

文章编号:2096 - 5389(2021)06 - 0009 - 08

鄂西南山区一次罕见的秋季暴雨转暴雪天气成因分析

罗菊英, 谭艳立, 虞列辉

(湖北省恩施土家族苗族自治州气象局, 湖北 恩施 445000)

摘 要:利用常规地面观测资料、MICAPS 卫星资料以及 NCEP 再分析资料,对 2016 年 11 月 7—9 日发生在湖北西南山区一次大范围暴雨转暴雪灾害天气的成因进行了分析。结果表明:此次极端雨雪灾害天气,是东移南下强冷空气与西南强暖湿气流共同作用的结果。低空急流的形成与维持,南支槽前正涡度的加强,以及中层正好处于冷暖气流交汇区,这种高层辐散、低层辐合的有利配置,是 7—8 日产生大范围大雨、局部暴雨的主要天气背景。8 日夜间到 9 日的暴雪产生,除中层西南暖湿气流加强对降雪增幅的贡献外,主要受东、西两路冷空气汇合加强共同影响;动力锋生产生的正、反两支锋面次级环流是造成降雪最直接的中尺度系统;此次雨雪持续期间,水汽充沛,并伴有强的水汽辐合上升运动,在强降雪影响期间,影响区上空存在 NE - SW 带状动力结构,这种锋面斜压性特征,加强了暖湿气流沿冷空气垫的爬升;针对秋季雨雪转换的温度层结特点,重点关注中层逆温和近地层气温变化。针对湖北地区降雪,850 hPa 在 0 ℃或以下,地面气温在 2 ℃或以下,可作为雨转雪或雨夹雪的温度指标。中层逆温不是降雪必备条件,但对于产生强降雪需要适宜的中层逆温,本次降雪逆温出现在 -1 ℃附近,该指标也可作为秋季降雪的参考指标。

关键词:暴雪灾害;雨转雪;中尺度系统;中层逆温

中图分类号:P458.3 **文献标识码:**A

Analysis on the Causes of the Transformation of a Rare Autumn Rainstorm to Blizzard in the Mountain Area of Southwest Hubei Province

LUO Juying, TAN Yanli, YU Liehui

(Enshi Region Meteorological Bureau, Enshi 445000, China)

Abstract:Based on conventional ground observations, MICAPS satellite data and NCEP reanalysis data, the causes of a large - scale rainstorm to blizzard disaster in the mountainous area of southwest Hubei Province from 7 to 9 November 2016 are analyzed. The results show that: This extreme rain and snow disaster weather is the result of the interaction of south - flowing strong cold air and southwest strong warm moisture airflow. Formation and maintenance of a low - level jet streams, the enhancement of positive vorticity in front of the southern branch trough, and the middle level is in the cold and warm airflow cross zone, these conditions became the high - level divergence and low - level convergence of a favorable configuration, which is the main weather background of massive rain and local rainstorm from November 7 th to 8 th . From the night of 8 th to 9 th, in addition to the contribution of the strong warm and humid air flow in the middle southwest to the increase of snowfall, it is also mainly affected by the strong confluence of the cold air from east and west. The positive and negative secondary circulation produced by dynamic frontal is the most direct mesoscale system for snowfall. During the continuous rain and snow, there's plenty of water, accompanied by strong water vapor convergence and upward motion, During heavy snowfall, there was a NE - SW banded dynamic structure over the affected area, and this front baroclinic

收稿日期:2020 - 10 - 15

第一作者简介:罗菊英(1972—),女,副高,主要从事中短期(短临)天气预报方法研究,E-mail:396606423@qq.com。

资助项目:中国气象局预报员专项(CMAYBY2020-083);雷达估算降水在山洪灾害预警中的应用研究;湖北省气象局重点项目(2021Z01):鄂西南山地极端强降水成因分析及预报概念模型建立。

feature strengthened the flowing of the warm and wet air along the cold air cushion climb; in view of the characteristics of temperature stratification of rain - snow conversion in autumn, the temperature changes in the middle and near strata are focused. Based on the relevant literature and the results of this study, for the snowfall in Hubei Province, 850 hPa at 0 °C or below, and the ground temperatures are 2 °C or below, which can be used as a temperature index for rain to snow or sleet. The temperature inversion of middle - air layer is not a prerequisite for snowfall, But for the appropriate mid - air layer's temperature inversion is required for heavy snowfall, the snow's reverse temperature appears near °C - 1, this index can also be used as a reference index for snowfall in autumn.

Key words: blizzard disaster; rain to snow; mesoscale system; mesoscale inversion

0 引言

暴雪是中国湖北省(简称鄂)西南部高海拔山区冬半年常见的灾害天气之一,对交通安全、电力设施、农业生产等带来严重的危害。湖北恩施自治州为云贵高原的延伸部分,全境为山地,海拔高差悬殊,各地海拔 200 ~ 3 000 m 左右不等,平均海拔 1 000 m 左右,海拔 800 m 以下地区仅占总面积的 27%^[1],暴雪主要发生在海拔 800 m 及以上地区,尤以海拔 1 500 m 以上高寒山区影响最为严重。历史资料统计分析,从 11 月一次年 3 月,恩施高海拔山区每年都会受到不同程度的雨雪天气危害,以 12 月一次年 2 月雨雪天气最为集中,但从暴雪发生时段看,以早春 3 月发生最多,以测站海拔 1 074.1 m 的利川国家观测站为例,仅统计 21 世纪以来,就在 2004 年 3 月 11—12 日、2005 年 3 月 12 日、2006 年 3 月 12 日、2009 年 3 月 13 日、2010 年 3 月 8 日出现过大范围春季暴雪,其次才是冬季,秋季罕见。在 2016 年 11 月 8—9 日,利川及其所属乡镇大部暴雨转暴雪,是该站自 1959 年建站以来第 1 次,此次暴雪比该站历史最早初雪日(1962 年 11 月 21 日)提前 12 d,暴雨出现时间比历史极值(1966 年 11 月 4 日)推迟了 4 d,均刷新历史极端值,暴雨转暴雪更是历史罕见。

针对暴雪天气成因,国内外有很多学者从暴雪发生的中尺度环境条件、物理量诊断以及数值模拟等多方面进行了深入的分析研究,并得出很多定性或定量且有重要参考价值的结论。如池再香等^[2]、盛春岩等^[3]从暴雪天气过程的对称不稳定进行分析,指出对流不稳定能量释放是产生暴雪的重要原因;范元月等^[4]对湖北暴雪天气进行了中尺度模拟,表明产生暴雪的上升运动远小于产生暴雨的上升运动;徐双柱等^[5]对湖北冬季大雪的成因和预报进行了研究;候瑞钦等^[6]通过对河北深秋一次特大暴雪过程分析,指出冷锋系统影响下产生的正、

逆双向次级环流,为暴雪提供了很好的动力条件。国内还有很多类似的研究,从不同的侧重点对暴雪天气的形成机理和影响进行了分析。但从众多文献看,针对长江流域暴雪的研究相对中国北方明显偏少,特别是针对秋季暴雪更少,在湖北省内,针对鄂西南山区暴雪研究较少,由于暴雪预报难度大、致灾风险高,故有必要针对鄂西南山区暴雪成因进行分析研究。本文通过 2016 年一次极端性较强暴雪过程的分析,以期为鄂西南山区暴雪预报提供参考。

1 天气实况及灾情

2016 年 11 月 7—9 日,在湖北省鄂西南山区的恩施州、神农架、宜昌西部的五峰地区出现了一次大范围雨雪天气过程,其中以恩施州出现局部暴雨转暴雪的极端天气,影响范围大,灾情最为严重。伴随雨雪,气温呈断崖式骤降,在冷空气影响前的 3—6 日,恩施州内大部高温升至 20 °C 以上,局部超过 25 °C,7 日出现大范围大雨,气温开始下降,7—9 日,冷空气影响始末,恩施州 8 个国家站 48 h 平均气温降幅为 8.6 °C,达强冷空气标准,9 日白天,低海拔地区低温普遍降至 2 °C 左右,海拔 1 000 m 及以上地区降至 0 °C 左右或以下。由于目前固体降水监测的手段限制,无人值守的区域站降雪情况无法实时获取,而恩施州所属的 8 个国家站除利川站海拔为 1 074.41 m,能够代表州内中山地区外,其余 7 站均位于海拔 800 m 以下低海拔地区,故下面所描述的雨雪实况,除以利川站实测为代表外,还同时参考了民政部门调查核实资料和相关媒体记者的采访记实资料。

从实况监测,11 月 7—9 日 3 d 降水累积量创历史同期极端值,偏多达 654.5%,恩施、利川分别达到了 130.6 mm、122.1 mm。11 月 7—8 日白天,降水相态大部以雨为主,持续大雨,局部暴雨,其中 8 日出现 48 站暴雨,大部位于利川和恩施两市。8 日

中午开始到9日上午,高海拔地区先后转雪或雨夹雪,主要降雪出现在8日夜间到9日早晨海拔1 000 m及以上地区,9日白天,800 m以下低海拔局部也出现降雪和积雪。从地面观测记录看,利川8日出现51.1 mm的暴雨,从8日中午(11时32分)开始转雨夹雪,8日夜间,雨夹雪转纯雪,降雪主要集中在8日20时—9日08时,9日11时30分降雪

结束,从利川地面三线图(6h间隔)也可以很清楚的看到雨雪转换的大致时段和降雪量(见图1),8日20时—9日20时日雪量达27.8mm,达到暴雪标准。州内其余7站中,咸丰站(海拔776.9 m)、宣恩站(海拔571.8 m)在9日早晨到上午也出现了降雪和地面积雪,雪量均为0.8 mm。

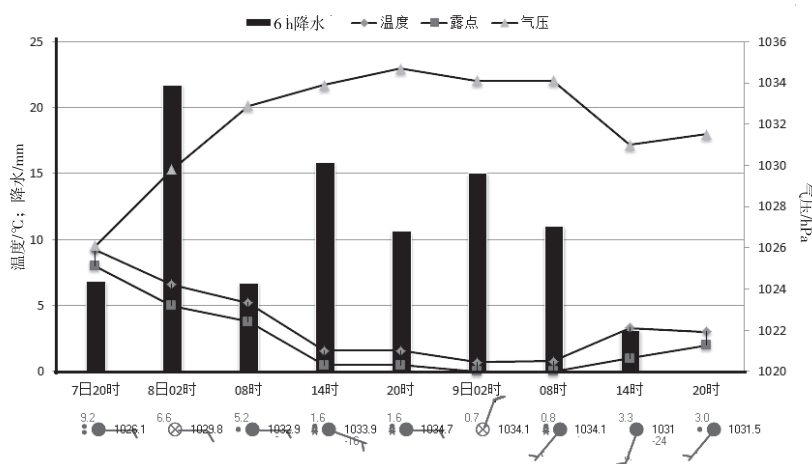


图1 2016年11月7日20时—9日20时恩施州利川市地面三线图

Fig.1 Three floor charts of lichuan city, enshi prefecture from 20:00 on November 7 to 20:00 on November 9, 2016

此次局部暴雨和暴雨转暴雪的极端天气,由于出现时间早、雪量大、降雪时段集中,受灾非常严重,灾情引起了当地政府和媒体的高度重视和广泛关注,当地主流媒体及其它多家媒体,甚至中央电视台都纷纷报道。从民政部门的调查核实资料和媒体采访拍摄资料可知,此次暴雪灾害主要出现在海拔1 000 m及以上地区,州中北部相对州南部山区降雪更强,9日,海拔1 500 m以上高寒山区积雪厚度普遍达到了30 cm以上。此次极端雨雪灾害,导致州内恩施、利川、建始、巴东、宣恩、鹤峰6县市51个乡镇共109 116人受灾,尤以电力设施损毁严重,直接经济损失共计23 671.2万元,其中农作物经济损失7 271.9万元,基础设施损失12 115.5万元。

上述实况揭示出这次秋季暴雨转暴雪过程的极端性特征,以下采用常规地面监测资料、MICAPS卫星资料、NCEP/NCAR再分析资料(空间分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,时间分辨率6 h),从暴雨转暴雪天气产生的环流形势演变、水汽条件、动力机制及温度层结特征等进行综合分析,揭示其极端灾害天气成因。

2 结果分析

2.1 天气系统

由2016年11月7日08时500 hPa高度场和温

度场的配置图可以看出(图略),在乌拉尔山和鄂霍次克海两地由高压脊向极区发展,在贝加尔湖东部为一冷槽,贝湖东北部有一气温为 -40°C 的冷中心,冷涡底部不断有小槽分裂东移,在青藏高原上不断有短波槽东移,鄂西南处于槽前西南气流中。7日夜间到8日,随着冷槽东移南压,带动冷空气南下开始影响我国,8日20时,槽线已位于鄂霍次克海—日本海一线,鄂西南仍处于南支槽前西南气流中(图2a),从7日07时—9日08时,高空500 hPa实况图还可以看出,副热带高压稳定,588脊线一直稳定维持在 25°N 附近,这也是7—9日降水持续的重要原因。

从7—9日地面实况场的演变可以看出,7日08时—8日08时,贝加尔湖为庞大的冷高压,中心气压值为1 045 hPa,高压轴线呈西北—东南向(图略)。8日白天开始,冷高压开始东移南压,8日20时,轴线由7日20时的 110°E 东移到 120°E 附近,冷锋前沿由7日20时的秦岭附近南压至长江流域,影响恩施州的冷空气主体为东路,同时,还有一股西路冷空气从青海东南下,两股冷空气汇合影响长江流域(见图2b),8日中午开始,恩施州高海拔大部地区逐渐由雨转雪或雨夹雪,夜间到9日凌晨出现暴雪。

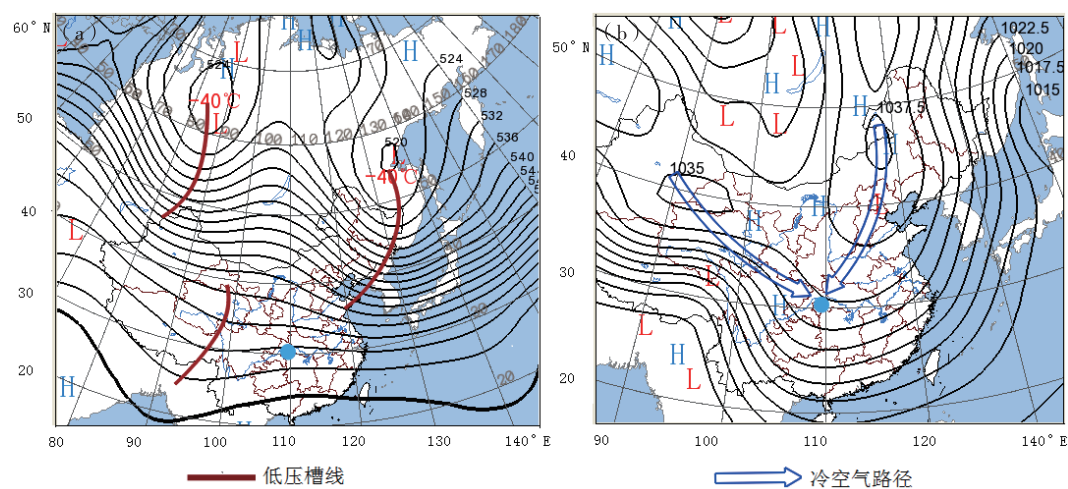


图2 2016 年 11 月 8 日 20 时 500 hPa(a) 和地面环流形势(b)
Fig.2 Circulation situation at 20:00 500 hPa (a) and ground facts (b) on November,8 2016

从高低空系统综合配置图可以看出(图3),在暴雪开始前的7—8 日白天,7 日 08 时(见图 3a),长江流域处于深厚的东北冷槽底部,鄂西南处于南支槽前西南气流中,槽前正涡度平流形成高层辐散、低层辐合。700 hPa 西南急流形成,鄂西南处于切变南侧,恩施州正好位于暖切顶、冷切尾部辐合区中,冷暖空气交汇充分,其切变区正涡度发展加强,气

流垂直上升运动加强。850 hPa 恩施州处于切变北侧的东北与西南气流汇合区中,低空 SW 急流形成。从地面图上可以看出,冷锋位于秦岭到河套附近,锋前为大范围雨区。综合上述,低层辐合高层辐散的有利配置下,低空 SW 急流建立,中低层正涡度的发展加强,对降水的发展和加强非常有利,恩施州从 7 日凌晨开始到 8 日白天,持续大雨,局部暴雨。

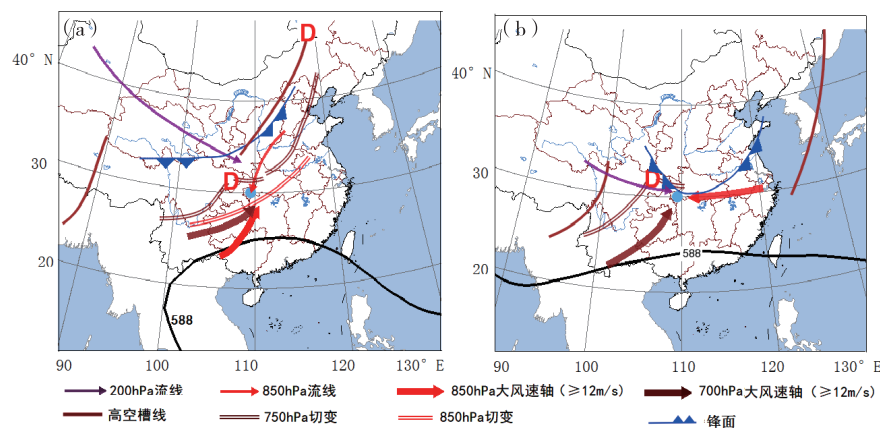


图3 2016 年 11 月 7 日 08 时(a)和 8 日 20 时(b)天气系统综合配置图
Fig.3 Weather system integrated configuration chart at 08:00 on November 7 (a) and 08:00 November 8 (b) 2016

从 7 日 20 时、8 日 08 时天气形势图分析(图略),高空 500 hPa、200 hPa 与 7 日 08 时相比,大尺度天气形势场调整不大,但随着冷空气的进一步南压,850 hPa 到地面长江流域及以南地区,由之前的以西南风为主逐渐转为大范围东风气流控制,到 8 日 20 时(见图 3b),冷锋前沿已压至长江流域,恩施探空站 500 hPa 西南气流由 7 日 08 时的 $24\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 加强到 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,700 hPa 贵阳—怀化—一线西南急流

轴仍然存在切有所加强,850 hPa 气温由 7 日 08 时的 $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,偏东风由 7 日 08 时的 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 加强到 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,低空东风急流建立。综上所述,冷空气南下,西南暖湿气流的加强,冷的下垫面形成,暖湿气流沿冷空气垫爬升为 8 日夜间到 9 日恩施州高海拔山区大范围大雪,局部暴雪提供了必备条件。从 9 日 08 时图分析(图略),海拔 800 m 以下低山大部地面气温由 8 日 20 时的 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,

海拔 1 000 m 左右中山地区气温由 2 ℃ 左右降至 0 ℃ 附近,500 hPa 鄂西南转为平直西风或北风控制,700 hPa 冷切变开始南压,850 hPa 东风减弱,9 日上午,州内南部的低海拔局部也出现了降雪,但强度明显减弱。9 日 20 时,各层转北风,此次雨雪过程结束。

2.2 中尺度系统

侯瑞钦等^[6]指出,在暴雪过程中动力锋生的重要性,其产生的锋面次级环流是造成降水最直接的中尺度系统。并且,锋面次级环流有利于暴雪增

幅^[7-8]。由热成风原理及动力学锋生理论^[9],低空急流多位于高空急流入口区的右侧,有正涡度平流会形成高层气流辐散,低层气压降低,随南支槽前 SW 气流向北流动,由于这股辐散气流同样由高压向低压流动,气压做功使得南风加强,在高空西风急流北侧下沉,至低层后转向南汇入强降水区的上升气流中,构成一支经向垂直环流,同时还存在一支向南的高空辐散气流,出现正反两支垂直环流并存。

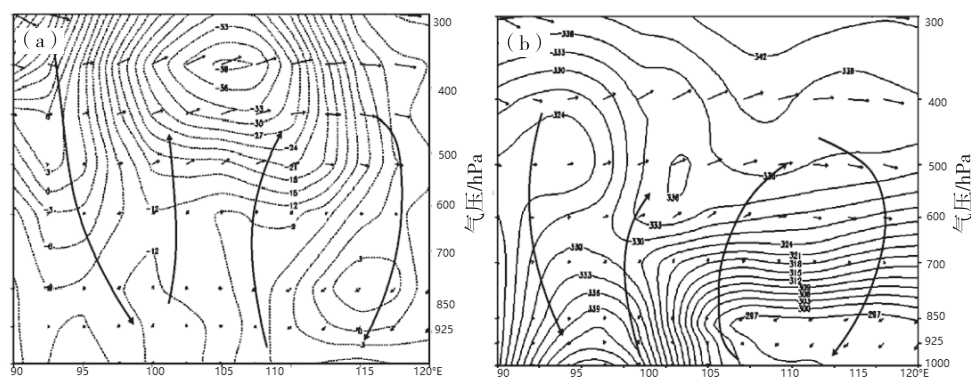


图4 2016年11月8日20时沿30°N垂直速度(a)、假相当位温(b)风矢量叠加剖面图

(单位:垂直速度 $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 假相当位温 K)

Fig. 4 Vertical velocity along the 30° N, fake a potential temperature (a) the wind vector superposition graph section at 20:00 on November 8, 2016 (b) (unit: vertical velocity $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, pseudo equivalent temperature K)

从图4可以看出,大范围强降雪出现时段的8日20时,锋面次级环流也出现了正、反两个环流圈。从图4a中可以看到,在强降雪区上空(110°E附近)正反环流圈伴随强的上升运动,从图4b可以清楚的看到,110°E上空850 hPa及以下冷垫形成,近地面出现一个冷中心,伴随正反环流圈,暖湿气流沿冷垫爬升,形成强降雪。

2.3 成因分析

2.3.1 良好的水汽条件 水汽条件是雨雪发生的必备条件。从11月7日08时—8日20时850 hPa水汽通量和水汽通量散度场分布图可以看出(见图5),7日08时(图5a),鄂西南南部有一条NE-SW向的带状水汽通道(绿色色斑),从南海到北部湾经过广西、贵州、湖南、湖北,有两个水汽大值中心,一个位于湖南中南部衡阳附近,一个位于广西西北部的河池附近,中心值为 $13 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。同时从水汽通量辐散场发现,鄂西南正处于水汽辐合中心区,其值为 $-0.8 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。7日20时、8日08时(图略),这条水汽通道一

直存在,水汽辐合中心略向西南移动,但恩施州一直处于水汽辐合区中,这说明,鄂西南不但具备源源不断的水汽输送条件,低层还存在较强的水汽辐合,具备水汽的垂直输送条件,良好的水汽条件是7—8日,恩施州大部持续大雨、局部暴雨的重要原因之一。

7日20时,中低层上述水汽通道仍然存在,850 hPa水汽通量大值区相对于7日白天到8日白天有所南压,但700 hPa鄂西南南部有一条明显的NE-SW带状水汽通道(绿色色斑),中心值由7日08时的 $13 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 增强为 $16 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$,与西南急流轴相对应(黑色实心尖头)。同时次的水汽通量散度场上,鄂西南处于水汽辐合中心附近,其值为 $-0.4 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,较7日08时有所减弱。上述分析表明,水汽通量加强与西南急流加强有关,8日夜到9日凌晨为降雪最集中时段,也证实了中层700 hPa水汽条件对强降雪的贡献^[10-13]。

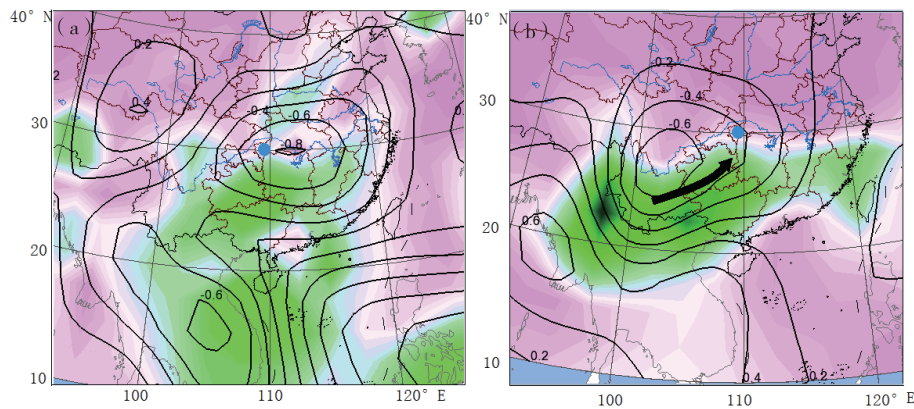


图 5 2016 年 11 月 7 日 08 时 850 hPa(a)、8 日 20 时 700 hPa(b)水汽通量和水汽通量散度场叠加图
(等值线为水汽通量,单位为 $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$;色斑图为水汽通量散度,单位为 $10^{-8} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 5 Water vapor flux and water vapor flux dispersion field superposition diagram at 08:00 850 hPa on November 7(a),
20:00 700 hPa on November 8, 2016(The equivalent line is water vapor flux, Unit $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$,
The stain shows the vapor flux dispersion, Unit $10^{-8} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

采用 NCEP 再分析资料,做水汽通量散度的时间剖面图(见图 6),从图上也可以很清晰的看出,7 日 05 时左右在 850 hPa 附近出现水汽辐合中心,高层 600 hPa 以上为辐散气流,低层辐合高层辐散的水汽垂直输送条件,为 7—8 日白天的大范围较强降雨提供了有利条件。8 日 20 时—9 日 02 时,中层西南暖湿气流加强,强水汽辐合中心位于 700 hPa 附近,850 hPa 及以下由于冷空气侵入为下沉气流,暖湿气流沿冷空气垫爬升,中层逆温同时又加强了辐合上升运动,使得强降雪得以出现和维持。赵坤、李进^[14-17]等指出,降雪过程中对流层中高层强西南急流与暴雨过程具有相同点,但低层西南风不强,与暴雨过程不同。9 日 20 时,整层为辐散下层气流,雨雪结束。

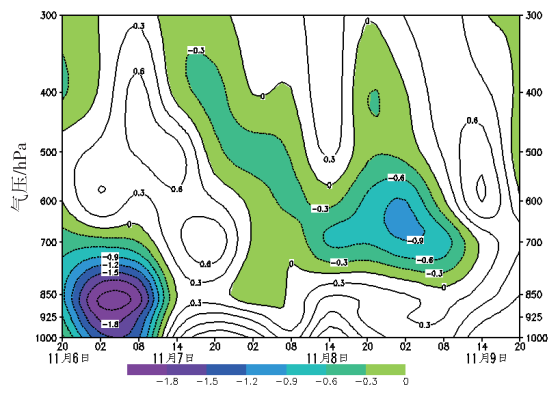


图 6 2016 年 11 月 7—9 日沿 110°E、30°N 水汽通量散度时间剖面图(单位: $10^{-8} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 6 Flow divergence time profile along 110°E、30°N November 7—9, 2016 (unit: $10^{-8} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

2.3.2 强辐合上升运动 从垂直运动时间演变图看(图 7),在雨雪持续期间的 7—9 日上午,恩施州上空始终有较强上升运动,其中出现两个大值中心,分别是 7 日 08 时的 700 hPa 附近、9 日 02 时的 500 hPa 附近,中心值为 $-0.45 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从散度时间剖面图可以看到(图 8),7—9 日 14 时,低层辐合高层辐散的配置始终存在,同样在 7 日 08 时、9 日 02 时有两个辐合中心,7 日 08 时,600 hPa 以下为辐合区,最强出现在 850 hPa 附近,为 $-2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,最强辐散出现在 250 hPa 附近,为 $1 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。9 日 02 时,最强辐合中心位于 700 hPa 附近,为 $-1 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,高层强辐散中心同样位于 250 hPa 附近,但下沉气流更强,辐散最大值为 $2.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。此时,低层到地面已受冷空气影响形成冷垫,暖湿气流沿冷垫爬升形成降雪,与前述吻合。

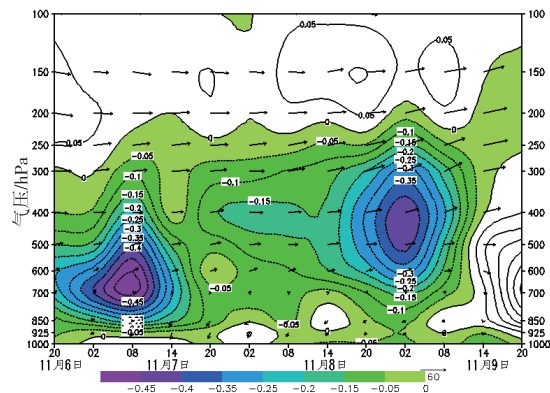


图 7 2016 年 11 月 7—9 日沿 110°E、30°N 垂直运动时间剖面图(单位: $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 7 Diagram of vertical motion time along 110°E、30°N, November 7—9, 2016 (Units: $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

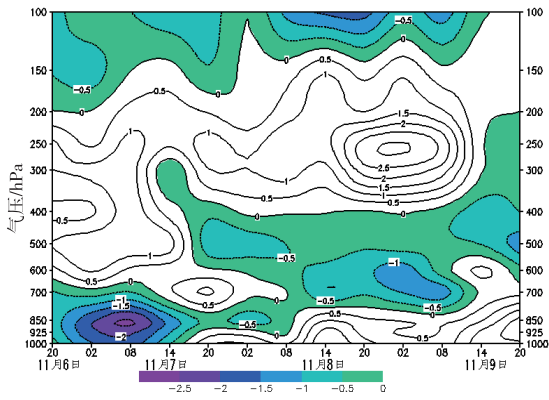


图8 2016年11月7—9日沿110°E、30°N散度
时间剖面图(单位: 10^{-5} s^{-1})
Fig. 8 A time profile along 110°E、30°N November 7—9,
2016 (Units: 10^{-5} s^{-1})

从水汽通量散度经向剖面图看,7日08时(图

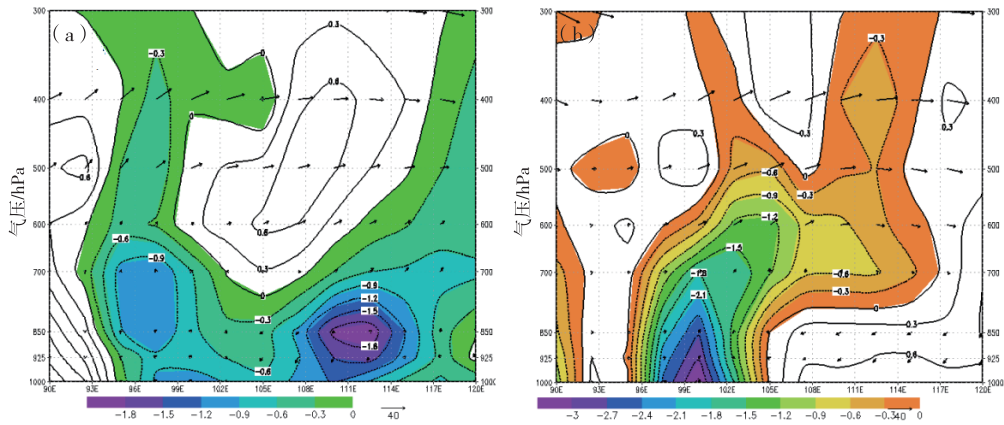


图9 2016年11月7日08时(a)、8日20时(b)沿30°N水汽通量散度垂直剖面图(单位: $10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 9 Vertical profiles of water vapor flux divergence along 30°N at 0800 hours (a) and 0800 hours
(b) on November 7, 2016 (unit: $10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

假相当位温 θ_{se} 反应了大气的温湿状况,其分布反应了大气中能量分布特征和温度分布特征。从假相当位温时间剖面图看(图略),7日,从高层到地面均为暖平流, $\theta_{se} \geq 320 \text{ K}$,其中在400 hPa附近为340K左右的高能中心,说明西南暖湿气流发展较强。8日白天开始,850 hPa及以下出现 $\theta_{se} \leq 300 \text{ K}$ 的小值区,小值中心区出现在8日14时的850 hPa附近,340 K左右的高值区仍位于400 hPa附近,此时,高能舌叠加在低能舌之上,形成上暖下冷的温度层结,低层冷空气垫的形成,为雨转雪提供了条件,从前述利川站实测,于8日11时35分转雨夹雪,从理论分析,地面海拔更高山区也已转雪或雨夹雪。

9a),110°E附近及上空低层辐合高层辐散特征非常明显,最强辐合中心在850 hPa附近,7—8日白天,该时段基本持续大雨天气。8日20时(图9b),强辐合中心向西南移动,低层最强辐合中心位于100°E附近近地层,在本次降雪区(110°E)上空,水汽辐合中心位于700 hPa附近,850 hPa及以下则因为冷平流入侵为下沉气流,水汽辐合轴线呈明显的NW—SW带状,与700 hPa西南急流轴一致,暖湿气流沿着冷空气垫爬升,在8日夜间—9日早晨出现强降雪,再一次印证了前述结论。

2.3.3 有利的温度层结条件 此次暴雪发生在秋季,对比恩施州各国家观测站60余年历史资料,比历史初雪日普遍提前20~30 d,为有气象资料记录以来首次。而此次暴雪有一个由暴雨转换为暴雪的相态变化,这也是预报之难点,故有必要探讨秋季雨雪转换中的温度指标条件。

恩施州海拔1 000 m以上地区大范围转纯雪主要出现在8日20时后,本文选取11月8日08时和20时恩施站探空图做对比分析(图10)。

20时与08时比较,冰相层(高层)相差不大,重点关注中低层,有以下两个不同点。一是逆温层的变化,20时相对于08时,逆温层增厚,由08时的600~650 hPa之间加厚到600~700 hPa之间,同时逆温由08时的-2~-3℃升高到-1~-2℃;二是0℃层和近地面温度的变化,08时0℃层高度在2 120 m(840 hPa),20时降低到1 600 m(850 hPa),近地面925 hPa由08时的6℃降低为4℃,地面气温在海拔1 000 m附近降至2℃以下,以利川为例,降至1.6℃。徐双柱等^[5]在分析研究中得到湖北

降雪特点,即地面气温在 2°C 或以下、850 hPa 在 0°C 以下时,降水性质为雪或雨夹雪,与 8 日 20 时利川站、9 日 08 时海拔 800 m 以下出现降雪的咸丰、宣恩站温度条件吻合,该指标也可作为鄂西南地区降雪指标。

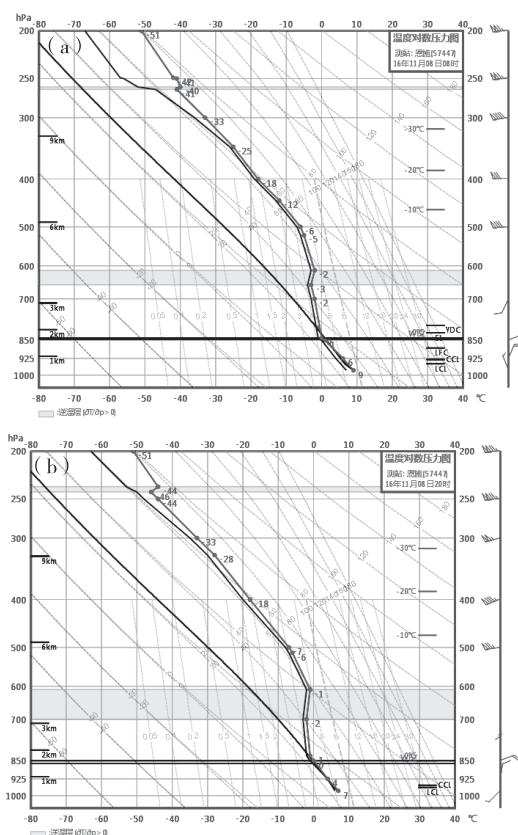


图 10 2016 年 11 月 8 日 08 时(a)、20 时(b)恩施站 T-lnp 图
Fig. 10 T-lnp map of 08:00(a), 20:00(b) on November 8, 2016

3 结论与讨论

综合上述分析,有以下主要结论:

①2016 年 11 月 7—9 日出现在湖北省西南部山区的暴雨转暴雪天气,是东移南下强冷空气与西南强暖湿气流共同作用的结果。低空急流的形成与维持,南支槽前正涡度的加强以及中层正好处于冷暖气流交汇区,这种高层辐散、低层辐合的有利配置,是 7—8 日产生大范围大雨、局部暴雨的主要天气背景;8 日夜間到 9 日的暴雪产生,除中层 700 hPa 西南暖湿气流加强对降雪增幅的贡献外,还主要受东、西两路冷空气汇合加强共同影响。

②动力锋生产生的正、反两支锋面次级环流是造成降雪最直接的中尺度系统,正反环流圈伴随强的上升运动,暖湿空气沿冷垫爬升,产生强降雪。

③此次雨雪持续期间,水汽充沛,影响区上空

NE-SW 带状水汽通道一直存在,且伴有强的水汽辐合。在强降雪影响期间,影响区上空同样存在 NE-SW 带状动力结构,这种锋面斜压性特征,加强了辐合上升运动。

④针对秋季雨雪转换的温度层结特点,重点关注中层逆温和近地层气温变化。综合相关文献及本文研究结果,针对湖北地区降雪,850 hPa 在 0°C 或以下、地面气温在 2°C 或以下,可作为雨转雪或雨夹雪的温度指标。中层逆温不是降雪必备条件,但对于产生强降雪需要适宜的中层逆温,本次暴雪灾害个例逆温出现在 -1°C 附近,该指标也可作为秋季降雪的参考指标。

参考文献

- [1] 张全榜. 恩施州志 1983—2003 [M]. 武汉: 湖北人民出版社, 2013: 11.
- [2] 池再香, 胡跃文, 白慧. “2003.1”黔东南暴雪天气过程的对称不稳定分析[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 792—797.
- [3] 盛春岩, 杨晓霞. 一次罕见的山东暴雪天气的对称不稳定分析[J]. 气象, 2002, 28(3): 33—37.
- [4] 范元月, 汤剑平, 徐双柱. 一次湖北暴雪天气的诊断与模拟[J]. 气象科学, 2010, 30(1): 111—115.
- [5] 徐双柱, 王晓玲, 王平, 等. 湖北省冬季大雪成因分析与预报方法研究[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 333—338.
- [6] 侯瑞钦, 张迎新, 范俊红, 等. 2009 年深秋河北省特大暴雪天气成因分析[J]. 气象, 2011, 37(11): 1352—1359.
- [7] 顾佳佳, 武威. 2014 年 2 月 4—7 日河南暴雪过程的环流特征及其持续原因[J]. 暴雨灾害, 2015, 34(2): 117—125.
- [8] 李兆慧, 王东海, 王建捷, 等. 一次暴雪过程的锋生函数和急流—锋面次级环流分析[J]. 高原气象, 2011, 30(6): 1505—1515.
- [9] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理与方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 99—100.
- [10] 张迎新, 张守保, 裴玉杰, 等. 2009 年 11 月华北暴雪过程的诊断分析[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1204—1212.
- [11] 苗爱梅, 贾利冬, 李智才, 等. “091111”山西特大暴雪过程的流型配置及物理量诊断分析[J]. 高原气象, 2011, 30(4): 969—981.
- [12] 田淑欣, 田欣辉, 亢晋芳, 等. 2009 年秋末山西大暴雪天气过程分析[J]. 气象科技, 2011, 39(3): 295—301.
- [13] 陈雪珍, 慕建利, 赵桂香, 等. 华北暴雪过程中的急流特征分析[J]. 高原气象, 2014, 33(4): 1069—1075.
- [14] 赵坤, 谷山青, 王凤娇, 等. 滨州市两次春季雨转雪天气过程对比分析[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2016, 30(4): 84—89.
- [15] 李进, 陈练. 2014 年杭州地区一次雨转雪天气过程分析[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(5): 1—9.
- [16] 郭巧红. 两次雨转大到暴雪过程的降水相态变化分析[J]. 浙江气象, 2016, 37(3): 1—6.
- [17] 蔡雪薇, 白佳蕴. 2012 年 11 月吉林省东南山区两次雨转暴雪过程对比分析[J]. 气象与减灾研究, 2013, 36(3): 43—49.