

新一代天气雷达 产品应用技术

论文集

柴秀梅 / 主编

2005—2010



气象出版社

China Meteorological Press

顾问 李 柏 文

新一代天气雷达产品应用技术论文集

(2005—2010)

主 编 柴秀梅
副主编 杨金红 杨洪平
潘新民 吴 蕾

 气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

本书主要从历年来雷达气象学委员会征集的论文中,筛选出具有业务使用或科学研究价值的优秀文章,这些文章大多来自基层台站的气象工作者的手笔,涵盖了新一代天气雷达在近几年发生的灾害性天气发生发展成因、预报难点、预报技术等方面的应用情况,提出了可供预报业务借鉴的预报着眼点和结论,基本上反映了自1998年开始建站以来我国新一代天气雷达的应用情况和技术发展水平。

该书可作为气象台站预报人员进行业务经验交流使用,也可作为雷达台站机务人员、科研人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新一代天气雷达产品应用技术论文集(2005—2010)/柴秀梅主编. —北京:气象出版社,2011.2

ISBN 978-7-5029-5175-7

I. ①新… II. ①柴… III. ①气象雷达-文集
IV. ①TN959.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 027034 号

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://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:陈爱丽 汪勤模

封面设计:陈振博

印刷:北京中新伟业印刷有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:704千字

版次:2011年12月第1版

印数:1—1000

定价:70.00元

邮政编码:100081

发行部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印张:27.5

印次:2011年12月第1次印刷

序

天气雷达是监测、预警突发性灾害性天气有效的手段之一。无论是天气雷达网的建设,还是天气雷达技术的开发与研究均取得了长足的发展和进步,并在灾害性天气监测和预警方面发挥了重要作用。

2004年10月,雷达气象学委员会的正式成立,为促进我国雷达气象与气象雷达技术的发展提供了一个重要的平台,为广大雷达气象工作者与雷达技术人员、预报员的交流与沟通提供了一个宽广的空间和舞台。从2005年起,雷达气象学委员会独立举办了3届学术年会,同时,还多次参加中国气象学会学术年会,共同筹办气象学会学术年会大气探测分会场。在每届学术会议上,与会者聚集一堂,总结和深入交流,研讨科研成果,极大地促进了我国雷达气象学的学术与应用的发展。本书收录的内容全部来自2005—2010年雷达学术年会征集到的论文,共计54篇。内容包括:暴雨、强冰雹、龙卷、飑线雷雨大风、台风等的多普勒天气雷达监测和预警学术论文。这些论文大都出自基层台站业务人员的笔墨,基本上反映了我国新一代天气雷达近年来的业务应用情况和研究水平。我衷心希望,雷达气象学委员会继续在推动新一代天气雷达学术交流及产品应用方面发挥引领与示范作用,在我国雷达气象学学科的发展上作出更大的贡献。



2011年2月

目 录

序

2010 年

- 北京城区两次突发性强对流暴雨的对比分析..... 王令 段丽 王国荣(1)
- 形成持续性暴雨的三种回波系统 刘娟(11)
- “3.5”闽北罕见冰雹过程 CINRAD 回波特征 余建华 邱泉成 刘东鸣等(19)
- 强对流天气在风廓线产品上的前兆特征分析 唐熠(24)
- “09.11”冀南特大暴雪的多普勒雷达特征分析..... 宋晓辉 李菊香 聂振玲等(32)
- 一次突发性暴雨的前兆特征分析 柴东红 侯瑞钦 李国翠(39)
- 初春降水多相态转化成因及雷达回波分析 陈瑞敏 张立霞 王颀(45)
- “蓝金”模式在华北一次冷涡强降水中的应用 匡顺四 王丽荣(53)
- “20090719”致灾冰雹的多普勒雷达回波特征分析 吴春霞(58)

2009 年

- 奥运气象服务中的短时预报及预警 王令 丁青兰 卞素芬等(65)
- 一次强对流天气的闪电雷达特征分析 李姝霞 王永铎 王其英等(75)
- 强降水引发柳州“7.5”洪水的多普勒雷达产品分析..... 廖秋慧(81)
- 天山北坡一次强对流风暴 Doppler 雷达回波演变特征分析 秦春明 赵俊荣(89)
- 用多普勒雷达资料识别雹暴的形成和演变..... 赵瑞金(102)

2008 年

- 一次阵风锋触发的局地强冰雹天气过程分析..... 毕旭 刘慧敏 刘勇(114)
- 利用 CINRAD/SA 雷达制作雷雨大风临近预报和预警 丁青兰 王令 卞素芬等(121)
- 京津及邻近地区暖季强对流风暴的气候分布特征..... 韩雷 俞小鼎 郑永光等(129)
- 多普勒雷达产品对重大灾害性天气特征分析..... 李新芳(137)
- 一次大范围大风天气多普勒雷达资料特征分析..... 刘从省 彭双姿 戴宇等(145)
- 雷达观测的渤海湾海陆风辐合线与自动站资料的对比分析
..... 卢焕珍 赵玉洁 剑小鼎等(151)
- 重庆 2008 年 7 月 21 日飑线过程天气分析..... 牟容 余君(160)
- 一次典型降雹过程 CINRAD/SB 雷达资料分析 邵伟军 严红梅 钱华峰(168)
- 一次飑线过程的多普勒雷达资料分析..... 王宏 马凤莲 王万筠(173)
- 多普勒雷达分析我国华东地区登陆台风轴对称降水特征..... 吴丹 赵坤 余晖等(180)

- 一次冰雹大风天气的多普勒雷达回波特征分析..... 项阳(193)
- “浣熊”台风的多普勒雷达风场结构和移动路径研究..... 颜文胜 梁健 莫伟强(199)
- CINRAD/CC 雷达资料在丽江冰雹探测中的应用研究..... 张崇莉(207)
- 新一代天气雷达对一次暴雨的监测和应用..... 张一平 王国安 牛淑贞等(214)
- 准噶尔盆地南缘一次冰雹天气的形成机理分析..... 赵俊荣 王存亮 杨景辉(221)
- 石家庄地区反射率因子垂直廓线特征分析..... 赵瑞金 张沛源 史锐等(229)
- 一次苏皖龙卷的多普勒雷达分析及其成因分析..... 周后福 张建军 贾天山(238)
- 2007 年天津地区连续降雹多普勒雷达回波特征分析 朱晓晶 卢焕珍 赵玉洁等(247)

2006 年

- 北京地区夏季对流风暴雷达气候的研究..... 王令 丁青兰 陈明轩等(254)
- 弱冰雹云雷达回波结构特征的分析..... 张晰莹 张礼宝 安英玉等(268)
- 基于多部新一代天气雷达产品的突发强对流天气监测预警系统研究与应用 郑媛媛 李劲 方翀等(276)
- 上海“050628”一次强对流天气过程的特征与成因分析..... 杨露华 邬锐 傅洁(283)
- 一次飑线天气过程多普勒雷达产品分析及临近预报..... 丁青兰 李靖(292)
- 鹰潭市两次强对流天气过程雷达资料分析..... 桂园园(299)
- 一次强对流天气综合分析..... 吉惠敏 康凤琴 冀兰芝等(306)
- 一次飑线型“弓”型回波的多普勒雷达特征分析..... 李冬梅 刘婉丽 魏海茹等(315)
- CINRAD/CC 对一次冰雹云特征的探测..... 李新麟 刘明(321)
- 冰雹指数剖析及在灾害性强降水预报中的应用..... 邵玲玲 黄宁立 江旭东等(329)
- 一次低涡切变暴雨过程的多普勒雷达资料分析..... 施碧霞 郑礼新 张立多(337)
- 淮北强龙卷天气新一代天气雷达产品分析及在临近预报中的应用..... 孙建印(347)
- 多普勒雷达径向速度资料在对流天气预报中的应用..... 王丽荣 胡志群 汤达章等(355)
- 鲁北地区强对流风暴 CINRAD 气象产品统计特征分析 吴书君 王凤娇 任钟冬(363)
- 应用云图和多普勒雷达速度场讨论台风“珍珠”与冷空气的相互作用 颜文胜 江瑛 谌志刚(370)
- 台风“麦莎”螺旋带回波追踪与实时降水估测分析
- 温州雷达临近预报系统研究试验..... 赵放 冀春晚 吴孟春(378)
- 雷达产品在台风“珍珠”暴雨落区预报中的应用..... 郑礼新 张少丽(386)
- 强烈雹暴“三体散射”的多普勒天气雷达分析..... 朱敏华 俞小鼎 夏峰等(394)

2005 年

- 哈尔滨 0710 局地短时暴雨的 CINRAD/CC 回波特征分析 张晰莹 安英玉 吴英等(404)
- 一次强风暴的 CINRAD/SA 雷达产品特征分析 刁秀广 杨晚霞 朱君鉴等(412)
- 一次城市超级风暴单体的特征分析..... 胡胜 谢健标 顾松山等(419)
- “艾利”热带风暴多普勒雷达定位方法的探讨..... 吴陈锋 魏应植 魏锦成(429)

北京城区两次突发性强对流暴雨的对比分析

王 令 段 丽 王国荣

(北京市气象台, 北京 100089)

摘 要 利用常规天气图、BJ-ANC 系统的北京区域雷达拼图和 VDRAS 风场、地面自动站、垂直风廓线、卫星云图等多种新型探测资料, 对 2009 年 7 月 13 日和 2008 年 8 月 14 日发生在北京城区的两次突发性强对流局地暴雨天气的影响系统和中尺度系统进行了对比分析。结果表明: (1) 造成的灾害大致相当两次暴雨过程, 北京都处于南支槽前西南暖湿气流顶端, 西南气流对水汽的输送十分有利; 对流层中低层都存在切变辐合, 高度有所不同; 暴雨发生期间都有冷空气侵入, 冷空气影响路径有所不同。(2) 从雷达回波结合自动站观测数据的分析表明: 两场暴雨初始的时间地点、空间分布有差异, 但是雨强最大的地点是 β 中尺度对流回波发展最强的地点。(3) 两场暴雨的中尺度风场差异较大, 但暴雨的 β 中尺度对流系统的发生发展都与 1000 m 以下的中尺度辐合中心有密切联系。(4) 造成两场暴雨雷达回波在移动方向、速度等受高空引导气流的影响存在差异。(5) 初始回波的生成位置在低空暖湿气流的前沿。(6) 通过对两次暴雨的水平风垂直廓线的比较分析可以看出, 这两次过程的降水机制有很大不同。“713”暴雨是前倾槽的结构, 冷空气从高空下沉, 造成上层干冷, 下层暖湿的层结, 使得对流发展; “814”暴雨是锋面结构, 冷空气从近地面楔入暖空气(东南风)之下, 造成暖湿空气被抬升, 使对流发展。这些分析结果可以在未来北京城区突发对流性暴雨的预报预警中作为预报着眼点。

关键词 强对流 暴雨 卫星云图 雷达拼图 VDRAS 风场 风廓线

1 引言

受观测条件限制, 20 世纪 80 年代以前我国暴雨研究重点是大尺度环流和天气尺度降水系统。当时发现暴雨在一定程度上也是中尺度现象, 是几种不同尺度天气系统相互作用的结果^[1]; 此后, 孙淑清等研究了低空急流与暴雨发生的关系^[2,3]。随着近 20 年来大型科学试验和重点研究与攻关项目的带动, 对我国暴雨的研究不断深入, 不断揭示出暴雨系统发生发展的机理及其物理过程。1999 年启动的“973”项目利用野外科学试验资料, 获得了一系列成果, 发展了长江中下游梅雨锋暴雨的多尺度结构模型^[4,5]。北京处于华北地区, 加上大城市下垫面、特殊地形的作用, 与长江流域的梅雨锋暴雨有所不同, 经常以局地性、突发性出现。2004 年王令等收集了两年的强天气个例雷达回波资料, 并结合每小时地面自动站雨量资料进行对比分析, 表明在多普勒径向速度图上, “辐合点”、“中气旋”图像特征的出现有利于局地暴雨发生^[6]。随着奥运气象服务工作的开展, 极大推动了北京地区多种探测资料的应用研究和业务化进程。

实时获取的高时空分辨率的地面自动站资料、北京及周边的多普勒雷达数据、卫星云图、风廓线数据等,不仅为北京地区暴雨预报预警提供信息,而且为暴雨观测分析和研究提供科技支撑。郭虎等对 06731 北京奥体中心局地暴雨和 0679 香山局地大暴雨的精细分析^[7,8],赵玮、王建捷等 2006 年 7 月 31 日和 8 月 1 日北京地区接连两场暴雨进行的分析^[9],丁青兰等对 2007 年 7 月 10 日、13 日的局地暴雨中的地形和边界层辐合线的分析^[10],都使用这些高时空分辨率的资料,试图揭示北京暴雨的中小尺度特征及边界层的动力条件。BJ-ANC 系统以北京周边雷达资料和数值预报为基础,同化多种探测产品,经过模糊逻辑算法的运算,给出多种实时产品和短时临近预报产品^[11]。本文利用 BJ-ANC 系统的多部雷达拼图和 VDRAS 风场产品、风廓线雷达资料和地面自动站等多种新型高时空密度(时间分辨率 ≤ 1 小时,空间分辨率 ≤ 20 km)探测资料,结合天气形势对 2008 年 8 月 14 日和 2009 年 7 月 13 日(以下简称 8.14 和 7.13)发生在北京城区附近的 2 次突发暴雨过程进行分析和对比,试图揭示在大的不同天气尺度系统影响下,北京城区的突发暴雨的中尺度天气系统差异和相似性,并尝试为夏季突发对流性暴雨预警提供着眼点。

2 两次暴雨的实况

2009 年 7 月 13 日,15—21 时出现了暴雨,北京城区南部雨量较大。一小时最大雨量出现在玉泉营,15—16 时 65.8 mm。降水出现在上下班高峰期,造成了南三环、四环交通拥堵。斋堂气象站记录冰雹直径 4 mm,《北京晚报》报道,位于北京城区东部的四惠桥附近有冰雹。出现雷暴大风的自动站有:16:07 新发地(丰台区) 17.9 m/s,16:30 古观象台(东城区) 18.7 m/s,16:31 岳各庄(房山区) 17.1 m/s,16:46 丰台(丰台) 17.6 m/s。这次过程市气象台分别于 15:17、15:31 发布了雷电、暴雨临近预警信息。

2008 年 8 月 14 日正值北京奥运会期间,北京城区出现了突发性局地暴雨,根据北京自动站 5 分钟资料显示,降水从 10:50 开始,18:00 基本结束。一小时最大雨量出现在大兴,11—12 时降雨量 51.1 mm,11:35 出现 19.1 m/s 的极大风速。12:56—13:05 海淀气象站记录冰雹直径 6 mm。11:30、11:47 分别发出雷电、暴雨临近预警信息。

这两次过程的降雨实况相似之处在于降水初期都有突发的特点,伴有雷电、局部冰雹、局部雷暴大风。局部过程最大雨量达到了暴雨量级(75、85 mm)。7.13 城区降雨最早出现在新发地,雷暴大风出现在新发地,最大雨强出现在玉泉营,这两个地面自动站都位于北京西南四环附近,直线距离约 2 km,因此,可以说暴雨是 β 中尺度强对流系统造成的。8.14 的 1 小时最大雨强出现在大兴,雷暴大风出现在大兴,也是一次 β 中尺度强对流天气。分析降雨性质后认为,这两次暴雨都是突发性的强对流暴雨。图 1a、b 示出根据北京自动站记录绘制的两次过程的降水分布情况。从降雨空间分布情况看,8 月 14 日降雨的强中心更接近于山前区,城区为次中心,而 7 月 13 日降雨的强中心为北京市区,山前区为次中心。

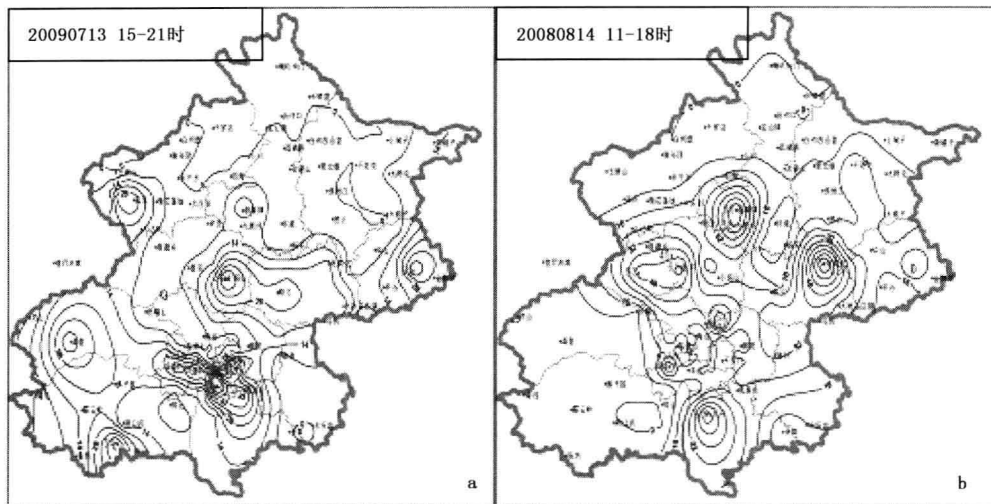


图1 2009年7月13日15—21时(a)、2008年8月14日11—18时(b)过程雨量分布图

3 两次暴雨的天气形势对比

2009年7月13日08时500 hPa(图2a)中纬度地区锋区分南北两支。南支槽区宽广,槽线位于山西北部—陕西西南部,北京、河北处于南支槽前和副高西北边缘的西南暖湿气流顶端,西南气流对水汽的输送十分有利。2008年8月14日08时降水前500 hPa(图2b)南支锋区与090713形势相似,槽线也是位于山西北部—陕西西南部,北京地区处于南支槽前西南气流顶端,西南水汽输送同样很有利。在这样有利的水汽输送条件下,北京地区两次暴雨过程降水前层结和温湿条件都对不稳定对流的生成和发展很有利。两次过程降水前2009年7月13日08时和2008年8月14日08时 T - $\ln P$ 图显示(图略)降水前北京地区近地面湿度都很大,对流层中上部600~350 hPa均有深厚的高湿高能层;K指数分别达到32℃和27℃,850 hPa

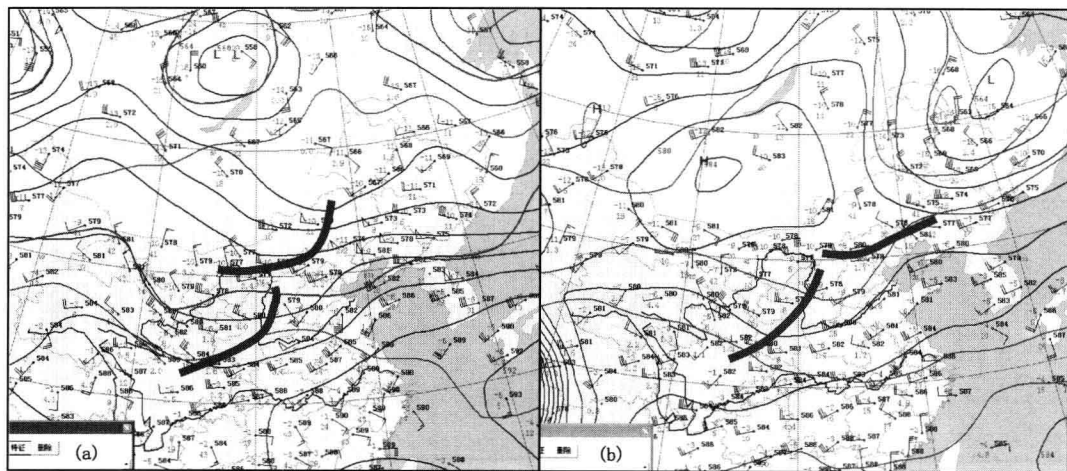


图2 2009年7月13日08时(a)、2008年8月14日08时(b)500 hPa形势

与 500 hPa θ_w 之差分别为 8.9℃ 和 1.6℃, 沙氏指数为 -4.5℃ 和 -1.4℃。这些条件显示, 北京地区中低层气团在外力作用下一旦产生抬升, 很容易获得能量, 触发对流的发展。

进一步分析两次暴雨过程降水前高空形势。两次过程中暴雨发生期间都有冷空气侵入。但冷空气影响条件有所不同。2009 年 7 月 13 日 08 时 500 hPa(图 2a)北支锋区在北京及河北北部以北的内蒙古中东部地区, 槽线超前于南支锋区槽线。冷空气从西北方向影响北京(同时间 700 hPa 北京上游为西北冷平流, 图略)。而 2008 年 8 月 14 日 08 时 500 hPa(图 2b)北京以北受蒙古高压东南部和东北冷槽后部东北气流控制。冷空气自东北方向影响北京(同时间 700 hPa 为东北冷平流, 图略)。

图 3a、b 分别是 2009 年 7 月 13 日 08 时 850 hPa(图 3a)和 2008 年 8 月 14 日 08 时 700 hPa(图 3b)高空图。图中显示两次过程降水前北京地区上空对流层中低层都存在切变辐合。090713 暴雨前暖式切变辐合主要出现在 850 hPa, 2009 年 7 月 13 日 08 时 850 hPa 沿着 40°N 山西北部—北京是一条西南风与偏东风的切变辐合线(图 3a)。080814 暴雨前的暖式切变辐合层次较高, 主要在 700 hPa。2008 年 8 月 14 日 08 时 700 hPa 40°N 山西北部—北京为西南风与东南风的切变辐合(图 3b)。中低层的这种切变辐合是暖湿空气对流形成的动力源。

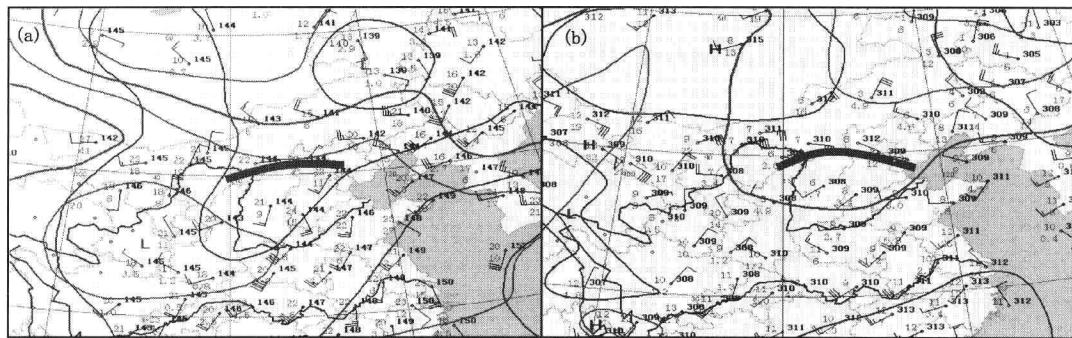


图 3 2009 年 7 月 13 日 08 时 850 hPa 形势(a)、2008 年 8 月 14 日 08 时 700 hPa 形势(b)(BT)

图 4a、b 分别是 090713 和 080814 暴雨降水前地面形势。2009 年 7 月 13 日 08 时(图 4a)华北地区地面受低压系统控制, 而 2008 年 8 月 14 日 08 时华北大部在高压系统影响中。很显然, 两次暴雨过程地面影响系统完全不同。

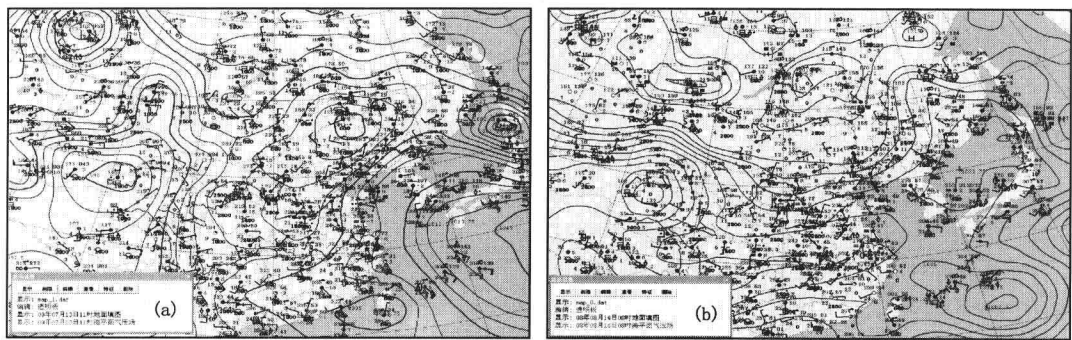


图 4 2009 年 7 月 13 日 08 时(a)、2008 年 8 月 14 日 08 时(b)地面形势(BT)

可见,090713 和 080814 两次暴雨过程高空天气形势和地面影响系统有相当差异,但在西南暖湿气流输送、冷空气楔入(西北或是东北)、中低层切变辐合、本站温湿不稳定等基本对流发展条件方面是一致的,都十分有利于北京地区对流不稳定的发生和发展。

4 中尺度系统的分析比较

4.1 两次暴雨发生前 VDRAS 风场比较

为北京奥运气象服务需要,北京市气象局引进了 NCAR 开发的一套综合 0~1 h 临近预报系统——Auto Nowcaster (ANC),在 ANC 的基础上,通过调整参数、改进算法、开发新模块和新算法等一系列研究工作,建立北京地区的对流天气自动临近预报系统(BJ-ANC)。其中模块之一:对流边界层特征同化反算法(VDRAS),利用云尺度数值模式和它的伴随模式对雷达资料进行四维变分同化分析,获取对流边界层的三维风场和温度场结构。

选取暴雨出现之前,不同高度的 VDRAS 风场进行比较。图 5 是 2009 年 7 月 13 日 14:59 多层 VDRAS 风场与北京、天津、张北、石家庄、秦皇岛、承德 6 部雷达组合反射率拼图的叠加。

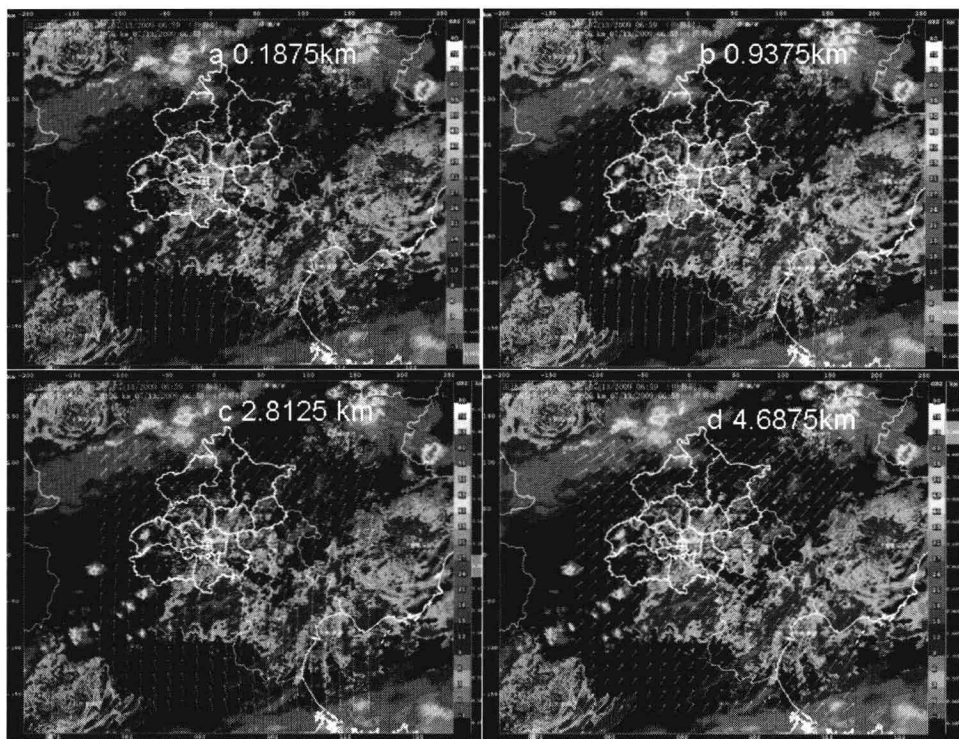


图 5 2009 年 7 月 13 日 14:59 多层 VDRAS 风场与北京、天津、张北、石家庄、秦皇岛、承德 6 部雷达组合反射率拼图的叠加。图 5a~5d 的风场高度分别为 0.1875 km、0.9375 km、2.8125 km、4.6875 km。图中白色小箭头为 VDRAS 风矢量,箭头的方向指示风的方向,风矢的长度代表风速在同一张图中的相对大小。图 5a 的粉红色圆圈指出在 187 m 高度风速辐合的位置

图 5a~5d 的风场高度分别为 0.1875 km、0.9375 km、2.8125 km、4.6875 km。图 5a 的粉红色圆圈指出在 187 m 高度风速辐合的位置,在北京城区以南偏南风风速较大,城区及城区北部偏南风风速较小。随着高度增加,偏南风风速逐渐趋于一致,并在 4600 m 的高度上转为一致的西南风。从图 5a 可以看出在风速辐合线上对流正在发展。

图 6 是 2008 年 8 月 14 日 09:53 多层 VDRAS 风场与北京、天津、张北、石家庄雷达组合反射率拼图的叠加。图 6a~6d 的风场高度分别为 0.1875 km、0.5625 km、0.9375 km、3.1875 km。图中白色小箭头为 VDRAS 风矢量,箭头方向指示风的方向,风矢的长度代表风速在同一张图中的相对大小。图 6a 的粉红色圆圈指出在 187 m 高度风向辐合的位置,在这个部位以北为偏北风,东部为偏东风,南部为西南风,而西部的风速很小。说明该时刻在北京城区南部近地面有一个宽度 10 km 左右,直到北京西部山区的辐合带。从多层的配合来看,北京城区东部,在 1000 m 高度以下,以东北风为主,而北京西部山区则以偏北风为主,北京南部有西南风。2000 m 高度风向开始向偏南风转(图略),到 3000 m 高度(图 6d)北京受偏南气流控制,在北京北部表现为风向辐散。在图 6a 所示的辐合区于 10:41 开始出现对流回波。

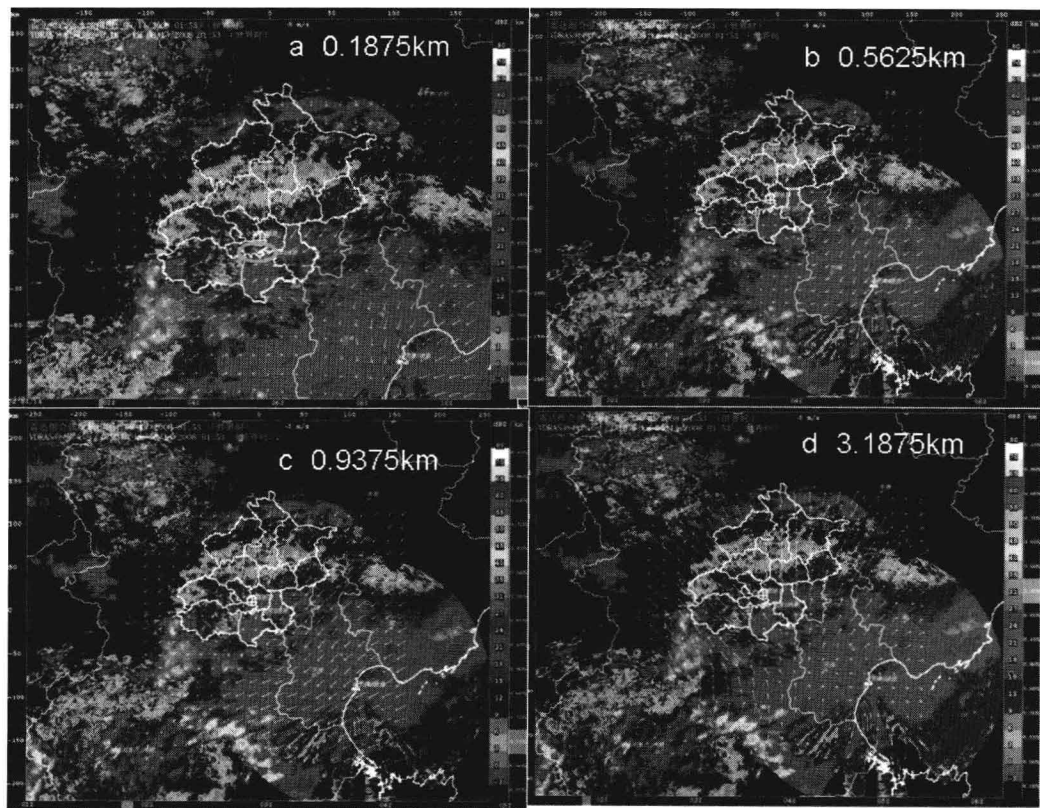


图 6 2008 年 8 月 14 日 09:53 多层 VDRAS 风场与北京、天津、张北、石家庄雷达组合反射率拼图的叠加。图 6a~6d 的风场高度分别为 0.1875 km、0.5625 km、0.9375 km、3.1875 km。图中白色小箭头为 VDRAS 风矢量,箭头的方向指示风的方向,风矢的长度代表风速在同一张图中的相对大小。图 6a 的粉红色圆圈指出在 187 m 高度风向辐合的位置

通过暴雨出现前的 VDRAS 风场比较,可以看到:1000 m 高度以下,2009 年 7 月 13 日低

空风场的风向为偏南风,城区附近有偏南风的风速辐合;2008 年 8 月 14 日为东北风、东风和西南风三个风向在城区附近汇合。高空风的配置也完全不同,但是暴雨的雷达初始回波都出现在 1000 m 高度以下的中尺度辐合线偏南暖湿气流的前沿。

4.2 暴雨发生前雷达组合反射率拼图的比较

图 5a、图 6a 的色斑分别显示了 2 次暴雨开始前 BJ-ANC 系统的雷达组合反射率拼图。图中粉红色圆圈指示了未来暴雨最初发生的位置。图 5a 中显示 2009 年 7 月 13 日 14:59 北京以北对应于 700 hPa 切变线有一条东北—西南向的对流回波带,长度 100 km,宽度 30 km,强度 50 dBZ,向东移动。北京以南有散乱的弱回波向偏北方向移动。在这些弱回波的前部,即 1000 m 高度以下偏南风的风速辐合线上对流回波迅速发展。从 14:42 回波出现到 15:24 发展成强度 55 dBZ 的成熟回波单体,仅用 40—50 分钟时间。且新生回波强度比南、北两侧的回波强,高度达到 11 km。

图 6a 显示 2008 年 8 月 14 日 09:53 北京北部有一条强度 30 dBZ 以下的东西向带状回波,长 100 km,宽 30 km;在北京西南方向河北境内有 40 dBZ 的对流复合体。根据 6 分钟一次的雷达组合反射率拼图资料动态分析可知(图略):北部的回波受 1000 m 高度附近东北气流的引导向西南方向移动,南部的回波受 3000 m 高空气流引导向东北方向移动,移动速度均在 30 km/h 以下。这两部分回波从移动方向、强度分布和形状上可以分辨出分别对应于两个不同的中尺度天气系统。两个中尺度回波系统的相对而行促使了中间地带的辐合加强,使辐合区于 10:41 产生了对流回波,11:17 对流回波强度达到了 50 dBZ,新生对流回波的强度大于南、北两侧回波的强度,高度达到 12 km,11:30 暴雨随之开始。

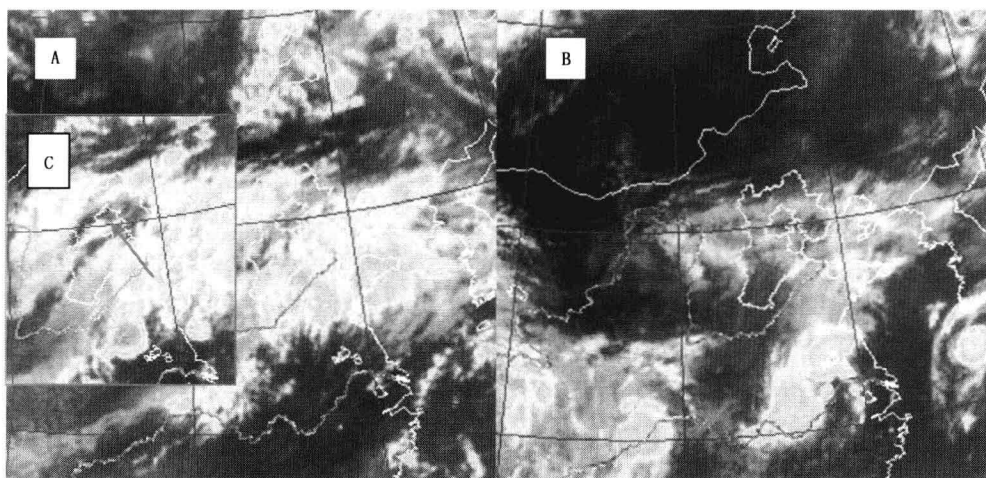


图 7 风云 2C 红外云图,A 为 20090713 的 13:00 云图,B 为 20080814 的 11:00 云图,
C 为 20090713 的 16:00 云图,蓝色箭头指示晴空区 14:00 以后发展的对流云

4.3 暴雨发生前卫星云图的比较

卫星云图资料已经广泛用于暴雨预报中^[12]。从图 7 中可以看出:两次城区短时暴雨之前,华北上空都被大范围云系覆盖,云的分布、高低、结构都有较大差别,但是在北京城区上空

留有云缝,为地面晴空或少云区。14:00 之前受太阳高度角变化的影响,辐射增温,是地面温度上升的时段,这时晴空区比多云区地面温度上升快(地面自动站温度显示云缝之下为高温区,图略)。由于晴空区地面温度较周围温度高,造成了晴空区对流不稳定能量的增加。在 16:00 的云图上(图 7C),晴空区 14:00 之后发展起来的对流云清晰可见。

通过图 5a、图 6a 雷达组合反射率拼图和图 7 红外卫星云图的分析,比较中尺度回波系统和新生回波位置,可以得出:新生回波出现在原有南北两个回波系统之间的晴空区、低空 1000 m 以下暖湿气流的前沿。这里动力条件、水汽条件和热力条件都非常有利;新生的产生暴雨的对流回波强度都达到 55 dBZ 以上,强度大于南、北两侧原有系统的强度;回波顶高度都达到 11 km 以上,高于原有回波系统;回波从新生到发展形成暴雨用了大约 40 分钟的时间。

5 风廓线雷达探测揭示暴雨形成机制

利用架设在南郊观象台的风廓线雷达的水平风速图形产品,能够清楚地反映出水平风廓线随时间的变化规律。图 8 为水平风垂直分布廓线图,图 8 中横坐标上的紫色直线表示降水时段,紫色直线的宽度表示降雨量的相对大小。横坐标的时间轴从右向左推移。纵坐标表示距离雷达天线的高度。图 8a 是 2009 年 7 月 13 日 11—23 时、图 8b 是 2008 年 8 月 14 日 08—20 时,间隔 6 分钟的水平风垂直廓线图。

5.1 “713”暴雨过程的水平风垂直廓线的演变

“713”降水前 13:12, 2 km 高度以下的西南风迅速向上扩展, 3 km 高度以上的西南风加大, 到 14:30 两层西南风打通, 形成从地面到 8 km 高度上的一致西南气流, 10~13 km 是西南急流, 达到 40 m/s。降水是偏南风从低向高扩展, 两层偏南风打通后开始的。降水阶段, 开始时近地面为西南风, 上部偏南风迅速加大, 直冲 10 km 高度。风廓线的探测高度, 从 12 km, 突增到 16 km。16:30, 1.5~3.0 km 之间有偏北风插入, 降水云出现中层冷入侵的对流特征。降水最强的阶段, 出现了低层西南风加大, 中空西北气流插入的对流混合现象, 10 km 以上的高空出现了西南风转西北风的变化。18:30 降水开始减弱, 有偏北风逐渐从 8 km 附近向下传播, 风速逐渐加大, 当北风接近地面(1000 m 以下)时, 降水结束。从图 8a 的水平风变化, 可以得到“713”局地暴雨出现在风切变上, 垂直风廓线探测的水平风高度达到 16 km, 持续时间约 6 小时。从降水阶段水平风的垂直分布变化来看, 风切变具有前倾槽的结构。降水最强阶段 3 层偏南风结构被打通。偏北风的影响从高空向地面伸展。

5.2 “814”暴雨过程的水平风垂直廓线的演变

从图 8b 中“814”降水的水平风垂直廓线看到, 09:00 左右出现近地面到 2000 m 高度东南风上传, 10:00 近地面有偏北风楔入, 到 12:30 整齐的东南风下部, 有偏南风和偏北风交汇结构。13:00 开始东北风整齐地插入到东南风的下部, 直到降水结束, 东北风的高度稳定在 3000 m 以下。3500 m 在降水期间一直保有一层东风, 在 6000~7000 m 高度上, 11—18 时之间可以分析出有一个波动, 8 km 以上为西南风急流。从 9:00—18:00 的风廓线变化可以看出:降水时由于东北方向的冷空气插入东南暖湿气流之下, 形成锋面结构, 暖湿空气被抬升造成了对流性降水。

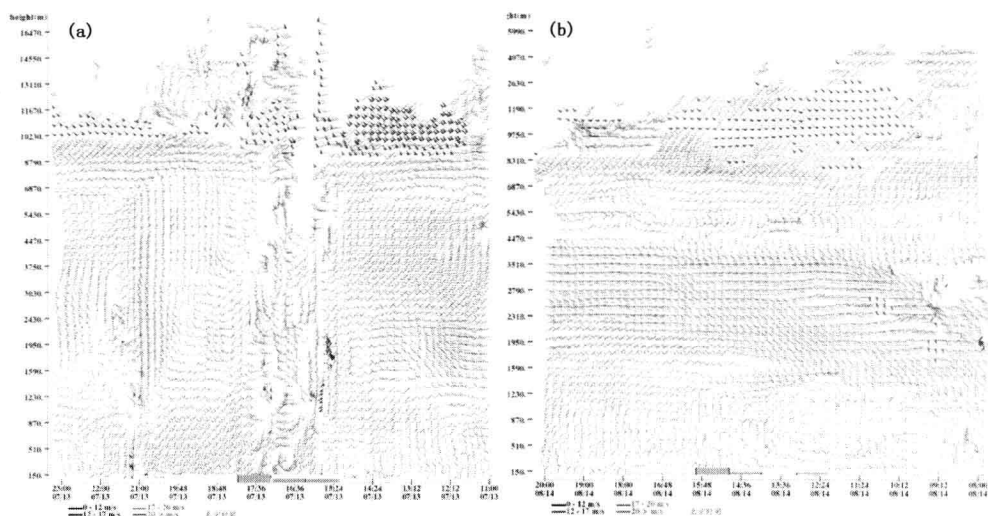


图 8 架设在北京南郊观象台的水平风垂直分布廓线图

(a)是 2009 年 7 月 13 日 11—23 时、(b)是 2008 年 8 月 14 日 08—20 时,间隔 6 分钟的垂直风廓线图

通过对两次暴雨的水平风垂直廓线的比较分析可以看出,这两次过程的降水机制完全不同。冷空气的来源不同,“713”的冷空气来源于偏北方向,而“814”的冷空气来源于东北方向。冷空气的高度不同,“713”的冷空气从高空入侵,降温从高空开始,“814”的冷空气高度低,在地面到 3 km 之间。冷空气造成对流机制不同,“713”的冷空气从高空下沉,造成上层干冷,下层暖湿的层结,使得对流发展;“814”的冷空气,从近地面楔入暖空气(东南风)之下,造成暖湿空气被抬升,产生凝结,释放潜热,使对流发展。

6 总结

通过对地面自动站、天气图、卫星云图、雷达回波拼图、VDRAS 风场和风廓线雷达资料的对比分析,“713”和“814”两次北京城区短时暴雨的形成机制有许多相同之处,但是还存在很大差异。从天气图上分析,造成的灾害大致相当两次暴雨过程,北京都处于南支槽前西南暖湿气流顶端,西南气流对水汽的输送十分有利;对流层中低层都存在切变辐合,高度有所不同;暴雨发生期间都有冷空气侵入,冷空气影响路径有所不同。但是在西南暖湿气流输送、冷空气楔入、中低层切变辐合、本站温湿不稳定等基本对流发展条件方面是一致的,都十分有利于北京地区对流不稳定的发生和发展。从本地其他探测资料进行中尺度分析表明:在卫星云图上,覆盖华北的大片云系中云的分布、高低、结构都有较大差别,但是两次过程在北京城区上空留有云缝,使地面有利于增温,不稳定条件进一步加强。在 VDRAS 风场中,两次暴雨之前中尺度风场结构完全不同,但是回波新生于偏南(西南、东南)暖湿气流的前沿。在 6 部雷达回波拼图上,两次暴雨回波的移动方向、分布等不同,但是产生暴雨的 β 中尺度回波强度、高度都大于原有回波的强度、高度,都是强对流回波,且回波新生到形成暴雨仅用了 20~40 min 时间。通过对两次暴雨的水平风垂直廓线的比较分析可以看出,这两次过程的降水机制有很大不同,“713”是前倾槽结构,“814”是锋面的后倾结构。“713”的冷空气从高空入侵,降温从高空开始,

造成上层干冷,下层暖湿的层结,使得对流发展;814 的冷空气从近地面楔入暖空气(东南风)之下,造成暖湿空气被抬升,使对流发展。

通过北京两次城区短时暴雨的对比分析认为,在有利的天气形势背景下,暴雨回波更容易在中尺度系统的扰动下突发。由此可以得出预报着眼点是:①两个云系之间的地带,如卫星云图上出现云缝、雷达回波分为两片,且相对移动,则在这个无雨的区域里冷暖空气交汇,更容易形成对流不稳定;②偏南暖湿气流的前沿,由于水汽条件在暖湿气流中更容易满足,而暖湿气流的前沿还具备动力、热力扰动条件,因此,要特别关注低空流场的切变和辐合;③关注水平风的垂直廓线,当低空急流加强,或有扰动生成,高空有波动等,都预示着天气可能会转变。

今后还要通过更多的个例分析来验证 VDRAS 风场资料和风廓线雷达资料在暴雨预报中的使用价值。

参考文献

- [1] 中国科学院大气物理研究所集刊. 暴雨及强对流天气的研究[M]. 北京:科学出版社, 1980, 117-161.
- [2] 孙淑清, 马廷标, 孙纪改. 低空急流与暴雨相互关系的对比分析[J]. 气象学报, 1979, **37**(4): 36-44.
- [3] 孙淑清, 翟国庆. 低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用[J]. 大气科学, 1980, **4**(4): 327-337.
- [4] 倪允琪, 周秀骥. 中国长江流域中下游梅雨锋暴雨形成机理及监测与预测理论和方法研究[J]. 气象学报, 2005, **63**(3): 647-661.
- [5] 刘黎平, 阮征, 覃丹宇. 长江流域梅雨锋暴雨过程的中尺度结构个例分析[J]. 中国科学(D 辑), 2004, **34**(12): 1193-1201.
- [6] 王令, 李晓燕. 北京短时局地暴雨多普勒天气雷达观测分析[J]. 气象科技, 2005, **33**(s1): 53-57.
- [7] 郭虎, 段丽, 卞素芬, 等. 利用加密探测产品对“06731”北京奥体中心局地暴雨结构特征的精细分析[J]. 热带气象学报, 2008, **24**(3): 219-227.
- [8] 郭虎, 段丽, 杨波, 等. 0679 香山局地大暴雨的中小尺度天气分析[J]. 应用气象学报, 2008, **19**(3): 265-276.
- [9] 赵玮, 王建捷. 北京 2006 年夏季接连两场暴雨的观测对比分析[J]. 气象, 2008, **34**(8): 3-14.
- [10] 丁青兰, 王令, 卞素芬. 北京局地降水中地形和边界层辐合线的作用[J]. 气象科技, 2009, **37**(2): 152-155.
- [11] 陈明轩, 俞小鼎, 谭晓光, 等. 对流天气临近预报技术的发展与研究进展[J]. 应用气象学报, 2004, **15**(6): 754-763.
- [12] 方宗义, 覃丹宇. 暴雨云团的卫星监测和研究进展[J]. 应用气象学报, 2006, **17**(5): 583-593.

形成持续性暴雨的三种回波系统

刘 娟

(安徽省阜阳市气象局, 阜阳 236001)

摘 要 综合使用雷达反射率因子场、径向速度场和 VAD 风廓线的分析技术, 对预报实践中归纳出的形成持续性暴雨的三种回波系统做了分析, 找出暴雨临近预报的着眼点。

关键词 持续性暴雨 三种雷达回波系统

1 引言

形成暴雨的基本原理^[1~2]是具备高的降雨强度(I)和长的降雨持续时间(D), 就产生大的总降雨量(P), $P=I \times D$ 。在有利的天气形势背景下, 凡是能够形成高的降雨强度和长的降雨持续时间的雷达回波系统, 都有利于形成暴雨, 具体表现为:

- (1) 相对狭窄的强回波带和列车效应相结合;
- (2) 移动缓慢的涡旋状回波结构;
- (3) 多条平行短带和列车效应相结合;
- (4) 强降雨超级单体。

其中, 强降雨超级单体以其超高的降雨强度在很短的时间内形成暴雨, 也称为雨暴, 往往伴随风灾发生。而前三种是形成持续性暴雨的雷达回波系统, 是本文所要研究的。

2 强回波带和列车效应相结合形成暴雨

反射率因子场分析得到, β 中尺度回波系统和暴雨中心相联系。在低层切变线天气系统的作用下, 往往形成 β 中尺度的狭窄而密集的强回波带, 由于回波带上单体或回波团的移动方向和回波带走向一致或者夹角较小, 这样高强度降雨持续影响某站, 就形成大暴雨。这种移动特征称之为列车效应。所形成的暴雨区呈狭窄带状分布, 和周围降雨量悬殊很大。

2005 年 7 月 7 日形成颍上县大暴雨的雷达回波就是这种系统(图 1)。强对流回波带并不宽, 仅 30 km 左右, 带上单体聚合在一起, 没有缝隙, 最强 55~60 dBZ, 大部分 45~55 dBZ, 最大 1 小时雨强 55 mm, 1 小时就达到暴雨, 4 小时达到 100 mm 以上, 形成大暴雨。从连续跟踪观测可知, 回波带整体呈东西走向, 带上单体和回波团沿着回波带自西向东移动相继影响颍上站, 高强度降雨持续 7 小时, 形成了大暴雨, 暴雨区的分布和 45 dBZ 以上强回波带基本对应。

2007 年 7 月 7 日 20 时—8 日 20 时在安徽省沿淮淮北地区出现了一条东西向带状分布