

许爱华,刘波,郑婧,等.江西冻雨气候特征分析及频发地带成因探讨[J].暴雨灾害,2011,30(1):6-10

# 江西冻雨气候特征分析及频发地带成因探讨

许爱华,刘波,郑婧,许彬

(江西省气象台,南昌 330046)

**摘要:**利用江西省89个气象观测站1960—2008年49 a常规观测资料,采用统计分析和插值处理方法,对该时段江西共计103次冻雨过程的时空演变进行分析,揭示了鄱阳湖以南沿抚河流域至赣中一带冻雨频发的分布特征;另外,从冷暖气团、温度垂直分布特性以及地形影响等方面,对频发地带的成因进行了探讨。结果表明:在冻雨频发地带,暖湿气团沿对流层低层冷垫爬升形成逆温有利于冻雨天气形成,冷暖空气持续在 $26^{\circ}$ — $28^{\circ}$ N地区交汇,是该区域冻雨频发原因之一;符合逆温条件的冻雨高频区主要位于 $28^{\circ}$ N以南,其中 $26^{\circ}$ — $27^{\circ}$ N附近逆温次数明显高于其他地区;江西独特的地形是冻雨次数分布中间多、南北少的另一关键原因,对应江西喇叭口地形区域,最低气温和平均气温都较其他地区要低,更有利于冻雨出现。

**关键词:**冻雨;气候特征;频发地带;地形;逆温

**中图分类号:**P468.0\*24 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2011)01-0006-05

## Climatic Characteristics and Cause on Frequent Freezing Rain Zone in Jiangxi

XU Aihua, LIU Bo, ZHENG Jing, XU Bin

(Jiangxi Meteorological Observatory, Nanchang 330046)

**Abstract:** The conventional surface and upper data from 89 weather stations in Jiangxi from 1960 to 2008 were used to reveal the distribution characteristics of frequent freezing rain zone from the Fuhe River basin in south of the Poyang Lake to the middle part of Jiangxi province by analyzing the time-space revolution of 103 freezing rain cases with statistical analysis and interpolation methods. In addition, the cause for frequent freezing rain zone was discussed on characteristics of cold and warm air mass, vertical distribution of temperature and topographic influence. The results show that warm and wet air mass ascending along the cold air cushion in the low level of troposphere originated inversion layer which is favorable to the formation of freezing rain event, and cold and warm air converging continuously over the areas from  $26^{\circ}$  to  $27^{\circ}$ N is one of the causes for frequent occurrence of freezing rain event. The frequent occurrence areas of freezing rain event according with inversion conditions mainly locate in the area to the south of  $28^{\circ}$ N, whereas the inversion frequency in the area from  $26^{\circ}$  to  $27^{\circ}$ N is significantly higher than that in other areas. Special topography is another important reason for the more freezing rain in the middle of Jiangxi but a few in the north and south of Jiangxi, and freezing rain in the topography areas with bellmouthing shape occurs frequently because the lowest and mean temperatures in these areas are lower than that in other areas.

**Key words:** Freezing rain; Climatic characteristics; High Frequency freezing rain zone; Topography; Reversion

### 1 引言

对于冻雨天气的形成机理,国内外已有较多研究,不少学者从大尺度环流、多尺度系统相互作用、对流层垂直热力结构、地面气象要素特征等方面进行了剖析,提出适合当地冻雨天气的锋面结构与大气层结

的物理模型<sup>[1-5]</sup>,并总结出相应的预报经验指标<sup>[6]</sup>。国外以 Bernstein<sup>[7]</sup>、Rauber 等<sup>[8]</sup>为代表,对美国冻雨的分布及其发生条件进行了总结,指出地形和水汽对冻雨的形成起关键作用,在冻雨的预报中应考虑天气系统、局地因素、过冷却水的厚度和层结廓线等,并对冬季产生冻雨的天气尺度系统和中小尺度系统进行分析和

收稿日期:2010-10-08;修订日期:2010-11-10

资助项目:中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2009MS03),江西省气象局重点科研项目“江西冻雨、大雪、冰冻预报方法研究”

第一作者:许爱华,女,1961年生,正研级高工,主要从事天气预报和预报技术研究。E-mail: fengyu198208@yahoo.com.cn

模拟研究,探讨其微物理结构。此外,也有很多研究从气候变化角度对冻雨灾害进行评估<sup>[9]</sup>。

我国出现冻雨较多的地区是贵州省,其次是湖南、江西、湖北等地,其中山区比平原多,高山最多。针对冬季冻雨的时空演变规律,多数研究表明是受海拔高度、相对高度、迎风坡和背风坡、静止锋区、不同高度冷空气活动等多种因素的综合影响<sup>[10-13]</sup>。杜小玲等<sup>[14]</sup>以 2008 年持续冻雨天气为典型个例,从冷暖气团、温湿特征等方面对 27°N 附近贵州冻雨频发地带的成因进行了解释。叶成志等<sup>[15]</sup>细致分析了 2008 年湖南省冰冻分布的地域特征、多种气象因子及特殊地形对冰冻强度的影响,并对造成降水性质差异及强冰冻的成因进行了探讨。由于江西冻雨天气大多出现在 20 世纪 90 年代以前,对该类灾害天气的形成特点、时空演变缺乏全面的大样本统计分析。例如在空间分布规律方面,其是否存在显著共性?为什么冻雨在抚州地区出现最为频繁?这种分布特点与什么因素有关?为弥补上述空白,本文试图对江西冻雨气候特征分布及频发地带的成因进行探讨。使用资料包括 1960—2008 年 49 a 的常规高空、地面观测资料和报表资料。

## 2 江西冻雨的气候特征

### 2.1 冻雨的选取时间及标准

文本沿用江西省冻雨预报业务标准,即江西范围内 10 站以上出现冻雨天气作为一个区域性冻雨日(以下简称冻雨日)。通过普查 1960—2008 年 49 a 冬半年降水资料及相关历史天气图,共选取满足上述标准的冻雨天气个例 103 例(以下简称冻雨过程)。

### 2.2 冻雨过程次数的年际变化与月变化

#### 2.2.1 年际变化

统计结果表明,1960—2008 年江西省共出现 103

个冻雨日,平均每年 2.1 d;一年出现 9 d 或以上冻雨过程的年份有 3 年(1964、1977、2008 年),其中最多的为 2008 年和 1964 年,冻雨日共出现 10 d;没有冻雨过程出现的有 23 年,占统计总年数的 46.9%。

图 1 给出 1960—2008 年 49 a 间江西区域性冻雨过程次数的年际变化。从中可见,其总体上呈逐渐减少趋势;49 a 间,连续 3 年及以上出现冻雨的时间段有 4 个,分别是 1967—1969 年、1974—1981 年、1983—1985 年和 1988—1991 年。其中从 1974 年开始江西省连续 8 年共计出现 31 次冻雨过程,占其总次数的 30%,是江西省冻雨高发期。与 80 年代前期相比,20 世纪 80 年代后期至 90 年代后期江西区域性冻雨过程有减弱的趋势;之后的 1999—2007 年江西无区域性冻雨过程出现,而 2008 年则出现了历史罕见低温雨雪冰冻天气。

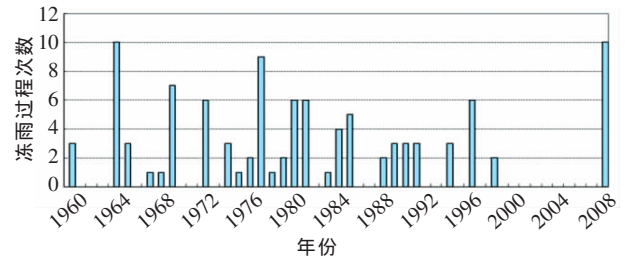


图 1 1960—2008 年 49 a 间江西区域性冻雨过程次数年际变化图

表 1 列出 1960—2008 年江西持续时间在 6 d 或以上的强冻雨过程。从中可见,持续天数最长的是 2008 年 1 月 25 日至 2 月 3 日和 1964 年 2 月 17—26 日的冻雨过程,均持续 10 d。其次是 1977 年 1 月 27 日至 2 月 4 日,持续 9 d;从影响范围看,2008 年 1 月 25 日至 2 月 3 日的过程冻雨范围最广(71 站)、冻雨总站次最多(417 次),其次是 1977 年 1 月 27 日至 2 月 4 日的过程,67 站出现冻雨,总站次为 349。

表 1 1960—2008 年江西持续时间在 6 d 或以上的典型冻雨天气过程列表

出现时间 (年.月.日)	持续 日数/d	逐日冻雨站数										站数/ 站次
		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	第 8 天	第 9 天	第 10 天	
2008.1.25-2.3	10	37	51	55	53	42	31	23	38	48	31	71/417
1964.2.17-26	10	17	32	51	49	30	23	28	30	19	11	63/301
1977.1.27-2.4	9	17	48	58	49	46	42	38	29	15		67/349
1969.1.29-2.4	7	25	50	42	30	34	43	28				65/265
1972.2.4-9	6	18	40	50	53	52	28					69/254
1996.2.17-22	6	16	31	29	26	14	20					45/137
1981.1.26-31	6	25	30	26	22	13	10					39/133

#### 2.2.2 月际变化

1960—2008 年 49 a 资料统计表明,江西省冻雨过程出现在 1、2、12 月份,其中 2 月份是冻雨过程次数最多的月份,共出现 46 次,占其总次数的 45%;其

次是 1 月份,出现 43 次,1、2 两个月冻雨次数占全年总次数的 86%;最少的是 12 月,冻雨过程出现 14 次。

### 2.3 冻雨的空间分布特征

图 2 为 1960—2008 年江西全省 89 个观测站出

现冻雨的频次分布。从中可见,江西省受冻雨影响范围较广,全省几乎都出现过强度不一的冻雨天气,以庐山、井冈山两个高山站为最多(图中以 H4、H5 标出),共冻雨频次分别达到 246、260 次。需要指出的是,由于绘图原因,H4、H5 周围密集等值线地区并不代表有高频冻雨。

就南北分布而论,江西冻雨具有中间多、南北少的特点,主要集中在 26°—29°N 的区域,即鄱阳湖平原及以南沿抚河流域至赣中一带(图 2 中梯形区域),为江西冻雨频发地带,冻雨发生次数基本在 70~90 次。其中又以抚州、南昌最为集中,该区域内共有 3 个高值中心,自北向南依次分布在南昌(图 2 中 H1)、临川(图 2 中 H2)和乐安(图 2 中 H3)。抚州市西部的乐安市,近 49 a 间,共出现冻雨 129 次,仅次于庐山、井冈山两个高山站。位于鄱阳湖平原的南昌,作为江西喇叭口地形的入口区,出现冻雨 120 次,居全省第四位。抚州市北部的临川也达到 102 次。赣东北、赣西北以及赣南为冻雨出现的低频区,为 10~30 次,尤其是景德镇和上饶市北部,其总频次小于 10 次。总体上,江西冻雨分布中间多、南北少,鄱阳湖平原及以南沿抚河流域至赣中一带为频发区,且山区出现冻雨的概率明显高于其他地区。

### 3 冻雨频发地带原因分析

#### 3.1 冷暖空气交汇于江西中部地区

据统计结果,江西冻雨期间,对流层低层大多伴有切变,其中 850 hPa 切变线是主要影响系统。经普查可知,850 hPa 切变线作为主要影响系统的概率为 63%,且多数为暖式切变线。从江西冻雨天气过程期间

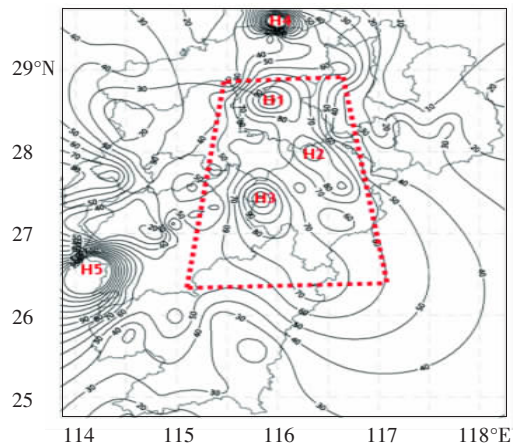


图 2 1960—2008 年江西省冻雨天气过程频次分布图  
梯形区为冻雨频发区;H1、H2、H3、H4、H5 分别表示南昌、临川、乐安、庐山、井冈山冻雨高频中心

850 hPa 平均风场上可清楚看到(图 3a),由贵州南部经湖南至江西东北部存在一明显的切变线,切变线在 113°—118°E 之间主要位于 26°—28°N。由于南北两支气流势力相当,使得该切变线稳定地在 26°—28°N 之间摆动。冻雨区主要位于 850 hPa 切变线附近,并伴随切变线移动而南北摆动。

从江西冻雨天气过程 700 hPa 平均风场上可见(图 3b),切变线相对 850 hPa 平均风场偏北,位于 31°—33°N,长江以南为强而宽广的西南急流,由广西、贵州经湘、赣至浙江北部绵延数千公里范围急流带上风速普遍在 20 m·s<sup>-1</sup> 以上,在 113°—118°E 急流核主要位于 26°—28°N。对流层中层强盛西南气流在 850 hPa 冷垫上爬升,但同时受北部冷空气阻挡,西南气流难以继续北扩,使冷暖气流持续交汇于 26°—28°N,并在该地区形成逆温层,使江西中部成为冻雨频发地带。

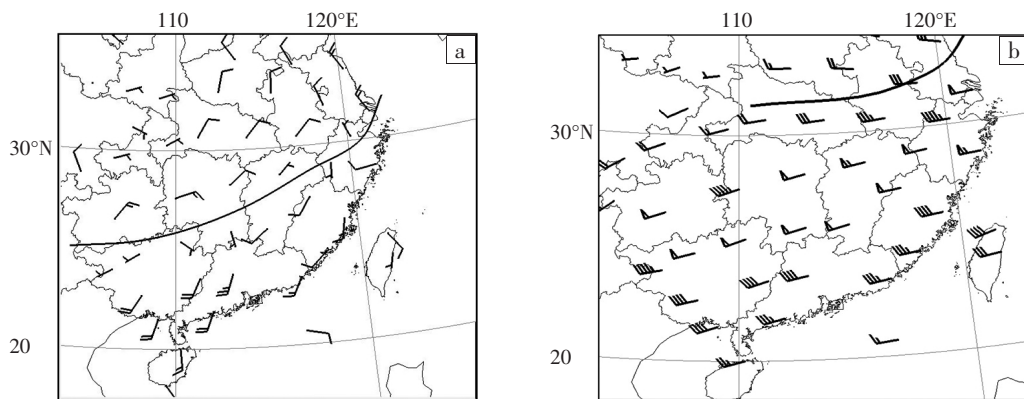


图 3 江西冻雨天气过程期间 850 hPa (a)、700 hPa (b)平均风场

#### 3.2 温度层结分布有利于江西中部多冻雨天气

##### 3.2.1 对流层中低层逆温

冻雨的发生机制与冰晶层、融化层、<0 °C冷层的关系较为密切,对流层中低层的逆温、融化层的出现是冻雨天气能够产生的必要条件。天气预报业务中常

将 700 hPa 温度 ≥0 °C、850—925 hPa 温度 <0 °C 作为冻雨出现的判据之一。通过对江西省 1960—2008 年历次冻雨过程垂直热力层结的统计发现,实况出现冻雨时,南昌、赣州两个探空站资料显示有 51% 的比例对流层中层无 ≥0 °C 融化层分布。究其原因,这主要

是江西省地理位置南北跨度较大,高空探测站布点太过稀疏。因此,在对冻雨过程的垂直热力特征进行统计时,就不能仅用探空站点温度作为参考量。为此,本文将 110°—120°E、22°—32°N 范围内所有探空站点插值为 1°×1°的网格点,对上述关键区的格点温度进行统计。

由于 925 hPa 在 1991 年之后才开始进行常规观测,因此本文主要针对 850、700 hPa 两层的温度进行判定。若某格点 700 hPa 温度 ≥ 0 °C 且 850 hPa 温度 < 0 °C,则判定该格点符合逆温条件。对 1960—2008 年江西冻雨过程中所有满足该逆温条件的格点进行累计,可得到逆温次数分布图(图 4)。从中可见,在冻雨天气中,符合逆温条件的高频区主要位于 28°N 以南,普遍在 20~40 次,尤其是 26°—27°N 附近的格点,有 30~50 次满足上述逆温条件,明显高于其他区域。在 28°N 以南的逆温高频区内,当过冷水滴降落到低于 0 °C 的地面上时,极易形成冻雨天气。赣南尽管逆温次数也较多,但由于地理位置偏南,通常需要非常强烈的冷空气才能使地面温度降至 0 °C 以下,因此降水相态以雨水居多。

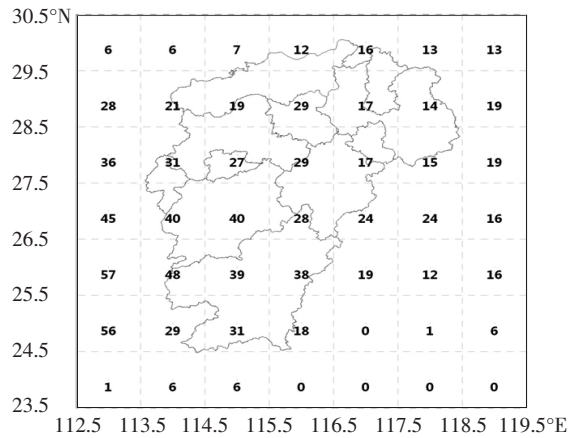


图 4 1960—2008 年江西省冻雨天气过程中逆温次数分布图

### 3.2.2 地面温度

冻雨生成要求有中层强烈暖层和低层深厚冷层,地面温度也是一重要因素。统计结果表明,江西冻雨发生时,3 516 站次样本中,有 99.5% 的样本地面最低温度低于 0.5 °C;同样,平均温度低于 1 °C 的样本占 92.7%。以地面最低温度小于 0.5 °C 和平均气温小于 1 °C 为标准,对出现冻雨且满足该温度标准的测站进行累加,可得到最低温度和平均气温的日数分布(图 5)。

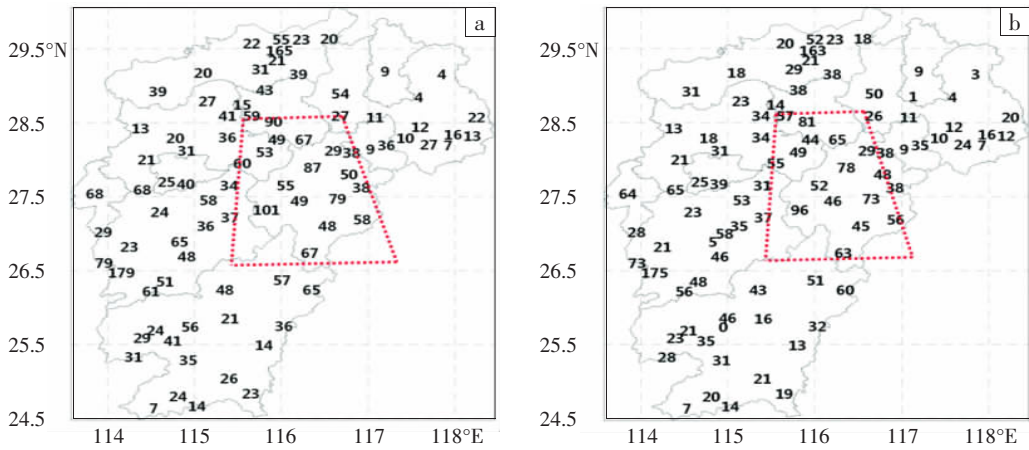


图 5 1960—2008 年江西冻雨天气过程最低温度 < 0.5 °C (a) 和平均气温 < 1 °C (b) 的日数分布图(梯形区为除庐山、井冈山外的高频次区)

从图 5a 中看到,受特殊地形影响,历次冻雨过程中,最低气温小于 0.5 °C 达 50 次以上的测站大多分布在鄱阳湖以南至抚河流域(图 5 中梯形区),其中以抚州市为最多,与冻雨频发地带对应。除庐山、井冈山两高山站,位于高值中心的乐安,地面温度 < 0.5 °C 的样本达 101 次,南昌次之,有 90 次,最低温度的高频中心正好对应江西冻雨高发区;赣东北符合该温度标准的次数则不足 10 次,出现冻雨的概率也相对较低。

从图 5b 中看到,平均气温 < 1 °C 日数的分布特征与最低气温的几乎完全相似,这与叶成志等<sup>[15]</sup>的研究结论相同,在有降水发生的前提下,日最低温度和日平均温度变化趋势较一致。即从气候统计特征上分

析,低于 0.5 °C 日最低温度和低于 1 °C 日平均温度高频区都对应冻雨多发地区。

### 3.3 特殊地形的影响

江西省冻雨频发地带的分布与该省地形有直接的关系。图 6 给出 10 km 分辨率的江西地形分布。从中看到,江西东、南、西三面环山,中部多丘陵起伏,北部有坦荡平原,整个地势由外到内、从南向北逐渐向鄱阳湖倾斜,构成一个向北开口的喇叭口地形。冷空气经喇叭口南下进入江西,使这一带降温较其他地区更快,冻雨频次相对也更高。

抚州成为全省冻雨发生的高频中心,这可能与抚州地区的特殊地形有关。即:冷空气到达鄱阳湖后,易

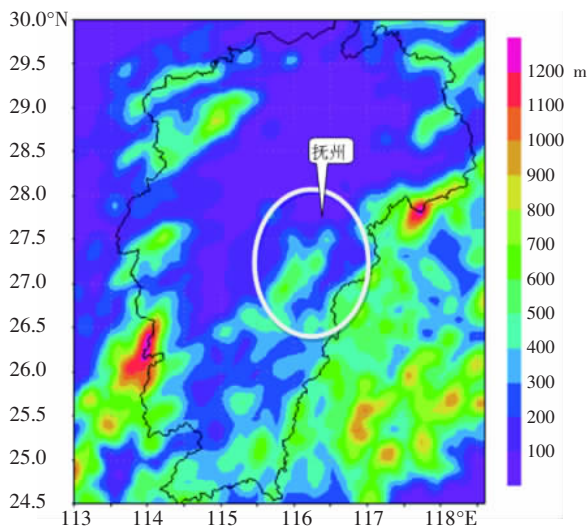


图 6 江西省 10 km 分辨率地形分布图

沿抚河流域直下;同时,抚河流域两侧多丘陵,南部为山区,对冷空气具有阻挡作用,使冷势力停滞在该地区。冻雨日最低气温和平均气温统计结果显示:抚州市 11 个站的平均值分别为 $-2.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-0.90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,而与其纬度相近的吉(安)泰(和)盆地的 12 站分别为 $-1.52\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-0.44\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,两地区相差分别为 $0.54\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。另外,1960—2009 年 12 月至次年 2 月最低气温和平均气温的平均值,抚州市也比吉泰盆地分别低 $0.70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由此可见,相较中部的吉泰盆地,抚州市地面温度更低,也更容易出现冻雨和冰冻现象。

#### 4 结论与讨论

本文分析了 1960—2008 年 49 a 间江西 103 次冻雨过程的时空演变特征以及冻雨过程的中低层天气系统、温度垂直结构、地面气温、地形影响等,得出以下结论:

(1) 江西冻雨具有明显的年际、月际变化特征。49 a 间共计出现区域冻雨过程 103 次,平均每年 2.1 次,且总体呈减少趋势,20 世纪 90 年代以后冻雨发生次数明显减少;冻雨出现在 12 月至次年 2 月,其中 1 月、2 月发生频次相对较高。

(2) 在空间分布上,江西冻雨具有中间多、南北少的特点。由鄱阳湖以南沿抚河流域至赣中一带(即中北部喇叭口地带)发生冻雨的概率较其他地区明显偏高,其中除庐山和井冈山高山地区外,以抚州地区为最多、南昌次之,赣东北和赣南南部极少有冻雨发生。这种分布规律与江西独特的地形有关。

(3) 850 hPa 切变线稳定维持在 $26^{\circ}$ — $28^{\circ}\text{N}$ 附近,其上为 700 hPa 强盛西南暖湿气流。暖湿气团沿对流层低层冷垫爬升,形成逆温,有利于冻雨天气形成。冷空气持续在 $26^{\circ}$ — $28^{\circ}\text{N}$ 地区交汇,是该区域冻雨频

发的原因之一。

(4) 冻雨天气中,符合逆温条件的高频区主要位于 $28^{\circ}\text{N}$ 以南,其中 $26^{\circ}$ — $27^{\circ}\text{N}$ 附近的逆温次数明显高于其他地区。对应鄱阳湖以南至抚河流域的喇叭口地形区域,地面最低温度小于 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的频次和日平均气温小于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的频次较其他地区更高,其中以抚州市频次最高,这与江西冻雨的频发地带有很好的 consistency。

根据江西省各地逆温次数分布,赣南地区逆温次数也较多,但由于赣南不少地方是海拔 400 m 以上的山地,在低层存在明显冷垫的情况下,山地上的温度会降至 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,从而形成冻雨或冰冻。如 2008 年我国南方罕见低温雨雪天气过程中,相关灾情资料显示,赣南山区(尤其是其西部山区)冰冻灾害也非常严重。由于受气象观测站网的限制,本文未对赣南山地这种地形条件下的冻雨做更细的分析。

#### 参考文献:

- [1] 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:气候特征与影响评估[J].气象,2008,35(4):95-100.
- [2] 李登文,乔琪,魏涛.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,2009,28(5):1140-1148.
- [3] 杨贵名,孔期,毛冬艳.2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续原因分析[J].气象学报,2008,66(5):836-849.
- [4] 赵思雄,孙建华.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,2008,13(4):351-367.
- [5] 陶诗言,卫捷.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,2008,13(4):337-350.
- [6] 黄小玉,黎祖贤,李超,等.2008 年湖南极端冰冻特大灾害天气成因分析[J].气象,2008,34(11):47-53.
- [7] Bernstein B C. Regional and local influences on freezing drizzle, freezing rain, and ice pellet events [J]. Weather Forecast, 2000, 15 (5): 485-508.
- [8] Cortinas J V, Bernstein B C, Robbins C C, et al. An analysis of freezing rain, freezing drizzle, and ice pellets across the United States and Canada: 1976-90 [J]. Weather Forecast, 2004, 19(2): 377-390.
- [9] 许丹,罗喜平.贵州凝冻的时空分布特征和环流成因分析[J].高原气象,2003,22(4):401-404.
- [10] 高辉,陈丽娟,贾小龙,等.2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析:成因分析[J].气象,2008,34(4):101-106.
- [11] 孙建华,赵思雄.2008 年初南方雨雪冰冻灾害天气静止锋与层结构分析[J].气候与环境研究,2008,13(4):368-384.
- [12] 董海萍,倪娜,洪凯,等.MM5 模式对 2008 年 1 月 25—30 日我国南方强冰雪过程的数值模拟[J].暴雨灾害,2009,28(1):29-35.
- [13] 朱坤,刘华强,丁守智,等.2008 年 1 月一次强降雪冰冻过程的数值模拟与分析[J].暴雨灾害,2009,28(2):104-111.
- [14] 杜小玲,彭芳,武文辉.贵州冻雨频发地带分布特征及成因分析[J].气象,2010,36(5):92-97.
- [15] 叶成志,吴贤云,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.