

宗志平, 马杰. 2008 年初冻雨强度变化以及与逆温层特征之间的关系[J]. 气象, 2011, 37(2): 156-160.

2008 年初冻雨强度变化以及与 逆温层特征之间的关系^{*}

宗志平 马 杰

国家气象中心, 北京 100081

提 要: 利用 NCEP/NCAR 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日的再分析资料和常规地面观测资料分析了造成我国南方低温雨雪冰冻灾害的 4 次主要冻雨过程的强度变化特征以及在此期间逆温层的时空分布特征, 并讨论了两者之间的联系。结果表明, 四次冻雨过程第三次最强、第二次过程次之, 第一次最弱。同时, 无论从区域平均还是从水平分布上看, 逆温层强度与冻雨强度变化之间存在明显联系。此外, 冷、暖层以及整体逆温层的厚度、高度等虽对冻雨的形成有作用, 但对冻雨强度的影响却不明显。这些结论对日常业务中预报冻雨强度变化提供了一种好的思路, 具有明显的预报参考价值。

关键词: 低温雨雪冰冻天气, 冻雨, 逆温层, 特征

The Relationship Between the Strength Variability of Freezing Rain and the Character of Inversion in the Beginning of 2008

ZONG Zhiping MA Jie

National Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: Using the NCEP/NCAR reanalysis data and observation data (8 times daily) from the Central Meteorological Observatory from January 10 to February 2, 2008, we analyzed the characters of spatial-temporal structure about temperature inversion layers, the variability of intensity of the four freezing rain processes happening in southern China and the relationship between them. The results show that the third out of the four main freezing rain processes is the strongest, then is followed by the second, and the first is the weakest process. Meanwhile, there is a close relationship between the strength variability of freezing rain and reversion layers, which could be revealed either from the regional average value or from the horizontal distribution. Furthermore, the thicknesses and altitudes of the cold layer, the warm layer and the whole inversion layer are able to affect the formation of the freezing rain, but the influence on the strength of the freezing rain is not significant. The results provide a good idea for forecasting the variability of the freezing rain, which is of reference value.

Key words: cryogenic freezing rain and snow weather, freezing rain, inversion, character

引 言

2008 年 1 月 10 日到 2 月 2 日, 我国大部尤其

是南方地区遭受了历史罕见的持续的、大范围的低温雨雪冰冻极端气象灾害, 交通运输、电力传输、通讯设施、农业和人民群众的日常生活遭受了严重的影响和损失。导致如此严峻局面产生的一个主要因

* 行业专项 GYHY200906001、GYHY201006010, 国家科技支撑项目 2009BAC51B03 和中国气象局预报员专项“冬季逆温层的产生及其对冻雨形成的影响”共同资助

2010 年 4 月 7 日收稿; 2010 年 6 月 9 日收修定稿

第一作者: 宗志平, 主要从事短期天气预报、暴雨研究工作. Email: zongzp@cma.gov.cn

素是出现了大面积、长时间、多过程且时间间隔小、强度大的冻雨^[1]。

造成这次低温雨雪冰冻灾害有其特定的气候背景^[2-3]和异常的大气环流背景^[4-8]。研究表明冻雨作为主要的致灾因素,它与逆温层的存在关系密切^[9-10]。这里的逆温层特指上(下)层温度大(小)于 0℃的气层,不同于习惯上所说的“气温随高度增加而升高”的气层。此时在垂直方向上,对流层中下层的大气可分为冰晶层、暖层和冷层^[11]。冰晶和雪花位于最高的冰晶层,它们在下落的过程中先经过暖层而融化成雨滴,接着在冷层形成过冷却水,过冷却水到达地面一旦与 0℃以下的物体接触,就会在其上迅速冻结,使得物体重量加大从而带来灾害,如电线结冰断裂,飞机机身覆冰酿成空难等。

在日常业务预报中,中央气象台常利用 700 hPa 和 850 hPa 层的 0℃等值线位置来判断逆温层是否存在,然后在此基础上结合降水天气形势来预报冻雨的发生。2008 年初的低温雨雪冰冻灾害主要由 4 次冻雨过程造成^[12-15]。根据降水范围和强度划分,其中的第三次过程强度最强。冻雨作为主要的成灾因子,它的强度在 4 次过程中有何变化特征?此外,目前绝大多数关于冻雨的研究,多关注于其产生的影响因子,如环流形势、物理量配置以及冰晶粒子等形成的微物理过程^[16-17],而与业务预报的联系,则研究较少。为了弥补上述不足,本文着重从预报角度讨论逆温层特征与冻雨的关系。如冻雨形成

后,什么因子会影响它的强度变化?已有的绝大部分研究表明冻雨与逆温层存在密切联系,2008 年初低温雨雪冰冻灾害期间逆温层呈现怎样的分布特征?它对冻雨强度是否存在影响?这里将就上述问题展开讨论。

1 资料和方法

本工作采用的是 NCEP/NCAR 一日 4 次的全球再分析资料,时间为 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日,水平分辨率为 1.0°×1.0°,垂直方向上从 1000 hPa 到 10 hPa 共 26 层。地面降水资料为日常预报业务中用到的 2513 个国家基本观测站资料。

文章所研究的逆温层包含了暖层(气层温度大于 0℃的部分)、冷层(气层温度小于 0℃的部分),即与中央气象台业务预报中的做法保持一致。

2 冻雨强度变化

图 1a 给出了 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日所观测到出现的冻雨站数的水平分布,由图可见此次南方冻雨灾害主要影响了贵州大部、湖南中南部、江西中北部、广东北部、广西北部等地。其中,贵州和湖南观测到冻雨站次数最多,贵州中西部更是先后观测到冻雨多达 140 站次;而地理位置偏东的江西中部则相对较少。基于此,定义 25°~28°N、104°~

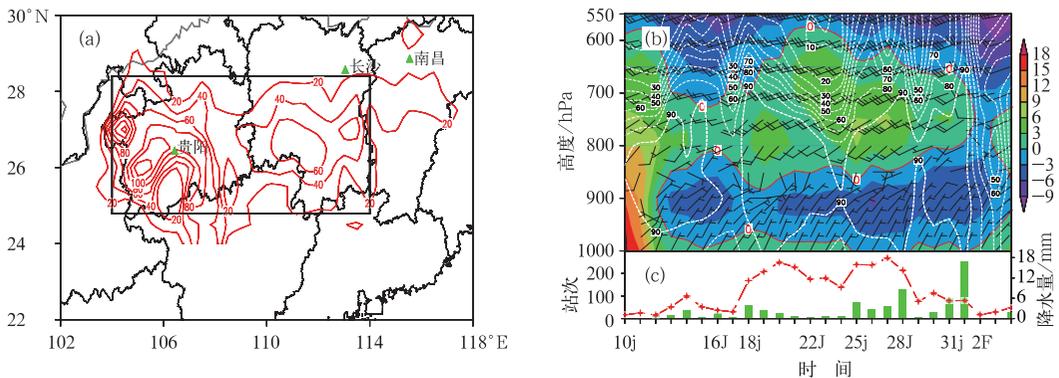


图 1 (a) 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日观测到的冻雨站次数分布; (b) 区域(25°~28°N, 104°~112°E) 平均的温度(阴影)、风、相对湿度(白色虚线)在不同高度随时间的变化。横坐标标注出了每次冻雨过程的起始(后缀为小写字母)、结束时间(后缀对应的大写字母); (c) 如图 b, 这里为区域总降水量(对应直方图)和每日出现的站点数(用带“+”实线表示)

Fig. 1 (a) The number of stations that appeared freezing rain from January 10 to February 2, 2008. (b) The time-height cross section of the temperature (shown as shaded), wind (the barb), relative humidity (the white dashed contour) averaged over the region (25°–28°N, 104°–112°E). The starting (ending) time of freezing rain in every process corresponds to the small (capital) letter of J(anuary) or F(ebruary). (c) Same as (b), but for the total precipitation of the region (the histogram) and the number of freezing rain station (the real line with the ‘+’)

114°E 为研究区(实况统计也表明该区域为冻雨灾害严重区域)。

图 1b 分析了区域平均的温度、湿度以及纬向(u)和经向(v)的矢量风随高度和时间的变化(横坐标是时间,其中标注出了中央气象台划分的 4 次主要冻雨过程:1 月 10—16 日、18—22 日、25—28 日和 31 日至 2 月 2 日)。由图可发现,1 月 12 日至 2 月 1 日区域上空持续存在着稳定的逆温层,并且每次过程冷暖层的厚度、高度均有显著变化;冷、暖层分别与下层东北风、上层西南风相对应,同时风速大(小)时暖层厚度也较大(小)。由此可以判断出区域上空持续的较强西南气流带来的暖湿空气,造成了暖层温度长时间高于 0 °C。而低层的东北风不断带来南下的冷空气,使得从近地面到 850 hPa 的温度维持在 0 °C 以下,但风速大小与厚度关系不明显。此外,由图 1b 可见相对湿度在 600~700 hPa 的梯度最大,结合它与温度层结之间的配置关系,不难看出冻雨期间 850 hPa 附近对应着区域平均的高空锋区的位置,锋区下方的相对湿度大于 90%,之上湿度迅速减小^[10]。

为比较 4 次过程冻雨强度变化,图 1c 给出了每日观测到冻雨站数,这里作者将其定义为冻雨强度(见图 1c 中带“+”号实线)。由图可知,第三次过程强度最大,日均发生冻雨 240 站次,这与中央台按降水量和范围定义的过程强度是一致的。第二次过程次之,为 205 站次,第四次为 58.7 站次,而第一次过程强度最小,日均只有 42.7 站次。另外,文章还分析了区域平均的日降水量(图 1c),结果表明它与冻雨强度之间没有必然联系,如 2 月 1 日区域降水量最大,但此时冻雨强度反而较小。那么影响冻雨强度的因素是什么呢?接下来将就这一问题继续进行讨论。

3 逆温层特征

3.1 逆温层强度

图 2 是冷暖层对应的极值温度以及二者之间差值的时间序列,这里将三者分别看做冷层、暖层、逆温层的强度指数。由图可见,逆温层强度在 26—27 日达到了最大,为 9 °C,刚好对应最强的第三次冻雨过程。由于每次过程持续时间不同,因此这里进一步计算了 4 次过程中逆温层的日平均强度,分别为 3.14 °C、3.8 °C、8 °C、3.3 °C,这与图 1c 中所定义的

冻雨强度是一致的。说明逆温层强度与冻雨强度具有很好的对应关系,且它更便于在日常的预报业务中使用。结合图 2 中冷、暖层强度变化特征,不难看出第三次冻雨过程之所以最强,是因为此时冷暖层均较强,其中的冷层出现了极小值(-5 °C)。换句话说,由于冷、暖层同时增强使得逆温层强度达到最大,从而造成了第三次冻雨过程最强。同样,第四次过程冷层虽维持最大强度,但由于暖层温度降低到了 0 °C,区域上空的暖层显著减弱,对应逆温层强度减弱,所以此时冻雨减弱。

综上所述,逆温层强度对冻雨强度变化具有明显影响,这为以后业务中预报冻雨提供了帮助,即冻雨的产生可依据逆温层是否存在,而进一步预报其强度变化还要参考逆温层强度的变化趋势。

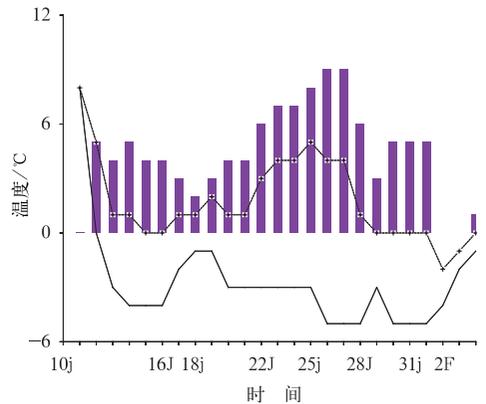


图 2 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日冻雨严重区域(25°~28°N、104°~112°E)上空的暖层(带“+”字的虚线)、冷层(实线)的极值温度以及二者温差(直方图)的时间序列
Fig. 2 The time series of the extremum temperatures of the warm layer (the dashed line with '+'), the cold layer (the real line) and the difference between them (histogram)

3.2 逆温层厚度

研究指出暖层厚度对冻雨产生有影响^[18]。因为大于 0 °C 的暖层常被看作为融化层,要使落入其中的冰晶或雪花融化为液态水^[19],它必须要有相当的厚度,否则融化的过冷却水会再次凝结^[20]。那么,暖层厚度对冻雨强度是否也存在有影响呢?为此图 3 分别给出了冷、暖层、逆温层的顶、底和厚度随时间的变化序列。由图可知,暖层厚度在 1 月 12 日,即冻雨刚出现时最大。这是因为之前该区域均被大于 0 °C 的暖空气控制,而此时冷空气刚刚侵入

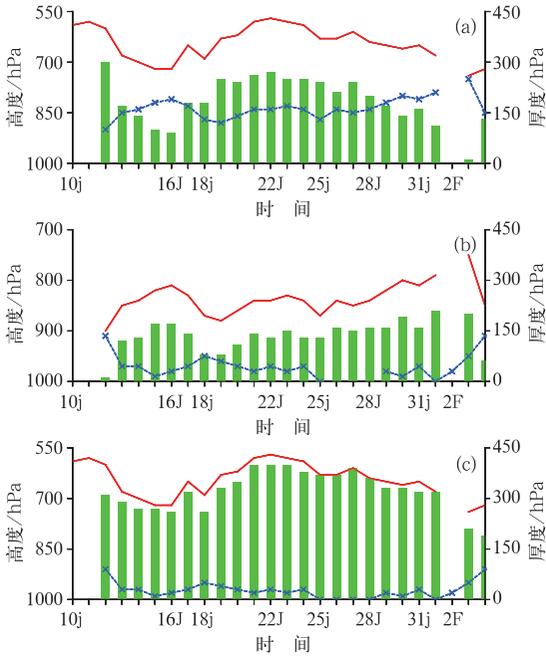


图 3 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日区域(25°~28°N、104°~112°E)平均的暖层(a)、冷层(b)和逆温层(c)层顶(实线)、层底(带“*”虚线)及其厚度(直方图)随时间变化序列

Fig. 3 The time series of the roof (the real line), bottom (the dashed line with ‘*’), and thickness (the histogram) of the warm layer (a), the cold layer (b) and the inversion (c)

还未形成堆积,范围很小,所以区域上空暖层还很深厚。其后,厚度出现变化,但基本维持在 200 hPa 左右,且中心位于 750 hPa。同样,冷层(图 3b)以及逆温层整体(图 3c)的厚度随时间虽也有变化,但幅度也不大(图 3b、图 3c)。需要补充的是,相比来讲,暖层厚度大于冷层,且与温度变化趋势较一致^[21]。

由以上讨论可知,冻雨的形成虽然离不开一定厚度的冷、暖层,但当冻雨一旦形成,其强度变化可能与冷、暖层之间的关系并不大。

3.3 逆温层水平分布

前面的讨论曾指出暖层的极值温度基本位于 750 hPa(图 1b 和图 4a),即该层可以表征暖层的变化。而冷层的极值位置虽大多出现在 900 hPa,但考虑到地形高度,以及参考中央气象台的日常做法,选取了 850 hPa 来代表冷层。图 4 给出了当 850 (750) hPa 温度为负(正)值的区域分布,即逆温区的水平分布。等值线大小为过程内日平均的逆温层强度。由图可知,4 次过程中逆温层南界缓慢南移,北界除了第一次过程接近 34°N 外(对应河南等地的冻雨),其余均在 31°N 附近。相比较,第一和第三次过程逆温层面积较大,其中第一次的面积最大,

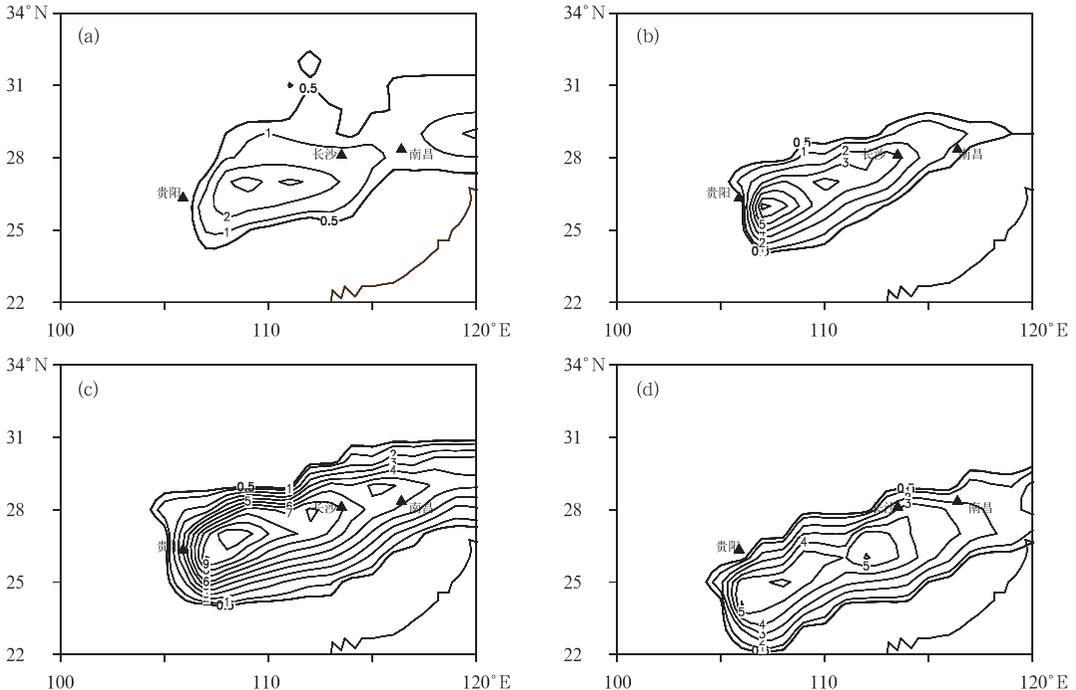


图 4 (a) 第一次冻雨过程(1 月 10—16 日)对应的逆温层水平分布,等值线数值代表日平均的逆温层强度;(b)同图 a,这里对应第二次冻雨过程(1 月 18—22 日);(c)同图 a,这里对应第三次冻雨过程(1 月 25—28 日);(d)同图 a,这里对应第四次冻雨过程(1 月 31 日至 2 月 2 日)

Fig. 4 The horizontal distributions of inversion in freezing rain processes: (a) the first process (from January 10 to 16) of freezing rain; (b) the second process (from January 18 to 22); (c) the third process (from January 25 to 28); and (d) the fourth process (from January 31 to February 2)

这可能和它持续时间最长有关。第三次过程逆温层面积虽处于次大,但其却对应了最强的一次冻雨过程,揭示出逆温层水平面积与冻雨强度之间的联系并不紧密。进一步分析图 4 还可以发现第一次过程逆温层强度呈东西双中心分布,其中的西中心位置稳定且持续增强,并最终在第三次过程中达到最大值,随后在第四过程中减弱;而东中心在第二次过程中迅速减弱消失,以后出现在其东部地区的逆温层只是西中心极值区的延伸。由此可见,虽然 1 月 10 日至 2 月 2 日期间划分了 4 次冻雨过程,但逆温层的分布特征在几次过程中是存在联系的。比较 4 次过程所出现的强度极值,不难看出:第三次过程最强、第二次次之,接着是第四次,第一次过程最弱,这与前面对图 1 和图 2 的讨论的结论是一致的,也就是说图 4 再次揭示出逆温层强度与冻雨强度之间的显著关系,但需要补充的是前者的面积却与后者之间联系不大。

4 总 结

文章对 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日期间发生在我国南方冻雨的主要过程的强度变化进行了讨论,并结合在此期间逆温层分布特征的变化,研究了二者之间的关系。结果表明,按冻雨强度划分 4 次过程的话:第三次最强、第二次次之,而第一次的冻雨最弱。同时,冻雨强度的变化与逆温层强度之间存在密切联系,无论从逆温层强度的区域平均还是水平分布均揭示了这一点。说明逆温层强度可以作为冻雨强度的一个参考指标,应用于日常的预报业务中。即在预报冻雨过程中,不但要考虑逆温层的存在,而且要关注其强度的变化。最后,逆温层、冷、暖层等的厚度或高度虽然对冻雨的产生有影响,但与后者强度变化之间的联系并不明显。

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): 837-850.
- [2] 吴乃庚,林良勋,李天然,等. 2008 年初广东罕见低温雨雪冰冻天气的成因初探[J]. 广东气象, 2008, 30(1): 4-7.
- [3] 王绍武. 中国冷冬的气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(2): 68-72.
- [4] 王东海,柳崇健,刘英,等. 2008 年 1 月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析[J]. 气象学报, 2008, 66(3): 405-422.
- [5] 郑婧,许爱华,许彬. 2008 年江西省冻雨和暴雪过程对比分析[J]. 气象与减灾研究, 2008, 31(2): 29-35.
- [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): 21-26.
- [7] 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): 68-73.
- [8] 黄小玉,黎祖贤,李超,等. 2008 年湖南极瑞冰冻特大灾害天气成因分析[J]. 气象, 2008, 34(11): 83-89.
- [9] 朱坤,刘华强,丁宇智,等. 长江中下游一次暴雪冻雨微物理过程模拟研究[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(3): 1-7.
- [10] 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.
- [11] 朱乾根,林锦瑞等编著. 天气学原理和方法(第三版)[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 67, 312-318.
- [12] 矫梅燕,曲晓波编著. 2008 年初中国南方持续性低温雨雪冰冻灾害天气分析[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 2, 13-25.
- [13] 葛非,肖天贵,金荣花,等. 2008 年低温雨雪天气扰动能量的积累和传播[J]. 气象, 2008, 34(12): 11-20.
- [14] 樊志超,高继林. 湖南特大冰冻灾害的云物理特征与人工影响技术探讨[J]. 气象, 2009, 35(11): 84-93.
- [15] 曾明剑,陆维松,梁信忠,等. 2008 年初中国南方持续性冰冻雨雪灾害形成的温度场结构分析[J]. 气象学报, 2008, 66(6): 1043-1052.
- [16] 朱佳蓉,黄宁立. 2008 年初郴州冰冻灾害天气的机理分析. 大气科学研究与应用[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 63-70.
- [17] Zerr R J. Freezing rain: An observational and theoretical study [J]. J Appl Meteor, 1997, 36: 1647-1661.
- [18] Rauber R M, Olthoff C S, Ramamurthy M K, et al. A synoptic weather pattern and sounding-based climatology of freezing precipitation in the U. S. east of the Rocky Mountains[J]. J Appl Meteorol, 2001, 40: 1724-1747.