



国家科技攻关计划“奥运科技专项”
课题任务书编号：2002BA904B05

奥运气象保障技术研究

2004年度论文汇编

● 章国材 谢璞 主编

气象出版社

奥运气象保障技术研究

2004 年度论文汇编

章国材 谢 璞 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

气象出版社

内 容 提 要

本书汇编论文 40 余篇,比较全面地介绍和反映了围绕 2008 年北京奥运会而开展的气象保障技术研究的阶段性成果,内容涉及稠密气象观测资料同化技术、局域精细大气数值模式技术、集合预报技术、运动赛场气象环境的数值模拟技术、灾害性天气短时临近预报技术、北京地区夏季气候背景分析、气象条件对奥运体育运动项目影响分析、环境气象条件分析和预报方法等。

本书适合从事天气预报、数值预报的科研和业务人员阅读,对大专院校相关专业的师生也有参阅价值,还可供体育界有关人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

奥运气象保障技术研究 2004 年度论文汇编/章国材,谢璞主编.

—北京:气象出版社,2004.12

ISBN 7-5029-3908-3

I. 奥... II. ①章... ②谢... III. 奥运会,第 29 届-气象服务-中国-文集

IV. P451-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 135507 号

Aoyun Qixiang Baozhang Jishu Yanjiu 2004 Niandu Lunwen Huibian

奥运气象保障技术研究 2004 年度论文汇编

章国材 谢 璞 主编

*

气象出版社出版

(北京海淀区中关村南大街 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:张淑萍 林雨晨 丁问微 终审:黄润恒

封面设计:福瑞来文化中心 版式设计:陶国庆 责任校对:王丽梅

*

北京市奥鑫印刷厂印刷

气象出版社发行

*

开本:889×1194 1/16 印张:20.50 字数:610 千字

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

印数:1~800 册 定价:53.00 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

奥 运 气 象 保 障 技 术 研 究

2004 年度论文汇编

主 编

章国材 谢 璞

副主编

王建捷

编 辑

陈卫红 薄 莉 龚建东

王迎春 王晓云 张 强

前 言

2001年7月13日,当国际奥委会在莫斯科郑重宣布,2008年第29届奥运会将由中国北京举办时,所有中国人都为之兴奋。在激动之余,气象工作者也深深感到压力,因为我们已经在全世界面前承诺,我们将把2008年北京奥运会办成一届令人难忘的盛会。

运动与天气气候条件关系密切,强降水、大风、雷电使室外体育运动不能正常进行,高温、高湿严重影响运动员的成绩,帆板和帆船项目要求风速必须大于 3m/s ,小于 22m/s 等等,都对天气预报的精细化和准确率提出了很高的要求。能否提供及时、准确和周到的气象保障服务对于奥运会的成功和国家的整体形象都具有重要的意义。

历届成功的奥运赛事都离不开出色的气象保障服务。1996年亚特兰大奥运会、2000年悉尼奥运会、2004年雅典奥运会举办期间天气比较简单,高影响天气事件较少。即便如此,这三个奥运举办城市在奥运会开始前几年就加强了中尺度监测网建设,开发了高分辨率的中尺度数值预报模式,世界气象组织还通过预报示范计划引入世界上多个优秀的临近预报系统为奥运会服务等,为这三届奥运会提供了优质的气象服务。北京奥运会将在2008年8月中下旬举行,此时北京气候的主汛期尚未结束,加上北京周边地区复杂的地形,可能发生高温热浪、暴雨、雷雨和雷雨大风等复杂多变的天气,天气预报的难度远远高于以前三届奥运会,这对我们提出了严峻的挑战。

我们目前的天气预报能力和水平尚不能满足奥运气象服务的需要,必须进行科技攻关。为此,科技部2002年9月将“奥运气象保障技术研究”列入奥运科技专项攻关课题。本课题包括了全程精细滚动预报技术研究、奥运会期间灾害性天气短时和临近预报技术研究、气象条件对奥运体育运动项目的影响分析研究三个专题。通过研究,建立精细天气数值预报模式,在北京、青岛建立灾害性天气短时和临近预报警报服务系统,为奥运会比赛和活动提供实

时天气信息和 0~2 小时临近预报、3~6 小时短时预报警报技术,建立气象条件对奥运体育项目的评估模型,为北京奥运提供精细、先进和个性化服务技术。

通过两年的攻关,课题在多普勒天气雷达、卫星、自动气象站等资料与常规观测资料的融合、同化技术、灾害性天气临近预报技术、精细数值天气预报模式和气象条件对奥运体育项目评估模型方面都取得了突破性进展,本论文集汇编了这两年的主要研究成果,整编成册,以飨读者。

本论文集可供资料同化、数值模式、临近预报、体育气象等方面的研究人员和预报员参考,希望能对读者有所裨益。

章国材

2004 年 10 月

目 录

前言

专题一 全程精细滚动预报技术的研究

“00.7”北京特大暴雨模拟中气象资料同化作用的评估

..... 张朝林 陈 敏 Ying-Hwa kuo 范水勇 仲跻芹(3)

地形对“00.7”北京特大暴雨过程影响的数值研究

..... 张朝林 季崇萍 Ying-Hwa kuo 范水勇 轩春怡 陈 敏(11)

北京MM5 三维变分系统背景场误差的结构特征与冷暖季对比分析

..... 范水勇 张朝林 仲跻芹(20)

利用背景场误差协方差函数获得垂直风廓线研究 朱立娟 龚建东(26)

常规资料三维变分同化试验 郝 氏 邓莲堂 龚建东(37)

地面观测资料同化初步研究 徐枝芳 龚建东 王建捷 李泽椿(43)

雷达反射率资料在中尺度数值模式中的应用 李萍阳(53)

运用 3DVAR 系统同化多普勒雷达反演风场的初步试验

..... 邵爱梅 杨 毅 邱崇践(61)

新一代中尺度天气预报模式——WRF 模式简介 邓莲堂 王建捷(68)

WRF 模式的标准化处理及应用改进试验 朱政慧 闫之辉(77)

微物理过程优选及其个例预报试验 闫之辉 邓莲堂(84)

边界层参数化方案的对比试验 陈 炯 王建捷(90)

北京市“04.07.10”强降水过程的超级集合预报试验

..... 陈 静 矫梅燕 薛纪善 何光碧 李 川 龚建东(99)

国家气象中心全球集合预报系统的研究进展

..... 田 华 邓 国 姚明明 龚建东(109)

三维非静力局地气候模式性能分析 张永山 张洪涛 高 歌 田利庆(116)

顺义奥林匹克水上公园规划方案气象条件分析 魏建明 季崇萍 潘丽卿(123)

MM5 的数字滤波初始化研究 陈 敏 黄向宇 范水勇(128)

SVM 方法在释用中的应用研究 王在文(139)

多模式降水集成预报 赵声蓉(147)

专题二 奥运会期间灾害性天气短时和临近预报技术研究

- 对流天气临近预报技术的发展与研究进展 陈明轩 俞小鼎 谭晓光 王迎春(153)
- 北京地区单双频地基 GPS 大气水汽遥测试验与研究进展
..... 谢 璞 张朝林
- 王迎春 楚艳丽 张京江 王京丽 李 矩 Ying-Hwa Kuo and John Braun(165)
- 北京地区夏季高温天气合成分析 郑祚芳 王迎春(172)
- 利用一种自动识别算法移除雷达反射率中的亮带
..... 陈明轩 高 峰 俞小鼎 谭晓光(180)
- 雷击及强对流天气的对比分析 郭 虎 梁 丰 付宗钰 李志楠(186)
- 中尺度数值模式初始场的增量分析 邵明轩 陈 敏 陶祖钰 仲跻芹(197)
- 一次局地灾害性强降水过程的数值模拟分析 郑祚芳 王迎春(208)
- 地形雨落区与气流的垂直分布 孙继松(213)
- 地形锋生与北京地区局地强对流 孙继松 李 津 李晓艳(222)
- 地形对夏季冰雹事件时空分布的影响研究 孙继松 石增云 王 令(228)
- 北京地区夏季边界层急流的基本特征及形成机理研究 孙继松(236)
- 道路能见度监测预报技术方法研究 李 迅 张德山 丁德平(244)
- 青岛近海地区海陆风数值模拟和三维结构研究 林 行 吴增茂 高山红(250)

专题三 气象条件对奥运体育运动项目的影响分析研究

- 北京夏季高温与城市热岛效应 郑祚芳 范水勇 王迎春(259)
- 北京夏季高温闷热天气的气候特征和 2008 夏季奥运 ... 王迎春 葛国庆 陶祖钰(265)
- 奥运会期间气候背景分析 轩春怡 舒文军(273)
- 北京奥运会期间的气象条件 朱燕君 陈 峪 李庆祥 熊安元(277)
- 2008 年北京夏季奥运会气象风险分析 舒文军 轩春怡(286)
- 奥运场馆规划方案大气环境效应研究
..... 王晓云 苗世光 郭文利 季崇萍 陈鲜艳 刘海涛(290)
- 空气负离子浓度变化与气象要素 陆 晨 季崇萍(298)
- 气象条件对北京国际马拉松比赛成绩的影响 叶殿秀 宋艳玲 张 强(304)
- 气象因素对标枪成绩的影响分析 肖风劲 张 强 张旭光 叶殿秀(311)

专题一

**全程精细滚动
预报技术的研究**

“00.7”北京特大暴雨模拟中 气象资料同化作用的评估*

张朝林¹ 陈 敏¹ Ying-Hwa kuo^{2**} 范水勇¹ 仲跻芹¹

(1 中国气象局北京城市气象研究所, 北京: 100089)

(2 MMM Division, NCAR, P. O. Box 3000, Boulder, CO, 80307-3000, U. S. A.)

摘 要:针对 2000 年 7 月 4~5 日北京地区的一次特大暴雨过程(24 小时降水量达 240mm), 本文利用 MM5/WRF 三维变分系统和 MM5 非静力模式, 对此次特大暴雨过程中的各种气象监测资料(地基 GPS 大气柱水汽含量、常规探空、高空测风、地面常规观测和地面自动气象站)的同化作用进行了评估。结果表明:与客观分析方案相比较, MM5/WRF 三维变分同化系统可直接引入非常规地基 GPS 大气柱水汽含量监测资料, 提供较客观分析方法更好的大气资料分析场。同化各种大气监测资料均对改进此次特大暴雨模拟有不同程度的贡献, 其中, 常规探空和高空测风监测资料对改进预报结果的影响最大, 地面常规观测和地面自动气象站观测资料作用次之, 地基 GPS 大气柱水汽含量资料在与其它大气监测资料相互优势互补后, 可很好地改善同化与分析质量, 提高降水预报准确率。本文结果对利用三维变分数值系统, 评估气象监测网资料对改进高影响天气的预报作用有借鉴意义。

关键词:三维变分; 资料同化; 全球定位系统; 数值预报

1 引 言

与客观分析等传统的数值预报初值形成方法相比, 数值预报变分同化系统具有很多优点。由于其无需对大气监测资料进行预先反演, 就能容易地实现对资料的直接同化。因此, 伴随着卫星、雷达等大气非常规监测技术的飞速发展, 在非常规气象监测资料成为人们全面了解和准确预测未来大气运动必不可少的信息源情况下, 数值预报变分同化技术已成为国际上主要发展的新一代数值天气预报初值形成方法。在上世纪 90 年代, 美国和欧洲等发达国家首先在的数值预报业务中实现了三维变分同化系统的应用^[1], 近年来, 欧洲中心、法国和日本等少数国家和组织, 实现了四维变分同化系统在全球和区域天气预报的业务中应用, 丹麦和美国等业务部门, 也正在发展自己的四维变分同化业务系统。目前, 中国集中优势资源, 开始在数值天气预报变分同化方法这一领域开展系统性的研发工作, 也取得了许多可喜的成果, 为我国在数值预报业务中实现变分同化方法应用提供了科学基础和技术支持。但是, 与欧、美等先进国家相比, 在变分同化系统的应用水平(尤其是业务应用)方面还存在一定的差距。应用变分同化技术, 可以通过大气监测系统数值试验(OSEs), 对已有大气监测网中各种类型的气象资料进行影响评估, 国外在这一方面的研究已有较大的发展^[2], 为开展大气监测网络建设提供了非常有实际意义的科学参考。在中国, 近年来开展过利用美国 PSU/NCAR 的 MM5V2 中尺度非静力模式, 通过进行多个例数值对比试验, 分析北京地区重要天气系统发生发展对站点大气风场垂直分布特征的敏感度, 进而评估北京地区风廓线仪观测网布设方案的数值研究^[3]。但据作者所知, 目前利用变分同化技术, 分析现有

* 北京市科委项目(H010510120119; H020620250330)、北京市 2001~2004 年度科技新星计划项目(H013610330119)、国家科技部项目(2002BA904B05)和北京市气象局“中尺度业务预报系统建设”项目联合资助。

** 中国气象局北京城市气象研究所名誉所长。

大气监测网中各种类型的资料对强天气过程影响的研究仍有待深入开展。在北京申办 2008 年奥运盛会成功后,北京地区将进行大气监测网进行全面的更新或升级,为北京大气监测网络建设提供科学合理的研究成果,已成为一项亟待解决的问题。本文针对北京地区 2000 年夏季降水强度最大的一次特大暴雨过程,利用 MM5/WRF 三维变分系统和 MM5 中尺度非静力数值预报模式,对此次降水过程中的各种大气监测资料的影响和作用进行了研究,取得了一些初步成果,为开展北京及周边地区的大气监测网络建设提供了科学参考。

2 MM5/WRF 3DVAR 同化系统简介与数值试验方案设计

2.1 MM5/WRF 3DVAR 同化系统简介

本研究使用 MM5/WRF 3DVAR 三维变分同化系统,是 2003 年 6 月发布的最新版本(V1.3.0, Jun. 2003 UCAR),较早期版本做了大量改进^[4,5]。此三维变分同化系统不仅可广泛应用于气象科学研究;而且还具有很好的实际应用价值。在我国,张昕和王斌等曾对此系统的早期版本 MM5 3D-Var 1.0 系统进行过成功的改造移植,并对 1998 年 7 月 20 日发生在武汉的特大暴雨成功地进行了数值模拟^[6]。

本研究针对北京地区应用和研究需要,实现了 MM5/WRF 3DVAR 三维变分同化系统的应用移植。并主要进行了以下方面的工作:①对北京及周边地区的地基 GPS 大气柱水汽含量资料、常规探空、高空测风、地面常规观测和地面自动气象站观测进行资料预处理开发,实现了各种大气监测数据格式对 MM5/WRF 3DVAR 系统的支持;②利用 2000 年 7 月 1 日~31 日期间,MM5V3.6 模式在每一模式日相同时刻的 24 小时预报与 12 小时预报输出,采用美国 NMC—method 计算方案^[7]求气候意义上的 3DVAR 背景场协方差矩阵,MM5 初始边界条件用三维变分的同化分析结果作进一步的更新;③根据北京及周边地区的气候特征和实际观测,对 NMC—method 计算方案求出的背景场水平影响特征尺度作了适当调整。

2.2 模式简介

数值试验利用 MM5(V3.6, PSU/UCAR)中尺度非静力数值预报模式^[8,9]进行。具体设计如下:采用非静力平衡动力框架,预报区域中心为(40°N, 116°E)。水平格距 10km,南北向取 67 个格点,东西向取 81 个格点,垂直方向为 σ 坐标,取 23 层。时间积分步长取 30s。主要物理过程为:Dudhia simple ice 显式降水预报和 GRELL 积云对流参数化方案,MRF PBL 行星边界层方案,Dudhia 云辐射方案、采用松弛流入流出侧边界,下垫面采用 5 层土壤参数化方案。

2.3 数值试验设计

2.3.1 试验个例

2000 年 7 月 4 日 00 时~5 日 00 时(GMT),受小尺度强对流活动和地形影响^[10],同时与较大尺度范围内的较弱对流系统叠加而增强,北京地区发生了一次特大暴雨过程(即“00.7”北京特大暴雨),北京市门头沟自动气象站 24 小时降水量高达 240mm,资料统计表明这次特大暴雨是 2000 年夏季北京最大的一次降水过程。

2.3.2 北京及周边区域内的大气监测网空间分布

图 1(a)~(d)分别给出了模拟区域中常规探空、高空测风、地面常规观测与自动气象站,地基 GPS 大气水汽监测网的空间分布情况。图 1(a)和图 1(b)表明,虽然常规探空和高空测风大气监测站较少,站距约为 100~200km,但其空间分布均匀,能较好地监测模拟区域中高空大中尺度天气系统的变化。从图 1(c)可见,地面常规观测与自动气象站监测网在陆地上站距约为 20~50km,具有很高的空间分布

密度(尤其是在有自动气象站监测网的北京地区),其可监测并提供小尺度天气系统的生消变化信息。同期进行的北京地区地基 GPS 大气水汽监测试验网(参见图 1(d))由 10 个约 20~30km 站距的地基站组成,集中分布在北京市地区,可有效监测北京上空大气柱水汽含量变化。

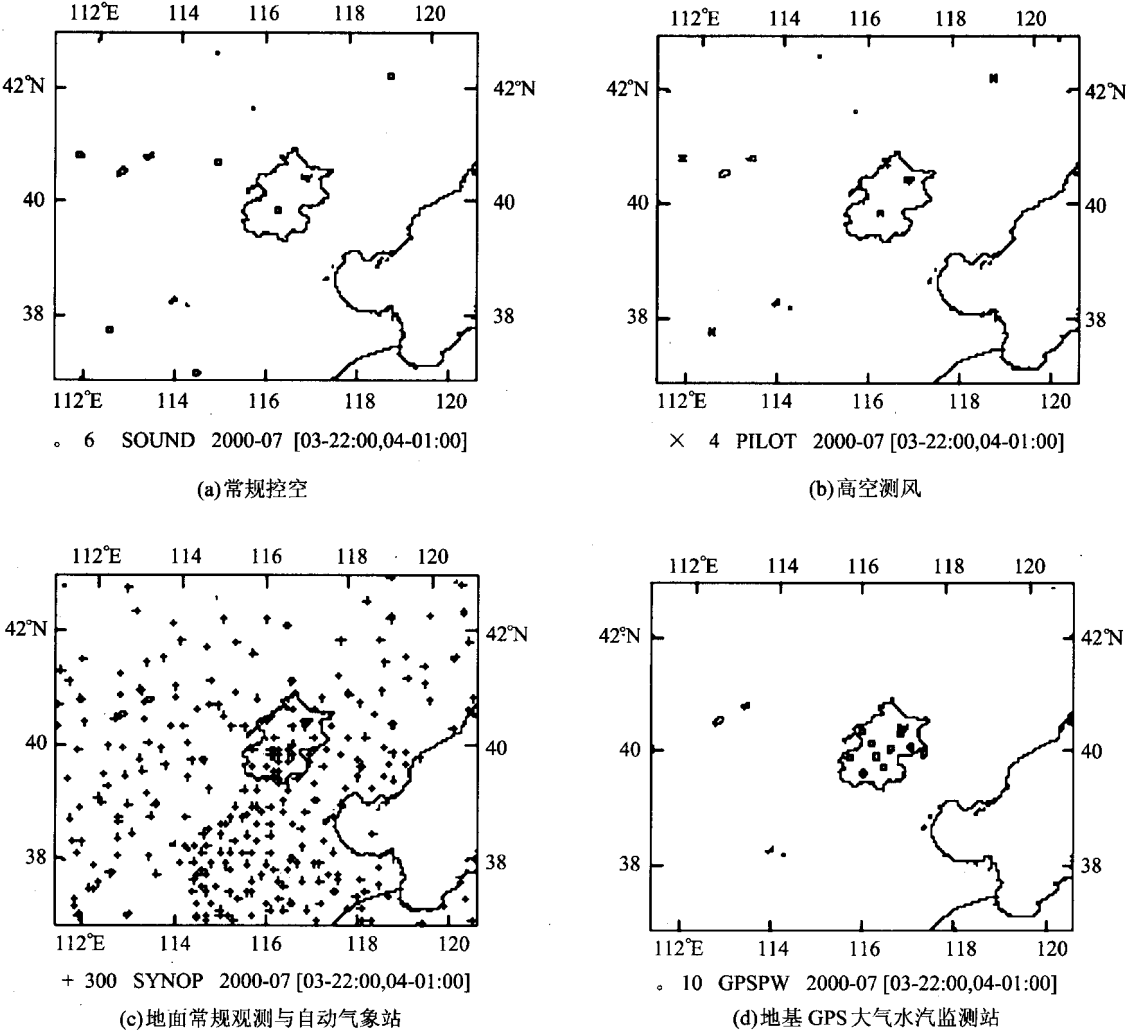


图 1 模拟区域内大气监测网空间分布

2.3.3 试验方案设计

根据北京及周边区域内大气监测网空间分布情况(参见图 1 和上小节讨论),为评估各气象监测资料(地基 GPS 大气柱水汽含量、常规探空、高空测风、地面常规观测和地面自动气象站)对此次暴雨过程的影响,我们设计了如表 1 所示的 7 个数值试验方案。以 7 月 4 日 00 时(GMT)三维变分分析场或客观分析方法形成模式初值,利用 MM5 模式系统进行 24 小时数值积分。通过比较分析各数值试验方案(试验 1~7,参见表 1)下降降水等预报要素的客观检验结果,研究北京及周边地区各种大气监测资料对“00.7”北京特大暴雨预报的改进作用。这里另需补充说明以下几点:

- ①在采用 MM5 Litter-R 客观分析方法生成模式初值的方案中,包括了模式预报区域内的所有常规地面、自动站、探空、测风观测,以及北京地区 12 个县站地面观测实时资料;
- ②在采用 MM5/WRF 3DVAR 三维变分方法生成模式初值的各方案中,除可同化分析了上一方案的各种资料外,还可同化北京地区 10 个地基 GPS 水汽监测试验的大气柱水汽含量资料。

③每一数值试验,时间积分均为 24 小时。MM5 模式边界每 12 小时更新,由国家气象中心(北京,中国)的 T106 全球模式的 12、24 和 36 小时预报场提供。其中,对于采用 MM5/WRF 3DVAR 分析同化结果作为模式初始边界条件的数值试验,初始边界条件用三维变分的同化分析结果进行了进一步的更新。

③针对各数值试验方案结果,对模式预报要素进行了客观检验,其中,降水实况资料来源于地面测报和地面自动气象站降水观测资料,而其余检验资料实况来源于以国家气象中心(北京,中国)T106 全球谱模式相应时次分析场(或预报场)作为背景信息,对常规地面与高空测报资料分别进行客观分析后的结果。

表 1 数值试验方案设计

试验	初值分析方法	背景场处理方法	监测资料类型 (括号内为各监测资料数量)	模式区域监测 资料总数(个)
试验 1	MM5/WRF 3DVAR 三维变分	利用 2000 年 7 月 1 日—31 日期间,模式在每一模式日相同时刻的 24 小时预报与 12 小时预报输出,采用美国 NMC—method 计算方案求 3DVAR 背景场协方差矩阵,MM5 初始边界条件用三维变分的同化分析结果作进一步的更新。	常规探空(6)、高空测风(4)、地面常规观测和地面自动气象站观测资料(308)、地基 GPS 大气柱水汽含量遥测资料(10)	328
试验 2	MM5 Litter_R 客观分析方案	MM5 模式边界和背景场由国家气象中心(北京,中国)的 T106 全球中期预报业务模式 12、24 和 36 小时预报场提供。每 12 小时更新。	常规探空(6)、高空测风(4)、地面常规观测和地面自动气象站观测资料(308)	318
试验 3	同试验 1	同试验 1	同试验 2	318
试验 4	同试验 1	同试验 1	常规探空(6)、高空测风(4)	10
试验 5	同试验 1	同试验 1	地面常规观测和地面自动气象站观测资料(308)	308
试验 6	同试验 1	同试验 1	地基 GPS 大气柱水汽含量遥测资料(10)	10
试验 7	同试验 1	同试验 2	无	0

3 分析与讨论

3.1 大气监测资料对降水预报的影响

表 2 数值试验降水测站 TS 评分

TS 评分阈值	检验要素	时段(依次用两位数表示月、日和小时)	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5	试验 6	试验 7
1mm	6 小时降水预报	070400—070406	0.65	0.61	0.57	0.46	0.63	0.52	0.60
		070406—070412	0.88	0.81	0.80	0.85	0.80	0.79	0.83
		070412—070418	0.68	0.63	0.63	0.66	0.68	0.66	0.67
		070418—070500	0.36	0.40	0.35	0.35	0.42	0.38	0.37
	24 小时降水预报	070400—070500	0.72	0.78	0.72	0.84	0.74	0.83	0.80
5mm	6 小时降水预报	070400—070406	0.55	0.48	0.56	0.35	0.51	0.44	0.50
		070406—070412	0.70	0.53	0.67	0.65	0.59	0.51	0.59
		070412—070418	0.41	0.37	0.41	0.37	0.38	0.34	0.37
		070418—070500	0.30	0.31	0.31	0.29	0.31	0.33	0.31
	24 小时降水预报	070400—070500	0.76	0.73	0.71	0.76	0.75	0.70	0.75
10mm	24 小时降水预报	070400—070500	0.67	0.62	0.67	0.68	0.67	0.65	0.64
20mm	24 小时降水预报	070400—070500	0.63	0.59	0.69	0.60	0.64	0.54	0.61

表 2 给出了试验 1~试验 7 的降水预报 TS 测站评分。从表 2 可见,各试验的 24 小时降水预报的 TS 评分,高值达 0.8 以上(对应于阈值取 1mm 降水的多个试验结果),最低值也达 0.54,(对应于阈值取 20mm 降水的试验 6),各试验对应 1、5、10 和 20mm 评分阈值的 24 小时降水预报 TS 评分,对应值大多在 0.7 以上。表明分别利用 MM5 3DVAR 三维变分同化系统和 MM5V3.6 模式,对“00.7”北京特大暴雨过程中,降水量、落区和起始时段的模拟,均取得了令人满意的结果。对比试验 1 与试验 2 在各评分标准和评分时段下的 TS 值可见,试验 1 下的绝大多数的 TS 评分均高于试验 2(试验 1 仅在阈值取 1mm 和 5mm 降水的一个的 6 小时降水检验时段(070418—070500)和阈值取 1mm 的 24 小时检验,对应的 TS 值略低于试验 2),这除表明采用 MM5/WRF 3DVAR 三维变分方法形成的模式初值可行、可信外,也说明由于采用 3DVAR 方法,具有直接同化北京地区 10 个地基 GPS 水汽监测试验的大气柱水汽含量遥测资料信息的能力,能较采用 MM5 Litter-R 客观分析方法更好的降水模拟结果。比较表 2 中试验 1 和试验 3 下的 6 小时降水 TS 评分可见,仅在 5mm 阈值,00070400—070406 和 070418—070500 两个 6 小时降水检验时段内,试验 1 下 TS 评分比试验 3 略为偏低外(试验 1 分别为 0.55,0.30,试验 3 分别为 0.56 和 0.31),试验 1 下其余的 TS 评分均高于试验 3,偏高值在为 0.01~0.08 之间,24 小时 TS 评分也有类似特点。结合上面试验 1、试验 2 和试验 3 的 TS 评分对比分析,一致表明在用三维变分方法同化北京地区地基 GPS 水汽监测试验的资料信息后,试验 1 的模式初值与采用客观分析方法(即试验 2)和仅包含常规高空和地面观测的同化方案(即试验 3)相比,提高了分析质量,改进了降水预报的准确率。根据表 2 分别比较试验 4、试验 5、试验 6 与试验 7 的 TS 评分值,以及相互间的差异,可见各评分标准和评分时段下的 TS 评分值,按总体上从大到小的顺序,表现为试验 5 最大,试验 4 次之,试验 7 较次之,试验 6 的 6 和 24 小时 TS 评分,除在少数评分阈值或评分时段较试验 7 略有偏高,其余基本上较试验 7 偏低或相当。由于试验 7 代表了背景场信息对此次降水预报的贡献,所以以上结果表明,在此次强降水预报中,常规地面观测和地面自动气象站资料对改进此次降水预报的模式初值同化质量的影响最大,这应是其远较其它监测资料丰富的结果(测报资料高达 318 个,参见表 1 和图 1)。尽管探空、测风观测影响次之,但必须注意这是仅由 10 个具有三维大气探测信息站点的影响结果,说明发展具有空间探测能力的大气观测仪器,丰富三维大气信息对改进短期数值预报具有重要的意义。试验 6 下的 TS 值总体上低于试验 7,表明若仅同化地基 GPS 水汽遥测资料一而不同时综合同化北京及周边地区高空,地面常规大气观测资料时,其对此次过程的降水预报呈负面或中性的影响。结合前面对试验 1 和试验 3 降水预报 TS 评分的分析,表明对地基 GPS 水汽遥测试验的大气柱水汽含量遥测资料的同化工作,应与其它大气监测资料相互补充,优势互补后才能很好地改善同化与分析质量,进而改进模式初值,提高短期数值预报的降水预报准确率。试验 7 也取得了较高的 TS 降水评分检验,则表明国家气象中心(北京,中国)的 T106 全球中期预报业务模式具有较好的预报水平,为此次过程提供了较高质量的模式背景场和边界信息。

3.2 “00.7”北京特大暴雨模拟

图 2(a)和图 2(b)分别给出了 24 小时降水量实况、试验 1 模拟的总降水分布。从图 2(a)可见,2000 年 7 月 4 日 00 时至 5 日 00 时(GMT)期间,模式区域内实况降水主要呈东北—西南带状分布,其中主要有两个大暴雨中心,一个位于北京,24 小时降水最大值达 240mm(北京门头沟自动气象站降水观测),资料统计表明这次特大暴雨是 2000 年夏季北京最大的一次降水过程;另一个中心位于模拟区域的南边界附近,中心值为 113mm(河北邢台常规气象站观测)。对比图 2(a)和图(b)明显可见,试验 A 对降水型态分布和以上两个最大暴雨中心的模拟都取得了令人满意的结果。在北京西南地区,模拟的 24 小时降水达 285mm,位置与强度都与门头沟实况观测(240mm)非常接近。对河北邢台地区暴雨的位置模拟很成功,但中心值达 237.3mm,与邢台观测 138mm 相比较大。注意到在模拟范围内,北京地区有

密集自动气象站观测网,而其它地区只有常规地面与高空观测,河北邢台的实况能表明暴雨过程的客观发生,但其量值却有可能没有代表此附近的最大降水。肯定的是,试验 A 对河北邢台邻近区域的暴雨模拟是成功的。从试验 1 模拟的显式方案降水和 Grell 积云参数化降水分布图(图略)上可以进一步看出,北京地区模拟的暴雨分布与强度主要决定于 10km 水平分辨率下的简单冰显式降水模拟, Grell 积云参数化物理方案贡献的较小。而在河北邢台邻近区域的暴雨过程基本上是 Grell 积云参数化物理方案的模拟结果,表明该范围内的降水受较大天气尺度对流系统的影响。分析北京地区雷达观测和日本静止卫星 Tbb 图(图略)资料表明,北京区域的暴雨过程是主要受小尺度强对流活动影响,同时受更大尺度范围内的较弱对流系统叠加而增强,而河北邢台邻近区明显是一中尺度对流系统影响的结果,这与试验 1 的模拟结果是一致的。

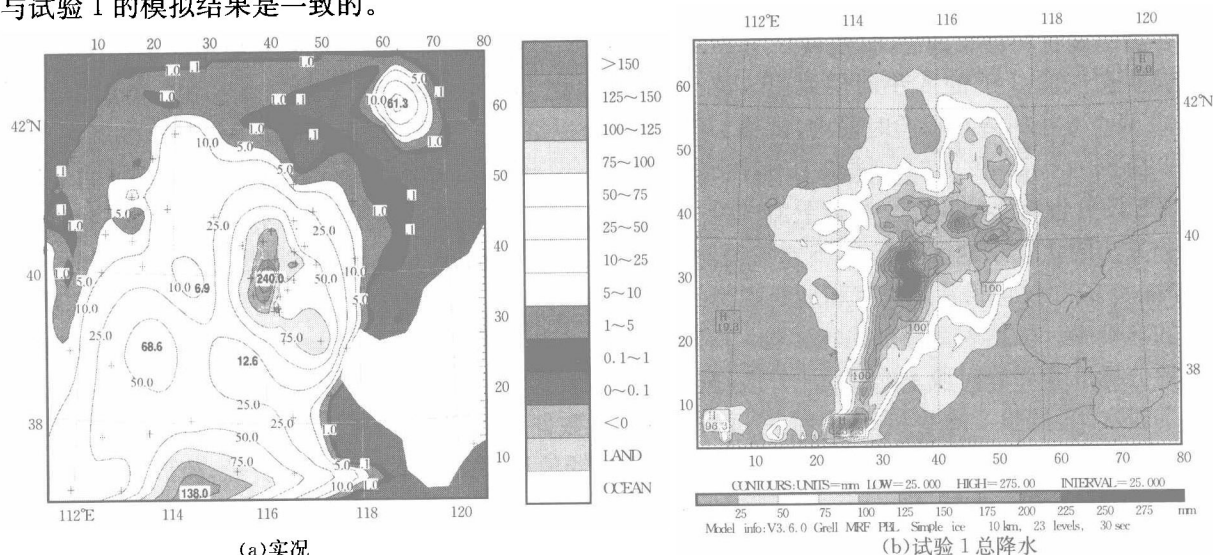


图 2 2000 年 7 月 4 日 00 时至 5 日 00 时(GMT)24 小时降水实况与试验 1 模拟结果(单位:mm)

3.3 大气观(遥)测资料对模式预报要素评分技巧的影响

分别对数值试验 1~试验 7 方案下的 300hPa、500hPa、700hPa 和 850hPa 层预报风场、温度场和比湿场进行 0、12 和 24 小时预报均方根误差检验,得到各数值试验方案下预报均方根误差(rms)的时空变化(表 3,略)。分析对比表 3 结果,总体表明,在预报的初始时刻(0 小时预报),试验 2 下的预报风场、温度场和比湿场在大气高层(300hPa)、中层(500hPa)和中低层(700hPa 和 850hPa)等代表性高度的 rms 值在所有数值试验方案中最小,试验 7 最大,其余试验方案中则又以试验 4 下的结果与试验 2 最为接近。以 850hPa 水汽比湿场在 0 小时的 rms 值为例,试验 1~试验 7 下的相应 rms 值依次为 1.1、1.0、1.1、1.0、1.5、1.4 和 1.6g/kg。以上结果一方面与试验 2 采用 MM5 Litter-R 客观分析方案进行模式初值分析,认为在分析过程中,经一定质量控制后的测站监测资料是完全可信的(即不考虑监测资料代表性误差和仪器误差的客观存在),从而试验 2 初值分析结果与检验方法中所取的大气实况最接近有关(参见 2.3.2 试验方案小节中的检验方法设计);另一方面则是试验 7 仅考虑大尺度背景场信息,而忽略在检验方法中认为完全可信的测站监测资料的反映;试验 4 下的 rms 值与试验 2 最接近,说明了高空探测对给出大气三维空间信息的重要性。其余数值试验下的结果,是 3DVAR 三维变分方法综合考虑大气监测资料和背景场信息相互影响的直接体现。试验 1~试验 7 各方案下在 12 和 24 小时预报预报均方根误差差异很小。说明用 MM5/WRF 3DVAR 变分方法进行模式初值分析不会引进模式短期预报误差出现异常增长情况,在实际应用中是可行可信的。以上结果还说明,应用传统的资料分析方法来表征大气实况,进而进行数值预报要素检验的方法,与变分分析认为监测资料客观上也有误差存在的理论

基础不一致,需要在今后开展更客观、有效的数值预报检验方法研究,为变分方法在数值预报应用中的客观检验提供新方法。

4 结 论

利用 MM5 三维变分同化系统和 MM5V3.6 非静力中尺度模式,本文成功地进行了北京及周边地区的地基 GPS 大气柱水汽含量遥测资料、常规探空、高空测风、地面常规观测和地面自动气象站观测资料的同化分析和数值预报应用试验。并分析了北京及周边地区各种大气监资料对改进北京“00.7”特大暴雨过程数值模拟的作用,主要取得以下结论:

①应用 MM5/WRF 三维变分系统,在分析过程中可直接引入更多的非常规大气监测信息(如地基 GPS 大气柱水汽含量遥测资料)。可广泛应用于北京及周边地区现有的各种大气观(遥)测资料的数值分析与预报。与客观分析方法相比,该系统给出的大气资料分析场包含了更为丰富的大气监测信息,作为中尺度数值模式初值,提高了短期数值预报水平。

②本文成功分析了北京及周边地区各种大气监测资料在一次降水过程中的作用,为利用三维变分资料同化方法评估各种大气监测资料对高影响天气过程和气候变化的影响提供了借鉴。

③地基 GPS 大气柱水汽含量能提供与强对流天气紧密联系的水汽信息,此研究表明地基 GPS 水汽监测资料与其它大气监测资料共同进行变分同化,很好地改善模式初值同化与分析质量,对提高短期数值预报的降水预报准确率有明显作用。

④应用传统的资料分析方法来表征大气实况,进而进行数值预报要素检验的方法,与变分分析认为监测资料客观上也有误差存在的理论基础不一致,需要在今后开展更客观、有效的数值预报检验方法研究,为变分方法在数值预报应用中的检验提供新方法。

⑤这仅是针对强降水个例的研究,今后需要开展更深入和广泛的工作。

致谢:美国国家大气研究中心(NCAR)的 Dale Barker 博士、YongRun Guo 教授和 Wei Huang 教授,丹麦气象研究院(DMI)的 Hans Xiang-Yu Huang 博士对三维变分及其应用提供了技术指导;北京大学毛节泰教授、李成才副教授,国家卫星气象中心方宗义研究员、夏青研究员和曹云昌博士参与了此次过程中的地基 GPS 观测试验,中国气象局北京城市气象研究所的楚艳丽工程师、张京江高级工程师、王京丽高级工程师参与了地基 GPS 资料的处理与解算,在此一并深表谢忱。

参考文献

- [1] Lorenc, A. C., S. P. Ballard, R. S. Bell, N. B. Ingleby, P. L. F. Andrews, D. M. Barker, J. R. Bray, A. M. Clayton, T. Dalby, D. Li, T. J. Payne, and F. W. Saunders, 2000: The Met. Office global three-dimensional variational data assimilation scheme. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 2991—3012
- [2] Y.-R. Guo, Y.-H. Kuo, J. Dudhia, D. Parsons, C. Rocken. 2000, Four-dimensional variational data assimilation of Heterogeneous mesoscale observations for a strong convective case. *Monthly Weather Review*, 128:619—643
- [3] 张朝林,王迎春. 2002,北京地区风廓线仪布网方案的数值研究,气象学报, 60(6):786—791
- [4] D. M. Barker*, W. Huang, Y.-R. Guo, A. J. Bourgeois, and Q. N. Xiao, 2003, A Three-Dimensional Variational Data Assimilation System For MM5: Implementation And Initial Results (Submitted To *Monthly Weather Review*)
- [5] Dale Barker, Wei Huang, Yong-Run Guo, and Al Bourgeois A Three-Dimensional Variational (3DVAR) Data Assimilation System For Use With MM5, Available from MM5 3DVAR web-site <http://www.mmm.ucar.edu/3dvar>
- [6] 张昕,王斌,季仲贞,林万涛. 2002,“98.7”武汉暴雨模拟中的三维变分资料同化研究,自然科学进展, 12(2):156—159