

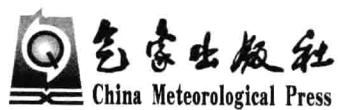
天气预报技术文集 (2012)

中国气象局预报与网络司 编

天气预报技术文集

(2012)

中国气象局预报与网络司 编



内容简介

本书收录了 2012 年 3 月在重庆召开的“2012 年全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会”上交流的文章 64 篇,第一部分为暴雨,第二部分为强对流、暴雪、台风,第三部分为预报技术方法及其他灾害性天气。

本书可供全国气象、水文、航空气象等部门从事天气预报的业务、科研人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

天气预报技术文集. 2012/中国气象局预报与网络司编.
北京:气象出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-5029-5663-9

I. ①天… II. ①中… III. ①天气预报-文集 IV. ①P45-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 320069 号

Tianqi Yubao Jishu Wenji (2012)

天气预报技术文集(2012)

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.cma.gov.cn>

责任编辑:张锐锐 李太宇

封面设计:王伟

责任校对:华鲁

印刷:北京京华虎彩印刷有限公司

开本:787 mm×1092 mm 1/16

字数:600 千字

版次:2012 年 12 月第 1 版

定价:78.00 元

邮政编码:100081

发行部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印张:23.5

印次:2012 年 12 月第 1 次印刷

编者的话

2012年3月,中国气象局预报与网络司、重庆市气象局和国家气象中心在重庆市共同组织召开了“2012年全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会”。

此次会议召开前,我们组织各基层单位对报送的文章进行了严格筛选,其后收到了来自国家气象中心、国家卫星气象中心、各省(区、市)气象局、民航气象中心、总参气象中心等40余家单位推荐的论文224篇,内容涉及台风、暴雨、强对流、雾、沙尘等各类灾害性天气的总结分析和新资料、新技术、新方法的应用。经过专家评审,从中挑选出92篇文章参会交流。会后经过与会专家的认真审定,又从中选取了64篇文章汇编成本文集。

由于水平有限,加之时间紧迫,难免有疏漏之处,请读者指正并提出宝贵意见。

编 者

2012年6月

目 录

编者的话

第一部分 暴 雨

南岳高山站风场对湖南两例不同类型暴雨过程的指示作用·····	叶成志 陈静静 傅承浩(1)
山东省三次强降水的对比分析·····	杨晓霞 吴 炜 刁秀广等(7)
2011年梅雨期湖北三次暴雨过程对比分析·····	郭英莲 王继竹 李才媛(13)
2011年北京两次夏季强降水成因对比分析·····	寿亦萱 覃丹宇 许健民等(17)
上海地区2010年两次台风倒槽暴雨的对比分析·····	施春红 刘 飞 刘晓波等(21)
一次暴雨过程中不同区域降水性质的差异分析·····	何 军 张 勇(26)
渭河流域2011年9月16—19日致洪暴雨的诊断分析·····	沈姣姣 徐 虹(32)
广州一次秋季大暴雨成因及对流云团分析·····	王 刚 梁蕾蕾 刘 峰(37)
北京623暴雨过程的诊断分析及加密探测资料的应用·····	李 靖 郭金兰 孙秀忠等(46)
广东前汛期暴雨与500 hPa关键区准双周振荡的关系·····	纪忠萍 谷德军 吴乃庚等(52)
重庆地区“8.4”双雨带暴雨过程分析·····	李 强 陈贵川 王 中等(58)
一次暴雨过程中低层风速脉动作用的诊断和模拟·····	肖递祥 肖 丹 周长春等(62)
一次台风远距离暴雨中尺度对流系统的多尺度分析·····	张雪晨 郑媛媛 姚 晨等(67)
一次区域大暴雨 β 中尺度对流涡旋系统特征分析·····	东高红(73)
2008年广西致洪暴雨过程的位涡诊断分析·····	邓 飞 葛晶晶 宋书民(78)
浙江2011年梅汛期一次暴雨过程的数值模拟研究·····	周玲丽(87)
地形影响一次福建省低涡大暴雨的数值模拟研究·····	石纯芳 葛晶晶 高 艺(92)
海南岛后汛期非台特大暴雨环流特征分析·····	冯 文 符式红 吴 俞等(100)
“110729”山西区域暴雨成因分析·····	杨 东 苗爱梅 郭媛媛(106)
梅雨期两场大暴雨过程对比分析·····	王啸华 王 易 宗培书等(111)
纬向切变线暴雨落区的精细化分析·····	孙兴池 王西磊 周雪松(117)

第二部分 强对流、暴雪、台风

“米雷”台风路径东折的成因分析·····	梁 军 张胜军 张黎红等(123)
1109超强台风“梅花”强度及路径异常的分析·····	余丹丹 李 就 聂 锋等(129)
光流法对“梅花”期间500 hPa高度场预报的检验释用·····	朱智慧 黄宁立 浦佳伟(134)
强台风“纳沙”路径及强度特点分析·····	李天然 舒锋敏 杨才文等(140)

超强台风“梅花”路径特点分析及空军 T511 模式预报效果评价	张友姝 王廷芳 洪 凯(145)
应用高分辨时空资料对北京地区一次非典型初雪的分析	孙秀忠 付宗钰 郭金兰 等(151)
内蒙古东北地区致灾大到暴雪天气分析	孟雪峰 孙永刚 姜艳丰(157)
2011 年 3 月新疆中天山北麓暴雪天气诊断分析	万 瑜 窦新英(163)
4.15 贵州冰雹大风天气成因分析	吴古会 彭 芳(168)
“8.8”舟曲强对流天气分析	杨建才 王建兵 吉慧敏(174)
“417”超级单体风暴的物理量和雷达资料诊断分析	庞古乾 刘运策 伍志方 等(179)
初冬区域强对流的可预报性和物理机制分析	郭 艳 许爱华(184)
两个锋面对流系统的个例对比分析	金米娜(190)
东北冷涡背景下吉林省冰雹天气中分析及概念模型	孙鸿雁 王晓明 云 天 等(195)
鄂东地区冰雹雷达回波特征分析	吴 涛 钟 敏 张家国 等(201)
与超级单体风暴相伴随的宜昌强对流天气分析	汪应琼 王仁乔 李 芳 等(207)
青海东部地区两次强对流天气过程对比分析	海显莲 徐 亮(212)
2011 年 6 月 23 日北京地区雷暴天气诊断分析	陈 磊 李林堂 李 毅(217)
2011 年北京一次飚线雷雨天气的中尺度分析	董海萍 郭卫东(220)
山东“2011·4·29”强雹暴天气诊断研究	吕新刚 周志强 薄 冰 等(227)
一次高架雷暴天气过程分析	张 吉 陶 岚 漆梁波(237)
“1111”热带气旋“南玛都”特大暴雨成因分析	林 毅 刘爱鸣 潘 宁(242)
秋末冬初雨转暴雪和暴雪天气过程对比分析	王晓明 云 天 孙鸿雁 等(247)
一次辽宁强降雪过程切变线的动力诊断	蒋大凯 乔小湜(253)

第三部分 预报技术方法及其他灾害性天气

我国冻雨和冰粒天气的探空资料分析	漆梁波(258)
一次强降温过程的降温降雨分布特征及成因	邓承之 江玉华 周 通(263)
2011 年 9 月华西秋雨特征及成因分析	蔡蓂宁(268)
2011 年春夏长江中下游地区旱涝急转特征及发生原因的分析	王 凤 孙即霖 吴德星 等(273)
湿位涡和垂直螺旋度在暴雨数值预报中的应用研究	宋书民 巩曰芝 邓 飞(281)
能量螺旋度等大气环境参数在北京一次罕见暴雨预报中的应用	康建伟(291)
强降水客观概率预报产品在两次对流过程中的应用分析	田付友 郑永光 谌 芸(297)
风廓线雷达资料在灾害性天气预报中的应用综述	宋巧云 孙成云 梁 丰(302)
支持向量机方法在热带气旋强度预报中的应用	顾锦荣 焦海军(306)
内蒙古数值预报集成方法汛期暴雨业务试验	宋桂英 韩经纬 张 戈 等(314)
基于自动观测资料的自动确定飚过站时间的研究	谭明艳 莫静华 李 程(319)
T639 和 WAFS 产品对贵阳机场辐射雾预报能力的对比分析	刘贵萍 李跃春(323)

黄海夏季海雾的边界层结构特征及其与春季海雾的对比·····	任兆鹏 张苏平(329)
冬季地面降水相态的判别研究 ·····	余金龙 朱红芳 邱学兴 等(335)
诱发哈尔滨机场 9·9 风切变的阵风锋特征及成因分析·····	····· 赵 凯 钟 伟 赵毅菲 等(341)
云南 2011 年盛夏两次低槽切变降水天气的对比分析 ·····	牛法宝 杨素雨 张秀年 等(347)
GPS 可降水量资料在暴雨预报模型改进中的应用 ·····	苗爱梅 郝振荣(351)
利用加密自动站和 VDRAS 产品对雷暴下山变化趋势的初步分析 ·····	····· 郭金兰 王 令 郭 锐 等(357)
沿岸海区风预报质量检验分析·····	杨 静 尹尽勇 王海平(363)

第一部分 暴雨

南岳高山站风场对湖南两例不同类型暴雨过程的指示作用

叶成志 陈静静 傅承浩

(湖南省气象台,长沙 410007)

摘 要

从季节变化和年际变化等方面入手论证南岳高山站资料对对流层低层环流场的代表性,进而分析其风场特征对 2011 年 6 月湖南两例不同类型暴雨过程的指示作用。结果表明:湖南处在南岳高山站风场资料与全球再分析资料的年际相关、季节内相关大值区的中心附近,高相关区始终位于各季节盛行风的下风方,夏半年资料的相关性好于冬半年,其中又以夏季(6—8 月)为最好;南岳高山站风场的逐时演变特征较好地指示了湖南强降水雨带的移动和强度变化,在低涡冷槽型强降水过程中,若南岳高山站风场持续南风,则强降水区一般位于湘中以北,南压后迅速减弱,其风速增强、减弱对强降水发生、发展、减弱有 4~6 h 的提前量指示作用。当南岳山风场由南风转为北风时,其转折时刻对强降水区东移南压有 4 h 左右的提前预报量。

关键词:南岳高山站风场 资料代表性 降水指示作用

引言

南岳高山气象观测站(27.30°N,112.70°E)为全国 7 个高山气象观测站之一,地处湖南省中部的风景名胜区南岳山望日台,观测场海拔高度 1265.9 m,接近自由大气底部。1952 年建站,同年 11 月开始一天 4 个时次降水、风、能见度、云、气压等气象要素的常规气象要素观测,站址从未发生变动,近 60 年记录齐全。从 2005 年开始,实行一天 24 个时次的自动逐时观测。该高山站可对其所在高度代表的对流层低层环流进行连续监测,其逐时观测资料具有比探空资料更高时间分辨率的气象要素变化描述,能反映对流层低层风场的时变特征^[1~3],对其下游地区的强降水发生、发展具有重要的指示作用^[4,5]。同时,南岳山地处青藏高原东侧,东临西北太平洋,其特殊的地理位置,导致影响系统较多,受西风带槽脊活动影响频繁。此外,该山脉受东亚夏季风影响特别明显,其观测资料在一定程度上可反映东亚季风环流的特征,且处于我国夏季降水日变化位相转变的关键区^[6]。在目前探空站资料时空分辨率不足以满足精细化预报要求时,高山站资料是个重要的补充。本文从季节变化和年际变化等方面入手论证南岳高山站资料对对流层低层环流场的代表性,进而分析其风场特征对 2011 年 6 月湖南两例不同类

资助项目:中国气象局 2011 年气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2011M35)、中国气象局 2012 年预报员专项(CMAYBY2012-039)。

型暴雨过程的指示作用,旨在揭示该资料在短时临近预报中的重要指示意义,为政府决策、防灾减灾提供更多、更好的技术支撑和参考依据。

1 南岳高山站风场资料的代表性分析

1.1 年际代表性

分析 1954—2009 年南岳高山站平均风速与 NCEP/NCAR 再分析风场资料的年际相关系数可知(图略),高相关区位于长江中下游及华南沿海地区,该区域内南岳高山站平均风速与 NCEP/NCAR 再分析风场资料的相关系数 ≥ 0.4 ,相关性通过了 0.01 的显著性水平检验。湖南省大部分地区的相关系数 ≥ 0.5 ,处于高相关区的中心附近。

1.2 季节内代表性

春季(3—5 月),我国大陆主要受西风带系统和西南暖湿气流的影响,盛行偏西风,南岳高山站平均风速与 NCEP/NCAR 再分析风场资料的高相关区位于冷暖气流交汇的长江流域及西南地区东部(图 1a),相关系数在 0.4~0.6,高相关区呈准东—西向分布,湖南位于高相关区中心附近;夏季(6—8 月),东亚夏季风向北推进^[7],我国中东部地区受西南季风控制,高相关区范围扩大,呈东北—西南向分布(图 1b),相关系数在 0.4~0.7,湖南位于高相关区中心西侧;进入冬半年(9 月—次年 2 月,图 1c、1d)我国大部分地区受东北冷涡背景下的偏东北气流影响,高相关区范围明显缩小,西退南压至西南地区东部,相关系数减小到 0.3~0.4。由此可见,夏半年南岳高山站平均风速与 NCEP/NCAR 再分析风场资料的相关性好于冬半年,其中又以夏季为最好。高相关区始终位于各季节盛行风的下风方,夏半年湖南处于高相关区的中心附近区域。

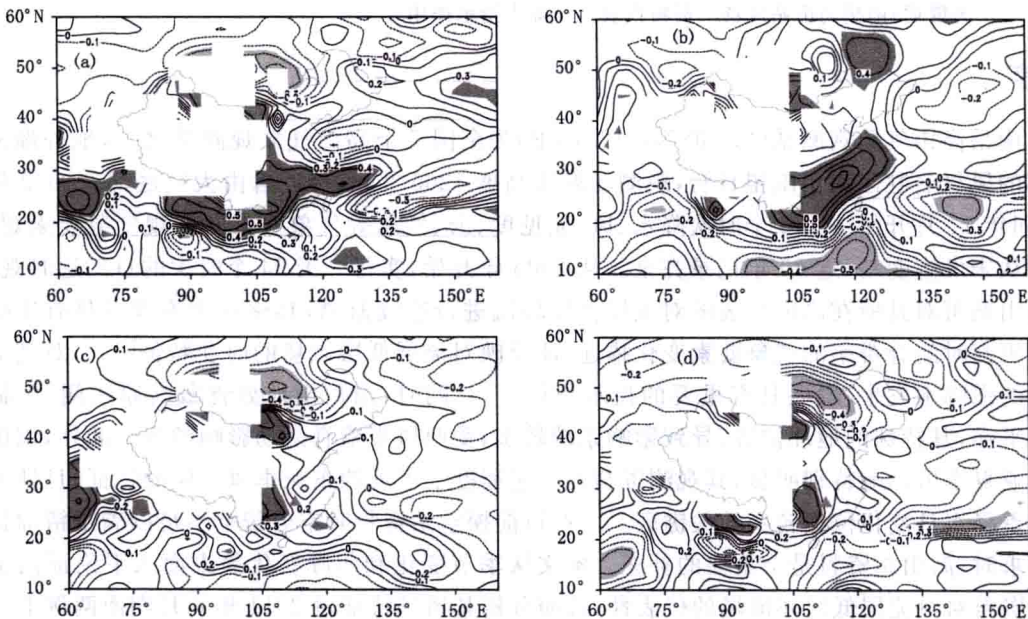


图 1 春(a. 3—5 月)、夏(b. 6—8 月)、秋(c. 9—11 月)、冬(d. 12 月至次年 2 月)南岳高山站平均风速与 NCEP 850 hPa 季节平均风速的相关系数(阴影区为通过了 0.01 显著性水平检验)

2 2011年湖南两例暴雨过程概况及主要影响系统

2.1 “6·9”暴雨过程概况

2011年6月9—11日,湖南出现了该年首场大暴雨天气过程,强降水区主要位于湘中以北。6月9日08时—12日08时全省平均降水量为45.2 mm,加密自动站中24 h降水量为50~99.9 mm的乡镇有590个,100~249.9 mm的乡镇有238个,超过250 mm的乡镇有5个,其中过程最大降水量出现在位于临湘市贺畈站,为275.6 mm。此次过程具有降水不均匀、局地降水强度大、致灾性强等特点,中尺度对流性降水特征明显。受其影响,湖南省内共计455个乡镇、361万人口受灾,因灾死亡36人,直接经济损失达22.18亿元。

2.2 “6·9”暴雨过程的主要影响系统

9日20时高原东部有低槽东移(图2a),槽底较偏北。副高呈带状分布,脊线位于 $20^{\circ}\sim 23^{\circ}\text{N}$,西伸脊点在 115°E 附近,其位置有利于水汽向江南和华南输送。700 hPa切变位于鄂西南—湘西北,850 hPa切变与700 hPa基本重合,并有低涡与之配合。地面倒槽发展,辐合线位于湘西—湘东北,湘西的降水开始发展;之后低槽移动迅速,10日02时500 hPa槽线呈东北—西南向,850 hPa低涡随之东移至湘东北地区。同时,地面有冷空气侵入倒槽中,诱发地面气旋波发展,该区域降水骤然增强,并伴有雷暴等强对流天气发生;10日08时500 hPa低槽移至武汉—怀化一线,700 hPa和850 hPa切变东移南压速度有所加快,但位相依然落后于500 hPa槽线。此外,在暴雨发生期间,200 hPa南压高压位于中南半岛北部,湖南大部受高压东北部西北气流控制。副热带急流位于 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$,江南处于副热带急流右侧的西风气流和南压高压东北的西北气流下,高空气流逐渐发散,尤其是湖南省东北部位于高空急流和南压高压的边缘,处在分流地带,高空辐散尤其强盛。综上所述,此次过程高空低槽径向度较大,系统配置从500 hPa到对流层低层基本处于陡立状态,为典型的前倾槽特征,则在其槽区及其后方最容易产生对流性暴雨。低槽移动速度快,仅12 h左右的时间,随着低槽东移出境,湖南降水也逐渐减弱消失。

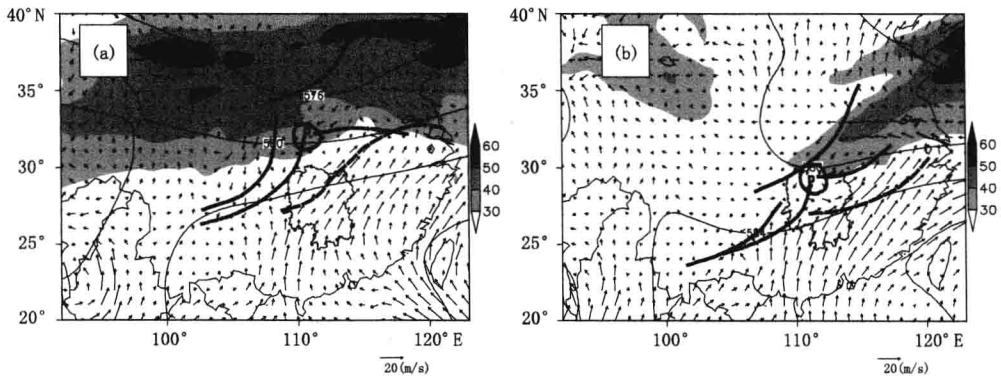


图2 2011年6月9日20时(a)和14日20时(b)主要影响系统综合图

(细实线为500 hPa高度场,单位:dagpm,粗实线为500 hPa槽线,点虚线为850 hPa低涡和切变线,长虚线为地面辐合线,箭矢为850 hPa风场,阴影为200 hPa高空急流,单位:m/s,省界内为湖南区域)

2.3 “6·13”暴雨过程概况

6月13—15日,湖南自北向南出现了一次区域性强降雨过程。除湘东南地区之外,全省

普降暴雨,部分地区降大暴雨。6月13日08时—16日08时,全省平均降水量63.4 mm,共计829个乡镇累积降水量为50~99.9 mm,356个乡镇累积降水量为100~200 mm;此次过程具有降水持续时间较长、降水分布较均匀且面雨量较大等特点,共造成312个乡镇、63.12万人受灾,直接经济损失达4.58亿元。

2.4 “6·13”暴雨过程的主要影响系统

13日20时,高原槽发展东移,700 hPa急流建立,急流前缘位于湘北,850 hPa湘北有暖式切变,且其北侧出现了东南急流,建立了一支来自东部洋面的水汽通道,湘西北和湘北的强降水自14日凌晨开始发展;14日08时,500 hPa低槽东移至鄂西南—黔西,700 hPa西南急流进一步加强,850 hPa湘北的暖式切变转变为冷式切变,长沙和怀化探空站850 hPa的风速均超过了20 m/s,此时湘西北和湘北的降水均达到最强;14日20时(图2b),高原槽东移分裂为南北两支,北支快速东移,南支东移过程中向南加深发展。副高有所东退,中低层西南急流前缘和低涡切变线均有所南压,强降水随之南压,呈东北—西南向位于湘中和湘西南地区,即地面辐合线附近;15日08时,湘北转受500 hPa槽后偏西北气流控制,湘南地区受高空槽尾部和减弱南压的中低空切变影响,降水开始发展,但强度不强。

3 南岳高山站风场对湖南两例不同类型暴雨过程的指示作用

从影响系统分析,“6·9”和“6·13”暴雨过程均属于湖南典型的低涡冷槽型降雨,但从两次过程期间南岳高山站的逐时风场演变来看,前一次过程南岳高山站的风场为持续偏南风,而后一次过程则是南风转北风。下文将分析南岳高山站风场演变的不同特征对两次过程降雨预报的指示意义。

3.1 南岳高山站风场对“6·9”暴雨过程的指示作用

“6·9”暴雨过程中,南岳高山站为持续的西南风。强降雨主要在湘中及其以北地区,其中又以湘东北和湘中的雨强最强,湖南西部(湘西北和湘西南)降雨较弱,湘东南无明显降雨,雨带移动呈现东移为主,南压后快速减弱的态势。

6月9日19时南岳高山站西南风速加大到12 m/s(图3a),达到了中低空急流的标准,9日19—23时,该风速维持在12~14.7 m/s;9日23时以前,湘北无明显降雨,10日00时该区域逐小时面雨量达到了8.33 mm,南岳高山站西南风速达到急流标准的时刻较湘北降雨加大的时刻提前了5 h。10日04—05时,南岳高山站西南风速由12.1 m/s迅速增大到19 m/s,强降雨区北抬移出湖南,05时后,湘北的强降雨开始减弱。10日05—06时,南岳高山站西南风速由19 m/s迅速减小到14 m/s,随后该风速进一步减小,强降雨区则随之有所南落,湘中一带的降水自10日07时开始明显加强。

“6·9”暴雨过程中,低层持续的西南风使得强降雨区位置偏东、偏北。由此可见,南岳高山站风速的逐小时变化特征较好指示了雨带的移动和强度变化,当南岳山主导风为南风时,且风速大小在一定阈值内,其风速大小与湘西北、湘北的强降水量级有较好的相关性,当超过某个阈值,则相关性明显减弱;西南风速达到急流标准的时刻较湘北强降雨开始的时刻提前了5 h。

3.2 南岳高山站风场对“6·13”暴雨过程的指示作用

“6·13”暴雨过程中,南岳高山站由强劲的西南风转为弱西北风。除湘东南的雨强较弱

外,强降雨在其他各区域分布较均匀,雨区自北向南发展。

6月13日22时南岳高山站西南风速加大到12 m/s(图3b),13日22时—14日02时,该风速维持在11.9~13.1 m/s,14日03时,即南岳高山站风速达到急流标准后5 h,湘西北和湘北的降水同时开始加强;14日03时之后,西南风速持续增大,07时西南风风速达到了18.3 m/s,10时湘西北和湘北的降水同时明显减弱。14日21时,西南风风速由20时的11.2 m/s剧减到5.4 m/s,湘中和湘西南地区的降水3 h后同时开始加强(15日00时)。15日05时,南岳高山站西南风转为弱西北风,湘中和湘西南地区的降水减弱南压,08时,湘东南的降水增强。由此可见,“6·13”暴雨过程中,南岳高山站风场的变化对各区域降雨加强和雨区自北向南移动有3~5 h的提前指示作用,西南风转为西北风的时刻较雨区南压提前了3 h。

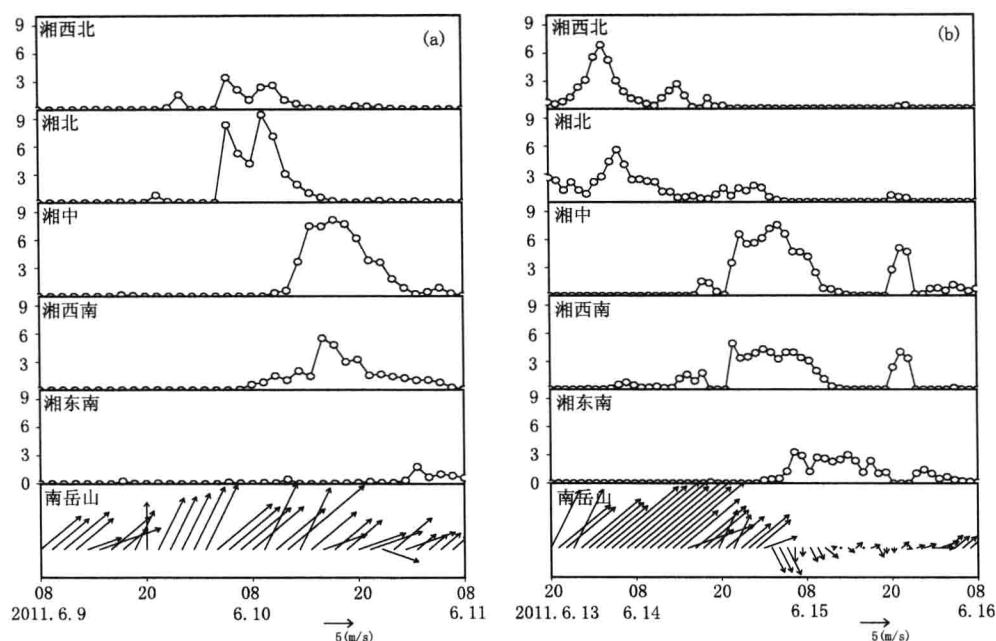


图3 2011年6月9—11日(a)和6月13—15日(b)全省分区逐时雨量(mm/h)与南岳高山站逐时风场

4 结论与讨论

(1) 南岳高山站海拔高度接近对流层自由大气的底部,且受环境变化影响小,其气象要素在年际变化、季节变化等方面能够代表对流层低层自由大气的基本环流状况并合理地反映其关键特征,具有良好的资料代表性。

(2) 南岳高山站风速的逐小时变化特征较好指示了湖南省强降水雨带的移动和强度变化,在低涡冷槽型强降水过程中,若南岳高山站风场持续南风,则强降水区一般位于湘中以北,南压后迅速减弱,其风速增强、减弱对强降水发生、发展、减弱有4~6 h的提前量指示作用。当南岳山风场由南风转为北风时,其转折时刻对强降水区东移南压有4 h左右的提前预报量。

(3) 本文仅通过两个个例探讨了南岳高山站不同风场特征对湖南强降水落区和强度的指示作用,其相应研究成果转化成具有扎实理论基础的业务指标和概念模型还需进行大量个例的统计分析,并在业务应用中不断提炼与订正。

参考文献

- [1] Yu R C, Li J, Chen H M, Diurnal variation of surface wind over central eastern China. *Climate Dynamics*. 2009,**33**:1089-1097.
- [2] Chen H, R Yu, J Li, W Yuan, T Zhou. Why nocturnal long-duration rainfall presents an eastward-delayed diurnal phase of rainfall down the Yangtze river valley. *Journal of Climate*, 2010,**23**: 905-917.
- [3] Yuan W, R Yu, H Chen, *et al.*, Subseasonal characteristics of diurnal variation in summer monsoon rainfall over central eastern China. *Journal of Climate*, 2010,**23**: 6684-6695.
- [4] 陈静静, 叶成志, 陈红专, 等. “10·6”湖南大暴雨过程 MCS 的环境流场特征及动力分析. 暴雨灾害, 2011,**30**(4):107-114.
- [5] 叶成志, 李昀英. 湘东南地形对“碧利斯”台风暴雨增幅作用的分析. 暴雨灾害, 2011,**30**(2):122-129.
- [6] 戴泽军, 宇如聪, 陈昊明. 湖南夏季降水日变化特征. 高原气象, 2009, **28**(6):1463-1470.
- [7] 胡豪然, 钱维宏. 东亚夏季风北边缘的确认. 自然科学进展, 2007,**17**(1):57-65.

山东省三次强降水的对比分析

杨晓霞¹ 吴 炜¹ 刁秀广¹ 高留喜¹ 姜 鹏¹ 王文青¹ 徐 娟² 胡顺起³

(1. 山东省气象台, 济南 250031; 2. 山东省聊城市气象局; 3. 山东省临沂市气象局)

摘 要

应用各种观测资料和 NCEP/NCAR($1^{\circ} \times 1^{\circ}$)再分析资料,对山东省三次短时强降水过程进行了中尺度诊断和对比分析。结果表明:三次强降水都是产生在 850 hPa 切变线附近,低层大气高温高湿,有较高的对流不稳定能量。中高层 500 hPa 附近的弱冷空气影响、正涡度平流、低层辐合和高层辐散、较强的垂直风切变、地面上中尺度低压倒槽和风场辐合相结合,有利于上升运动发展,触发低层对流不稳定能量释放,产生强对流,造成强降水。强降水产生在地面中小尺度高温舌区或较强的温度梯度区。产生强降水的中小尺度对流云团移动缓慢,在雷达回波中表现为列车效应,对流云团的内部结构为暖平流辐合、逆风区、中尺度涡旋或中气旋。

关键词:三次强降水 形成机制分析 对比分析

引言

随着气象现代化监测系统的发展和数值模式的改进和完善,对短时强降水天气的认识不断深入,但对强降水的预报水平较低,尤其是对 1 h 雨量 ≥ 50 mm(局部 ≥ 100 mm)的强降水预报水平更低。强降水出现的时间、落区和强度是预报中的一大难点。本研究应用各种观测资料和 NCEP/NCAR($1^{\circ} \times 1^{\circ}$)再分析资料,对山东省近年来三次 1 h 最大雨量 ≥ 100 mm 的强降水天气过程的环流背景和天气系统、热力、水汽和动力条件及中尺度系统特征进行了对比分析,总结出了三次强降水过程的共同点和不同之处,为短时强降水天气的预报提供客观依据。

1 三次强降水过程概述

(1)2009 年 8 月 17 日下午—18 日早晨,鲁南地区自西向东出现大范围强降水,在全省 1500 个自动雨量观测站中,有 345 站次 1 h 雨量 ≥ 30 mm,133 站次 1 h 雨量 ≥ 50 mm,临沂的费县 1 h 雨量最大,18 日 01—02 时 1 h 雨量达 137.2 mm,3 h 雨量达 242.2 mm。强降水主要集中在 17 日夜间,有两个强降水中心,一个在济宁,另一个在费县。强降水过程自西向东历经 18 h,伴有雷电和短时大风。强降水的范围大,1 h 最大雨量也最大。

(2)2010 年 8 月 8 日夜间—9 日早晨鲁西北出现强降水,全省有 156 站次 1 h 雨量 ≥ 30 mm,62 站次 1 h 雨量 ≥ 50 mm,长清 1 h 雨量最大,9 日 01—02 时 1 h 雨量达 101.8 mm,3 h 雨量达 143.9 mm;聊城总降水量最大,达 235.1 mm,9 日 02—04 时 1 h 雨量分别为 75.5 mm 和 83.4 mm,3 h 雨量达 180.2 mm,02—06 时 5 个小时降水量达到 211.9 mm。强降水从鲁西北的北部开始,向南偏西方向移动,在济南南部和聊城一带是强降水的中心。

(3)2011年7月25日傍晚山东半岛南部的乳山又出现强降水,25日下午18时开始,乳山的雨量突然增大,18—19时1 h雨量达29.5 mm,19—20时1 h雨量达127.8 mm,20—21时1 h雨量达92.2 mm,18—21时乳山3 h雨量达249.5 mm,强降水只局限在乳山测站附近。

2 环流特征和影响系统

在2009年8月17日下午—18日早晨的强降水过程中,500 hPa副高北部边缘的588线偏北,位于 35°N 附近,西风槽在东移过程中减弱北缩形成切变线;700 hPa经向切变线与500 hPa切变线同位相,纵穿山东;850 hPa在鲁西南形成低涡环流中心,在低涡环流中心的东部形成西南风与东南风的暖切变,强降水产生在暖式切变线的北部东南气流中(图1a)。地面上为从西南向东北伸展的弱低压倒槽区。在高空200 hPa为南亚高压的东北部,西南风与西北风的分叉区。

2010年8月8日夜—9日早晨的强降水位于500 hPa中高纬度西风槽底的偏西气流中,588线包围的副高中心成块状控制长江下游。850—700 hPa鲁西北地区位于副高边缘,有西南风的侧向辐合。在台湾东部的海面上有台风低压向北偏西方向移动,其北部的一股东南风气流在华东沿海深入内陆,沿副高边缘转成西南气流向鲁西北强降水区输送暖湿空气;850 hPa在鲁西北的中部形成西南风与东南风的弱切变,强降水产生在弱切变线的南部(图1b)。地面上也为弱的低压倒槽区,850~700 hPa没有低空急流,强降水区也与200 hPa高空急流前部的分叉区相对应。

在2011年7月25日傍晚乳山强降水中,500 hPa西风槽偏南,槽底伸到 30°N ,副高较弱,脊线位于 25°N 附近。850~700 hPa在天津形成低涡环流中心,山东位于低涡环流中心的东南象限,盛行西南风,850 hPa在青岛与成山头之间形成西南风与南风的切变,强降水产生在切变线附近(图1c),850 hPa西南风和南风都较强,风速在 $14\sim 16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,有低空急流。地面上为东高西低的气压场,在高空200 hPa为狭长的西风带高压脊。

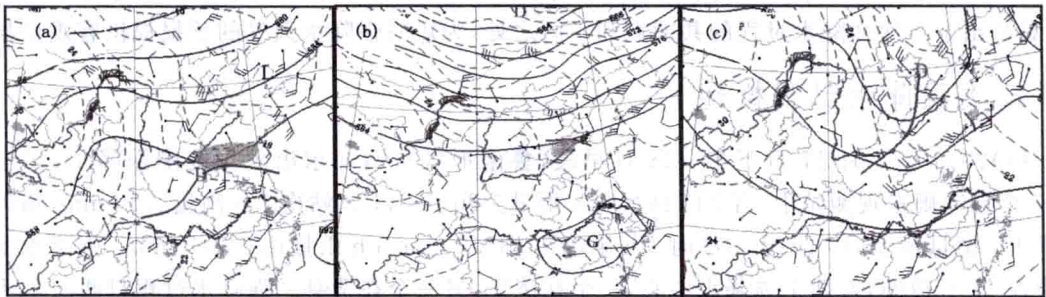


图1 850 hPa风、温度(虚线,间隔 2°C)和500 hPa高度(实线,间隔4 dagpm),
(a)2009年8月17日20时;(b)2010年8月8日20时;(c)2011年7月25日20时

3 大气温、湿和不稳定条件的对比

在三次强降水中,强降水区上空850 hPa及以下都有明显的水汽辐合中心,850 hPa辐合中心强度在 $10^{-8}\text{ g}/(\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$,水汽来自于西南气流或东南气流的输送。第一次强降水有两支气流输送水汽,一支是西南气流,另一支是东南气流。第二次强降水的水汽主要来自850 hPa以下的低层东南气流的输送。第三次强降水产生在沿海,水汽主要来自南部黄海。

强降水前,大气都有深厚的湿层,中低层大气近于饱和,850 hPa 比湿 ≥ 12 g/kg,温度露点差 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。近地面层比湿在 19~21 g/kg,700 hPa 以下的比湿在 8~21 g/kg。抬升凝结高度在 981~1003 m,抬升凝结高度处的温度在 23°C 以上。 0°C 层高度在 5165~5468 m。整层大气较暖,出现冰雹的可能性不大。在第一次强降水过后,700 hPa 以上的高空转为了较强的偏北风,而后两次强降水过后,高空仍为偏西风 and 西南风(图 2a,b,c)。说明在第一次强降水中高空的冷空气比后两次强。

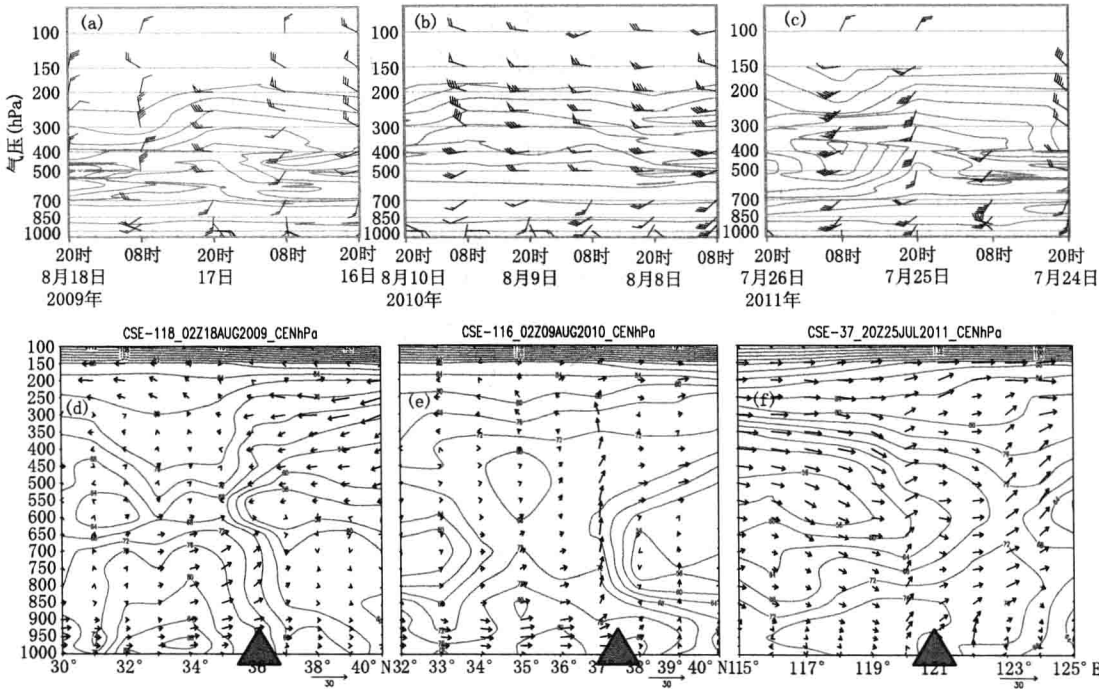


图 2 三次强降水过程探空站上空风和露点随时间的变化(a,b,c)和强降水区上空 θ_{se} (单位: $^{\circ}\text{C}$)的剖面图(d,e,f),a.徐州 2009 年 8 月 16 日 20 时—18 日 20 时,b.济南 2010 年 8 月 8 日 08 时—10 日 20 时,c.青岛 2011 年 7 月 24 日 20 时—26 日 20 时,d.2009 年 8 月 18 日 02 时沿 118°E 的 θ_{se} 和 $(v, -\omega)$, e.2010 年 8 月 9 日 02 时沿 116°E 的 θ_{se} 和 $(v, -\omega)$,f.2011 年 7 月 25 日 20 时沿 37°N 的 θ_{se} 和 $(u, -\omega)$, 三角符号为强降水区

三次强降水前,K 指数在 $37\sim 42^{\circ}\text{C}$,强降水区上空都有较强的暖平流。在强降水过后,中低层的温度没有明显的降低。说明冷空气较弱,只在中高层影响强降水区。分析三次强降水前探空站资料的物理量参数可见,在三次强降水前,中低层大气都是对流不稳定,有较高的对流不稳定能量,湿对流有效位能在 647~2543.2 J/kg,沙氏指数在 $-2.5\sim 1.1$,深对流指数在 36~45。 θ_{se} 随高度减小,在 700~500 hPa 之间 θ_{se} 有最小值(图 2d,e,f), θ_{se} 的最小值与近地面层 θ_{se} 的最大值之差在 $-14\sim -22^{\circ}\text{C}$ 。说明 500 hPa 以下大气强烈的对流不稳定。

不同的是,前两次强降水的对流不稳定能量较高,第三次乳山强降水的对流不稳定能量较低,在 1000 J/kg 以下。在第一次鲁南强降水中,500 hPa 上 θ_{se} 的低值舌从北向南伸,叠置在低层高值舌之上;在第二次鲁西北强降水中,700~500 hPa 上 θ_{se} 的弱低值舌在渤海湾的西部自东北向西南伸展,而在强降水区上空 850~500 hPa 都是从西南向东北伸展的高值舌控制,低值舌位于强降水区的西北部;在第三次乳山强降水过程中 700 hPa 上西南气流伴随着 θ_{se} 的低

值舌从南向北伸展,叠加在低层高值舌之上,使得大气对流性不稳定。

4 动力特征的对比分析

距强降雨区最近的探空站资料显示(图 2a, b, c),在三次强降雨前,风随高度都有明显的切变,500 hPa 以下都为偏南风,风向随高度顺时针旋转,有暖平流,500 hPa 以上为偏西风,500—400 hPa 风向随高度逆时针旋转,有冷平流。在 925 hPa 附近有一风速大值层,850 hPa 附近的风速减小,850 hPa 以上风速加大。强降雨后,在 925~850 hPa 仍为偏南风,且风速增大,500 hPa 以上转为偏西风或偏北风。说明强降雨期间,高层有干冷空气影响,一方面使低层不稳定度增大,另一方面,触发低层对流不稳定能量释放。另外,较强的风垂直切变还使得对流有组织地发展。前两次强降雨之前低层没有偏南风急流,强降雨产生在弱切变线附近,而在第三次强降雨中,低层偏南风较大,达到急流的强度。在三次强降雨前,中高层都有正涡度平流,850 hPa 以下有辐合,高层有辐散,有利于上升运动发展(图 3a, b, c),抬升低层的暖湿气流,触发对流不稳定能量释放,产生强对流,造成强降雨。

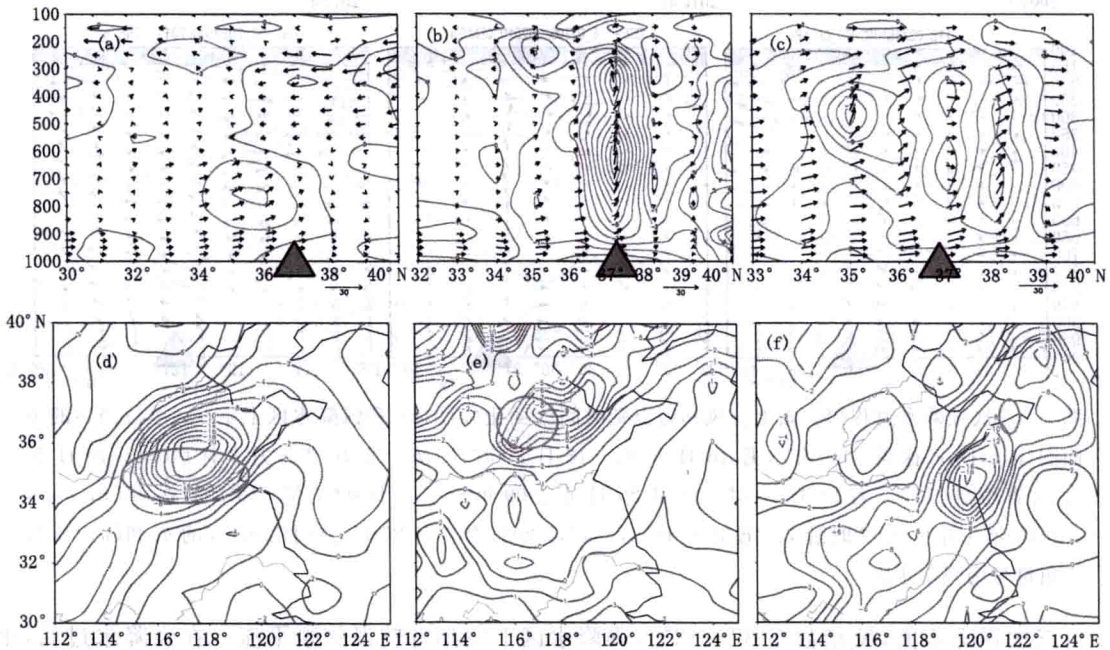


图 3 强降雨时穿过强降雨区的垂直速度剖面(a, b, c)和排熵指数的分布(d, e, f), a. 2009 年 8 月 18 日 02 时沿 118°E, b. 2010 年 8 月 9 日 02 时沿 116°E, c. 2011 年 7 月 25 日 20 时沿 121°E, 箭头为 $(v, -10\omega)$, 单位: $\times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 图下三角为强降雨区的纬度; d. 2009 年 8 月 17 日 20 时, e. 2010 年 8 月 9 日 02 时, f. 2011 年 7 月 25 日 20 时, 单位: $\times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 箭头为 $(v, -10\omega)$, 阴影区为强降雨区。

从湿位涡的垂直剖面图(图略)中可以看出,在强降雨期间,700 hPa 以下的低层为负的湿位涡,500 hPa 附近的高层都有正的湿位涡发展,说明低层大气对流不稳定和对称不稳定,高层有高位涡的干冷空气活动,诱发低层中尺度涡旋发展。强降雨开始前 6 h 内和强降雨期间,都有负的排熵指数(3d, e, f),说明强降雨期间整层大气有负熵流^[1~3],也就是低层有暖湿空气的流入,辐合上升,在高层有流出,高层的流出大于低层的流入,有利于对流有组织地发展。在前两次强降雨过程中,强降雨中心产生在负排熵指数中心的南部(图 3d, e),而第三次强降雨