

文章编号:1673-8411 (2015) 04-0045-08

2015年河南首场区域暴雪伴高架雷暴过程分析

吕晓娜

(河南省气象台, 河南 郑州 450003)

摘要: 利用常规观测资料、 $1^\circ \times 1^\circ$ NCEP分析资料和雷达资料, 对2015年河南首场区域暴雪伴高架雷暴过程的天气形势、大气层结和水汽、动力、能量等物理量场的特征及雷达回波特征进行分析。结果发现:500hPa高空低槽、700hPa低空切变线和低空急流是此次暴雪天气的主要影响系统;700hPa西南急流和850~925hPa低空东北以及东风急流为河南上空输送充足的水汽,同时850~925hPa低空急流为暴雪提供了深厚的冷垫。暴雪天气出现时西南急流加强、湿层增厚,河南上空具有强水平风垂直切变说明大气层结动力不稳定、对称不稳定。水汽通量大值区和水汽通量散度大值区与降水大值区较吻合;散度和垂直速度大值区与强降水区域对应较好;对流不稳定能量释放有利于暴雪天气的出现;高层对称不稳定能量释放是桐柏出现雷暴天气的原因之一。雷达径向速度图上零线两次出现清晰完整的“S”形状对应暖平流加强,暴雪出现在暖平流强盛的时间段内,28日14时河南南部地区对流回波强度为35~40dBz,回波顶高8km,对流云顶高度达到了 $-40^\circ\text{C} \sim -20^\circ\text{C}$ 的温度层,有助于雷暴天气出现。

关键词: 暴雪, 高架雷暴, 西南急流, 逆温层, 对称不稳定, 多普勒雷达

中图分类号: P458.3

文献标识码: A

Analysis of the First Blizzard with Elevated Thunderstorms of Henan in 2015

Lv Xiao-na

(Henan Province Meteorological Observatory, Zhengzhou, 450003)

Abstract: Based on the conventional observation data, NCEP data and radar data, some factors of the first blizzard with elevated thunderstorms of Henan in 2015 have been analyzed, like: the weather situation, atmosphere structure, the characteristics of the vapor, dynamic and energy and other physical quantities fields and the characteristics of radar echo. Results show that: the 500 hPa trough, 700hPa low-level shear line and the low-level jet (LLJ) are the main influencing systems of this blizzard. Southwest jet on 700hPa and low-level northeast and east jet on 850 ~ 925hPa brought enough vapor, meanwhile, the LLJ on 850 ~ 925hPa provided solid cold-layer condition. When blizzard occurring, southwest jet strengthened and wet layer became thicker. The strong horizontal wind vertical shear in upper air meant atmosphere structure dynamic, symmetric instability. The large value of the rainfall area was consistent with the high value region of the moisture flux and divergence of moisture flux, so with the divergence and vertical speed. Instability energy of convection releasing benefited the blizzard appearing. Releasing of unstable energy of high level caused the elevated thunderstorm in Tongbai. two times of "S" shape clearly appearing in radial velocity maps completely corresponded to the two times southwest jet strengthening. The intensity of convection radar echo of southern Henan is 35~40dBz, with 8km top high, and the convective cloud top reached $-40^\circ\text{C} \sim -20^\circ\text{C}$ temperature layer which led to lightning.

Key Words: blizzard, elevated thunderstorms, southwest jet, temperature inversion, symmetric instability, Doppler radar

引言

暴雪是我国北方冬季常出现的一种灾害性天

气,随着经济社会不断发展,暴雪灾害对交通以及人民生活的影响越来越大,近年来人们对暴雪天气的研究也越来越重视。2015年1月27~28日,河南出

收稿日期:2015-05-16

基金项目:中国气象局气象关键技术集成与应用面上项目“强风暴发展演变特征及短临预报关键技术集成”(CMAGJ2015M36);中国气象局预

报员专项(CMAYBY2015-044)资助

作者简介:吕晓娜,主要从事天气预报和中尺度灾害性天气预报。Email:lxn8228@qq.com,通信地址:河南省郑州市金水路110号

现了自 2014 年入冬以来首场较大范围的暴雪天气过程,此次暴雪天气导致河南南部地区出现了 15cm 积雪深度,特别是在 28 日 14:00 南阳桐柏还出现了罕见的暴雪伴高架雷暴天气。

长久以来气象工作者对暴雪的研究方法主要是气候特征分析^[1-2]、中尺度数值模拟^[3-5]和物理量诊断分析^[6-8],近年来利用新资对暴雪天气成因的研究^[9-12]逐渐成为热点之一。马振升^[13]等、申李文^[14]等对暴雪天气分型与暴雪天气的成因进行探讨,取得了一定的研究成果,并在暴雪天气分型和预报等方面提出了一些有益的方法。赵伟华^[15]等对郑州地区一次初冬“雷打雪”天气过程进行了中尺度特征分析,提出中尺度露点锋是“雷打雪”天气发生的直接影响系统。郭兰^[16]等对一次“雷打雪”天气的物理成因进行分析,结果表明 500~700hPa 的低槽是这次暴雪伴雷电天气过程的主要影响系统,地面倒槽与回流冷空气的共同作用是造成此次天气过程对流发展旺盛的直接原因。郑丽娜等^[17]对山东一次暴雪伴雷电天气过程分析后认为,由于西南暖湿气流强盛,对流层低层的低空急流不断向山东输送水汽和能量,同时近低层冷空气的侵入,迫使暖湿空气沿冷空气爬升,触发不稳定能量释放,导致“雷打雪”天气发生。宋清芝^[18]等分析了河南一次暴雪过程中的强雷暴天气发生的成因,结果表明:充足水汽条件、强冷空气在低层聚集以及强的对称不稳定是暴雪维持和雷暴发生的主要条件。张一平^[19]等研究了河南早春高架雷暴天气,结果显示强逆温层和弱条件不稳定是高架雷暴发生的条件之一。

本文利用常规观测资料、NCEP 的 $1^\circ \times 1^\circ$ 逐 6 小时分析资料和雷达资料,着重分析了此次暴雪过程的天气形势和动力、热力、能量等物理量场的分布特点及雷达回波特征,以认识此次暴雪伴局地雷暴天气过程的形成机理,为此类暴雪伴雷暴天气的预报和防灾减灾提供一些参考依据。

1 天气实况

2015 年 1 月 26 日到 29 日河南自南向北出现了一次较大范围的雨雪天气过程,26 日下午开始河南西南部、南部开始出现小雨天气,27 日 08~14 时小雨迅速转小雪,降水区域依然集中在河南西部、南部,14 时以后降水加强且降水区域迅速扩展到黄河以北地区,全省降水均为纯雪,强降水持续到 28 日 20 时,之后降水明显减弱,29 日 08 时以后降水基本

结束。此次河南降雪过程中,27 日 20 时~28 日 20 时 24 小时降雪量达到区域暴雪的标准,从降水量分布来看,大雪主要出现在黄河以南地区,暴雪主要出现在南阳、信阳、驻马店三地区,24 小时降水量最大的两个站为信阳、桐柏,降水量分别为 22mm、20mm。从 27 日 14 时~29 日 14 时过程总降水量(图略)监测来看,降水区域主要位于黄河以南地区,其中黄河以南大部分地区出现了 5mm 以上的降水,南阳东部、信阳西部地区总降水量达到 20mm,最大降水量为信阳、固始,两站降水量均为 24mm,其次是桐柏 23mm,驻马店 17mm。

与暴雪天气分布区域相对应,最大积雪深度也出现在南部地区,信阳地区平均积雪深度达 9.6 cm,驻马店地区平均积雪深度达 8.5cm,积雪深度最大的站点为信阳地区的光山和鸡公山,积雪深度分别为 15cm、14.9cm;驻马店和平舆,积雪深度也分别达到了 12.3cm、12cm。

为了进一步详细分析降水随时间的变化趋势,选取降水最强的四个站点:河南西部的西峡和南部三个站点桐柏、信阳、固始,做逐 6 小时降水量演变分析(图 1)显示:27 日 20~28 日 02 时与 28 日 02 时~28 日 08 时降水强度相当,6 小时降水除西峡站外,其三站降水量均在 5mm 左右,28 日 14~20 时,四站点的降水量都较其他时段最强,除了西峡站外,其他三站降水量均 >8mm;从单站雨量变化看,逐 6 小时降水最大的站点是桐柏,28 日 14~20 时降水量为 10mm,与此同时桐柏出现雷暴天气,西峡站 27 日 14~20 时和 28 日 08~14 时,6 小时降水量达到 5mm,而同时段内其他三站降水量均 ≤ 2 mm。从站点逐 6 小时降水量演变趋势可以看出降水区域演变特征:27 日 14 时~28 日 08 时、28 日 08 时~28 日 20 时两个降水集中时段内河南南部地区降水强度均明显大于西部,28 日 14 时~28 日 20 时是南部降水最

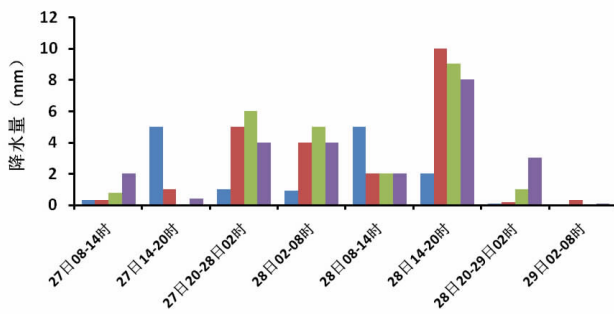


图 1 单站逐 6 小时降水量演变

强的时段,雷暴天气就出现在降水最强的时段内。

2 环流形势演变特征

2.1 高低空形势

26 日 20 时至 29 日 08 时,500hPa 欧亚高纬地区为两槽一脊形势,东北冷涡后部、高压脊前的西北气流不断南下影响河南地区,与此同时 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间,500hPa 短波活动频繁。26 日 20 时河南南部 500hPa 有一浅槽,700hPa 陕西东部到河南西部有一低槽,河南西部、西南部受系统影响出现小雨天气;27 日 08~20 时(图 2a)陕西南部的低槽发展加深,河南处于槽前西南气流中,27 日 08 时 700hPa 切变线位于河南到湖北交界,27 日 20 时 700hPa 切变线北移黄河沿线,随后切变线再次南撤至河南南部,与切变线北移相对应河南南部到中部一带出现了第一次强降水时段;28 日 08 时至 20 时,500hPa 低槽从陕西西部到四川东部一带东移至河南南部,700hPa 切变线由河南南部北抬至河南中部地区,此时河南出现了第二次降水集中时段;28 日 20 时~29 日 08 时 500hPa 低槽东移,河南降水逐渐结束。

系统演变分析可知,500hPa 低槽和 700hPa 低空切变线是河南此次暴雪天气出现的主要影响系统,尤其是 700hPa 切变线在河南上空两次南北移动与两次降水集中时段有很好的对应关系。

暴雪过程中与两次降水集中时段相对应,低空急流也出现了两次北伸的过程。低空急流演变(图 2b)显示,27 日 08 时 700hPa 西南急流出口在湖北东部,27 日 20 时 700hPa 急流加强北伸出口位于河南东南部,27 日 08~20 时,850hPa 东北急流经河南出口在陕西南部地区,随后 700hPa 急流迅速减弱南撤出口在安徽南部地区,850hPa 东北风减弱急流消

失。距离强降水区域较近的南阳站、阜阳站 27 日 08 时 700hPa 风速分别为西北风 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、西西北风 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,27 日 20 时风速分别为西南风 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明急流加强北伸,700hPa 急流加强北伸与河南第一次强降水时段对应较好。

28 日 08~20 时 700hPa 低空急流经河南南部地区再次加强且出口位于安徽西南部。28 日 08 时 700hPa 阜阳站为西西北风 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,随着西南急流发展加强,28 日 20 时转为西南风 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,700hPa 西南急流加强北伸对应河南出现了第二次强降水时段,随后 700hPa 急流南撤,急流轴位于长江沿线。28 日 08 时 850hPa 东北气流尽管没有达到急流标准,但是风速也在 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,28 日 20 时 850hPa 出现了东风急流。

由以上分析可见,700hPa 西南急流两次加强是引发河南南部产生两次降水集中时段的主要原因之一,850~925hPa 东北及偏东风急流携带冷空气南下迫使暖湿空气抬升为暴雪提供了动力抬升条件和冷垫。

本次暴雪天气过程有三条水汽通道,一条是西南急流将南海水汽经我国西南地区输送至河南地区,一条是东北急流将渤海水汽经山东输送至河南地区,一条是东风急流将东海水汽经江苏、安徽输送至河南地区,在西南气流和东北及偏东气流共行作用下,南海、渤海、东海的水汽源源不断的输送到河南上空,为强降雪提供了充足的水汽条件。

2.2 地面形势

分析地面实况场显示,1 月 26~29 日新疆北部有冷空气持续影响我国东部地区。1 月 27 日 08 时在贝加尔湖西南方向有一高压,冷空气已经控制河南地区,云南、四川到青海东部有一倒槽。27 日 14~28 日 20 时,倒槽不断发展加强同时贝加尔湖冷高

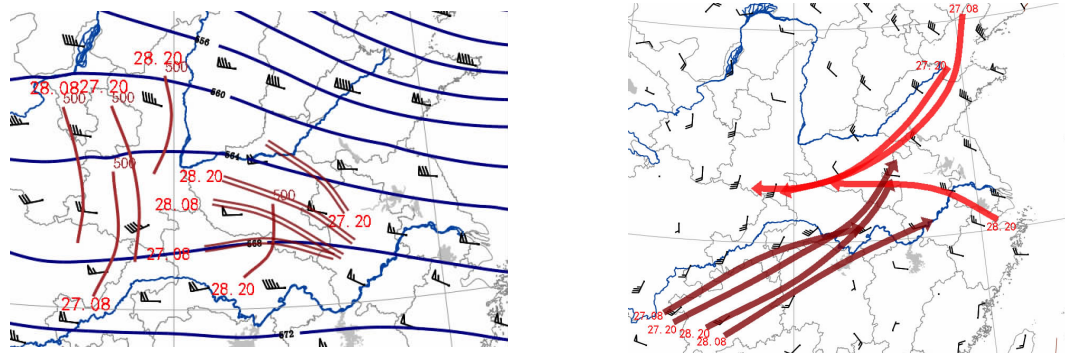


图 2 27 日 08 时 500hPa 高空观测和 27 日 08 时~28 日 20 时高低系统演变(a)以及 27 日 08 时 700hPa 风场和 27 日 08 时~28 日 20 时低空急流演变(b)

压向东南移动,冷高压中心始终位于内蒙中东部地区,高压中心气压值维持在 1040~1046hPa 之间,随着冷高压不断分裂冷空气南下,27 日 08~28 日 20 时不断有副冷锋引导冷空气南下影响河南(图 3)。冷空气持续影响导致地面温度快速下降,26~27 日地面最高温度从 4~7℃ 下降到 0~2℃,28 日最高温度仅为 -2~0℃,冷空气导致 27 日上午降雨迅速转雪,同时为暴雪提供了冷垫。

27 日 14 时云南、四川到青海东部的低压倒槽开始不断向北发展,直至 28 日 14 时(图 3)低压倒槽顶部位于内蒙西部到河套一带,28 日 17 时以后地面倒槽减弱南撤。地面形势演变可以看出,地面倒槽不断的发展有利于引导高压前部冷空气持续南下影响我国河套以东地区,地面冷空气不断南下,使河南在降雪集中时间段地面上保持较强偏北风,使地面冷垫持续存在,有利于暴雪天气出现。

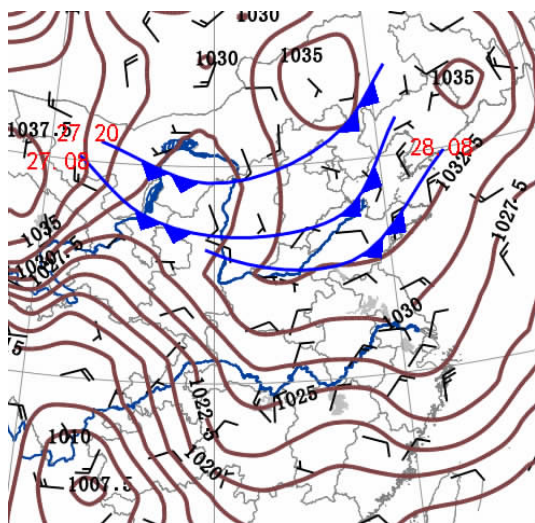


图 3 27 日 08 时~28 日 20 时地面副冷锋和 28 日 14 时地面图

3 探空资料分析

根据 27 日 08 时~29 日 08 时南阳探空资料分析,27 日 08 时地面温度为 2℃,南阳上空中低层风向逆时针旋转,为冷平流,850~1000hPa 为东北风 12~16m·s⁻¹,近地面较强冷空气南下导致地面降水相态在 27 日 08~14 时由雨转雪。27 日 20 时至 28 日 08 时,南阳上空中低层风向为顺时针旋转,为暖平流,700hPa 维持为西南风 10m·s⁻¹,湿度高度由地面到 600hPa 继续增高到 400hPa;850~1000hPa 东北到偏东风维持在 8~16m·s⁻¹,冷平流加强导致近地面温度 27 日 20 时降至 -2℃。27 日 14 时至 28 日 08 时(图

4a)是第一个降水集中时段,对应西南急流加强和湿度层增厚。

28 日 20 时(图 4b)南阳上空仍为暖平流,850~1000hPa 为偏东风 8~14m·s⁻¹,但是湿层高度却下降到 500hPa,之后降水强度减弱、西南急流减弱消失,29 日 08 时 700~1000hPa 为西北风 2~8m·s⁻¹。28 日 14 时至 28 日 20 时是第二个降水集中时段,对应西南急流比较强盛,湿层高度明显下降后,降水减弱。可见,暴雪发生在暖平流强盛且急流加强的时段内,湿层高度下降预示着西南急流消失、降水减弱。探空分析还显示 2~3km 之间逆温层、等温层始终存在,说明西南急流带来较强暖空气,持续存在的逆温层也是产生高架雷暴的条件之一。

26 日 20 时~29 日 08 时,南阳探空资料显示: -9<K<14,12<SI<30, 郑州站探空资料显示 -19<K<3,17<SI<25, 这些指标表明此次降雪过程中河南上空大气层结垂直稳定,但是从南阳探空资料分析南阳上空具有较强的水平风垂直切变:27 日 08~20 时 0~6km 风矢量差为 23~25m·s⁻¹,0~3km 风矢量差为 7~9m·s⁻¹,较强垂直风切变与第一次降雪集中时段相对应;28 日 08~20 时(图 4)0~6km 风矢量差由 15m·s⁻¹ 增加为 29m·s⁻¹,0~3km 风矢量差由 8m·s⁻¹ 增加为 13m·s⁻¹,0~6km 切变值由 3×10⁻³ 增加为 5.4×10⁻³,0~3km 切变值由 2.6×10⁻³ 增加为 4.3×10⁻³,垂直风切变加强与第二次降雪集中时段相对应,垂直风切变加强在一定程度上代表大气层结具有一定的动力不稳定和对称不稳定能量,有助于高架雷暴的出现^[20]。

4 物理量诊断分析

4.1 水汽条件

4.1.1 水汽通量分析

由降水期间水汽通量(图略)分析可知,27 日 08 时 700hPa 水汽通量大值区河南西南部、南部为 2g·cm⁻¹·s⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹,随后西南部、南部水汽条件加强,27 日 14~28 日 02 时 700hPa 水汽通量南部、西南部为 3~5g·cm⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹,850hPa 水汽通量大值区始终位于南部地区水汽通量为 4~6g·cm⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹,700~850hPa 其它地区数值接近为 0;28 日 08~20 时 700hPa 东南部水汽通量大值区位置偏东且增大明显,东南、南部水汽通量由 5~7g·cm⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹ 增大为 10~12g·cm⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹,850hPa 东南、南部地区水汽通量由 3g·cm⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹ 增大到 5g·cm⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹。

s^{-1} ,除了东南部、南部以外,其它地区水汽通量数值小于 $2g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 。27 日 08 时~28 日 20 时,河南西南部、南部 925hPa 水汽通量大值区位置变化不大,数值始终维持在 $4 \sim 6g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 之间。

从水汽通量大值区分布来看,河南西南部、南部 700hPa 水汽通量大值区与降水大值区较吻合,水汽条件较好的区域始终位于河南西南部、南部地区,其它地区水汽条件很差,这可能是导致此次暴雪集中在南部地区的原因。

4.1.2 水汽通量散度分析

从水汽通量散度分布可以看出,27 日 08 时,700hPa 水汽通量散度场显示在河南中南部为弱辐合区,其它地区均处于辐散区中,850hPa 水汽通量散度场显示在河南处于辐散区。27 日 14 时~28 日 02 时,700hPa 水汽通量散度场河南中南部地区水汽通量散度增加为 $-1 \sim -2g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 之间,其它地区为 0,850hPa 水汽通量散度场河南南部为弱辐合区,其它地区处于辐散区中。28 日 08 时~28 日 14 时(图 5a),700hPa 水汽通量散度场河南南部由 $-1g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 增加为 $-4g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$,且黄河以南大部分地区为 $-1 \sim -3g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 之间,850hPa 河南南部地区为弱水汽通量辐合区。28 日 20 时(图 5b)700hPa 河南东南部水汽通量散度为 $-2g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$,其它地区为 0,850hPa 东南部地区仍为弱

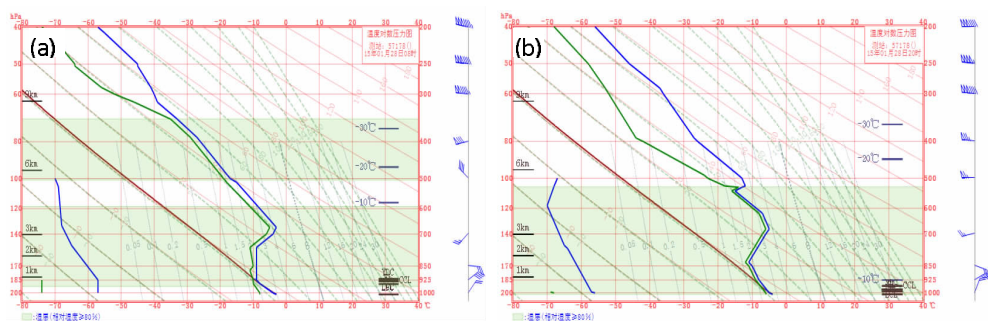


图 4 河南南阳探空站图 28 日 08 时(a)和 28 日 20 时(b)

水汽通量辐合区。

与降水强度演变对比,27 日 14~28 日 02 时和 28 日 08~14 时水汽通量散度加强与两次降水集中时段有较好的对应关系,28 日 08~20 时降水落区与 28 日 14 时的水汽通量辐合大值区对应关系较好。

4.2 动力条件

4.2.1 散度分析

分析 $31^{\circ}N \sim 34^{\circ}N$ 区域沿 $113.4^{\circ}E$ (桐柏站)的散度高度剖面,27 日 14~27 日 20 时 1000 hPa 都是辐散,900~500hPa 是辐合且辐合中心随高度向冷空气一侧倾斜,800~600 hPa 之间存在辐合中心为 $-20 \sim -40 \times 10^{-6} \cdot s^{-1}$,600~300 hPa 均为辐散,最大值为 $30 \times 10^{-6} \cdot s^{-1}$,300~150 hPa 为弱辐合,中心最大为 $-10 \times 10^{-6} \cdot s^{-1}$;28 日 02 时~28 日 08 时 1000 hPa 都是辐散,900~800 hPa 存在辐合中心明显减小为 $-20 \times 10^{-6} \cdot s^{-1}$,800~600 hPa 之间存在辐散,最大值也减小为 $10 \times 10^{-6} \cdot s^{-1}$,600~400 hPa 出现了较强辐合中心,最大值为 $-10 \sim -20 \times 10^{-6} \cdot s^{-1}$,400~100 hPa 为辐散,中心最大为 $10 \sim 20 \times 10^{-6} \cdot s^{-1}$ 。1 月 28 日 14 时(图 6a),1000~925hPa 都是辐散的,925~500 hPa 是辐合区且辐合中心也具有随高度向冷空气一侧倾斜的特点,中心再次增强为 $-30 \sim -40 \times 10^{-6} \cdot s^{-1}$,500~100 hPa 在

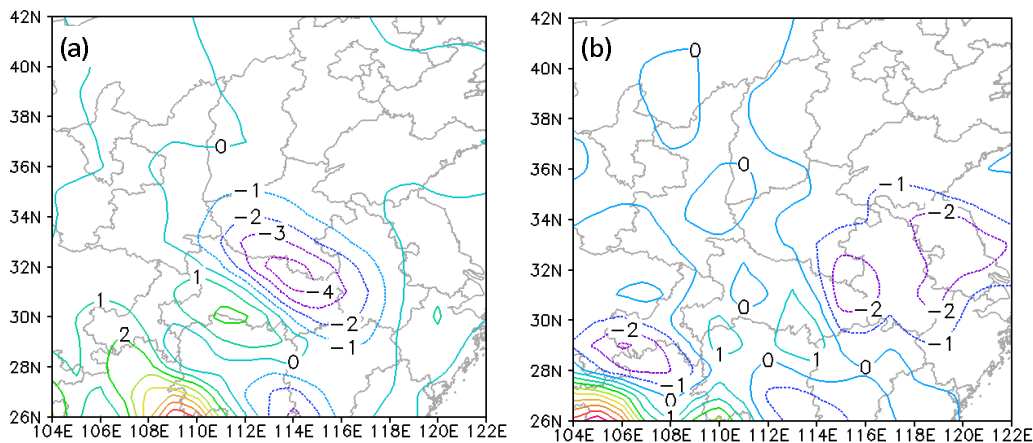


图 5 2015 年 1 月 28 日 14~20 时 700hPa 水汽通量散度

(单位: $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)

为强辐散区,最大值为 $30\sim 50\times 10^{-6}\cdot s^{-1}$,1月28日20时(图6b),近地面为辐散区,925~500 hPa之间辐合急剧减弱,中心最大值仅为 $-10\times 10^{-6}\cdot s^{-1}$,500~300 hPa层辐散也减弱明显,最大值为 $10\times 10^{-6}\cdot s^{-1}$,300~100 hPa为辐合区,中心区域值为 $-30\times 10^{-6}\cdot s^{-1}$ 。

综上所述,27日14时~20时、28日14~20时,河南中南部地区中低层出现强辐合区,高层存在强辐散区,强烈的低层辐合、高层辐散导致上升运动剧烈是造成降水两次加强、出现暴雪的主要原因之一。

4.2.2 垂直运动分析

分析27日14时至28日20时 $30^{\circ}N\sim 34^{\circ}N$ 区域沿 $113.4^{\circ}E$ (桐柏站)的垂直速度场垂直空间剖面图(图略)发现,27日14~28日02时,中层的上升运动、高层下沉运动出现了先增加后减小的趋势且在27日20时达到最强,27日20时700~500 hPa是负速度区,600hPa附近 $31^{\circ}N$ 和 $33^{\circ}N$ 存在负速度中心,中心最大值为 $-0.3\sim -0.5 Pa\cdot s^{-1}$,500~300 hPa为正速度区,中心最大值为 $0.4 Pa\cdot s^{-1}$,垂直上升运动区在河南中部、南部中层达到最强,与第一个降水集中时段的降水区域较吻合;28日08~28日20时 $30^{\circ}N\sim 34^{\circ}N$ 区域,中层的上升运动、高层下沉运动同样出现了先增加后减小的趋势,28日14时上升运动达到最强,850~200hPa之间均为负速度区,中心区域在700~400hPa区域,中心最大值为 $-1Pa\cdot s^{-1}$,与第二个降水集中时段的降水区域较吻合。可见,垂直运动两次发展加强为强降水提供了抬升条件,垂直运动大值区域和降水大值区基本重合。

4.3 热力和不稳定条件

4.3.1 温度场

从NCEP资料间隔6小时温度沿 $113.4^{\circ}E$ (桐柏站)垂直空间剖面(图略)可以看到,从降雪开始到过

程结束,河南上空850~600hPa之间存在较明显的逆温层、等温层,27日08时~27日14时逆温层不断向北伸展至 $35^{\circ}N$ 附近,地面温度由于冷空气不断自北向南入侵而持续降低,冷暖空气交汇导致降水第一次加强;28日08时900~600hPa逆温层北界位于 $36^{\circ}N$,28日14时逆温层继续向北伸展至 $38^{\circ}N$ 附近,900~800hPa之间在 $34^{\circ}N$ 存在一个 $-12^{\circ}C$ 的冷区,此时冷暖空气交汇最剧烈与28日14~20时降水集中时段相对应,28日20时逆温层南撤至 $36^{\circ}N$ 附近,随后降水减弱。

27日02~28日20时逆温层维持且强度在28日14时达到最强与700hPa西南急流两次发展且在28日14时达到最强有很强的相关性,地面附近有稳定的冷空气,有明显的逆温层,在逆温层之上的气块容易绝热上升获得浮力导致高架雷暴的发生^[20]。

4.3.2 假相当位温和湿位涡分析

为了进一步分析桐柏局地高架雷暴天气发生时大气层结的不稳定度,采用NCEP资料计算假相当位温并分析其演变规律。代表层结不稳定,也说明大气具有对流不稳定能量^[21]。从经向($113.4^{\circ}E$)垂直剖面图可以看到,27日14时~28日20时,28~ $30^{\circ}N$ 之间700hPa附近存在的对流不稳定区。对700hPa附近28~ $30^{\circ}N$ 之间的对流不稳定能量演变分析可知,27日14时~28日时(图略),对流不稳定能量较大,随后不稳定能量减弱,此次不稳定能量释放与第一个降水集中时段对应;28日08~14时此区域垂直梯度减小,图7a(见彩页)显示河南南部为中性层结(红线),图7b(见彩页)中显示28日20时对流不稳定(红线)明显加强且对流不稳定区域北界在 $32^{\circ}N$ 附近,低值区再次出现的不稳定层结,29日02时区域再次减弱南撤至 $30^{\circ}N$,此次不稳定能量释放与第二个降水集中时段对应。可见,不稳定能量释放是河

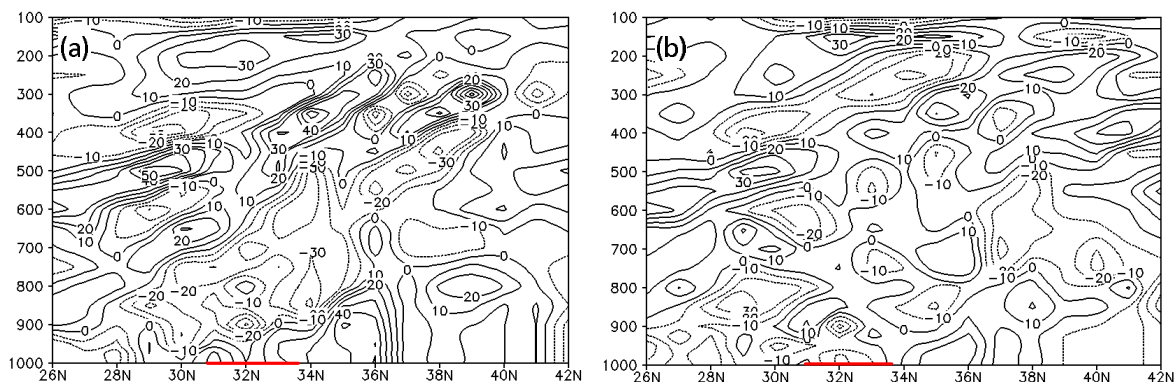


图6 2015年1月28日14~20时沿 $113.4^{\circ}E$ 散度高度剖面(单位: $10^{-6}\cdot s^{-1}$)

南南部出现暴雪的原因之一,另外对流不稳定释放促也能促使对流云体高度增高,有利于产生雷暴天气。

由于降雪时段内河南南部持续存在强垂直风切变,表明河南上空具有一定的对称不稳定能量。研究表明对称不稳定能量在大气饱和的状态下容易释放出来,大气具有对称不稳定能量的明显特征是湿位涡小于零^[18,22]。为了探讨对称不稳定能量在此次暴雪和桐柏局地雷暴天气过程中的作用,分析沿经向(113.4°E)湿位涡和相对湿度垂直剖面图,从 27 日 14 时~28 日 20 时湿位涡和相对湿度垂直剖面来看,30~36°N 之间 600hPa 以下的湿位涡值均大于 0,500~200hPa 之间的湿位涡值均小于 0,说明对称不稳定能量处于高层。27 日 14~20 时,河南上空湿位涡负值区位于 500~200hPa 之间,负值中心位于 34°N 附近的 300hPa 高度,中心值分别为 -2.4 PVU、-1.8PVU,在此期间河南上空 600hPa 以下相对湿度大于 90%,500hPa 以上相对湿度小于 50%,湿度条件差不利于对称不稳定能量释放。28 日 02~20 时 300hPa 湿位涡负值区南移至 32°N 附近,28 日 08 时中心值为 -0.6PVU,14 时(图 7c,见彩页)增加为 -2.8PVU,20 时(图 7d,见彩页)较弱为 -1.8PVU。28 日 14 时河南南部上空相对湿度>90%区域接近 400hPa 且对称不稳定能量较强,高层接近饱和和状态有利于对称不稳定能量释放,28 日 20 时相对湿度>90%区域高度下降至 600hPa 附近,湿度层高度下降不利于对称不稳定能量释放,28 日 20 时对称不稳定能量中心值比 28 日 14 时小,说明 28 日 14 时~20 时有对称不稳定能量释放。这可能是第二个降水集中时段降水强度更大、桐柏站出现雷暴的原因之一。

5 多普勒雷达特征分析

由径向速度图中速度零线的变化可以分析冷暖平流^[23]。分析了驻马店多普勒天气雷达 2.4°仰角的径向速度资料,发现 1 月 27 日 14 时(图略)驻马店地区北部上空中层风向随高度顺时针旋转,表明有暖平流输送,对应低空急流第一次发展加强。随后驻马店地区南部上空中层也出现风向随高度顺时针旋转,速度零线具有明显的“S”形状,正速度中心最大值为 $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,负速度中心最大值为 $-15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,东北低空急流形成;5km 左右形成 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 正负速度对,此时西南急流发展较强,直至 23:03 以后速度

零线“S”形状变不完整,此时西南急流已明显减弱,随后零线逐渐消失。1 月 28 日 8~12 时驻马店北部地区零线“S”形状不明显;13:05~14:00“S”形状的速度零线已经非常清楚,速度图上出现类似“牛眼”结构,低空出现 $-15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 速度中心,风速达到低空急流标准且具有风速辐合特点,15:14(图 8b,见彩页)“牛眼”结构更明显且高空出现 $-20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 速中心,西南急流此时发展强烈,直至 20:01 以后高层西南风减弱消失转变为偏西风 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,此时降水也趋于结束。

对驻马店多普勒天气雷达 1.5°仰角基本反射率产品进行分析,显示 27 日 18:04 驻马店地区回波已由零散逐渐发展为片状,直至 20:00 回波强度形状稳定且强度维持在 30dBz 左右,随后驻马店南部地区回波逐渐减弱,23:00 驻马店北部回波也减弱,雷达回波相对较强的时段与 27 日 14 时~28 日 08 时南部第一次强降水时段相对应。28 日 12:00 湖北北部有回波生成并逐渐发展,12:30 强度为 20~25dBz,回波不断向东北移动,14:01(图 8c,见彩页)回波影响驻马店南部地区且为片状,在大片回波中有一条密实的西北-东南向的对流回波带,强度为 35~40 dBz,位于南阳、桐柏到信阳一线,此时桐柏出现雷暴天气。回波继续东北移,密实的带状回波 15:14(图 8d,见彩页)影响驻马店地区,两个体扫之后,密实的带状回波迅速减弱,回波呈现均匀片状且强度维持在 20~25dBz 之间,20:30 以后回波减弱消失。

由此可见,西南急流和低层偏东风急流再次发展加强以及较强降水回波东移影响与第二次河南南部降雪集中时段相对应,说明此次降雪天气过程发生在暖平流较强的环流背景下,同时也说明西南急流加强和东北风及偏东风急流的发展是河南南部发生暴雪的主要原因之一。

由于在 VWP 产品中连续“ND”分布的最低高度可以粗略的代表回波顶高,连续观测 1 月 28 日 12 时~20 时驻马店雷达 VWP 产品显示,13:00~14:01 回波顶高维持在 8km(图 8e,见彩页),14:50 以后回波顶高(图 8f)开始下降,18:00 回波顶高为 6km,几个小时后降雪强度减弱。由此可见,28 日 13:00~14:50 对流发展较旺盛,回波顶高度 8km 左右,从高空观测来看回波顶高对应温度值在 -40°C ~ -20°C 之间,具备产生雷电的条件。

6 结论

(1)500hPa 高空低槽、700hPa 低空切变线和低空急流是河南此次暴雪天气出现的主要影响系统。700hPa 西南急流两次加强导致切变线北抬是引发河南南部产生两次降水集中时段的主要原因之一。700hPa 西南急流和 850~925hPa 东北以及东风急流为河南上空输送充足的水汽,850~925hPa 低空急流为暴雪提供了深厚的冷垫。地面上西南低压倒槽向北发展促使副冷锋引导冷空气持续南下,为暴雪和高架雷暴的出现提供了条件。

(2)对探空资料分析显示,暴雪发生时对应西南急流发展和湿度层增厚。逆温层持续时间较长为高架雷暴提供了条件。南阳上空具有较强的水平风垂直切变,说明河南南部大气层结具有动力不稳定和对称不稳定能量,容易出现雷暴。

(3)对物理量场分析显示,水汽通量大值区和水汽通量散度大值区与强降水区对应较好,散度和垂直上升运动大值区也与强降水区较吻合,其强弱变化趋势与降雪强度变化具有一致性。冷空气持续影响是暴雪出现的一个条件。在降雪过程中对流不稳定能量触发释放导致暴雪两次加强;28 日 14 时高层达到饱和状态,高层对称不稳定能量得以释放是桐柏出现雷电天气的主要原因之一。

(4)从雷达资料分析来看,速度图上零线两次出现清晰完整的“S”形状对应西南急流两次发展加强,导致冷暖空气在河南南部交汇剧烈,对应降水集中时段雷达回波发展较强。28 日 14 时强度为 35~40dBz 对流回波带影响河南南部地区,回波顶高 8km,达到 $-40^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ 的温度层,容易导致雷电出现。

参考文献:

- [1] 阎琦,蒋大凯,陈传雷,等.1960-2009 年辽宁区域性暴雪气候特征 [J].气象与环境学报,2012,28 (4): 43-48.
- [2] 董啸,周顺武,胡中明,等.近 50 年来东北地区暴雪时空分布特征 [J].气象,2010,36 (12): 74-79.
- [3] 杨青莹,杨万康,郑智佳,等.一次南方特大暴雪灾害过程诊断分析 [J].气象研究与应用,2015,36 (2): 36-40.
- [4] 郑雅心,李芳,李志勇.许昌两次初春回流类雨转雪过程对比分析 [J].气象研究与应用,2014,35 (3):

44-49.

- [5] 李青春,程丛兰,高华,等.北京一次冬季回流暴雪天气过程的数值分析 [J].气象,2011,37(11): 1380-1388.
- [6] 徐雅,钟仕全,陈燕丽,等.基于 GIS 和 RS 的雨雪冰冻灾害分布特征分析 [J].气象研究与应用,2014,35 (11): 21-24.
- [7] 靳冰凌,孙仲毅,王辛方,等.2009 年 11 月 10—12 日河南北部暴雪天气诊断分析 [J].气象与环境科学,2010,33 (2): 63-67.
- [8] 吴振玲,汪靖,赵刚,等.天津地区一次大到暴雪天气的诊断分析 [J].气象与环境学报,2012,28 (6): 8-13.
- [9] 常军,李祯,布亚林,等.大到暴雪天气模型及数值产品释用预报方法 [J].气象与环境科学,2007,30 (3): 54-56.
- [10] 王清川,寿绍文,霍东升.河北省廊坊市一次初冬雨转暴雪天气过程分析 [J].干旱气象,29 (1): 62-68.
- [11] 周之栩.风廓线雷达资料在暴雪天气过程中的应用 [J].气象与环境科学,2012,35 (4): 69-72.
- [12] 褚昭利,李建华.高空形势与山东半岛冷流暴雪的关系 [J].气象与环境科学,2012,35 (2): 44-48.
- [13] 马振升.河南省区域暴雪的天气学分型及应用 [J].气象与环境科学,2013,36 (1): 54-60.
- [14] 申李文,苗爱梅,赵建峰.2011 年山西省一次连续性降雪过程成因分析 [J].气象与环境科学,2013,36 (1): 7-14.
- [15] 赵伟华,林丽,赵海军,等.一场初冬“雷打雪”天气的中尺度特征分析 [J].气象与环境科学,2010,33 (4): 59-63.
- [16] 郭兰.三门峡市回流形势下“雷打雪”天气的物理成因 [J].气象与环境科学,2014,37 (2): 58-63.
- [17] 郑丽娜,靳军.“2.28”山东罕见“雷打雪”现象形成机制分析 [J].高原气象,31 (4): 1151-1157.
- [18] 宋清芝,孙景兰,吕晓娜.河南省一次暴雪伴雷电天气的形成机理 [J].气象,37 (5): 583-589.
- [19] 张一平,俞小鼎,孙景兰,等.2012 年早春河南一次高架雷暴天气成因分析 [J].气象,40 (1): 48-58.
- [20] 俞小鼎,周小刚,王秀明.2012a.雷暴与强对流临近天气预报技术进展 [J].气象学报,70 (3): 311-337.
- [21] 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,1992: 423-424.
- [22] 王建中,丁一汇.一次华北强降雪过程的湿对称不稳定性研究 [C].中尺度天气和动力学研究,北京:气象出版社,1996: 145-163.
- [23] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用 [M].北京:气象出版社,2006: 216-217.