文章编号:1673-8411 (2014) 03-0044-06

许昌两次初春回流类雨转雪过程对比分析

郑雅心[1], 李 芳[1], 李志勇[2]
(1.许昌市气象局, 河南 许昌 461000; 2.洛宁县气象局, 河南 洛宁 471700)

摘 要:应用 micaps3 天气图资料、卫星云图,对许昌市 2011 年 2 月 25—28 日和 2014 年 2 月 16-18 日两次雨转雪天气过程进行诊断分析和对比分析,对环流形势、水汽条件、动力、热力特征的分析结果表明:(1)两次过程的共同点为前期主要是 500hPa 高空槽和 700hPa 切变线影响的稳定性降水,后期是 850hPa 回流冷空气不断补充堆积形成深厚的冷垫,低层偏东气流与中高层槽前的西南暖湿急流交汇形成回流降水形势。另外,高低空的有力配合,冷暖空气的交汇为两场降水提供了较好的动力条件。(2)不同点为两次回流降水时段、持续时间、降水强度、降水落区不同。过程一水汽含量更高,辐合偏河南省北中部而且湿层更深厚,强度更强,水汽通量较过程二大一个量级,降水量较过程二也大一个量级。过程二辐合落区在河南省南部,且持续时间较短,系统配置较弱。(3)冷空气侵入时段、气温下降速度、降水时间、850hPa 温度的临界值,都是是初春降水性质发生改变的关键点。其中 850hPa 温度低于-4℃作为雨转雪指标外,气温的下降速度可作为雨转雪的补充预报指标。

关键词:流行配置;冷垫;回流;云顶亮度
中图分类号:P458.2 **文献标识码**:A

Comparison analysis of two rain turning to snow processes of refluxes in Spring of Xuchang

Zheng Ya-xin,Li Fang, Li zhi-yong
(1.Xuchang Municipal Meteorological Service, Xuchang Henan 461000;
2. Luoning County Meteorological Service, Luoning 471700)

Abstract: Based on micaps3 weather map data, satellite cloud picture, diagnosis analysis and contrast analysis of two rain turning to snow weather processes in 2011February 25-28 and 2014 February 16-18 were done. Analysis results of the circulation, water vapor condition, dynamic, thermal characteristics show that: (1) the common points two processes, in the early stage one of them is stable precipitation affected by 500hPa trough and 700hPa the shear line, the other one is the deep cold pad formed by the accumulation of continuous supplying of 850hPareturn cold air and a reflux rainfall situation formed by the intersection between the low-level easterlies and the top slot in the southwest jet stream in the late stage. In addition, cooperation between high and low altitude and the intersection of cold and warm air provide preferable dynamic conditions for two precipitation processes. (2) The differences are in reflux duration, precipitation, rainfall intensity and rainfall area aspects. In the frist process, the moisture content is higher; the convergence is towards North Central of Henan province with deeper, stronger wet layer and bigger water vapor flux (over two magnitudes than process two) , more precipitation (over one magnitude than process two) .On the other hand, in the second process, the convergence area is in southern of Henan Province with short duration and weak system configuration. (3) During the cold air invading, temperature declining rate, precipitation time and critical value of 850hPa temperature are key points of precipitation character changes in early spring. Among these factors, the 850hPatemperature below -4 ℃ is chosen as rain turning snow index, while the temperature declining rate can be used as replenishment forecast index for rain turning to snow forecast.

Key words: popular configuration; cold pad; reflux; cloud top brightness

收稿日期:2014-06-15
作者简介:郑雅心(1987-),女,河南许昌人,本科,从事天气预报业务工作。

引言

雨转雪是华北地区冬、春季经常出现的天气现象。预报员常常因对回流天气系统结构特征认识不足和诊断失误而导致预报的漏报、错报。这种固、液态降水，固、液态降水的转换时间和固、液态降水的量级是预报中的一个难点。近几年来国内气象工作者对雨雪天气的环流背景和影响因子等多方面进行了深入的研究。张迎新等[1]研究表明，中高层的西南气流与低层偏东气流叠加时，华北回流降雪开始，两者之一消失降水结束。白惠星等[2]研究了北疆地区一次雨转雪天气认为高空横槽转竖过程中所携带的强烈的冷平流造成了雨转雪天气的发生。许彤等[3]对仙桃机场两次雷雨转雨夹雪天气进行了分析，认为 850hPa 温度场 0℃线经过本场可作为降水发生相变的一个判定依据。齐洁等[4]表明判断冬季降水形态是雨还是雪，既要细致分析温度判断冬季降水形态是雨还是雪，又要细致分析温度垂直分布状况外，还要准确预报冷空气入侵时间、气温下降的速度，尤其是雨雪分界线相配合的高低层气温临界值更是做好雨雪预报的关键点，降水前高空地面温度不同是造成降水性质不同的主要原因。王清川等[5]对近年来廊坊市出现的典型的雨雪相变过程进行综合分析表明：0℃层在 950hPa 可作为雨雪转换的临界面，多普勒天气雷达上 0℃层亮带高度迅速下降后 1–2h 内，既可以推断廊坊降水相态将由雨转为雪。于亚薇等[6]对 2009 年 2 月 12 日夜间葫芦岛地区雨转雪天气过程进行了系统分析。结果表明，高低空的有利配合，冷暖空气的交汇，是形成这次天气过程的关键。前期受暖湿空气主导，后期受干冷空气控制，这是先降雨后降雪的主要原因。申李文等[7]分析了 2011 年 2 月 25 日–28 日山西的一次连续降雪天气过程。结果发现：此次降雪过程经历了 3 个阶段，分别是倒槽冷锋降雪阶段，回流降雪阶段，低空切变降雪阶段。对于回流类暴雪天气，低层回流对降雪起到了冷垫作用，低空东北急流、西南急流的建立使降雪增幅。赵桂香等[8]选取 3 次回流倒槽作用下山西大(暴)雪天气过程，利用多种探测资料，全面比较分析了 3 次过程的异同点。结果表明：由于高低空流行配置、水汽输送特征和动热力结构特征存在较大差异，造成 3 次过程的降雪强度、降雪落区和持续时间不同。卫星云图上 TBB 的变化和对流层中上层水汽含量的增加对预报强降雪有指示意义。国世友[9]对黑龙江省两次强降雪天气分析。结果表明，2 次强降雪天气具有相似的特征，均是在高空槽配合地面蒙古气旋的有利环境条件发生的，低涡切变和辐合区的持续存在提供了动力条件，低空西南急流带来了充沛的水汽输送。物理量分布及冷槽、暖脊等的位置使得 2 次强降雪落区存在一些差异。周雪松等 [10]对 2010 年和 2011 年山东早春出现的两次暴雪天气过程进行了对比分析，结果表明，低涡(切变线)、低空急流、地面气旋倒槽等是暴雪主要影响系统，高空和地面天气系统在时间和空间配置上的差异是造成暴雪对流性不同的关键因素。红外云图能很好地反映降雪天气过程对流性的强弱。

2011 年 2 月 25 日–28 日和 2014 年 2 月 16 日–18 日分别出现的两次大范围的雨转雪天气过程(分别简称“过程一”和“过程二”)，本文利用常规天气图资料和地面降水资料，对降水天气的环流特征、物理量特征等方面对这两次雨转雪过程进行分析总结，目的是找出它们的异同点，为今后更准确的预报许昌雨转雪天气积累经验。

1　天气实况

1.1　过程一

2011 年 2 月 25 日–28 日前期受西风槽和切变线的共同影响，后期受冷空气回流影响，许昌出现了雨、雾、雨夹雪、雪等多种天气现象，全市普降雨雪。2 月 25 日降水开始，以降雨为主，到 26 日为许昌大部分已经达到中雨量级，其中鄢陵县达 31.3mm。28 日降水相态发生转变，由雨转为雪。其中 2 个县(禹州、长葛)为大雪，其余为中雪量级。

1.2　过程二

2014 年 2 月 16 日–18 日前期受川西高原短波槽和暖切变线影响，后期受回流冷空气影响，许昌出现了一次雨转雪天气过程。16 日 08 时许昌降雨开始。16 日 20 时降水相态由雨转为雪。其中许昌降雪量为 3.1mm 为中雪量级。17 日 20 时–18 日 08 时受东北路回流冷空气影响，降水持续，降水相态仍以雪为主。

2　环流形势演变与流型配置

2.1　过程一

2011 年 2 月 25 日 08 时 500hPa 图上，华北地区处于冷高压底部，西风槽位于西宁到成都一线。700hPa 图上切变线位于河西走廊与河套交界处。26 日 08 时，500 西风槽东移到河套地区。850hPa 切变

线位于汉中、安康到南阳一线，切变线不断北抬东扩影响河南省大部分地区。26 日 20 时(图 1a)，500hPa 槽线位于河套中西部，由于冷空气补充南下，西风槽加强，700hPa 河南省持续受西风槽前西南急流影响。此时，西南急流不断加强，切变线前急流风速大于 24m·s^{-1}。急流出口区位于河南北中部，辐合上升，有利降水。地面图上，河南省位于倒槽顶部的的偏东气流里。此时，东西路冷空气交汇形成锢囚锋，河南省中西部位于锢囚锋前部。27 日 08 时 850hPa 及以下层有冷空气自东北向西南逐渐入侵河南北部，28 日 08 时，河南省处于北高南低的气压场里，700hPa 切变线东扩南压到河南省中北部。28 日 20 时(图 1b)，850hPa 形成一支东北风急流，850hPa 冷垫深厚，上升运动加强，说明低空有冷平流、高空有暖平流输入，回流下来的冷空气与 700hPa 槽前的西南暖湿急流交汇在河南省北中部，形成上暖下冷的回流降水形势。产生这次过程的降水增大并且降水相态转为雪。大雪落区就在急流出口区西北部至 700hPa 切变线之间，以及 700 切变线与地面冷锋之间。3 月 1 日 08 时，500hPa 低槽东移减弱，许昌转脊前槽后，降雪逐渐结束。

2.2 过程二

2014 年 2 月 16 日 08 时(图 1c)，500hPa 图上，川西高原东部短波槽不断分裂东移到河套一带。700hPa 图上暖切变线压到河南省南部一带。16 日 20 时河南省处于高压底部。500hPa 四川低槽东移到河南省，许昌处于槽前，槽后有冷平流。700hPa 图上河南省信阳地区有明显的风向、风速辐和线，西南急流达到 20m·s^{-1}，急流轴在长江流域，河南南部在急流轴出口处，辐合上升，有利降水。17 日 20 时，500hPa 低槽位于河南省西北部，500hPa 偏南风分量加强，风速达 32m·s^{-1}。700hPa 暖切变线转为东西向，切变线南压到许昌附近。850hPa 到地面东北风分量加强。另外，冷垫深厚，直达 850hPa，东西路冷空气交汇形成锢囚锋。18 日 08 时，(图 1d)从华北南到河南南部有一宽槽区，河南省处在槽前，安徽北部有低涡切变。850hPa 回流下来的冷空气与 700hPa 西南暖湿气流交汇在河南省南部，辐合上升运动加强，这种天南地北的形势，具有明显的回流降水特征。18 日 20 时许昌转槽后西北气流控制，天气逐渐转晴。

综上所述，过程一和过程二许昌都是前期受高空槽和切变线影响的稳定降水，后期由于东北路冷空气南下，和中高层槽前暖湿气流交汇形成的回流降水。不同之处，过程一系统配置完整，移动速度慢，辐合区在河南北中部许昌一带并且持续时间长。过程二系统配置较弱，移动速度快，辐合区在河南省以南地区且降水持续时间短。

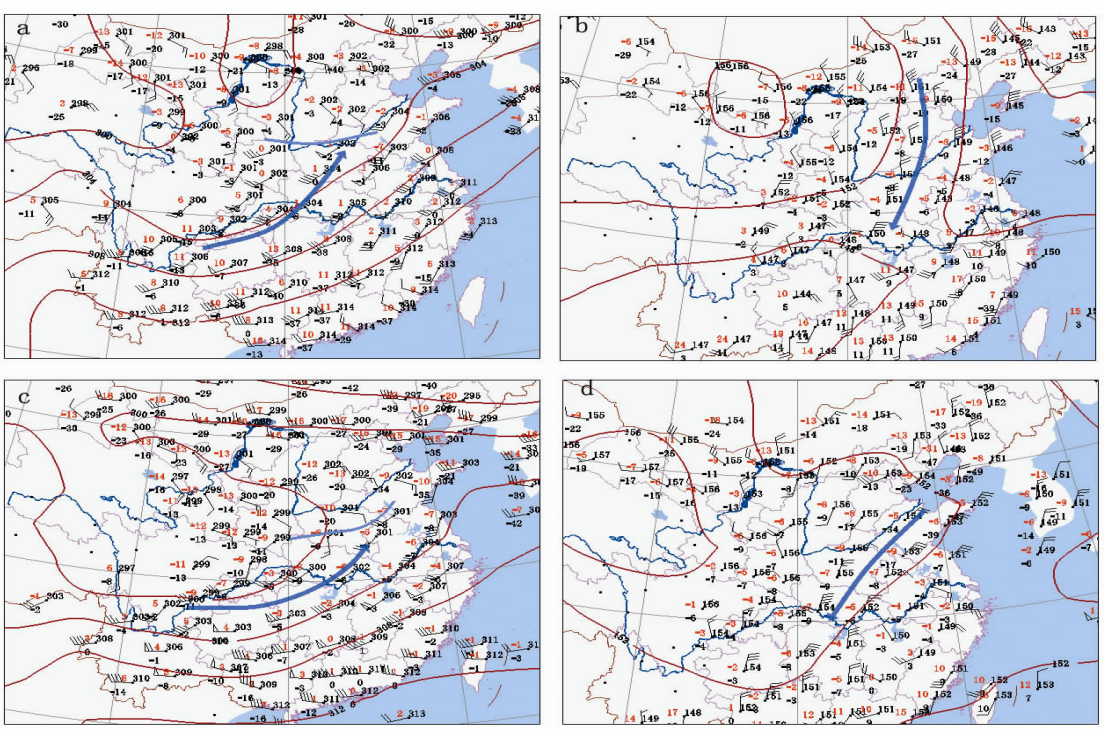

图 1 2011 年 2 月 26 日 20 时 700hPa(a)，2011 年 2 月 28 日 20 时 850hPa(b)
2014 年 2 月 16 日 08 时 700hPa(c)，2014 年 2月 18 日 08 时 850hPa(d)
(箭头为急流轴的位置，线条为切变线的位置)

3　水汽输送特征

3.1　相对湿度大值区与降水的关系

充沛的水汽条件对大降雪天气的形成与否具有重要作用，过程一，从图 2(a、b，见彩页)中可以看出，700hPa，850hPa 相对湿度大值区明显偏河南省北部，且由西向东推的特点：2011 年 2 月 25 日 08 时，河南西部有一片湿区，并逐渐东移到河南省中部许昌地区。26 日 20 时(图 2a)，相对湿度大于 90% 的高湿区完全覆盖了许昌，到 28 日 20 时(图 2b)，700hPa 许昌地区相对湿度仍大于 90%。3 月 1 日 08 时高湿区东移出河南省，降雪趋于结束。

过程二，图 2(c、d，见彩页)700hPa，850hPa 相对湿度大于 90%湿区明显在河南省南部及其以南地区地区稳定维持：从 2014 年 2 月 16 日 08 时到 17 日 20 时 700hPa、850hPa 相对湿度达到 80%的高湿区在许昌地区，之后到了 18 日 20 时的高湿区移出河南省，降雪停止。

两场降水之前 500hPa、700hPa、850hPa，3 层的水汽通道都已经打开，为这两场降水提供了充足的水汽条件。不同的是低层水汽输送的时间和落区不同，过程一相对湿度大值区在河南省北中部部，中低层系统配合较好，850hPa 暖湿气流比过程二更强盛，降水量略大。过程二相对湿度大值区在河南省南部及其以南地区，降水量比过程一略小。

3.2　温度露点差及 850hPa 水汽通量

两场降雪发生过程中，河南省地区均为明显的高湿区。由露点温度差剖面图(图略)可知，过程一和过程二河南省大部分地区，湿区都有从中高层向低层拓展并且南压的特点，降雪区和露点温度差 $T-T_d \leq 4℃$的湿区有很好的对应关系。不同点，过程一饱和湿层由中高层向低层逐渐东移南压，降水过程中，强降水区 700hPa 及以下都处在近似饱和的状态(露点温度差 $T-T_d \approx 0℃$)。而过程二则是湿层一直维持在河南省及其以南地区，降水过程中，河南省处在(露点温度差 $T-T_d \leq 4℃$)的湿区内。综上所述，过程一的饱和区远远大于过程二，这也与过程一的降水量大于过程二的降水量相对应。

水汽源源不断的输送和高湿区的配合是这两场降水的必要水汽条件。分析水汽通量场可以看到这两场降水水汽主要来源于黄渤海，水汽通量辐合中心主要集中在 700~850hPa 之间。850hPa 平均水汽通量场的分布看出对于过程一而言许昌水汽通量平均在 4~6$g \cdot s^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1}$ 之间，较强的水汽通量为许昌地区出现降水提供了丰富的水汽条件。水汽通量大值区在河南北中部。降水强度较大的 2011 年 2 月 26 日和降雪强度较大的 28 日，中低层相对湿度都已经≥80%，湿层厚度从 1000hPa 向上超过 250hPa，为这场降水提供了充分的水汽条件。而过程二，2014 年 2 月 18 日 02 时 850hPa 上偏东风急流把水汽输送到河南，并在许昌附近形成了水汽通量辐合中心，但水汽通量较小，许昌水汽通量平均在 3~4$g \cdot s^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1}$ 之间，水汽通量大值区在河南南部。总之，水汽由源地水平输送到降水地区为降水形成有利的水汽条件，连续降水过程必须有持续不断的水汽供应。过程一水汽通量大于过程二，所以过程一的降水量远远大于过程二。

4　动力、热力场诊断分析

4.1　涡度场

从涡度场发现，两次降水都是高层有负涡度辐散区，而中低层有正涡度辐合区。这种配置有利于降水的出现。过程一，2011 年 2 月 25 日 20 时 700hPa 河南一带开始出现正涡度区，28 日 08 时 250hPa 许昌为负涡度区，20~40s^{-1} 之间的涡度大值区在河套上游陕西一带，700hPa 为 0，850hPa 上为正涡度区，925hPa 河南东部以东地区在 0~20s^{-1} 之间，而西北部山区≥20s^{-1}。过程二，2014 年 2 月 16 日 20 时，400hPa 上在河南中部一带为负涡度区，700hPa 许昌地区在正涡度区，17 日 08 时正涡度区，中心值有所增大，预示着低槽加深、发展，降水加强。

4.2　温度平流

两场降雪的共同点为：雨转雪前许昌低层 850hPa 以下均有冷平流入侵，形成冷垫，冷垫厚度达 850hPa。700hPa 以上为暖平流，降雪期间冷垫较为深厚。随着 700hPa 风向转为东北风，冷垫逐渐消失，许昌上空为冷平流控制，降雪逐渐结束。由此可见，在降雪时段中、高层无冷平流侵入，冷平流由低层侵入，愈到低层冷平流愈强。

不同点：两次过程冷垫厚度差异不明显，但平流强度存在明显差异。过程一，冷垫中心强度大，小于-280×10^{-6}K/s，暖中心强度较大，大于210×10^{-6}K/s，所以冷中心强度更强。过程二，冷垫中心强度更大，小于-295×10^{-6}K/s，暖中心强度略偏小。可见，近地层冷平流越强，高层暖平流越小，降雪强度越

小。降雪结束时,冷平流中心位置越高,降温幅度越大。

4.3 雨雪相态的转换

4.3.1 850hPa 大气温度结构特征

降水时段各气压层气温变化。雨–雨夹雪–雪的相变决定地面到高空的温度。分析两次过程 850hPa 降水时段气温变化如表 1 所示。过程一,2011 年 2 月 25 日 08 时至 28 日 08 时,850hPa 和地面低层气温分别下降了 4℃和 7.2℃, 过程二,2014 年 2 月 15 日 08 时到 16 日 08 时,850hPa 气温下降了 3℃。过程一 850hPa 影响许昌冷空气强度和降温幅度比过程二冷空气强度强,降温幅度大,降水量大。其主要原因为冷空气侵入时间不一致。

4.3.2 各站观测温度变化

过程一, 这次雨转雪许昌三站雨转雪时间不同(表 2), 鄢陵站雨转雪时间为 2011 年 2 月 28 日 11 时 06 分,11~13 时气温由 0.4℃下降到零下 1.0℃; 长葛站雨转雪时间为 10 时 51 分,10~12 时气温由 0.4℃下降到零下 0.3℃; 襄城站雨转雪时间为 10 时 05 分,10~12 时气温由 0.4℃下降到零下 0.7℃。分析以上资料,这次雨转雪温度为 0~零下 1℃。

过程二, 三测站温度变化鄢陵 2014 年 2 月 16 日 21 时 32 分由雨转雪,长葛 20 时 18 分由雨转雪,襄城 20 时 45 分由雨转雪。综上所述,气温从 1 到零下 1℃为雨转雪的温度。0℃为雨转雪的临界值。

表 1 过程一、过程二 850hPa 温度对比表

时间	850hPa 温度(℃)	时间	850hPa 温度(℃)
2011 年 2 月 25 日 08 时	0	2014 年 2 月 15 日 08 时	–2
2011 年 2 月 25 日 20 时	–2	2014 年 2 月 15 日 20 时	
2011 年 2 月 26 日 08 时		2014 年 2 月 16 日 08 时	–5
2011 年 2 月 28 日 08 时	–4	2014 年 2 月 17 日 20 时	–5
2011 年 2 月 28 日 20 时	–5	2014 年 2 月 18 日 08 时	–5

表 2 过程一雨转雪时间及温度变化表

站点	雨转雪时间	雨转雪时段	雨转雪时段温度变化
鄢陵	11 时 06 分	11 时–13 时	0.4℃~ - 1℃
长葛	10 时 51 分	10 时–12 时	0.4℃~ - 0.3℃
襄城	10 时 05 分	10 时–12 时	0.4℃~ - 0.7℃

5 卫星云图的衍变

红外云图上物体的色调决定其自身的温度,物体温度越高,发射的红外辐射越大,色调越暗。反之物体温度越低,发射的红外辐射越小,色调越明亮。过程一,2011 年 2 月 25 日 20 时, 高空槽云系位于河套,河南省北部出现了一些零散云系,之后,高空槽云系不断发展东移,但云层薄,移动快,造成许昌小雨天气。在上述云系东移过程中,随着 500hPa 冷空气补充南下,槽不断发展加深,槽前水汽输送,前述高空槽云系后部不断有云团发展并移入河南省北部,于 26 日 9:00(图 3a,见彩页),在河南北中部形成一个云团, 该云团在许昌不断发展加强, 变得密实,降水以小到中雨为主。28 日白天(图 3b,见彩页),高空槽云系再度形成并发展东移,其后部不断有云系发展,云层加厚,云顶变高,许昌降水性质由雨转为雪,并且降雪出现增幅,许昌普降中到大雪。整个降雪过程中,云系主要在河南北中部许昌一带,云层较厚,云顶高,云顶亮温较低,造成的降水量较大,持续时间长。

过程二,2014 年 2 月 16 日 08 时 (图 3d, 见彩页),河南受高原短波槽云系前部薄云系影响。许昌出现较小降雨,在高空气流的引导作用下,云系向河南南部,东部方向移动,造成许昌普降雨雪。随着高

空槽发展,河套地区又有一股高空槽云系发展东移,到 17 日 23 点(图 3e,见彩页),云系基本覆盖河南中南部地区,河南南部的云系比较密实,云层变厚,云顶亮度降低，许昌出现了大范围的降雪。18 日 3 时(图 3f,见彩页),云系逐渐东移,云顶亮度较高,云层变薄,降雪减小。到 18 日中午,云系移出许昌,降雪结束。整个过程中,云系主要在河南南部地区比较密实,云层薄,云顶低,云顶亮度较高,造成云系移动较快,降水量小,持续时间短。

总之,过程一云系主要在河南北中部许昌一带,云层较厚,云顶高,云顶亮温较低,造成的河南北中部许昌一带降水量较大,持续时间长。过程二云系在河南南部比较密实,云层薄,云顶低,云顶亮度较低,造成云系移动较快,降水量小,持续时间短。

6　结论

(1) 两次雨转雪过程前期主要前期主要是 500hPa 高空槽和 700hPa 切变线影响的稳定性降水,后期是 850hPa 回流冷空气不断补充堆积形成深厚的冷垫，低层偏东气流与中高层槽前的西南暖湿急流交汇形成回流降水形势。不同点,过程一,系统配置偏河南北中部(许昌等地),过程二,系统配置偏河南南部。导致过程一降水量大于过程二。

(2) 两次雨转雪过程之前 500hPa、700hPa、850hPa,3 层的水汽通道都已经打开,为这两场降雪提供了充足的水汽条件。不同的是 850hPa 水汽输送的时间、落区和强度不同,850hPa 水汽输送强度越大降水量越大。露点温度差越接近饱和,湿度越大,降水量也越大。

(3)两次雨转雪过程动力、热力条件都与之有很好的对应关系。高低空的有力配合,冷暖空气的交汇为两次降水提供了较好的动力条件。低层回流对降水起到了冷垫作用，低空东北急流和西南急流的建立使降水出现增幅。

(4)准确预报冷空气侵入时段、气温下降速度、降水时间、850hPa 温度的临界值，是做好初春降水性质预报的关键点。两次雨转雪过程降水相态转变时间表明除了以 850hPa 温度低于-4℃作为雨转雪指标外，气温的下降速度可作为雨转雪的补充预报指标。

(5)红外云图上物体的色调决定其自身的温度,物体温度越高,发射的红外辐射越大,色调越暗。反之物体温度越低，发射的红外辐射越小，色调越明亮。过程一较过程二云层厚,云顶高,云层亮度低,这也是过程一较过程二降水量大的一个判断依据。

参考文献：

[1] 张迎新，候瑞钦，张守保.回流暴雪过程的诊断分析和数值试验 [J]. 气象，2007，33 (9)：25-32.

[2] 白惠星，王旭.2000 年北疆地区初雪天气分析[J]. 新疆气象，2001，24 (1)：728.

[3] 许彤，田丰.仙桃机场雷雨转雨夹雪天气的分析 [J]. 广西气象，2006，27 (4)：34-36.

[4] 齐杰，王浩，高松影，等.两次相隔较近的降雨和降雪天气对比分析及其预报着眼点 [J]. 安徽农业科学，2010，38 (18)：9635-9638.

[5] 王清川，寿绍文，许敏，等.河北省廊坊市初冬雨雪相变特征及预报指标初探 [J]. 干旱气象，2012，30 (2)：276-282.

[6] 于亚薇，徐梦阳.2009 年 2 月 12 日夜间葫芦岛地区雨转雪个例分析 [A]. 江西农业学报，2011，23 (12)：130-132.

[7] 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，2012，36 (1)：7-14.

[8] 赵桂香，杜莉，郝孝智，等.3 次回流倒槽作用下山西大 (暴) 雪天气比较分析 [C]. 中国农学通报，2013，29 (32)：337-349.

[9] 国世友.黑龙江春季两次强降雪天气分析 [J]. 安徽农业科学，2013，41 (1)：210-212，287.

[10] 周雪松，杨成芳，孙兴池.两次早春暴雪过程的对比分析 [J]. 高原气象，2013，32 (2) 446-445.

[11] 赵桂香.一次回流与倒槽共同作用产生的暴雪天气分析 [J]. 气象，2007，33 (11)：41-48.

[12] 陈兴旺，刘晓晖，罗国金.2010 年 12 月 15 日江西雨雪天气的微物理数值模拟分析 [J]. 气象与减灾研究，2011，34 (3)：30-35.

[13] 吴春英，李金义，徐全辉.2009 年 2 月抚顺一次雨转暴雪天气过程分析 [J]. 安徽农业科学，2009，37 (30)：14784-14789.

[14] 陈丽方.南方两次相似降雪 (雨) 过程的对比研究 [J]. 气象，2007，33 (8)：68-75.

[15] 孙仲毅，王军，靳冰凌，等.河南省北部一次暴雪天气过程诊断分析 [J]. 高原气象，2010，29 (5)：1338-1344.

[16] 高维英，李明，张弘，等.1 次华北回流冷空气引发的罕见暴雪分析 [J]. 安徽农业科学，2011，39 (4)：2020-2024.