

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.

贵州冻雨频发地带分布特征及成因分析^{*}

杜小玲 彭 芳 武文辉

贵州省气象台, 贵阳 550002

提 要: 利用贵州省 84 站 48 年观测资料及 2008 年 1 月 12 日至 2 月 14 日 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 的再分析资料, 采用统计分析和插值处理, 揭示了贵州冻雨以 27°N 为中轴线的频发地带分布特征。为探讨这一现象, 寻找了与频发地带分布相似的典型冻雨个例, 并从影响冻雨的冷暖气团、温湿特征等方面进行了讨论。分析指出, 贵州冻雨频发地带是冷暖气团共同影响, 在有准静止锋的背景下产生的; 冻雨天气时, 低空有逆温存在。在水平方向上, 低空逆温分布范围宽广, 逆温中心出现在贵州中东部和湖南西部之间, 对应着冻雨区域的强中心。在垂直方向上, 当存在明显融化层、温度场呈“冷—暖—冷”结构特征时, 对应强冻雨天气; 无融化层存在, 低层冷中心的冷平流很强, 仍可出现较强冻雨。逆温减弱时, 冻雨的范围减小。通过分析, 给出了一类典型冻雨天气的三维结构。

关键词: 冻雨, 冻雨频发地带, 冷垫, 融化层, “冷—暖—冷”结构

Distribution and Cause on Frequent Freezing Rain Zone in Guizhou

DU Xiaoling PENG Fang WU Wenhui

Guizhou Meteorological Observatory, Guiyang 550002

Abstract: Freezing rain is a major severe weather in Guizhou winter. The observed data in the past 48 years in Guizhou are used to reveal the frequent freezing rain zone at 27°N as the central axis of the distribution. To research this phenomenon, a typical case has been found, and the impacts on freezing rain coming from the cold-warm air mass, and moisture-temperature characteristics are discussed. It is pointed out that the frequent freezing rain zone in Guizhou results from the combination of cold and warm air masses and it happens under the background of the quasi-stationary front; An obvious melting layer and the temperature field with “cold-warm-cold” structural features correspond to the strong freezing rain; If without melting layer, the strong advection in the lower atmospheric cooling centers is also able to cause the strong freezing rain. Based on the above analysis, one kind of three-dimensional structure for typical freezing rain has been proposed.

Key words: freezing rain, frequent freezing rain zone, cold layer, melting layer, “cold-warm-cold” structure

引 言

冻雨是贵州冬季主要的灾害性天气, 在我国出现冻雨最频繁的省份是贵州省。贵州出现冻雨天气日数最多, 占总次数的 84% ^[1]。冻雨天气一旦持

续, 则会造成较大危害, 如 2008 年初, 我国南方出现大范围持续“低温雨雪冰冻”天气造成了严重的灾害^[2-7]。因此研究贵州冻雨有特别意义。冻雨并不是我国冬季特有的天气现象, 在北美中东部冬季也经常发生冻雨天气^[2], 美国的东北部和加拿大中东

^{*} 国家自然科学基金项目 40930950, 40865003. 贵州省科技厅重大科技专项:《贵州突发性气象灾害预警关键技术与应急服务体系研究》共同资助

2009 年 7 月 21 日收稿; 2010 年 2 月 25 日收修定稿

第一作者: 杜小玲, 从事短期天气预报. Email: dxl_jingjing@163.com

部地区是世界著名的冻雨灾害区,冻雨频发于五大湖附近。有关冻雨的研究,国内学者的研究主要集中在以下几个方面:(1)在天气气候方面;中央气象台、贵州省气象台以及部分学者^[2-5]的研究集中在个例分析和冻雨发生机制方面。近来针对2008年初我国南方大范围的低温雨雪冰冻天气,高辉等^[8]从气候角度分析了这次灾害的可能成因,黄小玉等^[9]从大气层结、降水、气温等方面分析了湖南特大冰冻灾害的可能成因,王素琴等^[10]则利用5个指标对发生在湖北的冰冻极端事件进行了评估;(2)在预测预报方法研究方面,黄继用¹⁾建立了36小时内贵州的冻雨预报经验指标及消空指标;许炳南^[11]建立了贵州冻雨短期气候预测两类模型。国外对冻雨的研究早些时候以Bennett^[12]、Stewart^[13]为代表的学者主要通过天气系统、大气层结来研究冻雨;近20年来以Martner等^[14]、Bernstein等^[15]为代表的科学家利用遥感资料,如地基遥感仪、风向仪、微波辐射计、风廓线资料、多普勒雷达资料来揭示冻雨事件的大气垂直结构,从而探讨冻雨的微物理结构。

由此可见,冻雨的研究虽然较多,但对冻雨的分布特点,尤其是冻雨频繁出现在特定地带的分布现象的研究目前还较少。为了弥补上述不足,本文试图对贵州冻雨多年的空间分布特征进行初步探讨,即为什么冻雨在27°N附近出现最频繁?此特征与哪些因素有关?

1 资料来源及处理方法

本文使用的资料有:(1)贵州省84个气象站1962年1月1日至2009年2月28日天气现象48年观测资料(其中万山的观测资料自1980年始);(2)NCEP/NCAR每日4次水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的再分析资料。

文中在应用资料(1)时,将测站资料插值为格点资料。需要说明的是,由于所用测站资料仅为贵州省内气象站的资料,未获取邻省气象站资料,插值结果影响了边界地区的逼真性。

2 冻雨分布特征

2.1 年平均冻雨日数分布特征

气候统计分析可知(图略),贵州冻雨多发生于12

月至来年2月,为此先分析冻雨日数的年平均特征。图1为贵州省84个测站1962年1月1日至2009年2月28日冻雨日数年平均分布状况。可见,贵州受冻雨影响的范围宽广,除了南部边缘的荔波、望谟和北部的赤水没有出现冻雨外,其余81个测站都出现过强度不一、时间长短不同的冻雨天气。就南北分布而论,有中间多、南北少的特点。年平均冻雨日数在10 d以上的范围,主要集中在26.5°~27.5°N之间(图1中长条形区域内),称为贵州冻雨频发地带。该区域内在27°N附近纬度带上有4个冻雨中心,自西向东依次分布在威宁(图1中H₁, 26.92°N、104.30°E、2236.2 m)、大方(图1中H₂, 27.09°N、105.60°E、1704.0 m)、开阳(图1中H₃, 27.10°N、107.00°E、1277.2 m)、万山(图1中H₄, 27.50°N、109.20°E、883.4 m)。贵州西部的威宁,年平均冻雨日数达47.9 d(受到插值过程中边界地区逼真性的影响,图1中威宁未出现47.9 d,仅有22 d),居贵州之最;其次是大方,有31.9 d;第三是万山,有26.7 d,位于贵州省的东部;第四是开阳,达到25.7 d,位于贵州省的中部。冻雨日数达到20天以上的还有水城(26.6°N、104.9°E、1813.6 m),为21.5 d。可以看出,冻雨分布以27°N为轴线,呈东西带状分布,并具有西部多,东部少,中间多,南北少的特点。

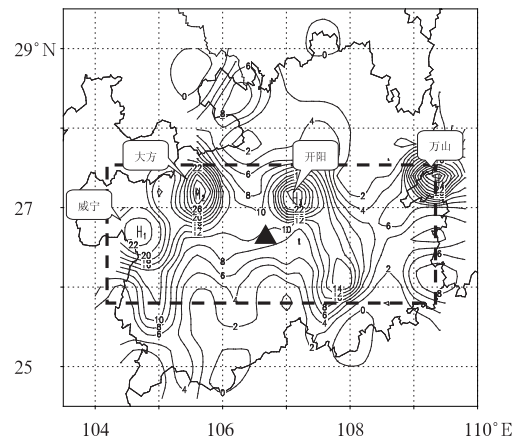


图1 1962年1月1日至2009年2月28日贵州省年平均冻雨日数分布(单位:d)长条形区域:贵州冻雨频发地带。“▲”:贵阳
Fig. 1 The distribution of average annual freezing rain days from 1 January 1962 to 28 February 2009 in Guizhou (unit:d) (The rectangular box denotes: the frequent freezing rain zone in Guizhou Province. “▲”:Guiyang)

¹⁾黄继用. 1999. 冷舌与分片预报研究. 贵州省气象台培训教材之二.

2.2 月平均分布特征

由气候统计分析可知(图略),1月是贵州冻雨最频发的月份。图2为1962—2009年1月多年平均冻雨日数的分布情况。可见,1月贵州大部分地区受到冻雨天气影响,仅有南部边缘的罗甸、册亨、望谟、荔波和北部的赤水共5站未出现过冻雨,其余79测站均有不同的冻雨日数分布。与年平均分布相似,冻雨日数达5 d以上的区域,集中在 $26^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{N}$ 之间。上述4个冻雨中心仍然存在,威宁为17.7 d、其次是大方14.6 d、万山和开阳各有12.9 d。另外还有水城、毕节,1月的冻雨日数均达到10 d以上。在1月,威宁有一半以上的时间受到冻雨天气影响,其他3个中心也有三分之一的时间出现冻雨。

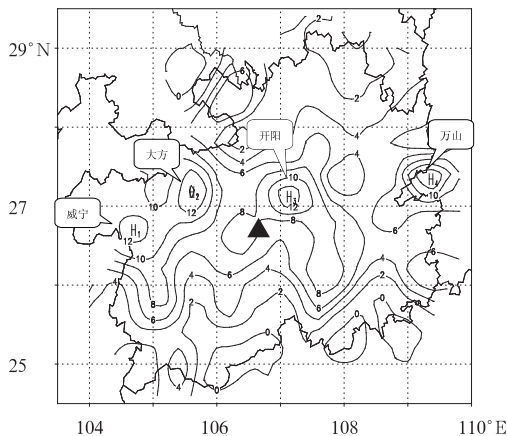


图2 1962—2009年贵州省多年1月冻雨日数平均分布(单位:d,“▲”:贵阳)

Fig. 2 The distribution of average annual freezing rain days from January 1962 to February 2009 in Guizhou (unit:d). “▲”:Guiyang

与1月相比,1962—2009年2月平均冻雨日数(图略)2 d以上的范围与1月5 d以上的范围几乎相当,出现在 $26^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{N}$ 之间。但5 d以上的区域明显缩小,仅出现在以威宁—大方为中心的西部地区 and 以贵阳—都匀为中心的中部地区,以及东部边缘的万山。除了持续时间最长的威宁为12.7 d外,大方、开阳和万山的持续时间均低于10 d,分别是9.5 d、9.1 d和9.0 d。

1962—2008年12月平均冻雨日数的分布显示(图略),仅有以威宁—大方为中心的西部地区 and 以贵阳—都匀为中心的中部地区冻雨日数达到2 d以上,其中威宁最多为10.6 d,其次是大方5.8 d,开阳居第三为4 d。

由上可见,无论是冻雨影响范围最广、强度最大的隆冬季节1月,亦或是步入春天的2月,还是入冬不久的12月,贵州冻雨的频发地带均集中在以 27°N 为轴线的 $26^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{N}$ 范围内。这一基本观测事实提出了这样一个问题,为什么贵州的冻雨多发生在以 27°N 为轴线的带状区域内?

3 冻雨频发地带成因初探

为什么贵州冻雨会出现在以 27°N 为轴线的带状区域内呢?为了进一步分析其成因,对近5年历次冻雨天气的空间分布做了普查,希望找到与多年平均分布状况类似的过程,亦即其多发地带也集中在 $26^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{N}$ 长条形区域内,而后对该过程进行分析,借此找出贵州省冻雨存在以 27°N 为轴线的频发地带现象。结果发现,在这5年的冻雨天气中,2008年1月12日至2月14日的冻雨日数地理分布,特别是其频发地带与多年平均冻雨日数地理分布类似。图3是贵州省2008年1月12日至2月14日冻雨日数分布,由图可见2008年初这次冻雨过程冻雨日数达到20 d以上的分布在 $25.5^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{N}$ 之间;冻雨日数达到30 d以上的分布在 $25.5^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$ 之间,分别是以威宁—大方—水城为中心的西部地区(图3中 H_1)、以贵阳—开阳—麻江为中心的中部地区(图3中 H_2)和东部的万山(图3中 H_3)。最长的33天分别出现在威宁(图3中 H_1)、

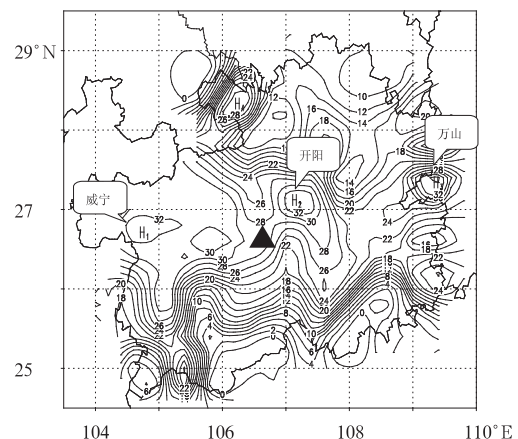


图3 2008年1月12日至2月14日冻雨日数分布(单位:d,“▲”:贵阳)

Fig. 3 The distribution of freezing rain days from 12 January to 14 February 2008 in Guizhou (unit:d). “▲”:Guiyang

开阳(H₂)和万山(H₃)。和冻雨日数的年平均分布相比,威宁、开阳、万山这 3 个中心体现明显。

可见即使历史罕见的 2008 年初贵州冻雨日数的分布仍然与冻雨日数的多年平均相似。

考虑到大多天气现象均与冷暖气团活动密切相关,而冷暖气团是在有利的大气环流背景下运动的,以下分别分析。

3.1 冷气团活动与冻雨频发地带的关系

针对 2008 年初的低温雨雪冰冻天气,一些气象学家指出,大气环流持续异常,中高纬 500 hPa 阻塞高压位于西西伯利亚长达 20 余天,副热带高压偏西偏北;在阻高和副高之间有一横槽维持,这种形势十分有利于冷空气入侵^[4]。在这种阻塞形势背景下,地面冷空气的势力稳定而强大。

在相应的 850 hPa 风场上(图 4),最显著的特点是在高压南侧的偏东风与从南海北上的偏南风之间存在一条切变线。切变线位于江西南部—湖南南部边缘—广西北部—滇黔间一线,对应着地面的华南准静止锋和滇黔准静止锋。在 104°~114°E 之间的切变线主要位于 25°N 附近,其北侧的偏东风回流对贵州的影响显著。对于回流天气过程,有学者^[16]指出,其在降水天气中起着冷垫的作用。由图中标出的冻雨频发地带可见,冻雨天气发生在冷空气势力强大,地面有准静止锋存在,近地面有冷气团回流的背景下。

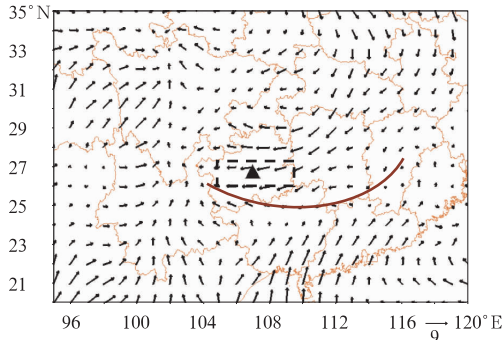


图 4 2008 年 1 月 12 日至 2 月 14 日 850 hPa 平均风场。
粗实线:切变线。长条形区域:贵州冻雨频发地带。“▲”:贵阳

Fig. 4 The average wind field of 850 hPa from 12 January to 14 February 2008. (The thick curve is the shear line. The rectangular-shadow area denotes the frequent freezing rain zone in Guizhou. “▲”:Guiyang)

3.2 暖湿气团活动与冻雨频发地带的关系

在准静止锋背景下,当冷气团以回流方式进入贵州时,冷垫之上的气流运动状态会是怎么样呢?图 5 是 2008 年 1 月 12 日至 2 月 14 日 700 hPa 风场和全风速分析。由图中标出的贵州冻雨频发地带(长条形区域)可见,30°N 以南的南方地区均在西南急流控制下(风速达 12 m·s⁻¹ 以上)。贵州南部上空的西南急流尤为强盛,急流中心(强度达 20~24 m·s⁻¹ 以上)主要位于贵州南部地区与广西西北部交界处,冻雨频发区位于西南急流中心的左侧。

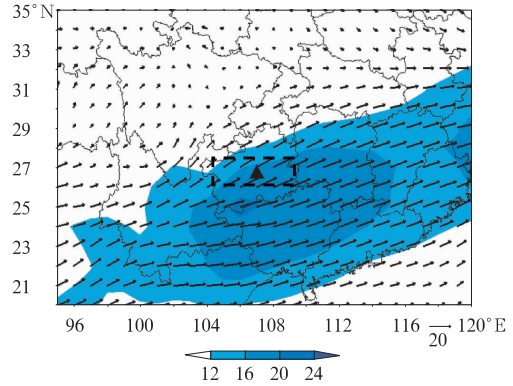


图 5 2008 年 1 月 12 日至 2 月 14 日 700 hPa 平均风场、全风速(阴影区大于 12 m·s⁻¹)。长条形区域:贵州冻雨频发地带。“▲”:贵阳
Fig. 5 The average wind field and its speed of 700 hPa during 12 January to 14 February 2008 (the shadow area denotes the wind speed >12 m·s⁻¹). The rectangular area denotes the frequent freezing rain zone in Guizhou. “▲”:Guiyang

分析低空的冷暖气流的分布,可以得出这样一个概念:由于贵州近地面冷垫维持,强盛的西南气流在冷垫上爬升,有利于形成冻雨天气。那么是否表明低空气流出现这样的分布特征,就能形成冻雨呢?根据冻雨的定义^[17]可以知道,要形成冻雨必须要满足两方面的条件,一是水汽条件,另一个是温度条件。因此有必要再进一步分析水汽和温度对冻雨的影响。

3.3 温度结构特征与冻雨频发地带的关系

前面所述,西南气流在冷垫之上爬升,在其上形成稳定的逆温层^[5]。分析可见,图 6 中逆温区(阴影区)主要位于贵州大部、湖南、广西北部和江南地区。最强逆温区域位于 107°~110°E 之间的 27°N 附近,中心强度接近 8 °C。由图 6 可见,逆温强度 4~8 °C

的区域与贵州冻雨频发地带(图 6 中长条形区域)分布接近。

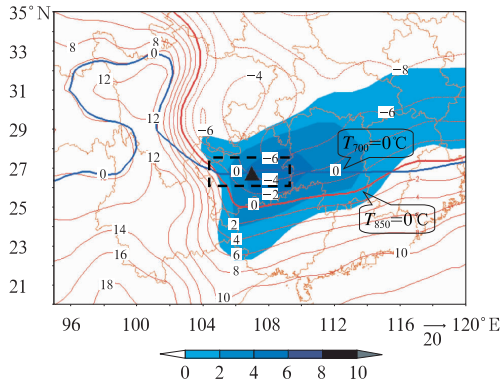


图 6 2008 年 1 月 12 日至 2 月 14 日 850 hPa 平均温度场(红色粗实线:0 °C)、700 hPa 温度场(蓝色粗线:0 °C)

阴影区:逆温区。长条形区域:贵州冻雨频发地带。“▲”:贵阳

Fig. 6 The average temperature of 850 hPa (the red line; 0 °C) and 700 hPa (the blue line; 0 °C) from 12 January to 14 February 2008 (The shadow area; the temperature inversion. The rectangular area; the frequent freezing rain zone in Guizhou. “▲”:Guiyang)

分析低空“融化层”(图 6 中两条 0 °C 线所围的区域)可见,融化层出现在贵州南部、湖南南部和广西北部,主要在 25°~27°N 之间,这与图 3 观测事实的分布或图 6 中长条形区域相比偏南了 1 个纬距左右。可以看出:产生冻雨时,低空逆温普遍在 4~8 °C,低空有时有融化层(图 7 中 1 月 17—30 日),有时并没有融化层(图 7 中 1 月 31 日至 2 月 5 日)。那么融化层存在与否,意味着什么?

分析 2008 年 1 月 12 日至 2 月 14 日贵州省冻雨频发地带温度场沿 27°N 的高度-时间演变图(图 7)可见:1 月 17—30 日,600~800 hPa 之间有温度高于 0 °C 的融化层,且有 6 °C 和 4 °C 的两个暖中心,分别出现于 1 月 23 日和 1 月 19 日;在 800 hPa 以下的近地面温度均为 -4~0 °C,温度场在垂直剖面上具有“冷—暖—冷”的夹心结构特征。值得注意的是,1 月 17 日至 2 月 2 日,贵州省逐日冻雨站数均在 50 站以上,普遍在 60~75 站之间,是冻雨影响范围最广、灾情最重的一段时间,恰是前述存在明显融化层,温度场具有“冷—暖—冷”的夹心结构特征之时。此外,1 月 13—16 日、1 月 31 日至 2 月 9 日,600~800 hPa 之间无融化层;尽管 1 月 31 日至 2 月 2 日,600~800 hPa 之间无融化层,但有一

个 -6 °C 的冷中心,而此间贵州省的日冻雨站数为 70~76 站。以上事实似可表明,没有融化层存在,近地面冷平流很强,仍可出现较强冻雨。2 月 3—9 日,融化层和低层冷中心特征均未显现,日冻雨站数为 15~42 站,冻雨呈逐日减弱趋势。

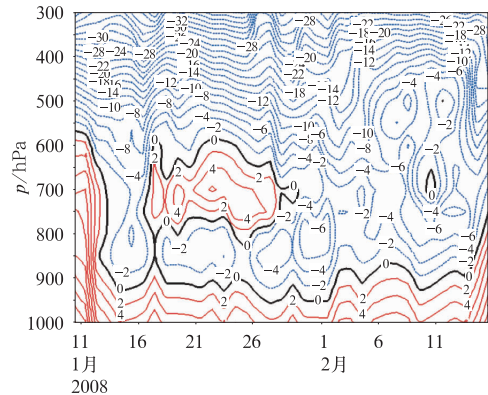


图 7 2008 年 1 月 12 日至 2 月 14 日温度在贵州省(26°~28°N,104°~109.5°E)范围沿 27°N 的高度-时间演变图(黑色粗线:0 °C)

Fig. 7 The height-time cross sections of the temperature over 26°—28°N, 104°—109.5°E from 12 January to 14 February 2008 (the black-thick line; 0 °C)

综上所述,当出现较强的融化层、厚度近 150 hPa 左右、冷垫温度为 -6~-2 °C 时,冻雨的强度最强、影响的范围最广;没有融化层存在,近地面冷平流很强,仍可出现较强冻雨。

4 典型冻雨发生的三维结构

结合上述典型冻雨两个例,文中给出了阻塞型冻雨天气的三维结构(图 8)。图 8a 可见在典型冻雨发生时,亚洲中高纬度维持稳定的阻塞形势,低纬度西风带有南支槽活动,冷暖气流频繁交绥于我国南方地区。图 8b 中,700 hPa 存在明显的西南暖湿气流,为冻雨的发生输送必要的水汽。图 8c 在 850 hPa 上,切变线位于 23°~25°N 之间,在地面上(图 8d)对应着准静止锋。浅薄的冷垫存在于 850 hPa 和地面之间。冻雨出现在准静止锋后,地面气温低于 0 °C 的区域。在温度场垂直廓线上,由于 700 hPa 附近强盛的西南暖湿气流影响,低空逆温大多存在于 700 hPa 和 850 hPa 之间,并在 700 hPa 附近多数有融化层出现。

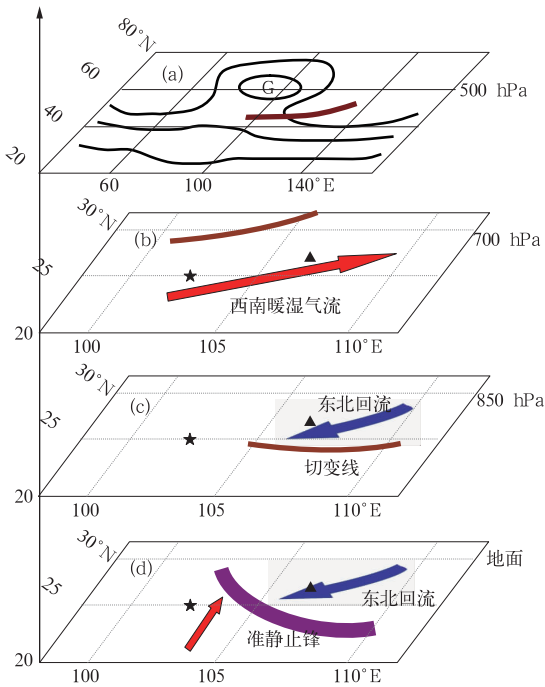


图 8 一类典型(阻塞型)冻雨天气的三维结构

“★”:昆明;“▲”:贵阳

Fig. 8 The 3-D structure of a typical freezing rain caused by the blocking situation

“★”:Kunming, “▲”:Guiyang

5 结论和讨论

(1) 贵州冻雨具有以 27°N 为中轴线的频发地带分布特征,冻雨的 4 个中心均出现在 27°N 纬度带上。

(2) 850 hPa 低空切变线稳定在贵州冻雨频发地带以南的 25°N 附近,有利于回流进入贵州,回流在冻雨发生过程中起着冷垫的作用。

(3) 温度场分析表明:冻雨天气时,低空有逆温存在。在水平方向上,低空逆温分布范围宽广,逆温中心出现在贵州中东部和湖南西部之间,对应着冻雨区域的强中心。在垂直方向上,当存在明显融化层、温度场呈“冷—暖—冷”结构特征时,对应强冻雨天气;无融化层存在,低层冷中心的冷平流很强,仍可出现较强冻雨。逆温减弱时,冻雨的范围减小。

(4) 700 hPa 西南暖湿气流除有利于“冷—暖—冷”结构形成外,还是水汽输送的贡献者,预报业务中应重点关注。

(5) 给出了一类典型(阻塞型)冻雨天气的三维结构。

本文围绕贵州冻雨以 27°N 为中心轴线的频发地带现象,从上述几个方面展开了分析,初步得到一

些结论。尚有一些问题文中未做讨论,如:在准静止锋背景下,有或无冻雨天气,锋区结构特征有哪些差异? 温度场“冷—暖—冷”这种夹心结构特征是否仅为冻雨天气独有? 贵州冻雨的频发地带特征与贵州的地形地貌的关系如何? 这些问题将在后面的工作中开展研究。

参考文献

- [1] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,1992: 442-450.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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结构分析[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 368-384.
- [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] 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 I. 气候特征与影响评估[J]. 气象, 2008, 34(4): 95-100.
- [7] 张勇. 南方低温雨雪灾害历史罕见——2008 年 1 月[J]. 气象, 2008, 34(4): 132-133.
- [8] 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 II. 成因分析[J]. 气象, 2008, 34(4): 101-106.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 许炳南. 贵州冬季凝冻预测和预测模型研究[J]. 贵州气象, 2001, 5(4): 3-6.
- [12] Bennett I. Glaze: its meteorology and climatology, geographical distribution and economic effects. Technical Report EP-105, U. S. Army Quartermaster Research and Engineering Command, Environmental Protection Research Division, Natick, MA, 1959.
- [13] Stewart R E. Precipitation types in winter storms[J]. Pure Appl Geophys, 1985, 123: 597-609.
- [14] Martner B E, Snider J B, Zamora R J. A remote-sensing view of a freezing rain storm[J]. Mon Wea Rev, 1993, 121: 2562-2577.
- [15] Bernstein T A, Omeron M K Politovich and F McDonough. Surface weather features associated with freezing precipitation and severe in-flight aircraft icing[J]. Atmos Res, 1998, 46: 57-73.
- [16] 张迎新, 侯瑞宝, 张保守. 回流暴雪过程的诊断分析和数值试验[J]. 气象, 2007, 33(9): 25-32.
- [17] 《大气科学词典》编委会. 大气科学词典[M]. 北京, 气象出版社, 1994: 156.