

广西冻雨气候及天气形成的机理分析^{*}

唐 熠^{1,2}, 周文志², 奚广平³

(1. 南京大学, 江苏 南京 210044; 2. 桂林市气象局, 广西 桂林 541001; 3. 贺州市气象局, 广西 贺州 542800)

摘 要: 利用广西 1952–2008 年 57 年每年 11 月至下一年 3 月 89 个市县级台站地面报表资料和 NCEP 资料, 对广西近 20 年来冻雨的多年空间分布特征和主要影响系统、温度、水汽等特征进行了探讨。结果表明: 冻雨发生的周期是 6~7 年, 基本发生在广西 23°N 以北区域。冻雨分布图上 24~25°N 有 3 个高值中心, 这 3 个中心和地形图上 3 个高值中心基本重合。月平均温度 10°N 以内区域为冻雨易发区。广西冻雨天气主要有两种类型: 阻塞型和两槽一脊型。阻塞型比两槽一脊型一般来说, 冻雨维持时间更长。风场结构, 上南风、下北风的层结结构加上中低层水汽发展旺盛, 是广西冻雨形成的一个条件。在垂直方向, 逆温层的存在是冻雨发生的关键。

关键词: 冻雨; 时空分布; 特征分析; 广西

中图分类号: X43; P426.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)02-0024-07

云贵高原是全国发生冻雨最多的区域, 广西属云贵高原向东南沿海丘陵过渡地带, 广西尤其是以桂林为代表的桂东北地区, 由于地形、纬度等原因, 有其独特的冬季气候特点。2008 年华南冰冻过程发生后, 对冻害成因及广西冬季降水的研究逐渐增多^[1-10], 如易燕明等^[11]利用 500 hPa 高度场、北太平洋海温场、青藏高原积雪以及表征大气活动特征的物理量等, 较为系统地研究广西冬季严重冻害的前期强信号。在冻害种类对比分析上, 覃丽等^[12]还将低温雨雪冰冻灾害天气与大范围霜冻天气对比分析, 认为造成两种低温寒害过程的南下冷空气都有一定程度的东亚槽引导。但由于形成条件不同, 两种低温寒害过程在 500 hPa 高度场、地面气压场、低层 850 hPa 风场、温度场、湿度场存在较大差异。单纯从冻雨过程出发, 由于发生区域有限(主要发生在桂东北), 资料有限等原因, 研究不多。本文对广西近 20 年来冻雨的多年空间分布特征进行了探讨, 分析了广西冻雨和地形、温度分布的关系; 分析 500 hPa 形势特征、垂直层次温度和水汽分布特征, 为建立预报模型提供了思路。

1 使用资料情况

使用资料包括: ①1952–2008 年地面报表资

料; 用于低温雨雪冰冻过程的个例筛选, 历史背景分析。②1990–2008 年 3 月地面、高空常规观测资料, 主要用于中低层天气尺度系统分析和热力结构特征分析。③NCEP1990–2008 年每日 4 次的再分析资料(水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$), 由于 NCEP 资料网格距较大, 主要用于中高层环流特征和地面形势分析。

2 冻雨时空分布特征

通过普查 1952–2008 年每年 11 月至下一年 3 月 89 个县级台站地面报表资料, 凡是出现雨淞特殊天气代码日期则相应记为一个冻雨日。广西 49 年出现冻雨天气的总日数为 1 188 次。从冻雨天气月份分布图(图略)可见, 其中 1 月最多, 为 538 日次, 占 45.3%; 其次是 2 月 33.6%; 12 月是 20.3%; 11 月和 3 月只占 0.8%。广西月平均温度最低月份是 1 月, 其次是 2 月, 第三是 3 月。这和冻雨多发月份是吻合的。

2.1 年际变化

图 1 是广西冻雨天气日数的年际分布图, 实线是历年值, 点画线为 4 年滑动平均值线。从历年分布看, 1960–1979 年发生次数多, 频率高, 1980 年后呈总体减少趋势, 出现少冻雨日年份增多。由 4 年滑动平均值线可以看出, 冻雨日数变化幅度相对稳定, 发生的周期基本是 6~7 年。

^{*} 收稿日期: 2010-08-14

基金项目: 广西省气象局重点项目(200902)

作者简介: 唐熠(1974-), 女, 广西桂林人, 高级工程师, 从事天气预报工作. E-mail: glqxty@163.com

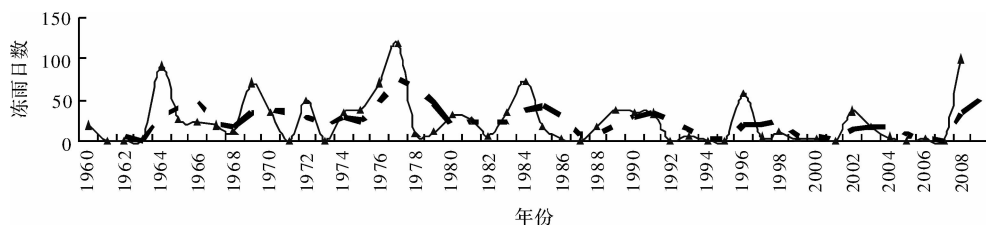


图1 冻雨年际变化

2.2 区域分布

2.2.1 地形和冻雨区域分布关系

从广西冻雨日的空间分布(图2)可见, 1952-2008年广西的各站冻雨日数分布由东北向西南是呈递减趋势, 基本北多南少, 东多西少, 分布很不均匀。出现最多的是桂东北的资源、全州、兴安、灌阳站, 均为100日次以上, 特别是资源站, 达267日次。冻雨日数由东南向西南递减是跳跃式的, 资源250日次以上, 周围三站递减到100左右, 然后是 $24^{\circ} \sim 23.5^{\circ}\text{N}$, 递减到30日次左右, 23°N 附近, 冰冻日数5~10 d左右。总体上说, 冻雨的产生基本在 23°N 以北区域, 23°N 以南到了桂中到桂南从未出现过冻雨天气。

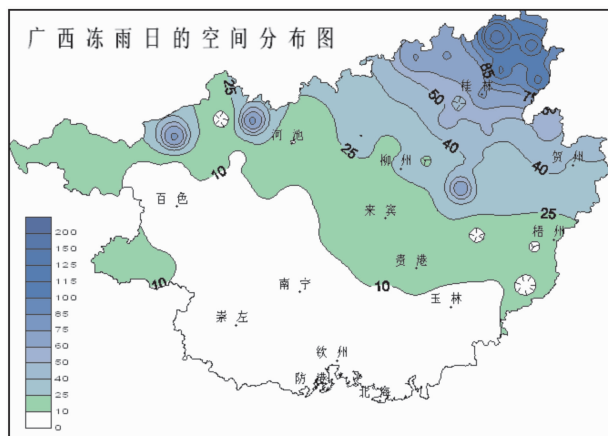


图2 广西冻雨日的空间分布图

各地区的冻雨日数的地理分布不均匀, $24^{\circ} \sim 25^{\circ}\text{N}$ 之间广西东西分布呈波状分布, 有几个高值点。分别是乐业、南丹、金秀站, 冻雨日数频繁。天峨、河池、柳江没出现过冻雨。分析其海拔高度(图3), 发现这种分布与地理分布密切相关, 乐业的海拔高度为973.2 m, 南丹海拔高度为697.4 m, 天峨站位于一河谷内, 海拔高度仅为107.1 m。在分析柳州附近的金秀、平乐、荔浦等站, 发现金秀达到831 m, 而周围站在100~200 m左右。一般来说, 纬度越偏北、海拔高的站较易发生冻雨天气。广西 $24^{\circ} \sim 25^{\circ}\text{N}$ 3个冻雨中心对应海拔图上

3个高值中心。

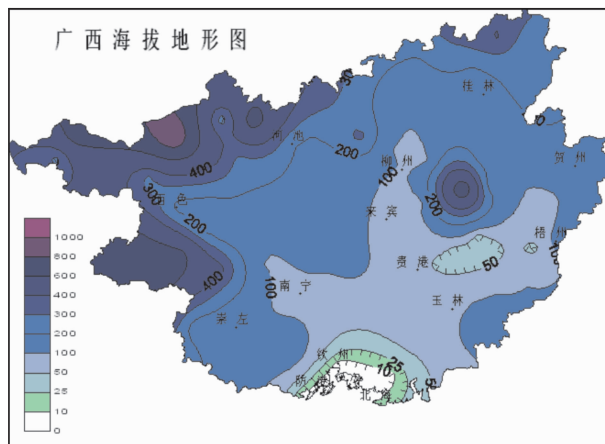


图3 广西海拔地形图

2.2.2 和平均温度关系

1月是广西最冷的月份, 全区各地月平均气温为 $5.5 \sim 15.5^{\circ}\text{C}$, 全区平均 11.1°C 。其分布规律是东北向西南增加(图4), 桂北高寒山区和湘桂走

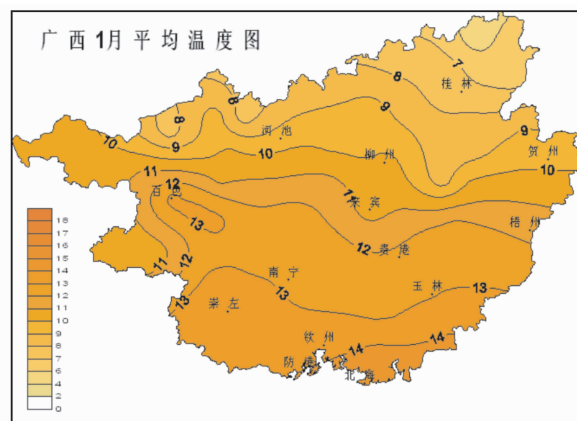


图4 广西1月平均温度图

廊在 8°C 以下, 其中资源最低, 只有 5.5°C , 玉林、钦州两地区南部、左右江河谷等地为 $13 \sim 14^{\circ}\text{C}$, 是广西冬季最暖和的地方, 其余在 $8 \sim 13^{\circ}\text{C}$ 左右。比较1月平均温度分布图和冻雨日数分布图可见, 除了温度分布走向(低温区由东北向西南倾斜)和冻雨高发区一致, 冻雨高发区基本发生在平均温度 10°C 以内区域。这解释了为什么广

西西部的隆林、西林虽然海拔高度高,但无冻雨发生。

3 1990 – 2008 年主要冻雨过程形势场特征

3.1 500 hPa 形势场特征

3.1.1 冻雨过程的 500 hPa 大气环流形势类型统计

统计 1990 – 2008 年冻雨天气的过程,选出 5 次影响广西 15 个气象站以上的冻雨过程。分析其 500 hPa 大气环流形势类型和资源站持续时间(括号内,理由是资源位于桂林市东北部偏中,不论东路或西路冷空气,均受影响,是广西冬季受冷空气影响的代表站,所以以资源为例,研究各冻雨过程的持续时间),见表 1。括号内数值为持续天数,单位为“d”。

表 1 各低温雨雪冰冻天气过程天气形势

	阻塞型	两槽一脊型
具体过程(影响站数)	1996 – 02 – 21(7)	1991 – 12 – 27(2)
	2008 – 01 – 26(21)	2002 – 12 – 21(2)
		1990 – 01 – 30(5)

从表 1 可见,影响广西形成冻雨天气 500 hPa 主要有两种类型:阻塞型和两槽一脊型。冻雨持续时间最长的年份是 2008 年,资源站维持了 21 d,持续时间较短的是 1990、2002 年。阻塞型对应时间为 7 d 以上,两槽一脊型对应时间较短 2 ~ 5 d。分析原因,可能是两槽一脊型和阻塞型比较,由于无阻塞存在,冷空气影响时间短,因而造成的冻雨天气也较短。

3.1.2 500 hPa 冻雨过程的形势场特征

广西低温雨雪冰冻过程大气环流形势模型需建立在有强大的冷空气影响背景下,并有利于降水的大气环流形势中。因而建立模型考虑的重点为:一是冷空气的堆积;二是水汽的活动;三是有一定的抬升作用。在建立模型时考虑的主要影响系统包括阻高和切断低压、南支槽(孟湾槽),东亚沿岸俄罗斯远东低涡等。

图 5 是冻雨两种基本形势 500 hPa 各阶段形势特点图。阻塞型酝酿期(图 5a):冷空气的源地在西伯利亚以东的内陆或北冰洋上,乌拉尔山附近地区形成阻塞高压向东北方向伸展加强,低压槽呈准东西向横贯于 40° ~ 50°N 附近,西伯利亚

中高原上的冷空气在横槽后东风气流引导下向西输送,并积聚在贝加尔湖西侧,阻塞高压稳定期间,横槽以南压为主。由于阻塞高压阻挡了西风带中扰动的发展和东移,所以横槽南侧西风锋区中多小波动东移,对应地面从冷高压的主体中分裂出一个个小冷高压南下,呈现一股股冷空气补充造成持续性降温。另外由于 50° ~ 70°N 有切断低压存在并加深,有利于南支加深,西南气流输送水汽源源不断到达本地。爆发期(图 5b):阻高减弱,其高压脊向东北伸展,脊线开始向东南移动,其前部切断低压开始填塞,横槽移到贝湖北部,当冷舌或冷中心赶上并超前于横槽,负变高也移到槽前,后面转为暖平流并有明显正变高,变高梯度指向东南或南,横槽后面的东北风逆转为北风或西,这时横槽转竖,引导冷空气南下影响。中低纬高原槽东移,带来大量水汽。北方冷空气在南下过程中与南方强暖湿气流相遇在大气近地面层形成 0 °C 以下的冷空气楔(冷垫),而在大气低层则出现较强逆温,而当逆温层处在 0 °C 以上(空气中存在液态水或过冷水滴)时,则降水形式为雨,但到达冷垫层内后迅速凝结为雨淞。在地面上形成冰层,引起冻害。持续期(图 5c):由于威海一带低压填塞缓慢,贝湖脊维持,蒙古到东北横槽维持或转竖后有重新建立,不断分裂出小槽东移南下引导冷空气南下。中低纬维持平直小波动形势,冻雨维持。结束期(图 5d):40°N 以北转为平直西风气流,中纬以河套低槽东移过 110°E,东亚槽建立作为冷空气影响结束标志。

两槽一脊型酝酿期(图 6a):主要特征是中高纬维持两槽一脊型,主脊在 45°N 以北,60° ~ 110°E 之间,脊前西北气流引导冷平流从蒙古进入到我国,沿河套以东南下影响,另外在黑海、里海常出现稳定的强冷大低压(槽),冷空气沿其槽底不断有小槽引导冷平流越过高原南下。南支气流则由高原东侧绕道经印度孟湾北部后移出影响,因此,当南北两支气流汇合时在广西上空时,常伴有较明显的降水出现,形成降雪和冰冻过程。爆发期(图 6b):东亚沿岸槽减弱,40°N 以北脊东移减弱,东北横槽转竖,中低纬槽线移过桂林。出现明显雨雪过程。持续期(图 6c):维持期长短主要看东北横槽转竖到高原脊建立并稳定情况,一般需要 2 ~ 3 d。结束期(图 6d):东北槽区移到日本,整体 500 型式转为多波动的形式,天气转多云或阴,温度回升,过程结束。

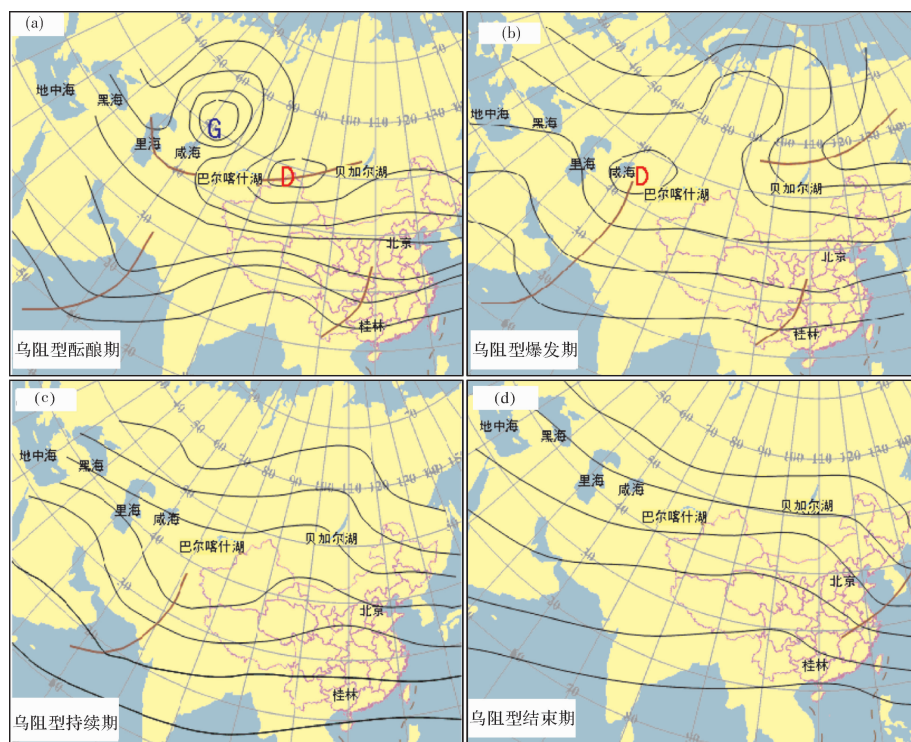


图 5 “阻塞型”500 hPa 各阶段形势特点

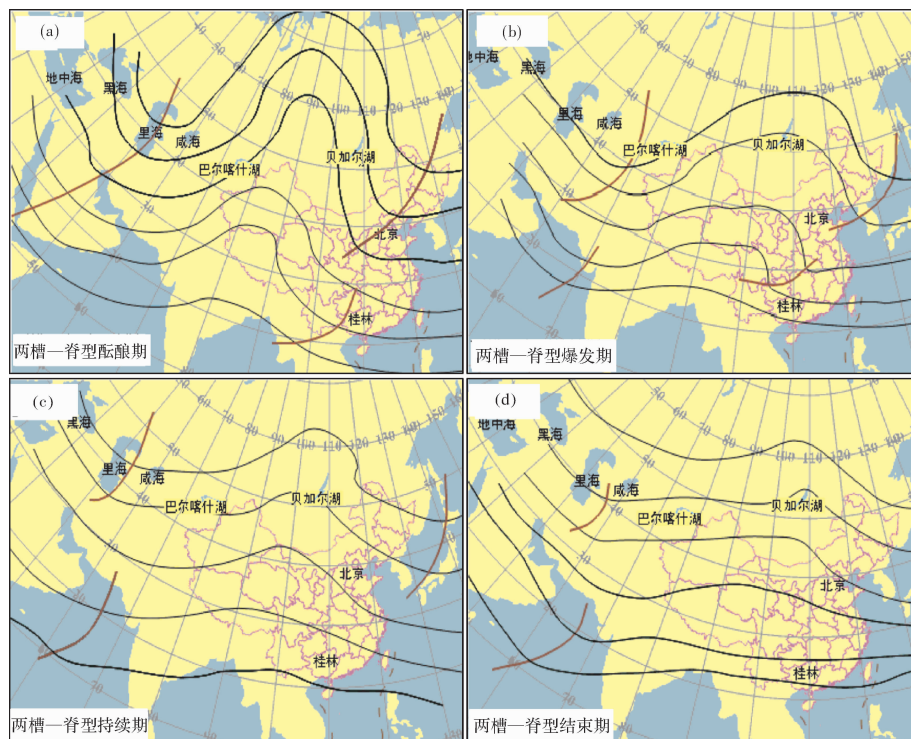


图 6 “两槽一脊”500 hPa 各阶段形势特点

两槽一脊形势和阻塞型比较, 由于无阻塞存在, 冷高中心偏东, 通常位于贝湖西北, 因而其爆发—结束期多数过程以高值向南扩展, 东北横槽转竖为标志。和阻高类相比, 没有冷中心向南扩展后减弱又重新加强, 横槽稳定或转竖后又重

新建立的情况。另外, 40°N 以南维持低值区。没有阻塞型的华东沿海高压脊或高压阻拦, 因而, 阻塞型比两槽一脊型一般来说维持时间更长。

3.2 中低层环流特征

分析 5 次过程 700 hPa - 地面的形势场, 共同

特点如图 7 所示。过程前冷空气前锋已影响广西，850 hPa和地面温度前 2 ~ 3d 已下降到 4℃ 以下。850 hPa - 地面已建立了浅薄的冷层。常见的形势是：700 hPa 存在明显的西南气流，850 hPa 在广西北部 23 ~ 25°N 有切变线，地面有准静止锋在广西北部，地面冷高中心在东亚沿海，本地为东北回流，地面广西冻雨区风向为东北或偏东风。

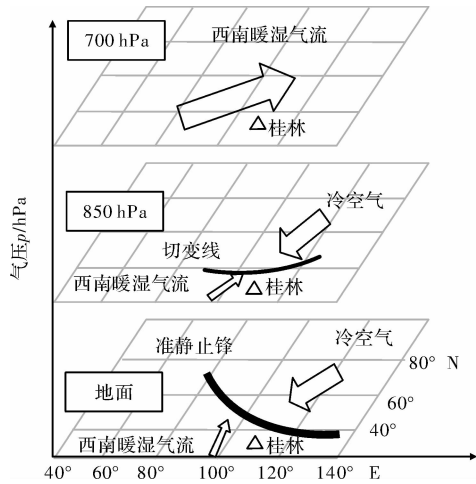


图 7 广西冻雨天气过程中低层环流特征

3.3 风场结构分析

分析 5 次冻雨过程前一天 700 hPa08 时 NCEP 南风分量图(图略)。在 100° ~ 120°E, 20° ~ 30°N 区域，有一 SE - NW 向的南风分量带，广西为南风分量的中心，从各过程中心值看，1990、1991、1996、2002 年基本在 12 m/s 左右，2008 年桂北达到 20 m/s 左右。由此可见，2008 年 700 hPa 南风分量明显加强，是 2008 年中低层风场一大特征。

以 2008 年 1 月 26 日过程为例，分析 500、700、850、1000 hPaNCEP 四层南风分量图(图 8a ~ 8d)，在广西区域(100° ~ 120°E, 20° ~ 30°N, 方框区域内)，500 ~ 700 hPa 在为南风分量区，850 ~ 1 000 hPa 的刚好相反，为北风分量区。南风分量和南支发展移出有关，850 ~ 1 000 hPa 为弱北风

分量，和地面受冷空气影响有关。由于对流层大气降水大多都出现在低层，特别是冬季的降水，因此 700 hPa 及其以下的大气边界层是重点讨论的层面，这些层面的水汽必须非常丰富。

分析 5 次冻雨过程前一天 700 ~ 1 000 hPa08 时 NCEP 相对湿度图(图略)，可见，5 次过程中低层相对湿度广西区域均在 80% 以上。5 次过程均出现上南风、下北风的层结结构和中低层水汽发展旺盛现象，表明强暖湿气流在大气近地面层形成 0℃ 以下的冷空气冷垫上爬行，是冻雨形成的一个关键。

4 热力结构分析

冻雨的基本原理是高空雪或冰粒经一定厚度的逆温层融化为水，再经过一层 0℃ 以下的浅薄边界层，成为过冷水，接触地面物体冻结形成的。雪和冰粒的增长主要发生在 500 hPa 以下的中低层，其形成主要是由于在混合云冰水共存，从而使冰水不断凝华增大，成为雪花和大的冰粒，当云下气温低于 0℃ 时，雪花可以一直落到地面而形成降雪，如果云下气温高于 0℃，则可能出现雨夹雪或冻雨。因此，0℃ 层高度以及 500 hPa 以下大气层的温度层结的分布都对冻雨天气的形成有重要影响。

桂东北地区是广西冻雨的代表性区域，5 次过程均出现平均 5 d 以上冻雨过程，其中桂林气象观测站是国家基准气候站，资料详实，因而以桂林为代表，研究冻雨在垂直方向的热力结构。表 2 是 5 次过程前一天 20 时的桂林站垂直温度和风速表，选取的层次是 500 hPa - 地面。

从表 2 可见 500 hPa 必须较冷，从 5 次过程看，均在 - 8℃ 以上，形成一冰晶层。700 ~ 850 hPa 必有一层大于 0℃ 的暖层，也就是有逆温区，利有冰晶的融化。850 hPa - 地面必有一层是 0℃ 以下冷层，使过冷却水滴重新凝结形成冻雨。

表 2 冻雨过程垂直方向温度和风的分布

具体过程 温度(风向、风速)	1990 - 01 - 30	1991 - 12 - 27	1996 - 02 - 21	2002 - 12 - 25	2008 - 01 - 26
500 hPa	- 12(WS、30m/s)	- 8(WSW、34 m/s)	- 13(WSW、34 m/s)	- 12(WS、32 m/s)	- 10(WS、28 m/s)
700 hPa	1(WS、14 m/s)	1(WS、14 m/s)	1(WS、20 m/s)	0(W、10 m/s)	3(WS、16 m/s)
850 hPa	- 1(EN、10 m/s)	- 8(EN、20 m/s)	- 5(ES、4 m/s)	- 3(E、6 m/s)	3(ES、4 m/s)
地面	2.4(EN、10 m/s)	- 1.4(EN、8 m/s)	0.4(EN、6 m/s)	2.5(EN、4 m/s)	- 0.5(EN、4 m/s)

括号里是该层次风向风速，从风向看，5 次过程 500 ~ 700 hPa 均为暖湿的西南到西南偏西风，地面为东北风。西南气流不仅使气温维持在 0℃ 以

上，也给冻雨发生区域带来水汽。而地面的东北风，则表明地面层为冷空气盘踞，其温度越低就越有利于冻雨天气发生。

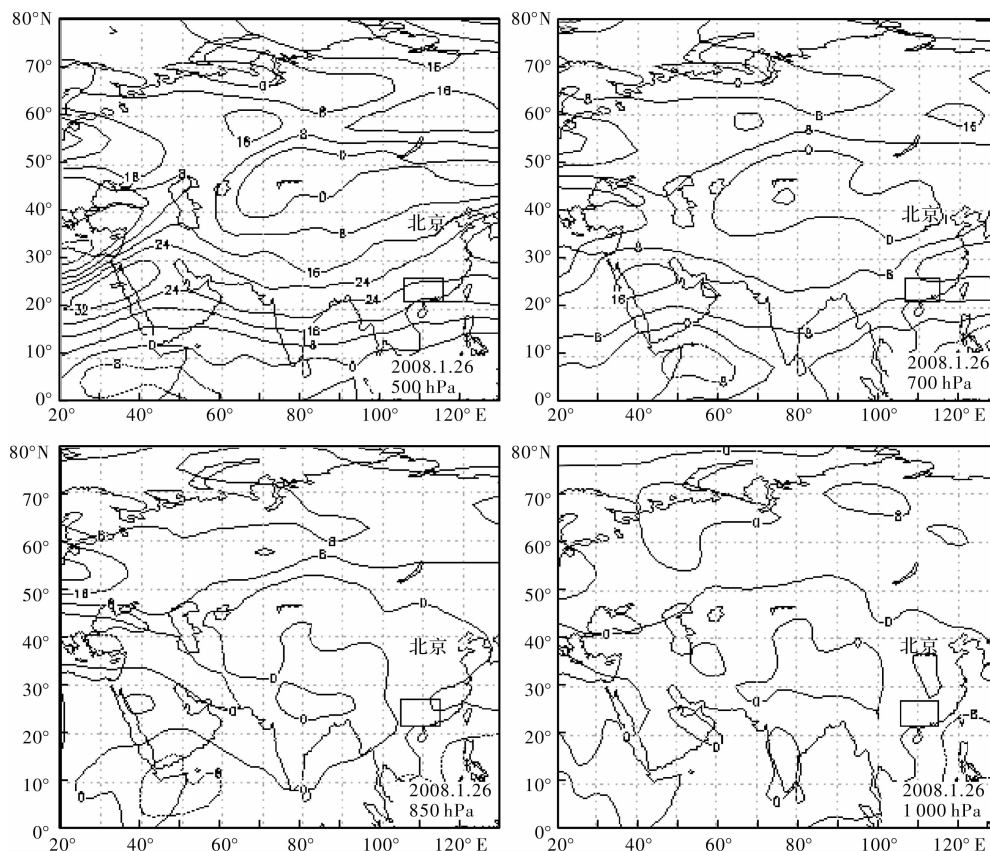


图8 2008年1月26日08时500~1000 hPa NCEP 南风分量图

5 小结

(1)时间分布: 冻雨分布在11月到次年3月。其中1月最多, 其次是2月、12月、11月和3月。

(2)区域分布: 广西冻雨分布基本北多南少, 东多西少, 桂东北是高发区; $24^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$ 有三个冻雨中心。地形和冻雨的关系分析可得: 冻雨空间分布图在 $24^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$ 有3个高值中心, 这三个中心和海拔地形图上3个中心基本重合; 和温度分布关系分析可得: 1月温度平均图低温区和冻雨发生的高值区基本吻合, 基本发生在平均温度10度以内区域, 温度越低的区域发生冻雨概率越大。

(3)影响广西形成冻雨天气主要有两种类型: 阻塞型和两槽一脊型。阻塞型比两槽一脊型维持时间更长。

(4)分析 NCEP 南风分量图, 发现 500~700 hPa 为南风分量, 850 hPa-地面为北风分量。这类上有暖湿的南风、下有干冷的北风的层结结构, 当遇到强冷空气影响时将有利的造成明显冻雨天气。分析5次冻雨过程前一天700~925 hPa 08时 NCEP 相对湿度图, 表明强暖湿气流在大气近地面层 0°C

以下的冷空气冷垫上爬行, 是冻雨形成的一个关键。

(5)500 hPa 必须为 0°C 下, 700~850 hPa 必有一层大于 0°C 的暖层, 也就是有逆温区。850 hPa-地面必有一层是 0°C 以下。逆温层的存在是冻雨发生的关键。

参考文献:

- [1] 丁小剑, 杨军, 唐明晖. 湖南2次典型的冰冻灾害天气特征及成因分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 76-80.
- [2] 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.
- [3] 何燕, 谭宗琨, 丁美花, 等. 2008年罕见低温冻害对广西甘蔗及蔗糖业的影响[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 68-72.
- [4] 周慧, 朱国强, 禹伟, 等. 湖南2008年极端冰冻特大灾害成因分析及影响评估[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 80-85.
- [5] 陶云, 吴星霖, 段旭, 等. 2008年云南滇东北电线覆冰的气象条件[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 82-86.
- [6] 郭建平. 低温雨雪冰冻灾害给农业气象工作的启示[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 75-77.
- [7] 王艳兰. 桂林降雪天气分析与预报[J]. 广西气象, 2001, 22(3): 29-31.
- [8] 陈业国, 农孟松. 2008年初广西罕见低温雨雪冰冻天气的成因初探[J]. 气象研究和应用, 2008, 29(2): 12-18.

- [9] 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, 4(13): 351–367.
- [10] 唐熠, 廖慕科. 桂林雨雪灾害天气多普勒雷达天气初步分析[J]. 气象研究和应用, 2008, 29(2): 26–29.
- [11] 易燕明, 李秀存, 苏志. 广西冬季严重冻害的环流特征[J]. 广西气象, 2002, 23(4): 32–34.
- [12] 覃丽, 曾小团, 高安宁. 低温雨雪冰冻灾害天气与大范围霜冻天气对比分析[J]. 气象研究与应用, 2008, 29(2): 9–11.

Analysis on Mechanism of Freezing Rain Climate and Weather in Guangxi

Tang Yi^{1, 2}, Zhou Wenzhi² and Xi Guangping³

(1. *Nanjing University, Nanjing 210044, China*; 2. *Guilin Meteorological Bureau, Guilin 541001, China*; 3. *Hezhou Meteorological Bureau, Hezhou 542800, China*)

Abstract: Based on ground reports and NCEP data of 89 stations (city and county) from November to next March during 1952–2008, spatial distribution and the main influencing system, temperature and moisture characteristics of freezing rains in recent 20 years in Guangxi are discussed. Results show that, with a return period of 6~7 years, freezing rains attack mostly the northern region of 23°N in Guangxi. There are three high value centers in the 24~25 °N region, which are basically in coincidence with three high value centers on topographic map. Freezing rains happen most in areas with monthly average temperature of below 10 °C. Freezing rain weathers in Guangxi are mainly of two patterns as obstruction and two troughs with one ridge. Generally speaking, freezing rains of the first type last longer than the second one. One condition for freezing rains in Guangxi is wind structure, stratification structure of south wind at the upper layer and north wind at the lower with strong water vapor at the mid-low. A temperature inversion layer in the vertical direction is the key condition of freezing rains.

Key words: freezing rain; space-time distribution; characteristic analysis; Guangxi

(上接第 10 页)

Asymmetric Response of Landscape Trees to Disastrous Weathers

Wang Fei¹ and Zhang Jiquan²

(1. *Shandong Forestry Research Institute, Jinan 250014, China*; 2. *Urban and Environmental Science College, Northeast Normal University of China, Changchun 130024, China*)

Abstract: Characteristics of significant climate changes and fluctuation from 2004 to 2008, especially in 2004, 2006 and 2007 in Yamaguchi, Japan were observed. Disastrous weathers as extremely high temperature in summer and strong typhoon with no rain and persistent drought induced evident visible damages of landscape trees or shrubs. The observation of leaf water potential difference between windward and leeward sweet gum trees suggests that the leaf water potential difference is resulted from sheltering of the leeward leaves by windward leaves, branches and trunks. It also appears significant distinction of leaf area, crown coverage and SPAD value between windward and leeward of many landscape trees, since persistent hit by typhoons or other disaster weather events. It indicates that the self-shelter during hit by disastrous weather event and the imbalanced growth in the restoring period may have two main causes of the asymmetric crown of landscape trees in Yamaguchi. The property of desiccation from terminal to proximal of many woody plants seems an important mechanism to respond the extreme weather events. Pruning is an approach of artificial transpiration surface reduction and maintains plant water balance so that made it become a possible way to improve the injured trees.

Key words: landscape tree; disastrous weather; asymmetric crown; self-shelter; asymmetric growth; Yamaguchi