

新一代天气雷达 在临近预报中的 分析与应用

张晰莹 那济海 张礼宝 等编著



新一代天气雷达在 临近预报中的分析与应用

张晰莹 那济海 张礼宝 等 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书汇集有关新一代天气雷达和临近预报方面多年的研究成果和业务实践经验,结合短时天气预报岗位的工作实际,详细对新一代天气雷达在临近预报领域中的分析与应用工作进行了论述,以期适应我国雷达气象工作的发展需要,为进一步提高灾害性天气的分析和预报水平提供必要的参考。

本书可供从事雷达气象学、临近天气预报的气象、水文、航空、环境、海洋等工作参考,也供相关行业的科研人员、高等院校的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

新一代天气雷达在临近预报中的分析与应用/张晰莹等编著. 北京:气象出版社,2008.9

ISBN 978-7-5029-4594-7

I. 新… II. 张 III. 气象雷达-应用-短期天气预报
IV. P456.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 147848 号

Xinyidai Tianqi Leida zai Linjin Yubao zhong de Fenxi yu Yingyong

新一代天气雷达在临近预报中的分析与应用

张晰莹 那济海 张礼宝 等 编著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:俞卫平 章澄昌

封面设计:王 伟

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:310 千字

版 次:2008 年 10 月第 1 版

定 价:50.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E - mail: qxcsb@263.net

终 审:纪乃晋

责任技编:吴庭芳

印 张:12

印 数:1~2000

印 次:2008 年 10 月第 1 次印刷

编 委 会

主 编：张晰莹 那济海 张礼宝
编 委：石慕真 吴迎旭 徐 玥 邵美荣
安英玉 马国中 唐 凯
统 稿：张晰莹
审 稿：那济海 张晰莹

序

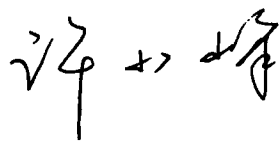
在过去的近十年里,我国的气象业务在临近预报领域取得了重要进展,除了预报技术的进步外,在探测领域取得的重要进展功不可没。这主要表现在三个领域中取得了显著的进步:新一代天气雷达的研制及业务应用、中尺度地面观测网的建设、气象卫星云图资料的广泛应用。这些新探测技术的发展,特别是新一代多普勒天气雷达网的建设,使得临近预报业务成为有米之炊。

从1998年我国新一代多普勒天气雷达布网工作开始到今天,十年过去了,我们对新一代天气雷达的理解与应用正在逐渐加深。如何用新一代天气雷达探测到更精细的气象信息,什么样的回波能够产生短时强天气,如何利用雷达信息对强天气进行预警,这些问题正逐渐成为每天预报业务中的重点,也是未来预报工作中需进一步深入研究的重要课题。

本书作者所处的中高纬地区,每年也不断有强对流、暴雨等灾害性天气发生,这不仅是对作者们预报能力的考验,也促使他们对如何利用现代技术手段改进预报不断进行更深入的思考。本书内容取材于这些业务一线业务人员的科研分析成果,是他们多年的预报业务实践总结。本书从雷达分析入手,详细地讨论了雷达探测、雷达回波分析、雷达资料的应用、临近预报中方法、短时强天气预警等问题,总结了一套新一代天气雷达在临近预报中的应用方法。这些方法可用来在预报业务中实际操作应用,也可供新预报员上岗培训时学习参考。

假如我们想要在临近预报领域有所发展和收获,就不能仅仅停留在信息和遥测遥感技术的突破上,要在应用领域多下功夫,开展艰苦细致的工作。在中小尺度气象学领域从事研究工作是件很艰辛的事情,要想在临近预报业务上取得进展也会是缓慢的过程。技术上的进步和突破会起到促进作用,但预报员的实践、积累和总结无疑是更重要的。如果广大预报人员都能注意结合实际工作,不断进行深入细致的分析工作,发现问题,克服困难,有所突破和提高,将会对预报准确率的提高起到决定性的作用。

我相信,本书的出版,能够为我国广大临近预报业务人员提供帮助,使作者们的总结成果在更大范围得到应用和参考。



2008年仲夏于北京

前 言

随着我国现代化气象事业的迅猛发展,临近预报、预警显得尤为重要。临近预报是描述现实天气状况和 0~2 小时的预报;临近预报的对象是所有与大气运动状态有关的天气现象(如雷暴、暴雨、大风、冰雹、龙卷)及其大气要素(如温度、气压、湿度等),以及产生的中尺度天气系统(如中尺度对流系统、中尺度辐合线、阵风锋、飑线等);临近预报的水平决定于我们对预报区域内各种天气系统的演变及其相互作用的认识和预测能力;临近预报是用以预防紧急局地强风暴等灾害天气的富有经济效益的预报服务项目;其技术方法与通常的短期预报方法不同,需要根据加密的观测站网资料,运用高分辨资料、情报、报告的分析,以及应用卫星云图和雷达资料,对中小尺度天气系统的连续跟踪监测,并结合地形的影响、物理量诊断等综合分析之后做出预报。在服务手段上,采用最先进的传输设备(如现代化的媒体),将可能有灾害性天气出现的预报结果和最新的天气情报及时的通知相关用户。

目前,临近预报这一领域仍在不断的深入研究发展之中,很难给它一个准确的定义、严格的预报规范、标准的预报流程和大致统一的预报方法。然而有一点是可以肯定的:尽可能的对天气系统进行细致的探测、详细掌握现实天气情况、对未来天气进行判断和预测、对未来可能发生危险的天气进行预警是临近预报工作所要做的主要工作。中尺度观测网络是临近预报能够进行的前提,而对中尺度资料的分析 and 判断是预报的基础,基于中尺度探测资料总结相关的预报方法是预报的重点。而天气雷达无疑是中尺度探测资料中最重要的,总结雷达在临近预报中的应用、形成相关的预报方法将始终是临近预报的核心问题。

2001 年 12 月,黑龙江省新一代天气雷达布网工作开始,新一代天气雷达在天气预报业务工作中的应用工作也随之展开。在六年多的应用过程中,先后在多个方面进行了应用的研究和探索。新一代天气雷达在临近预报中的应用一直是黑龙江省气象业务中坚持不懈的工作重点。几年的实践工作,积累了一些预报经验,本书内容取材于业务一线科技人员的辛勤劳动成果。在此基础上总结出一些新一代天气雷达在探测、分析、应用中的方法。本书的目的只是想集中介绍在新一代天气雷达应用中的一些内容,为从事相关工作的人员提供一些参考。

本书编写情况如下:张晰莹编写第 4 章;张礼宝编写第 1 章 1.3;第 6 章 6.1、6.5;石慕真编写第 2 章 2.1、2.2、2.7;第 5 章 5.2;吴迎旭编写第 1 章 1.1;第 2 章 2.3、2.4、2.5;第 3 章 3.6、3.7;第 6 章 6.4;徐玥编写第 3 章 3.1、3.5;第 6 章 6.3;邵美荣编写第 3 章 3.4;第 5 章 5.1;安英玉编写第 1 章 1.2;第 2 章 2.6;第 6 章 6.8;马国中编写第 6 章 6.6;

唐凯编写第3章3.2、3.3。全书由张晰莹统稿,那济海、张晰莹审稿。

本书的出版得到了黑龙江省气象局局长刘万军研究员、副局长孙永罡研究员的大力支持。给了我们极大的鼓励,在编写过程中给了极富启发性的帮助。同时对为本书出版提供过帮助的单位 and 朋友们,在此一并致以深深的谢意!

本书并不是一本全面的书,只是我们对以往时间和研究工作的一个总结。尽管如此,我们仍希望能够表述新的观点和方法,并希望能够为相关人员提供一些先行经验和启事。限作者的理解和水平,书中肯定存在很多的缺点和偏颇之处,肯盼各位专家、学者及广大读者不吝给予批评指正。

作 者

2008年7月

目 录

序

前言

第 1 章 新一代天气雷达回波基本特征	(1)
1.1 稳定性降水回波特征	(1)
1.1.1 稳定性降水回波强度特征	(1)
1.1.2 稳定性降水回波径向速度特征	(2)
1.1.3 稳定性降水回波的重要特征——零度层亮带	(3)
1.2 混合性降水回波特征	(4)
1.2.1 混合性降水回波强度特征	(4)
1.2.2 混合性降水回波径向速度特征	(6)
1.2.3 混合性降水形成的特殊回波特征	(7)
1.3 对流性降水回波特征	(12)
1.3.1 对流性降水回波强度特征	(13)
1.3.2 对流云回波速度场特征	(14)
1.3.3 对流云回波的分类	(14)
参考文献	(15)
第 2 章 各类天气系统的雷达回波特征	(16)
2.1 锋面、高空槽线的雷达回波特征	(16)
2.1.1 冷锋的回波特征	(16)
2.1.2 暖锋回波的径向速度特征	(21)
2.1.3 高空槽线的回波特征	(22)
2.2 高、低空急流	(23)
2.3 蒙古低压	(24)
2.3.1 蒙古低压的特点	(24)
2.3.2 蒙古低压的雷达回波演变特征	(25)
2.4 东北低压	(26)
2.4.1 东北低压的特点	(26)
2.4.2 东北低压的雷达回波特征	(26)
2.5 南来低压	(28)
2.5.1 南来低压的特点	(28)

2.5.2	南来低压的雷达回波特征·····	(28)
2.5.3	蒙古低压、东北低压、南来低压的异同·····	(29)
2.6	东北冷涡·····	(29)
2.6.1	东北冷涡造成的局地强降水·····	(30)
2.6.2	东北冷涡造成的大范围强降水·····	(32)
2.7	暴雪回波特征·····	(36)
2.7.1	一次典型的暴雪回波特征·····	(36)
2.7.2	暴雪与暴雨雷达回波特征的区别·····	(38)
	参考文献·····	(39)
第3章	强对流天气回波特征 ·····	(40)
3.1	雷暴的雷达回波特征·····	(40)
3.1.1	强雷暴的回波特征·····	(40)
3.1.2	雷暴的生命史(雷暴的回波演变)·····	(48)
3.1.3	雷暴的移动和分裂·····	(50)
3.2	多单体风暴的雷达回波特征·····	(52)
3.2.1	多单体风暴结构特征·····	(52)
3.2.2	多单体风暴的排列与移动·····	(53)
3.2.3	多单体风暴流场特征·····	(54)
3.3	超级单体风暴的雷达回波特征·····	(54)
3.3.1	超级单体风暴的基本特征·····	(55)
3.3.2	超级单体风暴的移动特征·····	(56)
3.3.3	超级单体风暴的生命史·····	(56)
3.3.4	超级单体风暴的垂直结构特征·····	(57)
3.4	冰雹的雷达回波特征·····	(57)
3.4.1	冰雹回波强度特征·····	(57)
3.4.2	冰雹回波径向速度分布特征·····	(57)
3.4.3	冰雹回波在PPI上的特征·····	(58)
3.4.4	冰雹回波在RHI上的特征·····	(60)
3.4.5	常见冰雹云回波·····	(61)
3.5	飚线的雷达回波特征·····	(63)
3.5.1	飚线的形成和发展·····	(63)
3.5.2	飚线的雷达回波特征·····	(64)
3.5.3	飚线的移动特征·····	(65)
3.6	龙卷的雷达回波特征·····	(67)
3.6.1	龙卷回波强度特征·····	(68)
3.6.2	龙卷回波径向速度特征·····	(68)
3.6.3	龙卷的中气旋特征·····	(68)
3.6.4	龙卷的涡旋特征(TVS)·····	(69)
3.6.5	龙卷回波实例·····	(69)

3.7 暴雨回波·····	(71)
3.7.1 暴雨的回波特征·····	(71)
3.7.2 产生暴雨的特殊结构回波特征·····	(72)
3.7.3 局地、突发性暴雨回波特征·····	(75)
3.7.4 区域性暴雨的雷达回波特征·····	(75)
参考文献·····	(76)
第4章 雷达回波资料和卫星云图在临近预报中的应用 ·····	(77)
4.1 局地短时暴雨的雷达回波特征分析·····	(77)
4.1.1 天气形势分析·····	(78)
4.1.2 卫星云图分析·····	(79)
4.1.3 雷达回波特征分析·····	(79)
4.1.4 强对流发展过程中各高度层强回波面积随时间的变化·····	(82)
4.1.5 总结与讨论·····	(83)
4.2 中尺度对流复合体(MCC)的雷达回波特征和卫星云图特征分析·····	(84)
4.2.1 天气背景及产生的原因和条件·····	(84)
4.2.2 物理量分析·····	(85)
4.2.3 卫星云图特征分析·····	(86)
4.2.4 雷达回波分析·····	(88)
4.2.5 对比分析·····	(91)
4.2.6 总结与讨论·····	(93)
4.3 大雪、暴雪的雷达回波特征分析·····	(93)
4.3.1 一次大雪过程的分析·····	(93)
4.3.2 冬季罕见的降雨转暴雪的雷达回波分析·····	(97)
4.4 冰雹的雷达回波特征分析·····	(102)
4.4.1 东北冷涡产生冰雹雷达回波结构特征的分析·····	(102)
4.4.2 局地突发性强冰雹过程的雷达回波分析·····	(109)
4.5 新一代天气雷达资料在沙尘天气监测中的应用·····	(113)
4.5.1 沙尘暴天气概况·····	(113)
4.5.2 卫星云图特征分析·····	(115)
4.5.3 多普勒雷达特征分析·····	(116)
4.5.4 总结与讨论·····	(118)
参考文献·····	(118)
第5章 临近天气预报的方法及预报指标 ·····	(120)
5.1 短时暴雨天气分型及雷达回波特征·····	(120)
5.1.1 黑龙江暴雨特点·····	(120)
5.1.2 暴雨天气分型及雷达回波特征·····	(120)
5.2 不同天气形势下的冰雹特征·····	(128)
5.2.1 黑龙江冰雹的概况·····	(128)
5.2.2 高空冷涡(或低涡)型·····	(129)

5.2.3 高空槽型	(137)
5.2.4 冰雹预报物理量判据指标	(140)
5.2.5 冰雹临近预报的判据指标	(141)
参考文献	(141)
第6章 新一代天气雷达、卫星云图资料的应用	(142)
6.1 临近预报的一般描述	(142)
6.1.1 临近预报的定义	(142)
6.1.2 用户对临近预报的要求	(143)
6.1.3 用户要求的内容	(143)
6.1.4 中尺度天气特征	(144)
6.1.5 中尺度探测与预报系统设计	(145)
6.1.6 制作临近预报的困难	(146)
6.2 新一代天气雷达资料的研究与应用	(146)
6.3 雷达定量测量降水的研究与应用	(157)
6.3.1 多普勒雷达 $Z-I$ 关系原理	(158)
6.3.2 资料选取	(158)
6.3.3 资料来源	(158)
6.3.4 资料处理	(158)
6.3.5 资料统计	(160)
6.3.6 计算结果	(160)
6.4 卫星云图定量估测降水	(161)
6.4.1 卫星云图定量估测降水软件设计思路	(162)
6.4.2 系统开发的主要内容	(162)
6.4.3 操作方法	(162)
6.4.4 卫星云图定量测降水软件应用	(163)
6.4.5 软件试运行及效果检验	(164)
6.5 短时、临近天气预报预警业务流程	(165)
6.5.1 黑龙江省短时、临近气象预报预警业务流程	(165)
6.5.2 短时、临近预报评分	(168)
6.6 黑龙江省临近预报系统介绍	(171)
6.6.1 设计方法	(171)
6.6.2 软件框架	(171)
6.6.3 系统主要内容	(172)
6.6.4 系统运行环境	(178)
6.7 雷达资料典型个例学习、查阅、调用系统	(178)
6.7.1 系统设计思路	(178)
6.7.2 系统运行环境与编程	(178)
6.7.3 系统的主要功能	(179)
6.7.4 系统内容及结构	(179)

第 1 章 新一代天气雷达回波基本特征

雷达回波的识别、分析是短时临近预报的重要依据。对回波初生、发展、减弱、消亡的各阶段的识别与分析是判断能否产生灾害天气的关键。所以对不同类型回波的识别、分析对短时临近预报有着重要的意义。

本章主要是识别各种雷达回波特征、回波形成的物理解释及其天气和气象意义。在分析各种雷达回波时,同时讨论回波强度分布和回波径向速度场特征。对回波强度的分析可以了解回波强弱性质,从而判断出降水性质。对回波径向速度的分析,可以了解大气流场、气流垂直速度分布等特征。两者的综合分析,可以了解回波演变和移动规律,并且大大加强了对各种天气系统特别是强对流天气系统的识别和预警能力。

本章根据多年的雷达探测、分析经验,结合理论,列举了大量的实例,对不同性质的降水回波的反射率因子、径向速度场进行分析讨论。

1.1 稳定性降水回波特征

稳定性降水主要是指层状云降水,层状云是水平发展广阔的云片或云层,其水平尺度远大于垂直厚度,由层状云降水产生的雷达回波称为层状云降水回波也称稳定性降水回波。

1.1.1 稳定性降水回波强度特征

稳定性降水回波可以出现在一年四季,降水持续时间较长,一般达数小时,甚至几天时间。稳定性降水的多普勒雷达强度回波具有较大水平范围的、连绵成片的、均匀幕状特征。

在雷达 PPI 的显示上,稳定性降水强度回波多表现为连续的片状或片絮状,面积大小不一,有时仅为孤立的面积很小的回波,有时会充满整个雷达屏幕。面积较大的雷达回波,其边缘由于受到降水区的衰减作用和雷达波脉冲宽度等的影响,时常会显得比较模糊和发毛,但整体上其回波强度表现仍较为均匀,一般在 20~30 dBz,最强的回波达 45 dBz 左右,最弱的强度可以小于 0 dBz。

垂直剖面图像中,稳定性降水回波通常要占满对流层中下部,水平尺度大于垂直尺度,顶部较为平整(图 1.1),回波高度随地区、季节的不同会有一定变化,在中高纬度回波高度一般要低于 6 km,降雪回波的高度通常会低于 4 km。

降雪回波或雨夹雪回波的回波面积一般较大,强度比一般的层状云回波还弱。降雪回波强中心的强度一般也都小于 20 dBz,其结构更为松散。

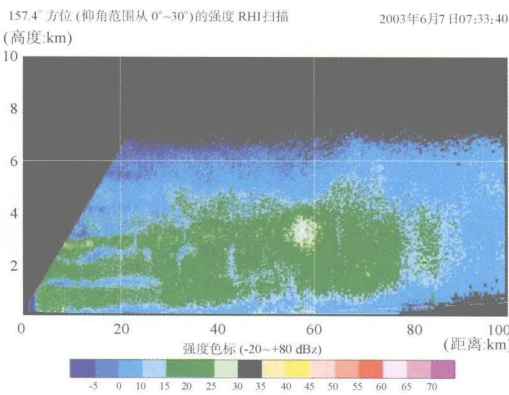


图 1.1 2003 年 6 月 7 日 RHI 强度图

1.1.2 稳定性降水回波径向速度特征

由于稳定性降水的范围通常比较大,所以相应雷达回波的径向速度分布范围也较大,径向速度等值线分布比较稀疏,风场比较均匀,切向梯度不大。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。从零径向速度线的走向和正负速度中心的分布可以判断出如急流、锋面、辐合、辐散等流场特征。

速度图上的急流表现为强而窄的大风速区。一个或几个风速的极大值,叫做急流带,速度极大值往往出现在与零线相垂直的轴线上,对于表现明显的大风速区我们也形象地称为速度“牛眼”,有时在雷达回波速度图上可以看见“双牛眼”,东亚地区出现的急流多为西南风向或偏南风向,在一定情况下,也呈东南风向(图 1.2)。

锋面过境才产生稳定性降水后,回波表现为带状,对锋区的识别首先根据零速度区(线)从低层到高层的分布是否连续来判断是否有锋区所在,在通过判断测站的风向来判断测站所处

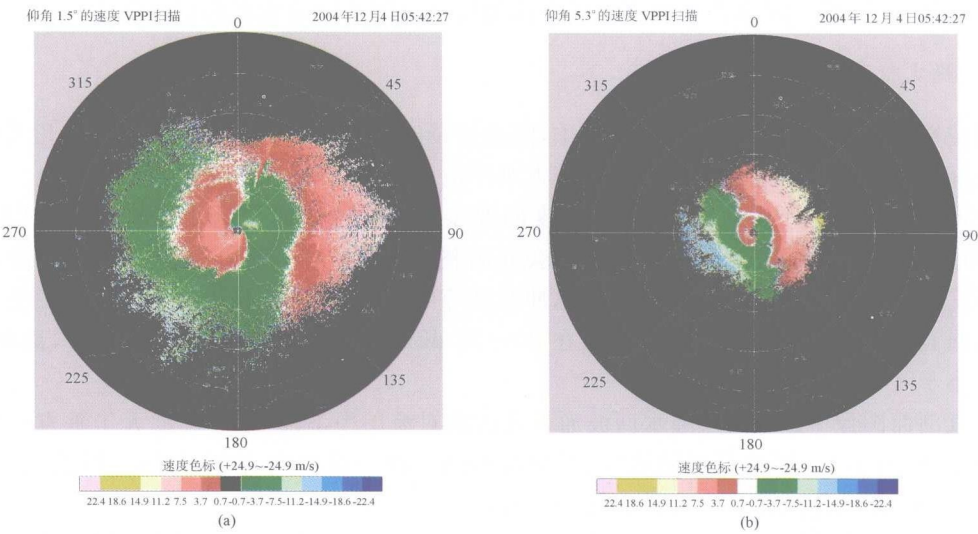


图 1.2 2004 年 12 月 4 日速度图

的锋区位置。

图 1.2 为 2004 年 12 月 4 日同一时刻的低仰角和高仰角的雷达图,对应高空 08 时有一个深的冷槽,在 500 hPa 和 700 hPa 有一条明显的急流带,在雷达速度图上可以看到“S”型和速度“牛眼”。风向在低层为东南风,在 0.5~1 km 范围风向转为东风,随着高度的增加,在 1.2 km 处风向有一个 180°转,变为西风;“牛眼”在高仰角也更为明显,风速极大值的高度比较低,说明风速随着高度增加先增大后减小。

1.1.3 稳定性降水回波的重要特征——零度层亮带

在雷达回波上零度层亮带又称亮带,是相应于温度为零摄氏度的高度层上呈现水平窄带状的强回波带。它是层状云连续性降水的一个重要特征,反映了在层状云和积层混合云降水中存在着明显的冰水转换区,即亮带上面的降水粒子以冰晶雪花为主,亮带以下为融化后的水滴。所以在对流天气中出现零度层亮带也是对流性天气向稳定性降水天气转化的一个重要标志。

亮带形成的物理原因主要有:降水粒子的融化作用、碰并聚合效应、末速度效应和形状因子影响四个方面。亮带之所以得到维持而且在 RHI 上显得非常平直,是和层状云降水中气流层结稳定,无明显的上升、下沉运动有关。

零度层亮带在平面显示图上表现为圆环或圆弧状,是一个虚假强降水环状区域,说明混合云不稳定降水已经转化为稳定性的层状云降水。零度层亮带最强回波处的高度距 0℃层约 200~300 m,回波强度比带两侧的回波强 10~15 dBz(图 1.3),亮带一般在强度图上表现尤为明显,在 PPI 上抬高仰角时圆环(弧)亮带表现突出,在速度图上零度层亮带和其他层状云降水回波表现大致相同。

零度层亮带在结构上有连续均匀的亮带,也有连续不均匀的亮带,还有不连续的亮带。连续均匀的亮带在 PPI 上表现为均匀的强度圆环(弧),在 RHI 上为一条完整均匀的水平强度回波带,连续均匀的亮带一般产生于纯层状云中^[1];连续不均匀的亮带在 PPI 环(弧)上各处回波强度不均匀,在 RHI 上强度强的区域厚度比较大,强度弱的厚度较薄(图 1.3);不连续的亮带在两个或多个亮点之间会出现无回波间隔,连续不均匀的亮带和不连续的亮带多产生于积层混合云中。

零度层亮带在雷达回波中比较常见,特别是在对流性降水向稳定性降水转变的过程中出现较多,图 1.3 是 2006 年 8 月 9 日的一次降水过程,8 月 9 日下午在黑龙江南部多个地区都发生了强对流天气,9 日 08 时黑龙江西部地区有明显的低空切变。雷达图的强度场很强,强度超过了 50 dBz,强中心的面积很大,回波覆盖的区域几乎都有强雷暴发生。在 14:50 的雷达图上,我们把仰角抬高到 9.9°,能看到明显的亮圈即零度层亮带,在相应的高度显示上是一条水平的亮带,稳定性降水开始持续,降水面积和降水强度有所减小,但回波东移速度缓慢,降水持续时间较长,到 19:00 时回波主体基本移出观测范围。

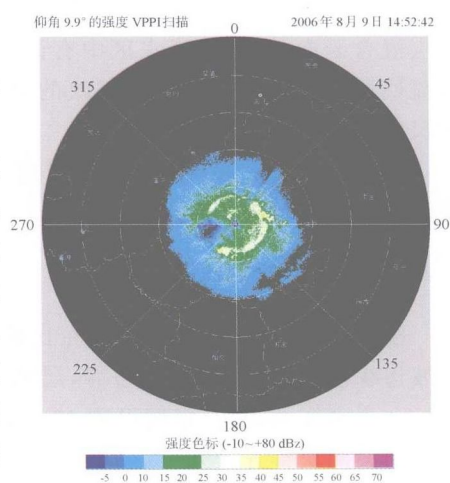


图 1.3 2006 年 8 月 9 日零度层亮带

1.2 混合性降水回波特征

混合性降水回波是层状云降水回波和积状云降水回波的混合。从外形上分析,它们像棉絮状,故也称为絮状回波。它往往与高空低槽、切变线和地面静止锋等天气形势相联系。

出现积层混合云降水的主要天气特点为存在底层水汽辐合、较大范围上升运动区、对流性不稳定。主要影响系统有:(1)高空槽、切变线,积层混合云一般出现在高空槽线、切变线前后;(2)东北冷涡,积层混合云一般出现在冷涡的东南、南、西南侧;(3)冷锋,当冷锋前暖湿空气活跃时,冷锋过境出现积层混合云。前倾槽,积层混合云出现在冷锋过境前;后倾槽,出现于冷锋过境后。

积层混合云降水特点:降水时间长、强度大,是在有利的天气形势下,积雨云和层状云之间相互作用的结果。一方面周围层状云持续不断地向积雨云供应水汽和小水滴,使得嵌入的积雨云降水时间长、强度大;另一方面,嵌入的积雨云对层状云有自然播撒作用,使得层状云亮带厚,降水强度也比较大,而锋上水汽供应持续充沛,因而积层混合云降水持续时间较长,总降水量较大。黑龙江省出现的大范围大雨或暴雨和连阴雨往往是这类回波造成的,表现的回波形式则为絮状。当降水加强时,回波的结构由片絮状向块絮状转化,“0℃层亮带”变得不清晰。反之,降水减弱时回波从块絮状变化成片絮状。在积层混合云中,层状云的下沉水汽为积状云提供丰富的水汽条件,混合云中进入积状云的是饱和空气,增加了水汽凝结从而释放更多的潜热,导致上升气流的加强以促进对流云的发展,同时积状云与周围空气交换引起的水分蒸发显著减小,因此混合云中的积状云生存的时间较长。

积层混合云中的积雨云回波顶多在 10 km 以上,层状云则以 8 km 为最多,都越过-20℃层以上的低温层,负温层厚,故易形成降水。积层混合云降水的形成与发展过程,实际上是积云不断新生、发展、降水后演变为层积云的过程。在有利的天气系统内积层混合云降水能长时间维持,这是由于积云单体不断新生、发展、并入积层混合云主体的结果。

在积层混合云强降水回波区前进方向的右侧(有的在后部),不断有积云新生、发展、并入主体回波,从而使得强降水可以长时间维持在一个地区,造成该地区特大暴雨。在产生暴雨的积层混合云中,层状云降水区中有许多对流云回波,对流回波区和径向速度场所反映的中尺度辐合线与中尺度对流云团演变关系密切。

中低层的中尺度切变线、中尺度气旋等中尺度扰动是混合型暴雨的三维动力特征。

1.2.1 混合性降水回波强度特征

混合性降水的特征表现为在比较大的范围内,回波边缘破碎,没有明显的边界,层状云回波中镶嵌着一个个密实的团块,强度可达 40 dBz 或其以上,有时强回波团块整齐排列可形成一条短带。

图 1.4 是一次混合云降水实例,本次降水过程受低涡影响,地面倒槽维持加强,偏南气流提供水汽条件,造成在黑龙江省境内 6 h 的最大降水量达 54 mm。

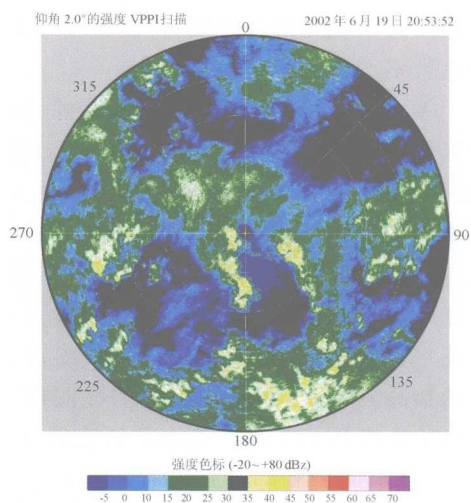


图 1.4 混合云降水回波 PPI 图

图 1.5 大片的稳定性层状云回波中夹杂着一块块密实的单体,团块强度在 40 dBz 以上,面积较小。混合云中夹杂的对流单体生存时间很长,这是由于层状云的降水气流为对流云提供了大量的水汽条件。图 1.6 仍有密实的对流单体夹杂在稳定的层状云回波中,层状云与对流云相互影响,互惠互利。

在 RHI 上,混合云表现为在均匀的层状云高度上柱状回波高低起伏地镶嵌其中,在对流云消亡阶段,柱状回波与层状云回波合在一起,有时出现连续性回波和对流性回波共存的特征,即零度层亮带与柱状回波共存。

图 1.7(a)上在 100 km 处的对流云呈柱状,回波顶高达 11 km 以上,强度达 50 dBz 以上,出现云砧,说明混合云中的对流云发展成熟,在 100 km 以内 3 km 左右的高度上已有零度层亮带出现的趋势,说明整个云体逐渐趋于稳定;图 1.7(b)上在 2 km 左右的高度上有明显的风向切变,在距离 100 km 处的对流云,有明显的风暴顶辐散现象。

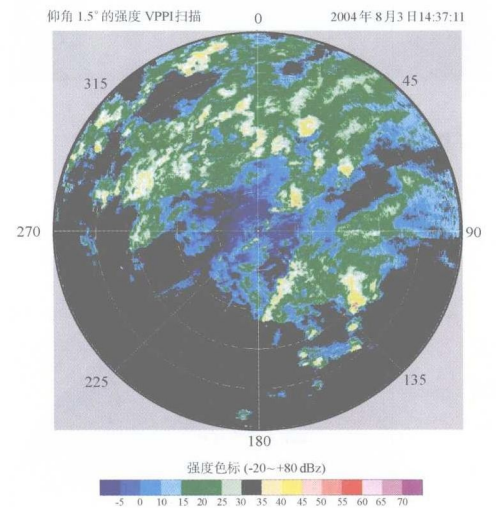


图 1.5 混合云降水回波

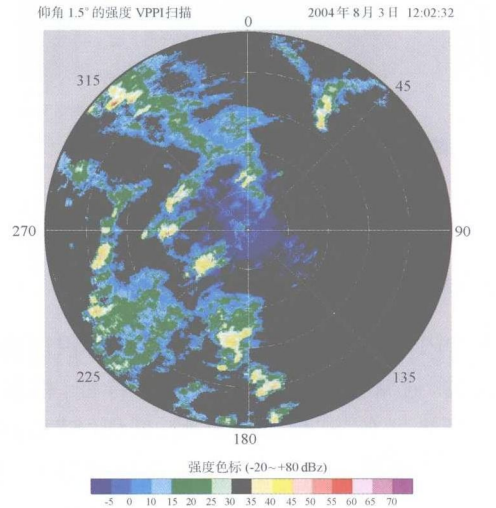


图 1.6 混合云降水回波

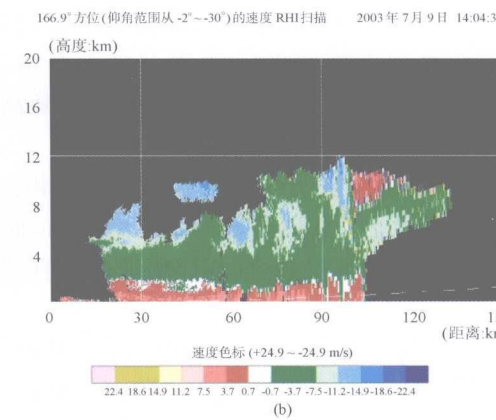
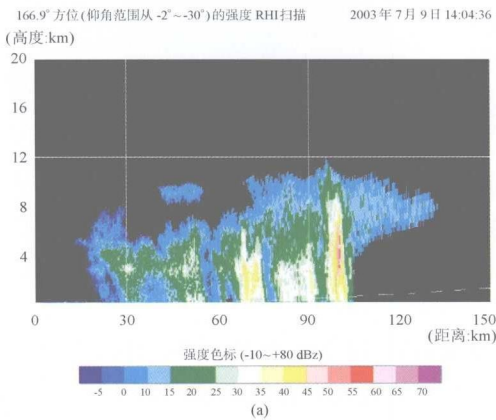


图 1.7 混合云降水回波 RHI 图
(a)强度图;(b)速度图

见图 1.8, 在距离测站小于 40 km 的范围内, 回波的强度达到 40 dBz 以上, 回波呈柱状结构, 为对流性降水回波。而在大于 40 km 的范围内回波强度较弱, 分布较均匀, 为层状云降水回波。

见图 1.9, 在 110 km 范围内的回波强度较弱, 分布均匀, 回波顶平整, 为层状云降水回波。而在 120 km 处可见减弱了的对流云, 强度仍然很强, 但强中心在 3 km 高度附近的区域。

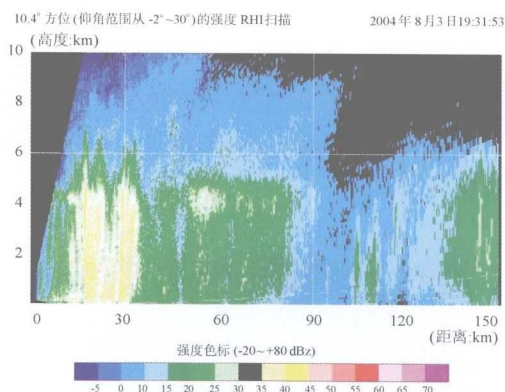


图 1.8 混合云降水回波 RHI 图

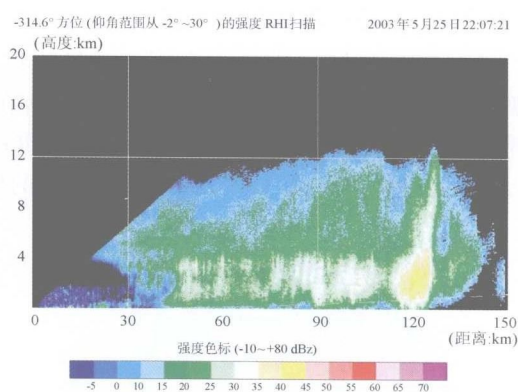


图 1.9 混合云降水回波 RHI 图

1.2.2 混合性降水回波径向速度特征

在 PPI 径向速度回波中, 大面积的积层混合云降水回波, 通常有比较稳定的速度特征, 根据不同的天气形势可有“S”型、反“S”型、低层“S”型高层反“S”型、零速度线折角、风场的辐合辐散等不同的速度特征, 而在对流云降水回波的区域会出现对流云的结构特征, 即存在“逆风区”和辐合辐散等现象。

图 1.10 为“S”型回波结构。从零速度线上分析, 是明显的“S”型, 说明风向随高度顺时针旋转, 从低层到高层有暖平流存在; 从风速上分析, 在靠近测站地区形成了速度“牛眼”, 说明风速随高度先增加再减小, 后速度又增加。

在 RHI 径向速度回波中, 有明显的层状云特征及对流云特征, 在层状云处为稳定的结构, 而在对流云处则表现出低层辐合、高层辐散的垂直结构特征。

图 1.11(a) 在 100 km 处的对流云呈柱状, 回波顶高在 11 km, 强度为 50 dBz, 出现云砧, 混合云中的对流云已发展成熟; 图 1.11(b) 在 2 km 左右的高度上有风向切变, 2 km 以下风向正速度, 而 2 km 以上负速度, 距离雷达站 100 km 处的对流云, 在 8~11 km 处有风暴顶辐散现象, 此处的对流云发展旺盛, 而其右侧出现了云砧。

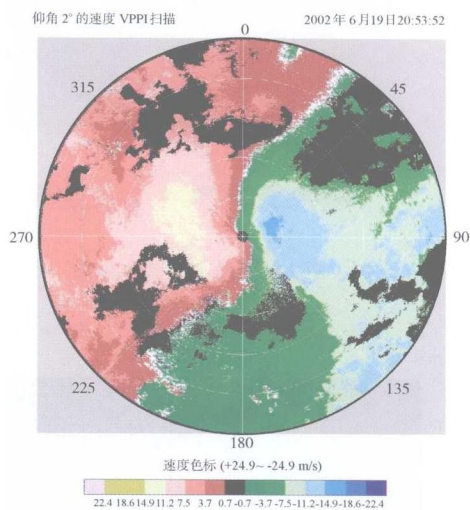


图 1.10 混合云降水回波 PPI 图