

# 华北平原回流天气综合形势特征分析

张守保<sup>1,2</sup> 张迎新<sup>1,2</sup> 杜青文<sup>1</sup> 范军红<sup>1</sup>

(1 河北省气象台, 石家庄 050021; 2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要** 利用历史天气图和 NCEP 再分析资料, 普查了 1980~2002 年出现在华北平原地区的回流天气过程。依据 500 hPa 环流形势, 对华北平原的回流天气形势分为两种: 两槽一脊型和高纬低压带型。针对不同的天气分型对产生回流天气的动力条件、水汽来源进行了合成诊断分析。结果表明: 涡度和散度的垂直分布与一般的降水过程不同, 低层存在辐散和反气旋环流; 自东北南下经渤海回流到华北平原的空气是比较干的。该文分析结果有助于预报业务人员了解回流天气, 提高华北回流天气的预报准确率。

**关键词** 回流天气 形势特征 NCEP 再分析资料

## 引言

华北回流天气是指冷空气从东北平原南下, 经渤海向西回流到华北平原。实际上回流也是一种冷锋, 它在华北平原经常出现<sup>[1]</sup>。华北平原春、秋、冬季的回流天气较多, 且常常伴有降水(冬季的暴雪、春秋较大的降水或连阴雨), 还往往造成渤海和东部平原的偏东大风, 造成严重的影响。如 2003 年 10 月 10~12 日出现的 50 年罕见的秋季暴雨, 就是一次回流天气过程。其暴雨台站数, 历史同期降水量级都突破了历史极值, 由于冷空气强, 造成海上以及沿海的大风, 并引发了风暴潮<sup>[4~6]</sup>。国内对回流天气的研究不少, 但只是局限于个例分析。张迎新等<sup>[7]</sup>研究了一次华北回流天气的结构特征, 赵思雄等<sup>[8]</sup>分析研究了造成北京交通瘫痪的“12.7”回流降雪过程。边志强等<sup>[9]</sup>运用中尺度模式进行实例模拟分析华北锢囚锋的结构特征。目前对华北平原回流天气的综合形势特征还不是太清楚。

本文统计了近 20 年华北回流天气个例, 总结出产生回流天气的环流形势特征。尤其是产生大降水和形成偏东大风的环流形势特征。同时对回流天气的动力、水汽条件进行了合成分析, 旨在提高对华北平原的回流天气的认知, 提高回流天气的预报能力。

## 1 资料

统计标准: 地面在华北地区呈北高南低形势分布, 且河北省中南部地区有 1/3 以上县市出现降水, 其中日降水量局部有 5 mm 以上的成片降水, 即为一次回流天气过程。

普查 1981~2002 年期间的历史天气图, 从这 22 年资料中选取回流降水个例共 31 个。利用 NCEP 再分析资料进行天气形势分析和物理量诊断。

## 2 天气分型

普查历史天气图, 根据地面在华北地区呈北高南低形势分布, 且满足以上的统计标准。主要以高空 500 hPa 形势为依据, 大致分为两型。

(1) 两槽一脊型。主要天气形势(图 1a): ① 乌拉尔山附近(50°~70°N, 50°~70°E)为低压槽或低压; ② 贝加尔湖地区及以西(50°~65°N, 75°~95°E)为高压脊; ③ 河套及以西地区(35°~41°N, 100°E 附近)有低槽; ④ 贝加尔湖以东(45°~60°N)范围内维持低压槽或负变温。若负变温不明显可考虑负变高。共有 17 例天气过程(具体过程日期略)。

(2) 高纬低压带型。主要天气形势(图 1b): ① 低压带位于 50°~65°N、75°~130°E; ② 西风带锋区中在 40°~50°N 范围内有 4~6 根等温线; ③ 河套及

以西地区(35°~41°N,100°E附近)有低槽。共有 14

例天气过程(具体过程日期略)。

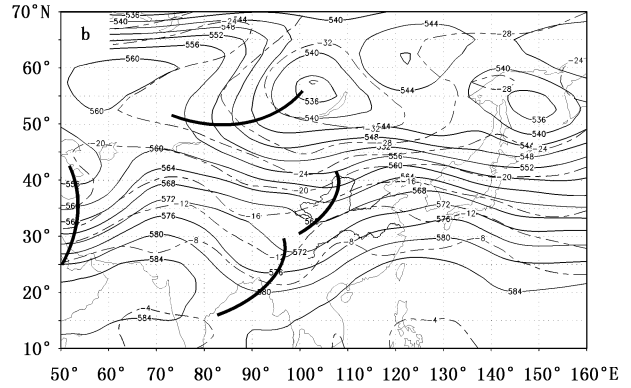
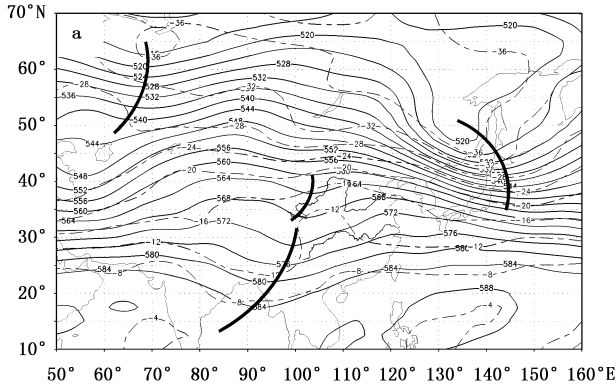


图1 华北回流天气的主要天气形势(500 hPa):(a)两槽一脊型,(b)高纬低压带型  
(实线:等高线,dagmp;虚线:等温线,℃)

(3) 大风过程。31个回流个例中共有20个过程伴有偏东大风:7个范围较大,3个分别出现在初冬(1991年12月7日)和冬末(1987年2月17日,2001年2月22日),其他都出现在春秋季节。12个出现在3~5月,5个出现在9~11月,3个出现在冬季。伴有大风的过程中,与只有降水的过程相比,北方冷空气势力更强,在500 hPa图上,华北北部的锋区更强(图略)。对应地面图上(图2),华北平原均处在大于3 hPa的6 h变压区中。产生大风

的回流天气,其地面形势有两种类型,一是处于西伯利亚到蒙古的冷高压势力较强(图2a),冷高压中心强度大于1040 hPa,且东北平原到华北北部的6 h变压较大,基本在大于9 hPa的范围内,且变压中心达12 hPa;另一种是北方冷高压势力不强,但南方伴有气旋(图2b)。这两种情况下,华北平原地区的气压梯度都较大。但是第1种情况下大风范围和强度都比第2种情况大。因此,造成偏东大风的主要因子是地面气压梯度的大小。

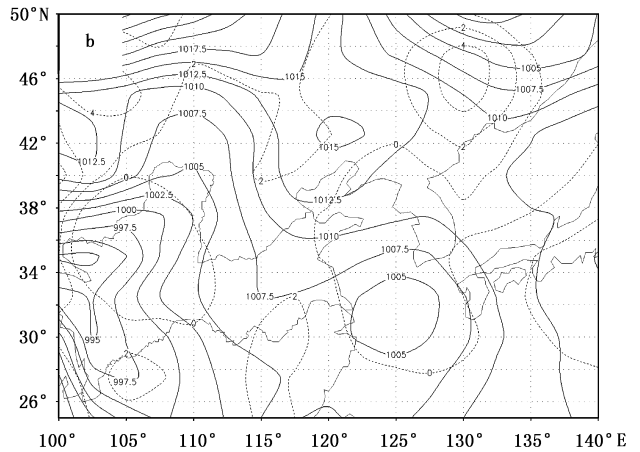
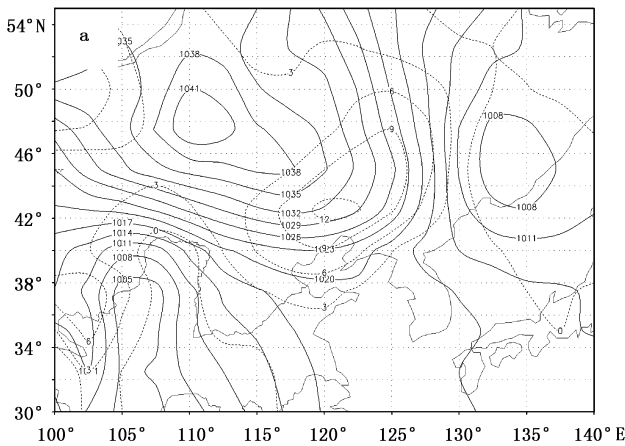


图2 两种伴随大风的回流天气的地面形势:(a)西伯利亚—蒙古冷高压型,(b)北方冷高压—南方气旋型  
(实线:等压线;虚线:等6 h变压线,单位:hPa)

### 3 诊断分析

#### 3.1 NCEP与T213资料对比检验

由于NCEP再分析资料不包括我国的不参加国际交换资料,故存在实际信息含量不足的问题。

考虑到NCEP再分析资料年代长,且每天有4次三维分析资料场,无论实况观测资料还是T106(1998年后有资料)、T213的分析资料在时间间隔上有一定的局限。因此我们在使用NCEP资料之前,对比几次过程,检验NCEP的可用性。

针对 2002、2003、2004 年中的 3 次较大的回流天气过程,应用 T213 和 NCEP 再分析资料进行对比检验。检验范围是北半球的  $30^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$ 。找出回流过程中误差较大的时刻进行分析。检验结果表明:海平面气压场(图略)在青藏高原和蒙古国相对误差较大可达 3 hPa,其他误差在 1 hPa 左右。而在回流天气中 3 hPa 的误差是可以忽略不计的。因此 NCEP 再分析资料中海平面气压场是可用的。

而 500 hPa 高度场的误差在贝加尔湖西部一直到鄂霍次克海以及从里海向东南一直到青藏高原西侧误差较大,在  $2\sim 4$  dagpm。温度场只在青藏高原和我国新疆地区误差较大,在  $3\sim 6$  K,其他在 2 K 以内。因此 NCEP 再分析资料中高度、温度场也是

可用的。故我们使用 NCEP 再分析资料进行诊断分析是可行的。

### 3.2 动力条件合成分析

#### 3.2.1 相对涡度场

图 3a、b 分别是沿  $115^{\circ}\text{E}$  和  $37.5^{\circ}\text{N}$  所做的华北回流天气过程平均相对涡度的垂直剖面图。从图可见,降水区(图中粗实线)800~850 hPa 以下是弱的负涡度区,且负涡度区的厚度由北向南是逐渐减小的,400 hPa 以上为强的大片负涡度区,中间层是较强的正涡度区,且正涡度由南到北是向高空倾斜的。这也说明降水区低层有反气旋存在,且此反气旋自北向南呈斜楔状。这与一般降水过程中,中低层是正涡度区,高层是负涡度区的配合方式是不同的。

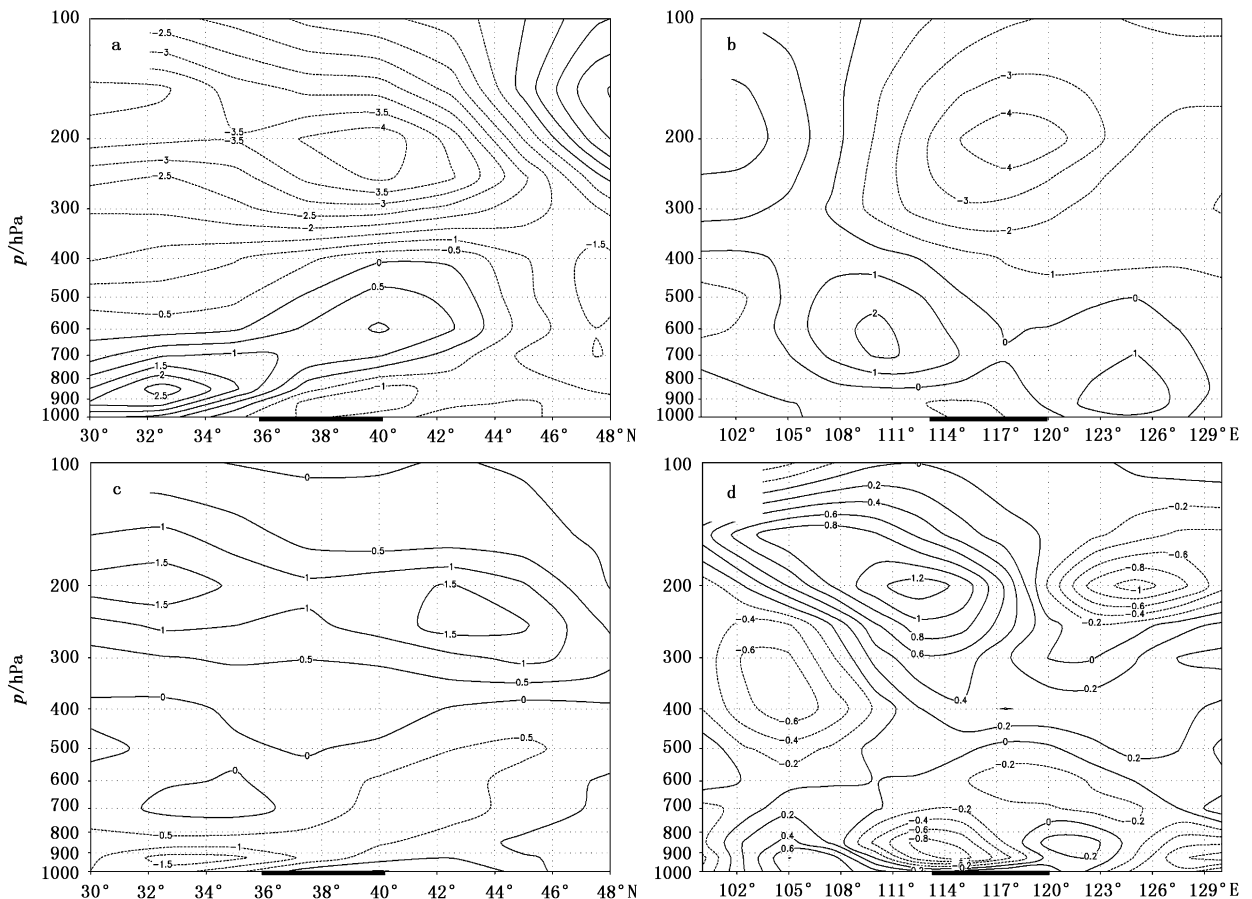


图 3 华北回流天气过程的合成平均相对涡度、散度垂直剖面图(单位: $10^{-5}/\text{s}$ )

(a、b: 涡度, c、d: 散度; a、c: 沿  $115^{\circ}\text{E}$ , b、d: 沿  $37.5^{\circ}\text{N}$ )

#### 3.2.2 散度场

图 3c、d 分别是沿  $115^{\circ}\text{E}$  和  $37.5^{\circ}\text{N}$  所做的华北回流天气过程平均散度的垂直剖面图。从图可见,降水区(图中粗实线)近地面层散度为正,但值较小,

其上至 500 hPa 为较强的负散度区,500 hPa 以上散度为正。这说明降水区近地层弱的辐散区,中低层辐合、高层辐散,且高层的辐散较强(正散度值较大)。与一般降水过程不同的是,在回流天气中近地

面层有弱辐散区存在。

### 3.2.3 垂直运动场

图4是回流天气过程中平均垂直速度沿 $115^{\circ}\text{E}$ 的垂直剖面图。由图可见,回流天气中,大气的垂直运动维持一个南方上升、北方下沉的垂直环流(图中AB环流),且向北倾斜。降水区(粗实线)上空是上升区,最大上升速度出现在 $600\sim 300\text{ hPa}$ 层。此垂直环流与北方锋面的垂直环流是一致的。

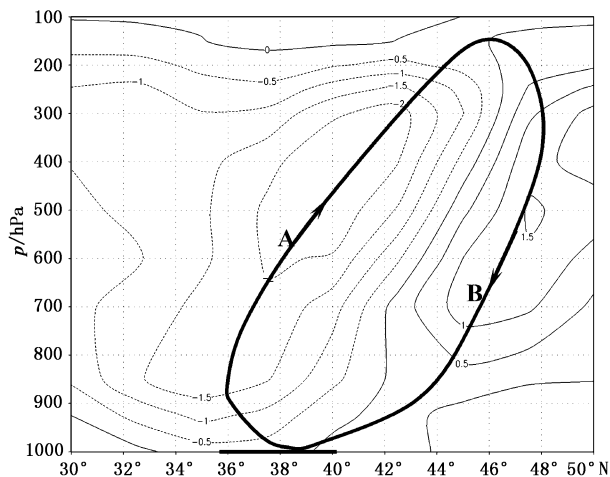


图4 回流天气过程合成平均垂直速度的垂直剖面图

(单位: $10^{-1}\text{ Pa/s}$ )

## 3.3 水汽条件分析

在日常预报业务工作中,经常会遇到华北回流天气。有关此类天气的水汽源地,目前还未有一定论。但普遍认为华北回流天气的水汽通道有两条,一条伴随西南气流来自南方,另一条是伴随经渤海变性的低层东北气流。张迎新等<sup>[7]</sup>利用中尺度模式MM5对一次回流天气过程进行模拟后得出:低层东北南下的冷空气,虽流经渤海,但其仍是干冷的。我们试图应用一天4次的NCEP再分析资料分析华北回流天气的水汽源地。

### 3.3.1 比湿与水汽通量

从 $700\text{ hPa}$ 流场和比湿场(图5)可看出,降水开始时(图5a),比湿大于 $4\text{ g/kg}$ 的区域到达华北平原南部。在湖南、湖北省附近有一比湿大值区(比湿在 $7\sim 8\text{ g/kg}$ ),并伴有一束西南气流。随后比湿大值区向东移并迅速北伸,降水期间(图5b)比湿大值区顶部伸展到 $40^{\circ}\text{N}$ ,此时河北中南部地区降水最强;随着

比湿大值区及西南气流的东移和南撤(图5c),水汽输送明显减弱,降水区也东南移,河北降水趋于停止。石家庄附近( $115^{\circ}\text{E}, 38^{\circ}\text{N}$ )水汽通量的垂直分布时间演变(图5d)可清楚看出,水汽通量的大值区在 $850\sim 450\text{ hPa}$ 之间,最大值出现在 $600\text{ hPa}$ 附近,且出现在降水强度最大时段。这说明水汽伴随中层的西南气流进入降水区,且水汽通量的大值区范围和出现时段与降水区和降水强度对应。 $850\text{ hPa}$ 的比湿场(图略)的分布与 $700\text{ hPa}$ 相似,在整个降水过程中,比湿大值区由南向北、由西向东移动。从以上分析可得出,华北回流天气过程中,水汽来自南方地区。

### 3.3.2 水汽的垂直分布

图6是回流降水过程中,降水较强时段沿 $37.5^{\circ}\text{N}$ 所做的合成比湿和风场的垂直剖面图。从图可见:降水区(粗实线)中高层是西南风,对应比湿的大值区,且在 $700\text{ hPa}$ 附近是一大值中心;低层是偏东风,对应比湿的小值区,且存在从东向西的干舌(图中箭头)。这也说明水汽主要伴随中高层的西南气流,而低层的偏东风,虽经过渤海,也是比较干燥的。

## 4 结论

本文普查了近20年的华北回流天气个例,依据 $500\text{ hPa}$ 环流形势,对华北平原产生回流的天气形势进行了分型:两槽一脊型和高纬低压带型。并利用NCEP资料对回流天气过程中的动力条件、水汽来源进行了诊断分析,得出了以下结论:

(1)影响华北平原的回流天气过程中,涡度和散度的垂直分布与一般的降水过程不同,在近地层是反气旋(负涡度)和辐散区(正散度),中低层是正涡度和辐合区(负散度),高层是负涡度和辐散区(正散度)。垂直环流与北方锋面是一致的,都是暖空气一侧上升,冷空气一侧下沉,且向冷空气一侧倾斜。

(2)回流天气的水汽来自南方。在降水区之上, $700\sim 400\text{ hPa}$ 之间水汽通量较大,而 $850\text{ hPa}$ 向下逐渐减小,水汽主要伴随中高层的西南气流,低层的偏东风,虽经过渤海,也是比较干燥的,即源自南方的暖湿气流在北方南下的干冷空气上爬升。

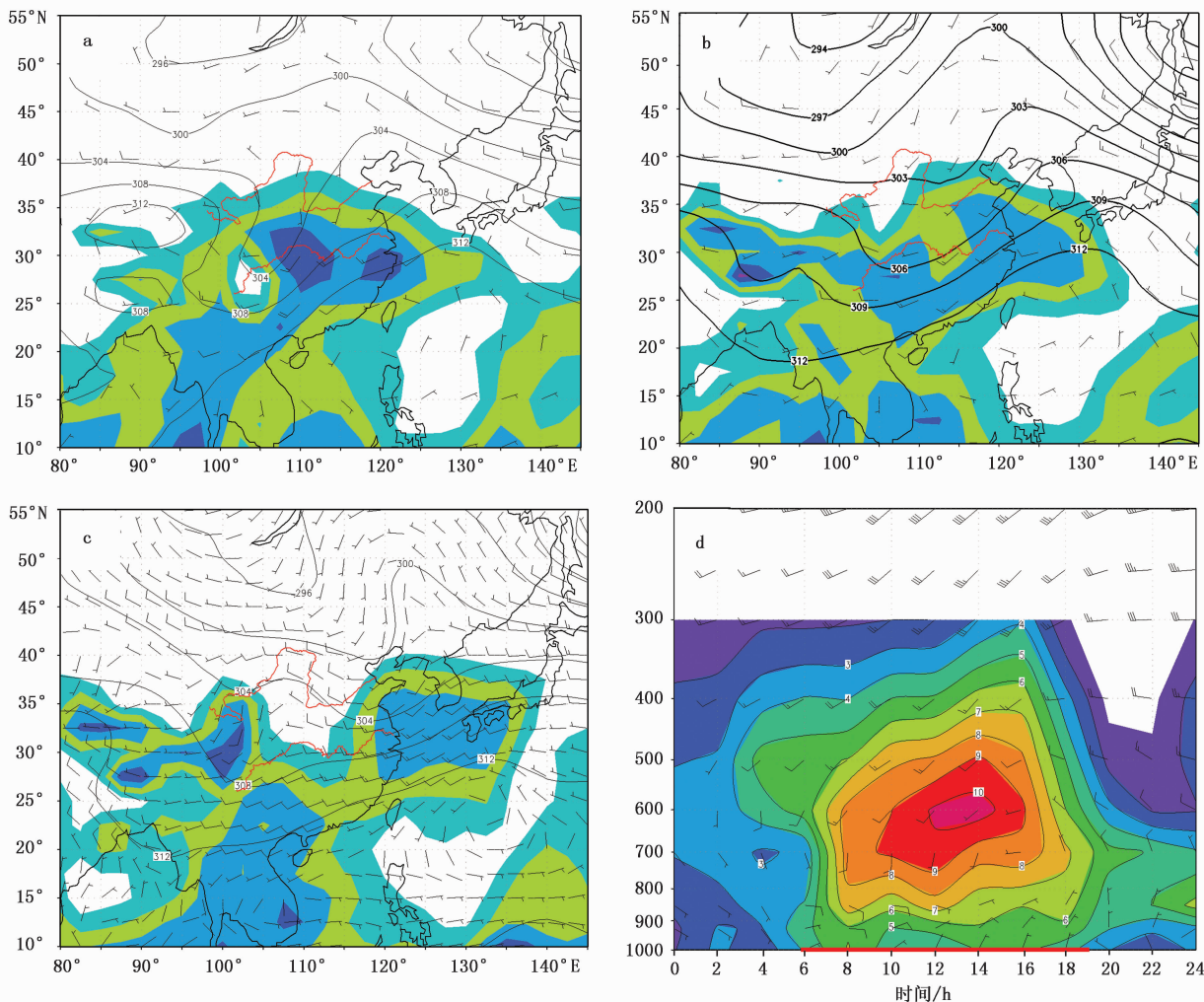


图 5 降水开始(a)、降水期间(b)、降水结束阶段(阴影表示比湿大于等于 4 g/kg)(c)700 hPa 流场及比湿场合成分布和石家庄附近的水汽通量垂直分布时间演变(d) (阴影表示水汽通量大于等于  $2 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ )

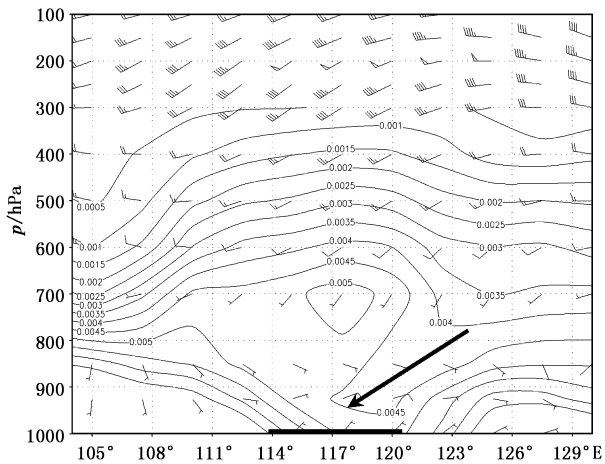


图 6 回流天气降水较强时段沿 37.5°N 合成比湿和流场的垂直剖面图(单位: kg/kg)

### 参考文献

- [1] 河北省气象局编著. 河北省天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 1987.
- [2] 杨贵名, 马学款, 宗志平. 华北地区降雹时空分布特征[J]. 气象, 2003, 29(8): 18-21.
- [3] 姚秀萍, 于玉斌. 2003 年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用[J]. 大气科学, 2005, 29(6): 973-985.
- [4] 李云川, 张迎新. 2003 年 10 月风暴潮的形成及数值模拟分析研究[J]. 气象, 2005, 31(11): 15-18.
- [5] 胡欣, 景华, 王福侠, 等. 渤海湾一次风暴潮的天气成因分析[J]. 气象科技, 2005, 33(3): 235-239.
- [6] 王福侠, 张迎新, 胡欣, 等. 华北平原一次秋季大暴雨过程的物理成因分析[J]. 气象科技, 2004, 32(增刊): 15-20.
- [7] 张迎新, 张守保. 华北回流天气的结构特征[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 107-113.

[8] 赵思雄,孙建华,陈红,等.北京“12.7”降雪过程的分析研究[J].气候与环境研究,2002,7(1):7-21.

[9] 边志强,王建捷,谈哲敏.对华北锢囚锋个例的数值模拟分析[J].气象,25(10):8-14.

## Analysis of Integrated Characteristics of Returnflow Events in North China

Zhang Shoubao<sup>1,2</sup> Zhang Yingxin<sup>1,2</sup> Du Qingwen<sup>1</sup> Fan Junhong<sup>1</sup>

(1 Hebei Provincial Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021; 2 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** Using the historical observation data and NCEP reanalysis data, an investigation is conducted on 31 returnflow events occurred over North China. On the basis of the 500 hPa circulation patterns, 31 events are divided into two types. The dynamical conditions and water vapor sources of these weather events, such as vorticity, divergence, vertical velocity, etc, are diagnosed. The results show that: (1) the dynamical conditions for returnflow events are a little different from other rainfall events, with divergence and anticyclonic circulation at lower levels; (2) the air of the returnflow from Northeast China, through the Bohai Sea, then to North China, is relatively dry.

**Key words:** returnflow, integrated characteristic, NCEP reanalysis data

### 欢迎订阅 2008 年《气象科技》、《气象科技合作动态》、 《中国气象科学研究院年报》

《气象科技》由中国气象科学研究院、北京市气象局、大气探测技术中心、国家卫星气象中心及国家气象信息中心联合主办。报道大气科学和相关科学各领域新理论、新方法和新技术,也刊载反映大气科学各领域发展水平的综合评述。报道内容:预报理论与方法、天气与气候分析、气候与全球变化、大气物理与大气化学、应用气象(城市与环境气象、人工影响天气、农业与生态气象等)、探测技术、计算机信息与网络技术、防灾减灾等。欢迎气象部门和相关学科的业务、科研、技术开发人员以及相关院校师生投稿和订阅。《气象科技》为大 16 开本双月刊,全年定价:120 元。

《气象科技合作动态》介绍各国气象局的综合概况及我国与其他国家在气象科技领域的合作、交流情况,双月刊,全年定价:30 元。

《中国气象科学研究院年报》(中英文对照),反映该院研究和技术领域内的新成果和新进展以及该年度内的重大学术活动,每年 1 期,定价:30 元。

全年随时订阅。

联系地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号中国气象科学研究院,《气象科技》编辑部

邮政编码:100081,电话:(010)68407256,Email:qxkj@cams.cma.gov.cn

户名:中国气象科学研究院,账号:11001028600056086013,开户行:建行北京白石桥支行