广西、云南南部、四川东部、重庆西部,冰冻频率均 $\leq 10$ 天/年. 为了进一步验证冰冻频率空间分布规律,计算各站点的冰冻频率与纬度、经度、海拔的偏相关系数,发现冰冻频率与纬度、海拔和经度的偏相关系数为0.68、0.65、0.39,均通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验. 这表明冰冻频率与纬度、海拔均表现为显著的正相关,而南方地区冰冻频率从北向南逐渐下降,东西方向上两边高、中间低的整体趋势正是纬度和海拔变化的综合表现.

### 2.2.2 冰冻强度空间分布特征

计算南方地区各站点1960—2008年平均持续冰冻日数,并以此作为冰冻强度指标绘制冰冻强度空间分布图. 南方地区平均冰冻持续日数的平均值为2.6天/次,最小值为1天/次,最大值为12.6天/次,出现在该区海拔第2高(3 047.4 m)的站点——四川的峨眉山.

从图9可以看出,冰冻强度与冰冻频率空间分布的整体态势基本一致,也呈现出从北向南逐渐下降,东西方向上两边高、中间低的趋势. 本区有74.5%的站点平均冰冻持续日数小于3天. 冰冻持

续日数大于3天的主要分布在海拔较高的西南横断山脉北段地区和纬度较高的江淮平原. 南部沿海地区和海拔较低的四川盆地冰冻持续日数小于2天. 冰冻强度与纬度、海拔和经度的偏相关系数分别为0.65、0.66和0.36,均通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验. 这进一步证明了冰冻强度的空间分布也有显著的纬度地带性和垂直地带性.

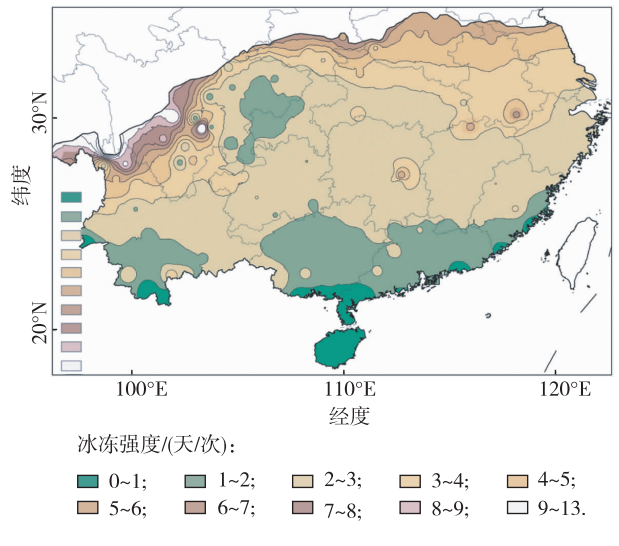


图9 南方地区冰冻强度空间分布

Fig. 9 Distribution of frost intensity in southern China

## 2.3 冰冻与气温关系分析

### 2.3.1 冰冻出现与日最低气温的关系

统计分析南方地区在不同日最低气温条件下的冰冻情况后发现,冰冻的出现与日最低气温有着密切关系. 由图10可见,日最低气温低于 $-1.8$ ℃,冰冻出现的概率大于95%, $0 \sim -1.8$ ℃,冰冻出现的概率50%~95%,日最低气温介于 $1.9$ ℃~ $0$ ℃,冰冻出现的概率5%~50%. 这说明日最低气温在小于 $-1.8$ ℃和大于 $1.9$ ℃区间内,日最低气温是决定冰冻出现与否的关键因素,日最低气温小于 $-1.8$ ℃,冰冻出现的可能性很高,大于 $1.9$ ℃,可能性很低. 日最低气温在 $-1.8$ ℃~ $1.9$ ℃区间内,冰冻出现受到其他气象因素的影响较大.

对南方地区年平均冰冻日数和年平均最低气温的相关分析表明,在0.01显著性水平上两者有显著的负相关关系,相关系数达到 $-0.75$ . 其标准化距平时间序列的对比分析(图11)也能明显反映这种反相关关系,即年平均最低气温越低,年平均冰冻日数越多. 南方地区1960—2008年冰冻波动下降趋势

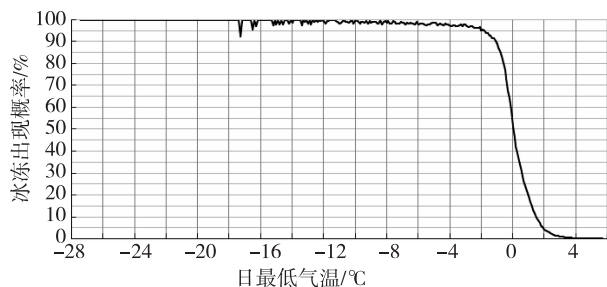


图10 冰冻出现概率与日最低气温关系

Fig. 10 Relation between frozen probability and daily minimum temperature

与年平均最低气温的波动上升趋势相对应;另一方面,南方地区各站点的多年平均冰冻日数和多年平均最低气温的相关系数为 $-0.83$ ,通过 $\alpha = 0.01$ 显著性检验.这些说明日最低气温是形成南方地区冰冻的时空变化特征的主要因素.

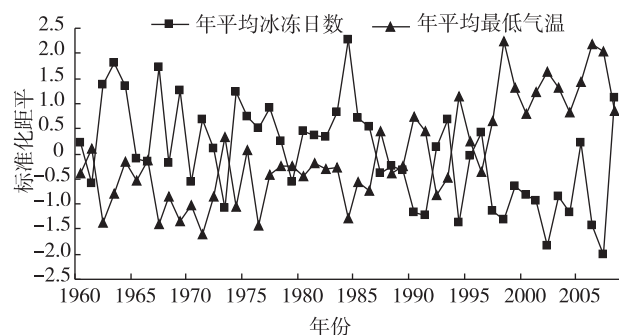


图11 年平均冰冻日数与年平均最低气温标准化距平

Fig. 11 Time series of standardized anomaly of yearly average freezing days and yearly average minimum temperature

### 2.3.2 冰冻持续时间与气温的关系

对南方地区各站冰冻持续日数与冰冻期间日最低气温、平均气温和日最高气温进行相关分析,在 $0.01$ 显著性水平上偏相关系数分别为 $-0.16$ 、 $-0.08$ 和 $-0.05$ (样本数量 $n = 72\ 289$ ),这说明冰冻持续时间与日最低气温、平均气温和日最高气温有显著的弱负相关关系,其中日冰冻持续日数与日最低气温负相关性最高.南方地区不同冰冻持续日数的日最低气温平均值、平均气温平均值和日最高气温平均值见表2.从表2可以看出,随着气温的降低,冰冻持续日数不断提高.连续冰冻日数7天或以上的重度冰冻其日最低气温平均值 $\leq -2.90$  °C、平均气温平均值 $\leq 1.58$  °C、日最高气温平均值 $\leq 7.61$  °C.

表2 冰冻持续日数与冰冻期间气温的关系

Table 2 Relations between continuous days of frost and air temperatures

冰冻持续日数/天	日最低气温平均值/°C	平均气温平均值/°C	日最高气温平均值/°C
1	-0.53	5.08	12.03
2	-1.05	4.20	11.03
3	-1.45	3.56	10.22
4	-1.79	2.99	9.38
5	-2.04	2.59	8.81
6	-2.24	2.33	8.45
7 ~ 14	-2.90	1.58	7.61
15 ~ 30	-4.02	0.30	6.10
31 ~ 60	-4.88	-0.17	6.13
61 ~ 150	-6.38	-1.22	5.73

## 3 结论

1) 在1960—2008年期间,南方地区年平均冰冻日数呈现出显著减少的趋势,其气候倾向减少率为 $1.7$ 天/(10 a).在时间过程上,1960—1986年年平均冰冻日数缓慢增加,1987—2008年年平均冰冻日数迅速减少.在月际分布上,南方地区的冰冻主要集中在1、12、2月,这3个月冰冻日数占全年的 $86.1\%$ .在周期上,以中长周期为主,主要的潜在周期有 $49.0$ 、 $24.5$ 、 $16.3$ 、 $4.1$  a,分别占站点总数的 $71.3\%$ 、 $16.7\%$ 、 $9.9\%$ 、 $9.3\%$ .

2) 冰冻频率和冰冻强度的空间分布均呈现出显著的纬度地带性和垂直地带性特征,整体趋势为自北向南逐渐下降,东西方向上两边高、中间低.高值区分布在海拔较高的西南横断山脉北段地区和纬度较高的江淮平原,低值区分布在纬度较低的南部沿海地区和海拔较低的四川盆地.

3) 冰冻的出现与日最低气温有着密切关系.日最低气温在小于 $-1.8$  °C和大于 $1.9$  °C区间内,日最低气温是决定冰冻出现与否的关键因素,日最低气温小于 $-1.8$  °C,冰冻出现的可能性很高,大于 $1.9$  °C,可能性很低.日最低气温在 $-1.8 \sim 1.9$  °C区间内,冰冻出现受到其他气象因素的影响较大.日最低气温是形成南方地区冰冻的时空变化特征的主要因素.

## 参考文献

### References

- [1] 民政部.民政部通报近期低温雨雪冰冻灾情和救灾工作情况[EB/OL].(2008-02-24)[2008-02-25].<http://www.mca.gov.cn/article/zw/gk/mzyw/200802/>

- 20080200011960.shtml  
Ministry of Civil Affairs of PRC. Ministry of Civil Affairs announced the recent snow and ice disasters and relief work [EB/OL]. (2008-02-24) [2008-02-25]. <http://www.mca.gov.cn/article/zgwk/mzyw/200802/20080200011960.shtml>
- [ 2 ] 李庆峰, 范铮, 吴穹, 等. 全国输电线路覆冰情况调研及事故分析[J]. 电网技术, 2008, 32(9):33-37  
LI Qingfeng, FAN Zheng, WU Qiong, et al. Investigation of ice-covered transmission lines and analysis on transmission line failures caused by ice-coating in China[J]. Power System Technology, 2008, 32(9):33-37
- [ 3 ] 黄雪松, 李艳兰, 丘平珠, 等. 2008年初桂北冻雨对电网的危害及减灾对策[J]. 气象研究与应用, 2008, 29(3):43-45  
HUANG Xuesong, LI Yanlan, QIU Pingzhu, et al. Network-lose of power for icy rain hazards and mitigation countermeasures[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2008, 29(3):43-45
- [ 4 ] 彭洁, 叶成志, 吕昆坤, 等. 湘西北 2008 年初持续冰雪灾害及对桫柑影响分析[J]. 气象科学, 2009, 29(6):844-848  
PENG Jie, YE Chengzhi, LÜ Kunkun, et al. The analysis of persistent ice and rain disaster at the beginning of 2008 in Northwestern Hunan and its impact on citrus production[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2009, 29(6):844-848
- [ 5 ] 高安宁, 陈见, 李艳兰, 等. 2008 年广西罕见凝冻灾害评估及思考[J]. 灾害学, 2008, 23(2):83-86  
GAO Anning, CHEN Jian, LI Yanlan, et al. Assessment and thinking on the rare frozen disaster in 2008 in Guangxi[J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(2):83-86
- [ 6 ] 马泽清, 王辉民, 王绍强, 等. 雨雪冰冻灾害对中亚热带人工林的影响:以江西省千烟洲为例[J]. 植物生态学报, 2010, 34(2):204-212  
MA Zeqing, WANG Huimin, WANG Shaoqiang, et al. Impact of a severe ice storm on subtropical plantations at Qianyanzhou [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(2):204-212
- [ 7 ] 刘建灵, 孙莉莉, 戚连忠, 等. 雨雪冰冻灾害对云和县主要森林群落的影响[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(3):48-51  
LIU Jianling, SUN Lili, QI Lianzhong, et al. Effect of freezing rain and snow disaster on main forest community in Yunhe county [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2009, 29(3):48-51
- [ 8 ] 王林, 于晓光, 黄光体. 雨雪冰冻灾害对日本落叶松的影响及植被恢复重建对策:以湖北省恩施市为例[J]. 林业资源管理, 2009(3):31-33  
WANG Lin, YU Xiaoguang, HUANG Guangti. The influence of the natural disasters of freezing rain and snow on the Larix kaempferi and the proposals on restoring and reconstructing the vegetation-take Enshi City of Hubei province as an example [J]. Forest Resources Management, 2009(3):31-33
- [ 9 ] 叶成志, 吴贤宇, 黄小玉. 湖南省历史罕见的一次低温雨雪冰冻灾害天气分析[J]. 气象学报, 2009, 67(3):488-500  
YE Chengzhi, WU Xianyun, HUANG Xiaoyu. A synoptic analysis of the unprecedented severe event of the consecutive cryogenic freezing rain in Hunan province[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2009, 67(3):488-500
- [ 10 ] 杨贵名, 毛冬艳, 孔期. “低温雨雪冰冻”天气过程锋区特征分析[J]. 气象学报, 2009, 67(4):652-665  
YANG Guiming, MAO Dongyan, KONG Qi. Analysis of the frontal characteristics of the cryogenic freezing rain and snow weather [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2009, 67(4):652-665
- [ 11 ] 唐延婧, 宋丹. 2008 年初贵州低温雨雪凝冻灾害天气成因分析[J]. 气象科学, 2008(增刊1):78-83  
TANG Yanjing, SONG Dan. Analysis of Guizhou's rare steady weather process of low-temperature with snow and congelation in the beginning of 2008 [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2008(sup1):78-83
- [ 12 ] 苗春生, 赵瑜, 王坚红. 080125 南方低温雨雪冰冻天气持续降水的数值模拟[J]. 大气科学学报, 2010, 33(1):25-33  
MIAO Chunsheng, ZHAO Yu, WANG Jianhong. Numerical simulation of 080125 cold air, freezing rain and snow in southern China [J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2010, 33(1):25-33
- [ 13 ] 曾明剑, 陆维松, 梁信忠, 等. 地形对 2008 年初中国南方持续性冰冻灾害分布影响的数值模拟[J]. 高原气象, 2009, 28(6):1376-1387  
ZENG Mingjian, LU Weisong, LIANG Xinzhong, et al. Numeric simulation of influence of the topography on continuous freezing disaster distribution occurred south of China at beginning of 2008 [J]. Plateau Meteorology, 2009, 28(6):1376-1387
- [ 14 ] 吴素良, 范建勋, 姜创业, 等. 兰州至关中电线积冰与导线线径及高度关系[J]. 应用气象学报, 2010, 21(1):63-69  
WU Suliang, FAN Jianxun, JIANG Chuangye, et al. Icing of wires with different heights and diameters from Lanzhou to Guanzhong [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2010, 21(1):63-69
- [ 15 ] 谢运华. 三峡地区导线覆冰与气象要素的关系[J]. 中国电力, 2005, 38(3):35-39  
XIE Yunhua. The relation between meteorological elements and ice accretion in Three Gorges region [J]. Electric Power, 2005, 38(3):35-39
- [ 16 ] 张昕宇. 输电线路覆冰机理浅析[J]. 江西电力, 2008, 32(2):46-47  
ZHANG Xinyu. Analysis on icing mechanism of transmission line [J]. Jiangxi Electric Power, 2008, 32(2):46-47
- [ 17 ] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京:气象出版社, 1990:312-316  
HUANG Jiayou. Methods of meteorological statistical analysis and forecast [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1990:312-316

## Temporo-spatial distribution of frost in southern China during 1960—2008

WANG Ying<sup>1</sup> WANG Xiaoyun<sup>2</sup> JIANG Zhihong<sup>3</sup> ZENG Xianning<sup>1</sup>  
ZHAO Tiesong<sup>1</sup> ZOU Chenxi<sup>1</sup> WANG Meishuang<sup>1</sup>

1 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 China Meteorological Administration Department of Integrated Observations, Beijing 100081

3 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** Based on the data of daily frost and air temperature in 1960—2008 from 240 stations, we analyze the temporal and spatial distribution of frost in southern China using regression analysis, accumulative anomaly, discrete power spectrum, correlation analysis, and GIS spatial analysis function. The result shows that in terms of the temporal variation, annual average freezing days gradually increase during 1960—1986 and rapidly decrease during 1987—2008. Frost mainly occurs in January, December and February. The potential cycles are mainly medium-long cycles, such as 49.0, 24.5, 16.3 and 4.1 a. In terms of the spatial distribution, frost frequency and intensity show distinct latitudinal zonation and vertical zonation, which decrease with latitude and are higher in the east and west than in the middle of southern China.

**Key words** southern China; frost; discrete power spectrum; freezing cycle; spatial and temporal distribution