

2008 年 7 月 13—14 日 河南大暴雨过程的 $V-3\theta$ 图特征分析

侯 凯^{1,2}, 闫瑾瑜^{3,4}, 靖春悦^{1,2}, 袁宏志^{1,2}, 王卫民^{1,2}, 尹 彬^{1,2}

(1. 许昌市气象局, 河南 许昌 461000; 2. 许昌市应用气象工程技术研究中心, 河南 许昌 461000;
3. 许昌广播电视大学, 河南 许昌 461000; 4. 许昌广播电视中等专业学校, 河南 许昌 461000)

摘 要: 运用天气学分析方法和 $V-3\theta$ 图结构分析方法, 对 2008 年 7 月 13—14 日河南省中部、北部地区的突发性大暴雨过程进行了分析。结果表明: 从常规天气学角度预报突发性暴雨难度较大, $V-3\theta$ 图结构分析方法可以在一定程度上弥补天气学分析对突发性强降水预报能力的不足。在郑州、南阳及阜阳探空站的 $V-3\theta$ 图上, 能明显看出此次暴雨过程中的水汽输送情况、不稳定层结和滚流的发展变化等特征。这些特征对预报河南暴雨的落区和持续时间有较好的指示意义。

关键词: $V-3\theta$ 图; 超低温; 顺滚流
中图分类号: P458.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-7148(2011)02-0049-05

引 言

暴雨是河南省主要灾害性天气之一, 历来受到各级政府和防汛等部门的高度重视。气象科技工作者从汛期暴雨时空分布特征、稳定性指数、雷达与闪电产品应用、数值模拟和成因分析等方面对河南暴雨做过较多研究^[1-5]。对影响系统不明朗的突发性暴雨, 利用常规资料作预报具有较大难度。如何发现转折性暴雨, 暴雨出现后如何判断其发展趋势, 是预报员尤为关心的问题^[6-15]。

$V-3\theta$ 图是欧阳首承教授根据溃变理论, 尽可能利用现有资料的真实信息设计的分析工具, 主要是以结构方式揭示非规则信息的结构特征及其作用, 经过很多预报员的实践应用, 证明 $V-3\theta$ 图分析方法对转折性天气, 特别是灾害性天气有着较好的预测能力。陈见等^[16]指出, 经过历史检验和近两年的预报应用, $V-3\theta$ 图已经作为转折性暴雨预报的主要参考依据之一, 并已投入日常预报业务中应用; 郑传新等^[17]指出, 溃变理论在冰雹大风和大暴雨天气预报中具有较大的参考价值, 可作为实用有效的预报工

具; 陈会芝^[18]则把 $V-3\theta$ 图应用到了雾的预测上, 结果显示, 根据 $V-3\theta$ 图的结构特征, 可预测区域性雾的分布和量级, 并可明确区分雾的类别; 同样在长期预报上, $V-3\theta$ 图的应用能力也得到了验证^[19]。

本文利用 $V-3\theta$ 图对 2008 年 7 月 13—14 日的突发性大暴雨过程的水汽来源、不稳定能量等方面进行了分析, 以期对河南此类天气的预报寻找一些有用的线索。

1 天气过程概况

2008 年 7 月 13 日 17 时到 14 日 05 时, 河南省中部、北部部分县市相继出现大暴雨、局部还出现了特大暴雨。其中大暴雨出现在郑州到许昌西北部, 郑州、新郑、长葛、禹州 4 站 12 h 降水量分别达 150 mm、133 mm、102 mm、157 mm; 特大暴雨中心位于长葛西北部与禹州交界处, 据乡镇雨量加密雨量站统计, 13 日 20 时至 14 日 08 时, 长葛的坡胡、后河、石固和禹州的山货 4 个站点的 12 h 降水量分别为 435.3 mm、414.9 mm、276.8 mm、325.2 mm, 突破当地有气象记录以来的 12 h 降水量极大值。14 日白

收稿日期: 2011-01-21; 修订日期: 2011-04-01
基金项目: 河南省气象局科研项目“沙澧河上游关键区强降水预报方法研究”(Z200629)资助
作者简介: 侯凯(1985-), 女, 河南泌阳人, 助理工程师, 学士, 主要从事中短期天气预报工作. E-mail: houkai1204@163.com

天到夜里的大暴雨主要出现在豫北的鹤壁、新乡至焦作一带,14 日 08 时至 15 日 08 时,鹤壁、淇县、辉县、获嘉、孟州 5 站 24 h 降水量分别达 162 mm、124 mm、116 mm、157 mm、112 mm,其中获嘉的徐营乡雨

量站 24 h 降水量达 251.2 mm(图 1)。此次大暴雨过程影响面积较大,突发性较强,持续时间较长,对当地的农作物和交通等都造成了不同程度的影响。

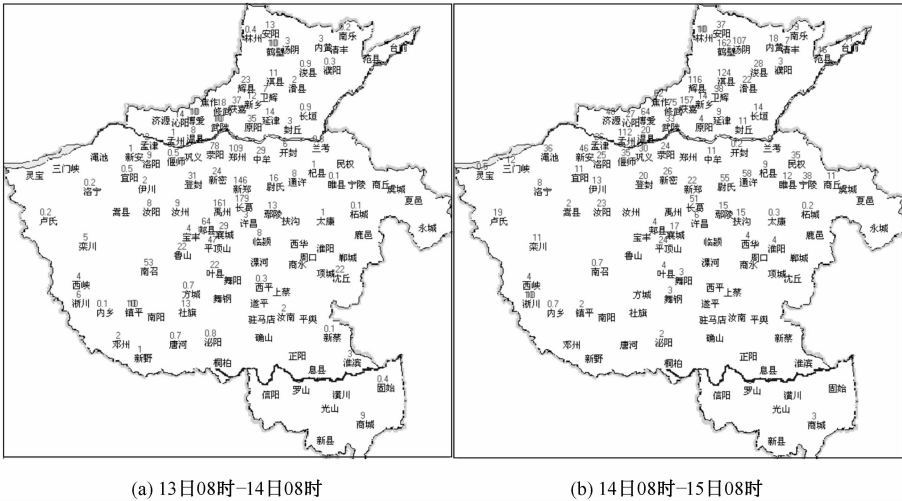


图 1 2008 年 7 月 13 日 08 时—15 日 08 时降水量

2 环流背景与天气形势特征

7 月 12 日 20 时到 14 日 20 时,500 hPa 副热带高压稳定加强(图略),从我国东部沿海到河南一直维持 24 h 正变高。13 日 08 时,河南处于副热带高压外围弱的西南气流里,额济纳旗、西宁到昌都一线有一低槽。700 hPa 有一弱脊自东南沿海伸向华北,河南处在华北高压环流底部的偏东气流中,民勤附近有一低压中心,自低压中心到高原东部有一低槽。随着西风带低槽东移,13 日 20 时 500 hPa 上空,河南及上游西南气流明显发展,700 hPa 和 850 hPa 河南处于脊后,但风力不大(郑州站 700 hPa SSE 风仅 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。由于副热带高压稳定,上述低槽东移缓慢,槽前西南气流不断加强。14 日 08 时,700 hPa 和 850 hPa 低槽位于河套到四川,20 时仍位于山西到河南西部,低槽中段西南气流强盛,而南阳至郑州间存在风速辐散。随着副热带高压缓慢减弱,深厚的低槽东移,豫北一带辐合加强,14 日白天到夜里豫北出现大范围暴雨,而豫东南无雨。

地面图上(图略),13 日 08 时河南处在华北高压南部的东北气流里,有一倒槽自青藏高原经河套西部伸向蒙古国。随着倒槽东移,13 日 17 时到 14 日 14 时,河南省处在东高西低的气压场中。14 日 17 时到 15 日 02 时,有一倒槽自我国西南地区伸向河南。

综上所述,从天气学角度来看,由于影响系统不明显,即使到了 13 日 20 时,也没有足够理由预报当

天夜里河南中部会产生大暴雨天气,而 14 日白天到夜里豫北暴雨的天气形势和影响系统则比较清楚。

3 V-3θ 图的设计原理与结构特征

3.1 设计原理

溃变理论结构分析方法的原理来自演化的转折性和流体的涡旋转换^[20];采用的是图像结构(即 V-3θ 结构)分析,其核心在于充分利用涡旋演化中非均匀或不连续的直接观测结构信息和旋转方向的变化来预测天气的转折性变化。

V-3θ 图是用探空资料所作的垂直方向二维图,采用的是 $p-T$ 坐标, p 轴上单位为 hPa, T 轴上单位为绝对温度 K。V-3θ 图中的 V 即为探空资料中风向、风速的直接观测数据,并设置在 θ^* 线上;3θ 则分别是 θ 、 θ_{se} 、 θ^* 在垂直方向上构成 $p-T$ 坐标图上的 3 条曲线,即每一测站的垂直剖面图。 θ 是位温, θ_{se} 以露点温度计算(记为 θ_{sed}), θ^* 是人为假定饱和状态下的计算值。 θ_{sed} 、 θ^* 体现大气的水汽分布状态(即结构特征),可以用来测算灾害天气的程度。V-3θ 图容纳了非规则信息,有利于提高、细化预测的具体等级及性质,提高转折性天气预测的时效性和准确率。

3.2 结构特征

V-3θ 图设计的核心思想,是考虑了非规则信息的结构或图像(Diagrams)特征,体现结构或 Diagrams 的非均匀性,由此,V-3θ 图具有如下结构特征:1)若 3 条 θ 曲线随着 p 的增大向右倾并呈现线性

增长,则表示大气对流层内的结构是均匀的,实质上是一种非真实存在的人为理想情况;2)若3条 θ 曲线随着 p 的增大向左呈线性递减,或随着 p 的增大不变或少变,则表示对流层大气的垂直结构极度不均匀,积聚了不稳定能量有待释放;3)尽管目前的特性层信息还不是全部发布,但仅由现在发布的特性层信息中也可看到,灾害天气出现前的V-3 θ 图中,300—100 hPa附近会出现陡然左倾,或准垂直于 T 轴,或右倾中有拐角,这种结构特征表示附近有“超低温”存在。

3.3 暴雨以上降水的V-3θ图结构特征

对于一般暴雨及其以上量级降水的预测,V-3θ图的结构特征如下^[21]。

(1)构成暴雨、大暴雨以上的大降水量,或称为灾害性暴雨,其水汽辐合层比较深厚,至少应当考虑预测地点以东5~10个或其以上的经、纬距内,其对流层内为逆滚流所控制,且水汽输送方向上的相应测站具备一致风向的水汽输送通道(即使按300 km设置测站,也应当有3~4个测站为一致风向),以保障水汽输送。一般而言, $(\theta^* - \theta_{sed}) \leq 8 \sim 10$ K,对于持续暴雨往往是 $(\theta^* - \theta_{sed}) \leq 3 \sim 5$ K,并且 θ^* 、 θ_{sed} 曲线呈现准平行的垂直于 T 轴。其西南、南或东南(北半球)风层的厚度,可以分别按500 hPa、400 hPa或300 hPa而有不同的暴雨降水量。

(2)整体顺滚流。

(3)暴雨、大暴雨以上降水上空的超低温层,仅为折拐的薄层状,或者说暴雨类的超低温厚度相对强对流而言比较浅薄。

(4) θ 曲线呈现左弓状,并伴有非规则折拐时,表示有对流云发展。

4 2008年7月13—14日河南大暴雨过程的V-3θ图特征分析

根据V-3θ图的结构特征和暴雨及其以上量级

降水的预测模型,选择了河南省的郑州、南阳站以及河南省以东阜阳站的V-3θ图进行分析。

4.1 过程来临前

在暴雨发生前约24 h,即7月12日20时的郑州、南阳站V-3θ图上(图略), θ_{sed} 、 θ^* 曲线向左倾斜,呈明显对流不稳定;郑州、南阳站的低层偏东风与高层偏西风构成整体顺滚流,超低温位于200 hPa附近, $(\theta^* - \theta_{sed})$ 较大,整层湿度相对较小,且低层有弱的偏北风;而东部的阜阳站,低层 θ_{sed} 、 θ^* 曲线向右倾斜,气层较为稳定,且低层偏北风与500 hPa附近的西南风构成逆滚流。同时由射阳、南京、徐州、阜阳的V-3θ图(图略)上可以看出,从我国东部沿海至河南省已经形成了较为完整的水汽通道。根据欧阳教授给出的暴雨预测模型,可预测郑州与南阳之间及其附近未来将有暴雨量级以上的强降水产生。

在暴雨发生前约12 h,即7月13日08时,从郑州、南阳站的V-3θ图(图2)上可见, θ_{sed} 、 θ^* 曲线略向左倾斜;郑州、南阳站的超低温都在加强,且郑州站高层风速加大;郑州、南阳站低层的偏北风已转为偏南风,且东南风达到700 hPa以上,表明向河南输送的水汽逐渐增多, $(\theta^* - \theta_{sed})$ 较7月12日20时减小,湿度增大;而东部阜阳站V-3θ图(图略)上 θ_{sed} 、 θ^* 曲线向右倾斜,气层依然较为稳定,低层和500 hPa之间仍存在逆滚流现象,但湿度也在增大。由于水汽输送增强,湿度增大,可以预测郑州与南阳站之间及其附近出现暴雨量级以上强降水的可能性在增大。

4.2 过程开始时与过程中

此次暴雨开始时,从郑州、南阳和阜阳站7月13日20时的V-3θ图(图3)上可以看出, θ_{sed} 、 θ^* 曲线与 T 轴夹角增大,大气层结不稳定度加大,同时高低层风速也在加大;阜阳站低层风速增大到 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,南阳、郑州站分别达 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,顺滚流加强;西南风郑州站达到250 hPa,南阳达到400 hPa,湿度继续增大;且郑州站上空出现较多的 θ_{sed} 、 θ^* 曲线折

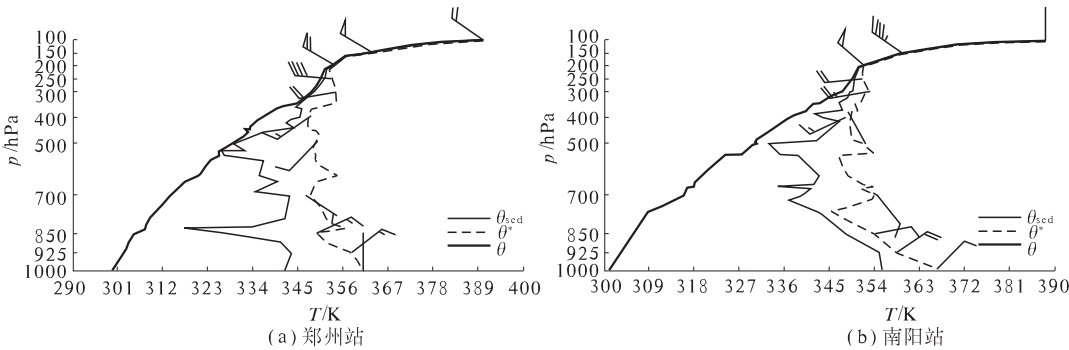


图2 2008年7月13日08时V-3θ图

拐,同时 400 hPa 附近出现暖层云,呈典型的强对流暴雨天气结构;阜阳站此时低层东北风已转为偏东风,低层逆滚流转为整体顺滚流。由此可预测郑州和南阳之间及其附近暴雨量级将加大,局部地区将达到大暴雨以上量级,由于郑州站水汽输送层次较南阳高,最强降水中心应在郑州与南阳之间偏郑州一侧。

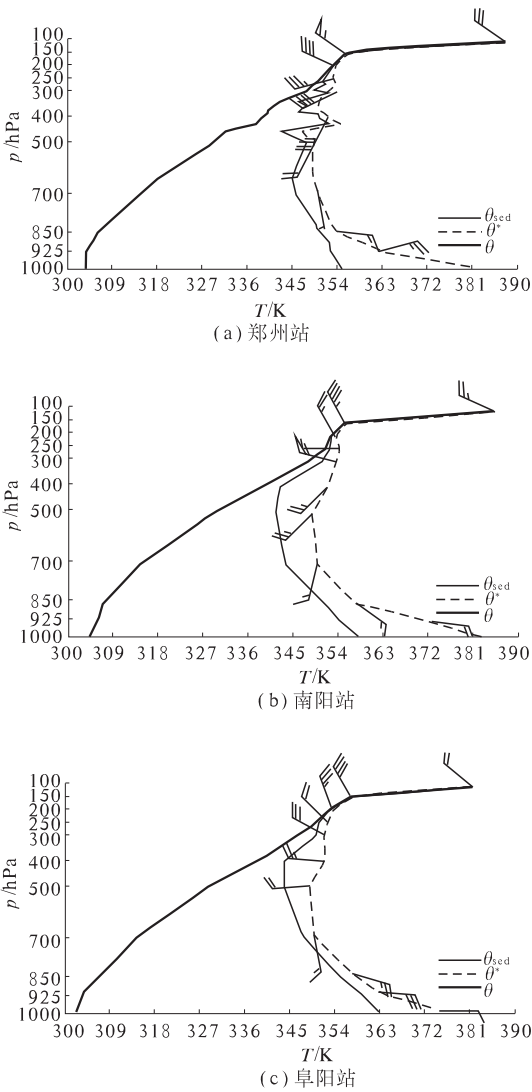


图 3 2008年7月13日20时 V-3θ 图

在特大暴雨中心强降水结束后的14日08时(图略),从各站的 V-3θ 图上可见,郑州站上空产生强降水的 V-3θ 图结构依然存在,θ_{sed}、θ*在中低层出现多折拐,说明冷暖层云相互叠加,对流比较强烈,但水汽输送层次降低到500 hPa 附近,湿度呈逐渐减小趋势;南阳站低层的 θ_{sed}、θ*向右倾斜,气层较稳定,两站低层偏东风转为偏南风,且东部阜阳站的偏东风也已转为偏南风,东部水汽通道减弱。由此可预测郑州附近仍将出现区域性强降水,但其量级较前一天

有所减弱,南阳到郑州之间降水量将由南向北减小(新乡市获嘉的徐营乡雨量站7月14日08时至15日08时24 h 降水量达251.2 mm)。

从14日20时郑州站的 V-3θ 图(图略)上可见,郑州站上空存在顺滚流,θ_{sed}、θ*向左倾斜,但超低温层厚度在增加,低层西南风水汽分量减小,湿度减小,预示着郑州附近降水强度短期内将继续减弱。

4.3 过程结束时

从15日08时郑州站的 V-3θ 图(图4)上可见,低层的西南风已转为偏北风,与中层500—700 hPa 的西南风构成逆滚流,表明降水将趋于结束,15日08时之后河南的降水明显减弱。

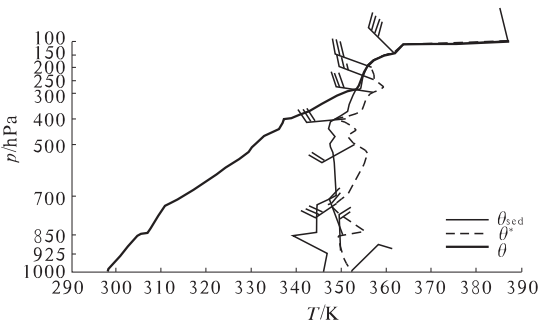


图 4 2008年7月15日08时郑州站 V-3θ 图

5 结 论

(1) V-3θ 图结构分析方法可以弥补常规天气图对气层垂直结构分析方面的不足,对转折性强降水有较好的指示意义。

(2) 分析郑州、南阳及其东侧阜阳探空站的 V-3θ 图结构,能明显看出此次暴雨过程的水汽主要来源于我国的东部沿海;降水过程中 θ_{sed}、θ*曲线均向左倾斜,表明大气层结不稳定,最强降水开始时段 θ_{sed}、θ*曲线与 T 轴的夹角达到最大,大气层结达到最不稳定, V-3θ 图上呈整体的顺滚流。

(3) 由于我国探空站点资料的时间分辨率较低(12 h),空间分布稀疏,因此 V-3θ 图结构分析方法尚不能有效提供暴雨落区的准确位置,还需要其他方法来弥补其不足之处。

利用 V-3θ 图的方法来预报暴雨等强对流天气,在本地是一种新的尝试,由于资料积累少,上述结论有待于在今后的研究中做进一步检验和完善。

致 谢:本文得到成都信息工程学院科研所研究员陈刚毅老师的多次指导,特此致谢!

参考文献

[1]侯春梅,陈忠民,康雯瑛,等.河南汛期暴雨时空分布特征及成因分析[J].气象与环境科学,2008,31(2):39-42.

[2]林丽,李荣,张霞,等.一次短时暴雨天气的稳定度和能量参数分析[J].气象与环境科学,2007,30(4):45-48.

[3]张一平,牛淑贞,王金莲,等.两次大暴雨的新一代雷达产品和闪电特征分析[J].气象与环境科学,2009,32(1):63-67.

[4]王珏,梁琪瑶,易伟霞,等.一次区域暴雨过程综合诊断分析[J].气象与环境科学,2009,32(3):10-14.

[5]靖春悦,寿绍文,贺哲,等.河南省2005年7月22日大暴雨过程数值模拟与诊断分析[J].气象与环境科学,2007,30(3):45-49.

[6]肖红茹,顾清源,何光碧,等.一次大暴雨过程中高原低涡与西南低涡相互作用机制探讨[J].暴雨灾害,2009,28(1):14-20.

[7]王建生.湖北省一次区域性暴雨过程的综合分析[J].暴雨灾害,2008,27(2):154-159.

[8]施望之,张萍萍,吴涛,等.湖北省两次区域性暴雨过程的对比分析[J].暴雨灾害,2008,27(3):219-224.

[9]肖逸祥,顾清源,祁生秀,等.2007年7月川东北连续3场大暴雨过程的诊断分析[J].暴雨灾害,2008,27(3):231-236.

[10]田秀霞,邵爱梅.一次河北大暴雨的华北低涡结构和涡度收支分析[J].暴雨灾害,2008,27(4):320-326.

[11]侯淑梅,李灿,王月兰,等.一次暴雨过程预报的多模式NWP产品与物理参数的综合分析应用[J].暴雨灾害,2009,28(1):36-43.

[12]陈忠明,闵文彬,崔春光.暴雨中尺度涡旋系统发生发展的诊断[J].暴雨灾害,2007,26(1):29-34.

[13]杨荆安,孟英杰.2008年5-9月我国主要暴雨天气过程[J].暴雨灾害,2008,27(4):378-383.

[14]梁俊生.2003年渭河流域一次致洪暴雨过程综合分析[J].暴雨灾害,2008,27(1):32-36.

[15]张端禹,张兵.江汉平原一次突发性特大暴雨的诊断分析[J].暴雨灾害,2008,27(2):121-126.

[16]陈见,钱俊,黄明策.广西暴雨过程的V-3θ结构特征检验及预报应用[J].气象科学,2006,26(3):334-340.

[17]郑传新,刘泽军,陆莹莹.溃变理论在冰雹大风及暴雨预报中的应用实例[J].广西气象,2002,23(3):1-4.

[18]陈会芝.非规则信息的结构分析与雾的区域预测[J].自然灾害学报,2005,14(5):43-48.

[19]彭立平,肖天贵,李超.超低温结构在长期预测中的应用[J].成都信息工程学院学报,2002,17(1):14-19.

[20]欧阳首承.天气演化与结构预测[M].北京:气象出版社,1998.

[21]欧阳首承,陈刚毅,林益(美).信息数字化与预测[M].北京:气象出版社,2008.

Characteristic Analysis of Heavy Rain by Using the V-3θ Diagram in Henan Province on July 13—14, 2008

Hou Kai^{1,2}, Yan Jinyu^{3,4}, Jing Chunyue^{1,2}, Yuan Hongzhi^{1,2}, Wang Weimin^{1,2}, Yin Bin^{1,2}

(1. Xuchang Meteorological Office, Xuchang 461000, China;
2. Xuchang Applied Meteorological Engineering Research Center, Xuchang 461000, China;
3. Xuchang Radio and TV University, Xuchang 461000, China;
4. Xuchang Radio and TV Secondary Vocational School, Xuchang 461000, China)

Abstract: The heavy rain which occurred in the middle and north part of Henan province on July 13—14, 2008 was analyzed by using the synoptic analysis and V-3θ diagram. The result shows that it is difficult to forecast the sudden rainstorm by the conventional synoptic analysis, but the structure analysis method of the V-3θ diagram can offset the deficiency. From the V-3θ diagram of Zhengzhou, Nanyang and Fuyang sounding station, the water vapor conditions, unstable stratification and the development of tumble can be seen obviously. Combining these characteristics and the other synoptic diagnostic analysis, it gives the direction of the forecasting to the drop zone and duration of the rainstorm in Henan.

Key words: the V-3θ diagram; the ultra-low temperature; the clockwise tumble