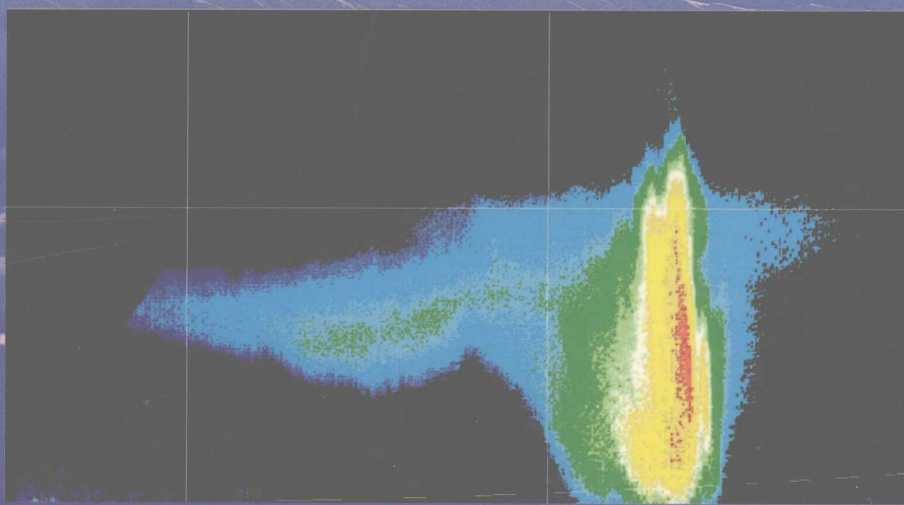


新一代天气雷达 回波图集

张晰莹 金凤岭 主编



气象出版社

新一代天气雷达 回波图集

张晰莹 金凤岭 主编

气象出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新一代天气雷达回波图集/张晰莹, 金凤岭主编. —北京: 气象出版社, 2005. 8
ISBN 7-5029-3995-4

I. 新… II. ①张…②金… III. 气象雷达-雷达回波-图集 IV. TN959.4-64
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 083551 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编: 100081)

总编室: 010-68407112 发行部: 010-62175925

网址: <http://cmp.cma.gov.cn> E-mail: qxchs@263.net

责任编辑: 黄丽荣 章澄昌 终审: 周诗健

封面设计: 张建永 版式设计: 刘祥玉 责任校对: 张益

*

北京市京东印刷厂印刷

气象出版社发行

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 8.75 字数: 224 千字

2005 年 8 月第一版 2005 年 8 月第一次印刷

印数: 1~2000 定价: 80.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等, 请与本社

发行部联系调换

《新一代天气雷达回波图集》

编 委 会

主 编：张晰莹 金凤岭

副主编：张礼宝 张云峰

主 编：安英玉 吴迎旭 石慕真 麻服伟 官福顺 袁美英

张 续 李铁民 刘 颖 郑 凯 李靖平

序

多普勒天气雷达是定量估测区域降水、监测与预警强对流灾害性天气的重要手段。它对研究各种降水云内部结构以及在人工影响天气作业和效果检验方面，也有着十分重要的作用。

自1997年起，我国在参考美国WSR-88D多普勒天气雷达技术的基础上，经过引进、改进和重新设计，开始合资及独资生产了S及C两个波段共七种型号的新一代天气雷达。目前全国雷达网将在近期建成，如何充分应用好雷达探测到的信息为短时和临近天气预报及防灾减灾服务，是摆在气象人员面前的一项紧迫任务。

新一代天气雷达可以生成多达七十多种气象产品，但其中最直接、最基本的是雷达回波强度、平均径向速度及速度谱宽这三种基数据产品，前两种产品尤为重要。

黑龙江省人工影响天气中心于2001年年初安装了由安徽省合肥市四创电子股份有限公司生产的3830型C波段（中国气象局命名为CINRAD-CC）新一代天气雷达，并已投入业务运行，几年来获取了大量各种天气条件下的降水与非降水回波图例资料。在此基础上，经过认真分析、分类及编写，完成了这本雷达回波图集。该图集有以下特点和内容：（1）以回波强度与平均径向速度这两种最主要的基数据产品的PPI及RHI显示进行回波分类；（2）对在各种模拟风廓线条件下形成的径向速度图均找出了相似的实际回波图例；（3）不仅对层状云、混合云和对流云这三种基本降水回波的特征给出了典型图例，还按降水的不同性质和不同天气过程的回波特征给出了典型图例；（4）给出了非降水回波与虚假回波的图例。

这本图集对于开始使用新一代天气雷达探测资料的气象人员、预报人员及其他有关人员，无疑是一本很好的学习材料，具有很强的实用性。这本图集虽然收集的是北方雷达的回波图例，但许多回波特征带有普遍性，故也可供全国各地参考使用。

这本图集的完成，还充分表明四创电子股份有限公司生产的3830（CINRAD-CC）型雷达性能优良，探测灵敏度高，基数据可靠，形成的图像产品清晰，能够在监测各种灾害性天气中充分发挥重要作用。

希望在这本图集的引领下，其他各种型号的新一代天气雷达所获取的大量气象产品图例资料，也能进行总结分析和编辑，最后出版一本内容更完整，且具有中国特色适合全国使用的多普勒天气雷达气象产品图集。

张培昌

2005年5月

前 言

自第一部合肥CINRAD-SA天气雷达试点建成以后,随着气象现代化建设速度的加快,从“九五”开始,我国进入大规模新一代多普勒天气雷达布网阶段。哈尔滨多普勒天气雷达站就是在这一背景下于2001年年初建成并投入试运行和业务运行。哈尔滨雷达站的雷达是安徽四创电子股份有限公司生产的新一代天气雷达(CINRAD-CC),简称3830型C波段天气雷达。该雷达经过3年的探测,获取了十分丰富的各类天气系统的雷达资料,大大提高了新一代天气雷达对中小尺度天气系统的探测及预警能力,在短时和临近天气预报中发挥了不可代替的作用。此外,在指挥飞机人工增雨作业、地面人工增雨和防雷以及森林扑火作业中也发挥了非常重要的作用。从实践中认识到,多普勒天气雷达是防灾减灾不可或缺的探测手段。随着多普勒天气雷达资料的积累及研究开发的扩展和深入,更多的气象工作者渴望了解相关资料的应用情况;也出于资料共享的目的,我们从近几年收集整理的大量多普勒天气雷达资料中筛选出300多幅典型图片,经过处理和分析,编辑成这部《新一代天气雷达回波图集》。其内容分10个部分,包括:典型流场模拟与实例的径向速度场回波;层状云降水回波;对流云降水回波;混合云降水回波;强对流回波特征;暴雨回波;雪;典型天气系统下的雷达回波分析;非降水回波;虚假回波等。本书对以上回波特征从不同侧面进行了分析和论述,其目的是供同行借鉴或参考,促进该项业务的发展。

本图集整编过程中,得到张培昌教授、汤达章教授、张沛源研究员三位专家的帮助和精心指导,并对全书进行了审阅,在此一并表示感谢。

诚恳地希望得到读者的指正。

技术说明

哈尔滨新一代天气雷达的运行与应用是从2001年12月开始的，至今已经积累了三年的雷达回波资料，对该图集的技术说明如下：

一、图片时间：2001年12月~2004年11月。图片中所标时间都是BT（北京时）。

二、雷达回波资料来源：哈尔滨雷达站利用安徽四创电子股份有限公司生产的新一代天气雷达(CINRAD-CC)，简称为：3830型C波段天气雷达，采用了该雷达观测和存储的回波资料。

三、哈尔滨雷达站的地理位置为：东经 $126^{\circ} 43' 42''$ ，北纬 $45^{\circ} 43' 26.9''$ 。

天线海拔高度：213米。

四、3830型C波段天气雷达的主要性能和技术指标及作用是：

3830型C波段全相参多普勒天气雷达，主要用于暴雨、冰雹、飏线、龙卷涡旋、强风切变等灾害性天气的监测和预警。对大范围强降水天气监测距离为400公里，而对雹云，龙卷涡旋等中小尺度强天气现象的有效监测和识别距离为150公里。能对150公里半径范围内的降水分布和区域性降水进行估测，同时，可以通过获取150公里半径范围内的降水区内的风场信息，实时监测由强天气造成的风害。另外，3830雷达具有一定的晴空回波探测能力，能获取风暴前环境风场的信息。

3830雷达的主要技术特点：

1. 低副瓣、宽频带、高增益天线，波束宽度为 1 ± 0.05 度
2. 全相参速调管放大链式发射机，发射脉冲宽度为1微秒，2微秒
3. 大动态、模块化接收机
4. 可编程实时信号处理器
5. 自动标定和机内检测功能
6. 具有终端处理和显示系统

五、3830型C波段天气雷达具有距离高度扫描（RHI）功能，本书中出现的RHI图像有的是RHI扫描生成的图像，有的是任意方位垂直剖面图（VCS）图像，图中有标注。

目 录

序

前言

技术说明

1 典型流场模拟与实例的径向速度场回波	(1)
1.1 风速不变、风向随高度变化的径向速度图像	(1)
1.1.1 风向随高度顺时针变化	(1)
1.1.2 风向随高度“混合”变化	(2)
1.2 风向不变、风速随高度变化的径向速度图像	(2)
1.2.1 风向不变, 风速随高度变化	(2)
1.2.2 风向不变, 风速随高度先增后减	(3)
1.3 风向、风速随高度变化的径向速度图像	(4)
1.3.1 风速随高度增大、风向随高度顺时针变化	(4)
1.3.2 风速随高度先增大再减小, 风向随高度顺时针变化	(5)
1.4 垂直方向风向不连续的径向速度图像	(5)
1.4.1 风向突变 90度、上下两层风速均先增后减	(5)
1.4.2 风向突变180度、上下两层风速先增后减的模拟速度图	(5)
1.5 水平非均匀风场的多普勒速度图像	(7)
1.5.1 发散和汇合气流	(7)
1.5.2 最大风速所在高度不同的径向速度图像	(8)
1.5.3 锋面	(9)
1.6 γ 中尺度系统的速度图像特征	(10)
1.6.1 γ 中尺度气旋式、反气旋式流场径向速度	(11)
1.6.2 γ 中尺度辐合、辐散流场径向速度图像	(12)
1.6.3 辐合、辐散与气旋、反气旋结合的图像	(12)
2 层状云降水回波	(14)
2.1 回波强度特征	(14)
2.2 回波速度特征	(15)
2.3 零度层亮带	(17)
3 对流云降水回波	(20)
3.1 对流云回波强度特征	(20)
3.2 对流云回波速度场特征	(22)

3.3	对流云回波的分类	(24)
3.3.1	单一单体	(24)
3.3.2	多单体	(24)
3.3.3	超级单体	(25)
4	混合云降水回波	(27)
4.1	PPI图回波特征	(27)
4.2	RHI图回波特征	(30)
4.3	特殊回波	(32)
4.3.1	人字型回波	(32)
4.3.2	涡旋状回波	(35)
4.3.3	特殊辐合带	(37)
5	强对流回波特征	(40)
5.1	雷暴	(40)
5.1.1	雷暴的生命史	(40)
5.1.2	强雷暴的回波特征	(40)
5.1.3	雷暴的运动和分裂	(45)
5.2	多单体风暴	(45)
5.2.1	多单体风暴结构特征	(46)
5.2.2	多单体风暴流场特征	(48)
5.3	超级单体风暴	(49)
5.4	冰雹	(51)
5.4.1	回波强度特征	(51)
5.4.2	回波顶高	(52)
5.4.3	PPI上的回波特征	(53)
5.4.4	RHI上的回波特征	(57)
5.5	外流边界	(59)
5.6	飏线	(60)
6	暴雨回波	(63)
6.1	局地暴雨回波特征	(63)
6.2	区域性暴雨	(67)
6.2.1	2004年8月3日哈尔滨的一次暴雨过程	(67)
6.2.2	2004年7月18日的一次暴雨过程	(70)
6.2.3	2002年8月22日一次暴雨过程	(72)
7	降雪回波	(74)
7.1	典型降雪回波特征	(74)
7.2	小雪	(77)
7.3	大雪	(78)
7.4	特大暴雪	(81)

7.5	雨夹雪	(83)
8	典型天气系统下的雷达回波分析	(85)
8.1	急流	(85)
8.2	锋面	(87)
8.2.1	冷锋	(87)
8.2.2	暖锋	(90)
8.3	槽线	(92)
8.4	东北冷涡	(94)
8.4.1	东北冷涡造成的局地强降水	(94)
8.4.2	东北冷涡造成的大范围强降水	(99)
8.4.3	东北冷涡形势的冬季降雪	(107)
9	非降水回波	(108)
9.1	地物回波	(108)
9.2	晴空回波	(109)
9.3	奇异回波	(110)
9.3.1	蜂窝状奇异回波	(110)
9.3.2	窄带奇异回波	(111)
9.3.3	太阳光回波	(114)
9.4	沙尘暴回波	(114)
10	虚假回波	(117)
10.1	超折射	(117)
10.1.1	辐射超折射	(117)
10.1.2	雷暴超折射	(118)
10.1.3	其他类型的超折射回波	(118)
10.2	旁瓣回波	(121)
10.3	二次回波	(122)
10.4	三体散射	(123)

1 典型流场模拟与实例的径向速度场回波

1.1 风速不变、风向随高度变化的径向速度图像

1.1.1 风向随高度顺时针变化

自雷达中心开始零等速度线随高度顺时针旋转，呈S型（如图1.1），风向随高度也顺时针旋转。RDA（雷达数据获取单元）处的风速不等于零，多普勒径向速度所有等值线由中心向外散开（如图1.2），扩展到屏幕边缘所对应的高度，这表明各高度层上的实际风速是均匀的，即风速随高度不变。风向随高度顺转，表明有暖平流。

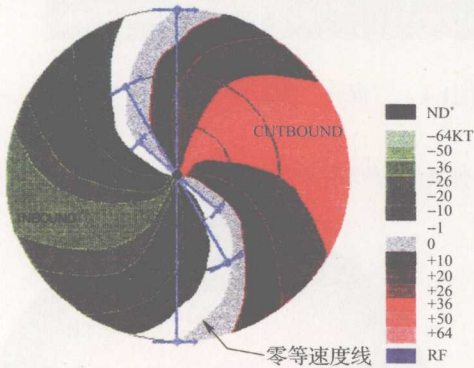


图1.1 风速不变、风向随高度顺时针变化的径向速度图

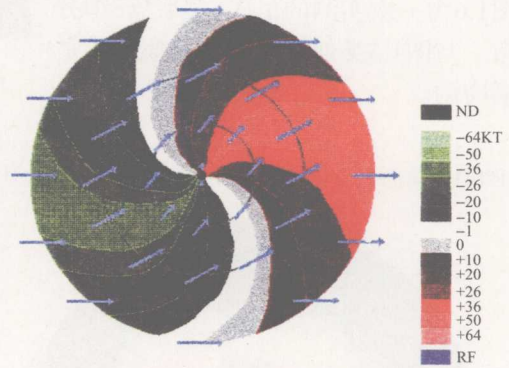


图1.2 风速不变、风向随高度顺时针变化的实际风场模拟图

图1.3为一次实测的低层风速少变、高层风速随高度增大、风向随高度顺转的S型图像。

仰角1.5度的速度VPPI扫描 0 2004年11月07日 17:36:52

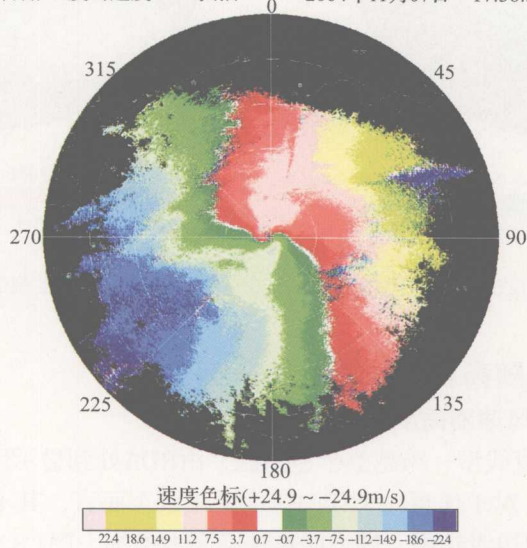


图1.3 一次实测的S型流场

* ND: 没有数据, KT: 节, 1KT=0.514米/秒, RF: 紫色, VPPI: 体积扫描, 下同。

1.1.2 风向随高度“混合”变化

图1.4上，屏幕中心开始向外零等速度线先呈S型后呈反S型，表明在中低层呈顺时针旋转，在中高层以上呈逆时针旋转。也就是说，由RDA处的南风向上顺转为西风，再往上又逆转为南风，即低层S型表明有暖平流，高层反S型表明有冷平流。图1.5为一次实测的零等速度线先呈反S型后呈S型，低层风速随高度先增加后减小，高层风速随高度增加的图像。图1.6为一次实测的呈先S型后反S型分布。与图1.5类似，只是零等速度线是横向的。

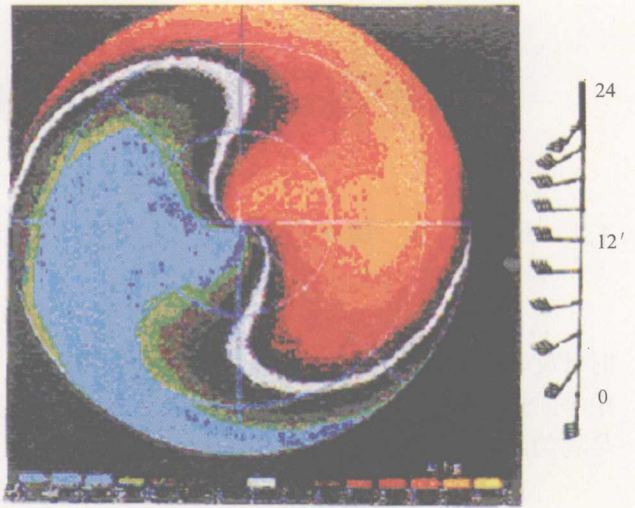


图1.4 “混合”型径向速度图

仰角4.3度的速度VPPI扫描 2004年07月05日 08:22:41

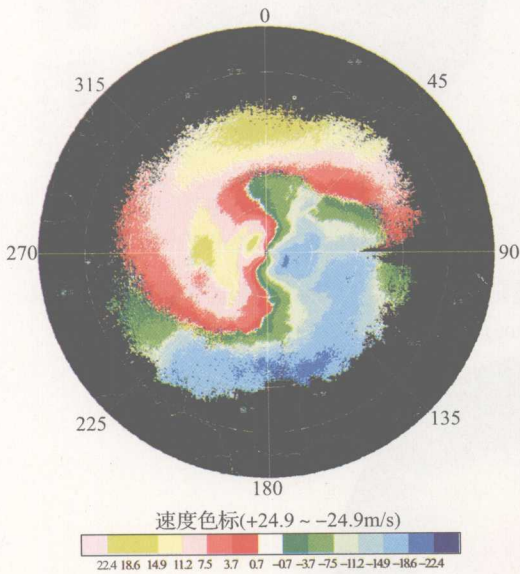


图1.5 一次实测的先呈反S型后呈S型图

仰角1.5度的速度VPPI扫描 2004年11月01日 11:04:52

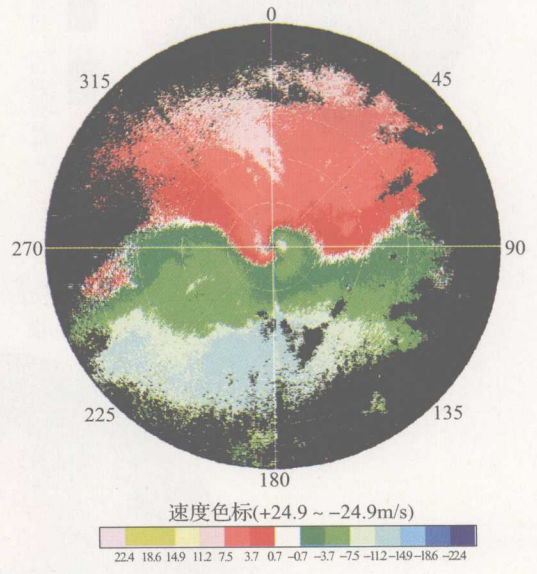


图1.6 一次实测的先呈S型后呈反S型图

1.2 风向不变、风速随高度变化的径向速度图像

1.2.1 风向不变，风速随高度变化

图1.7零等速度线呈直线型，跨越整个显示区，由RDA处到显示区边缘为均匀的风。RDA处的风速不等于零，对于任意一个径向速度区（线）而言，其不是从中心扩展到屏幕边缘，而是从某一高度向边缘扩展，即表明风速随高度增加。图1.8为一次实测的类似于风向不变风速随高度增加的图像。

仰角1.5度的速度VPPI扫描 2004年12月03日 13:45:36

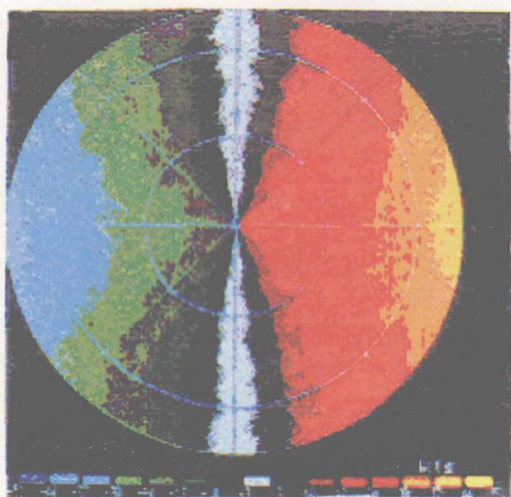


图1.7 均匀西风随高度增大的径向速度图

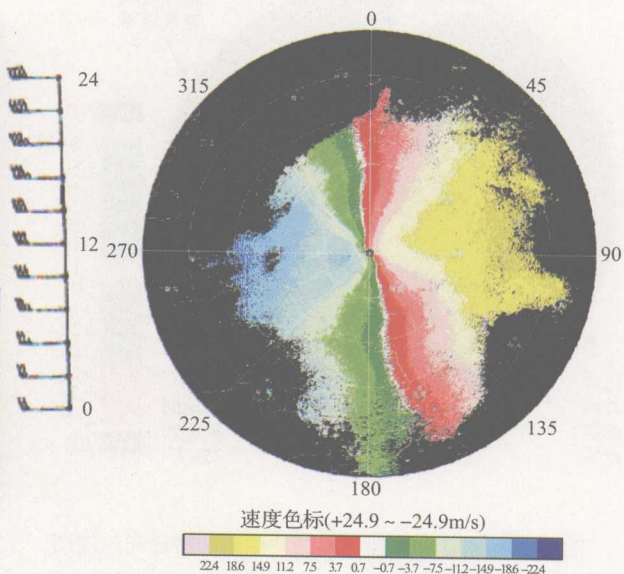


图1.8 一次实测的风向不变风速随高度增加图

1.2.2 风向不变，风速随高度先增后减

图1.9显示各高度层上均为西风，但在第一到第二距离圈之间所对应的高度范围内出现一对最大、最小径向速度，这表明风先随高度增大到最大值，然后再随高度减少。图1.9与图1.10的区别是，前者RDA处和屏幕边缘的径向速度为零，表示对应高度上风速为静风，由零—最大—零，后者相应处不为零。图1.11为一次实测的类似风向不变、风速随高度先增后减的图像。

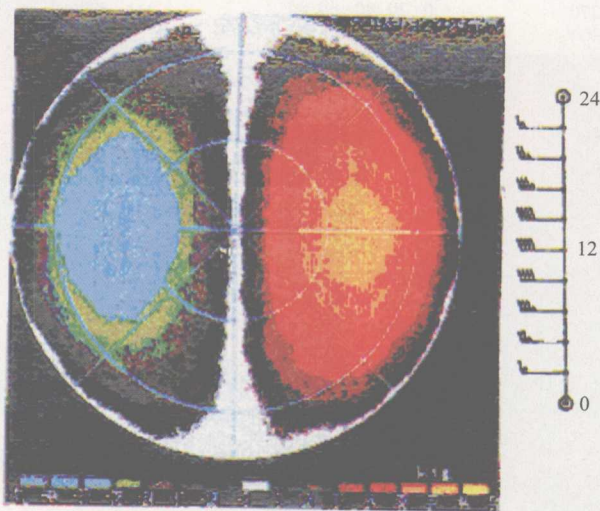


图1.9 风随高度先增大后减小的“牛眼”型径向速度图

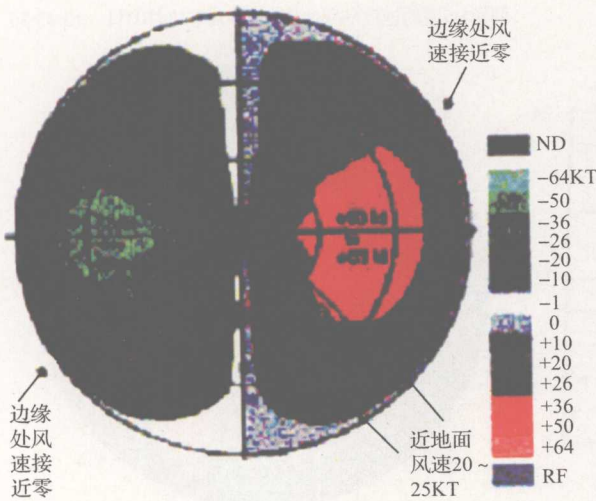


图1.10 雷达处风速为零的“牛眼”型径向速度图

仰角0.5度的速度VPPI扫描 2001年12月12日 08:38:21

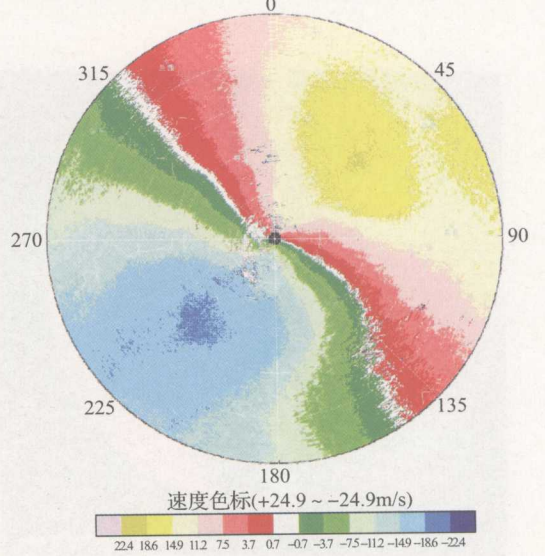


图1.11 一次实测的风向不变, 风速随高度先后增后减图

1.3 风向、风速随高度变化的径向速度图像

1.3.1 风速随高度增大、风向随高度顺时针变化

图1.12中的RDA处为静风, 从内到外, 风向从偏南转为偏西, 风速随高度增大, 显示区东西边缘的两侧各出现了一个速度模糊区。图1.13为一次实测的风速随高度增大、风向随高度顺时针旋转的图像。

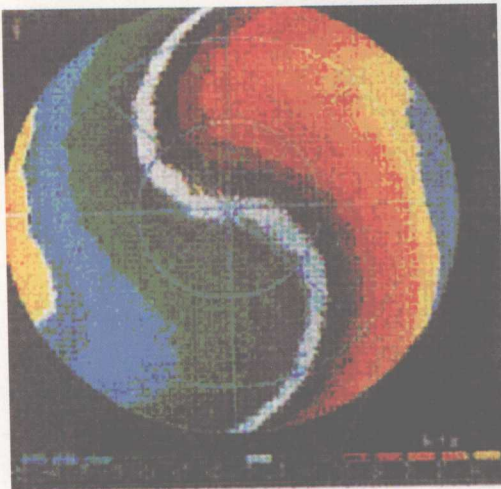
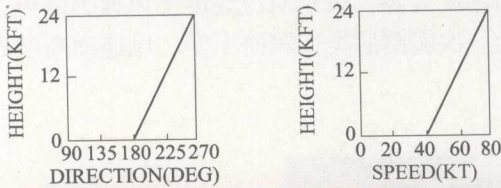


图1.12 风向顺转、风速增大的径向速度图

仰角1.5度的速度PPI扫描 2001年12月12日 07:05:28

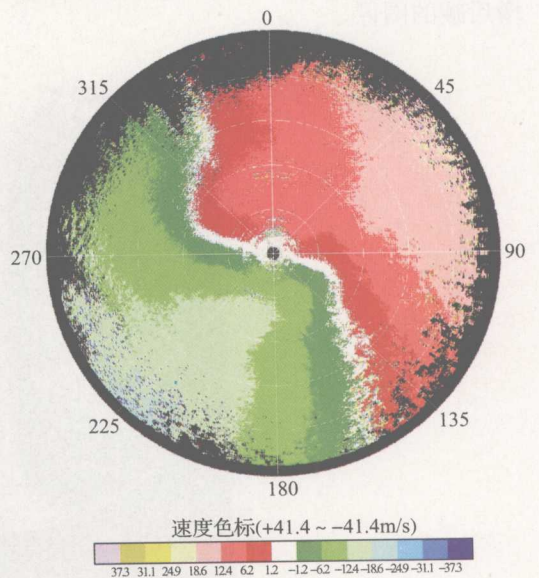


图1.13 一次实测的风速随高度增大, 风向随高度顺转图

* KFT: 千英尺, 1KFT=304.8米, DEG: 度, Height: 高度, Direction: 风向, Speed: 风速, 下同。

1.3.2 风速随高度先增大再减小，风向随高度顺时针变化

图1.14的RDA处风速不为零，从内到外，风向从南风顺转为西风，风速随高度先增后减，在速度为极大值的“牛眼”处出现了速度模糊区。图1.15为一次实测的风向随高度顺时针旋转，低层风速随高度先增后减、高层风速随高度增大的图像。

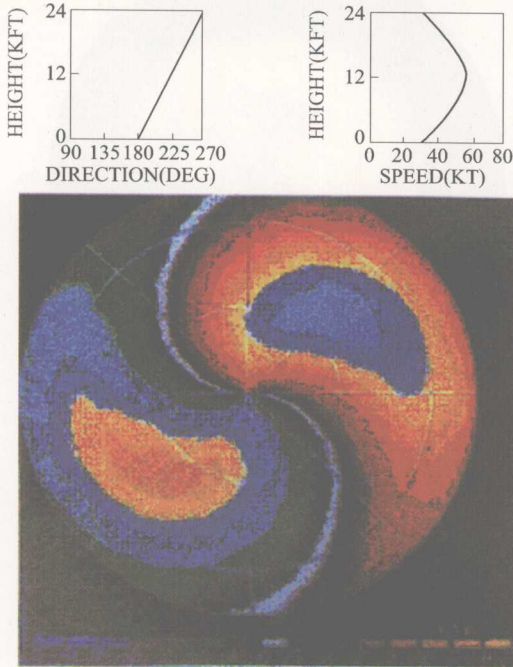


图1.14 风向顺转、风速先增后减的径向速度图

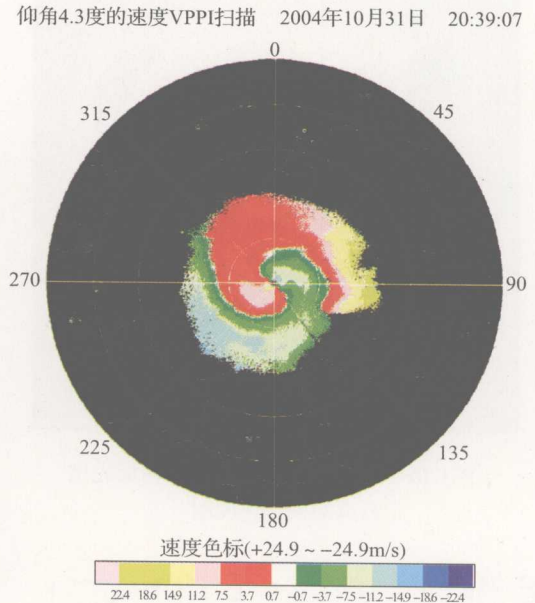


图1.15 一次实测的S型风速变化不规则图

1.4 垂直方向风向不连续的径向速度图像

在实际大气中，经常出现风向的垂直不连续现象，例如在锋面、低空急流附近，或在晴空时的边界层附近。

1.4.1 风向突变 90 度、上下两层风速均先增后减

图1.16上，在近距离，零等速度线呈SW-NE直线走向，即风向为东南风；在中间高度层附近，零等速度线发生S型变化，然后呈NW-SE直线走向。表明在中间高度较薄的层间风向急剧转为西南风，再往上风向不随高度变化。此外，径向速度分布有两对“牛眼”型结构，在突变层上下风速都先增加到最大、然后又减小，两个“牛眼”出现了速度模糊。图1.17是一次实测的风向突变90度的流场图。

1.4.2 风向突变 180 度、上下两层风速先增后减的模拟速度图

图1.18与上图类似。在低层和高层，零等速度线呈S-N直线走向，风向不变。在中间层，零等速度线很快发生S型变化，使径向速度发生了180度的转变，由低层的东风转为高层的西风。图1.19和图1.20是一次实测的风向突变180度、低层风速随高度先增后减、高层风速随高度增加的图像。图1.21上出现了双“牛眼”结构，即高低空风速均随高度先增后减。

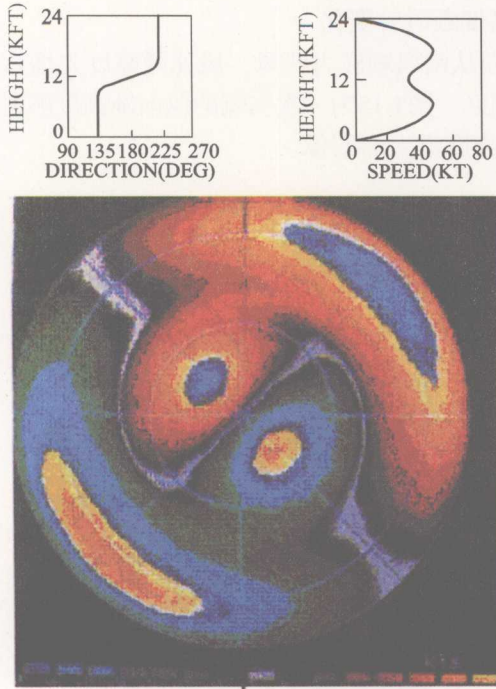


图1.16 风向突变90度、上下两层先增后减的模拟速度图

仰角4.3度的速度VPPI扫描 2004年07月05日 08:22:41

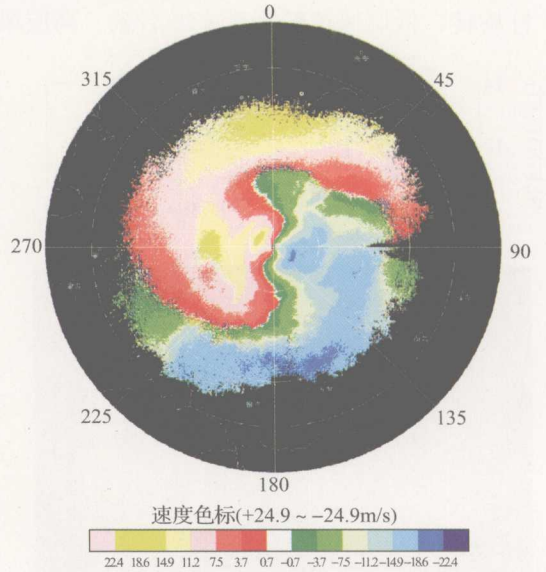


图1.17 一次实测的风向突变90度图

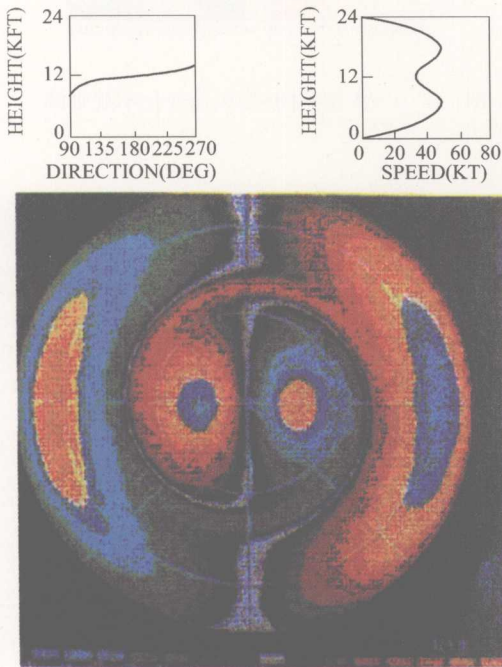


图1.18 风向突变180度、上下两层先增后减的模拟速度图

仰角1.5度的速度VPPI扫描 2004年12月04日 07:00:06

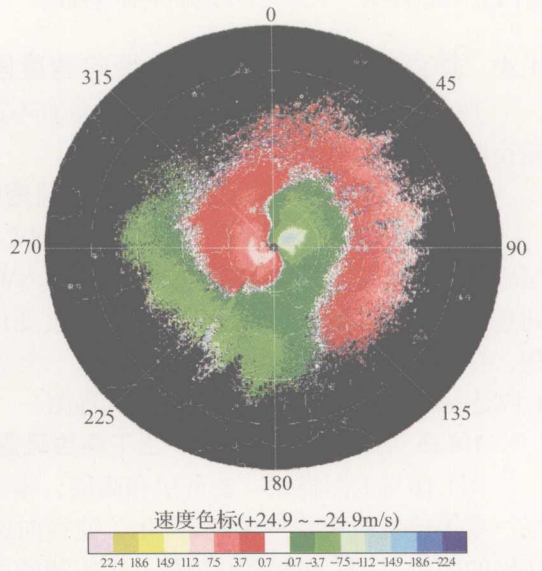


图1.19 一次实测的风向突变180度图

仰角4.3度的速度VPPI扫描 2004年12月04日 10:19:31

仰角4.3度的速度VPPI扫描 2004年05月12日 13:57:31

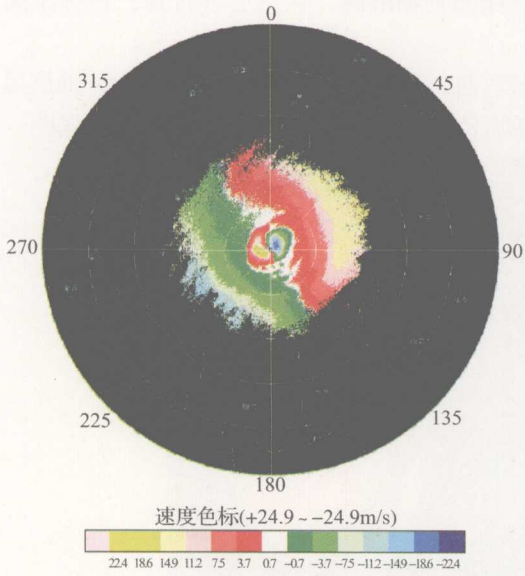


图1.20 2004年12月4日一次实测的风向突变180度、低层风速随高度先增后减、高层风速随高度增加图

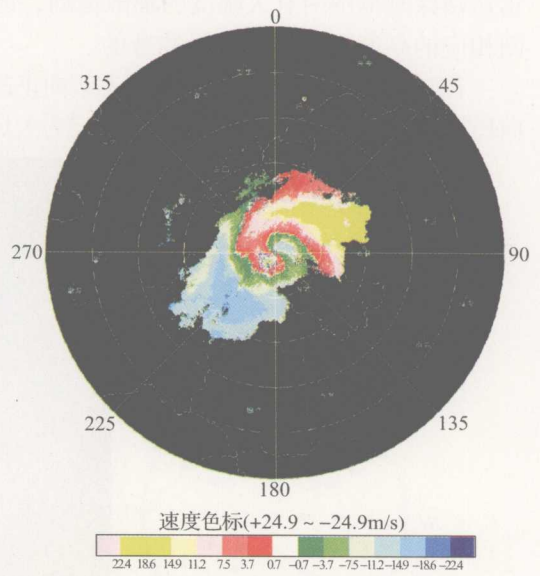


图1.21 2004年5月12日一次实测的风向突变180度、低层风速随高度先增后减、高层风速随高度增加图

1.5 水平非均匀风场的多普勒速度图像

前面讨论的都是假定水平均匀的环境风场的多普勒速度图像。下面介绍几种比较简单的非均匀水平风场的情况。

1.5.1 发散和汇合气流

如果实际风向在各高度层上为发散或汇合，则在速度图上，零等速度线呈弓型，但弓的顶端必在雷达中心。

图1.22为雷达站北侧零等速线逆时针弯曲、风向随高度逆转—由偏西风转为西南风、风速随高度不变的图像。而雷达站南侧的风向随高度顺时针旋转—由偏西风转为西北风。表明

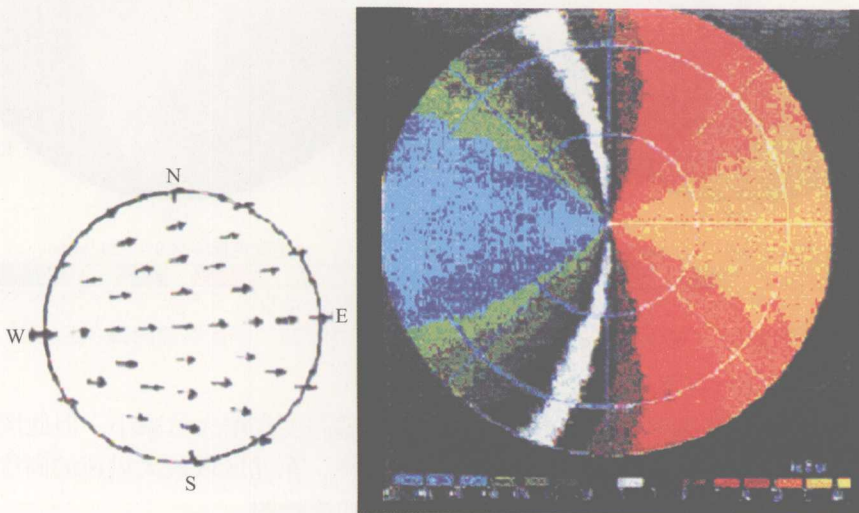


图1.22 发散流场的径向速度图