



天气预报技术文集

(2014·上)

国家气象中心 编

天气预报技术文集

(2014 · 上)

国家气象中心 编

内容简介

本书收录了 2014 年在北京召开的“2014 年全国重大天气气候过程总结和预报预测技术经验交流会”上交流的文章 111 篇,分为“大会报告”“暴雨、暴雪”“台风与海洋气象”“强对流天气”“雾霾、高温等灾害性天气”“中期预报技术方法及数值预报技术、平台开发等预报技术”六个部分。

本书可供全国气象、水文、航空气象等部门从事天气气候预报预测的业务、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. 2014/国家气象中心编.

北京:气象出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-5029-6189-3

I. ①天… II. ①国… III. ①天气预报-中国-2014-文集
IV. ①P45-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 204158 号

Tianqi Yubao Jishu Wenji (2014)

天气预报技术文集(2014)

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.qxcbs.com>

责任编辑:张锐锐 张媛

封面设计:王伟

责任校对:华鲁

印刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

开本:787 mm×1092 mm 1/16

字数:1670 千字

版次:2015 年 11 月第 1 版

定价:280.00 元

邮政编码:100081

发行部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终审:黄润恒

责任技编:赵相宁

印张:65

印次:2015 年 11 月第 1 次印刷

序

2013年,我国气象灾害种类多,局地灾情重。区域性暴雨过程集中,四川及西北、东北等地先后出现暴雨洪涝;台风偏多偏强,造成东南沿海严重经济损失;南方出现1951年以来最强高温天气,引发严重伏旱;中东部雾、霾天气偏多,社会影响大;东北春季低温春涝双碰头,春耕备播受到影响;云南及西北遭遇春旱,河南、江西等地发生秋旱。全年气象灾害造成的直接经济损失、因灾死亡失踪人数和作物受灾面积,均高于2012年。因此,做好气象灾害监测预报预警和气象防灾减灾工作责任重大。

随着经济社会的快速发展,社会财富的迅速增长,各级党委和政府气象灾害监测预报预警和气象防灾减灾工作越来越重视,人民群众的要求越来越高,广大气象工作者肩负的责任也越来越重。进一步增强责任感和紧迫感,不断提高气象预测预报准确率和精细化水平,是新时期气象工作者的核心任务。加强天气预报技术经验总结,研究天气变化规律,应用新知识、新技术和新资料,是提高天气预报准确率和精细化水平的重要途径。

一年一度的全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会已经坚持18年了,成为全国天气预报员与科研人员交流与总结灾害性天气预报技术、数值产品释用、预报平台应用等方面的重要平台。正是利用这样的平台,天气预报员与科研人员认真总结分析、深入交流,促进了天气预报员能力的提高、专业化天气预报业务技术的进步,也促进了天气预报业务准确率和精细化水平的显著提高。在2013年度全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会上,来自各省(区、市)气象部门、国内相关部门、大学、科研院(所)的125位天气预报员和科研人员参加交流,有111篇论文汇编到《天气预报技术文集(2014)》中。这些成果值得各级气象台站业务和管理人员以及大学、科研院(所)科研人员在业务、科研、教学和管理中参考。

借此机会,我向参加交流的天气预报员与科研人员特别是入选《天气预报技术文集(2014)》论文的作者,以及参与文集汇编的同志们表示衷心的感谢!

中国气象局局长

郑国光

2014年11月

前 言

2014年4月14日至15日,由中国气象局预报与网络司与国家气象中心联合举办的“2014年全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会”在京顺利召开。

本次会议主要针对2013年重大天气事件,重点围绕暴雨(暴雪)、台风、海洋气象、强对流、雾霾、高温等灾害性天气、中期预报技术方法、数值预报产品释用、预报平台开发应用技术等多方面进行深入的交流和总结。会议得到了各气象预报业务单位预报员们和科研人员的积极响应,大会共收到来自全国各省(区、市)气象部门、相关科研院(所)以及气象部门外单位的论文232篇,其中各省、市、自治区气象局论文172篇,国家级业务单位论文13篇,部队33篇,民航部门4篇,院校10篇。内容涉及2013年灾害性天气及其次生灾害发生发展的成因、预报业务的技术难点、重大社会活动气象保障、数值预报技术、业务平台技术以及应用等多个方面。谨此将经过专家推荐的111篇论文全文纳入《天气预报技术文集(2014)》,与读者共同分享我国天气预报技术总结与发展成果。

本文集的出版,得到了中国气象局有关职能司、省(区、市)气象局及气象出版社的大力支持。借此机会对各单位及所有论文的作者的支持一并表示感谢。

由于水平有限,编辑过程中肯定存在许多不足之处,殷切希望读者指出并提出宝贵意见。

毕宝贵

2014年11月

目 录

序 前言

· 上册 ·

大会报告

2013 年汛期四川盆地暴雨预报难点初步分析	张芳华 徐 珺 符娇兰 等(2)
1323 号强台风“菲特”特点及预报难点分析	许映龙 吕心艳 张 玲 等(15)
广东 2013 年“3·20”强对流的雷达回波和风廓线探测特征	伍志方 周芯玉 郭春迺 等(32)
Initiation, Maintenance, and Properties of Convection in An Extreme Rainfall Event during SCMREX: Observational Analysis	Yali Luo Wang Hui(41)
2008 年 7 月西南涡的结构特征及诱发河南暴雨机理	王新敏 张 霞 孙景兰 等(56)

第一部分 暴雨、暴雪

南海季风爆发前罕见连场暴雨的特征及成因	吴乃庚 林良勋 曾 沁 等(70)
影响山东的黄淮气旋暴雨落区精细分析	阎丽凤 孙兴池 周雪松(82)
2012 年相似环流背景下山西暴雨过程对比分析	苗爱梅 王洪霞 李 苗(89)
厦门地区 2013 年 5 月 19—22 日暴雨天气过程诊断分析	陈德花 韦 晋 孙琼博 等(119)
2013 年湖北省两次降雪(干、湿雪)过程对比分析	张萍萍 吴翠红 龙利民 等(127)
“9·21”山东半岛南部沿海局地持续性强降水分析	杨晓霞 王金东 姜 鹏 等(135)
“131008”上海特大暴雨综合分析	曹晓岗 王 慧 漆梁波(143)
淮河上游持续暴雨的机理分析及水汽输送特征	张 霞 吕林宜 王新敏 等(155)
湖南冬季降水相态预报技术研究与应用	欧小锋 姚 蓉 唐 杰(165)
影响山东切变线天气特征和垂直结构分析	刘 畅 张少林 杨成芳 等(172)
黑龙江省近两年三次大暴雪过程对比分析	钟幼军 马国忠 赵广娜 等(181)
2012 年特殊地形下致洪暴雨过程对比分析	李银娥 王晓玲 王艳杰 等(187)
京津冀三次暴雨过程的综合对比分析	赵玉广 裴宇杰 王福霞 等(194)
一次弱强迫背景下川西暖区暴雨中尺度研究	徐 珺 张芳华(201)
卫星资料在西藏暴雪天气中的应用	德 庆 代华光(207)
利用加密探测资料对天津特大暴雨过程中小尺度天气分析	徐灵芝 吕江津 许长义(215)

江淮大暴雨的卫星水汽图像解译与预报技术..... 赵 亮 曹丽霞 吴晓京(224)

高原低值系统影响下一次极端强降水天气诊断分析..... 杨康权 肖递祥(232)

2013 年辽东半岛 2 次切变线暴雨的特征分析 梁 军 张胜军 刘晓初 等(241)

2013 年 7 月 7—13 日盆地西部区域性暴雨过程诊断分析
..... 徐志升 张入财 杨代恒 等(247)

“4·19”山西中部暴雪天气过程分析 闫 慧 赵桂香(253)

2013 年吉林省一场持续性致洪大暴雨成因及其云图特征
..... 王 宁 王秀娟 张 硕 等(262)

“8·16”辽宁暴雨过程的数值预报研究 李得勤 周晓珊(270)

2013 年夏季内蒙古干旱—半干旱区两次极端降水事件对比
..... 宋桂英 孙永刚 李孝泽 等(276)

2013 年初西藏南部四次特大暴风雪极端天气的对比分析 旦增卓嘎(288)

第二部分 台风与海洋气象

“菲特”登陆减弱时浙江致洪大暴雨过程冷空气和偏东气流的作用
..... 钱燕珍 周 福 朱宪春 等(296)

光流法在 2013 年台风“菲特”路径预报中的应用研究 朱智慧 黄宁立 刘 飞(302)

强台风“菲特”对苏州风雨影响分析..... 陈纾杨 陈 飞 孙 伟(309)

2013 年 10 月 6—12 日宁波罕见城市积涝成因分析 夏秋萍 沈志刚(319)

登陆台风结构非对称演变引发局地强风过程的个例研究 I: 观测分析
..... 滕代高 黄 娟 黄新晴(325)

1330 号台风“海燕”强度预报难点和强度发展成因初探 张 玲 许映龙 黄奕武(339)

“尤特”特大暴雨过程的热力条件分析 程正泉 林良勋 沙天阳 等(352)

超强台风“尤特”预报技术总结..... 李玉梅 陈 红 李 勋(359)

1311 号台风“尤特”后期异常路径成因简析 黎惠金 黄明策 覃昌柳(365)

2013 年两个路径相似台风不同暴雨落区的诊断分析 刘爱鸣 林小红(374)

吕宋海峡上层海洋对于台风“南玛都”响应的观测分析与数值模拟试验
..... 陈昌吉 李子良(380)

1213 号台风“启德”预报误差分析及思考 顾 华 高拴柱 许映龙 等(393)

台风“海葵”特大暴雨成因分析..... 陈鲍发 黄龙飞(402)

地形对台风“海葵”暴雨增幅影响的研究 朱红芳 王东勇 娄珊珊 等(411)

台风“布拉万”与“梅花”对长春市降水影响分析..... 马梁臣 刘海峰 王 宁(420)

空军 T511 模式对 2009—2012 年热带气旋预报效果评估
..... 张友姝 王廷芳 张秀丽 等(432)

HWRF 系统中 AMSU 卫星资料的直接变分同化对 0915 号“巨爵”热带气旋模拟的影响.....
..... 安 成(438)

台风“达维”不对称结构特征分析..... 史得道 易笑园 刘彬贤(446)

两次西行热带气旋影响云南的诊断分析 钟爱华 周 泓 赵付竹 等(455)

不同天气形势下青岛沿海海雾特征 高荣珍 王建林 任兆鹏 等(465)

• 下册 •

第三部分 强对流天气

利用雷达回波三维拼图资料识别雷暴大风方法研究 李国翠 刘黎平(472)

基于雷达临近预报和中尺度数值预报融合技术的短时定量降水预报及其在北京地区的应用
..... 程丛兰 陈明轩 高峰(483)

一次后向传播的局地强降水雷暴过程分析 孙 敏 戴建华(490)

两种强迫机制下的 MCS 对比分析 王晓玲 舒 斯 王艳杰 等(497)

一次飑线大风形成机制及其预警分析 农孟松 翟丽萍 屈梅芳 等(507)

北京复杂地形下雷暴新生机理的系列研究 张文龙 王迎春 黄 荣 等(517)

济南新机场雷暴天气的雷达回波特征 吕新刚 张 徐 王 俊 等(523)

2013 年 9 月 13 日上海强雷雨过程天气学分析 李新峰 梅 珏 陈志豪(531)

海南“3·20”大范围强烈冰雹过程特征分析 郑 艳 李云艳 蔡亲波(543)

春季我国冷锋后部的高架雷暴天气特征分析 盛 杰 毛冬艳 蓝 渝(550)

东北冷涡诱发的中尺度对流系统特征及其与降水落区关系研究
..... 陆忠艳 孙 欣 韩江文 等(558)

多普勒雷达风场反演与西南涡内的局地强降水 刘婷婷 苗春生 张亚萍 等(579)

中国西北区强对流天气形势配置及特殊性综合分析 许东蓓 许爱华 肖 玮 等(586)

青藏高原副高边缘型大到暴雨天气过程的中尺度分析 张青梅 马海超 曹晓敏(595)

2013 年湖南首场致灾性强对流天气过程成因分析 叶成志 唐明晖 陈红专 等(603)

吉林省短时强降雨天气特征及大尺度环境条件 云 天 杨紫超 孙 妍 等(611)

黄土高原一次伴随飑线强对流天气的特点及成因 井 喜 李 强 屠妮妮 等(619)

重庆一次特大暴雨过程的中尺度分析 陈 鹏 刘 德 周盈颖(633)

2013 年主汛期典型梅雨锋大暴雨过程分析 姚 蓉 许 霖 唐明晖 等(645)

发生短时强降雨的对流云合并作用分析 刘裕禄 邱学兴 黄 勇(650)

青海省黄南州一次冰雹天气的数值模拟和诊断分析 管 琴 李青平 李金海 等(660)

2013 年 4 月 27 日雹暴超级单体回波特征分析 陈晓燕(674)

东北急流触发的强对流大暴雨特征分析 孟妙志 韩 洁 王仲文 等(684)

第四部分 雾霾、高温等灾害性天气

京津冀地区一次严重区域性雾霾天气分析与数值预报 ... 张小玲 熊亚军 唐宜西 等(692)

华北平原 3 次持续 10 天以上的大雾过程特征及成因分析 ... 李江波 赵玉广 李青春(702)

2014 年 2 月下旬持续重污染天气过程的静稳及传输条件分析
..... 张恒德 吕梦瑶 宗志平等(717)

2013 年国庆期间华北地区雾霾过程的天气条件分析 张碧辉 张恒德 安林昌 等(726)

长株潭城市群 2013 年空气污染分布特征及其气象成因分析..... 周 慧 李巧媛 张剑明 等(736)

2013 年 1 月我国中东部极端雾霾天气特征和气象成因分析 饶晓琴 宗志平 张恒德 等(744)

贵州交通站资料应用于团雾的监测和分析..... 唐延婧 裴兴云(751)

2013 年 12 月上旬江苏持续雾霾天气分析及 DW 指数研究 马晓刚(758)

承德市雾及其消散预报研究 杨 梅 杨雷斌 彭九慧 等(765)

2013 年 1 月 12—16 日苏州区域性霾天气分析与模拟 ... 韩珏靖 朱莲芳 林慧娟 等(770)

霾的预测与预防问题..... 张 葵(778)

WRF 模式对 2013 年 1 月华北一次大雾的数值对比实验 王益柏(790)

我国东北地区一次秋冬季节重污染天气分析研究 吕梦瑶 张恒德 张碧辉 等(800)

温度平流在沙尘暴落区预报中的应用..... 孙永刚 孟雪峰(810)

宁夏不同强度沙尘天气动力机制解析 陈豫英 陈 楠 谭志强 等(818)

一次雷暴大风引发的河西走廊强沙尘暴天气特征分析..... 王伏村(830)

内蒙古初春一次罕见强冷空气活动天气特点分析 孟雪峰 仲 夏 马素艳 等(838)

银川河东机场大风天气统计及环流形势特征分析..... 杜 星 师 俊 朱冬梅(852)

2014 年克拉玛依首场寒潮大风天气过程分析 孙东霞 谢 云 荣 娜 等(860)

河南省两次致灾大风对比分析及数值模拟..... 梁 钰 齐伊玲 张 宁(866)

基于夜间灯光数据的城市高温天气数值模拟 董春卿 苗世光 赵桂香 等(874)

**第五部分 中期预报技术方法及数值预报技术、
平台开发等预报技术**

2013 年我国南方高温天气的形成与副热带高压异常的分析 彭京备(884)

2013 年 7 月下旬江苏持续高温灾害的特征和成因初探 孙 燕 吕思思 严文莲 等(890)

2013 年夏季西太平洋副热带高压异常特征及其成因分析 彭莉莉 孙佳庆 戴泽军 等(896)

热带印度洋—太平洋暖池海温变异对低纬度高原初夏 5 月极端降水事件影响研究 李 璠 周 泓(904)

2013 年夏季异常天气与西太平洋副热带高压变异特征的机理研究 余丹丹(913)

一次积层混合云系人工增雨作业的综合观测分析..... 张中波 王治平 蒋元华(923)

我国 2013 年汛期气候预测的性能检验和误差订正 范海燕(932)

中国西北地区东部雨日的气候特征及其与低空风场的相关性研究..... 姜 旭 赵光平(942)

2013 年黑龙江省“三江”大洪水成因分析 那济海 张桂华 潘华盛 等(950)

动态临界雨量方法在山洪预警中的应用..... 叶金印 李致家 常 露(958)

我国大型地质灾害预报与安全避险案例总结 张国平 宋建洋 邵小路 等(965)

四维变分同化初值对 2013 年武汉“7·6”暴雨预报的敏感性试验研究..... 甘少华 闫 炎 王 奇(973)

新疆快速更新循环同化数值预报系统(XJ-RUC)2013 年汛期降水预报结果检验 于晓晶 辛 渝(979)

一次强降水过程的数值预报检验分析..... 曹丽霞 李 娟 李 婧(986)

幂指数参数方案在西北四省区降水预报中的试验对比 ... 刘 抗 赵声蓉 李照荣 等(991)

广州机场终端区对流天气临近预报试验系统设计与实现 黄奕铭 王 刚 曹 正 等(1000)

基于 SWAN 系统的辽宁地区短时强降雨定量预报技术方法研究 纪永明 才奎志 蒋大凯(1006)

大会报告

2013 年汛期四川盆地暴雨预报难点初步分析

张芳华¹ 徐 珺¹ 符娇兰¹ 陈 涛¹ 高 辉²

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

摘 要

利用各种观测资料、EC 数值模式预报产品、主观降水预报产品及中尺度数值模拟资料等对 2013 年 6—8 月四川盆地 6 次区域性暴雨天气过程进行了预报检验和分析。检验结果表明, EC 模式对盆地暴雨存在强度偏弱、落区偏西或偏北的预报偏差, 低层动力条件预报偏差和对低空急流附近暴雨预报偏小等是导致暴雨预报偏差的主要原因。模式动力场的预报偏差可能源于复杂地形的影响; 本应在盆地西部绕流的低层偏东风或东北风吹向更偏西的高原地区, 导致辐合区偏西; 同时由于模式地形阻挡了自西北地区东部南下的冷空气, 延迟了冷空气对盆地的影响, 导致暴雨落区偏北。在此基础上, 归纳预报难点如下: (1) 四川盆地地形对暴雨落区和强度的影响机制; (2) 暖区内暴雨的触发机制; (3) 极端性强降水的预报思路。最后对上述难点进行了初步分析, 并指出预报员应在具体天气形势判断的基础上, 重点关注模式低层动力场的预报, 除地形抬升外, 低空急流前沿及其左侧的辐合、地面中尺度辐合线等对暖区内暴雨的触发有重要作用; 对某类天气过程的系统性分析总结以及对模式物理过程、参数化方案等的深刻认识, 是做好数值预报订正的前提。

关键词: 四川盆地 暴雨 检验 预报难点 地形

0 引言

西南地区地形复杂, 从川西高原过渡到平原地带地形落差大, 同时盆地北侧与陕西交界处横亘大巴山脉, 而在华釜山以东的川东岭谷由东北——西南走向的众多条状山体构成。特殊地理位置和地形条件使得盆地气候同时受东亚季风、印度季风和高原大气环流的影响。四川盆地暴雨具有范围集中、强度大、局地性强、夜雨频繁等特点, 预报难度大, 主客观预报一直都没有较好的预报技巧。

对四川盆地暴雨及其主要影响系统的研究由来已久, 也取得了非常丰富的研究成果。近年来的研究重点集中在西南涡结构特征及其与暴雨落区和强度的关系^[1-3]、暴雨环流形势和影响系统分析, 特别是中尺度系统生消的机理研究^[4-7]、青藏高原地形对盆地暴雨的影响^[8-10]等方面。最近关于各模式对四川盆地暴雨预报性能检验和分析得到广泛关注, 何光碧等^[11]对比了西南区域气象中心运行的 GRAPES, AREM, MM5 模式及基于 WRF 模式的 RUC 系统对一次大暴雨过程的预报情况, 认为各区域模式对该过程均有体现, 但具体的定点预报仍存在不同程度的差异。徐琳娜等^[12]对两次发生在副热带高压(简称副高)边缘的川西暴雨进行了天气学分析和预报检验, 认为集合预报雨量产品对这类暴雨量级和落区的预报较全球模式具有更好的参考价值。屠妮妮等^[13]对比了四川 3 次暴雨过程中分别在国家气象中心和西南区

资助项目: 中国气象局预报员专项(CMAYBY2013-083); 国家重点基础研究发展计划(2012CB417205)

域气象中心运行的 GRAPES 模式的预报性能,为数值模式的下一步改进提出建议。

虽然已有研究对预报员认识四川盆地暴雨起到一定帮助,但在业务预报中,四川盆地暴雨影响系统复杂,每次过程不同的系统配置和温湿条件,都会使暴雨天气呈现出不同的特点。加之目前业务模式对暴雨的落区和强度预报效果不甚理想,对四川盆地暴雨的初期预报难度较大、落区易偏西偏北、预报员对极端性强降水的订正能力有限等。2013 年汛期四川盆地接连出现区域性暴雨,造成严重的灾害。本文选取该年四川盆地 6 次区域暴雨过程,对预报失误和难点进行检验与分析,以帮助预报员认识暴雨成因、积累预报经验,并提出值得研究的科学问题,以期改进模式,提高预报水平。

1 资料

本文分析所用资料包括高空和地面观测资料、西南地区雷达拼图资料等,预报检验采用欧洲中心细网格模式的分析场和预报场(简称 EC 模式)、预报员实时定量降水预报产品。中尺度数值模拟和诊断资料为 WRF3.1 模式输出场,初始边界和侧边界条件均采用 GFS 分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 、时间间隔为 6 h 的格点资料;两重双向嵌套水平格距依次为 18 km、6 km(下文分析采用 6 km 资料),垂直方向采用 27 层 σ 坐标系;微物理采用 WRF Single-Moment 3-class 方案,积云对流采用 Grell-Devenyi Ensemble 方案。

2 六次暴雨过程基本情况

2013 年 6 月 18 日—8 月 7 日,四川盆地接连出现了 6 次区域性暴雨过程,且前 5 次过程集中出现在 1 个月的时间里。盆地大部累积降水量达 300 mm 以上,其中盆地西北部超过 600 mm,都江堰最大 1057.1 mm,北川次之 1032.9 mm(图 1a)。上述地区累积暴雨日数一般在 2 d 以上,其中盆地西北部达 6~9 d(图 1b)。该年四川盆地暴雨过程出现次数多、影响时间和区域集中、灾害重、预报难度大,是当年我国暴雨天气的突出特点之一。

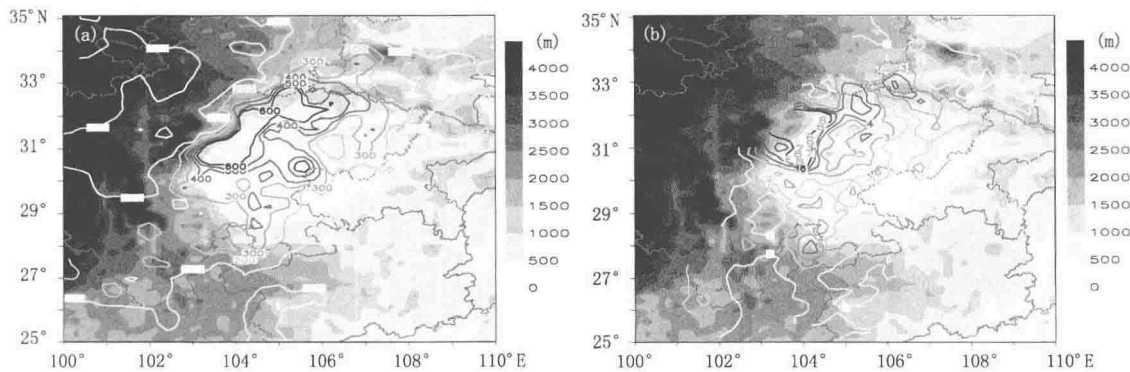


图 1 6 次暴雨过程累积降水量(a,单位:mm)和暴雨日数(b,单位:d)
填色区表示地形高度(单位:m)

这 6 次区域性暴雨过程分别出现在 6 月 18—20 日、6 月 29 日—7 月 1 日、7 月 4—5 日、7 月 7—11 日、7 月 17—19 日和 8 月 6—7 日。6 月 18—20 日,四川盆地西部出现持续性暴雨,亦为当年盆地第一场区域性暴雨;大部地区累积降水量 100 mm 以上,小时最大雨强

101.1 mm,有两站突破历史同期极值。6月29日—7月1日,受深厚的西南涡影响,四川盆地大部出现暴雨。遂宁市本站24 h降雨量为415.9 mm,突破有气象记录以来的历史极值;1 h最大雨强为95.1 mm;过程累计最大降雨623.7 mm。暴雨站数为历史同期第二,有13站日最大降水量创历史同期新高。7月7—11日,四川盆地西部出现罕见特大暴雨天气过程,强降雨区主要位于盆地西部的汶川、芦山地震灾区,部分地区累计降雨量有400~800 mm,局地达800 mm以上,都江堰幸福镇(自动站)降雨量达1151 mm,相当于都江堰年均降雨量,为百年一遇。此次过程呈现强降雨落区稳定、持续时间长,降雨总量多、强度大,灾害损失严重等特点。受持续强降雨影响,四川多地发生山洪、滑坡、泥石流等灾害,导致256人死亡或失踪,直接经济损失285.4亿元。

图2是各次过程中最强暴雨日的暴雨落区及对应的500 hPa高度场和700 hPa风场,根据暴雨落区和天气形势的配置可大致将其分为两类,即无明显冷空气影响的暖区暴雨(图2a, b, d)和有冷空气南下的锋面暴雨(图2c, e, f)。在这3次暖区暴雨过程中,自巴尔喀什湖至印度洋一带为南北贯穿的低槽区,高原东侧有短波槽东移,西太平洋副热带高压(简称西太副高)位于110°E以东,四川盆地处在高原槽前,环流形势呈“东高西低”型。暴雨区一般稳定少动,且其分布与盆地周边的地形有密切联系。当副高西伸到达105°E附近,盆地受高压控制,暴雨将明显减弱并结束。在锋面暴雨过程中,自西北地区东部有短波东移影响四川盆地,同时盆地处在高原上的大陆高压和西太副高之间的切变区,暴雨区与锋面或低层切变线对应关系好,且移动性明显。同时,暖区暴雨和锋面暴雨往往是同一次暴雨过程的不同阶段。

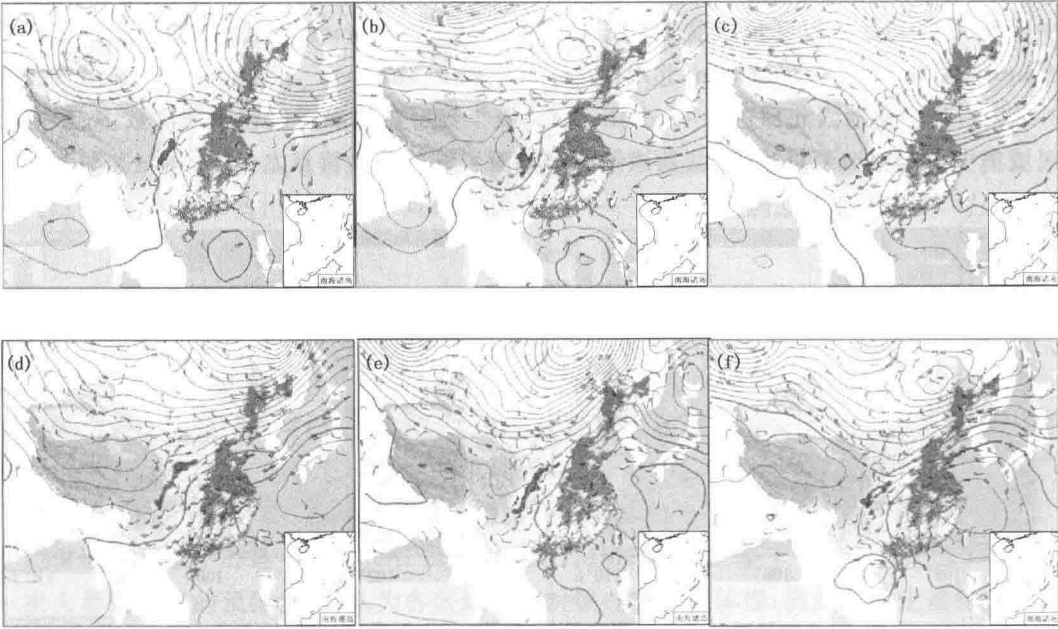


图2 6次暴雨过程最强降水日500 hPa高度场、700 hPa风场和暴雨落区
(a为6月20日,b为6月30日,c为7月4日,d为7月8日,e为7月17日,f为8月7日)

由图2、逐日天气图(图略)和表1可知,东移或南下的高原槽是这6次暴雨过程的主要影响系统之一,副高西侧稳定的偏南气流为暴雨区输送了充沛的水汽;700 hPa和850 hPa上主

要影响系统包括切变线(辐合线)、西南涡和低空急流(或大风速带),其中西南涡和低空急流并不是暴雨形成的必要条件,但在每次过程中,低层均有切变线或辐合线活动。由于盆地周边特殊的地形特点,低层较强的偏南风尤其是东南风受地形影响,或绕流形成气旋性辐合,或直接受地形辐合抬升,在盆地造成暴雨天气。暖区暴雨多出现在地面低压中心的后部,其后无明显的高压对应;而锋面暴雨虽然也出现在地面低压中心偏后的区域,但其后会有明显的高压配合,高压前部的锋区也比较清晰。另外,分析发现,西行台风对四川盆地暴雨也有直接或间接的作用,上述6次过程中有5次都受到台风的影响,或直接提供东南风水汽输送,或间接使环流形势稳定,均有利于暴雨或持续性暴雨天气的出现。

表 1 2013 年汛期四川盆地主要暴雨过程基本情况

序号	起止时间	过程描述 (日最大降水量/mm,对应站点)	影响系统				有无热带气旋 活动(主要作用)
			500 hPa	700 hPa	850 hPa	地面	
1	6 月 18— 20 日	盆地西部出现了暴雨或大暴雨,雨带沿地形南北向稳定维持(182,剑阁)	高原槽 副高	切变线 西南涡	切变线 西南涡	低压	贝碧嘉(使环流形势稳定、水汽输送)
2	6 月 29 日— 7 月 1 日	盆地大部先后出现暴雨或大暴雨,局部特大暴雨;盆地中部强降水持续时间长(416,遂宁)	低涡 高原槽	西南涡 切变线 低空急流	西南涡 切变线 低空急流	低压	温比亚(使环流形势稳定)
3	7 月 4— 5 日	盆地西部和南部、东部先后出现暴雨、局地大暴雨,沿盆地周边分布(144,峨眉山)	高原槽	切变线	切变线 西南涡	低压 锋面	无
4	7 月 7— 11 日	盆地西部出现了暴雨或大雨,局地特大暴雨,雨带沿地形南北向稳定维持(292,都江堰)	高原槽	西南涡 切变线 低空急流	切变线 西南涡 低空急流	低压	苏力(对降水后期环流形势有间接影响)
5	7 月 17— 19 日	盆地北部、中东部出现暴雨或大暴雨,局地特大暴雨;经向雨带,移动性(359,旺苍)	高原槽	西南涡 切变线 低空急流	切变线 西南涡	低压 锋面	西马仑(使环流形势稳定)
6	8 月 6— 7 日	盆地西部和南部现出暴雨,局地大暴雨;移动性雨带(146,南江)	高原槽 副高	切变线 西南涡 低空急流	切变线 低空急流	低压 锋面	山竹(东南水汽输送)

3 主客观预报检验及分析

由表 1 可知,过程 2,4 和 5 分别代表了四川盆地的三种类型,即典型的西南涡暴雨过程、副高西侧偏南暖湿气流受盆地西部地形抬升造成的暴雨过程、冷空气南下造成的锋面暴雨过程。为了分析数值模式对四川盆地暴雨的预报性能和偏差,分别选取上述三次过程中降水最强的 6 月 30 日、7 月 8 日和 7 月 17 日,进行暴雨预报主客观检验。

3.1 暴雨预报检验

从发现模式偏差进而改进预报的角度出发,暴雨预报检验应关注其雨带形状、位置和极值

的预报。图 3~5 分别是 6 月 30 日、7 月 8 日和 7 月 17 日强降水预报和实况对比。6 月 30 日,受深厚的西南涡系统影响,盆地西北部和中部出现大范围暴雨,EC 模式对这次西南涡暴雨落区预报明显偏西,雨带形状与实况相差较大,对西南涡东侧低空急流轴上的强降水预报偏小,且 36 h 预报较 60 h 预报并无显著改进(图 3a,b);预报员的暴雨落区预报也较实况偏西,相对模式的订正作用不明显,不过 24 h 较 48 h 预报的偏差明显减小(图 3c,d)。7 月 8 日,受副高西侧偏南暖湿气流中和弱冷空气影响,四川盆地西部出现暴雨,雨带沿盆地西部地形梯度处呈准南北向带状分布。EC 模式对这类暴雨的雨带形状预报好,位置明显偏北且略偏西、强度偏弱(图 4a,b);预报员对四川盆地的暴雨、大暴雨预报效果较好(图 4c,d),相对于 EC 模式的订正作用比较明显。7 月 17 日,受南下冷空气影响,四川盆地中部地区自北向南出现暴雨到大暴雨。EC 模式对雨带形状把握较好,但对雨带中心的位置预报偏西约 2~3 个经距,且 36 h 的强度预报差于 60 h(图 5a,b);预报员在 24 h 预报中对模式雨带位置向东调整,但仍存在 0.5~1 个经距的偏差,临近 24 h 时效的预报效果优于 48 h(图 5c,d)。

上述检验结果表明,EC 模式对四川盆地暴雨落区预报存在偏西、偏北的系统性误差,与符娇兰等^[14]对 2012 年汛期该地区暴雨预报的检验结论基本一致。预报员对暴雨带的形状预报较准确,但具体的落区仍较大程度受到模式的影响,相对而言,预报员对稳定在盆地西部地形梯度区的暴雨较模式的订正作用较明显,对西南涡东侧暖区的暴雨和冷空气南下的锋面暴雨订正作用有限。

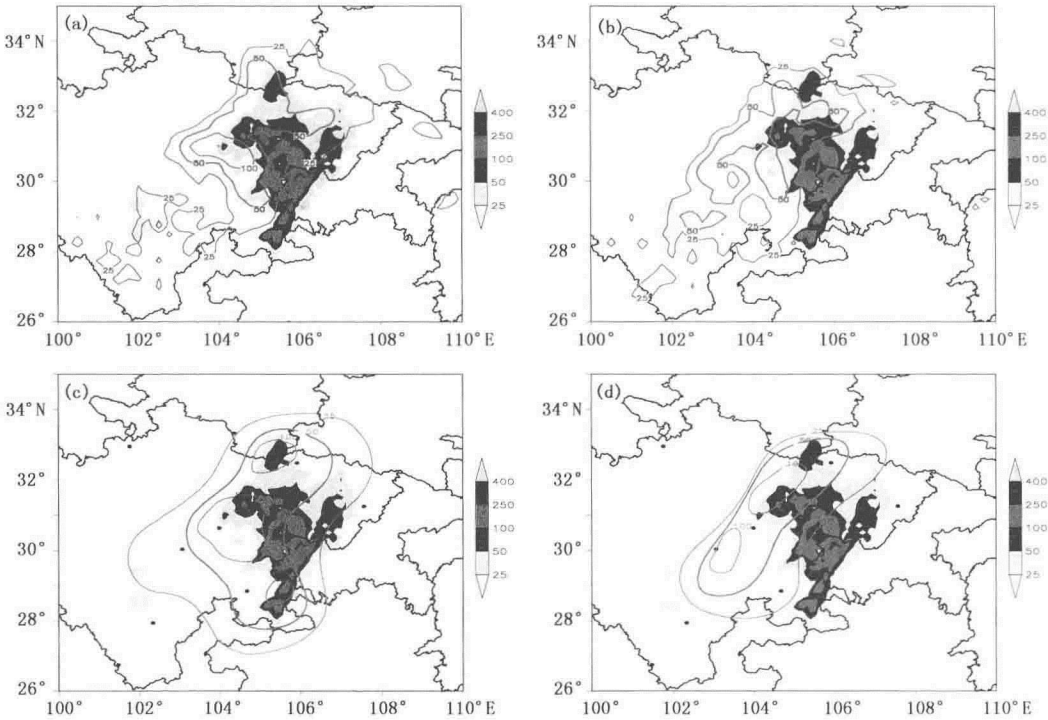


图 3 6 月 30 日 08:00—7 月 1 日 08:00 24 h 累积降水量(填色区)、EC 模式提前 36 h(a)和 60 h(b)预报(等值线)、预报员提前 24 h(c)和 48 h(d)预报(等值线)

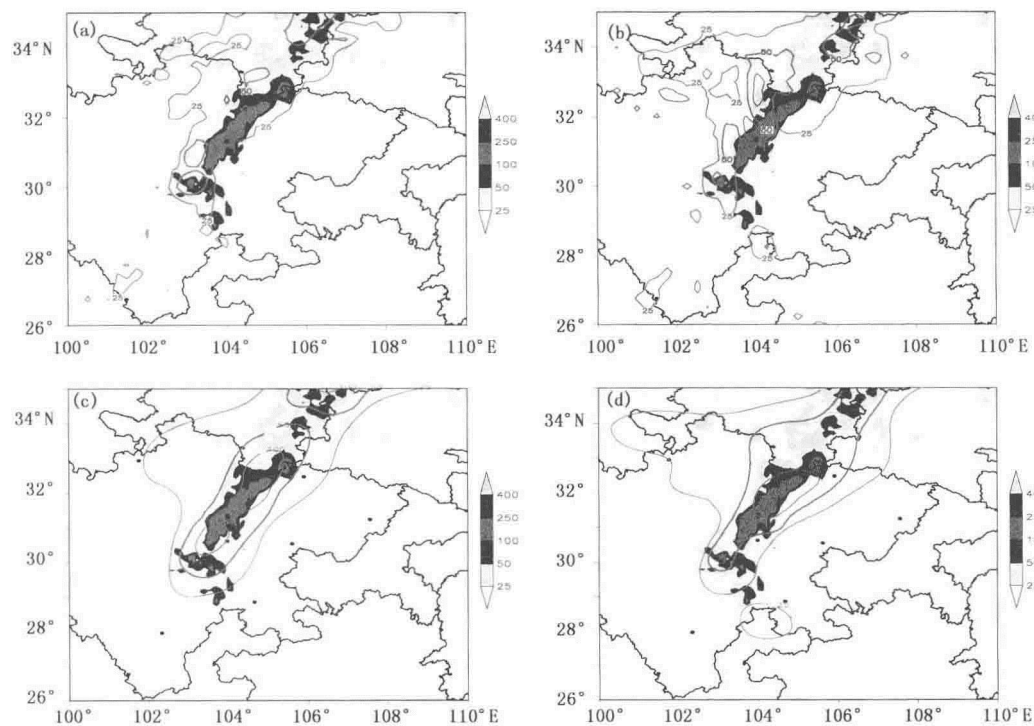


图4 同图3,但降水量为7月8日08:00—9日08:00

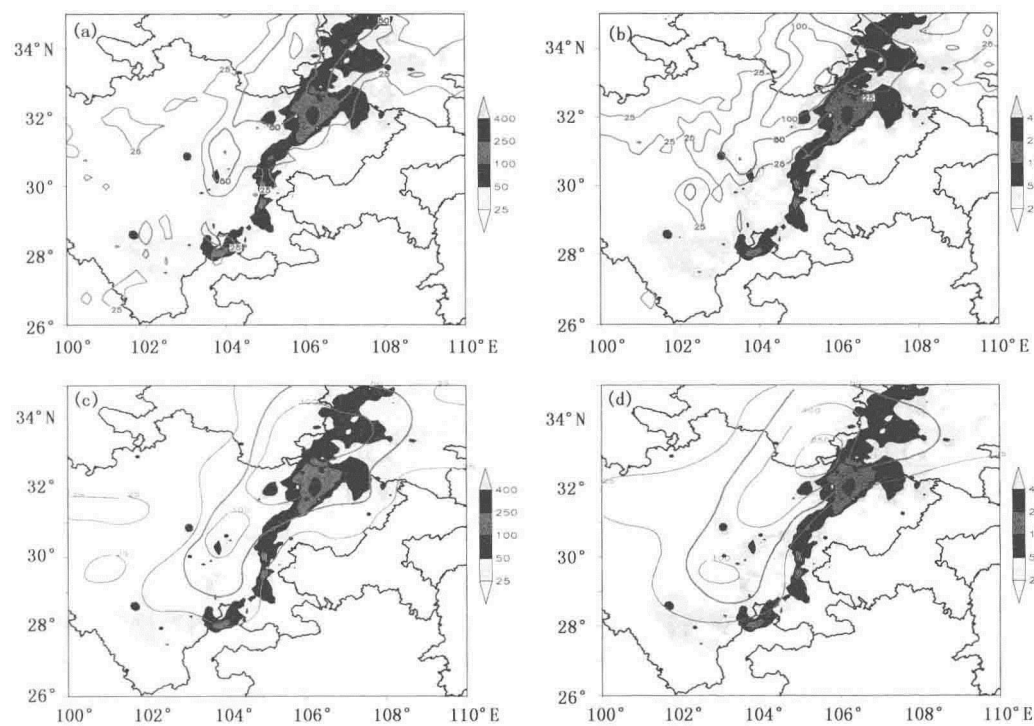


图5 同图3,但降水量为7月17日08:00—18日08:00