

华北回流天气多普勒雷达 径向速度分布特征

张守保¹ 张迎新^{1,2} 王福侠¹ 裴玉杰¹

(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)

提 要: 使用多普勒雷达资料对四次华北回流天气过程进行了分析, 结果表明: (1) 回波具有较大水平范围的、连绵成片的均匀幕状特征。回波顶较平整, 回流降雨过程中还存在零度层亮带。属层状云降水回波。(2) 速度图上, 在零速度线两侧常分布范围较大数值不等的正负径向速度中心, 低空零速度线呈“S”型, 风随高度顺时针旋转, 有暖平流存在。在强降水时段出现前常伴有区域性的冷平流层。(3) 风廓线图上, 从低层到高层由东北风转为西南风, 风向发生了近180度的顺时针旋转, 存在强垂直切变。降水开始与结束时分别表现为低层偏东风与中高层西南气流叠加、低层偏东风与中高层西南气流任何一者消失。边界层顶部出现浅薄的冷平流层是降水强度加强的信号。

关键词: 多普勒雷达 华北回流 径向速度 反射率因子

Distribution of Doppler Radar Radial Velocity of the Return-flow Events over North China

Zhang Shoubao¹ Zhang Yingxin^{1,2} Wang Fuxia¹ Pei Yujie¹

(1. Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang 050021;

2. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences)

Abstract: Using Doppler radar data, the four return flow events were analyzed. The results are as follows: (1) PPI showed a large range symmetrical flaky reflectivity with flat top. And 0°C bright belt occurred in higher beams. (2) On VPPI, “0” line crossed through the radar station and showed a structure like “S”. The wind veered with height from NE to W, until SW with warm advection in lower layer. Accompanying with the cold advection around the top of boundary, efficiency of precipitation became strong. (3) The wind direction were discontinuous in the vertical direction,

资助项目: 中国气象局气象灾害天气国家重点实验室开放课题 CMATG2005Y06 资助

收稿日期: 2007年1月15日; 修定稿日期: 2007年10月18日

NE in the low layer and SW in the middle. The vertical shear was observed on VAD. The start and end time of precipitation was closely related to the wind direction, including boundary layer NE wind and middle layer SW wind.

Key Words: Doppler radar return flow radial velocity reflectivity

引 言

多普勒天气雷达是监测与预警灾害性天气的重要手段^[1-2]。随着多普勒天气雷达的增多,又由于其探测资料的时空尺度分辨率较高,其资料的应用对研究各种尺度天气发生、发展的内在机理也有着十分重要的作用。目前对强对流天气的多普勒天气雷达回波特征研究总结得较多^[3-6],得出了很多有益的结论。

华北回流天气是指冷空气从东北平原南下,经过渤海以偏东路径侵入华北平原^[7]。回流天气实际上也是一种冷锋,但它对华北平原天气的影响有其独特性。华北平原冬半年,特别是春、秋、冬季的回流天气较多,且常常伴有降水(冬季的暴雪、春秋季节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。

华北回流是华北地区主要的影响天气系统,以往的工作是应用 711、713 等雷达分析其回波特征。随着 Doppler Radar 的建设,给科研和预报人员提供了丰富的径向速度资料,但目前还未发现分析总结华北回流的雷达径向风速演变特征的工作。本文使用天津塘沽和石家庄新乐(CINRAD-SA)多普勒天气雷达资料,对华北回流天气过程中的雷达径向风速演变及反射率因子分布特征进行分析和总结。

1 华北回流天气的形势特征

华北回流造成的天气变化复杂,有时只是天空云量增多、有时出现小雨雪、有时带来大降水(冬季的暴雪、春秋季节较大的降水或连

阴雨),有时还引起渤海和东部平原的偏东大风,诱发风暴潮,造成严重灾害。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,暴雨范围和雨强都突破了历史极值,同时还造成渤海海面 and 沿海的持续大风,地面东北大风达 $24.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,海上平台测得最大瞬时风力达 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,海上 10~11 级偏东大风维持了 20 多小时,强劲的向岸风和天文大潮共同作用,导致渤海湾西部沿海出现了严重的风暴潮,灾害损失严重,仅河北省沿海直接经济损失就达 2.44 亿元^[1]。文献[8-11]对此次暴雨和风暴潮产生的物理机制进行了分析。下面以 2003 年 10 月 10—12 日的回流天气过程为例介绍华北回流天气的形势特征。

1.1 高空天气形势

从 10 月 10 日 08 时至 12 日 08 时(UTC,以下同)的 500hPa 平均图(图 1a)可知:欧亚中高纬度地区为一脊一槽型环流,乌拉尔山为高压脊,低压盘踞在贝加尔湖地区上空, $40 \sim 50^\circ \text{N}$ 范围内为平直锋区;此形势属于张守保等^[12]总结的华北回流天气中高纬低压带型。850hPa 图上(图略),贝加尔湖地区有一冷高压,且移动缓慢,至 10 日 20 时冷空气东移南下,在冷空气前沿形成东北—西南向的切变线;此切变线维持到 11 日 20 时,12 日 08 时冷高压南下控制整个华北地区,降水结束。

1.2 地面形势

10—12 日地面为北高南低的形势(图 1b)。贝湖高压向东南强烈发展、华南低压向东北发展移动,华北正处于高低压之间等压线密集的锋区,冷锋和 3 小时正变压中心

的动态图(图略)中,可清晰地看到冷空气自西北向东南移动过程中,北段移速快,在华北地区形成北高南低的形势。在这种天气形势下,冷空气从渤海回流影响渤海湾和华北平原,成为较典型的回流天气。

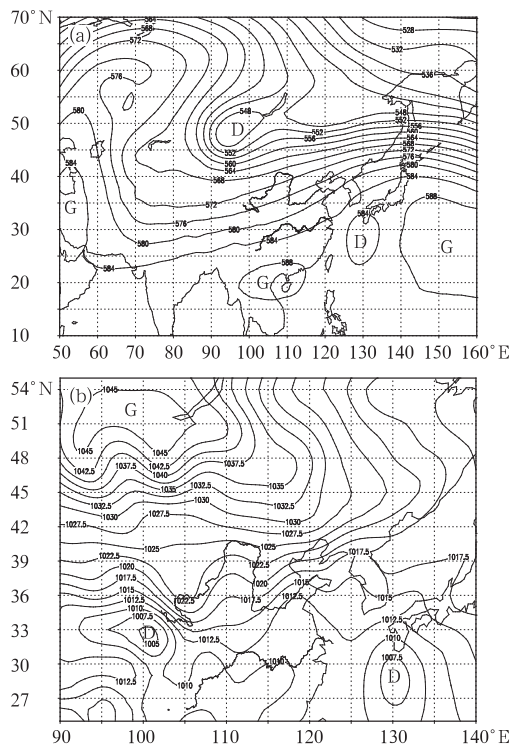


图1 2003年10月10日08时至12日08时高空和地面形势平均图 a. 500hPa 高度场(单位:位势什米) b. 海平面气压场(单位:hPa)

2 Doppler 雷达回波特征

由于资料的缘故,应用天津塘沽和石家庄新乐的 Doppler 雷达资料对 2003 年 10 月、2004 年 12 月、2005 年 2、9 月出现的四次回流天气的基本反射率因子、基本速度及垂直风廓线的特征进行了分析。其中 2003 年 10 月 10—11 日、2005 年 9 月 19—21 日华北平原地区出现了大范围暴雨天气过程。2004 年 12 月 21—23 日、2005 年 2 月 14—15 日华北平原地区出现了大范围降雪天气过程。由于石家

庄新乐雷达站建站较晚,使用天津塘沽站的多普勒雷达(CINRAD-SA,型号与石家庄相同)资料分析了 2003 年 10 月的暴雨过程。

2.1 基本反射率因子

2004 年 12 月 21—23 日和 2005 年 2 月 14—15 日降雪过程(图略):回波均为片状,回波强度不大,具有较大水平范围的、连绵成片的、均匀幕状特征。最大回波强度为 25~30dBz,2004 年 12 月 21—23 日维持时间较长约 10 小时,而 2005 年 2 月 14—15 日约维持 3 小时左右,对应 500hPa、700hPa 高空图上,此时西南暖湿气流较为强盛,850hPa 以下层次的偏东风达最强。与降水较大时段对应;其他时段基本维持在 10~25dBz 左右。回波顶较低,基本维持在 3~5km,部分回波顶只有 2km,顶部较为平整。由于冬季气温较低,雪花降落到地面时仍成固态,虽然是层云降水,却没有零度层亮带产生。

2003 年 10 月 10—12 日和 2005 年 9 月 19—21 日的暴雨过程:同样具有层状云降水回波特征。即回波为片状,回波强度较小,具有较大水平范围的、连绵成片的、均匀幕状特征。但回波强度比降雪过程要大。最大回波强度为 30~35dBz,局部可达 40~45dBz(图 2a、c,见彩页);维持了约 4 小时左右。同样,对应 500hPa、700hPa 高空图上,西南暖湿气流的强盛阶段。其他时段基本维持在 25~30dBz 左右。回波顶较低,基本维持在 3~5km,部分回波顶能达到 6km,顶部较为平整。2005 年 9 月在 4.3°仰角的 PPI 图(图 2b,见彩页)上可见零度层亮带(3.7~4.8km 高度上),亮带呈圆弧和圆交替出现,约持续了 12 个小时。而 2003 年 10 月暴雨过程在 6.0°仰角的 PPI 图(图 2d,见彩页)上可见零度层亮带(3.2~4km 高度上)。亮带先呈圆弧然后呈圆环型,约持续了 13 个小时。零度层亮带是层状云连续降水的一个重要特征,

它反映了在层状云降水中存在着明显的冰水转换区。

可以清晰地看到降雪过程与暴雨过程中反射率因子有以下几点不同。首先,在 PPI 图上,两个暴雨回流过程中,回波强度均在 25dBz 以上,而降雪回波强度超过 25dBz 的回波面积很小。这是由于冰晶和雪对微波的散射能力比水滴小得多,对微波衰减作用也较小,因此雪的回波强度通常比连续性降水回波弱^[1]。故在冬季,较弱的反射率因子条件下却可以产生较大的降水。其次,在 RHI 图上,降雪过程的回波顶高比降雨过程低,这可能是冬季热力条件较差的反映。第三,由于冬季气温较低,雪花降落到地面时仍成固态,虽然也是层云降水,但在降雪过程中没有零度层亮带产生。

2.2 雷达速度径向速度分布特征

由于层状云降水的范围比较大,在径向零速度线两侧常分布范围较大数值不等的正负径向速度中心。图 3(见彩页)分别为秋季降雨和冬季降雪的层状云降水的速度图,两种类型降水中都有“牛眼”状分布,只是在降雨过程中风速较大,在两个暴雨过程中(图 3a、b)对应“牛眼”处都存在边界层急流,且在 2003 年 10 月的过程中(图 3a)两个“牛眼”都出现了速度模糊现象,速度值约为 $38\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;同时存在速度随高度先增后减的现象。两种图中风向都出现近 180 度突转,低空为东到东北风,高空为西到西南风,有风向的垂直切变。低空零速度线呈“S”型,风随高度顺时针旋转,表明有暖平流存在。2005 年 9 月的降雨(图 3b)和 2005 年 2 月的降雪(图 3d)过程中,零速度线不光滑,这说明此次过程中存在局部对流发生。

以 2003 年 10 月的暴雨过程为例,来阐述华北回流天气过程中多普勒径向速度的演变特征。10 日 11:28 开始 1.5° 仰角的 PPI

(V)图上零速度线穿过雷达站且在低层呈现“S”型,说明低层东北风形成,0.6 千米高度上的径向速度为 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,从天津地区逐时面雨量分布知此时降水开始(图 4,但量较小。随后边界层东北风速逐渐加大,14:50 开始边界层东北风急流($13\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)建立;16:09,边界层急流达 $19\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;过雷达站的零速度线的

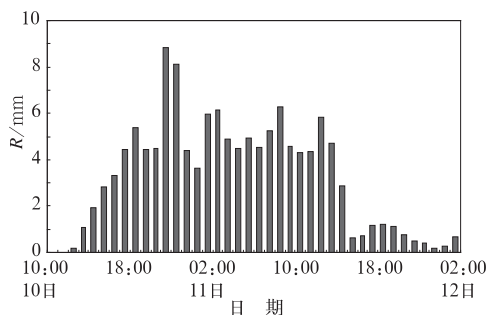


图 4 2003 年 10 月 10—12 日天津地区逐时面雨量分布

“S”型完整且出现了一对“牛眼”(图略),风速随高度先增后减,风向随高度顺时针旋转,表明此层存在暖平流。在雷达周围 50km 范围内负速度面积大于正速度面积,说明低层有风速辐合。降水强度随边界层东北风速的加大而加强(图 4)。自 20:22 开始在雷达站东南处 1~2km 高度层内有冷平流存在(零速度线呈反“S”型,图 5,见彩页),此厚度层内的冷平流一直持续到 21:58 消失,同时在近地面层有径向风强中心发展,出现了速度模糊(图 5,径向速度达 $38\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。这与图 4 中 21—22 时的强降水相对应。位于冷平流区下方的静海气象站 10 日 21 时逐时降水量为 21.5mm,22 时为 15.3mm。在河北省与天津市相临地区出现了 1 小时大于 10mm 的中尺度雨团(图略),同时地面出现了 6 级以上的东北大风。因此,多普勒速度图上边界层顶附近出现的冷平流可做为强降水时段的预报指标;近地面层有径向风强中心发展,

可为预报地面大风提供指示。

2.3 风廓线特征

四个过程的风廓线(VAD 产品)图表明:从低层到高层由东北风转为西南风,风向发生了近 180 度的顺时针旋转,说明存在着强烈的暖平流。与降雪过程所不同的是,在暴雨过程中,高低空的风速都较大。与张迎新等^[9]的诊断分析结果是一致的,降水开始与结束时分别在风廓线图上表现为低层偏东风与中高层西南气流叠加、低层偏东风与中高层西南气流任何一者消失。降水强度较大时段对应高低空的风速较大时段。在制作临近预报时,可参考此特点预报降水的开始与结束。

而在 2004 年 12 月(21 日 16:48—17:50 约 1 小时,图 6a,见彩页)的降雪和 2005 年 9 月(约 4 小时 20 日 05:48—10:20,图 6b,见彩页)的暴雨过程的风廓线图中,边界层顶部出现了浅薄的冷平流层(风随高度逆时针旋转,图中粗实线所在时段),之后降水强度加大。而 2003 年 10 月的暴雨过程中 VAD 产品上无冷平流层出现,而在上述的径向速度图上有部分区域出现了冷平流层(图 5,见彩页),这说明在 2004 年、2005 年两次回流过程中冷平流区范围较广。因此回流过程中冷平流层的出现配合反射率因子产品可作为预报降水强度的工具。

3 结论与讨论

通过对以上四次华北回流天气过程中多普勒雷达资料的分析,可得以下几点结论:

(1) 华北回流天气的回波速度图上表现为:在零速度线两侧常分布范围较大数值不等的正负径向速度中心,出现“牛眼”现象,风向都出现近 180 度突转,低空为东到东北风,高空为西到西南风,有风向的垂直切变。低空零速度线呈“S”型,风随高度顺时针旋转,有暖平流存在。在强降水时段出现前常伴有区域性的冷平流层。

(2) 华北回流天气的风廓线特征为:从低层到高层由东北风转为西南风,风向发生了近 180 度的顺时针旋转,存在强垂直切变。降水开始与结束时分别表现为低层偏东风与中高层西南气流叠加、低层偏东风与中高层西南气流任何一者消失。降水强度较大时段对应高低空的风速较大时段。边界层顶部出现了浅薄的冷平流区是降水强度加强的信号。

(3) 华北回流天气的回波强度图上表现为:回波具有较大水平范围的、连绵成片的均匀幕状特征。回波强度在 20~30dBz 左右,最大回波强度为 30~35dBz,局部可达 40~45dBz。回波顶较平整,基本维持在 3~5km,部分回波顶只有 2km。在降雨的情况下,在 3~4km 的高度上存在零度层亮带。

致谢:俞小鼎教授和许焕斌研究员对本文的工作提出了宝贵的建议,在此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] 张培昌,杜秉玉,等. 雷达气象学[M],北京:气象出版社,2001.
- [2] 胡明宝,高太长,等. 多普勒天气雷达资料的分析与应用[M],北京:解放军出版社,2000.
- [3] 王令,郑国光,许焕斌,等. 多普勒天气雷达径向速度图上的雹云特征[J],应用气象学报,2006,17(3):281-287.
- [4] 郑媛媛,俞小鼎. 一次典型超级单体风暴的多普勒雷达观测分析[J]. 气象学报,2004,62(3):317-328.
- [5] 廖玉芳,俞小鼎,郭庆,等. 一次强对流系列风暴个例的多普勒天气雷达资料分析[J]. 应用气象学报,2003,14(6):656-662.
- [6] 张晰莹,金凤岭. 新一代天气雷达回波图集[M],北京:气象出版社,2005.
- [7] 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.
- [8] 陈艳,宿海良,寿绍文. 华北秋季大暴雨的天气分析与数值模拟[J]. 气象,2006,32(5):87-93.
- [9] 李云川,张迎新,王福侠,等. 2003 年 10 月风暴潮的形成及数值模拟分析[J]. 气象,2005,31(11):15-18.
- [10] 陈艳,寿绍文,宿海良. CAPE 等环境参数在华北罕见秋季大暴雨中的应用[J]. 气象,2005,31(10):56-61.
- [11] 柴东红,宋晓辉,傅口珊. 2003 年秋季华北地区一次区域性大暴雨分析[J]. 气象,2005,31(9):57-61.
- [12] 张守保,张迎新,杜青文,等. 华北平原回流天气的综合形势特征分析[J]. 气象科技,待发表.
- [13] 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.

张守保等：华北回流天气的多普勒雷达径向速度分布特征

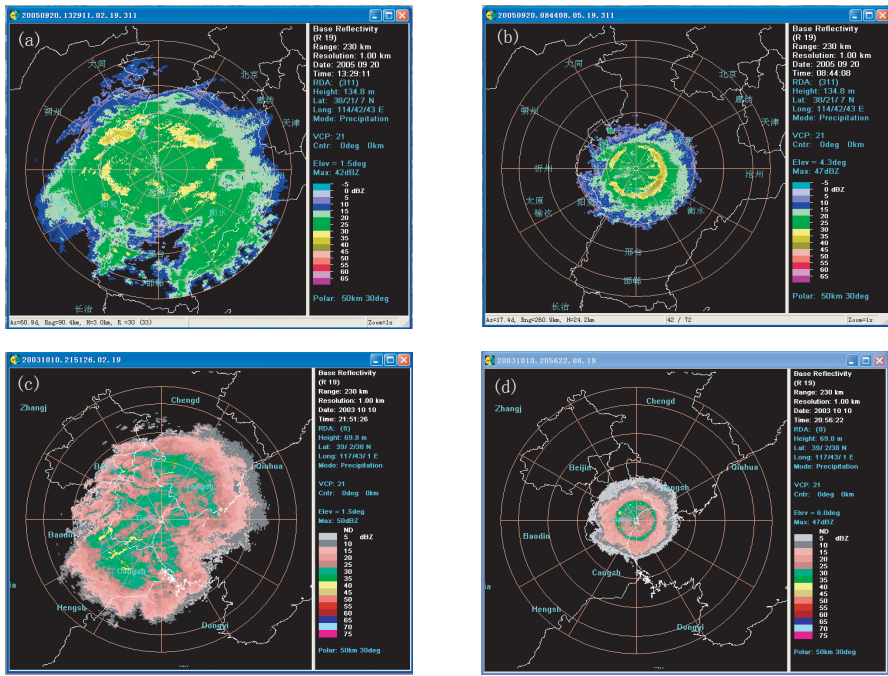


图2 回流天气的基本反射率因子的PPI图像

a、b分别是2005年9月20日21时29分1.5°、4.3°仰角；c、d分别是2003年10月11日05时51分1.5°、6.0°仰角

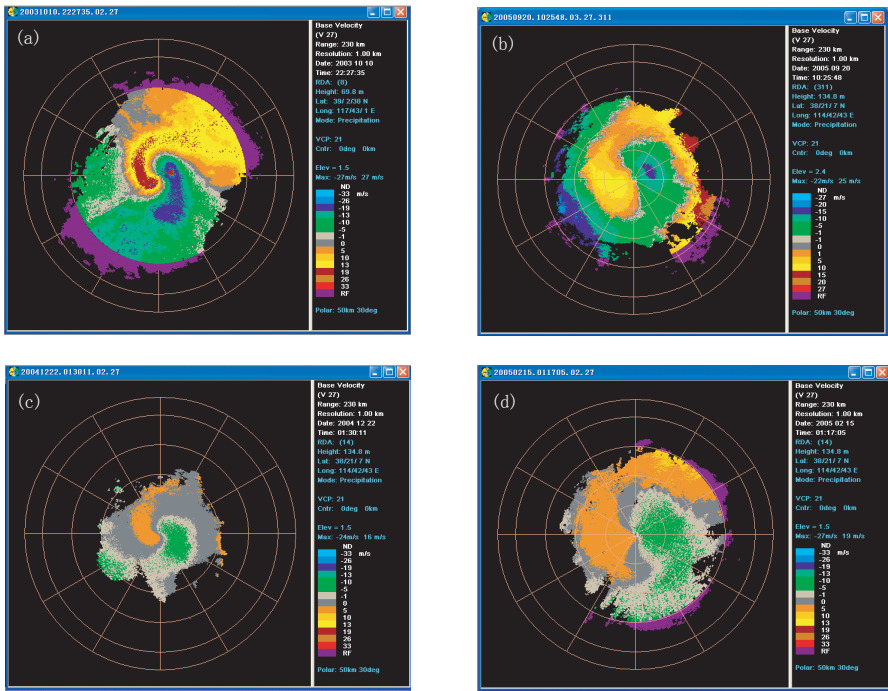


图3 回流天气过程的回波速度PPI图像

a. 2003年10月10日；b. 2005年9月20日；c. 2004年12月21日；d. 2005年2月15日

a、b 暴雨过程；c、d 大到暴雪过程

张守保等：华北回流天气的多普勒雷达径向速度分布特征

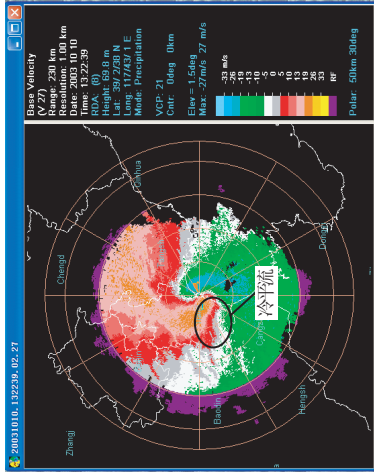


图5 2003年10月10日21:22多普勒
雷达径向速度图（1.5°仰角）

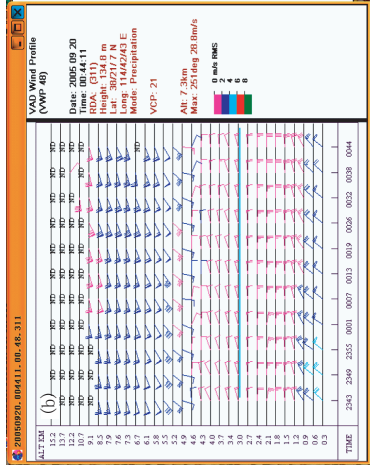
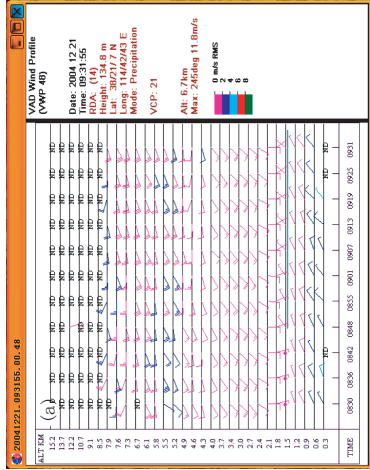


图6 华北回流天气中风廓线(VAD产品)特征
a. 2004年12月; b. 2005年9月