

Advances

in Meteorological Science and Technology

气象科技进展

No.5

2012年10月
第2卷 第5期

现代天气业务 专辑



ISSN 2095-1973



中国气象局气象干部培训学院 主办

气象科技 **进展**
Advances in Met S&T

主管 中国气象局
主办 中国气象局气象干部培训学院
出版 《气象科技进展》(英文) 编辑部

名誉主编 丑纪范 中国气象局气象干部培训学院
主编 许小峰 中国气象局

副主编

肖子牛 中国气象局气象干部培训学院
翟盘茂 中国气象科学研究院
罗云峰 中国气象局
王会军 中国科学院大气物理研究所
李维京 国家气候中心
胡永云 北京大学
谈哲敏 南京大学
费建芳 解放军理工大学
管兆勇 南京信息工程大学
周定文 成都信息工程学院
黄建平 兰州大学
廖小罕 国家遥感中心
吕世华 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所
贾朋群 (专职) 中国气象局气象干部培训学院

常务编委 (按音序排名)

成秀虎	高学浩	龚建东	郭学良	李 柏
李国平	倪允琪	曲晓波	任国玉	任小波
沈文海	王卫丹	武炳义	杨修群	俞小鼎
张朝林	张 鹏	张庆云	赵 平	

编委 (按音序排名)

毕宝贵	陈云峰	陈振林	崔春光	崔讲学
董文杰	封国林	郭 虎	何金海	何 清
胡 欣	胡玉蓉	胡跃文	姜 彤	雷小途
李 慧	李集明	李良福	李耀辉	李跃清
梁旭东	刘晶森	刘黎平	刘 实	卢乃锰
陆日宇	罗 兵	罗亚丽	马 力	马舒庆
马耀明	毛恒青	彭莹辉	浦一芬	石广玉
宋 燕	汤 绪	田 红	万齐林	王 斌
王东海	王建林	王晓云	王延青	王迎春
王 元	王在志	王自发	温 敏	文洪涛
吴立广	谢志辉	闫冠华	杨昭明	姚学祥
伊 兰	翟武全	张 华	张立祥	张小玲
张跃堂	赵广忠	周凌晔	周显信	朱定真
朱小祥	祝燕德	邹立尧		

海外编委 (按音序排名)

陈镜明	李 俊	刘征宇	金飞飞	王 斌
翁富中	杨 崧	张大林	张广俊	邹晓蕾

编辑部

张 萌 侯美亭 胡 英 陈忠美
地址: 北京市中关村南大街46号,
中国气象局气象干部培训学院 100081
电话: (010) 68409927/68409933
邮箱: amst@cma.gov.cn
Notes: 气象科技进展编辑部/图书馆/干部学院/CMA
网址: <http://library.cma.gov.cn/amst>
官方微博: <http://weibo.com/2115232930/profile>
印刷: 北京宝昌彩色印刷有限公司

国际标准刊号: ISSN 2095-1973
国内统一刊号: CN 10-1000/P
定价: 20元



本刊已被教育阅读网、万方数据、《中国学术期刊网络出版总库》及CNKI系列数据库收录, 相关著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。作者向本刊提交文章发表的行为(除事先声明外)视为同意文章被上述数据库收录。

目 次

第2卷 第5期 2012年10月
(现代天气业务 专辑)

研究论文

封面报道

6 端义宏, 金荣花: 我国现代天气业务现状及发展趋势

回顾了我国现代天气业务发展历程, 着眼于预报业务体系、预报技术和平台、预报员队伍培养等方面, 概述了现代天气业务现状……

研究进展

12 赵声蓉等: 我国精细化客观气象要素预报进展

22 毛冬艳: 我国强对流天气监测和预报业务

29 宗志平等: 定量降水预报技术研究进展

36 钱传海等: 我国台风业务现状及其关键技术

44 钱维宏: 瞬变涡扰动法在极端天气事件预报中的应用

“卫星资料应用”专题系列

49 邹晓蕾: GPS无线电掩星资料特点

短论

55 王刚等: 广州白云机场一次秋季大暴雨成因及上游对流云团的触发机制

58 张萌等: “天气业务”主题文献计量学指标分析

主编语

人类对未知天气的敬畏,以及对于莫测风云的探究和利用之心自古有之。重大的历史事件中也往往会伴有天气气候因素。天气、气候条件的优劣会影响人类的生存质量,甚至国家、朝代的兴衰。盛极而衰、否极泰来,无论是自然界还是人类社会的变迁,从长期演变的角度,都难以违背这一规律。这种周而复始的趋势通过描述中国气候变化周期性波动的“竺可桢曲线”有着清晰的体现。只是近百年来,当人类活动的外部性对自然界的影响日趋强化后,未来的气候变化将会如何调整似乎变得扑朔迷离,引起了气象学家和社会各界的广泛关注和讨论。可喜的是,伴随现代科技的发展与进步,人类探索天气、气候变化奥秘的能力,无论是从基础资料的获取和处理,还是在分析、预测技术领域都有了巨大进步。

探寻现代天气预报技术的起源,还要追溯到19世纪中叶。时任法国巴黎天文台台长的勒佛里埃先生,为了研究一次风暴的来龙去脉,写信给各国天文、气象工作者,要求提供风暴期间各国的天气资料。在经过一番细心的分析、推理和判断之后,他在法国科学院做报告称:假如组织气象站网,用电报迅速把观测资料集中,并分析绘制成天气图,就有可能推断出未来风暴的运行路径。他独特的设想,在法国乃至全世界引起了强烈反响,也正是在他的推动下,1856年,法国成立了世界上第一个真正意义上的国家天气预报服务系统。利用科技手段获取气象资料,并进行快速收集和分析,为后来现代气象业务的快速发

展奠定了基础。

天气预报业务发展到今天,早已超出了早期对少量要素做简单预报的范畴,已涵盖了信息处理与分析、预报方法与技术、各种预报产品制作和完整服务体系等各个方面。为使广大读者能够对现代天气业务有更加深入的了解,在国家气象中心协调和帮助下,本期《气象科技进展》推出“现代天气业务”专辑。除了在主打论文中综述了我国现代天气业务现状及未来发展趋势(P6)外,还分别对我国精细化客观气象要素预报(P12)、强对流天气监测和预报(P22)、定量降水预报(P29)、台风预报(P36)等现代天气业务的部分领域做了介绍。

在现代天气业务无法忽视的资料处理领域,本期在“卫星资料应用”专栏继续刊载由邹晓蕾教授主持的系列文章,介绍和评价了GPS无线电掩星资料的原理和应用情况(P49)。而在“论坛”栏目,则扩展到对行业气象发展、预报的哲学使命、大气科学研究的评估以及气象与IT发展的关系等更加广泛的问题展开讨论。虽然“现代天气业务”这样的命题,只能通过本刊窥其一斑,但这样的梳理,也许能唤起更多的创新思路,并促进进一步的交流。本期“特写”中介绍的美国气象现代化项目回顾性评估及其对未来发展的牵动(P73),则是通过国际视野为读者提供气象业务发展的信息与思路。

许小峰



P6

封面报道:我国现代天气业务现状及发展趋势

封面图:现代天气业务

论坛

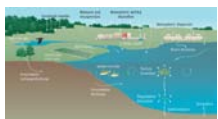
- 61 周建华等:现代民航气象业务进展
- 64 周庆亮:美国“强对流预报哲学与技术思维方法”简述
- 68 王亚光等:气象科研成果应用效益评估指标设计与试验初探
- 70 周琰等:国家级气象园区骨干网络的规范化调整

科学观察

- 2 读图 数字 榜单

特写

- 73 贾朋群: NWS在美国未来国家气象事业中的定位
——实现不可替代的价值以及与技术和社会发展更好的融合

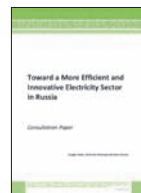


P2

阅读

书评

- 76 张泓波:争做减排急先锋
——《俄罗斯电力部门向更加有效和更具创新性迈进》评介



P76

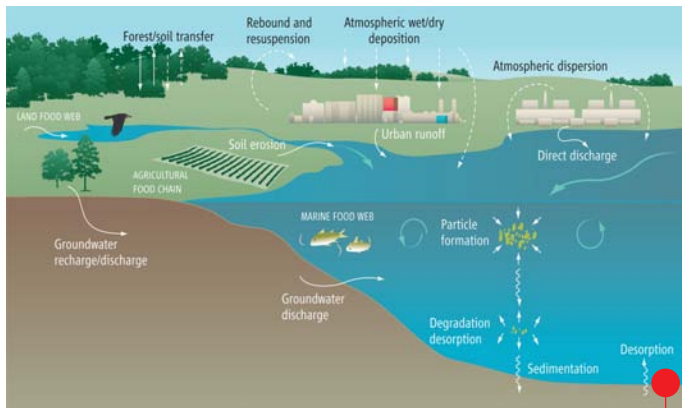
信息

- 21 新书架
- 43 编辑走台站:云南大关站
- 48 会议信息
- 72 下期要目
- 77 文摘(中文文献)
- 79 文摘(英文文献)
- 封3 媒体扫描



封3

读图



跟踪福岛放射性核物质

2011年3月11日福岛核电厂事故，让大量放射性核物质流失。这些流出的放射性核物质的迁移和扩散一直被科学家所关注。科学家认为，长期的监测是采取补救措施和确保安全所必须的。科学家绘制出放射性核物质的循环过程示意图，指出核物质在大气和海洋的扩散渠道以及涉及和可能受到影响的环境要素。

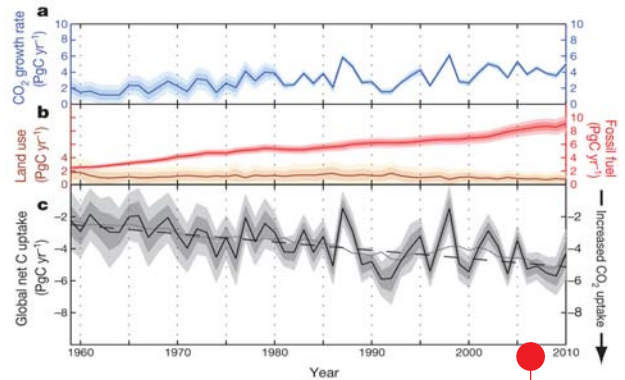
来源：Science



中国雨洪公园：城市的“绿色海绵”理念征服了世界

美国景观设计师协会（ASLA）2012年设计大奖，近日颁发给了中国设计师领衔设计的哈尔滨群力国家城市湿地公园。设计中公园的外围成为市区与自然的边界，较好解决了城市因暴雨而发生洪涝的问题。一些城市，特别是超大城市“雨后看海”的难题，也许通过湿地公园这样的机制，能够得到彻底解决并改善人居环境。

来源：ASLA



过去50年全球碳汇实际上在增加

陆地和海洋碳汇的当前状态一直存在激烈争论，因为它涉及到碳循环如何响应气候变化的问题。来自美国高校和NOAA的研究团队用全球质量平衡方法，给出了全球碳循环过去50年的收支情况，发现碳汇在过去50年实际上增加了两倍，并且还在继续显著增加。截止2010年，尚无迹象表明碳吸收已开始在全球尺度上减少。图中给出了1960—2010年间碳净增加率、主要碳排放和全球净碳汇的变化。

来源：Nature

香港气象服务发展里程碑



香港气象服务：紧跟新媒体

第29届中国气象学会年会上，来自香港天文台的专家在2012年9月14日气象软科学“推进气象现代化的探索和实践”主题论坛上，介绍了香港气象服务的情况。其中，天文台及时利用各种社会新媒体发布不断改进中的天气预报产品的同时，也不放弃传统媒体和为弱势群体着想的服务理念，获得与会者的好评。

来源：本刊

数字

≥ 50%

美国科学院在最新发表的一份针对美国气象现代化的评估报告中，将“气象事业”定义为包括了在天气、水和气候领域提供信息、服务和基础设施的所有公共、私人、非赢利、研究和学术界实体，并且认为气象事业中非NOAA部分的经济规模占总体的一半或更多。

10年

2002年8月28日欧洲空间局发射了Meteosat-8，即欧洲第二代气象卫星的第一颗，至今已运行了10年。Meteosat-8在2004年1月19日定点0度经度，实现完全业务化。

35%

发表在美国科学院院刊上的一篇研究论文指出，按照目前的地下水消失速率，35%的美国南部高地平原在未来30年里无法维持农业灌溉，从而引发作物生产风险。

国际“天气业务”主题被引频次最高的前10篇论文

序号	篇名	第一作者	来源	被引频次
1	The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project	Kalnay, E	Bulletin of the American Meteorological Society,1996,77(3)	9284
2	The ERA-40 re-analysis	Uppala, SM	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,2005,131(612)	2464
3	Improved global sea-surface temperature analyses using optimum interpolation	Reynolds, RW	Journal of Climate,1994,7(6)	1893
4	Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs	Xie, PP	Bulletin of the American Meteorological Society,1997,78(11)	1660
5	Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century	Rayner, NA	Journal of Geophysical Research-Atmospheres,2003,108(D14)	1529
6	An improved in situ and satellite SST analysis for climate	Reynolds, RW	Journal of Climate,2002,15(13)	1172
7	An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids	Mitchell, TD	International Journal of Climatology, 2005,25(6)	1056
8	The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments	Gordon, C	Climate Dynamics,2000,16(2)	1038
9	Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability	Thompson, DWJ	Journal of Climate,2000,13(5)	1034
10	Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate	New, M	Journal of Climate,2000,13(13)	996

来源: SCI-E数据库, 检索时间:2012年9月21日

胡英提供



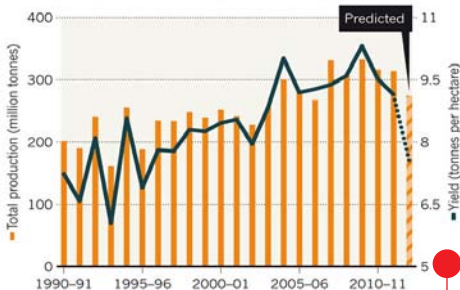
日本大阪大学: 相控阵雷达试验取得进展

2012年5月18日, 日本大阪大学一座11层高的教学楼顶上, 一部试验性质的相控阵雷达被安装, 雷达的试验研究也随之开始。8月31日, 在参加研制的日方多部门举行的发布会上, 正式宣布了这一采用相控阵技术的新型雷达获得成功。雷达能对半径60km、高14km的范围进行立体扫描。当扫描半径分别是30和60km时, 完成一次扫描的时间分别仅需10和30s。

来源: 大阪大学网站

MAIZE PROJECTIONS PLUMMET

The US Department of Agriculture has reduced its forecasts for maize (corn) production following the worst drought in 50 years.



美国严重干旱导致谷物减产几成定局

美国农业部 (USDA) 最近对美国谷物产量做出了预测。因为2012年发生的严重干旱, 2012—2013年谷物的单产 (图中曲线) 预计可能是17年以来的新低。联合国粮农组织为此建议, 美国应该暂停使用谷物的生物燃料生产。

来源: USDA



HALO: 大气研究飞机启航

德国研制的主要用于能源和气候研究的“高海拔和长距离研究飞机”(HALO) 2012年8月20日正式下线。HALO飞机配备的仪器可观测多种要素: 3-D风和湍流、温度、气压、各种传感器到对流层顶的大气湿度和辐射等。HALO一次可以飞行8000km, 最大飞行高度可以到达平流层(15km), 可以携带重达3000kg的仪器, 开展多领域观测, 特别是对对流层上层和平流层下层的大气化学成分进行观测, 以及为未来卫星项目开展预观测等。HALO项目投入大约7400万欧元。

来源: <http://www.halo.dlr.de>

10小时

在大西洋飓风“莱斯利”靠近美国的时候, NASA“全球鹰”号无人机, 在一天之内飞行了10个小时, 对飓风进行了科学观测。

60分

地球海洋的状况如何量化衡量, 美国多家机构的科学家试图用一个指数来概括。首次评估首先确定了所有海洋国家的得分, 最后在满分为100分的指数中, 全球海洋总平均得分为刚刚及格的60分。

1.4万年

英国南极局科学家领衔开展的一项研究, 成功地重建了过去1.4万年南极半岛气温记录。该记录表明, 气温在距今2500年前一直是稳定的, 变暖始于约距今600年前。



协同应对气象灾害又迈出一步

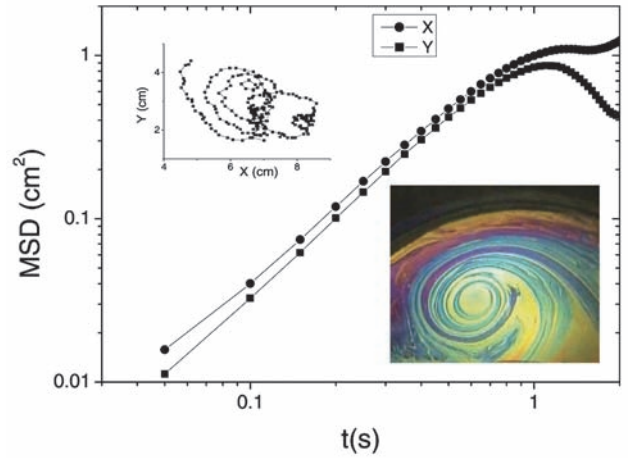
2012年8月29日由高校和中科院等八个单位共建的“气象灾害预警预报与评估”协同创新中心在南京信息工程大学成立。这些协同单位涵盖了科研、教学、业务、技术研发等各领域，各有侧重，优势互补，并且已在平台建设、人才培养、队伍建设、信息共享等方面深度融合。中国气象局副局长许小峰在成立仪式上表示，协同创新中心的建立，就是为了更好地融合利用好各方面各领域人才、技术、信息优势，联合攻克气象领域的难题。他希望中心能“啃硬骨头”，在精确预报暴雨落区、气象资料同化、提高数值预报准确度等方面取得突破。他还高度肯定了协同创新的模式，对教育、科研、业务、产业多单位共同协作、攻坚克难充满信心。

来源：本刊

美国2013—2022年日地关系研究被初步勾画

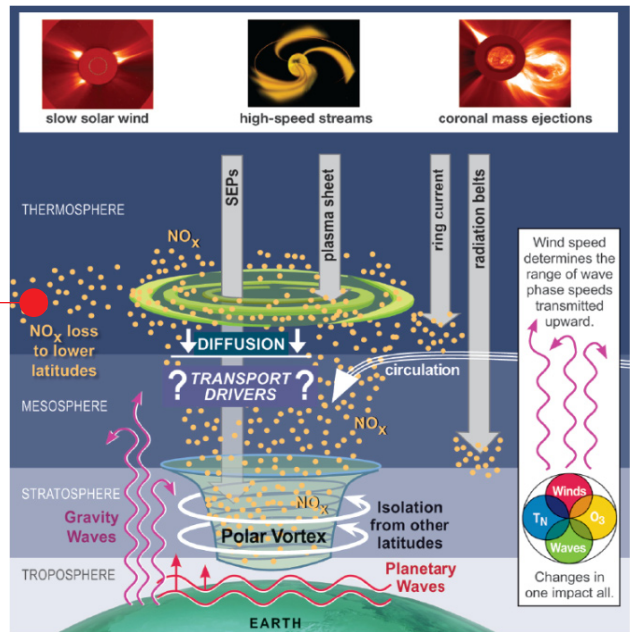
最近，由美国科罗拉多大学大气和空间物理实验室(LASP)主任领衔的一个评估小组，完成了太阳和空间物理学研究调查，提出了今后10年美国在这一领域的研究战略建议。借助日地关系与空间物理环境研究，评估和解释引人注目的气候变化问题，是战略建议的一部分。报告认为，有充分的证据表明，任何与太阳活动相关的气候变化，都包含了大气上层和中层的化学和动力过程。图中给出地球通过辐射、动力和化学反馈，外部气候驱动被放大的过程的示意图。

来源：LASP



气泡与飓风：相似的运动规律被认识

很少经历强烈飓风的法国科学家，却从底部被一个来自统计物理学，被称为MSD (Mean Square $\langle(X(t+t')-X(t'))^2\rangle$) 的物理量，它是对随机运动进行(左图)和发生在美国的一些典型的飓风(右图)的运动规律。这就是说，飓风等热带气旋的路径演变，前的路径预报，也许能够从统计物理学的角度获得突



数字

38%

最近在英国进行的一项民意调查中，在被问到“是否相信气候科学告诉我们的的是气候变化的事实”时，38%回答是，其中更有6%回答绝对相信，但也有13%回答绝对不相信。

130天

全球足迹网(GFN)计算得到，2012年8月22日是今年的“地球生态负债日”，这意味着到这天人类已经消耗完今年全年可持续的自然资源，之后的130天，地球的生态平衡进入赤字状态，人类开始该年度的资源“透支”。

56.7℃

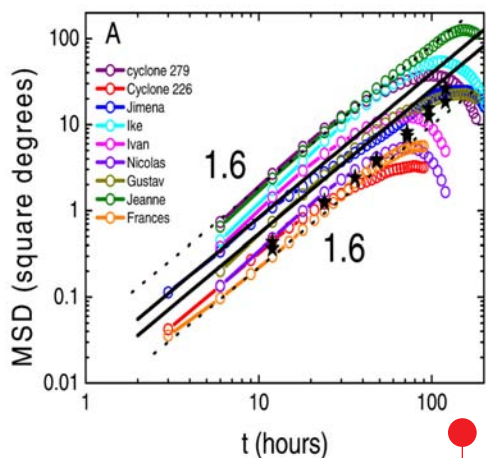
最近WMO重新修订了已经保持了90年之久的全球地表最高气温纪录。WMO将原纪录，即1922年9月13日在利比亚测得的58℃，调整为1913年7月10日在美国加利福尼亚州死亡谷公园观测到的56.7℃。

中国“天气业务”主题气象学科被引频次最高的前20篇论文

序号	篇名	第一作者	来源	被引频次
1	湿位涡和倾斜涡度发展	吴国雄	气象学报, 1995/04	472
2	我国热带气旋研究十年进展	陈联寿	大气科学, 2001/03	339
3	夏季亚洲南部100毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系	陶诗言	气象学报, 1964/04	251
4	东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系	陶诗言	气象学报, 1958/02	221
5	登陆热带气旋研究的进展	陈联寿	气象学报, 2004/05	200
6	甘肃省“4·22”特大沙尘暴分析	徐国昌	气象学报, 1979/04	198
7	多普勒速度图上的暴雨判据研究	张沛源	应用气象学报, 1995/03	170
8	美国WRF模式的进展和应用前景	章国材	气象, 2004/12	158
9	关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论	吴兑	气象, 2005/04	149
10	暴雨和中尺度气象学问题	丁一汇	气象学报, 1994/03	137
11	2000年春季沙尘暴动力学特征	周秀骥	中国科学(D辑:地球科学), 2002/04	134
12	厄尔尼诺事件的划分标准和指数	ENSO监测小组	气象, 1989/03	122
13	青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 I. 爆发地点	吴国雄	大气科学, 1998/06	116
14	“91·7”梅雨锋暴雨的螺旋度分析	杨越奎	气象学报, 1994/03	114
15	基于人工神经网络的集成预报方法研究和比较	金龙	气象学报, 1999/02	113
16	2008年1月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 II. 成因分析	高辉虎	气象, 2008/04	112
17	印度洋和南海海温与长江中下游夏季降水的相关分析	罗绍华	大气科学, 1985/03	112
18	农业干旱指标研究与进展	王密侠	干旱地区农业研究, 1998/03	110
19	2008年1月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析	王东海	气象学报, 2008/03	109
20	对华北一次特大台风暴雨过程的位涡诊断分析	于玉斌	高原气象, 2000/01	105

来源: CNKI中国学术期刊总库, 检索时间: 2012年9月21日

胡英提供



加热的气泡移动的路径受到启发, 发现了 Displacement, 平均平方位移, 表述为定性的一个强大的工具。对比被加热的气泡 MSD 时间演变, 可以发现它们有着很相似的符合 MSD 规律。因此, 其预报, 特别是登陆破性进展。

来源: Nature-Scientific Reports



芬兰森林大气化学观测: 发现新氧化剂

位于芬兰森林地区的大气观测站 SMEAR II, 其观测塔高出树冠以上从而可以采集到森林上部空气样品。芬兰、美国和德国的科学家基于这里的观测, 发现了大气中除了臭氧、羟基和硝酸盐以外的新的氧化剂。大气中的氧化剂具有将包括污染物在内的痕量气体从大气中清除的功能, 而新发现的化合物, 具有相当大的氧化二氧化硫和潜在的其他痕量气体的能力, 可能会提高大气的反应活性, 有助于硫酸的生成, 从而有利于大气气溶胶的形成。

来源: Nature

5年

欧洲极轨气象卫星 Metop-B 于 2012 年 9 月 17 日成功发射, 这颗预期工作寿命为 5 年的卫星, 接替 2006 年 10 月发射并已超期服役的 Metop-A 卫星。该系列的第三颗 C 星, 预计 2017 年发射。

6亿元

2012 年开始, 我国连续 3 年投入 6 亿元保护中国最大的沙漠淡水湖——位于陕西省神木县的红碱淖。该湖近年来水位急速下降, 水面越来越小, 成为第二个“罗布泊”的可能性在加大。

2500家

过去 5 年我国成功发射了 4 颗风云系列卫星, 形成了 7 颗卫星在轨稳定运行的业务布局, 接收和利用风云系列卫星资料及产品的用户超过 2500 家, 遍及 70 多个国家和地区。

我国现代天气业务现状及发展趋势

端义宏 金荣花

(国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081)

摘要: 回顾了我国现代天气业务发展历程, 着眼于预报业务体系、预报技术和平台、预报员队伍培养等方面, 概述了现代天气业务现状。结合我国现代天气业务发展的经验, 跟踪国际气象科技发展前沿, 展望了现代天气业务的发展趋势。

关键词: 现代天气业务, 发展历程, 现状, 发展趋势

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.001

The Status Quo of Modern Weather Operations in China and Its Future

Duan Yihong, Jin Ronghua

(National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: The progress of modern weather operations in China is reviewed in this paper. The modern weather operation status quo is summarized with respect to forecast technology and platform, forecasters team training and forecast operation system and so on. Based on the development experience of modern weather operation, tracking international meteorological science and technology development frontier, the paper outlooks the future development trend of modern weather operations.

Keywords: modern weather operation, progress, status quo, development trend

1 引言

天气预报业务起源于19世纪。20世纪七八十年代, 数值天气预报开始逐步投入天气预报业务应用, 使得天气预报业务进入了快速发展时期。1982年全国灾害性天气预报会议制定了“多种方法综合运用, 重点发展数值预报, 尽快实现客观定量”的天气预报技术路线, 由此, 以数值预报为基础, 结合运用各种预报技术方法的天气预报业务技术路线开始建立。以此次会议为契机, 中国的数值预报业务迅速发展起来, 以北半球5层原始方程模式及5层有限区域细网格降水预报模式为主体的短期数值预报系统, 分别于1982年2月和1983年8月正式投入业务运行, 向全国各级气象台站提供24~72h的北半球高低空形势预报和24~36h国内降水量预报及各种诊断量分析预报产品, 标志着我国天气预报业务技术开始向客观化转变。1991年6月, 在引进欧洲中期天气预报中心模式的基础上, 我国第一代全球中期数值预报业务系统(简称T42)正式建成并投入业务运行, 预报时效从3d延长至6~7d。而后, 随着计算机装备的更新和预报模式的

改进, 经历了T106经T213到T639的逐步升级。从20世纪80年代到21世纪初, 天气业务发生了很大的变化, 预报技术实现了从以天气图方法为基础到以数值预报为基础的转变, 统计预报、物理量诊断分析、人工智能等一批客观预报方法相继投入业务使用, 建立了以短期预报、中期预报和台风预报业务为主体的天气预报业务体系, 技术路线和预报思路逐渐明晰, 预报准确率得到很大提高^[1]。

进入21世纪, 资料同化理论和应用技术快速发展, 特别是卫星资料同化应用技术取得重大突破^[2]。同时, 随着全球模式分辨率和模式性能的不断提高, 尤其是针对模式初始场不确定性以及模式物理过程不确定性建立的集合预报系统在业务中开始使用, 天气预报业务出现了第二次跨越式发展。现代天气业务无论在预报时效和内容, 还是在无缝隙、精细化和专业化程度等方面都取得了显著的发展和进步。2010年, 为指导现代天气业务科学发展, 中国气象局下发1号文件《现代天气业务发展指导意见》, 要求全国各级气象部门加快发展现代天气业务, 并推行现代天气业务试点工作, 探索具有我国特色的现代天气业务发展模式。经过两年多的努力, 现代天气业务发展试点工作取得了明显成效, 业务能力得到了显著提升。本文将分析总结近2年来的现代天气业务发展成效, 探讨继续深化现代天气业务发展的趋势和方向。数值天气

收稿日期: 2012年5月31日; 修回日期: 2012年6月20日

第一作者: 端义宏(1963—), Email: duanyh@cma.gov.cn

资助信息: 科技部国家科技支撑计划项目 2009BAC51B03
与公益性行业(气象)科研专项 GYHY(QX)
GYHY200906007 联合资助

预报是现代天气业务的基础，其内容丰富，体系庞大，本文只简要介绍数值预报产品的应用技术，其他方面暂不涉及。

2 现代天气业务发展现状

2010年以来，现代天气业务发展成效主要体现在，天气预报业务和技术体系逐步完善，精细化程度不断提高，预报准确率稳步提升，2010年中国气象局1号文件的阶段性任务得到了较好的落实。

2.1 现代天气业务体系不断完善，产品的精细化程度明显提高

天气预报业务专业化发展的局面初步形成。随着台风、海洋气象、强对流、定量降水估测和预报等专业领域的预报技术日益成熟，2007年开始，在国家级业务单位相继成立了台风与海洋气象预报中心、强天气预报中心，并将定量降水预报业务专门设科分离出来；部分省级气象台也分专业成立了台风科、海洋科、城市天气预报科、强天气短临预报科等，经过近5年多的专业化业务建设，推出了具有专业特色的业务产品（图1），发展了专业化业务科技支撑和业务平台系统，有利于各项业务向更深、更精、更细方向发展，形成了各专业齐头并进，整体实力和业务水平大幅度提高的良好发展局面。

我国已经初步构建了包括天气监测、天气尺度和中尺度分析、临近预报（0~2h）、短时预报（0~12h）、短期预报（0~72h）、中期预报（3~10d）和延伸期预报（10~30d）等无缝隙预报业务体系，天气预报时效延长，预报时间间隔缩短。建立了集监测、分析、预报、检验为一体的较为完整的现代天气业务技术流程。通过建立科学合理的全国精细化气象要素预报业务流程，实现了全国统一的气象要素预报服务产品；通过国家级指导产品的下发和省级订正反馈，以及利用全国电视天气会商平台，加

强了上下级台站间的预报指导与订正的互动，提高了预报结论的一致性和准确率。

天气预报产品的精细化程度明显提高。开展全国范围灾害性天气的实时监测，天气分析实现了由单一天气尺度分析到以天气尺度和中尺度分析相结合的综合分析转变；基于T639模式的格点和站点精细化气象要素客观预报系统的业务化，气象要素预报已经精细化到乡镇；开展了雷雨大风、冰雹和短时强降水等强对流分类实时监测、短时临近预报业务；发布了未来24h的6h间隔以及未来168h的24h间隔的定量降水预报产品，实现了降水预报由定性的落区向定量的格点化、单一的降水向雨雪相态的根本性转变（图2a, b），开展了过程降雨量的预报业务；试验发布未来24h的6h间隔10km分辨率的台风精细化大风预报（图2c）；建立了强对流分类、台风路径以及中期基本气象要素和灾害性天气概率预报业务（图2d）；实现了13个海区海洋气象预报向沿岸、近海、远海73个海区的精细化海洋气象预报拓展等，使得突发性中小尺度灾害性天气以及重大天气过程的监测预警预报能力明显提高。2011年，我国分县24h晴雨预报准确率提高到86.3%，暴雨预报准确率近10a提高了5%，并呈逐年提高的趋势；24h台风路径误差降低到112km，台风强度预报误差下降到5m/s以内，准确率已达到发达国家的同等水平。

2.2 现代天气预报业务技术与平台迅速发展

以精细化监测预警预报为标志的现代天气业务，更加注重多源气象资料的综合应用、多种技术的集成、系统平台的便捷高效。21世纪，随着我国观测系统的快速发展，预报分析技术的显著进步，基于卫星、雷达、地闪和稠密区域自动站的强对流客观识别和跟踪算法、融合多源资料的快速更新同化预报系统（GRAPES-RUC）、利用物理量的统计特征和预报

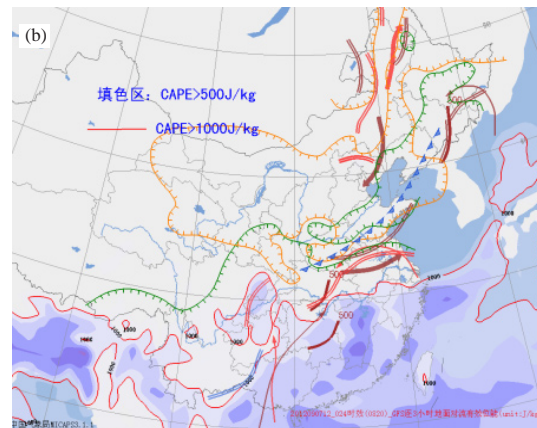
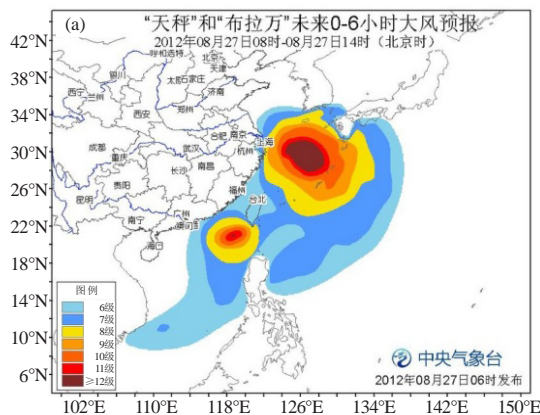


图1 热带气旋6h大风预报产品 (a) 和强对流天气综合分析图 (b)

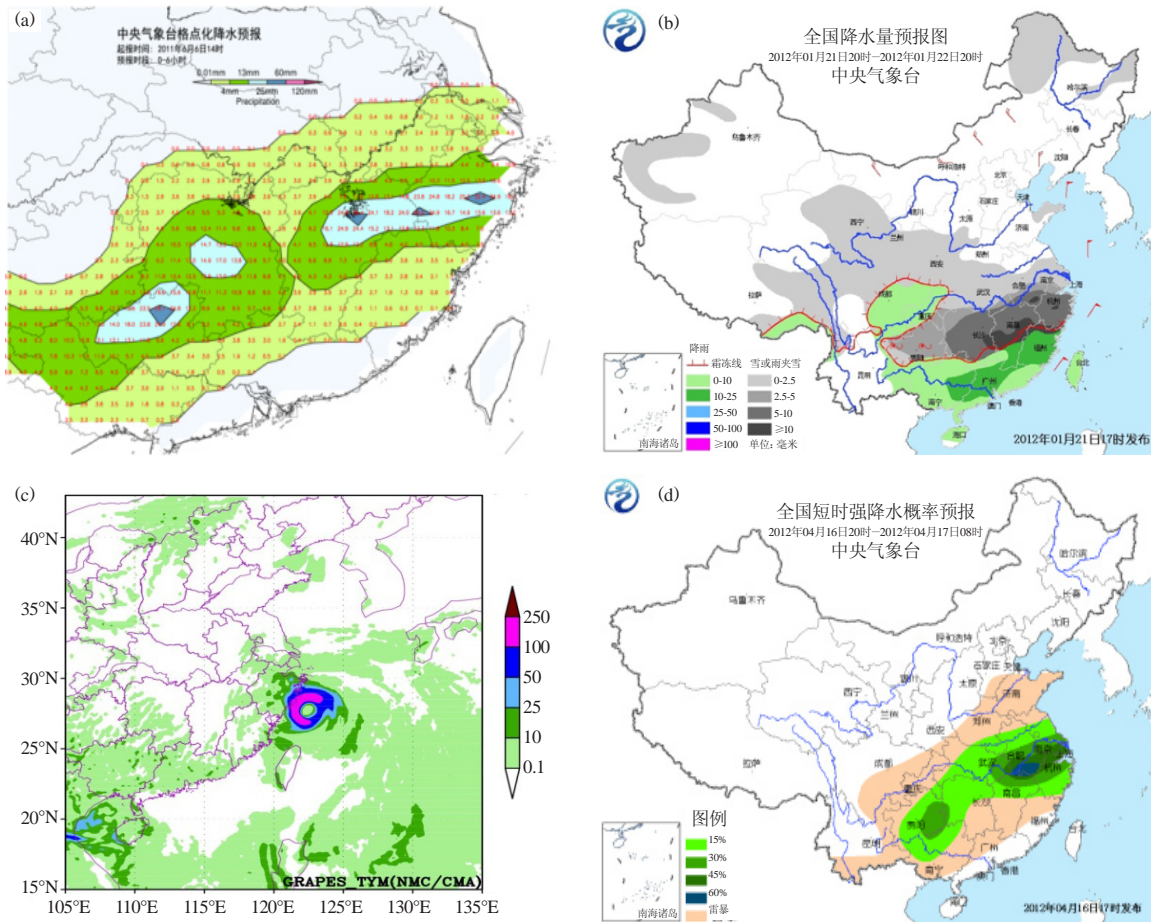


图2 格点化定量降水预报产品(a)、雨雪相态预报产品(b)、台风降雨精细化预报产品(c)和短时强降水概率预报产品实例图(d)

员的实践经验的“配料法”、中尺度分析技术等为强对流天气监测和短临预报提供了重要科技支撑(图3a)。逐步建立了以多种观测资料以及数值天气预报为基础,综合应用多模式动态权重集成预报、基于集合预报产品的概率预报、配料法强降水等级预报、动力-统计相结合的降水相态预报等多种方法,充分利用针对天气系统和物理量的数值预报模式产品检验订正、落区预报格点化等多种技术手段的精细化定量降水预报(QPF)业务技术框架(图3b),实现了单纯依赖数值预报向基于数值预报的多种关键技术方法集成的转变。建成了远海以气象卫星、近海结合多普勒天气雷达和稠密的自动气象站为主要监测手段的高时空分辨率的立体监测体系。台风数值预报模式的台风涡旋初始化技术也由单纯的人造涡旋技术升级到包括初始涡旋生成、涡旋重定位和涡旋强度调整的较为复杂的涡旋初始化技术,预报时效从发展初期的2d延长到目前的5d,建成了由中尺度区域台风模式、台风全球模式和台风路径集合预报构成的台风数值预报系统,可以为预报员提供较全面的基础支持。开发了利用雷达资料同化并结合中尺度数值模式的台风风雨精

细化短临预报系统,发展了台风路径集成/集合预报方法、台风强度气候持续预报方法、基于数值模式输出场的统计动力释用方法和基于遗传神经网络方法的台风强度客观预报方法,这些关键技术的业务应用支撑着台风预报业务始终保持着国际先进水平。基于大尺度动力学发展的MJO客观预报模型、基于长波理论的能量谱分析模型、集合预报技术以及动力-统计相结合的全球模式产品解释应用方法,为中期、延伸期预报业务发展奠定了基础。

全国气象部门统一使用的气象信息综合分析处理系统(MICAPS 3.0),在过去简单显示和制作功能的基础上,扩充了多源资料综合分析、三维结构分析、探空分析、气象要素时间序列演变分析、强天气监测报警等多种功能(图4),并且为适应专业化中心建设的需要,发展了短时临近预报系统(SWAN 1.0)、短期版MICAPS、台风专业版MICAPS以及中期版MICAPS等。建立了全国精细化预报产品共享数据库(NWFD)和全国数值预报解释应用业务系统(MEOFIS),推动了全国气象部门规模化、标准化、集约化、现代化的业务流程逐步形成和建立。

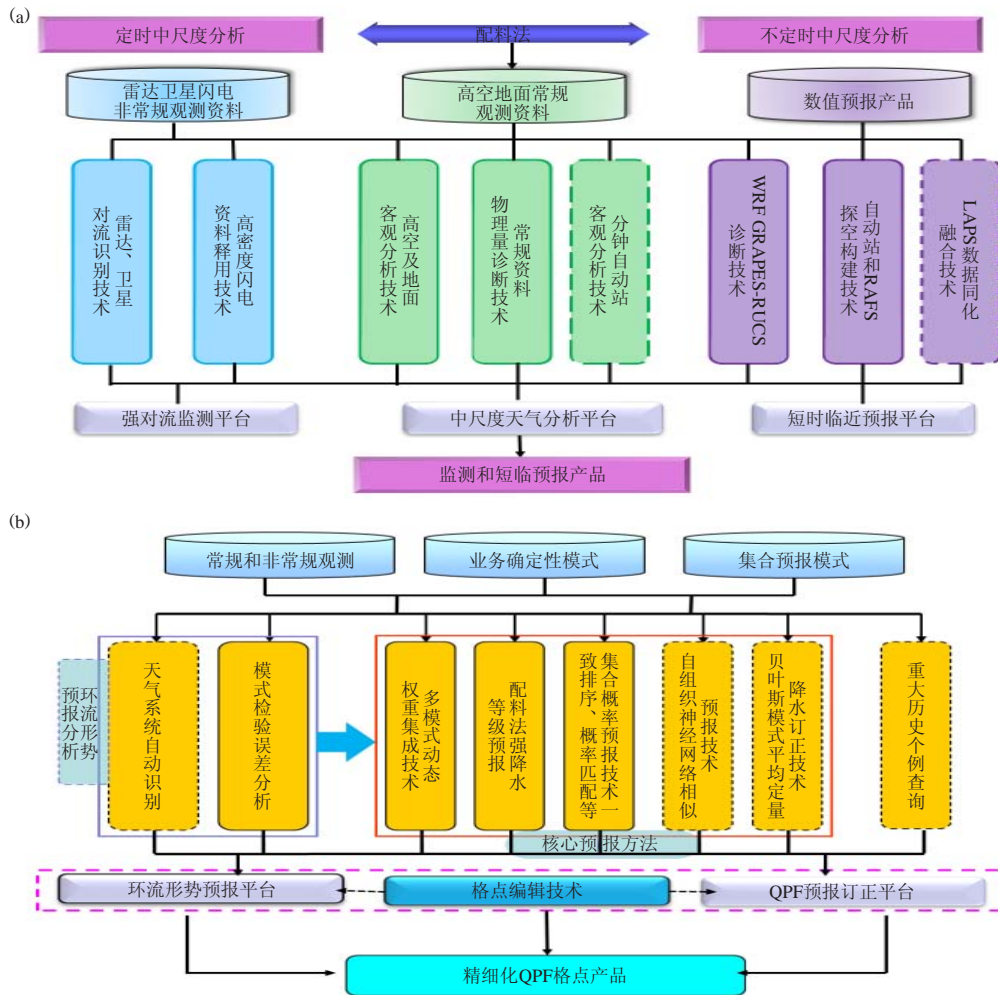


图3 强对流天气监测、分析和预报技术路线 (a) 与定量降水预报技术路线 (b) 示意图

2.3 预报员队伍培养措施日益丰富

大气科学理论和预报业务实践都已表明, 天气预报不可能完全客观化, 预报的不确定性将永远存在。这就决定了预报员将成为提高预报准确率的关键因素^[3]。然而, 现代天气预报的发展, 对预报员提出了多方面的能力要求: 一是要有天气分析和预报的理论基础和实践能力; 二是要有数值预报产品的订正和解释应用能力; 三是要有卫星、雷达等多种观测资料和预报技术方法的综合应用能力; 四是要有对灾害性天气形成机理的诊断分析和认知能力^[4-6]。

我国气象部门一直非常重视预报员队伍的建设, 特别是近些年来, 探索通过多种手段切实提高预报员的专业水平和预报分析能力, 已经构建了多层面的预报员培养模式。通过举办全国范围内各级岗位的预报员培训, 加强基础理论知识和新技术、新方法的学习, 通过对大量历史个例的回报和总结分析, 丰富了预报员的实战经验, 提高了预报水平; 开展专家型预报员团队的建设, 中国气象局建立了暴雨、强对流和

台风三支国家级预报员团队, 中央气象台和各省气象台也建立了相应的预报员团队, 团队的建设激发了预报员对感兴趣领域的深入研究和探索, 促进了专家型预报员的培养和成长; 加强首席预报员队伍建设, 从2007年开始, 连续四年开展了“全国百名首席预报员”的评选, 目前, 已初步形成了一支由国家级首席和省级首席为主的骨干预报员队伍; 建立了常态化的重大天气过程技术总结机制, 在经历重大天气过程以及具有一定预报难度的极端天气发生之后及时进行总结分析和提炼科学问题, 形成了业务实践、总结分析与技能提高的良性机制; 2007, 2009和2011年开展了三次全行业的预报技能竞赛, 带动了全国范围的预报技术岗位练兵和预报员业务能力的提升。

3 现代天气业务未来发展趋势

根据现代天气业务内涵和发展经验, 结合我国气象事业发展的战略目标和“十二五”规划, 跟踪国际气象科技发展前沿和发达国家天气业务发展战略, 现代天气业务未来发展趋势主要体现在以下四个方面。

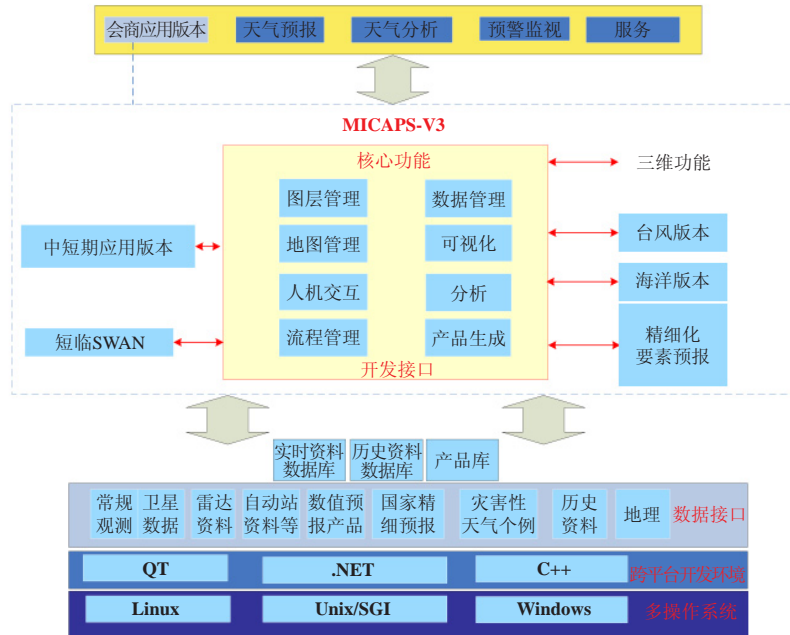


图4 气象信息综合分析处理系统 (MICAPS 3.0) 功能示意图

3.1 专业化和精细化仍将是现代天气业务体系未来发展主要方向

通过现代天气业务两年多的发展实践来看，只有“专”才能“精”。发达国家的发展经验也证明，无缝隙、精细化和专业化业务发展有利于天气业务全覆盖和向更精、更细、更专和更深方向发展。比如，美国国家环境预报中心（NCEP）构建了预报时效24h内从分钟到小时、1~7d内逐6h、6~10d、两周、月、季、年等时间尺度上无缝隙预报体系，业务范围涵盖空间、大气和海洋等领域，依托航空天气中心（AWC）、气候预报中心（CPC）、水文气象预报中心（HPC）、海洋气象中心（OPC）、空间天气预报中心（SWPC）、风暴预报中心（SPC）、国家飓风预报中心（NHC）七个专业业务中心，在环境模式中心（EMC）和NCEP业务运行中心（NCO）的支持下，努力满足国家对天气、气候、海洋和空间天气等服务需要。各业务中心在本专业领域努力使产品向精细化和人性化、内容向多灾种和多要素的更完备和无缝隙方向发展。业务服务涵盖气候时空尺度预测、中期展望、短期讨论分析、短时警戒以及临近警报。美国在到2016年的战略规划中提出，通过进一步提高数值模式分辨率和性能，改进快速更新同化分析与预报以及各专业客观预报方法，不断升级业务系统平台，使预报准确率不断提高、预报产品更加精细化、预报时效不断延长。

我国现代天气业务将继续完善专业化布局和提高精细化水平，进一步发展定量降水预报业务，强化

中小河流和山洪地质灾害监测预报和预警，推动定量降水预报向精细化、数字化和高准确率发展，完善各时段定量降水预报、中期过程降水量预报和降水相态预报等天气预报关键性业务，提高降水落区、强度和极端降水的预报能力。拓展各类流域面雨量预报和山洪地质灾害气象风险等级预报业务，努力提高中、小河流的防洪和山洪地质灾害预警能力。进一步强化大城市精细化气象要素预报业务，加强城市下垫面气象条件监测，开展时间分辨率为3h、空间分辨率为5km的网格化的城市气象要素预报，拓展城市暴雨洪涝风险等级预报业务。加强气象灾害监测预警评估业务建设，建立全国灾害性天气精细化监测和预警体系，开展台风、暴雨等主要灾害性天气影响评估的技术研究，建立我国主要气象灾害的致灾指标体系，加强气象灾害风险评估工作，实现天气预报向气象灾害风险评估延伸。

3.2 集合预报技术将在天气业务中发挥关键作用

经过20年的发展，集合预报系统已经在业务中发挥了关键性作用，由于集合预报提供未来天气演变的多种可能信息以及概率分布特征，有助于预报员对于复杂天气的科学分析和判断，增强预报信心，集合预报产品已经成为美国天气预报中不可或缺的主流参考产品，因此，集合预报技术的应用，是数值预报技术应用于天气预报业务后的第二次革命。以美国为例，集合预报技术已经广泛地应用于从短时强天气到气候预测的各种时效的天气业务，为现行的天气预报业务提供了有力的支撑。如，美国强风暴预报中

心 (SPC) 针对强对流天气业务需要, 开发了22个成员、分辨率为4km的WRF-NAM短期集合预报系统, 以及目前正在进行试验的分辨率为1km的对流尺度集合预报系统, 为强对流天气分类及其概率预报提供了重要支撑。针对2011年4—5月龙卷季节发生的三次强天气过程, SPC充分应用集合预报, 提前7d较为准确地预报出三次强天气过程。我国全球集合预报系统提供未来10d16个成员的数值预报产品, 在预报时效上无法满足延伸期预报业务的需要; 区域集合预报系统和专业集合预报系统有待建立和完善, 业务上使用的集合预报产品种类和深度加工不足。因此, 健全我国集合数值预报系统, 延长全球集合预报模式时效, 发展区域集合预报系统, 开发专业集合预报系统, 优化集合预报产品应用数据环境和应用平台系统, 将集合预报产品向业务全面推广应用, 是天气预报业务未来发展的必然趋势。

3.3 业务水平提高更加依赖于关键预报技术的突破和科研成果转化

现代天气业务实质性地进步和发展, 需要业务关键技术的突破和自主创新, 如, 迫切需要发展集合预报系统和应用技术; 开发全国拼图和多资料QPE系统; 改进气象地理信息系统 (GIS) 以及模式后处理质量控制技术; 基于NCEP和UKMO格点化方案, 研发适用于我国QPF格点化技术; 研发基于数值模式和临近预报融合的强对流短时预报方法; 改进全球静止卫星和极轨卫星显示系统, 实现洋面风拼图及综合应用; 研究基于沿海代表站和浮标站的检验和分析应用技术; 改进基于雷达的台风短临精细化预报业务系统; 发展台风区域数值预报模式应用技术, 充分挖掘中尺度模式信息; 完善卫星微波资料在台风结构和风雨方面的应用技术; 升级各种专业版MICAPS 和SWAN系统等, 切实为现代天气业务的发展提供有利支撑。因此, 新时期现代天气业务的发展, 更加依赖于科技创新和成果转化。美国各业务中心设立专门的技术研发机构, 为其专业化技术持续稳定发展和业务系统不断升级改造提供了有力的保障。更值得借鉴的是, 美国的气象业务和研究单位, 通过试验平台加速科研成果向业务的转化以及业务向科研的反馈, 为科技和业务发展注入了新的活力。目前, 我国也在着手加强国家级业务单位和科研院所的专业技术研发和基

础研究的重点实验室建设, 启动国家级业务单位的中试平台的建设, 旨在提升我国科技创新能力和科研向业务转化效益。

3.4 观测—预报模式间互动将成为提高天气预报准确率的新手段

世界气象组织提出的THORPEX计划, 是一项旨在提高1d至2周高影响天气预报准确率的国际研究计划。THORPEX研究计划开展的“资料同化与观测策略研究”中提出目标观测策略, 即为了最大程度地改进预期预报技巧, 利用预报系统信息来确定进行补充观测的地区策略。建立灾害天气的目标观测机制, 实现预报与观测的互动, 将成为未来提高天气预报准确率的新手段。针对台风、暴雨等灾害性、高影响天气, 研究我国灾害性天气发生发展的敏感区, 建立对应的目标观测方案及实施计划, 根据灾害性天气发生时的实际需求启动敏感区加密观测, 逐步建立观测与预报之间的实时互动机制, 提高预报准确率和精细化程度。

建立数值预报的检验订正工作机制, 实现预报员与数值模式的互动。完善数值预报检验, 通过对数值预报产品的对比、检验和偏差分析, 及时反馈预报的不确定性及模式系统缺陷, 进一步改进模式性能, 促进模式的发展。利用预报员对天气形势预报、实况背景信息及经验, 订正模式系统的分析场偏差, 并实时反馈给数值模式重新计算, 以减少模式不确定性, 提高数值模式的可信度。

致谢: 感谢王建捷、魏丽、朱小祥、罗兵、杨瑞林、宗志平、钱传海、毛冬艳、张小玲等对本文做出重要贡献。

参考文献

- [1] 矫梅燕, 章国材, 曲晓波. 现代天气业务 (上册). 北京: 气象出版社, 2010.
- [2] 陈德辉, 薛纪善, 杨学胜, 等. GRAPES新一代全球/区域多尺度统一数值预报模式总体设计研究. 科学通报, 2008, 53(20): 2396-2407.
- [3] Stuart N A. The future of humans in an increasingly automated weather forecast process. American Meteorological Society, 2006(11): 1497-1502.
- [4] 章国材. 防御和减轻气象灾害. 气象, 2006, 32(3): 3-5.
- [5] 矫梅燕, 龚建东, 周兵, 等. 天气预报的业务技术进展. 应用气象学报, 2006, 17(5): 3-8.
- [6] 矫梅燕. 关于提供天气预报准确率的几个问题. 气象, 2007, 33(11): 3-8.

我国精细化客观气象要素预报进展

赵声蓉 赵翠光 赵瑞霞 曾小青 邵明轩

(国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081)

摘要: 国家气象中心2007年以来在MOS预报方法业务应用、降水预报效果改进、综合集成预报以及精细化气象要素预报业务流程建设等方面取得了一定进展, 同时上下对接的精细化气象要素预报业务流程建立和集约化的预报技术开发应用促进了精细化气象要素的发展。以国家气象中心精细化气象要素客观方法在业务中的应用情况为主, 总结了近年来精细化客观气象要素预报方法的研究进展, 以及业务应用和精细化气象要素预报业务流程建设的情况, 并对未来精细化气象要素预报技术方法的研究进行了展望。

关键词: 精细化气象要素预报, 数值预报产品释用, 客观预报方法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.002

The Development of Objective Meteorological Element Forecast in China

Zhao Shengrong, Zhao Cuiguang, Zhao Ruixia, Zeng Xiaoqing, Shao Mingxuan

(National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: In this paper, the development in research of objective meteorological element forecast and operational application were summarized through the operation of the National Meteorological Center. A future plan was also described.

Keywords: meteorological element forecast, interpretation of NWP products, objective forecast method

1 引言

随着社会的发展, 各行各业对气象服务的需求越来越多, 要求也越来越高, 期望气象部门能提供在时间和空间更为精细、预报更为准确、要素更为多样化的天气预报产品。在这样的形势下, 精细化客观气象预报的支持是必不可少的, 因此基于数值预报产品释用技术的精细化客观预报在气象预报业务中越来越重要。

数值预报产品释用顾名思义就是对数值预报产品的进一步解释和应用^[1], 具体来说就是利用统计、动力、人工智能等方法, 综合预报经验, 对数值预报的结果进行分析、订正, 最终给出更为精确的客观要素预报结果或者特殊服务需求的预报产品。精细化气象要素客观预报技术目前来说就是针对气象要素预报的数值预报产品释用技术, 就是在不同分辨率的数值预报产品基础上, 结合大量的历史观测资料以及各种稠密的实况资料, 利用各种统计、动力等预报分析方法建立预报模型, 从而得到客观的预报结果。

美国是开展数值预报产品释用技术研究较早的国家, 20世纪50年代末进行试验, 60年代末模式输出统计(Model Output Statistical, 简称MOS)预报方法进入业务运行, 其他发达国家也相继开展了MOS和PP方法的试验或业务运行。到目前, 用于业务系统的预报方法主要有MOS方法、相似预报方法、动力方法及卡尔曼滤波方法等。

我国数值预报产品释用的研究试验开展相对比较晚, 这和我国数值预报发展较晚有关。但是我国气象工作者经过多年的努力, 在数值预报产品解释应用技术方面取得了很多的研究成果, 并在实际的预报业务中得到了应用, 取得了很好的效果。在各级台站的数值预报产品释用中, 应用比较多的方法有MOS方法、卡尔曼滤波方法、相似方法以及神经网络方法。例如, 冯汉中等^[2]用卡尔曼滤波方法预报四川盆地的面雨量, 所用的预报因子为ECWMF的模式结果, 试验结果表明, 卡尔曼滤波方法对面雨量从无到有的转折性预报有参考价值; 林开平等^[3]利用相似方法制作广西暴雨落区预报, 所采用的数值预报结果为ECMWF和T106的模式输出结果, 从环流形势、影响系统、物理量分布以及动力和热力演变相似的角度选出相似的历史个例, 从而估算出每个站发生暴雨的可能性, 包含了可能出现暴雨台站的区域即为暴雨落区; 孙田文

收稿日期: 2012年5月20日; 修回日期: 2012年7月4日

第一作者: 赵声蓉(1969—), Email: zhaosr@cma.gov.cn

资助信息: 国家自然科学基金项目“基于贝叶斯统计理论的降水集合预报概率化方法研究”; 公益性行业(气象)科研专项“地形复杂地区的MOS预报效果改进方法研究”(GYHY201106010)

等^[4]基于T106数值预报产品通过神经网络方法建立了铜川地区降水等级预报系统,业务运行结果表明该方法的降水等级预报达到比较高的精度;杞明辉等^[5]强调了反映环流特征的因子在客观要素预报中的作用;张华等^[6]把变分方法应用到统计方法中,利用最新的观测资料来不断修正MOS预报方程的系数,表明经过修正后的MOS预报方程可以改善预报效果;陈永义等^[7]、冯汉中等^[8]把SVM应用于四川盆地分片的面雨量预报,取得了很好的效果;刘还珠等^[9]、赵声蓉等^[10, 11]介绍了国家气象中心客观预报系统的预报效果及其预报方法的改进。

这些年来,我国气象工作者虽然在数值预报产品释用技术的研究方面取得了明显的进展,但在2007年之前,业务应用和相关业务流程建设工作基本上处于零散的状态,没有形成规模化、集约化的研究开发和应用,重复工作较多。2007和2008年中国气象局分别实施的业务建设项目“精细化气象要素预报业务系统”和“天气要素精细(乡镇)预报业务系统建设与改进”,使得基于数值预报产品释用技术的气象要素预报取得了很大进展,尤其是全国上下对接的精细化气象要素预报业务流程初步建立,并经过近年来的不断改进和完善,在预报业务和对外服务中起到了重要的作用。

2 精细化气象要素预报方法及研究进展

数值预报产品释用的方法很多,大体上可分为以下四类:一类是模式直接输出方法,也就是通常所说的DMO方法;一类是统计释用方法,包括常用的MOS方法、PP方法、卡尔曼滤波方法等;一类是人工智能方法,包括神经网络方法、相似方法等;还有一类就是天气学方法释用。下面分别介绍几种最常用方法在业务中的应用情况及其研究进展。

2.1 DMO 预报方法

DMO方法就是通过插值把格点上的模式要素预报结果分析到具体的站点,得到站点上的要素预报。对于不是模式直接输出的要素,采用经验公式计算得到。DMO方法最大的优点是不需要建立预报方程,甚至相同的程序可以应用于不同的模式,可以获得任意多站点的预报结果,同时可以得到任意的要素预报结果,对于非模式直接输出的量,可以通过其他量诊断得到;而DMO的缺点在于对模式误差没有订正能力,预报精度完全依赖于模式,相对于形势场预报模式对要素预报的精度往往不是很高,这些因素决定了DMO预报效果不是很好。

在业务应用中,由于DMO具有其他方法不可替代的优势,尽管其预报效果有一定的局限性,近年来

仍然是精细化气象要素预报业务中的一个重要方法,因此在传统的DMO方法基础上寻求一些改进以便能够提高DMO预报效果仍是很重要的。

国家气象中心针对温度等与地形高度关系密切的要素进行了地形高度误差订正,原因是模式地形高度和实际地形高度有较大差异。高度订正的方法是根据要素随高度变化的特征,扣除由于模式地形高度和站点实际高度差异所引起的误差。对于温度预报,最简单的方法是利用地形高度每增加100m温度下降0.6℃的温度递减率,在插值时把参与插值计算的格点温度先订正到站点高度上再进行插值。

图1是基于T639模式的2011年9月全国2500个县级台站平均的最高温度预报平均绝对误差和误差在2℃以内站次百分比的对比,其中“T639_DMO”为未经高度订正的预报结果,而“T639_DMO_订正”为经过高度误差订正的预报结果,订正方案如上所述。从图1中可以看到,从24h预报到120h预报,订正后的预报效果都好于未经高度订正的预报,其中平均绝对误差减少最高达到13%,最少也达到5%左右。从误差小于2℃站次的百分比(正确率)看,订正前只有24和48h预报达到50%以上,而订正后24~96h的预报都达到了50%以上,其中24h预报准确率达到了61%,而订正前是52%。最低温度(图略)订正前后预报误差对比情况和最高温度一致。

国家气象中心关于DMO方法的另一改进是预报偏差订正,利用最近的观测资料计算近期的预报误差,并近似作为预报系统误差在后面的预报中进行扣除,可以明显提高预报效果。具体的订正方法是利用近期的实况观测资料分站点、分时效计算预报平均误差,在每天的预报中减去预报误差。为了避免极端情况的影响,在进行偏差订正时,预报误差乘以一个系数,该系数取0~1.0之间的值,值越小,预报误差的影响越小,订正效果越小;值越大,预报误差的影响越大,订正效果越大,但极端情况的影响也就增大。

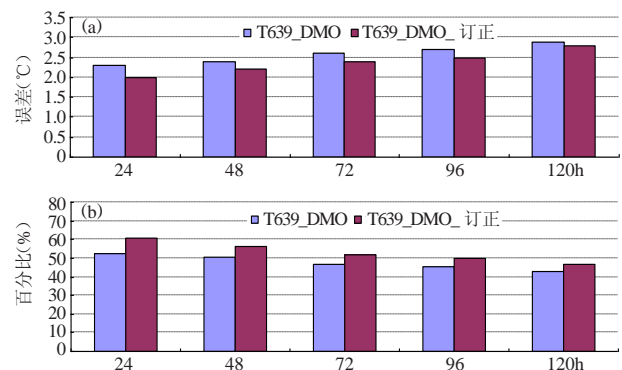


图1 2011年9月全国2500站平均的T639_DMO最高温度预报平均绝对误差(a)和温度误差2℃以内站次百分比(b)

图2为2012年全国平均最高温度和最低温度预报平均绝对误差对比, DMO为经高度订正但是未经预报偏差订正的预报, DMO订正为高度订正后又经预报偏差订正的预报(预报偏差订正系数取0.8, 预报误差计算时段以实况观测为基础, 为当天到前推30d, 预报结果时间段根据实况时间和预报时效计算)。从图2中可以看到不管是最高温度预报还是最低温度预报, 经过预报偏差订正后, 预报误差都有明显的下降。如果把订正后误差与订正前误差的差值除以订正前的误差看做是预报效果提高率的话, 则最高温度预报效果的提高率在13%~35%之间, 而最低温度预报的提高率则在15%~30%之间。可见经过预报偏差订正后预报效果有了明显的提高, 预报效果的提高同样反映在预报准确率(预报误差2℃以内站次百分比)的提高上(图略)。

前面给出了DMO预报中高度误差订正和预报偏差订正的例子, 但只是针对温度预报, 原因是在日常的要害预报中, 大家更关心温度预报, 因而对温度预报的处理方案研究更多一些的缘故。其他预报要素同样可以通过高度误差订正或者预报偏差订正来提高DMO的预报效果, 但需要注意的是不管模式高度误差订正还是预报偏差订正, 需要针对不同的要素、不同的季节、不同的区域进行研究分析和试验, 寻求最佳的订正方案。

在高度误差订正中, 温度的垂直递减率是很重要的, 虽然有的研究表明温度的垂直递减率在-0.6℃/100m左右, 但在一些特殊的情况下可能会有所不同, 如何来计算不同时间、不同地点准确的温度垂直递减率并应用到高度误差订正中? 其他与地形高度有关的要素, 例如风如何来订正? 这些都是需要

进一步研究的问题。在预报偏差订正中, 降水等不连续变量如何进行订正? 该选用多长时间来计算预报误差? 不同时间在计算预报误差时是否采用相同的权重? 不同的季节、区域是否需要分别考虑? 这些问题都还需要进行大量的分析研究。

2.2 MOS 预报方法

MOS预报方法是指在模式预报的基础上结合实况观测资料通过统计方法建立预报模型, 并在此基础上给出预报服务需要的预报结果。它是业务应用中的主要方法, 在国家气象中心和很多的省级业务部门都有应用。MOS方法包括回归、判别、聚类等多种统计预报方法, 但由于多元回归方法在实际业务中应用更为普遍, 所以MOS方法更多的时候是指多元回归方法。

近年来, 国家气象中心以T639-MOS预报系统开发为依托, 针对MOS预报方法在业务中的应用情况, 从多方面开展了改进预报技术、提高预报效果的工作, 下面就这些方面的工作进行介绍。

2.2.1 MOS 预报因子初选方案的影响

在近年的MOS预报业务实践中, 出现两种对温度预报尤为突出的异常情况。其一, 预报方程建立过程中很正常, 试报结果也很正常, 但在实际预报中误差则很大, 通常都在5℃以上, 甚至是10℃以上, 导致预报完全不可用。尽管出现这种情况的站点不多, 一般在1%左右, 但还是严重影响了业务。针对这种情况, 以往通常的做法是, 在预报方程替换之前, 进行试报, 找出这些异常站点的方程, 以其他站点方程进行替换, 并反复检查。但是这种做法并不能从根本上解决问题。其二, 虽然资料很完整, 但是无法建立预报方程。

针对这些问题, 经过对比分析试验发现, 引起这

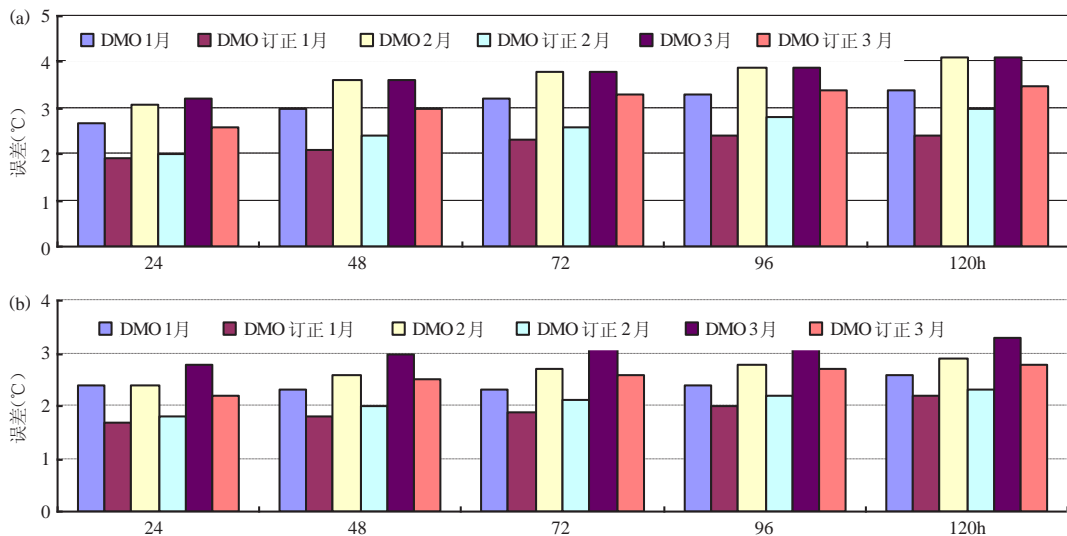


图2 2012年全国平均的T639_DMO最高温度 (a) 和最低温度 (b) 预报平均绝对误差

些问题的原因是MOS预报因子初选方案中未考虑因子之间的相关性。在MOS预报中,由于预报因子较多,基于计算量等原因的考虑通常是在大量的基本因子基础上采取一定的方式选取一定数目的因子进入到回归过程,再由逐步回归选取最优的因子组合建立预报方程,这个过程称为因子初选。以往的因子初选方式是先计算所有因子与预报要素的相关,从中选出相关系数较大的200~300个因子进入到回归过程。由于因子初选的过程中只考虑了因子与预报要素的相关性,而忽略了因子之间的相关性,有可能出现进入回归过程的因子代表性较差,因子类别过于集中,使得回归过程无法得到较好的因子组合,从而造成了上面提到的两种异常情况。这种情况在温度等预报因子与预报要素关系较为密切的预报方程中较为突出,而在降水等预报要素与模式预报因子相关性相对差一些的预报要素方程中则不那么明显。

基于以上的考虑,在试验分析的基础上改进了原来MOS预报业务应用中的因子初选方案:方案一,如果因子间相关性过大,即使两个因子都与预报要素有较好的相关(因子之间的相关大于因子与要素之间的相关),也只选取其中之一进入回归过程;方案二,对于降水等要素,由于要素与预报因子之间的相关性较弱,当预报因子与要素的相关系数绝对值小到一定的程度,如果还采取上述方案容易把一些有用的预报因子剔除,影响预报效果。因此针对降水等要素,确定一个因子相关性临界值,只要因子之间相关性不超过该临界值,就可以不考虑它们之间的相关性,从而确保因子多样性。通过以上的修改和调整,上述两种异常情况得到了很好地解决。

2.2.2 MOS 预报中的季节划分问题

MOS预报中的一个基本问题是建模时段的选取,一般来说需要选取天气背景相似的历史样本建立预报方程才可能得到好的预报效果,因此从理论上来说建模时段分得越细,建模样本的天气背景越接近,预报模型的效果也会越好,但是又会引起建模样本较少、

预报模型不稳定的情况,因此要在这两个问题中寻找平衡。通常的做法是分春、夏、秋、冬四季或者冬、夏半年来建立预报方程,而在日常业务中春、夏、秋、冬四季建立预报模型应用更普遍。接下来的问题就是利用传统的春、夏、秋、冬四季划分方式来建立预报方程是否最适合MOS预报呢?

为了回答上述问题,在T213模式资料的基础上,通过客观聚类方法,利用高空形势场进行季节划分试验。具体的做法是利用2003—2008年的模式资料对所有的样本进行聚类分析,分为四类对应一年四季。分析结果发现,冬、夏没有很大变化,春、秋两季则被分为两段,其中春季和秋季靠近夏季的两段被分为一个季,而靠近冬季的两段则被分为了一个季^[12](图3)。

在前面聚类分析的基础上,分别就传统的四季和新的季节划分方案进行MOS预报效果差异的试验,对比方案如下:

- 方案一:选择传统的四季划分方式,分别为春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)和冬季(12月—次年2月)。
- 方案二:按照聚类分析的结果,划分新四季,分别为新春季(2月11日—3月20日和11月5日—12月4日)、新夏季(5月1日—9月30日)、新秋季(3月21日—4月30日和10月1日—11月4日)、新冬季(12月5日—次年2月10日)。

利用2003—2008年的资料分别建立预报方程,对2009年相应的时间段进行试报,以下是试报结果的检验分析。

因为新的季节划分与传统的季节划分方式的主要区别是春季和秋季的划分,所以以2009年3—5月和9—11月这两段时间作为代表进行检验,分析两种不同的季节划分方案对MOS温度预报效果的影响。

图4给出的是两种季节划分方案的最高温度和最低温度预报平均绝对误差。可以看到,除3—5月最高温度外,3—5月最低温度以及9—11月最高和最低

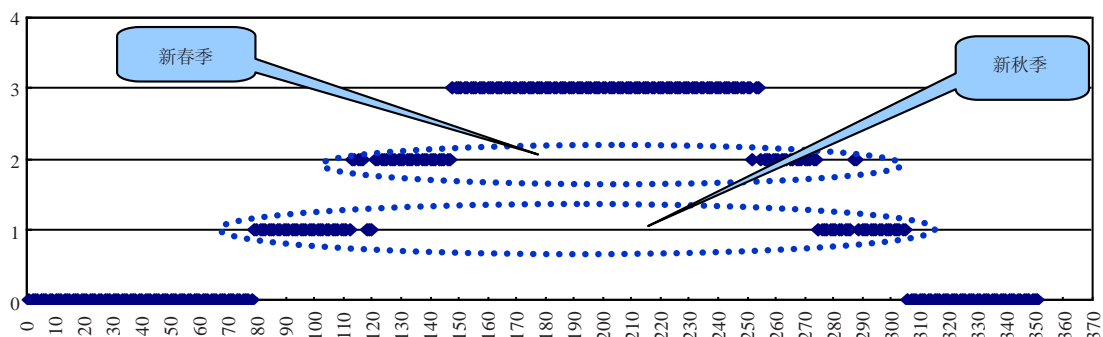


图3 利用聚类方法得到的一年四季的划分方式(横坐标为一年365天,纵坐标为划分的四个类别,对应一年四季)

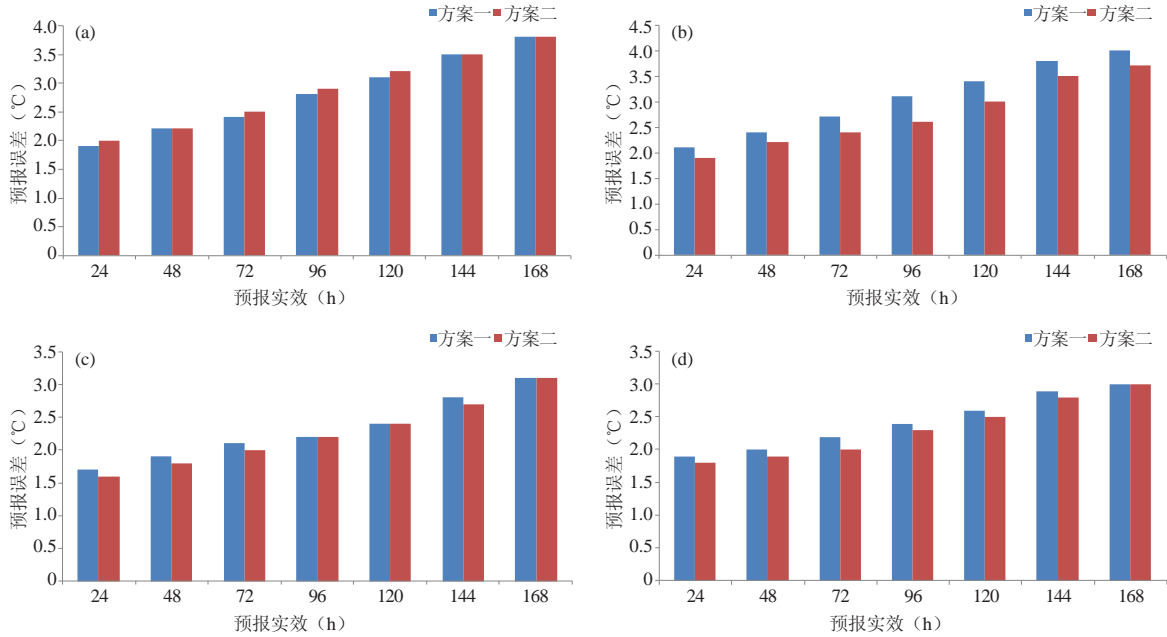


图4 2009年3—5, 9—11月最高温度和最低温度预报的平均绝对误差
(a) 3—5月最高温度预报, (b) 9—11月最高温度预报, (c) 3—5月最低温度预报, (d) 9—11月最低温度预报

温度预报结果都显示方案二的预报误差小于方案一, 尤其是9—11月最高和最低温度预报误差有明显的下降; 3—5月最高温度预报, 方案二误差等于或者略大于方案一, 但是差异不大。因此从整体上看, 方案二的误差小于方案一。方案一和方案二误差都随时效增加而增大, 这与实际的预报经验一致。绝对误差小于等于2°C站次百分比与误差具有一致的结论。

以上分析表明用新的季节划分方式, 预报误差总体上小于传统的季节划分方式下的预报误差, 预报绝对误差在2°C以内站次百分比大于传统的季节划分方式。由于新的季节划分方式通过客观的方法把形势场更为相似的样本划归为一类, 在此基础上建立的预报模型具有更好的预报效果, 因此新的季节划分方式更适应于MOS温度预报。

2.2.3 基于概率回归的降水等级预报

在国家气象中心和部分省台MOS预报中, 原来的降水预报采取分级建立预报方程, 预报结果为不同等级降水有无的方案。具体预报方案(以下称S1)是: 小雨预报模型直接以降水量作为预报对象, 在建立预报方程的同时选取样本拟合中使得小雨TS评分达最大的方程拟合值作为判别值, 在实际预报中预报量大于(小于)该判别值则预报有(无)小雨; 对于中雨预报方程, 把原始样本中小于中雨样本的预报量重新赋为0, 中雨以上的预报量则保持原来的值, 处理之后建立预报方程, 同时确定样本拟合中使得中雨TS评分达最大的方程拟合值为判别值, 在实际预报中, 预报量大于(小于)该判别值则报有(无)中雨, 其他量

级的预报方程依此类推。最终的预报结果通常是选取所有量级预报中出现的最大量级, 或者采取逐级判别的方法等到最终预报结果。在实际预报中, 该方案的降水预报效果较差, 尤其是雨区预报范围较大。

基于概率回归估计的降水等级预报(以下称S2)是把预报量看成随机事件, 把事件出现与否转化为0, 1化的二值变量, 再通过逐步回归方法建立与预报因子之间的概率回归方程, 实时预报时根据预报因子计算出事件出现的概率估计, 同时可以进一步借助辅助方法确定出事件发生的概率判别值, 从而得到事件发生与否的预报结果, 确定判别值的方法与S1一样^[13]。

在T213模式预报和我国测站00Z 24h降水量的基础上, 分别就S1和S2方案利用2004—2008年夏季(6—8月)资料建立预报模型, 以2009年夏季进行试报, 图5给出了全国平均两种方案预报TS评分, 结果显示方案S2比方案S1有较好的预报效果。

进一步通过预报因子分析和引入样本方差贡献的概念, 发现回归降水等级预报方法在建立小雨预报方程的样本中, 少数较大降水量的样本方差占总方差的百分比过大, 导致预报方程中反映的预报量与预报因子的关系以这些少数大降水量的样本为主, 而在一定程度上忽视了大量小降水量样本的作用, 是造成小雨预报空报过大的原因, 而概率回归降水等级预报方案避免了这样的问题。

2.2.4 区域建模方法改进小概率事件预报效果

统计预报中, 小概率事件预报是难点, 如何改进

其预报效果,是气象工作者一直研究的问题。区域建模方法是在气候分区的基础上,把变化规律相近的站点放在一起,建立一个公共的预报方程,相当于增加了小概率事件的建模样本。预报的时候同一区域内站点采用同一方程,由于预报因子的值有所不同,所以仍然可以得到各自站点不同的预报结果。

在区域建模中,首先需要得到有针对性的气候分区。国家气象中心利用旋转经验正交函数分解方法对华北地区夏季降水进行区划,得到七个分区。在分区结果和T213模式的基础上,利用2006—2008年6—8月资料分别建立单站和分区的预报方程,对2009和2010年6—8月进行试报,检验结果表明区域建模与单站建模相比具有明显的优势,而区域建模与模式直接输出相比,在大量级降水上优势明显^[14]。然后又在T639模式的基础上,对降水相对较少的西北地区进行了同样的对比试验,利用2007—2010年(缺2008年)6—8月的资料建立预报方程,对2011年6—8月的试报结果进行了检验,与单站建模相比,区域方程预报效果明显提高。同时与模式降水预报结果(DMO)进行了对比分析,由TS(图6)评分来看,各时效和各量级上区域建模均比DMO有所提高,其中小雨预报在180h的预报时效内,相对于DMO提高10%以上,其中36h预报评分由0.44提高到0.53,提高18%,说明在模式预报的基础上,区域建模的降水预报效果有明显提高。

在分区试验的基础上,通过旋转经验正交函数分解方法得到我国四季降水分区,并建立了基于T639模

式的降水MOS分区建模试验系统,实现实时运行。图7为夏季降水的MOS预报气候分区,由于是针对数值预报产品释用的气候分区,与传统意义的气候分区相比更为细化,但是大的趋势是一致的。

2.2.5 多模式 MOS 降水集成预报

多模式集成预报能够综合多个模式的优势,得到更为稳定的预报效果。国家气象中心在德国、日本、T213模式基础上,通过MOS预报方法开展多模式降水集成预报试验。检验结果表明集成后的降水预报效果好于单个模式预报,该预报系统实时运行预报结果传送到会商服务器供预报员参考使用。图8为2009年5—9月的预报结果检验评分。

2.3 其他预报方法

除DMO和MOS预报方法外,相似预报方法、神经网络方法(ANN)、支持向量机等方法(SVM)也在不同的业务中使用。

相似预报中除了要有好的预报因子外,判别相似程度的相似性度量选取是一个十分重要的方面,罗阳等^[15]就相似预报方法中的相似性度量进行了对比分析,结果表明相似度实际上是与欧氏距离、海明距离相似的量,它只能反映两个样本空间的距离,而不能准确反映出形状和强度。而相似量与相关系数更为接近,它与形状和强度有关,与空间距离无关。在实际应用中较好的方法是先确定相似选择的时间窗口,以确保样本平均值大体相同,再应用反映形状和强度的相似量进行相似选择。

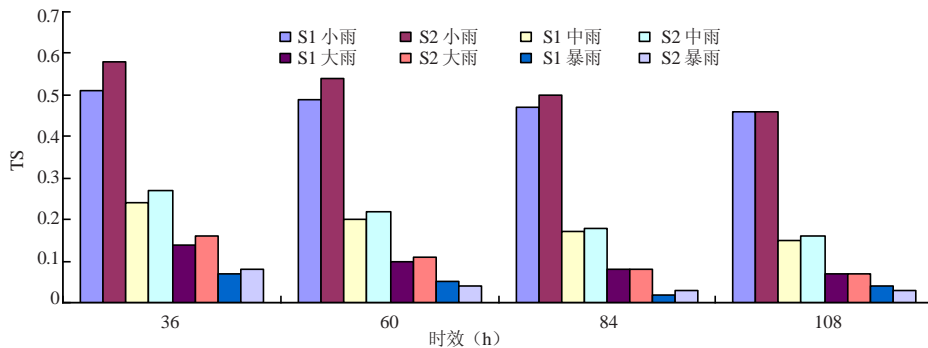


图5 2009年全国平均的夏季降水TS评分

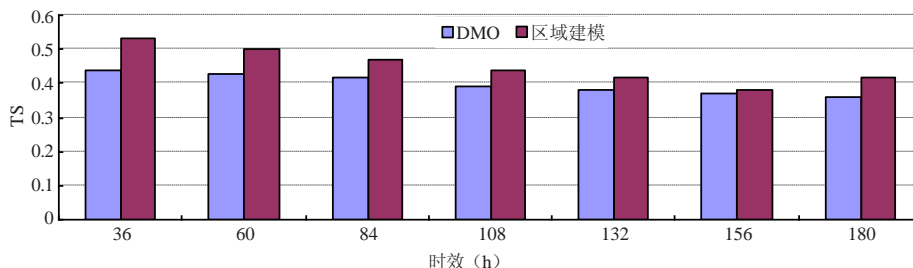


图6 西北地区2011年夏季降水(小雨)TS评分(DMO为模式直接输出预报,区域建模为MOS区域建模预报)



图7 我国夏季降水的MOS预报气候分区
(不同的颜色代表不同的分区)

BP网络方法是使用最多的人工神经网络方法，闵晶晶等^[16]根据BP网络在实际应用中网络结构参数难以确定、训练易陷入局部极小等问题，提出了一种改进的BP算法，采用学习参数和网络参数在训练过程中自动调整、确定最优参数的方法，经过江淮流域降水的预报试验表明，改进后的BP算法相比传统的BP算法预报效果有显著的提高。

3 综合集成预报及精细化气象要素预报业务流程建设

3.1 综合集成预报

综合集成预报方法包含两个方面的内容。一是在多个预报结果的基础上，通过一定的数学方法建立预报模型，也就是把单个预报结果作为预报因子，在此基础上建立预报模型，在预报时，输入单个的预报结果，从而得到最终的预报结果。这一般要求每个预报必须有一定时间长度的预报结果用于预报模型的建立，这其实和前面提到的预报方法没有本质的区别，只不过输入的预报因子是不同的预报结果。

综合集成预报的另一个内容是在要素不完全相同、时效不完全相同、预报站点不完全相同的预报结果的基础上，通过一定的准则来进行合成，使得最终

的预报结果是唯一的。这种方法产生的原因是，业务部门往往有多种客观预报产品，但这些预报产品不能直接提供给预报员使用，增加预报员的工作强度，所以要在提供给预报员之前合成每个站点、每个时效、每个要素唯一的预报产品。另外，不同的方法其预报结果有不同的特点，比如DMO方法几乎可以得到模式范围内任意点的预报，但是预报效果相对差一些；MOS等方法预报效果相对较好，但预报方程的建立需要依赖一定时间长度的实况观测资料，使得它的预报具有一定的局限性。而在实际的预报业务中需要有完整体系的预报结果，这就要求综合多个预报结果，并尽可能吸收好的预报信息来满足实际预报服务的需要。

国家气象中心采用在DMO，MOS预报结果的基础上结合主观订正预报的方法，事先对预报结果进行优势排序和检验结果优选相结合的方法合成最终的预报结果，在多个预报产品进行集成后进行各种协调一致性处理，最终形成国家气象中心的指导预报产品，提供给各种专业服务、各级业务部门参考使用。协调一致性处理主要包括要素和时效之间的协调处理，长短时效之间的协调一致性处理等，处理的目的是使得预报结果更合理、有效，提高预报产品的可用性。

3.2 T639 精细化气象要素综合集成系统

国家气象中心在T639-MOS和T639-DMO等预报的基础上建立了精细化气象要素综合集成预报系统和流程，实现业务化运行。图9为综合集成预报示意图。在综合集成预报结果的基础上，通过时效外推、协调一致性处理生成国家气象中心精细化气象要素指导预报产品。

3.3 精细化气象要素预报业务流程

国家级精细化气象要素预报业务流程：国家气象中心在规定的时间内一天两次提供县级台站的指导预报产品，该预报产品通过国家级预报产品数据库（NWFD）下载到各级业务部门（LWFD），省或地市级业务部门在参考国家级指导预报产品的基础上结

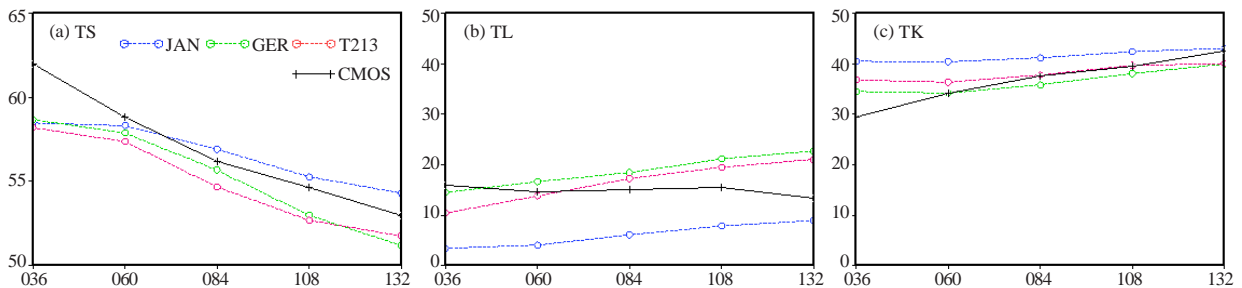


图8 2009年5—9月全国有无降水预报的TS评分(a)、漏报率(b)和空报率(c)
(图中蓝色虚线为日本模式，绿色虚线为德国模式，粉色虚线为T213模式，黑色实线为集成MOS预报)

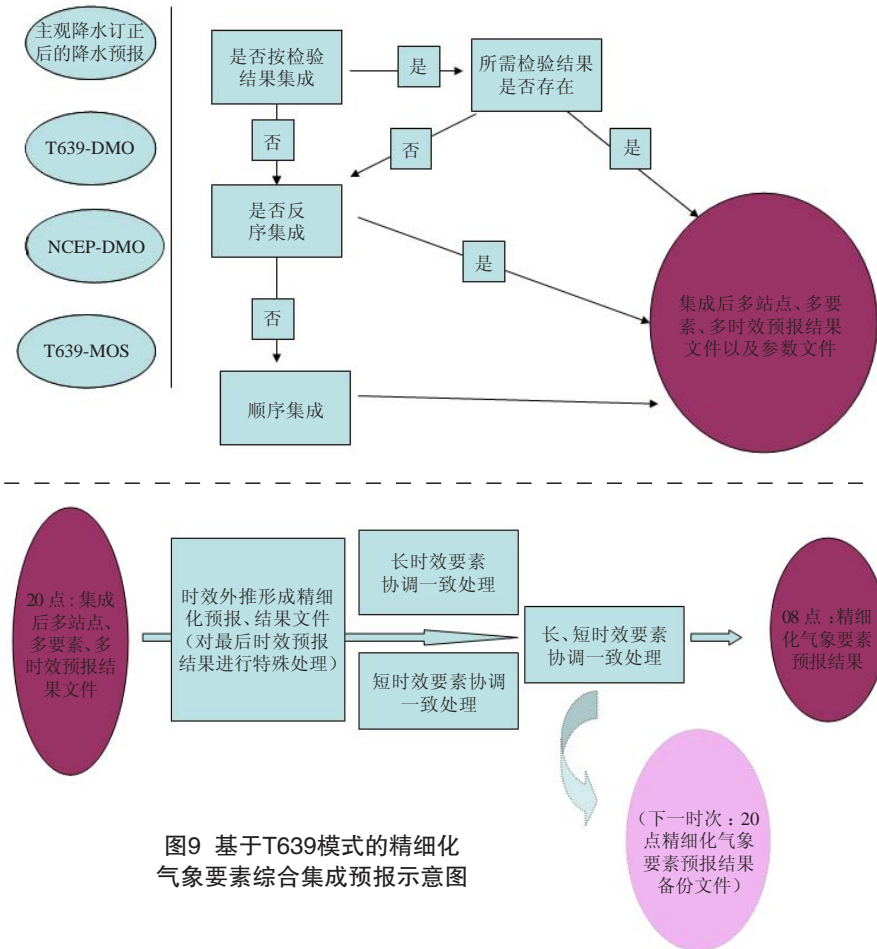


图9 基于T639模式的精细化气象要素综合集成预报示意图

组织数值预报产品释用技术方法的研究，但多为项目行为，在实际预报业务中的应用并不普遍。近年来，系统性的预报技术研究开发和实际业务应用得到了很大发展。在中国气象局基建项目的支持下，建立了国家级的精细化气象要素预报业务流程，明确国家气象中心为下级台站提供县级台站的精细化气象要素预报指导预报产品，各级业务部门在此基础上结合其他预报产品进行订正，其预报结果返回到NWFD，并提供各级业务部门使用。国家气象中心也在原有的基础上进行改进完善，建立了精细化气象要素指导预报业务系统。

与MDL的差异在于，国家气象中心不仅开发了MOS预报系统，而且在多个预报系统的基础上进行综合集成和各种一致性的处理，形成唯一的指导预报产品提供预报员参考使用，同时为网站等提供主观订正以外的预报产品补充。

合本省的其他预报产品进行订正，订正后的预报产品通过LWFD或其他方式上传到NWFD，NWFD合成后的最终预报结果供各级用户调用。图10为国家级精细化气象要素预报业务流程的示意图，图中实线部分表示已经业务化应用，虚线部分为准业务化或者部分试用。国家级精细化气象要素预报业务流程的建立基本解决了原来不同业务部门对外服务产品的不一致性问题。

4 与美国客观气象要素预报的比较

4.1 业务应用的比较

MDL是美国气象要素预报业务开发应用的负责部门，MDL关于MOS预报方法的研究应用开始于20世纪60年代，在60年代末投入业务应用，MOS预报一直是美国气象要素预报业务中的唯一方法。经过多年的研究应用，MDL在MOS预报方法的因子处理、技术方案改进等方面有了非常细致深入的研究。在业务应用中，MDL针对不同的模式开发各自的MOS预报系统，预报产品提供各级业务部门使用，并在相关的网站发布。

国家气象中心预报系统开放实验室负责国家级的精细化气象要素指导预报业务。20世纪80年代开始

4.2 MOS 预报的比较

4.2.1 预报要素

MDL的MOS预报要素很多，包括：日最高和最低气温、定时气温和露点温度、天空总云量、地表风向和风速、降水概率、降水等级、雷暴概率和强雷暴概率、降雪等级、云底高度、能见度等级等。

国家气象中心的MOS预报系统目前是基于T639模式的，预报要素有最高、最低温度，最大、最小相对湿度

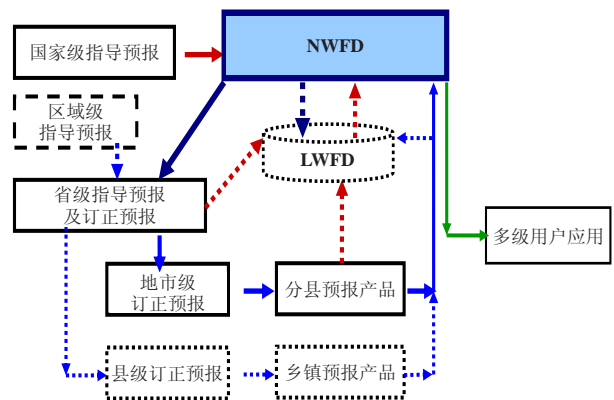


图10 国家级精细化气象要素预报流程示意图

度, 24h基于概率预报的降水等级, 以及定时定点的温度、相对湿度、风向风速、云量等级和能见度等级。

与MDL相比, 我国的MOS预报产品相对比较单一, 尤其是没有针对特殊天气和强天气的预报产品, 云量和能见度等要素的预报也不够完善, 需要进一步改进。

4.2.2 MOS 技术的特点

美国MOS预报主要有以下几个方面的特点:

(1) 区域建模方法。针对不同的要素, 把具有相似或者相近特性的站点划分为一个区域, 每个区域建立一个预报方程, 该预报方程适用于区域内所有的站点。对于降水、雷暴等要素, MDL采取了区域建模的方法, 而温度等要素则还是采用单站建模的方法。

(2) 多个预报要素同时建立预报方程。单个要素分别建立预报方程可能在实时预报时出现预报要素不一致的情况, MDL对一些关系比较大的要素采取同时建立预报方程的方法, 使得这些要素具有相同的预报因子, 从而避免要素之间的一致性问题。但为了选取共同的因子组合, 可能会使得因子组合对单个要素不一定是最优的, 对预报效果有一定的影响。

(3) 格点化的MOS预报及地理信息应用。格点化的MOS预报本质上是在站点预报的基础上通过一定的分析方法得到格点上的MOS预报结果, 因此格点化的MOS预报核心问题是分析方案和比较准确的具有一定空间密度的站点MOS预报。MDL格点化MOS预报采用的是由Bergthorssen和Doos提出, 并由Cressman在实际中应用的逐步订正的插值分析方法(简称BCD), MDL在此基础上进行了改进, 主要考虑了不同下垫面的影响、高度订正等, 改进后的BCD重新命名为BCDG, 以示区别。格点化MOS预报的网格距是2.5km, 分析过程中涉及到细致的下垫面性质等很多地理变量, MDL利用地理信息系统来得到这些量。同时在区域建模中地理信息可以作为预报因子进入到方程中。

由于实际业务的需求不同, 国家气象中心格点化的客观气象要素预报目前还处于试验研究阶段。

国家气象中心的MOS预报:

(1) 回归和概率回归方法的应用。与美国一样, 国家气象中心采用逐步回归和概率逐步回归方法分别进行连续变量和不连续变量的预报。在预报因子中除了模式输出的基本量外, 还计算了大量的物理量作为预报因子进入到回归过程, 结果显示这些预报因子对预报效果的改进具有明显的效果。

(2) 开展要素客观分区和区域建模方法应用。利用客观方法进行我国降水的客观分区, 并进行降水

区域建模试验, 取得了一定效果。下一步除了通过气候因子、物理量空间结构特征等因子的加入, 等级判别值方案的改进等方面完善降水区域建模外, 还将开展区域强对流等区域建模方法的研究应用。

(3) 开展多模式MOS集成预报的应用研究。多模式的MOS预报可以综合多个模式的优势, 相比单一模式在预报的稳定性上具有一定的优势。开展多模式MOS降水集成预报, 试验已取得较好的效果, 正在进行业务化运行的准备。

(4) 反映物理量场空间结构特征因子的应用。MOS预报中预报因子的处理一般是通过插值到站点, 缺少能够反映物理量空间结构特征的信息, 而这类信息对降水等对环流形势、物理量空间结构比较敏感的要素是很重要的, 通过增加大气环流特征量、经验正交函数分解等方法提取反映物理量空间结构特征预报因子, 进行相关试验。下一步进行完善改进, 并逐步应用于MOS预报业务系统, 提高预报效果。

从上面初步的对比可以看到, MDL的MOS预报和国家气象中心的MOS预报从本质上是一致的, 但是MDL预报要素更多, 针对性更强, 而国家气象中心在MOS预报方面取得了一定的成果, 并且在业务应用中发挥了作用, 但还有许多方面的工作需要进一步完善, 尤其是在预报要素的丰富程度和一些特殊要素以及极端天气的针对性处理技术方面还存在很明显的差距。由于各自业务流程的差异, 国家气象中心的客观气象要素预报相对于美国而言也具有自己的特点和优势。

5 精细化气象要素预报展望

经过多年的研究和试验, 精细化气象要素预报方法已有了较大进展。国家级精细化气象要素预报业务流程的建立更是进一步推动了气象要素预报的发展, 基于数值预报产品释用技术的精细化客观气象要素预报取得了比较好的效果, 并在预报业务中发挥了重要的作用。但纵观整个精细化气象要素预报, 还存在很多需要改进和发展的地方。

(1) 精细化气象要素客观预报产品中, 部分要素的预报效果比较令人满意, 例如最高、最低温度和相对湿度等。但有些要素预报效果不是很理想, 例如云量、降水量、降水类型、能见度等特殊要素, 以及沙尘、大雾、强对流天气等天气现象, 可以说天气现象这个要素是最难预报的。目前, 在大多数的客观预报中, 天气现象还只考虑了晴雨预报, 这是远远不够的, 需要开展深入的针对特殊天气、强天气的客观预报方法的研究, 并应用到实际的预报业务中以完善精细化气象要素预报体系, 提高预报效果, 加强精细化客观气象要素预报在实际预报业务中的支撑作用。

(2) 多个预报产品综合集成以后的协调一致性处理方案还需要进行更深入的研究, 使得综合集成后的预报产品更合理、更有效。另外, 气象要素之间的协调一致性处理, 可以利用预报效果较好的要素预报信息修正预报效果相对较差的要素, 提高其预报服务的效果。

(3) 集合预报产品在精细化客观气象要素预报中应用的研究还很少。集合预报产品具有单一预报所不具备的大量的预报不确定性信息, 集合预报产品在精细化客观气象要素预报中的应用有助于提供更完备的要素预报信息, 对于开展概率预报具有重要的意义。

(4) MOS方法等在业务中应用最多的预报方法本身还有可改进的空间, 主要在预报因子的处理、预报因子信息的增加、预报方案的细化和改进等, 尤其是在目前预报效果不是十分理想的降水、风向风速等要素的预报上, 还可以开展多方面的研究试验工作, 从而达到提高预报效果的目的。

(5) DMO预报中针对不同要素的预报偏差订正方案, 还需要进行更多的深入分析研究, 形成有针对性的最优方案, 并在业务中应用。

(6) 客观气象要素的预报仍以统计方法为主, 缺少动力因素的考虑。对于一些强天气、极端天气的预报应当结合动力诊断、天气分析和统计预报方法来提高预报效果。

希望通过气象科研人员坚持不懈的努力, 使精细化气象要素预报技术方法更加完善, 精细化气象要素

预报效果能够不断提高, 在现代天气预报业务中发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 国家气象中心. 数值预报产品应用指南. 北京: 气象出版社, 1991.
- [2] 冯汉中, 李万昌. 卡尔曼滤波方法在四川盆地地面雨量预报中的应用. 四川气象, 2001, 76(2): 13-17.
- [3] 林开平, 郑宏翔, 董良森. 用数值预报产品根据相似法制作广西暴雨落区预报. 广西气象, 1999, 20(2):1-5.
- [4] 孙田文, 纪建军, 胡淑兰. 用数值产品作分县分级降水预报. 陕西气象, 2000, (2): 12-13.
- [5] 祀明辉, 肖子牛, 宴红明. 一种改进的考虑环流特征的MOS预报方法. 高原气象, 2003, 22(4): 405-409.
- [6] 张华, 叶燕华. 利用最近资料改进MOS预报的方法. 高原气象, 2003, 22(2): 128-131.
- [7] 陈永义, 俞小鼎, 高学浩, 等. 处理非线性分类和回归问题的一种新方法(I)——支持向量机方法简介. 应用气象学报, 2004, 15(3): 345-354.
- [8] 冯汉中, 陈永义. 处理非线性分类和回归问题的一种新方法(II)——支持向量机方法在天气预报中的应用. 应用气象学报, 2004, 15(3): 355-365.
- [9] 刘还珠, 赵声蓉, 陆志善, 等. 国家气象中心气象要素的客观预报——MOS系统. 应用气象学报, 2004, 15(2): 181-181.
- [10] 赵声蓉. 多模式温度集成预报. 应用气象学报, 2006, 17(1): 52-58.
- [11] 赵声蓉, 裴海英. 客观定量预报中降水的预处理. 应用气象学报, 2007, 18(1): 21-28.
- [12] 车钦, 赵声蓉, 范广洲. 华北地区极端温度MOS预报的季节划分. 应用气象学报, 2011, 22(4): 429-436.
- [13] 赵声蓉, 赵翠光, 邵明轩. 事件概率回归估计与降水等级预报. 应用气象学报, 2009, 20(5): 521-529.
- [14] 赵翠光, 赵声蓉. 华北及周边地区夏季分区降水客观预报. 应用气象学报, 2011, 22(5): 558-566.
- [15] 罗阳, 聂新旺, 王广山. 几种统计相似方法的适用性比较. 气象, 2011, 37(11): 1143-1147.
- [16] 闵晶晶, 孙景荣, 刘还珠, 等. 一种改进的BP算法及在降水预报中的应用. 应用气象学报, 2010, 21(1): 55-62.

新书架

NEW BOOK

 感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆阅览室阅读或凭索书号借阅



《气象灾害丛书——台风预报及其灾害》

编著者: 陈联寿等
出版者: 气象出版社
出版年: 2012
索书号: P429/170/21



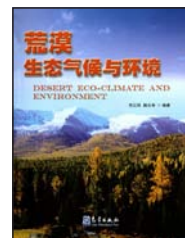
《省级地方政府气象灾害专项应急预案汇编》

编著者: 中国气象局应急管理办公室
出版者: 气象出版社
出版年: 2012
索书号: P429/219



《室内可吸入颗粒物理化特征及毒理学研究》

编著者: 邵龙义等
出版者: 气象出版社
出版年: 2012
索书号: P402/116



《荒漠生态气候与环境》

编著者: 李江凤, 魏文寿
出版者: 气象出版社
出版年: 2012
索书号: P941.73/9

我国强对流天气监测和预报业务

毛冬艳

(国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081)

摘要: 总结了近几年我国强对流天气业务的主要进展, 重点介绍推动强对流天气业务发展的技术支撑, 包括新的监测资料的应用、数值预报模式的发展、主要技术方法的研发和专业化业务系统的建设, 分析了目前存在的问题和面临的挑战, 并提出全国强对流业务的未来发展和主要任务。

关键词: 强对流, 监测, 预报

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.003

The Monitoring and Forecasting Operation of Severe Convective Weather in China

Mao Dongyan

(National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: The paper reviews the main progress of the severe convective weather operation in recent years, with the emphasis on the technical support, which includes the application of new observation data, the development of numerical forecast model, the research of the main technical methods and the construction of the special operation systems. The paper also analyses the existing problems and challenges, shows the future development and puts forward the main task of the severe convection operation.

Keywords: severe convection, monitoring, forecasting

1 引言

强对流天气是我国主要的灾害性天气之一。强对流会引发剧烈的天气现象, 如狂风、冰雹、强雷电和短时强降雨等, 对城市和农村安全具有高的影响力和大的破坏性。因此, 做好强对流天气的监测分析和预报预警非常重要。

由于强对流天气生命史短, 局地性强, 因此预报难度大。到目前为止, 强对流天气的预报准确率仍然相对较低^[1]。

2 我国强对流天气业务进展

我国强对流天气主要包括短时强降水、雷暴、大风、冰雹和龙卷等。其中, 短时强降水一般指1h降水量达到或超过20mm的降水过程; 雷暴大风是指伴有雷暴且风速达到或超过 $17.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (8级) 的对流性大风。这些与美国风暴预报中心的强对流天气的定义^[2]有一定的差异。

多年以来, 强对流天气业务一直是短期天气预报的一部分。2003年, 中央气象台正式发布强对流天气24h落区预报; 2007年3月, 下发全国24h内12h间隔强

对流天气落区预报。2009年4月, 随着国家级强对流天气专业化中心的建立, 开始下发强对流天气潜势预报产品, 产品的精细化水平逐步提高^[3]。近些年, 我国强对流天气业务取得了一定的进展, 主要包括以下四个方面。

2.1 全国强对流专业化业务体系初步建立

发展专业化的业务技术体系是天气业务由“传统”向“现代”转变的客观要求^[4]。为提高天气预报准确率和精细化水平, 根据我国灾害性天气的特点, 2009年3月, 国家气象中心组建了强天气预报中心, 并开展强对流落区潜势预报业务^[5], 标志着强对流天气业务向专业化的方向发展, 并以此带动全国强对流精细化预报业务体系的建设。之后, 部分省级气象台站逐步设置了针对强对流天气的专门岗位, 主要职责是在国家级强对流潜势预报的基础上, 结合本地天气气候特点, 制作更加精细的强对流短时临近预报。专业化中心的成立和专业化岗位的设置体现了以国家和省级为重点的预报业务指导流程。与此同时, 市级、县级也逐步完善了强对流天气预警信号发布的业务流程。到目前为止, 全国已经初步建立了业务流程清晰、岗位职责明确的强对流业务体系。

2.2 强对流天气监测和短临预报业务迅速发展

新的监测手段促进了强对流天气监测业务的迅速

收稿日期: 2012年5月28日; 修回日期: 2012年6月15日
作者: 毛冬艳 (1975—), Email: maody@cma.gov.cn
资助信息: 公益性行业 (气象) 科研专项 “强对流天气短期概率预报技术研究” (GYHY201206004)

发展。1998年,具有多普勒测速功能的新一代天气雷达开始建设。截止到2012年6月,全国已布设了160多部多普勒天气雷达,有效地改善了对强对流天气的监测预警能力^[6-8]。近些年来,我国气象卫星探测技术不断发展,目前使用风云二号D星和E星组成双星业务系统,对我国和周边地区的天气系统进行了有效的监测。每年6—8月可以每15min获取一幅云图^[9]。2012年汛期,还启动了风云二号F星的区域加密观测,针对重点区域可以实现每6min一次的卫星加密观测,大大提高了对中小尺度天气系统的监视能力。不仅如此,风廓线雷达^[10-12]、分钟雨量^[13]、GPS水汽^[14]以及微波辐射计等资料也在强对流天气的监测分析中发挥了越来越重要的作用。

监测能力的迅速发展也促进了强对流天气短时临近预报能力的提升。我国从2004年开始逐步开展强对流天气的短时临近预报业务^[15]。国家级主要发布未来6~12h的短时指导预报,省级及地方气象台站在定时发布短时预报的基础上,重点开展临近预报业务,并根据强对流天气的种类、影响范围以及强度等发布相应的预警信号。

2.3 中尺度天气分析业务在全国稳步推进

中尺度天气分析是结合强对流天气特点、适应强对流业务专业化发展的一项新的天气分析内容。相对于常规的天气分析而言,中尺度分析更加注重强对流天气发生发展的天气系统的配置和各种物理条件的综合分析,目前已经成为强对流天气业务的重要内容之一。2009年,国家气象中心试验性开展中尺度天气分析业务;2010年,制定《中尺度天气分析技术规范》(以下简称《规范》),并通过预报司向全国推广;2011年,针对《规范》进行进一步的改进完善,一方面简化高空分析的内容,同时增加了针对有限区域的中尺度天气系统分析的技术规范,更适合省级及以下台站充分利用高时空分辨率的观测资料,开展更加精细的本地区强对流天气过程的分析。

2.4 强对流业务产品的精细化程度不断提高

强对流专业化业务体系的建立,促进了业务产品的精细化水平不断提高。目前,国家级初步建立了集监测、分析、预报、检验等为一体的较为完整的强对流天气业务产品体系,实现了基于多源观测资料的不同类别、不同时间段的强对流天气客观监测;开展了强天气中尺度分析业务以及针对较强天气过程的中尺度系统滚动分析业务试验;实现了由原来单一的强对流天气预报向短时强降水、雷雨大风和冰雹的分类强对流潜势预报的转化;预报时效从24h延长至72h;预报产品由确定性预报逐渐向分类概率预报(图1)发

展;尝试开展了基于TS评分的强天气落区预报检验和概率预报检验。省级及地方气象台站在强对流天气监测的实时性、准确性方面不断提高,在短临预报预警方面,逐渐由原来概述性的强对流天气向不同种类(雷电、短时强降水、雷暴大风、冰雹等)转变,对强对流天气的强度也由原来的定性预报向量化转变,更加注重在预报准确率基础上的精细化程度的提高。

随着近几年强对流天气业务的专业化发展,预报准确率和精细化水平有所提高,特别是对于区域性



图1 2012年5月8日08—20时全国分类强对流概率预报试验产品 (a) 短时强降水, (b) 雷雨大风, (c) 冰雹

的强对流天气过程，预报能力有所提升。以2012年4月10—13日我国南方地区一次较大范围的飊线过程为例，中央气象台提前3d预报出了此次强对流天气过程，并随着时效的临近不断进行订正，24h内对于强对流天气类型和落区进一步精细化，整个过程预报较为准确。广东省最新的统计数据^①表明，广东省对中小尺度突发灾害性天气监测率达80%，强对流天气预报准确率达70%。

3 强对流天气业务发展的技术支撑

随着气象现代化建设不断推进，综合气象观测能力明显增强，数值预报预测能力逐步完善，基于灾害性天气发生发展的动力、热力条件诊断分析技术和数值预报产品解释应用技术不断发展，网络通信与计算机技术飞速发展等，都给我国强对流天气业务发展提供了坚实的基础和良好的发展机遇。

3.1 新的监测资料的应用

3.1.1 新一代天气雷达资料的应用

新一代天气雷达网的建设，大大促进了雷达资料在强对流天气业务中的应用。2003年，中国气象局气象干部培训学院（原中国气象局培训中心）编写了《多普勒天气雷达原理与业务应用》，详细介绍了多普勒天气雷达在探测和预警冰雹、龙卷、灾害性大风、短时暴雨、暴洪等强对流天气方面的业务应用^[16]。近些年来，针对每年发生的较强的强对流天气过程，一些气象学家也综合应用多普勒雷达资料进行了全面的分析总结，如2002年5月27日安徽北部一次典型超级单体风暴造成的强对流天气^[17]、2004年7月10日北京短时强降水^[18, 19]和7月12日上海飊线引发的灾害性大风过程^[20, 21]、2005年3月22日广东一次罕见的强飊线过程^[22]、2009年6月3, 5和14日淮河中下游三

次飊线过程^[23]等，得出了一些有益的结论，并应用于强对流天气的监测和预报，特别是短时临近预报预警中。俞小鼎等^[24]在借鉴美国强对流主观识别技术和客观算法的基础上，总结提炼了有利于我国强对流天气发生发展的环境条件以及雷达特征，并给出了建议使用的雷达产品（表1），为实际业务应用提供了较好的参考。

3.1.2 卫星资料的应用

随着气象卫星定量遥感探测能力的增强，卫星探测资料在中尺度对流系统（MCS）方面的研究更加深入。一方面，利用卫星资料对MCS的特征进行了统计分析，包括中国及邻近地区^[25]、华南^[26]、华北^[27]和青藏高原^[28]等地的中尺度对流云团的特征，以及南方地区的中尺度对流复合体（MCC）的特征，其中，南方地区MCC的研究表明，其平均生命史为18h，最长22h，最短11h，90%以上发生于北京时间18—05时，具有显著的夜发性^[29]。另一方面，基于静止卫星红外云图MCS判断标准的修订，结合我国天气特点和卫星云图的分辨率，定义了MCS云团的识别判据，发展了MCS的识别与追踪方法^[30]，在强对流天气的短时临近预报中具有很好的指导作用。

3.2 数值预报模式的发展

数值预报的发展及应用对天气业务现代化发展的推动是根本性的^[4]。强对流天气业务的发展离不开全球数值预报和区域中尺度数值预报模式的发展，同时也得益于中尺度集合预报和快速更新循环同化（RUC）技术的发展。

3.2.1 中尺度集合预报

由于观测、分析同化方法、模式过程和计算都存在误差，时效愈长、尺度愈小，预报不确定性愈大。

表1 建议的常规产品列表^[16]

名称	缩写	标识号	内容	分辨率
反射率因子	R	19	0.5, 1.5, 2.4, 3.5, 4.3, 6.0, 9.9, 14.6, 19.5	1°×1km
反射率因子	R	20	0.5	1°×2km
径向速度	V	27	0.5, 1.5, 2.4, 3.5, 4.3, 6.0, 9.9, 14.6, 19.5	1°×1km
径向速度	V	26	0.5	1°×0.5km
相对风暴径向速度图	SRM	56	0.5, 1.5, 2.4, 3.5, 4.3, 6.0, 9.9, 14.6, 19.5	1°×1km
组合反射率因子	CR	37		1km×1km
分层组合反射率因子最大值	LRM	65	显示中间层的最大反射率因子，中间层的底部定义为-20℃等温线高度，顶为底以上3km的高度，主要用来判断强冰雹的区域	4km×4km
垂直累积液态水量	VIL	57		4km×4km
风暴路径信息	STI	58		
冰雹指数	HI	59		
中气旋	M	60		
龙卷涡旋特征	TVS	61		
速度方位显示风廓线	VWP	48		0.3km
1h累积雨量	OHP	78		1°×2km
3h累积雨量	THP	79		1°×2km

① 引自广东省气象局局长许永铤在2012年全省气象工作会议上的工作报告

因此,集合预报是一种必然的选择,不仅对气候预测、延伸预报是如此,对于短期天气预报,特别是灾害性天气短期预报亦是如此^[31]。

集合预报从20世纪90年代兴起,1992年集合预报系统在美国国家环境预报中心(NCEP)和欧洲中期天气预报中心(ECMWF)投入业务运行以来,集合预报系统在发达国家数值预报业务体系中占据了非常重要的位置。我国是世界上较早开展集合预报系统研发的国家之一。自2004年中国气象局国家气象中心承担世界气象组织天气研究计划(WMO/WWRP)“2008年北京奥运会中尺度集合预报研究开发项目”(简称B08RDP)以来,根据我国数值预报业务需求和集合预报技术发展特点,研究了我国区域中尺度模式预报误差快速增长特点,地形地貌细致特征和综合观测资料分布特点对误差增长幅度的影响,研制了与全球集合预报系统嵌套的多预报初始值、多物理过程的基于WRF的区域中尺度集合预报业务系统。该系统于2010年开始准业务运行。

目前,系统共有集合成员15个,每天12时(世界时,下同)运行1次,预报时效60h,产品空间分辨率 $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$,时间间隔3h,主要包括风、温、湿、位势高度、降水等多要素、多层次的集合平均、离散度、概率等,其中,强天气威胁指数(图2)、集合动力因子等产品为强对流天气预报提供了较好的参考^[32]。

3.2.2 RUC 系统

RUC系统的建立是为了充分利用高时空分辨率的观测资料,为数值模式提供高质量的初始场,同时,在高分辨率数值模式的基础上进行精细的数值预报,为预报员做短时、临近、精细化预报提供更加丰富的数值预报产品。

RUC同化技术在国外发展较早。1994年美国NCEP已有水平分辨率为60km,3h更新周期的业务

RUC系统。我国虽然在这方面起步较晚,但发展迅速。为做好2008年北京奥运会气象服务,北京城市气象研究所建立了一个基于WRF三维变分同化和WRF模式、具有同化多种中小尺度观测资料的RUC同化预报系统(BJ-RUC),提供的临近探空对北京地区强对流潜势预报具有一定的指示作用^[33]。目前国家气象中心准业务运行的GRAPES-RUC系统是在原广州热带海洋气象研究所的GRAPES-CHAF基础上吸收新版GRAPES-Meso模式与区域GRAPES-3DVar,并优化初始化部分开发建立的。该系统于2010年4月起投入准业务试验。

GRAPES-RUC系统预报模式水平分辨率为 $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$,预报范围覆盖了整个中国区域,每天00和12时两次冷启动,可以实现逐时或每3h一次同化分析,每3h做一次24h预报。通过对2009年汛期连续3个月的不同循环更新频次RUC对比试验的检验,从TS评分和预报偏差B值看,无论逐时或3h周期同化,GRAPES-RUC同化预报系统比业务预报效果有明显的改进^[34]。

3.3 主要技术方法的研发

专业化业务的发展离不开专业化技术方法的有力支撑。近年来,逐步建立了强对流天气监测和短临预报、中尺度分析、短期预报等一系列的技术方法,并不断进行改进完善,为业务发展提供了技术支持。

3.3.1 基于多源资料的强对流天气监测和临近预报技术

在SWAN监测技术的基础上,综合利用卫星、雷达、地闪和稠密区域自动站资料,建立了较为完善地基于多源观测资料、多类型、多时段的实时强对流天气监测技术。图3为2012年4月一次强对流天气过程的强对流天气分布图。在对自动站大风和降水资料、地闪资料进行质量控制的基础上,发展了包括雷暴、冰雹、大风以及短时强降水的强对流信息提取和统计技

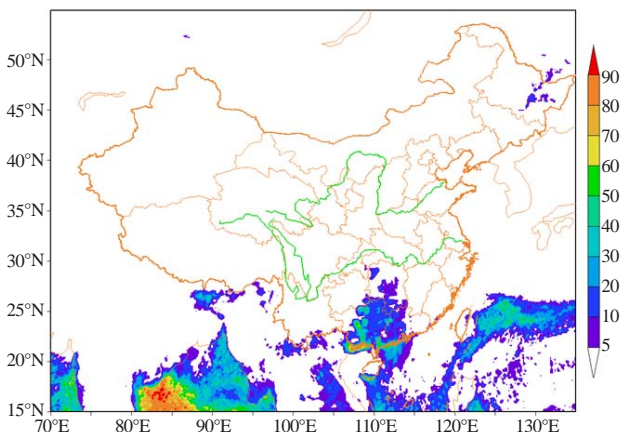


图2 2011年6月2日20时起报,未来36~39h强天气威胁指数概率预报

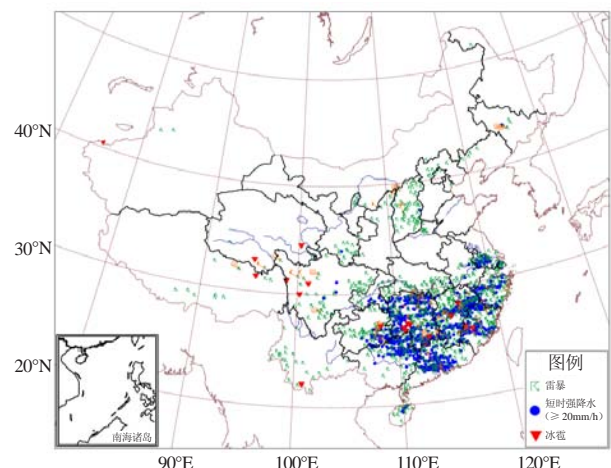


图3 2012年4月10日08时—13日20时全国强对流天气监测图

术^[15]；开发了地闪监测技术，通过地闪密度反映雷暴系统的强弱；改进了基于雷达资料的CTREC和TITAN算法，降低了对雷暴单体识别的错误率；研发了基于风云卫星的深对流云提取技术和MCS的识别追踪和外推预报技术。

3.3.2 中尺度天气诊断分析技术

中尺度天气的天气图分析已经成为强对流天气潜势预报的重要依据^[35]，而中尺度客观分析技术为中尺度天气分析业务的开展提供了重要的技术支持。利用Cressman逐步订正法实现了对探空资料、常规地面观测和加密自动站资料的快速客观分析和诊断，其中，探空资料分析2次/d，常规地面观测分析8次/d，加密自动站资料分析1次/h，一定区域（如京津冀地区）的加密自动站资料1次/10min，分析内容除了常规要素以外，主要包括与水汽、抬升和稳定度条件相关的物理量参数。开展了基于数值预报模式（如T639，EC，NCEP等）的强对流天气物理量参数的诊断，并在全面调研美国风暴预报中心（SPC）构建的强对流参数的基础上，结合我国强对流天气特点，对冰雹指数等综合参数进行引进与试用。

3.3.3 分类强对流客观预报技术

决定对流产生和组织结构的环境因素包括大气层结的稳定性、风的垂直切变、水汽条件和抬升（触发）机制。结合我国强对流天气特点，加强了对于雷暴生成、加强和消散的概念模型的认识与理解，总结了有利于强冰雹、雷暴大风、龙卷以及对流性暴雨等不同类别的强对流天气发生发展的环境条件^[8]。分类强对流客观预报技术就是在充分考虑各类对流天气产生的环境条件的基础上，综合利用物理量的统计特征和预报员的实践经验，选取对某一类强对流天气预报具有指示意义的物理参数作为预报因子进行预报，即“配料法”^[36]的技术思路。分类强对流客观预报技术自2011年汛期在国家气象中心投入业务试验，为预报员提供了直接的强对流预报产品，在强对流的预报中发挥了一定的作用。但对于不同地区、不同季节，该方法的预报能力还存在较大的差异，仍需在检验的基础上做进一步的改进与完善。

3.4 专业化业务系统的建设

在强对流天气业务向专业化方向发展的同时，业务系统的研发也由原来的综合性逐渐向专业化方向转变。近年来，在气象信息综合分析处理系统3.0（MICAPS 3.0）的基础上开发了结合强对流天气业务特点的专业化版本，开发了灾害性天气短时临近预报系统（SWAN），这些系统的研发推广对全国强对流天气业务的开展起到了很好的推动作用。

3.4.1 MICAPS 强天气专业化版本

1996年，开发了MICAPS 1.0；2007年，完成MICAPS 3.0的系统升级；2008年，MICAPS 3.0系统在中央气象台和省级气象台推广应用^[3]。结合强对流天气业务的特点，在MICAPS 3.0的基础上，增加了非常规观测资料的显示分析，包括雷达主要PUP产品、雷达基数据、卫星GPF数据、卫星AWX格式数据、GPS水汽、闪电定位、AMDAR资料、风廓线资料等的显示分析；增加了中尺度天气分析功能，不仅定义了每一类中尺度天气符号，同时也提供了便捷的基于高空、地面观测的多种要素的客观分析和变化场计算；改进了T-logP图制作，增加了大量基于探空资料的物理参数计算，目前可计算的参数有50多种，并增加了风矢端图、高空风分析和多种物理量的垂直分析，提供了在探空图上的交互订正功能^[37]。

3.4.2 SWAN 系统

2008年，中国气象局启动灾害性天气短时临近预报系统开发。SWAN系统在MICAPS系统的基础上，融合了数值模式产品和雷达、卫星、自动站等探测资料，提供了丰富的产品和功能，主要包括六大类，分别为基于实况资料的探测和分析产品、外推预报产品、数值模式与雷达资料的融合预报产品、实时客观检验产品、灾害性天气综合自动报警，以及预报预警制作和发布功能^[38]。在系统的开发过程中，研发了多项监测预报技术方法，包括三维雷达拼图技术^[39]、COTREC（改进的交叉相关法）^[40]、风暴识别技术^[41]、TITAN（风暴识别、追踪、分析和临近预报系统）^[42]等。目前，SWAN系统已经在全国气象台投入了业务应用，并在强对流天气的短临预报中发挥了越来越重要的作用。图4给出了SWAN部分功能的界面。

4 问题与挑战

近年来，虽然全国强对流天气监测和预报业务取得了一定的进展，但由于我国强对流天气业务的专业

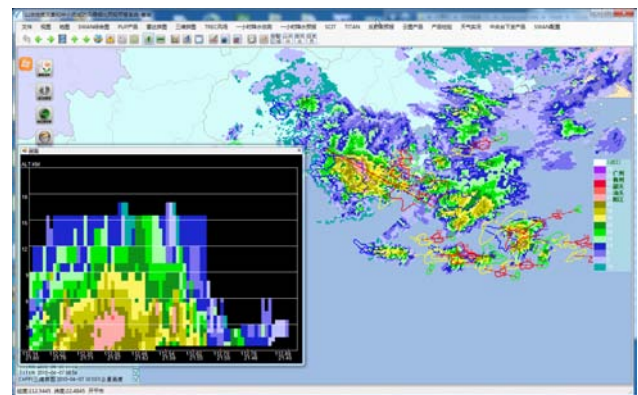


图4 SWAN系统区域雷达拼图、雷达回波剖面 and TITAN 算法产品界面

化发展还处于起步阶段，与美国等强对流预报技术发达的国家相比，在很多方面还存在一定的差距，面临着严峻的挑战。因此，从整体上提高我国强对流天气业务的监测预报水平，仍是一项长远的任务。目前存在的主要问题包括以下几个方面。

4.1 分类的强对流天气精细化预报基础还比较薄弱

分类的强对流天气预报是强对流预报精细化所必须面临和解决的问题。美国SPC基于多年的强对流天气实况和高分辨率的再分析资料，对不同类别的强对流天气、特别是龙卷天气的物理量阈值进行了详细的统计分析，这些结果对实际业务具有很好的参考价值。同时，基于强对流天气发生发展的物理机制，构建了适用于不同类别强对流天气预报的综合参数，并在集合预报的基础上研发了强对流天气的概率预报技术。相对而言，目前我国对不同类别的强对流天气演变特征及形成机理还缺乏深入系统的认识，分类的强对流天气的客观预报方法的研发刚刚起步，业务试用的基于“配料法”的客观预报产品仍需不断进行检验评估与改进。同时，针对强对流天气的短时预报方法尚在研发中，目前还没有比较有效的技术方法解决未来2~12h短时预报时效内的预报问题。

4.2 以中尺度数值模式为基础的业务技术支撑不足

数值预报是天气预报的基础，中尺度数值预报则对强对流天气预报非常重要。SPC于2001年5月开始在业务中使用短期集合预报（SREF），经过十余年的业务应用，SREF已经成为SPC业务的重要参考。同时，RUC系统也不断改进，2012年5月，RAP取代了1994年开始在业务中使用的RUC，成为NOAA下一代逐小时更新的同化/模式系统。相比较而言，我国现有的中尺度数值预报模式在预报性能、产品时效等方面还有很多有待改进之处，同时基于GRAPES的区域集合预报系统尚未业务化，相应地以中尺度数值模式为基础的强对流业务产品研发受到一定限制，适合强对流天气预报的客观产品不多。

4.3 科学规范的强对流预报检验业务尚未开展

检验是天气预报业务的重要环节之一，既可以对照进行实时的评定评估，同时也能及时发现预报中的问题，促进预报能力的不断提高。SPC对各类预报的检验业务非常完善，对于分类概率预报，主要采用以Brier评分和可靠性曲线为主的概率预报检验；对于警戒状态信息（即Watch），分析百分之几的警戒包含有强天气的发生，百分之几的强天气发生在警戒区中。对于地方台站发布的预警信息，一般用预警准确率、虚警率和提前时间来表示，如对于龙卷，2010年，龙卷的预警准确率为72%、虚警率为74%，提前

发布时间为14min。我国由于强对流天气业务起步比较晚，且其检验与一般的降水预报检验在技术方法等方面存在很大的不同之处，因此，到目前为止，无论是强对流天气的落区预报，还是预警信号的发布，都还没有建立全国统一规范的检验标准，检验业务尚未开展。这也是强对流天气业务发展亟待解决的主要问题之一。

4.4 强对流天气业务系统还不健全

专业化的业务系统是现代天气业务专业化发展的重要支撑。SPC根据强对流天气特点和业务需要，开发了专门针对强对流天气分析预报的业务系统。人机交互的探空分析诊断系统（NSHARP）能够提供实况高空观测、数值预报资料、点预报和飞机探空报文资料的分析诊断，具有丰富的显示功能和人机交互功能，是强对流天气预报不可或缺的有力工具。综合地面观测和RAP的客观分析系统（SFCOA）能够提供逐小时、40km分辨率的三维要素场，为强对流天气诊断分析提供支持。目前，我国强对流天气主要业务系统的专业化程度相对还比较低，与实际业务需求还有一定的差距，MICAPS强对流专业版本在探空资料分析、集合预报产品的显示分析、基于常规和非常规观测资料、灾情资料和预警信号等信息的综合监测等方面仍有很大的提升空间，SWAN等短时临近预报业务系统仍需结合不同地区的特点进行本地化的改进与完善。

5 未来发展

结合我国实际，未来全国强对流天气业务发展的思路为围绕提高预报准确率的核心要求，以多源资料融合技术、高分辨率数值预报产品和强天气快速诊断分析为基础，以动力和统计相结合的数值预报产品释用技术、集合数值预报技术和强对流天气概念模型为技术支撑，国家级重点发展分类强对流概率预报指导产品，省级重点发展短时临近预报指导产品，省级以下业务部门重点为强对流天气实时监测和临近预报预警，扎实地推进全国强对流天气业务的发展。未来几年的重点任务如下。

5.1 加强强对流天气监测和短临预报技术研发

完善基于SWAN系统和多源观测资料融合的强对流天气监测技术；研发基于自动站雨量与瞬时风速、闪电和雷达拼图等资料的5~10min时间间隔的全国强对流天气监测产品；改进基于雷达的TITAN算法和基于卫星资料的MCS临近预报算法；发展基于强对流天气监测、临近预报算法、中尺度数值模式以及“配料法”的强对流天气短时预报技术。

5.2 改进中尺度天气分析

加强对中尺度系统的空间结构、要素配置和物理过程演变的认识和理解；进一步完善基于高空、地面和数值模式产品的中尺度天气高空地面综合图分析；发展针对重点区域、重点时段的基于快速分析预报资料和多源观测资料的中尺度滚动分析技术和业务产品；开发基于GRAPES-RUC的高时空分辨率的客观综合分析产品；修订《中尺度天气分析技术规范》。

5.3 提高强对流天气预报的精细化水平

利用SWAN系统技术，加强预报员对高分辨率快速分析预报产品的分析和应用；完善和发展基于多种资料的灾害性天气发生、发展的动力、热力特征物理参数客观诊断分析技术；增强对中尺度天气系统及其特征物理量的综合分析能力，总结提炼不同区域、不同季节、不同类别强对流天气的概念模型、特征物理量及其阈值；逐步发展基于集合预报的强对流天气概率预报技术，正式开展基于集合预报的分类强对流天气概率预报业务。

5.4 稳步推进强对流预报的检验业务

制定针对强对流预警信号的检验规范，开展强对流预警信号检验业务；制定针对强对流天气短时和短期潜势落区预报的评分技术，开展强对流落区预报的检验业务；试验开展强对流天气过程检验，提高对重大强对流天气过程预报能力的定量化评估；尝试使用网格化的多源资料进行对流和强对流预报评分；针对强对流概率预报业务试验，发展概率预报评分技术。

致谢：本文得到国家气象中心端义宏主任的悉心指导，国家气象中心郑永光、金荣花、谌芸、张涛、盛杰、曹莉和中国气象局数值预报中心邓国、郝民等给予了热情帮助，广东省气象局伍志芳提供了相关素材，在此一并深表感谢！

参考文献

- [1] 章国材. 强对流天气分析与预报. 北京: 气象出版社, 2011.
- [2] 周庆亮. 美国强对流预报主观产品现状分析. 气象, 2010, 36(11): 95-99.
- [3] 端义宏. 中央气象台天气预报服务业务的过去、现在和将来. 气象, 2010, 36(7): 5-11.
- [4] 矫梅燕. 天气业务的现代化发展. 气象, 2010, 36(7): 1-4.
- [5] 何立富, 周庆亮, 谌芸, 等. 国家级强对流潜势预报业务进展与检验评估. 气象, 2011, 37(7): 777-784.
- [6] 俞小鼎. 新一代天气雷达与强对流天气预警. 高原气象, 2005, 24(3): 456-464.
- [7] 许小峰. 中国新一代多普勒天气雷达网的建设与技术应用. 中国工程科学, 2003, 5(6): 7-14.
- [8] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展. 气象学报, 2012, 70(3): 311-337.
- [9] 杨军, 许健民, 董超华. 风云气象卫星40年: 国际背景下的发展足迹. 气象科技进展, 2011, 1(1): 6-13.
- [10] 古红萍, 马舒庆, 王迎春. 边界层风廓线雷达资料在北京夏季强降水天气分析中的应用. 气象科技, 2008, 36(3): 300-303.
- [11] 杨引明, 陶祖钰. 上海LAP-3000边界层风廓线雷达在强对流天气预报中的应用初探. 成都信息工程学院学报, 2003, 18(2): 155-160.
- [12] 林中庆, 曹亚平, 赵小伟. 风廓线雷达资料在一次强对流天气过程中的应用. 气象研究与应用, 2011, 32(3): 19-22.
- [13] 盛杰, 张小雯, 孙军, 等. 三种不同天气系统强降水过程中分钟雨量的对比分析. 气象, 2012, 38(10): 1161-1169.
- [14] 叶其欣, 杨露华, 丁金才, 等. GPS/PWV资料在强对流天气系统中的特征分析. 暴雨灾害, 2008, 27(2): 141-148.
- [15] 郑永光, 张小玲, 周庆亮, 等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战. 气象, 2010, 36(7): 33-42.
- [16] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用. 北京: 气象出版社, 2006.
- [17] 郑媛媛, 俞小鼎, 方翀, 等. 一次超级单体风暴的多普勒天气雷达观测分析. 气象学报, 2004, 62(3): 317-328.
- [18] 毛冬艳, 乔林, 陈涛, 等. 2004年7月10日北京暴雨的中尺度分析. 气象, 2005, 31(5): 42-46.
- [19] 孙继松, 王华, 王令, 等. 城市边界层过程在北京2004年7月10日局地暴雨过程中的作用. 大气科学, 2006, 30(2): 221-234.
- [20] 张芳华, 陈涛, 周庆亮, 等. 2004年7月12日上海飊线天气过程分析. 气象, 2005, 31(5): 47-51.
- [21] 刘淑媛, 孙健, 杨引明. 上海2004年7月12日飊线系统中尺度分析研究. 气象学报, 2007, 65(1): 84-93.
- [22] 谢健标, 林良勋, 颜文胜, 等. 广东2005年“3·22”强飊线天气过程分析. 应用气象学报, 2007, 18(3): 321-329.
- [23] 曲晓波, 王建捷, 杨晓霞, 等. 2009年6月淮河中下游三次飊线过程的对比分析. 气象, 2010, 36(7): 151-159.
- [24] 俞小鼎. 强对流天气的多普勒天气雷达探测和预警. 气象科技进展, 2011, 1(3): 31-41.
- [25] 马禹, 王旭, 陶祖钰. 中国及其邻近地区中尺度对流系统的普查和时空分布特征. 自然科学进展, 1997, 7(6): 701-706.
- [26] 江吉喜, 叶慧明, 陈美珍. 华南地区中尺度对流性云团. 应用气象学报, 1990, 1(3): 232-240.
- [27] 郑新江, 赵亚民. 华北强对流云团的活动及其天气特征. 应用气象学报, 1992, 3(增刊): 88-92.
- [28] 江吉喜, 范梅珠. 夏季青藏高原上的对流云和中尺度对流系统. 大气科学, 2002, 26(2): 263-270.
- [29] 项续康, 江吉喜. 中国南方地区的中尺度对流复合体. 应用气象学报, 1995, 6(1): 9-17.
- [30] 费增塆, 王洪庆, 张焱, 等. 基于静止卫星红外云图的MCS自动识别与追踪. 应用气象学报, 2011, 22(1): 115-122.
- [31] 章国材. 中短期天气集合预报问题. 气象, 2004, 30(4): 3-5.
- [32] 邓国, 龚建东, 邓莲堂, 等. 国家级区域集合预报系统研发和性能检验. 应用气象学报, 2010, 21(5): 513-523.
- [33] 陈敏, 范水勇, 郑祚芳, 等. 基于BJ-RUC系统的临近探空及其对强对流发生潜势预报的指示性能初探. 气象学报, 2011, 69(1): 181-194.
- [34] 郝民, 徐枝芳, 陶士伟, 等. GRAPES RUC系统模拟研究及应用试验. 高原气象, 2001, 30(6): 1573-1583.
- [35] 张小玲, 张涛, 刘鑫华, 等. 中尺度天气的高空地面综合图分析. 气象, 2010, 36(7): 143-150.
- [36] Doswell III C A, Brooks H E, Maddox R A. Flash flood forecasting: An ingredients based methodology. Wea Forecasting, 1996, 11(4): 560-581.
- [37] 李月安, 曹莉, 高嵩, 等. MICAPS预报业务平台现状与发展. 气象, 2010, 36(7): 50-55.
- [38] 胡胜, 孙广凤, 郑永光, 等. 临近预报系统(SWAN)产品特征及在2010年5月7日广州强对流过程中的应用. 广东气象, 2011, 33(3): 11-16.
- [39] 肖艳皎, 刘黎平. 新一代天气雷达网资料的三维格点化及拼图方法研究. 气象学报, 2006, 64(5): 647-657.
- [40] 陈雷, 戴建华, 陶岚. 一种改进后的交叉相关法(COTREC)在降水临近预报中的应用. 热带气象学报, 2009, 25(1): 118-122.
- [41] 胡胜, 顾松山, 庄旭东, 等. 风暴的多普勒雷达自动识别. 气象学报, 2006, 64(6): 796-808.
- [42] 韩雷, 王洪庆, 谭晓光, 等. 基于雷达数据的风暴体识别、追踪及预警的研究进展. 气象, 2007, 33(1): 3-10.

定量降水预报技术研究进展

宗志平 代刊 蒋星

(国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081)

摘要: 定量降水预报(QPF)是天气预报最重要的业务之一。对21世纪以来QPF的国内外业务现状、集合概率预报技术、短时临近预报技术、检验技术以及订正技术等做了简要综述,初步总结了各类研究所取得的主要进展,包括:QPF准确率的稳步提高得益于数值模式的持续发展,以及预报员对于模式产品的应用订正能力的不断提高;以数值集合预报为基础的集合概率QPF(PQPF)为用户提供预报不确定性信息,是一种更为科学的天气预报形式;另外,数值模式的实时天气学检验及订正技术的发展为“增加预报员的附加价值”提供有力支撑。最后,提出了目前QPF研究存在的主要问题和需要加强的几个研究方向,分别是:(1)进一步加强数值模式对于大气水汽场的同化和模拟,采用新的模型来描述下垫面与边界层之间的水汽交换,以及大气中真实云和降水物理过程;(2)降水观测和预报的随机特点还没有被充分考虑,需要进一步研究不同时空尺度上的模式预报能力,发展有效的QPF订正技术方法;(3)对于PQPF还存在着理解上的困难和误区,如何将预报不确定性信息传递给用户需要进一步研究;(4)短时临近QPF应由雷达回波外推方法向结合数值模式预报的混合外推技术转变,提高对对流降水系统的预报能力;(5)针对传统的统计评分检验方法的不足,应引入新的QPF检验技术方法,但新方法的解释应用还需不断地积累经验。

关键词: 定量降水预报, 集合预报, 检验, 预报业务

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.004

The Research Progress of Quantitative Precipitation Forecast

Zong Zhiping, Dai Kan, Jiang Xing

(National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: Quantitative precipitation forecast (QPF) is one of the most important operations in weather forecast. A brief overview is made for current domestic and foreign operational situation and techniques of ensemble probability forecast, short-term forecasting and nowcasting, verification methods and error corrections. Preliminary conclusions have been made for some research progress, the improvement of QPF accuracy comes from the development of numerical models and the improvement of correction capability for the application of numerical model productions. Based on the numerical ensemble forecast, the probability QPF (PQPF), as a more scientific weather forecast method, can provide us with uncertainty forecasting information. Moreover, the improvement of real-time synoptic verification and error correction method of numerical model products provide strong support for 'adding forecasters additional value'. Finally, based on this summary of progress, main problems and research fields of QPF research have been introduced. (1) Further strengthening the capability of moisture data assimilation and simulation, using a new model to describe the moisture exchange between land surface and boundary layer and cloud and precipitation physical Processes. (2) Precipitation observation and forecast's random characteristics have not been considered sufficiently yet, the numerical forecast capability of different spatial and temporal scales and QPF correction methods should be made a close study of. (3) It should be considered how to deliver forecast uncertain information to users due to misunderstanding the meaning of PQPF. (4) The techniques of short-term and nowcasting QPF should be exchanged from radar extrapolation to mixed extrapolation combined with numerical model forecast for improving convective precipitation forecast capability. (5) Based on the shortcoming of traditional statistical methods, new verification methods for QPF should be introduced, but objective explanation and application of the new method takes time to gather experiences.

Keywords: quantitative precipitation forecast (QPF), ensemble forecast, verification, operational forecast

1 引言

强降水引发的洪涝灾害是我国最严重的气象灾害之一。据统计,1990年以来因暴雨洪涝造成的年均

直接经济损失达1200多亿元;1998年长江流域大洪水造成受灾人口超过1亿人,死亡1800多人,经济损失1500多亿元。因此,做好定量降水预报(QPF)是天气预报的最重要业务之一。

近些年来,随着观测系统和预报技术的发展,定量降水业务预报取得长足的进展,主要表现在:随着数值模式时空分辨率的不断提高,以及模式物理过程

收稿日期:2012年5月31日;修回日期:2012年7月6日
 第一作者:宗志平(1974—),E-mail:zongzp@cma.gov.cn
 资助信息:公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906001、GYHY201006010-2)

的不断改进, QPF业务在向更高时空分辨率、更长预报时效、更高预报准确度迈进; 以集合预报为基础的概率QPF (PQPF) 的出现, 提供了一种更为科学的天气预报形式, 也得到了越来越广泛的应用; 短时临近QPF预报技术的发展, 支撑着极端强降水灾害预警的及时发布; 另外, 数值模式的实时天气学检验及订正技术的发展, 以及预报员对于模式过程的深入理解和产品的应用经验累积, 为“增加预报员的附加价值”提供了有力支撑。尽管如此, QPF预报精细化及准确率离用户的需求还有较大的差距。如在水文预报中, 要求QPF的空间和时间分辨率分别达到10km和1h, QPF准确度也要达到10%以上^[1, 2]。而目前的QPF还没有达到这些要求。

本文对21世纪以来QPF的国内外业务现状、集合概率预报技术、短时临近预报技术、检验技术以及订正技术等方面的工作进展作了简要综述, 并在此基础上提出了目前QPF研究存在的主要问题和需要加强的几个研究方向, 以及中央气象台QPF业务的发展思考。

2 定量降水预报的业务进展

2.1 国外定量降水预报业务进展

从1960年开始, 美国国家环境预报中心(NCEP) 下属的水文气象预报中心(HPC) 率先实施QPF以及深入的QPF检验方案。经过多年的努力, 制作QPF产品过程已经从一个依靠广泛预报经验的人工方法演变到更多依靠对数值模式的解释和订正, 以及对集合预报产品应用的过程。

目前, HPC每天定时发布未来72h时效内逐6h累积QPF、未来72h时效内逐24h累积QPF、未来第4~5d的48h累积QPF、未来5d累积QPF、未来3~7d的日降水概率等产品。2011年1月开始试验第4~5d逐6h QPF, 2011年4月开始业务化运行PQPF业务。为了制作这些产品, 预报员首先在N-AWIPS (NCEP Advanced Weather Interactive Processing System) 平台上按照制作规范绘制降水量等值线(1.5in^①以上间隔等雨量线都为1in间隔), 然后通过数学插值方法形成空间分辨率为32km的格点QPF。预报员绘制等值线时, 综合参照了定量降水估测产品(QPE)、卫星云图及其他观测资料, 在数值模式产品检验订正的基础上, 结合自己的预报经验和专业知识。在制作PQPF时, 主要参考依据是确定性预报(包括GFS, NAM, ECMWF等) 以及NCEP短期集合预报系统(SREF) 构成的多模式集成预报产品, 从中提取降水的概率预报, 用于获取QPF预报的不确定性信息。

HPC对其QPF产品进行检验评估表明, 预报准确率

稳定提高(图1), 尤其是较长时效的24~60h的预报提高得更明显^[3, 4]。至2012年, HPC通过集合预报产品的应用、格点化技术的发展以及订正预报平台的改进, 提高了7d内强降水预报准确率, 并使格点预报产品空间分辨率降低到32km。在未来的计划中, HPC希望通过进一步提高数值模式性能和分辨率, 改进快速更新同化分析与预报以及各专业客观预报方法, 不断升级业务系统平台, 使预报准确率不断提高、预报产品更加精细、预报时效不断延长。QPF预报准确率将比模式产品技巧提高10%, 水平分辨率从32km提高到2.5km。

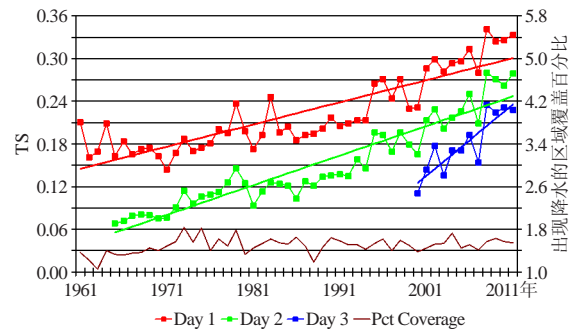


图1 1960—2011年美国水文气象预报中心(HPC) 1in以上降水TS评分

2.2 国内定量降水预报业务

国内的QPF业务主要由中央气象台负责, 其QPF业务产品包括未来24h时效内逐6h累积QPF、未来168h时效内逐24h累积QPF, 以及旬降水量预报、过程降水量预报等特色QPF产品。从2011年开始, 24h时效内6h累计的QPF格点化产品业务也在预报业务中正式开展。为了制作上述QPF产品, 中央气象台已经建立了以多种观测资料和数值天气预报为基础, 综合应用多模式集成预报、集合概率预报、配料法强降水等级预报等多种方法, 充分利用天气系统和物理量检验订正、降水预报格点化等多种技术手段的精细化QPF业务技术框架。

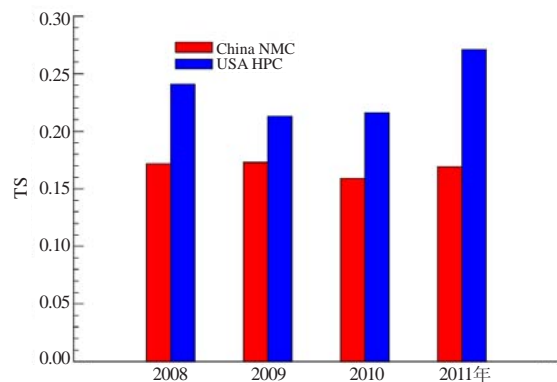


图2 2008—2011年中央气象台与美国水文气象中心的24h暴雨的年平均TS对比

① 1in=25.4mm, 下同

中央气象台的QPF预报准确率逐年稳步提高,如1999年的暴雨年平均预报评分约为0.050,至2011年达到0.169,预报准确率提高了约70.4%。但与发达国家相比还存在一定的差距。对比中央气象台与美国水文气象中心2008—2011年的24h暴雨的年平均TS评分(图2),表明平均差距在0.067左右。由于检验区域和检验方法的不同,该比较还存在不确定性,但从科学研究、支撑技术和业务运行的整体来看,我国的QPF业务水平还落后于发达国家,问题主要表现在:

(1) 降水预报没有实现真正定量化,精细化水平有待提高。目前,中央气象台的QPF产品仍以等值线落区预报为主,精细化程度仍不高。同时预报系统平台建设跟不上预报业务快速发展的需求,自动化程度不高,格点化等关键技术尚未取得实质性突破。

(2) 预报员对数值模式的特征(包括优点和缺点来源)了解不足,缺少对数值预报深入、长时序的检验和分析,且尚无客观定量化的订正方法和指标,相比美国HPC,对数值模式订正能力不足。同时,从事QPF业务的预报员越加年轻化,预报经验处在积累、提高之中。

(3) QPF预报仍以全球确定性数值模式为主要参考依据,缺少中尺度模式和集合预报模式的支持。虽已在业务中逐步开始应用集合预报,但其统计后处理技术、业务平台建设都处于起步中。多模式动态权重集成、“配料法”等客观技术已取得一定的成果,但仍需要不断完善。

(4) 数值模式低层水汽场的预报、地形或城市化对降水的影响、暖区降水的定量预报等关键技术难题仍没有解决,也是制约降水预报尤其是极端降水预报准确率提升的关键因素。

(5) 很多省级台站没有设置QPF业务,暂时还无法形成中央台指导—地方台订正反馈的全国统一QPF的业务体系。

针对上述问题,结合发达国家QPF业务发展经验,中央气象台制定了如下QPF业务的发展思路:以《现代天气业务发展指导意见》为指导,围绕提高预报准确率和精细化,以在数值模式基础上增加附加值为核心,以较为完善的多源资料显示、分析、加工,格点化制作的专业化业务平台为基础,以数值模式检验订正技术、集合预报产品统计后处理技术、动力和统计相结合的数值预报产品释用技术为支撑,通过对预报员专业化能力的培养,提高QPF的精细化和准确率。

中央气象台未来三年QPF业务的具体发展目标为:发布1~5d 24h间隔格点化QPF,0~24h时效的6h间隔格点化QPF;客观制作并发布6~7d逐日QPF;

1~5d 24h间隔格点化QPF,相比数值模式预报有正技巧,大雨、暴雨技巧稳步提高;至2015年暴雨1和2d的预报准确率分别要达到18%和15%,比目前提高近5%。

3 定量降水预报的数值预报技术进展

3.1 数值预报系统对 QPF 业务支撑

Olson等^[5]指出QPF业务准确率的稳步提高主要得益于数值模式预报能力的提高。至2012年,HPC预报员能够参考到包括美国全球确定性(GFS)和集合(GEFS)数值预报产品、北美区域确定性(NAM)和集合(NAEFS)数值预报产品、短期集合数值预报产品(SREF)RUC产品(2012年5月开始被RAP替代)等,其余全球数值预报产品包括UKMET(英国气象局提供)、ECMWF(欧洲中期天气预报中心提供)、CMC(加拿大气象局提供)等。HPC预报员对于12h时效内的QPF,主要预报依据是实况资料,数值预报为辅;对于大于12h时效的,则以数值模式预报为主。

在我国,从2007年底开始业务运行的T639模式在空间分辨率、初始场同化技术、空间分辨率、台风Bogus技术、产品丰富性等方面都较T213有长足的进步,有力地保障了QPF业务的发展。此外,ECMWF、NCEP、日本、德国等国家或机构的模式产品在中央气象台QPF业务中也得到充分应用;T213集合模式、ECMWF集合模式预报产品也在发挥越来越重要的作用。

3.2 数值模式 QPF 产品的释用技术

目前世界上几大业务中心都开展了降水产品的客观统计系统误差订正业务,如NCEP利用模式输出统计方法(MOS)方法^[6]对站点的降水订正,以及采取简单的Kalman滤波对格点产品订正。目前NCEP的MOS客观预报,从过去站点预报已发展到格点预报,提供美国及周边地区的2.5km分辨率和阿拉斯加地区3km分辨率产品;格点MOS预报从7d提高到14d,预报准确率比模式提高10%,发布频率从1次/d提高到4次/d,水平分辨率从5km提高到2.5km。

基于“配料法”的强降水等级预报近年来在国外发展较快,已经处于业务应用阶段。配料法的核心思想是依据预报量和指示量之间的物理联系来建立相应的预报方程,而不是简单地依赖于回归分析。按照配料法原理而建立的预报方程具有清晰的物理意义,有利于将新的研究成果引入预报模型。该方法最早由Doswell^[7]引入气象研究,并成功地运用于暴洪(Flash flood)预报。我国对“配料法”的研究和应用起步较晚^[8,9]。近2年,湖北省气象局在大量暴雨个例物理

量统计基础上建立的强降水“配料法”也取得较大进展，在数值模式基础上有效提高了暴雨预报准确率。

中央气象台开展了多模式动态权重集成定量降水预报业务，该方法依据预报员的预报思路，考虑不同模式预报之间雨带形状和降水强度的相似，采用动态权重集成。既考虑了各模式成员总体的差异性又考虑了降水的概率分布，对提高极端天气事件的预报准确率有一定效果。该方法与MOS统计方法相比，不依赖于历史资料，实现方便快捷；与集成平均方法相比提高了对极端降水的预报能力。从TS评分和实况对比检验来看，该方法总体上好于单个模式（图3）。

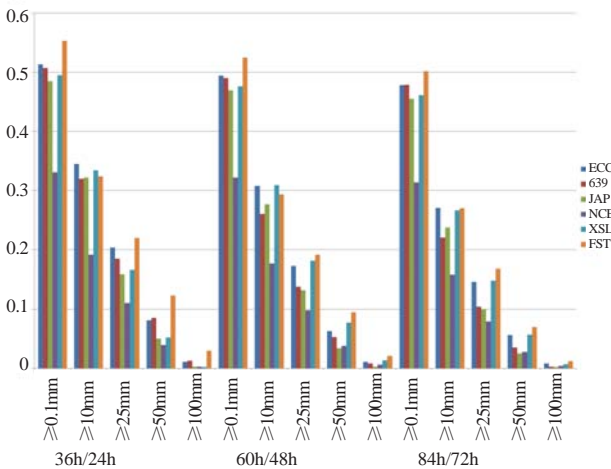


图3 2010—2011年6—8月24~72h时效24h多模式集成降水预报与各模式及预报员评分对比

4 定量降水的集合预报技术进展

概率预报可以描述天气预报的不确定性，符合大气运行规律，是更科学的一种天气预报形式。集合预报的出现，极大地推动了概率预报的发展。集合预报系统能够提供比单一控制或确定性模式更高的预报技巧，而集合能够增加长预报时效的预报精度^[10, 11]。同时，基于集合模式的概率预报比单值预报更具有一致性^[12]。

目前，许多国家的预报中心都发展了全球或区域的集合预报系统。如美国NCEP/EMC已经建立了包括超短期集合预报系统（NCEP Very Short Range Ensemble Forecast System, VSREF）、短期集合预报系统（Short-range ensemble forecast, SREF）、全球集合预报系统（Global ensemble forecast system, GEFS）和北美集合预报系统（North American ensemble system, NAEFS）等无缝隙的集合预报体系。欧洲中期天气预报中心（ECMWF）从1992年开始建立的中期集合预报系统^[13]，目前已经发展成为采用奇异向量初值扰动技术，有51个集合成员的全局集合预报系统；加拿大、英国、日本、澳大利亚等国也相继建立本国的业

务应用的集合预报系统。2005年底，国家气象中心建立在全球T213 L31模式基础上的全球集合预报系统开始投入实时运行。

面对海量的集合预报数据，方便、高效、功能齐全的集合预报业务平台是必不可少的。英国气象局发展了PREVIN（Predictability Visualization）系统^[14]，该系统能够进行“面条图”、“邮票图”、预报场聚类、气旋路径、概率密度函数、概率预报时序图以及概率检验等产品的显示与操作。Kristin等^[15]发展了一个集合预报数据统计可视化框架Ensemble-Vis，该框架能够帮助预报员从集合预报的概率分布当中获得关键的因子。中央气象台也开发了“集合预报工具箱”，涵盖了“邮票图”、“面条图”、“胡须图”、集合平均及离散度、集合概率预报、集合概率匹配平均、集合概率百分比预报、集合中位值/最大值/最小值等多种集合产品的显示及操作，概率匹配集合平均产品对集合预报平均也有较好的改进效果。

由于集合预报不正确的“集合离散度—可预报性”关系^[16]，以及集合成员个数的不足^[17]，还有集合成员之间的非独立性^[18]，都会给集合预报带来偏差。因此，针对QPF集合预报的统计后处理技术近年来发展很快，如Sloughter等^[19]基于贝叶斯集合平均技术制作PQPF产品；Yuan等^[20]利用人工神经网络的方法订正PQPF；Glahn等^[21]发展的集合核密度模式输出统计EKDMOS方法，是对传统MOS方法的改进；Cui等^[22]发展了针对NAEFS的统计后处理技术，包括偏差订正和统计降尺度方法。

5 短时临近定量降水预报技术进展

对于短时强降水的有效预报主要依靠短时临近QPF业务技术的发展，这里短时临近预报主要是指0~6h时效的预报。1954年，Ligda^[23]首先提出外推雷达回波作为短时临近降水预报的基础，其后的二十多年中，随着计算性能的提升，各种各样的外推方法被发展出来，这在Wilson等^[24]的综述性文章中有较详细的讨论。在20世纪80年代，业务“临近预报”系统开始建立，较有名的如英国气象局的“Nimrod”系统^[25]，其主要的创新性在于将雷达回波外推技术和数值模式降水预报产品相结合，延长了预报时效，是目前短时临近QPF的主要发展方向。之后，2000年悉尼和2008年北京奥运会的短时临近预报示范项目有效促进了业务“临近预报系统”的发展。中国气象局2008年启动了业务建设项目“灾害天气短时临近预报预警业务系统建设与改进”，开发具有自主知识产权的灾害天气短时临近预报系统（Severe Weather Automatic Nowcast System, SWAN），为我国的短时临近QPF业

务提供了支撑。

外推技术的发展主要得益于计算技术方法的改进,然而该技术仍然是线性和确定性的,因此需要进一步研究如下问题:首先要认识到降水系统在所有时间尺度上的非线性特征,并要在预报中反映该特征;其次,预报员需要了解该技术的限制和不确定性;第三,由于对流系统的生命周期较短,为了增加预报时效,需要预报对流系统的初生及其发展和移动,这也是目前研究的活跃领域。

随着数值模式的时空分辨率不断提高,基于雷达观测的短临预报与传统的数值预报结合更加紧密,已经从同化雷达资料延伸到利用模式输出场来指示短临预报中对流系统的初生、发展和移动。比如Moszkowiz^[25]利用实时雷达观测来检验模式预报的准确性,如果模式表现一定的预报技巧,则可以假定模式预报能被用于短临预报。英国气象局利用Nimrod系统^[26]来融合雷达临近预报和数值模式预报产品,主要概念是利用模式风场来调整雨区的外推。Terada等^[27]将山区降水分解为地形降水和非地形降水两个分量,其中地形降水分量采用模式风场外推,而非地形降水分量采用雷达观测外推。

6 定量降水预报的检验订正技术进展

6.1 定量降水预报的检验技术

传统的点对点统计检验评分方法非常直观,易于理解,并得到长期的使用。然而,随着数值模式空间分辨率的不断提高,“双惩罚”现象突显出来^[28]。如一个数值模式预报雨带位置偏移了半个波长,而另一个模式没有报出雨带位置,则前一个模式在计算统计评分的时候会惩罚两次。

针对传统检验方法的缺陷,过去10年,基于空间分析的检验新方法得到快速发展。传统的点对点的检验方法已经发展到面对面、多尺度的对比检验。基于空间分析的检验方法大致可以划分为空间滤波对比和空间移动对比两类。空间滤波对比方法如:领域对比方法^[29]和尺度分离对比方法^[30]。空间移动对比方法如:基于“视觉流场”的形变对比检验方法^[31]和基于特征属性的对比方法^[32, 33]。

随着集合概率预报的出现和应用,对于集合概率预报产品的检验也变得更加重要。集合概率预报检验方法可以划分为三种类型:(1)用于检验集合分布是否属于某个概率分布函数的方法,包括排列直方图^[34, 35]、连续排列概率评分^[36]、相对技巧评分、最小生成树(MST)^[37-39]、边界框^[40];(2)用于评估概率预报的概率密度函数的方法,如无知评分^[41, 42]、Wilson概率评分^[43];(3)事件概率预报检验方法,如

Breier评分^[44]、Breier技巧评分^[45]、可靠性曲线^[46-48]、受试者工作特征曲线ROC^[49, 50]、排列概率评分^[51]和相对排列概率技巧评分。

此外,还有极端天气事件的检验技术也得到应用,如袭击率评分被广泛用于极端事件的检验^[52];Schaefer^[53]研究表明当事件变得稀少时相当袭击评分收敛于袭击率评分;Doswell等^[54]工作表明当正确的拒绝事件数量更大时,Peirce技巧评分收敛于袭击率评分;Stephenson等^[55]发展了一个简单的极端事件渐近模型。

考虑到检验的重要性,许多国家的气象部门和研究机构都在尝试建立起自己的数值模式检验业务系统和平台,如美国水文气象预报中心的数值模式诊断与检验系统,澳大利亚气象局的“RAINVAL”定量降水检验系统,NCAR研究应用实验室(RAL)开发的“Model Evaluation Tools”,以及NOAA地球系统研究实验室针对航空气象建立的“Real Time Verification System”。

6.2 定量降水预报的订正技术

Reynolds^[4]给出了1993—2001年间预报员较NCEP全球AVN模式和区域Eta模式的QPF预报TS评分提高百分比(图4),可以发现,20世纪90年代早期至中期,预报员提高率为30%,至中后期下降至20%左右;结合预报评分趋势分析,预报员将数值模式的预报水平提升了14a左右。统计2008—2011年中央气象台的预报员QPF预报的暴雨TS评分提高百分比,范围也在20%~30%之间。因此,预报员在数值模式基础上所体现的附加值是可观的。

在美国HPC,面对众多的模式产品,预报员已经形成了依靠多年数值预报经验,在仔细进行多模式对比分析检验的基础上评估、订正模式产品的习惯,预报员侧重于模式输出的天气概念模型识别、天气尺度和中尺度分析以及水汽、抬升、不稳定性等降水形成要素分析,而不是单纯依赖于模式降水预报场。中央

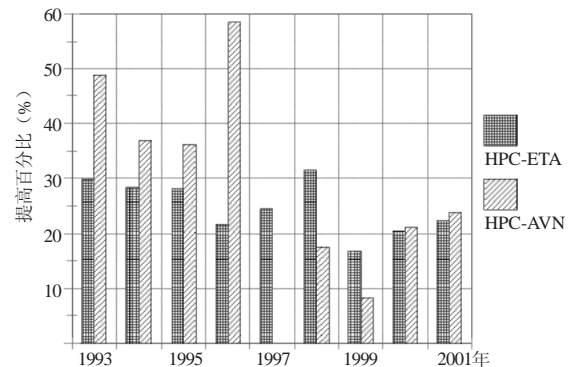


图4 HPC预报员较NCEP业务模式的QPF预报评分提高百分比^[4]

气象台的预报员也越来越认识到数值模式检验订正的重要性,通过业务流程调整来增加预报员检验订正的时间,从2008年开始设立“数值模式天气学检验”业务岗位,每日发布《数值模式天气学检验公报》以支撑预报员对于模式的应用和订正。

除了强调预报员对于模式订正的经验积累之外,近年一系列的主客观订正技术也发展起来。如英国用位涡守恒原理实现了对天气形势场的订正技术^[56],通过人机交互方式改变某高度层次的天气系统的位置或强度,其他各层相应的形势场、物理量也相应改变,并且投入了业务运行;邵爱梅等^[57]提出用变分方法修正数值天气预报高度场的非系统性误差,取得了一定进展;HPC的预报员在综合分析GFS, NAM, ECMWF, UKMET以及集合模式预报产品的性能后,赋予每个模式不同的权重,利用Master Blender系统自动生成等值线产品,并加以简单修改并确定天气系统、降水落区和性质。

Reynolds^[4]指出,随着模式更新频率的加快,预报员越加难以掌握模式预报的系统偏差,因此依靠预报员的模式使用经验来增加附加值变得越加困难。但是模式的初始条件误差、模式动力和计算误差、物理参数化误差等问题始终存在,因此只有依靠预报员的天气概念模型、对模式物理过程的深入理解、实时高效的模式检验评估系统、方便快捷的模式订正系统来获得预报员的附加值。

7 存在的问题及讨论

定量降水预报在气象科技工作者的努力下,在理论方法和实际应用方面都取得了进步与发展。但也应该看到,目前,定量降水预报的精细化和准确率程度离用户需求还有较大差距,以下几个方面研究还需进一步加强。

(1) 利用现代化观测手段和技术减小数值模式中大气水汽场和动力场的初始条件的误差。进一步加强数值模式对于大气水汽的同化和模拟,采用新的模型来描述下垫面与边界层之间的水汽交换,以及大气中真实云和降水物理过程。进一步提高数值模式的预报精度。

(2) 对降水观测和预报的随机特点还没有充分考虑,预报员需要进一步研究不同时空尺度上的模式预报能力,发展有效的QPF订正技术方法。

(3) 短时临近QPF应由雷达回波外推方法向结合数值模式预报的混合外推技术转变,并提供短临预报的不确定性信息,提高对对流降水系统的预报能力。加强预报员对各种非常规观测资料的实时综合分析能力,也是提高短时临近QPF的重要途径。

(4) 对于集合概率预报产品PQPF,用户还存在着理解上的困难和误区,如何将预报不确定性信息传递给用户需要进一步研究。

(5) 针对传统的统计评分检验方法的不足,应引入新的QPF检验技术方法,但新方法的解释应用还需不断地积累经验。

8 中央气象台QPF业务发展思考

首先需进一步提高QPF的精细化水平。未来3~5年,中央气象台将把目前仍以降水落区预报为主的QPF发展为格点化的QPF,并逐步延长到120h时效,实现120h时效内任意时效的累加;逐步实现24h间隔降水预报的格点化;同时大力发展PQPF。

其次,进一步提高QPF准确率。对于短期或更长时效的QPF准确率的提高在很大程度上依赖于数值模式的进步,从模式的资料同化、初始场、云物理过程、水循环模拟等方面改进模式预报,进而改善定量降水预报效果。同时需要加强QPF客观订正技术方法研究,主要包含:数值模式偏差检验技术,多模式集成预报技术改进,集合预报的不确定性信息在QPF中的应用,考虑地形高度、坡度和下垫面等地理信息因子影响的格点插值技术等。

总体而言,定量降水预报发展主要基于数值模式的进步,同时也基于预报员对于天气系统识别、概念模型建立和降水机制的理解,以及对于数值预报产品的解释应用能力的提高。

参考文献

- [1] Arnaud P, Bouvier C, Cisneros L, et al. Influence of rainfall spatial variability on flood prediction. *J Hydrol*, 2002, 260: 216-230.
- [2] Zehe E, Becker R, Bardossy A. The influence of spatial variability of soil moisture and precipitation on runoff production. Presentation at the International Workshop on Catchment scale Hydrologic Modeling and Data Assimilation, Wageningen, 2001.
- [3] David A O, Norman W J, Brian K. Evaluation of 33 Years of Quantitative Precipitation Forecasting at the NMC. *Wea Forecasting*, 1995, 10: 498-511.
- [4] Reynolds D. Value-added quantitative precipitation forecasts: How valuable is the forecaster? *Bull Amer Meteor Soc*, 2003, 84: 876-878.
- [5] Olson D A, Junker N W, Korty B. Evaluation of 33 years of quantitative precipitation forecasting at the NMC. *Wea Forecasting*, 1995, 10: 498-511.
- [6] Glahn H R, Lowry D A. The use of model output statistics (MOS) in objective weather forecasting. *J Appl Meteor*, 1972, 11: 1203-1211.
- [7] Doswell C A. Flash flood forecasting: An ingredient-based methodology. *Wea Forecasting*, 1996, 11: 560-581.
- [8] 唐晓文, 汤剑平, 张小玲. 基于业务中尺度模式的配料法强降水定量预报. *南京大学学报(自然科学版)*, 2010, 46(3): 277-283.
- [9] 张小玲, 陶诗言, 孙建华. 基于“配料”的暴雨预报. *大气科学*, 2010, 34(4): 754-764.
- [10] Buizza R, Miller M, Palmer T N. Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF Ensemble Prediction System. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1999, 125: 2887-2908.
- [11] Demeritt D, Cloke H, Pappenberger F, et al. Ensemble predictions and perceptions of risk, uncertainty, and error in flood forecasting.

- Environ Hazards, 2007, 7: 115–127.
- [12] Buizza R. The value of probabilistic prediction. *Atmos Sci Lett*, 2008, 9: 36–42.
- [13] Molteni F, Buizza R, Palmer T N, et al. The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1996, 122: 73–119.
- [14] Legg T P, Mylne K R, Woolcock C. Use of medium-range ensembles at the Met Office I: PREVIN–A system for the production of probabilistic forecast information from the ECMWF EPS. *Met Apps*, 2002, 9: 255–271.
- [15] Kristin P, Andrew W, Bremer P T, et al. Ensemble-Vis: A framework for the statistical visualization of ensemble data. *IEEE International Conference on Data Mining Workshops*, 2009.
- [16] Gneiting T, Raftery A E. Weather forecasting with ensemble methods. *Science*, 2005, 310: 248–249.
- [17] Atger F. Spatial and interannual variability of the reliability of ensemble-based probabilistic forecasts: Consequences for calibration. *Mon Wea Rev*, 2003, 131: 1509–1523.
- [18] Eckel F A, Walters M K. Calibrated probabilistic quantitative precipitation forecasts based on the MRF ensemble. *Wea Forecasting*, 1998, 13: 1132–1147.
- [19] Sloughter J M, Raftery A E, Gneiting T, et al. Probabilistic quantitative precipitation forecasting using Bayesian model averaging. *Mon Wea Rev*, 2007, 135: 3209–3220.
- [20] Yuan H, Gao X, Mullen S L, et al. Calibration of probabilistic quantitative precipitation forecasts with an artificial neural network. *Wea Forecasting*, 2007, 22: 1287–1303.
- [21] Glahn H R, Peroutka M, Wiedenfeld J, et al. MOS Uncertainty Estimates in an Ensemble Framework. *Mon Wea Rev*, 2009, 137: 246–268.
- [22] Cui B, Toth Z, Zhu Y J, et al. Bias Correction for Global Ensemble Forecast. *Wea Forecasting*, 2012, 27: 396–410.
- [23] Ligda M G. The horizontal motion of small precipitation areas as observed by radar. Technical Report 21. Cambridge, Massachusetts: MIT, 1953.
- [24] Wilson J W, Crook N A, Mueller C K, et al. Nowcasting thunderstorms: A status report. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, 79: 2079–2099.
- [25] Moszkowicz S. Verification of NWP model rain evolution using radar data and its application to the rainfall nowcasting. Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, 2004.
- [26] Golding B W. Nimrod: A system for generating automated veryshort range forecasts. *Meteorological Applications*, 1998, 5: 1–16.
- [27] Terada M, Kataoka K, Ikebuchi S, et al. The development of short-term rainfall prediction system in mountainous region by the combination of extrapolation model and meso-scale atmospheric model. Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, 2004.
- [28] Rossa A, Nurmi P, Ebert E. Overview of methods for the verification of quantitative precipitation forecasts. In Michaelides S. *Precipitation: Advances in Measurement, Estimation and Prediction*, 2008: 417–450.
- [29] Ebert E. Fuzzy verification of high resolution gridded forecasts: A review and proposed framework. *Meteorological Applications*, 2008, 15: 53–66.
- [30] Briggs W M, Levine R A. Wavelets and field forecast verification. *Mon Wea Rev*, 1997, 125: 1329–1341.
- [31] Hoffman R N, Liu Z, Louis J F, et al. Distortion representation of forecast errors. *Mon Wea Rev*, 1995, 123: 2758–2770.
- [32] Davis C, Brown B, Bullock R. Object-based verification of precipitation forecasts. Part I: Methodology and application to mesoscale rain areas. *Mon Wea Rev*, 2006, 134: 1772–1784.
- [33] Davis C, Brown B, Bullock R. Object-based verification of precipitation forecasts. Part II: Application to convective rain systems. *Mon Wea Rev*, 2006, 134: 1785–1795.
- [34] Anderson J L. A method for producing and evaluating probabilistic forecasts from ensemble model integrations. *Journal of Climate*, 1996, 9: 1518–1530.
- [35] Hamill T M. Interpretation of rank histograms for verifying ensemble forecasts. *Mon Wea Rev*, 2001, 129: 550–560.
- [36] Hersbach H. Decomposition of the continuous rank probability score for ensemble prediction systems. *Wea Forecasting*, 2000, 15: 559–570.
- [37] Smith L A. Disentangling uncertainty and error: On the predictability of nonlinear systems. //Mees A I. *Nonlinear Dynamics and Statistics*. Boston: Birkhäuser, 2001: 31–64.
- [38] Smith L A, Hansen J A. Extending the limits of forecast verification with the minimum spanning tree. *Mon Wea Rev*, 2004, 132: 1522–1528.
- [39] Wilks D S. The Minimum Spanning Tree (MST) histogram as a verification tool for multidimensional ensemble forecasts. *Mon Wea Rev*, 2004, 132: 1329–1340.
- [40] Weisheimer A, Smith L A, Judd K. A new view of forecast skill: Bounding boxes from the DEMETER ensemble seasonal forecasts. *Tellus*, 2004, 57(3): 265–279.
- [41] Good I J. Rational decisions. *Journal of the Royal Statistical Society Series B-Methodological*, 1952, 14: 107–114.
- [42] Roulston M S, Smith L A. Evaluating probabilistic forecasts using information theory. *Mon Wea Rev*, 2002, 130: 1653–1660.
- [43] Wilson L J, Burrows W R, Lanzinger A. A strategy for verification of weather element forecasts from an ensemble prediction system. *Mon Wea Rev*, 1999, 127: 956–970.
- [44] Brier G W. Verification of forecasts expressed in terms of probability. *Mon Wea Rev*, 1950, 78: 1–3.
- [45] Murphy A H. A new vector partition of the probability score. *Journal of Applied Meteorology*, 1973, 12: 595–600.
- [46] Hsu W R, Murphy A H. The attributes diagram- A geometrical framework for assessing the quality of probability forecasts. *International Journal of Forecasting*, 1986, 2: 285–293.
- [47] Smith L A. The maintenance of uncertainty. *Proceedings International School of Physics “Enrico Fermi”*, Course CXXXIII. Bologna: Societa Italiana di Fisica, 1997: 177–246.
- [48] Brocker J, Smith L A. Increasing the reliability of reliability diagrams. *Wea Forecasting*, 2007, 22(3): 651–661.
- [49] Mason I. A model for assessment of weather forecasts. *Australian Meteorological Magazine*, 1982, 30: 291–303.
- [50] Swets J A, Pickett R M. *Evaluation of Diagnostic Systems: Methods from Signal Detection Theory*. New York: Academic Press, 1982.
- [51] Epstein E S. A scoring system for probability forecasts of ranked categories. *Journal of Applied Meteorology*, 1969, 8: 985–987.
- [52] Gilbert G K. Finley’s tornado predictions. *American Meteorological Journal*, 1884, 1: 166–172.
- [53] Schaefer J T. The critical success index as an indicator of warning skill. *Wea Forecasting*, 1990, 5: 570–575.
- [54] Doswell C A, David J R, Keller D L. On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables. *Wea Forecasting*, 1990, 5: 576–585.
- [55] Stephenson D B, Casati B, Ferro C, et al. The extreme dependency score: A non-vanishing score for forecasts of rare events. *Meteorological Applications*, 2008, 15: 41–51.
- [56] Carroll E B, Hewson T D. NWP Grid Editing at the Met Office. *Wea Forecasting*, 2005, 20: 1021–1033.
- [57] 邵爱梅, 希爽, 邱崇践. 修正数值天气预报的非系统性误差的变分方法. *中国科学D辑: 地球科学*, 2009, 39(2): 235–244.

我国台风业务现状及其关键技术

钱传海¹ 端义宏¹ 麻素红² 许映龙¹

(1 国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081; 2 中国气象局数值预报中心, 北京 100081)

摘要: 近20年来, 随着气象观测技术的发展、计算机性能的提高以及数值预报模式的改进和升级, 尤其是资料同化技术的发展应用等, 数值模式的准确性越来越高, 预报时效越来越长, 预报指导产品也越来越丰富, 我国台风业务预报也因而得到了快速发展。近5年(2007—2011年)中央气象台24, 48, 72h台风路径预报误差平均值分别为114, 190, 287km, 预报准确率较20年前皆有了明显提高。虽然台风路径预报取得了长足进步, 但台风强度预报进展依然不大, 台风数值预报的核心技术与国际先进水平相比还有不小差距, 台风精细化风雨预报能力尚不能满足国家防台减灾的实际需求。回顾了国内外近20年、尤其是21世纪十余年来台风业务取得的主要进展、关键技术以及存在的不足, 并对今后我国台风业务发展进行了展望。

关键词: 台风, 业务预报, 关键技术

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.005

The Current Status and Future Development of China Operational Typhoon Forecasting and Its Key Technologies

Qian Chuanhai¹, Duan Yihong¹, Ma Suhong², Xu Yinglong¹

(1 National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

(2 Numerical Prediction Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: Due to the improvement in weather observation methods, numerical weather models, data assimilation technique and computation capability, in the past 20 years, numerical weather prediction (NWP) has greatly improved both in model performance such as model accuracy and valid time with increasing model productions. The NWP has effectively boosted the development of typhoon forecast in China. In the past 5 years (2007—2011), the mean typhoon track forecast errors in the National Meteorological Center (CMA) are 114 km, 190 km and 287 km for 24 hour, 48 hour and 72 hour forecasts, respectively. Now the 24 hour track forecast error is 100 km less than that 20 years ago. The capability of 48-hour/72-hour track forecast is respectively equivalent to that of 24-hour/48-hour track forecast 20 years ago. Although there is great improvement in typhoon track forecast, the intensity forecast still has no obvious improvement. Our core technology of numerical weather models still falls behind the international advanced technology, and the forecast capability still cannot meet the needs for typhoon disaster prevention and reduction. In this article, the main approach, key technology and shortage of typhoon forecast in the last 20 years especially after 21st century both at home and abroad are reviewed. Also the prospect of typhoon forecast in the coming 5~10 years is discussed.

Keywords: typhoon, operational forecast, key technologies

1 引言

台风是发生在热带洋面上的强烈气旋性涡旋, 也是夏秋季节我国东南沿海最主要的灾害性天气系统。我国是世界上受台风袭击最多的国家, 平均每年约有7个台风(包括热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风, 下同)登陆我国^[1], 沿海各省自南向北均可能受到台风的袭击和影响。台风登陆时常给

受影响地区带来强风、暴雨、风暴潮以及山洪、泥石流、山体滑坡等次生灾害, 造成严重的生命和财产损失。不过, 台风也有有利的一面, 台风降水是我国南方伏旱季节非常宝贵的水资源。据统计, 我国浙、闽及两广地区7, 8月的降水约有50%~70%来自于台风降水^[2]。台风降水可以缓解旱情, 增加江河湖泊及水库蓄水量, 具有重大社会效益。因此, 准确及时的台风路径、强度和风雨预报可以起到趋利避害的作用, 最大限度地减少台风灾害和损失。

我国各级气象部门一直致力于加强台风监测预警能力建设, 尤其是在近10年的气象现代化建设进程中, 在台风综合观测、资料传输及处理、数值预报

收稿日期: 2012年5月29日; 修回日期: 2012年7月6日
第一作者: 钱传海(1968—), Email: chqian@cma.gov.cn
资助信息: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目《台风登陆前后异常变化及机理研究》第三课题《台风登陆前后路径异常变化的机理研究》(2009CB421503)

技术及人才队伍建设等方面取得了快速发展,为台风业务能力的提升提供了多方位的支撑。以综合观测体系建设为例,目前我国已基本建成高时空分辨率的台风立体监测体系,自主研发的风云系列气象卫星、多普勒天气雷达观测网、高密度地面自动站、高空探测以及移动观测等能对台风开展全方位的实时监测,为台风业务和科研提供第一手资料。同时,我国的台风业务平台建设在近些年也取得了很大的进展。基于MICAPS 3.0的台风业务平台基本实现业务资料的快速获取、显示、加工、分析以及预报产品制作和分发,工作效率大大提高。为更好地适应气象现代化进程以及满足不断增长的台风监测预警服务需求,气象部门也与时俱进,不断修订和完善《台风业务和服务规定》,如扩充台风警戒区域、制定《热带气旋等级国家标准》^[3]和国家级台风预警等级标准、增加台风定位频次、延长台风预报时效等。正是这些方方面面的进步,促进了我国台风监测预警能力的提升。

我国各级政府也一直非常重视防台减灾工作,近些年来逐步制定并完善了台风灾害应急响应预案,基本实现了政府主导、部门联动、社会参与的防台机制。尤其在防台抗台的关键时刻,各级政府根据气象部门发出的台风预警信息和防台预案,及时组织台风影响地区群众防台减灾,转移、安置危险地区群众,极大地减少了台风造成的影响,取得了显著的社会效益和经济效益。

即便如此,还应清醒地认识到当前台风监测预警能力与社会防台减灾的实际需求之间的差距,尤其是台风风雨预报准确率和精细化水平,以及面对异常台风,包括路径突变和强度突变的台风时,预报服务能力的不足。本文首先回顾我国及国际台风业务现状,然后分析了存在的问题和面临的挑战,最后对我国台风业务今后5~10年的发展做了初步的展望,以期对提高我国台风监测预警服务能力有所裨益。

2 我国台风业务现状

2.1 台风业务布局及分工

在总结数十年来国内台风预报服务经验并借鉴国际成熟台风业务体系基础上,我国已初步形成了功能齐备、布局合理、分工明确的台风业务技术体系。国家级业务单位牵头、沿海区域气象中心及省(区、市)、地、县气象部门合力参与的台风监测、预警协作机制在每年汛期的台风预报服务中发挥了重要作用。

国家气象中心负责整个西北太平洋台风的编号以及台风定位、定强和预报业务,其责任区如图1所示,包括全国陆上和赤道以北、180°经线以西的西北太平洋和南海海域^[4]。此外,还承担对全国各级气

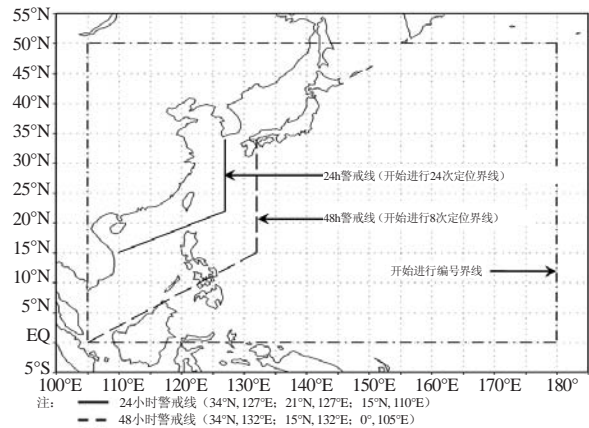


图1 国家气象中心台风编号、定位及警戒区图

象台站技术指导任务,对影响或登陆我国的台风根据相关规范及时发布台风预警,并适时组织由相关省(区、市)气象台参加的台风专题会商。当台风在我国沿海登陆时,国家气象中心与沿海相关省(区、市)气象台及时商定台风登陆时间、地点及强度,并在第一时间统一对外发布台风登陆信息。上海、广州等区域气象中心按分工除做好本责任区的台风预报服务外,要协助国家气象中心做好台风定位、定强和预报,并对区域中心下属省(区、市)气象台进行预报服务指导。沿海省(区、市)气象部门在做好台风预报服务的同时,有责任向国家气象中心和区域气象中心及时通报所观测到的对台风定位、定强及预报有重要参考价值的情报资料。地市级气象部门主要在上上级气象部门的指导下进一步细化制作本区域的台风预报服务工作,而县级气象部门主要根据上级气象部门的指导预报做好相关服务。

各级气象部门的联防联控协作一直是我国气象部门做好台风预报服务的一项重要措施。这种强化国家级业务单位的指导作用,逐级细化订正的台风业务布局和分工,提升了我国台风预报服务水平,并有力保证了气象部门台风预报的一致性和权威性,为国家防台减灾提供了重要的决策依据。

2.2 台风定位定强分析

台风定位定强是台风预报的基础,台风定位定强的准确性不仅会影响到台风路径和强度预报,也会影响到台风大风、暴雨甚至风暴潮预报的准确性。当然,由于台风所处的位置(远海、近海、沿岸)不一样,实施台风定位定强的方式或手段也有所不同。当台风位于远海时,由于洋面观测资料的匮乏,沿海雷达探测范围有限(最远可达460km),气象卫星就成为台风定位定强的最主要手段。目前世界上各主要台风预报中心(包括美国、中国和日本等)主要依据Dvorak技术来确定台风中心位置及强度^[5,6]。台风中

心主要依据卫星红外或可见光云型特征来确定，在经过卫星投影网格误差校正、卫星视觉误差校正和合理性验证后，最终确定台风中心所在经纬度。在台风发展初期或眼区不清楚时，通过极轨卫星获取的微波图像能为台风定位提供有益的补充。Dvorak技术除用于台风定位分析外，更多是用于台风强度分析，该方法是在1970年代经过多年热带气旋强度分析和飞机实际观测资料对比基础上，根据静止气象卫星在红外和可见光波段观测的台风不同阶段云型特征及其变化，然后通过设定一系列经验规则和约束条件而建立的热带气旋强度确定方法。Dvorak方法给出了根据当前台风云型特征得出的台风现实强度指数，然后根据经验关系，得到台风近中心最大风速，再根据风压关系确定台风中心海平面最低气压。当台风移入近海时，多普勒天气雷达由于在时间和空间分辨率上的优势，已成为近海台风监测的一个主要技术手段。一旦台风靠近沿海或登陆时，沿岸及海岛、船舶、石油平台等地面自动站为台风业务定位、定强和降水估测提供更准确的参考资料，更是成为确定台风登陆与否及具体登陆时间和强度的重要依据。

目前我国已基本建成高时空分辨率的台风立体监测体系，能对台风开展全方位的实时监测，为台风业务和科研提供第一手资料。截至2012年3月，我国气象部门已建成各类自动气象站36181个，其中海洋（海岛、船舶、石油平台）站139个，浮标站18个。这些稠密的地面自动气象站每10min（甚至可密集到每5min，如广东等）采集风、雨及气压等信息，为做好台风监测奠定了基础。我国沿海已建成无缝隙的多普勒雷达站网，能每6min获取台风的实时监测信息，预报员不仅能及时确定近海台风中心位置，而且能通过多普勒雷达反演的风场和降雨等产品了解台风风雨分布特征并进行适当外推预报（图2）。气象卫星自1966年问世以来已成为全球热带气旋监测最有效的工具，我国自主研发的风云系列气象卫星在台风监测业务中发挥了重要作用。中国气象局从2007年汛期开

始启动了双星加密观测模式，每15min便能获取最新台风监测图像，提高了我国台风监测分析能力。同时，不断改进的卫星分析技术为台风定位和强度估计提供了行之有效的支撑，而且很多量化的卫星反演产品有助于了解台风结构及其变化，从而有利于提高台风分析预报水平。

目前我国台风平均定位误差在15~20km，定强误差在5m/s左右，基本达到当前国际先进水平^[2]。得益于台风综合监测技术的改进，从2006年开始，中央气象台将登陆台风定位和定强频次从原先的每3h提高到逐小时，对我国防台减灾工作起到了很好的作用。

2.3 台风业务预报

2.3.1 台风路径预报

台风路径、强度及风雨预报是防台减灾的关键。台风路径受台风内部结构和外部环境等诸多因素共同影响。在监测手段不多、对台风基础理论认知水平不高、数值模式准确性较差的年代，台风路径预报往往依赖于外推预报、相似预报或气候持续预报方法等。当前，随着台风探测手段日趋丰富、台风理论认知水平逐步提高、计算机性能和数值预报模式的快速发展，台风路径预报已由半经验半理论的定性预报方法，发展到以数值预报为基础，以人机交互处理系统为平台，综合应用多种资料和方法的预报技术路线。这些预报方法包括动力统计预报、动力释用预报、神经网络方法、多模式集成预报、（单一模式）集合预报、（多模式）超级集合预报等。正是由于方方面面的改进，近20年来，我国台风业务预报取得了持续而稳定的进步。台风业务预报时效也逐步延长，2001年之前中央气象台只发布24~48h时效的台风路径和强度预报，2001年开始将台风预报时效延长至72h，2009年延长至120h预报。台风路径预报准确率也不断提高，过去5年（2007—2011年）中央气象台24~72h台风路径预报误差平均值分别为114，190，287km（图3），其中24h路径预报误差和20年前相比减少了80~100km，48h路径预报准确率和20年前的24h预报

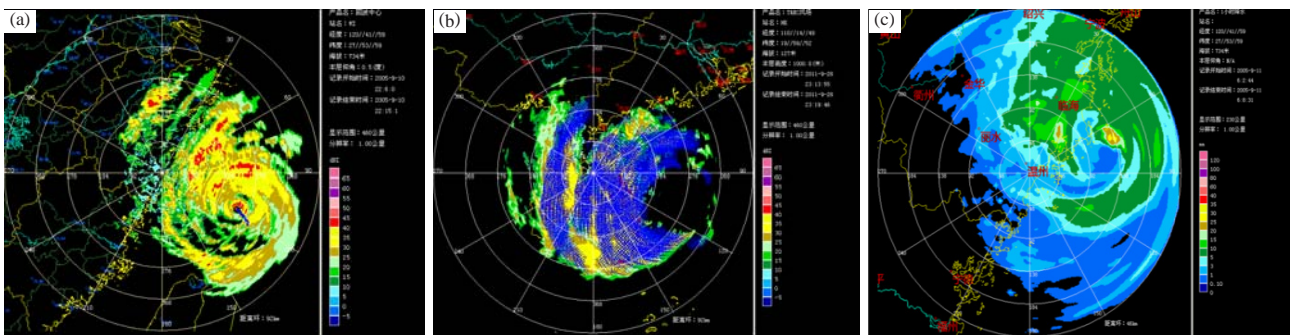


图2 雷达监测产品
(a) 台风定位，(b) 台风风场反演，(c) 台风降水率

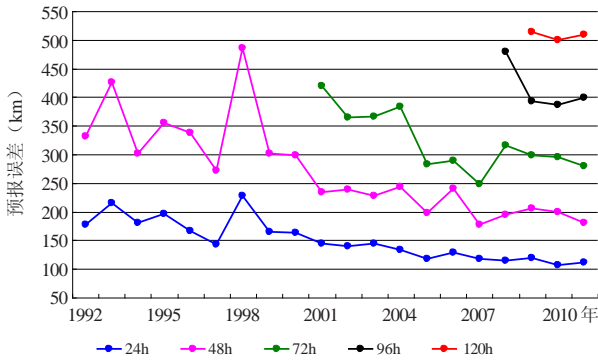


图3 1992—2011年中央气象台台风路径预报误差

准确率相当，而72h路径预报准确率甚至高于20世纪90年代初48h预报水平，目前我国台风路径预报准确率和国际先进水平基本相当^[7]。

2.3.2 台风强度预报

虽然过去20年世界各国在热带气旋路径预报方面取得了相当大的进展^[8, 9]，但强度预报仍是一个世界性的难题，各国在热带气旋强度预报方面进展非常缓慢。目前业务中广泛应用的还是一些气候持续性方法和统计动力模式，如美国联合台风警报中心的台风强度统计预报（STIPS）、美国国家飓风中心的飓风强度统计预报模式（SHIFOR）和飓风强度统计预报方案（SHIPS）等^[10]。我国台风强度预报方法包括气候持续方法、基于数值模式输出场的统计动力释用方法等，另外值得一提的是近几年广西壮族自治区气象局开发的基于遗传神经网络方法的台风强度客观预报方法，相比气候持续法有相当的正技巧。

目前我国台风强度预报水平与国外各预报中心基本相当，24h强度预报误差一般为4~6m/s，48h一般为6~10m/s，72h一般为8~12m/s^[7]。

2.3.3 台风风雨预报

台风路径和强度预报的准确性最终要体现在台风风雨预报的准确性上，因为登陆台风的强风和暴雨才是致灾的直接因素（虽然风暴潮和海浪也是致灾主要因子，但其不属于气象部门的业务范畴，本文不予讨论）。目前我国尚无有效的台风大风客观预报方法，实际业务中多根据预报员主观经验或概念模型，然后再基于台风登陆时的（预报）强度及局地地形等来判断受影响区域的大风级别。一般而言，台风强风的破坏多限于近海海域和沿海地区，而台风暴雨洪涝引起的灾害往往比台风大风更加严重，如1975年8月第3号超强台风Nina登陆福建晋江后继续深入内陆，其减弱后的残涡在河南驻马店林庄创下1062mm的我国大陆24h降雨量的历史纪录，称为“75·8”河南特大暴

雨，强降水致使汝河板桥和滚河石漫滩两座大型水库垮坝，26000余人死亡，经济损失达100亿元。因此台风定量降水估测（QPE）和定量降水预报（QPF）是台风业务的重要内容，也是国际热带气旋学界的热点问题。目前台风定量降水估测通常有两类方法，即基于单一观测资料估测（自动站、雷达或卫星）和两类资料混合使用（自动站和雷达、自动站和卫星）两大类^①。关于台风定量降水预报，目前依然是基于历史个例的统计学模型或基于数值模式物理量诊断指标方法（如“叠套法”、“配料法”等）发挥着重要作用^[11]，最新进展包括概率预报产品或多模式集成方法的开发和应用。另外，基于涡旋初始化方案、物理过程参数化方案、资料同化技术等数值预报技术发展，使得台风降水预报能力显著提高，尤其是雷达资料同化可显著提高模式对台风内核区域降水短期预报的能力。

2.4 台风数值预报技术

台风业务预报的核心支撑来自于数值预报。最近10年来，随着数值预报技术的发展，尤其是资料同化技术的发展应用以及计算机性能的快速提高，数值模式的准确性越来越高，预报时效越来越长，预报指导产品也越来越丰富。

国家气象中心台风数值预报的研发始于1992年“八五”期间。经过近20年的发展，国家气象中心的台风数值预报经历了从有限区模式到全球模式、OI最优插值到3DVAR变分、单一确定性预报到概率预报的升级^[12-14]。同时，台风涡旋初始化技术也由单纯的人造涡旋技术升级到较为复杂的涡旋初始化技术（包括初始涡旋生成技术、涡旋重定位技术、涡旋强度调整技术）。预报时效从发展初期的2d延长到目前的5d。目前，国家气象中心已建立了覆盖各种业务需求的台风数值预报系统（中尺度区域台风模式、中期全球模式台风预报系统和台风路径集合预报系统），可以为预报员提供较全面的技术支持。表1为国家气象中心台风数值预报系统发展历程。

表1 国家气象中心台风模式系统发展

年代	模式	同化	涡旋初始化
1996—2003	区域模式（HLAFS） 水平分辨率：0.46875°×0.46875° 垂直分辨率：15层	无	人造涡旋
2004—2005	T213 L31	OI	非对称人造涡旋
2006—	T213 L31	3DVAR	非对称人造涡旋 重定位 涡旋强度调整
2007—	台风集合预报 TC-EPS; T213 L31	3DVAR	非对称人造涡旋 重定位 涡旋强度调整
2011—	GRAPES-TYM 水平分辨率：0.15°×0.15° 垂直分辨率：31层	无	重定位 涡旋强度调整

① 陈联寿. 第七届国际热带气旋科学大会（IWTC-VII）总结

近年来上海台风研究所和广州热带海洋气象研究所也相继开发了各具特色的区域台风模式，为实时业务提供了较好支撑。上海台风研究所于2004年基于我国多尺度的同化与数值预报系统GRAPES开发了GRAPES-TCM模式，并在过去几年不断予以改进和优化，目前GRAPES-TCM模式的水平分辨率提高到 $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ ，并引入了基于水汽平流决定对流触发条件的Kain-Fritsch对流参数化方案等，促进了GRAPES-TCM模式性能的稳步提高^[15, 16]。广州热带海洋气象研究所也基于GRAPES模式框架开发了中国南海台风模式，在模式预报初值形成中采用了GFDL的台风重定位方案、日本的BOGUS模型方案以及三维变分（Grapes_3dv）同化等，对南海台风的预报有较好的指示意义。

2.5 台风灾害评估

台风灾害评估在制定防灾减灾策略、评价防灾减灾效益和制定社会发展规划中起着重要作用。近年来台风灾害评估越来越受到国际社会的重视，第七届国际热带气旋科学大会（IWTC-VII）首次将热带气旋风险评估（Risk Assessment）列入会议议题^①。近些年国家气象中心、上海台风研究所、浙江省气象局等相继开展了台风灾害评估业务（试验）和台风风险区划研究。这些方法虽然不尽相同，但大多基于当前台风特征参数（如台风路径、最大强度、最大风速半径、移动速度等）以及台风历史灾害数据库和承灾体数据库，考虑通货膨胀、人口增长以及社会经济发展等因素，对灾害损失进行归一化处理，然后开展风险评估。

3 存在的问题

过去20年来，我国在台风监测体系、数值模式发展及业务服务能力方面虽有了很大提高，但目前台风预报（含路径、强度、风、雨等）的准确性和精细化程度，与不断增长的防台减灾的服务需求仍有较大差

距，尤其面对异常台风，包括路径突变和强度突变的台风时，预报服务能力更显不足。另外，在数值模式核心技术研发以及台风外场观测试验的针对性和科学性方面和世界先进国家相比仍有很大差距。

3.1 台风预报准确性和精细化程度有待提高

就西北太平洋台风而言，国家气象中心台风路径预报水平和国际先进水平（日本气象厅、美国联合台风警报中心等）基本相当，但若和美国国家飓风中心的北大西洋飓风路径预报水平相比，则有不小的差距，过去5年（2007—2011年）北大西洋飓风24h平均预报误差约为90km，而我国对西北太平洋台风24h预报误差为114km。特别是对一些复杂路径的台风，其预报准确性更差，如2008年的强台风“风神”、2010年超强台风“鲑鱼”、2011年超强台风“梅花”等，中央气象台对其路径预报误差都非常大，出现明显的左偏或右偏，尤其是台风登陆点的预报出现较大误差（图4）。另外，对于近海强度突变的台风预报准确性也有待提高。台风路径预报的偏差必然会导致台风登陆地点预报出现较大的不确定性（登陆地点预报范围过大或左右摇摆），同时也导致风雨预报出现偏差，这就会使得有的地方过度防御，有的地方防御不足，从而影响防台工作成效。

防台工作最为关键的是台风登陆前后数小时内风雨强度及落区预报，因此登陆台风精细化风雨预报显得至关重要。但目前我国台风降水的准确性和精细化水平都不高，对台风过程降水总量预报尚可，但对于强降水发生的具体时段、降水强度、降水落区、持续时间等的预报能力还很不够。另外，对于台风远距离暴雨虽有定性的认识，但在具体量级预报上还有欠缺。

3.2 对数值模式的依赖性越来越大

如前所述，数值模式的发展为台风业务预报的进步做出了巨大的贡献，预报员正是站在数值预报这

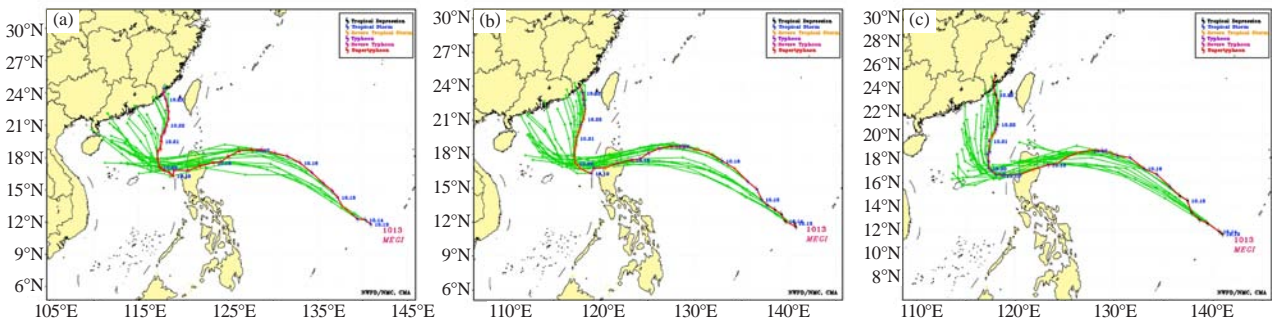


图4 2010年超强台风“鲑鱼”实况路径及预报（红线为实况路径，绿线为预报）
（a）中央气象台，（b）美国联合台风预警中心，（c）日本气象厅

① 陈联寿. 第七届国际热带气旋科学大会（IWTC-VII）总结

一“巨人”肩膀上使得台风路径预报稳步提高。当前预报员越来越相信数值预报,甚至依赖于数值预报,尤其是那些公认的一贯表现较好的数值模式(如ECMWF)。然而,再好的数值模式也不能解决所有的问题,有时也会出现较大的偏差。当所信赖的模式出现偏差时,预报员由于缺乏对模式的订正能力,往往也就跟着出错。如前面所述的“风神”、“鲑鱼”、“梅花”多是由于ECMWF等数值预报出现较大的不确定性或系统性偏差,导致预报员对台风路径和登陆点的预报出现较大误差,引起较大的社会反响。

在数值预报整体水平越来越高的今天,预报员如何驾驭数值预报,如何在数值预报基础上做加法,而不是成为数值预报的奴隶,是预报员必须思考的问题,也是必须面临的挑战。

3.3 针对性的台风外场观测与国外相比有很大差距

目前我国已初步建成了以气象卫星、多普勒天气雷达、高空观测、地面自动气象观测站为基础的台风综合观测体系,但在台风外场观测技术和能力方面,尤其是在常规观测资料稀缺的海洋上空对台风实施飞机观测方面和先进国家/地区有很大差距。国际上开展台风飞机观测已有近70年历史,作为一个移动观测平台,台风飞机观测所获得的宝贵的现场观测资料,不仅极大地丰富和修正了先前对于台风动力学、热力学、台风结构及其变化、台风与其环境场相互作用等的描述和理解,同时对提高台风路径、强度和风雨预报起了至关重要的作用。20世纪90年代初美国科学家曾评估了西北太平洋台风飞机观测资料对美国联合台风预警中心台风路径预报误差的影响,其结论是,增加台风飞机观测资料后,24,48和72h台风路径预报误差比没有飞机观测时分别减少10%,17%和20%^[17]。目前美国和我国台湾地区已实时开展台风飞机观测试验和业务,在台风监测预警和防灾减灾中发挥了巨大作用。近年来我国大陆气象部门只针对有限台风个例开展了非常简单的飞机观测试验,所取得的科学成果和经验还非常有限,尚不能为一线业务提供有效支撑。

3.4 数值预报技术的差距

我国台风业务数值模式在过去20多年里取得了长足发展,特别是2006年国家气象中心基于3维变分系统开发了涡旋初始化方案,使得全球模式(T213)的台风路径预报误差明显减小。2008年起T213台风模式投入业务应用,并建立了基于T213全球模式的台风路径集合预报系统,同时上海台风研究所和广州热带海洋气象研究所也相继开发了基于区域GRAPES模式的台风数值预报系统并形成业务能力。但整体来

讲,我国在台风模式发展,尤其是模式关键技术方面与国际先进水平相比仍有明显的差距,除了模式物理过程和边界层参数化方案外,台风涡旋初始形成技术(Bogus技术)相对落后,卫星和雷达等非常规资料同化应用能力更显薄弱。

另外,从2009年开始,我国的数值预报模式发展重点转移到GRAPES系统。经过近几年的不断努力,GRAPES-GFS模式系统的预报能力得到了进一步改进,但与T213和T639的全球台风模式相比仍存在较大差距,暂时还无法替代T213和T639全球模式系统。因此,如若维持现有的发展状态,我国的全球台风路径数值预报的水平与先进国家之间的差距可能会在未来几年内进一步拉大。

4 我国台风业务展望

提高台风路径、强度及风雨预报准确性和精细化水平,其最终目的是为了满足不同国家防台减灾的科学化和精细化需求。在美国,(单个)飓风警报所覆盖的海岸线长度平均为555km,而实际遭受飓风强度风力袭击的海岸线平均来说少于185km,所以美国的飓风警报所覆盖区域有三分之二(约370km海岸线)属于“过度预警”^[18,19]。NOAA曾在1997年12月召开过一次登陆飓风研讨会,与会人员有NHC的预报员和各级飓风应急管理部的官员,大家的共识之一就是要减少“过度预警”比率,他们希望将这个比率由当时的3:1减少到未来的2:1^[19],也就是将“过度预警”海岸线长度由370km减少至185km。我国发布台风预警的方式和美国不尽相同,但同样存在过度预警的现象,这势必会导致社会防御成本的增加。过度预警会造成不必要的人口转移,久而久之公众会有怨言,并对气象部门的公信力产生怀疑,使得社会防台效果大打折扣。

中国气象局的“十二五”规划对台风路径预报提出了非常具体的量化指标,即台风路径24h预报误差由当前的115km左右减小到100km以内。而美国制定的规划则相当“激进”,NOAA计划到2020年将当前1~5d的飓风路径预报误差减少50%,亦即其24h飓风路径预报误差约为50km,这将是一件极富挑战性的任务。

4.1 进一步加强台风相关理论和机理研究

当前我国台风业务预报还存在诸多难点问题,如台风的生成预报、台风结构和强度突变、台风路径的异常偏折、台风暴雨异常增幅、台风不同象限大风半径客观估测、台风与季风槽或西风带系统的相互作用,多台风相互作用等。关于这些问题的研究虽有所涉及但并不透彻,现在依然给业务预报和防台工作带来较大的困扰或不确定性,为此必须进一步加强登

陆台风相关科学问题的研究, 不断提高台风路径、强度、结构变化和风雨分布等相关物理机制的认识, 深入了解不同尺度系统和不同纬度系统的相互作用对台风的影响, 研究不同下垫面对台风结构、强度及运动的影响, 并将这些研究成果投入业务应用, 为实际业务提供扎实的科技支撑。

4.2 继续加强预报方法研究和应用

预报员要想在数值预报基础上做加法, 而不被数值预报牵着鼻子走, 就必须加强对数值预报模式性能和产品的深刻了解, 进而加强预报方法的研发、应用和改进。台风强度客观预报方法的研究和应用已是成功的范例, 近些年来集成/集合预报方法在改进台风路径、强度和降水预报方面已经显示出了优势。现在数值模式的时效越来越长, 分辨率也越来越高, 产品越来越丰富, 如能充分利用这些有效信息来进一步改进和优化已有的预报方法, 特别是加强集合预报产品的应用开发工作, 充分挖掘集合预报产品的“有用信息”, 必将进一步提高我国台风预报水平。

4.3 加强台风定强技术研究

Dvorak技术虽早已被世界气象组织推荐使用, 并已被世界各主要台风预报中心广泛采用, 然而该方法有其局限性, 它依赖于预报员对当前台风云型结构分析(如弯曲云带型、切变型、眼型、中心密闭云区型、嵌入中心型等), 因而会带来主观性差异。另外, 对小型台风和快速增强或减弱台风, Dvorak方法所确定的台风强度误差较大。为消除主观性差异, 美国业务科技人员对Dvorak技术进行了改进, 研发了客观Dvorak技术(ODT)和改进后的客观Dvorak技术(ADT), 同时应用飞机观测资料和极轨卫星反演的洋面风场对强度估测结果进行订正, 而我国在这方面还有很大差距。

另外, 台风定强涉及的另一问题就是台风的风压关系。目前美国联合台风预警中心和日本东京台风专业气象中心业务上所用的台风风压关系, 是在众多个例统计分析基础上, 分别建立的台风中心海平面最低气压与1和10min平均最大持续风速的关系。我国目前台风业务中应用的风压关系主要参照美国, 也就是1min平均最大持续风速的风压关系, 而我国现行地面观测规范和热带气旋等级标准(GB/T19201—2006)对热带气旋强度的表述均为2min平均的最大持续风速。现在观测手段越来越丰富, 观测精度也越来越高, 用于模拟研究的手段也越来越多, 特别是高分辨率的数值模式的性能也越来越好, 因此确有必要对目前我国台风业务中的风压关系进行重新审定和研究, 更好地满足我国台风业务和服务的需求。

4.4 逐步开展我国的台风飞机观测试验

开展热带气旋飞机观测不仅有助于提高对热带气旋运动、结构及其变化等的理解, 同时早已被证明是提高热带气旋路径和强度预报行之有效的手段。为了降低飞行成本、提高飞机观测效率, 国际上正发展台风目标观测或适应性观测技术^[20, 21], 而应用无人机开展台风观测也正逐步兴起, 如NASA在其组织实施的HS3(Hurricane and Severe Storm Sentinel)项目中, 计划于2012—2014年间应用两架“全球鹰”无人机针对12个或更多飓风开展长航时飞机观测, 可以预见有人机和无人机相结合开展热带气旋飞机观测将成为一种趋势。在进一步完善我国现有综合观测体系建设的同时, 若能多部门联动, 同时学习国际上台风飞机观测的先进技术和经验, 逐步开展我国大陆的台风飞机观测试验, 必将有效提高我国科研和业务人员对台风运动和结构等的认知能力, 进一步提高台风路径、强度及风雨等预报水平, 从而更有效减轻台风灾害。

4.5 继续加强台风数值模式发展

数值预报技术的发展和改进是提高台风业务预报准确率的基础, 必须持续加强数值预报技术的研发、改进、应用和升级工作, 尤其是高分辨率的海-陆-气耦合的台风数值预报模式。除加强模式整体框架、物理过程、边界层参数化方案等的研究和改进外, 重点还应加强涡旋初始化技术和重定位技术的改进以及资料同化技术的改进和应用, 最终形成具有可持续发展、比较完善的我国台风数值预报业务体系, 为我国台风业务预报准确率的提高提供有力的技术支持。

参考文献

- [1] 薛建军, 李佳英, 张立生, 等. 我国台风灾害特征及风险防范策略. 气象与减灾研究, 2012, 35(1): 59-64.
- [2] 陈联寿, 端义宏, 宋丽莉, 等. 台风灾害及其预报. 北京: 气象出版社, 2012.
- [3] 钱传海, 高拴柱, 许映龙, 等. 热带气旋等级国家标准GB/T 19201—2006, 2006.
- [4] 中国气象局. 台风业务和服务规定(第4次修订版). 2012.
- [5] Dvorak V. Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. Mon Wea Rev, 1975, 103: 420-430.
- [6] 刘喆, 王新, 李万彪, 等. Dvorak技术估测热带气旋强度研究进展. 气象科技, 2007, 35(4): 453-457.
- [7] 许映龙, 张玲, 高拴柱. 我国台风业务预报的现状及其思考. 气象, 2010, 36(7): 43-49.
- [8] Wu C C, Lin P H, Aberson S, et al. Dropwindsonde observations for typhoon surveillance near the Taiwan region (DOTSTAR): An overview. Bull Amer Meteor Soc, 2005, 86: 787-790.
- [9] Chan S T. Tropical Cyclone Operational Warning Strategies (IWTC-7). 2010. http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/tmr/otherfileformats/documents/4_3.pdf.
- [10] Cangialosi J P, Franklin J L. 2010 National Hurricane Center Forecast Verification Report. 2011. <http://www.nhc.noaa.gov/verification/pdfs/verification2010.pdf>.
- [11] 张小玲, 陶诗言, 孙建华. 基于“配料”的暴雨预报. 大气科学, 2010, 34(4): 754-766.
- [12] 王诗文, 李建军. 台风路径实时预报的初步试验. 应用气象学报, 1994, 5(4): 462-469.

- [13] 瞿安祥, 麻素红, Liu Q F, 等. 全球数值模式中的台风初始化I: 方案设计. 气象学报, 2009, 67(5): 716-726.
- [14] 瞿安祥, 麻素红, 李娟, 等. 全球数值模式中的台风初始化II: 业务应用. 气象学报, 2009, 67(5): 727-735.
- [15] 马雷鸣. 基于海平面气压动力反演的台风涡旋初始化方法. 气象学报, 2011, 69(6): 978-989.
- [16] Ma L M, Tan Z M. Tropical Cyclone Initialization with Dynamical Retrieval from a modified UWPBL model. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2010, 88: 827-846.
- [17] Gray W M, Neumann C, Tsui T. Assessment of the Role of Aircraft Reconnaissance on Tropical Cyclone Analysis and Forecasting. Bull Amer Meteor Soc, 1991, 72: 1867-1883.
- [18] Burpee R W, Franklin J L, Lord S J, et al. The impact of Omega dropwindsonde on operational hurricane track forecast models. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77: 925-933.
- [19] Aberson S D, Franklin J L. 1999. Impact on hurricane track and intensity forecasts of GPS dropwindsonde observation from the first-season flight of the NOAA Gulfstream-IV jet aircraft. Bull Amer Meteor Soc, 80: 421-427.
- [20] Wu C C, Chou K H, Lin P H, et al. The impact of dropwindsonde data on typhoon track forecasts in DOTSTAR. Weather Forecasting, 2007, 22: 1157-1176.
- [21] Aberson S D. Targeted observations to improve operational tropical cyclone track forecast guidance. Mon Wea Rev, 2003, 131: 1613-1628.

编辑走台站：云南大关站

■ 本刊编辑部

昭通，地处乌蒙大地腹心，金沙江蜿蜒北绕，从这里滚滚东去。2012年8月中旬，借参加和报道东南亚天气气候学术会议之便，《气象科技进展》编辑部走访了云南省昭通市大关县气象局，亲身感受到这里的复杂地势和气象条件对当地生活的重要影响，也体会到这里的气象人因人手紧张而整天忙碌的辛苦并快乐着的滋味。

云南省昭通市大关县位于云南省东北部，地处四川盆地向云贵高原的过渡地带，历来为川滇交通要道，秦开“五尺道”通“西南夷”就经过这里。大关境内险关重叠，关镇坚固，“大关”因此而得名。云贵高原的重要天气系统——“昆明准静止锋”正好位于昭通一带，导致该地气候复杂多变，干旱、暴雨、冰雹、大风、低温冷害、冰凌雪灾、滑坡和泥石流等气象灾害及次生灾害频发，自古就有“无灾不成年”的说法。

大关县气象站建于1958年，1989年迁至现址，属国家一般气象站。尽管同基本气象站相比，大关气象站的观测任务相对较少，但是因为大关特殊的地形地貌和频繁发生的气象灾害，准确的天气预测预报在工农业生产、减灾防灾中显得十分重要。

烟草是整个云南的经济支柱，烟草种植业不无例外地在大关农业中占据了举足轻重的地位。针对烤烟种植，大关气象局承担着非常重要的增雨防雹工作，防雹减灾是目前当地气象事业的关键组成部分。1996年大关开始人工增雨防雹工作，现有4个防雹炮点，防雹期为每年的5—9月，由昭通市局自主开发的业务

软件在跟踪冰雹云位于防雹炮点的位置时起到关键作用。由于大关县多高山深谷，而通往分布在不同乡镇的人工防雹炮点的道路险要，交通尤为不便，特别是在5—9月的多雨季节，地质灾害高发，当温源伟副局长介绍到去炮点作业的道路的艰险时，我们尽管没有身临其境，也能体会到其中的辛苦。

就在本文落笔时，2012年9月7日，昭通市发生了地震，大关县是重灾区之一，在通过各种渠道进行了慰问了大关同行后，我们的脑海中，时常出现他们震后在受灾严重的部分乡镇展开气象应急服务忙碌的身影！



瞬变涡扰动法在极端天气事件预报中的应用

钱维宏

(北京大学大气与海洋科学系, 北京 100871)

摘要: 实际天气图上的系统由多尺度波和多尺度涡组成。Rossby对天气预报的重大贡献是提出了大气长波。全球数值天气预报谱模式把观测大气变量分解成了若干尺度的数学波, 而没有天气尺度的涡。大气变量物理分解可得到逐日气候波、行星尺度的瞬变波和天气尺度的瞬变涡。实际的天气变化是由逐日气候波、行星尺度瞬变波和天气尺度瞬变涡的叠加或相互作用形成的。与极端天气事件直接有关的是那些瞬变涡, 因此极端天气事件的预报可用瞬变涡扰动法。

关键词: 天气预报, 大气长波, 瞬变波, 瞬变涡

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.006

Transient Eddy Method and its Application on the Forecast of Extreme Weather Events

Qian Weihong

(Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract: On the actual weather map, the weather system consists of multi-scale waves and multi-scale eddies. Rossby proposed the atmospheric long-wave theory which has a significant contribution to the weather forecast in the past decades. Global numerical weather prediction spectral model decomposed atmospheric variables into multi-scale mathematical waves without the synoptic-scale eddies. Physical decomposition of atmospheric variables can be used to differentiate the daily climatic waves from planetary-scale transient waves and synoptic-scale transient eddies. Extreme weather events are directly related to the synoptic-scale transient eddies so that extreme weather events can be forecasted by the method of transient eddies. The actual weather evolution is formed from their overlap or interaction of daily climatic waves, the planetary-scale transient waves and synoptic-scale transient eddies.

Keywords: Weather forecast, atmospheric long wave, transient wave, transient eddy

1 引言

长期以来, 大气被作为地球流体考虑, 其运动满足Navier-Stokes方程, 包含热力学在内的这组方程是复杂的非线性方程。早在20世纪初, Rossby等^[1]对这套自由大气中的非线性方程做了线性化处理, 创立了长波理论。过去的几十年中, 高空天气图上的“槽来脊去”(大气长波)形成了短期天气预报的基本方法。长波的“槽前一脊后”有利于地面低压系统发展和出现降水天气, 而“槽后一脊前”对应地面高压系统发展和晴好天气。长波的移动速度决定了地面天气系统的变化。在正压大气Rossby波的移动公式中, 西风带中平均的西风风速与波长之间构成了波移动的决定因素。西风风速大, 而波长短的波, 向东移动的速度快。在波长足够长的时候, 长波会静止下来, 甚至后退(向西移动)。长波存在于旋转地球的中高纬度带大气中。

在同一个时刻(如世界时00或12时), 全球探空

观测站同时得到分布于全球的大气风和温度等要素。多个时刻的一个要素可以用谱(如球谐函数)展开的方法把观测要素展开成若干的正交波。计算机只要记录下所有波的模态及其时间系数, 一旦需要, 计算机又可以根据模态和系数还原成原始要素场。

基于天气图方法, 预报员根据过去几个时次的大气长波移动可以外推出未来时刻的槽或脊的位置, 从而预测未来对应环流下的天气。数值模式只用当前一个时刻的观测场就确定了当前的变化趋势, 又由前一时刻的观测和当前时刻的趋势得到了下一时刻的预报。大气运动多以波动的形式出现。一个时刻的变化趋势(或平流), 甚至两个时刻观测变量确定的趋势也不能很好地描述大气运动的多时间尺度波动特性。因此, 数值天气预报需要多个时刻的观测资料, 才能反映出历史的波动变化^[2, 3]。全球数值天气预报模式是把观测的大气变量分解成了几百个正交的波。这些波在计算机模型中随时间积分发生相互作用又形成了新的波。人们很难确定所有这些波的物理含义和对应的天气或气候。

本文介绍一种新的大气变量物理分解法, 其中分

收稿日期: 2012年3月12日; 修回日期: 2012年4月1日
作者: 钱维宏(1957—), Email: qianwh@pku.edu.cn

解的各部分具有明确的天气和气候意义。

2 大气变量的物理解析

观测的大气变量变化是多源强迫的结果。观测的大气变量中包含：太阳辐射日循环的强迫，太阳辐射年循环的强迫，海气年际相互作用的强迫，准11a^[4]和准22a太阳辐射的周期性强迫，准60a^[5]的海气相互作用强迫，以及更长时间尺度太阳辐射和地球轨道参数变化的强迫^[6,7]。

考虑上述几个强迫形成的大气变化分量和大气环流的平衡特性^[8]，全球大气观测变量可以分解成纬圈和时间平均的气候对称部分、时间平均的气候非对称部分、纬圈平均的瞬时对称部分和瞬时非对称部分。满足这四部分分解的方法称为物理解析^[9]。全球大气温度、位势高度和风等都可以物理解析为四个部分。以下的分解式中， $V(\lambda, \varphi, t)_y^*$ 是第 Y 年第 t 日确定时刻（如世界时00时）的瞬时天气尺度扰动风（或位势高度、温度）的分量^[10]

$$V(\lambda, \varphi, t)_y^* = V(\lambda, \varphi, t)_y - [\bar{V}_i(\varphi)] - V_i^*(\lambda, \varphi) - [V(\varphi, t)]_y \quad (1)$$

其中， $V(\lambda, \varphi, t)_y$ 为大气观测的变量。 $[\bar{V}_i(\varphi)]$ 反映的是太阳辐射季节变化对应的第 t 日确定时刻的纬圈平均气候风。 $V_i^*(\lambda, \varphi)$ 是相对第 t 日确定时刻用第1年至第 N 年时间平均的空间格点风减去相对第 t 日太阳辐射对应的纬圈平均季节变化分量 $[\bar{V}_i(\varphi)]$ 后的逐日确定时刻的空间气候风分布，它反映的是海陆、地形（包括局地环境）差异季节调节的逐日确定时刻的气候风。 $[\bar{V}_i(\varphi)]$ 和 $V_i^*(\lambda, \varphi)$ 之和为太阳季节辐射与海陆环境共同影响下的逐日确定时刻的气候风，可用过去历史资料确定。

$[V(\varphi, t)]_y^*$ 是纬圈平均的行星尺度瞬变扰动风。它的分离方法是用全球观测的风先做行星尺度的纬圈平均，再减去气候对应日确定时刻的纬圈平均风。这一项与热带海洋或极地年代际、年际和季节内热力强迫引起的变化有关。分析对流层顶纬圈平均的行星尺度经、纬向风扰动在季节内和年际尺度上的变化，及其与厄尔尼诺—南方涛动（ENSO）、北极涛动（AO）

和南极涛动（AAO）之间的关系表明：来自热带对流层顶的年际行星尺度纬向风扰动与赤道ENSO循环有联系，可以传播到副热带、中纬度和极锋对流层顶；来自热带对流层顶的季节内（40~60d）行星尺度纬向风扰动也可以传播到副热带和中纬度；来自两半球极地对流层顶的大气季节内行星尺度纬向风扰动可以向高纬度传播^[11]。可见， $[V(\varphi, t)]_y^*$ 是随时间可以南北传播的大气行星尺度瞬变波动。

把大气变量物理解析后的天气尺度瞬变扰动量（如 $V(\lambda, \varphi, t)_y^*$ ）绘制在天气图上称为“瞬变扰动天气图”。它与“传统天气图”上的变量不同的是，它不包含逐日的气候分量和逐日的行星尺度瞬变扰动分量。大量的个例分析得到，物理解析后的天气尺度瞬变扰动量绘制的天气系统多以涡旋的状态出现，而不是传统天气图上的波动状态^[12]。瞬变扰动天气图上呈现的系统具有立体的温压场与流场匹配的扰动结构。下面给出大气变量物理解析后瞬变扰动量在热浪、低温雨雪冰冻和台风强弱变化等分析中的表现。

3 热浪事件的瞬变扰动分析

利用区域热浪极端事件满足的条件，得到了1960—2008年发生在我国大陆的163个区域湿热浪事件和136个区域干热浪事件^[13]。区域干热浪满足的条件是：单站日最高气温高于常年值（常年值=当日前后5d，共11d的气候平均值）连续日数超过5d（其中有2d最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ ）；高温过程强度（过程平均温度距平的大小）排序大于第90个百分位值；在同一时间段内有相邻5站同时出现热浪。

2003年6月1日—8月20日，我国江南南部到华南中部的很多台站出现了20~50d的高温记录，比常年同期多5~20d。在四次热浪过程中，最强的过程出现在7月底—8月初。图1是2003年8月2日亚洲地区200和850hPa层的位势高度、温度和风的天气尺度瞬变扰动分布。200hPa正异常高度扰动和850hPa正异常温度扰动中心对应的地面附近为热浪发生区。

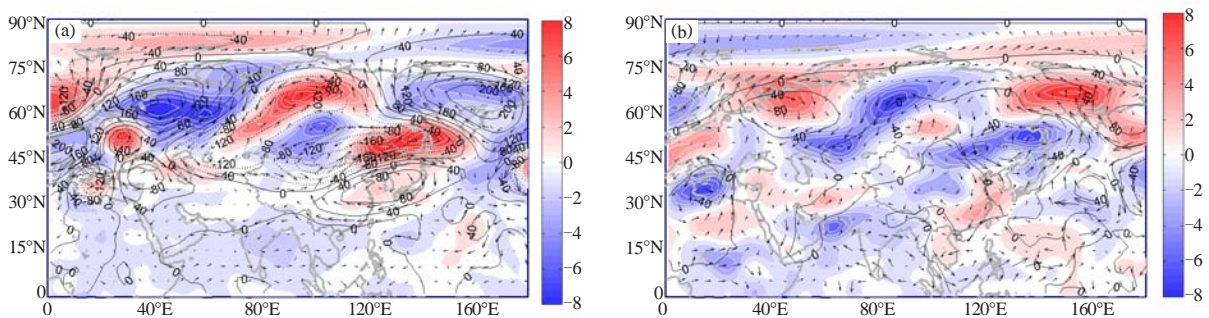


图1 2003年8月2日200 (a) 和850hPa (b) 位势高度扰动（实线，gpm）、温度扰动（彩色阴影，K）和风扰动（矢量）的分布

图2是经过江南热浪区上空的天气尺度瞬变扰动量在南北方向上的剖面分布。江南热浪发生在对流层高度扰动和温度扰动下延中心的位置。最强的高度扰动中心在150~250hPa层附近，温度扰动中心在400或850hPa层附近。对流层中上层的高度正异常中心对应异常高压区的下沉气流并引起中低层温度升高。大气高温扰动到达的地面为30°N以南的热浪区。在北方45°—50°N地区，地面出现了低温，在其高空平流层—对流层为高度扰动的负值区，对流层为温度扰动的负值区。可见，地面上出现的高温热浪区和低温区是与对流层，甚至平流层中的天气尺度瞬变扰动联系在一起的。这些瞬变扰动呈涡旋的环流特征并且在温压场上具有内在的物理联系，由此可用上部大气瞬变涡旋扰动指示地面热浪事件的发生位置。在原始观测的温压场和流场上，即在常规天气图上是难以清楚地分辨出这些扰动结构与热浪事件之间的对应位置关系的。

1979—2008年间，我国5—9月共有区域干热浪事件92次^[14]。去掉其中跨越5月1日的5次事件后，还有87次区域干热浪事件。在250hPa高度瞬变扰动场上，对应的87次区域干热浪，有4次事件没有高度扰动传播的前期信号。有高度扰动传播的其余83次热浪事件，按扰动信号的传播方向，可分为中纬度向东和低纬度向西移动的两类。大多数区域热浪的前期信号，是从中纬度由西向东传播的，占87场热浪事件的86.2%。天气预报包含了天气监测和天气预测两个方面。对流层大气中的这些扰动一旦出现后是要不断监测与跟踪的，它的未来动向是要根据其与气候背景场的关系预测的。用欧洲中期天气预报模式的产品，模式对高度扰动具有提前1~7d的预报能力。利用大气

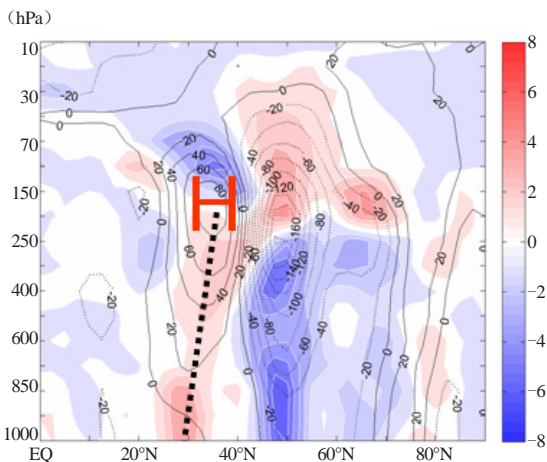


图2 2003年8月2日沿中国东部(110°—120°E)平均的南北剖面对流层—平流层位势高度扰动(实线, gpm)和温度扰动(彩色阴影, K)(粗点线指示高度扰动中心向下延伸并与温度扰动轴重合的线)

变量分解的前期信号与模式产品的扰动信号结合，热浪事件可以提前1~2周做出预报^[14]。

4 雨雪冰冻事件的瞬变扰动分析

1960—2008年冬季期间，我国南方发生了23次低温冰冻(冻雨)天气事件，其中满足站日数大于10的事件有11次。2008年初，我国南方发生了一场影响巨大的区域持续性低温冻雨天气事件。物理分解后的对流层低层冷空气扰动主体位于北非—阿拉伯地区，事件由4次冷空气扰动过程累加形成^[15]。第一次冷空气弱小，2008年1月12日从蒙古南下影响我国南方地区(图3a)。16日，第二次冷空气由蒙古南下影响我国南方，但在其后方有第三次和第四的冷空气来自北非—阿拉伯地区(图3b)。在我国南方地区(110°—120°E, 20°—33°N)高度—时间剖面图上，第二次至第四次冷空气过程最清楚(图3c)。低层冷空气位于850hPa以下，中层暖空气从600hPa逐渐上抬到300hPa，而在对流层顶(100~150hPa)一直维持着冷空气。在我国南方地区(100°—120°E, 20°—35°N)，对流层上层的冰晶下落到中层融化，再到低层冻结成冻雨下落到地面(图3d)。2008年1月的四次雨雪冰冻过程，是对流层低层大气中温度扰动随扰动涡旋沿一定的路径排列而来影响的结果。在分离出这些扰动涡旋后，预报员掌握它们的移动规律就可以提前做出区域雨雪冰冻事件的预报。这是雨雪冰冻事件预报的瞬变涡旋扰动法。

基于对2008年南方雨雪冰冻(冻雨)事件的分析 and 总结的瞬变涡旋扰动法，利用欧洲中期天气预报模式产品做物理分解，在2011年1月12日20时(北京时)的预报产品中，分析出了2011年1月16—21日850hPa上的温度扰动^[16]。利用数值预报产品做分解分析，实际提前4d预报出了中国南方雨雪冰冻(冻雨)的开始，提前9d预报出了雨雪冰冻(冻雨)天气过程的结束，以及提前13d预报出了当月的第三次雨雪冰冻天气过程。欧洲中期天气预报产品中的低层大气温度扰动，与实际观测的低温扰动有较好的一致性。欧洲中期天气预报模式中的天气尺度温度扰动分量信息，即850hPa层的低温扰动和对流层垂直“冷—暖—冷”的结构对冻雨天气过程出现的可能性，具有提前一周左右的预报能力。

5 台风登陆前增强的气候分析

我国是受南海和西北太平洋台风影响的国家，通常台风到达我国近海后由于地形摩擦作用都会减弱，但有些台风到达我国近海后还会增强。近海增强的台

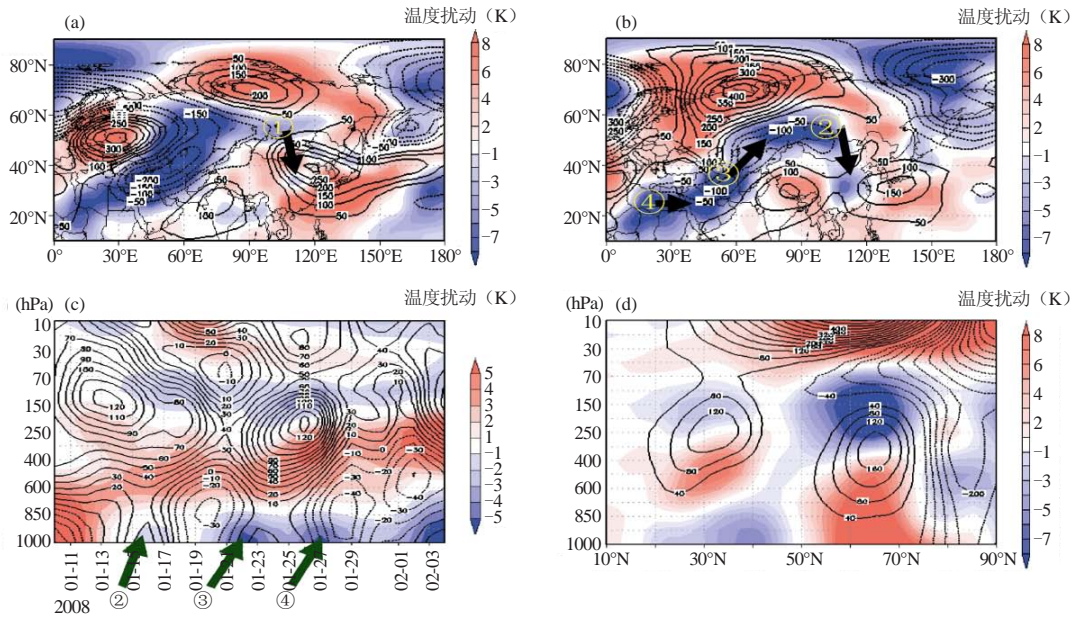


图3 2008年1月我国南方雨雪冰冻期间的高度扰动(实线, gpm)和温度扰动(彩色阴影, K): 2008年1月12日(a)和16日(b) 300hPa高度扰动和850hPa温度扰动; 2008年1月10日—2月4日中国南方(100°—120°E, 20°—33°N)地区高度扰动和温度扰动在垂直方向上随时间的变化(c)和2008年1月25—29日中国中东部(100°—120°E平均)地区南北(10°—90°N)方向上高度扰动和温度扰动的垂直剖面(d)(箭头和数字指示扰动过程)

风大多数位于海南岛与台湾岛之间的近海海域。近50年(1961—2010年)总共236个到达华南近海的热带风暴中,有22个台风登陆前发生了明显的增强,其中有15个增强台风发生在9月^[17]。为了探索华南近海台风增强的季节锁相原因,在文献[17]中用美国再分析资料进行了大气变量的四分量物理分解。

利用多年原始大气变量去除行星尺度纬圈平均的气候,得到海陆分布调节的气候场,它能够很好地反映台风强度变化的气候背景。从第28候南海季风爆发一直到第43和44候,东亚副热带季风槽位置都是逐候向北移动的^[16]。但过了第44候,东亚副热带季风槽逐候向南移动。第49候,东亚副热带季风槽到达华南。第50候,东亚副热带季风槽南退到华南沿海,并在华南近海稳定少动。图4是东亚副热带季风槽在华南近海最深的时段(第53候)。孟加拉湾季风槽是长期存在的。南海南北向的季风槽从盛夏就存在,位置少动,但气旋性涡度不及东亚副热带季风槽。第53候是华南近海台风增强次数最多的时期,也是华南近海气候上降水最多的时期。这个时候当有台风进入华南近海后,会在这里叠加上近海的气候槽气旋性涡度,使得台风增强。根据台风的形成理论,华南近海低层的气候气旋性涡度有利于水汽辐合,增加台风降水和潜热释放。这一气候辐合作用有利于台风在华南近海增强。

台风强度变化是短期和中期预报的内容。实际上,要做好这个时间段的预报,气候分析是基础。传统天气图上,台风是作为质点在观测气流的作用下移

动的。对每一个具体的台风质点,它到达南海时的未来移动要同时受到逐日气候环流的作用和物理分解后瞬变天气尺度扰动气流的作用,而瞬变天气尺度扰动气流又受到逐日气候气流的作用。逐日气候气流和瞬变扰动气流,它们共同决定了台风的未来发展。

6 结束语

长期以来,基于天气图的天气预报方法是“槽来脊去”的长波波动法,数值天气预报在大型计算机的帮助下能够同时运算几百个不同尺度的波动。所以,常规天气图和数值天气预报采用的是波动法。Rossby长波反映的本质是旋转地球上扰动的惯性振荡。但

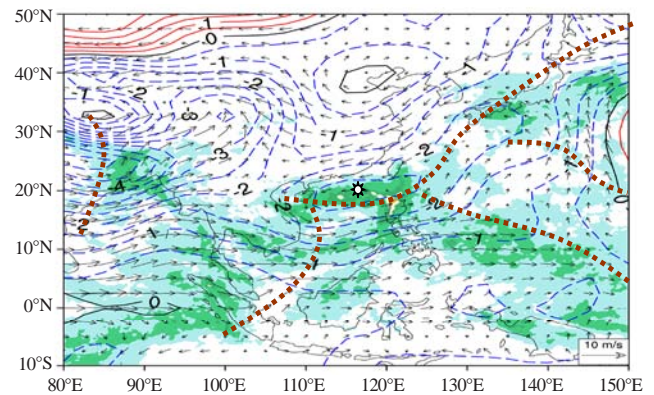


图4 第53候(9月21—25日)850hPa风(m/s)和位势高度(dagpm)时间平均的海陆季节调节非对称部分[阴影为气候降水量(颜色由浅至深,由绿变黄分别表示5,10,15,20,25mm/d),点线为气候槽,符号☆指示一个到达气候槽上的台风]

是, 旋转地球自由大气中的惯性振荡还受到太阳辐射加热的年循环影响和海陆热力气候调节的影响。对观测的大气变量去除这两种气候影响和纬圈平均瞬变扰动的影响, 则余留的大气瞬变扰动量中已没有了长波, 而是一些天气尺度瞬变涡旋扰动。

任何一个大气变量的瞬时观测场都可以物理解成逐日气候分量、行星尺度瞬变扰动分量和天气尺度瞬变扰动分量。在未来的演变中, 它们之间会发生相互作用。但在不太长的时间内, 前者对后者的作用是可以定性估计的。在台风是否转向和强度变化的预报中, 逐日气候场、行星尺度扰动场、天气尺度扰动场和台风, 它们四者之间存在时空尺度上的差异, 但主要是前者影响后者。这种有层次的作用关系可以更好地把握台风的未来强度和位置变化。

观测大气变量物理解后的第四部分扰动分量可以从原始观测资料中显现出来, 方便监测、跟踪和预报。这些瞬变涡旋扰动是相对逐日气候和行星尺度瞬变扰动的距平, 是一些异常的高值与低值系统。这些扰动系统的强弱、稳定和持续时间与极端天气事件(暴雨、热浪、低温、冰冻、干旱)有直接的联系。预报员能够做的工作就是从原始观测变量中分离出正常的逐日气候、异常的行星尺度瞬变扰动和异常的天气尺度瞬变扰动, 预报瞬变扰动对应的极端天气事件。气象业务部门对外发布的天气预报中包含有正常的气候和异常的天气。

参考文献

- [1] Rossby C G, et al. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. *J Marine Res*, 1939, 2: 38-55.
- [2] 顾震潮. 天气数值预报中过去资料的使用问题. *气象学报*, 1958, 29(3): 176-184.
- [3] 丑纪范. 天气数值预报中使用过去资料的问题. *中国科学*, 1974, 17(6): 635-644.
- [4] Meehl G A, Arblaster J M, Matthes K, et al. Amplifying the Pacific climate system response to a small 11-year solar cycle forcing. *Science*, 2009, 325: 1114-1118.
- [5] Schlesinger M E, Ramankutty N. An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. *Nature*, 1994, 367: 723-726.
- [6] Scafetta N, West B J. Is climate sensitive to solar variability? *Phys Today*, 2008, 3: 50-51.
- [7] 钱维宏. 认识气候及其变化. 气象科技进展, 待发表.
- [8] Starr V P, White R M. *Balance Requirements of the General Circulation*. Cambridge: Air Force Cambridge Research Center, 1954.
- [9] 钱维宏. 天气尺度瞬变扰动的物理解原理. *地球物理学报*. 2012, 55(5): 1439-1448.
- [10] 钱维宏. 基于大气变量物理解的低温雨雪冰冻天气的中期预报系统和方法. 中华人民共和国国家知识产权局, CN10222174A, 2011.10.19.
- [11] 钱维宏, 梁浩原. 行星尺度纬圈平均风扰动的传播与南北极涛动. *科学通报*, 2012, 57(15): 1326-1333.
- [12] 钱维宏. 中期延伸期天气预报原理. 北京: 科学出版社, 2012.
- [13] Ding T, Qian W H. Geographical patterns and temporal variations of regional dry and wet heatwaves in China during 1960-2008. *Adv Atm Sci*, 2011, 28(2): 322-337.
- [14] 丁婷, 钱维宏. 中国热浪前期信号及其模式预报. *地球物理学报*, 2012, 55(5): 1472-1486.
- [15] 钱维宏, 张宗婕. 南方持续低温冻雨事件预测的前期信号. *地球物理学报*, 2012, 55(5): 1501-1512.
- [16] 钱维宏. 气候变化与中国极端气候事件图集. 北京: 气象出版社, 2011.
- [17] 陆波, 钱维宏. 华南近海台风突然增强的初秋季节锁相. *地球物理学报*, 2012, 55(5): 1523-1531.

会议信息

- ◆ 第三届国际北极研究学术会 (Third International Symposium on the Arctic Research, ISAR-3), 2013年1月14—17日, 日本, 东京 (<http://www.jcar.org/isar-3/index.html>)
- ◆ 世界雪论坛 (World Snow Forum), 2013年1月17—20日, 俄罗斯, 新西伯利亚 (<http://www.worldsnowforum.org/en/>)
- ◆ 第23和24太阳活动周之间延伸太阳极小的原因和结果会议 (Causes and Consequences of the Extended Solar Minimum Between Solar Cycles 23 and 24, 4CESM), 2013年4月8—12日, 美国, 弗洛里达, Key Largo (<http://chapman.agu.org/solarminimum/>)
- ◆ 第十二届极地气象和海洋学术会 (12th Conference on Polar Meteorology and Oceanography), 2013年4月29—5月2日, 美国, 西雅图 (<http://www.ametsoc.org/MEET/fainst/201312polarocean.html>)
- ◆ 第四届全球灾害风险降低平台会议 (Fourth Session of the Global Platform for Disaster Risk Reduction), 2013年5月19—23日, 瑞士, 日内瓦 (<http://www.preventionweb.net/globalplatform/2013/contact>)
- ◆ 第六届雾、雾收集器和露国际会议 (6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew), 2013年5月19—24日, 日本, 横滨 (<http://www.fogconference.org/>)
- ◆ 第七届欧洲强风暴会议 (7th European Conference on Severe Storms, ECSS 2013), 2013年6月3—7日, 芬兰, 赫尔辛基 (<http://www.essl.org/>)
- ◆ 第十九届大气和海洋流体力学学术会 (19th Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics), 2013年6月17—21日, 美国, 罗德岛州, Newport (<http://www.ametsoc.org/MEET/fainst/201319fluid.html>)
- ◆ NCCR夏季气候学校 (NCCR Climate Summer School), 2013年9月1—6日, 瑞士, Grindelwald, Bern, (http://www.nccr-climate.unibe.ch/summer_school/2013/)
- ◆ 2013年EUMETSAT/AMS联合卫星会 (2013 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference & 19th American Meteorological Society AMS Satellite Meteorology, Oceanography, and Climatology Conference), 2013年9月16—20日, 奥地利, 维也纳 (http://www.eumetsat.int/Home/Main/News/Conferences_and_Events/820209?l=en)

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.007

“卫星资料应用” 专题系列

GPS无线电掩星资料特点

邹晓蕾^{1,2}

(1 佛罗里达州立大学地球海洋大气科学系, 美国; 2 南京信息工程大学资料同化研究与应用中心, 南京 210044)

GPS (Global Positioning System) 指全球 (卫星) 定位系统, 最初的设计是为了美国军方的精确定位, 于1980年代与1990年代早期开始应用。GPS共由距地球表面约20200km高度的6个轨道上运行的24颗卫星组成, 这些卫星以2个L波段频率 ($f_1=1.57542\text{GHz}$, $f_2=1.22760\text{GHz}$) 持续发射电磁波。GPS为将无线电掩星 (Radio Occultation) 技术应用到地球大气领域提供了基础。

GPS发射的无线电信号传播在真空中是一条直线。但实际射线从GPS卫星发射, 途经地球电离层和中性大气层时, 受电离层电子密度分布和大气折射率的影响, 路径有不同程度的弯曲, 从而延迟这些信号到达低轨 (Low Earth Orbiting, LEO) 接受卫星的时间。基于卫星的精确位置与运行速度, 可以导出总的弯角 (bending angle)。由于GPS发射卫星和低轨接受卫星的相对运动, 从大气顶部到地球表面的整个大气层都有射线穿过, 因此可以获得弯角的垂直廓线 (图1)。GPS无线电信号的波长较长, 大约为20cm, 故这些信号传播途经大气层时不受气溶胶和云雨的影响。通过把两个波段的信号传播延迟量进行一种线性组合, 可以消除电离层对信号传播路径的影响。剩余的无线电信号传播延迟量便仅仅包含中性大气中大气折射率的影响。

图1给出了掩星观测事件示意图, GPS轨道局地高度为20200km, 低轨卫星轨道局地高度在500~800km之间。红线表示GPS射线路径, 射线经过大气层时受大气折射率的影响而弯曲, 被安装在LEO卫星上的接收机接收到。射线上最接近地球表面的点称之为切点, 将这些切点连成一条线 (图1紫色线), 即是GPS掩星的探测印痕 (footprint)。GPS掩星在每一个切点的观测值其实就是射线路径方向上积分的信息, 同一观测廓线射线的切点位置随高度变化而变化。由图1可见, GPS掩星观测是一种临边探测技术。

收稿日期: 2012年8月10日

作者: 邹晓蕾, Email: xzou@fsu.edu

资助信息: 科技部全球变化研究国家重大科学研究计划 (2010CB951600)

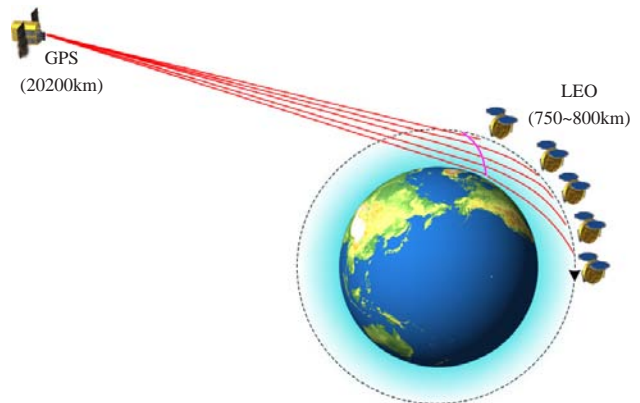


图1 掩星事件示意图 (虚线表示低轨卫星 (LEO) 的轨道; 红线表示GPS射线路径; 紫色线代表各个射线上离地球最近点的连线, 即GPS无线电掩星观测垂直廓线; 蓝色阴影区代表大气层)

Fig. 1 A schematic illustration of a GPS RO event, shown are ray paths (red), a vertical profile of perigee points (purple), LEO orbit (black dashed) and the atmospheric layer (shaded in cyan)

至今, 已成功执行了多个GPS掩星资料测量计划, 其中包括美国的GPS/MET (GPS/Meteorology), 德国的CHAMP (Challenging Minisatellite Payload), 阿根廷的SAC-C (Satellite de Aplicaciones Cientifico), 德国/美国合作的GRACE-A (Gravity Recovery and Climate Experiment), 中国台湾/美国合作计划FORMOSAT-3/COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate), 欧洲的Metop-A (Meteorological Operational Satellite), 和德国的TerraSAR-X。这些GPS掩星计划发射时间和有可用资料范围见表1。早期的GPS/MET的掩星实验, 每天大约可以获得100~150个掩星垂直廓线。随后的

表1 GPS掩星计划发射时间和有可用资料范围
Table 1 GPS Occultation Lunch Time and Range of Available Data

掩星计划	发射时间	资料起始时间	资料终止时间
GPS/MET	1995-04-03	1995-04-21	1997-02-16
CHAMP	2000-07-15	2001-05-19	2008-09-03
SAC-C	2000-10-21	2001-08-03	2011-08-13
GRACE-A	2002-03-17	2006-02-28	2006-06-29
COSMIC	2006-04-14	2006-07-13	至今
Metop-A	2006-10-19	2007-09-30	至今
TerraSAR-X	2007-06-15	2008-02-10	至今

CHAMP和SAC-C一起每天可提供350个掩星廓线。与其他GPS掩星计划不同，COSMIC有6颗低轨卫星，每天可得到大约3000个廓线，这个数字是全球探空资料的3~4倍。目前，还在健康运行的装载有GPS接受器的低轨卫星只有COSMIC、Metop-A和TerraSAR-X，每天提供的总廓线数已经减至1000~1500根。原计划于2012年升空的COSMIC 2由于各种原因推迟，FORMOSAT-7/COSMIC-2计划可能将于2016和2018年各发射6颗低轨卫星。如果FORMOSAT-7/COSMIC-2发射成功，全球每天将可以获得12000根掩星观测廓线（可参考<http://www.cosmic.ucar.edu/cosmic2/index.html>）。

目前，COSMIC数据分析存储中心（COSMIC Data Analysis and Archive Center, CDAAC）负责GPS数据的监测和存储，并为用户提供数据下载服务。GPS掩星产品按照产品等级来分，分为一级（L1）和二级（L2）。一级产品（L1）主要包括LEO卫星测量数据，地面基站跟踪数据，导航数据，LEO精密星历表，以及L1和L2相位残差和信噪比。二级产品包括弯角、折射率、压强、反演的温度和水汽等，被广泛应用于气象业务和气象研究的各个方面。按照其时效性来看，GPS掩星产品还包括实时产品和后处理产品。实时产品是用于天气监测和预报的临近数据，一般观测时间90min后可以拿到。后处理产品由于更准确更有效，在气象研究中得到更广泛地关注，一般2~3个月后可以下载。GPS二级掩星反演产品主要包括的变量有弯角、折射率、影响参数、射线切线方向与正北方向的夹角，以及其反演产品干空气温度、气压、湿空气温度和水汽压。为了便于和GPS掩星产品进行比较，CDAAC将NCEP GFS分析资料、ECMWF TOGA和ERA-40 Interim再分析资料和无线电探空资料插值到掩星观测廓线的平均位置。

GPS无线电掩星观测得到的折射率 N 是大气温度 T ，气压 p ，水汽压 p_w ，云水含量 q_{lwc} 和冰水含量 q_{iwc} 的函数：

$$N = 77.6 \frac{p}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{p_w}{T^2} + 1.45 q_{lwc} + 0.69 q_{iwc} \quad (1)$$

其中， T ， p ， p_w ， q_{lwc} ， q_{iwc} 的单位分别为K，hPa，hPa， $g \cdot m^{-3}$ ， $g \cdot m^{-3}$ 。因此，通过GPS无线电掩星资料同化，可以得到中性大气中 T ， p ， p_w ， q_{lwc} 和 q_{iwc} 的有用信息。然而，与同化任何一种资料一样，GPS无线电掩星资料同化效果与质量控制、同化方法和结果的正确检验有密切的关系。而做好以上这三方面工作的必要条件是对该资料的基本特点有充分的了解。GPS无线电掩星资料质量控制和同化方法的一些研究结果见文献^[1-9]。

GPS无线电掩星资料有以下几个值得注意的属性：（1）GPS掩星的每个垂直廓线的观测时间约为1min；（2）水平分辨率约300km，切点处的大气折射率对整个信号路径的弯角影响最大；（3）平流层内的垂直分辨率约为1.5km，在对流层低层增加到0.2km。GPS掩星资料误差主要来源于测量误差、资料处理过程中的误差传播、资料处理中所用近似假定引起的误差。测量误差包括随机误差与系统误差。GPS掩星资料的系统误差主要来自于局地多路径的出现、卫星的位置误差、卫星运行速度误差和反演误差。GPS无线电掩星资料的资料处理流程和资料误差细节见文献^[10]。

GPS无线电掩星资料的一些基本特点通过图2—6进行了简单描述。图2给出了2007年1月1日9km高度处COSMIC GPS掩星观测廓线和温度反演的全球分布。注意到COSMIC掩星资料在中高纬度最密集。与探空廓线类似，GPS掩星观测廓线的观测位置随高度变化而变化。图2中给出的是平均位置。图3和4分别给出了2007年1月1日的某个COSMIC GPS掩星廓线观测位置的三维和二维分布。图4还给出了不同观测高度上的无线电信号传播路径在近地面点的切线方向。由图可见，不仅掩星观测廓线的观测位置随高度变化而变化，切线方向也随高度变化而变化。每个掩星观测资料反应的是该方向上大约300km长、1.4km宽的范围内的的大气状态对无线电信号传播的总效应。不同位置上的大气状态对掩星观测资料的影响大小不同，近地面点的贡献最大（图5），离近地面点越远贡献越小。图6给出了该掩星观测到的弯角、折射率、温度和水汽压随高度的变化。受低层水汽的影响，弯角有很大变动（图6a）。受大气密度的影响，折射率随高度呈指数递减（图6b）。图6c和6d是根据弯角反演的温度和水汽压垂直廓线。由于具有高垂直分辨率，GPS掩星观测资料能非常精确地确定对流层顶的高度。

对数值预报和气候变化研究而言，GPS掩星观测这种临边探测资料对星下点探测卫星资料可以起到一个很好的互补作用。GPS掩星资料还具有其应用于气候变化研究的其他三个独特优点：（1）SI-可追溯

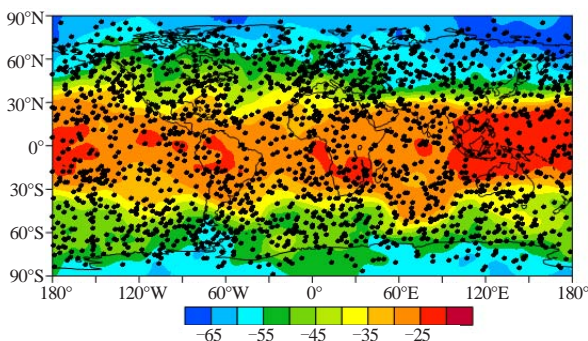


图2 2007年1月1日9km高度处COSMIC GPS掩星观测廓线（黑点）和温度反演（彩色阴影）的全球分布
Fig. 2 Global distribution of COSMIC GPS ROs (black dot) and temperature retrieval at 9 km (shaded)

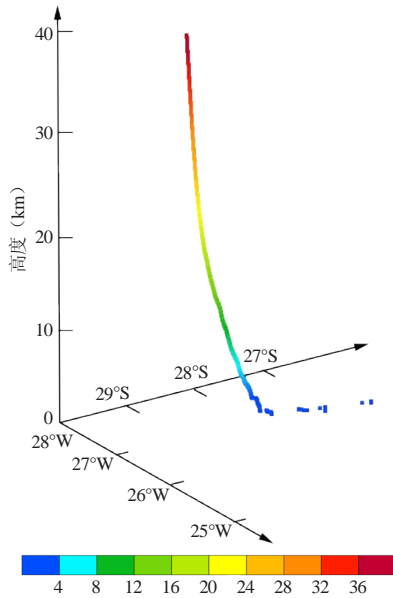


图3 与图2同一 COSMIC GPS 掩星廓线观测资料的空间位置三维分布 (观测高度由垂直坐标和彩色阴影同时表示)
 Fig. 3 A three-dimensional (3D) distribution of a GPS RO event that occurred on January 1, 2007 (The height of the GPS RO profile is indicated in both z-axis and color)

性 (SI-traceability)。GPS 掩星观测的原始数据是时间, 其值由根据国际标准单位的原子钟校准过的地面参考时钟来决定。所以, GPS RO资料具有SI可追溯性。(2) GPS掩星资料不受GPS接受仪器 (GPS receiver) 类型的影响, 所检测到的气候信号不随时间衰减, 没有随卫星平台变化而变化的系统偏差。(3) 在对流层上层和平流层内, 湿度对折射率的贡献可忽略, 根据折射率廓线可以反演出精确度非常高

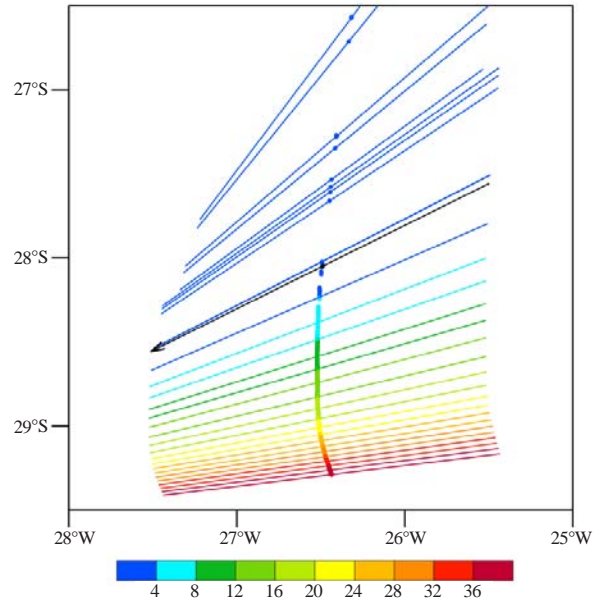


图4 与图2同一 COSMIC GPS 掩星廓线观测点 (点) 和不同观测高度上的无线电信号传播路径在近地面点的切线方向 (直线) 的二维分布
 Fig. 4 A two-dimensional projection of the profile in Fig. 2. Also shown are tangent directions (straight lines) plotted at an interval of 20 ray paths above the height of 1.5 km. The mean position of the RO is at the height of 1.8 km (black arrow)

(约0.1K) 的大气气压与温度廓线。由于以上这些独特属性, GPS掩星资料可以作为气候变化研究的基准资料, 用来对卫星微波温度计资料进行校准。再通过一维变分同化, 经过校准了的卫星微波温度计资料, 可以得到长达30多年的、能精确描述对流层和平流层温度气候变化趋势的均一化温度气候数据纪录。

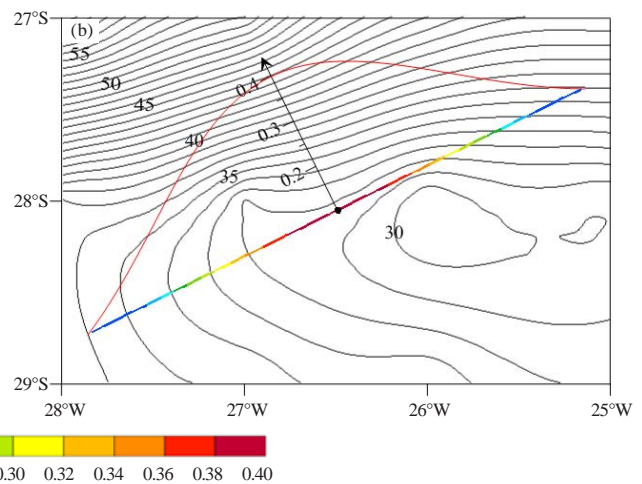
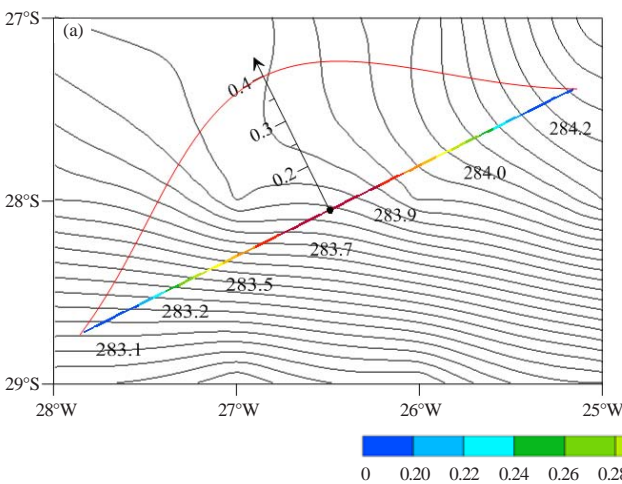


图5 大气温度 (a, 单位: K) 和相对湿度 (b, 单位: %)

(直线表示以平均位置为中心, 长300km、宽1.4km的切线方向; 直线上的颜色表示权重)

Fig. 5 NCEP GFS (a) temperature (unit: K) and (b) relative humidity (unit: %)

(The tangent direction at the mean position with a length of 300 km and width of 1.4 km is shown in both (a) and (b), and the color on the line indicates relative weights of the atmosphere to the measured refractivity)

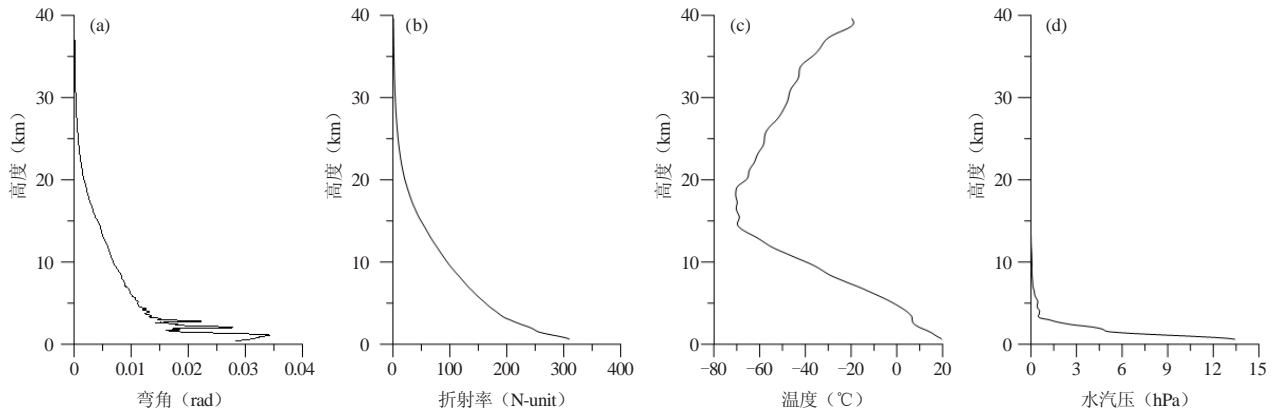


图6 2007年1月1日COSMIC 掩星观测廓线

(a) 弯角, (b) 折射率, (c) 温度, (d) 水汽压

Fig. 6 Vertical profiles of (a) bending angle, (b) refractivity,

(c) temperature, and (d) water vapor pressure retrieved from the same COSMIC GPS RO shown in Fig. 3

Serial of Applications of Satellite Observations

GPS RO Data Characteristics

Zou Xiaolei^{1,2}

(1 Department of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences, Florida State University, USA

2 Center of Data Assimilation for Research and Application, Nanjing University of Information and Science & Technology, Nanjing 210044)

GPS stands for Global Positioning System. It came into use in 1980s and early 1990s. Initially, it was designed for accurate positioning in US army. This system is composed of 24 satellites circling on six orbits at about 20200 km high above the earth. These satellites continuously emit radio electromagnetic waves through two L-band frequencies ($f_1=1.57542$ GHz and $f_2=1.22760$ GHz). GPS provides a practical foundation for applying radio occultation (RO) technique to the observation of the Earth's atmosphere.

The radio signal emitted from GPS transmits linearly in vacuum. However, when the signal passes through the ionosphere and neutral atmosphere, its transmitting path bends at varying degrees according to the electron density distribution in the ionosphere and the influence of atmospheric refractivity. As a result, the time when the signal reaches a receiver onboard a low-earth-orbiting (LEO) satellite is delayed. The total bending angle can be derived from the precise positions and moving speeds of both satellites emitting and receiving this signal. Because of the relative movement of GPS transmitting satellite and the receiving satellite at low earth orbit, the radio signal penetrates through the whole atmospheric layer from the earth surface to the top of the atmosphere. Therefore,

a vertical profile of the bending angle can be obtained (Fig. 1). The GPS signals have long wavelength of about 20cm and could thus pass through aerosols, cloud and precipitation in the atmosphere. A linear combination of the signal delay at two wavelengths could eliminate the impact of ionosphere on signal transmitting path. The residual delay accounts for the delay caused by the atmospheric refractivity in the neutral atmosphere.

Fig. 1 provides a schematic illustration of an RO event. The GPS orbits at 20200 km height above the earth, while the LEO satellite is 500~800 km above the earth. Red line indicates the GPS radio signal path. The signal path bends because of the impact from atmospheric refractivity when passing through the atmosphere. The GPS receiver placed on a Low Earth Orbit (LEO) satellite will receive the signal. The nearest point to the earth on the signal ray path is defined as the tangent point. When all the tangent points are connected together (the purple line showed in Fig. 1), it becomes the footprint of a GPS RO observation. It is emphasized that an GPS RO measurement is a measure of an integrated effect of the atmospheric refractivity along the ray path of about 300~500 km long centered at the tangent point. The position of tangent point on the same observation profile

varies with height. From Fig. 1, it is seen that GPS RO is a limb sounding technique.

So far, several GPS RO missions were successfully implemented, including American GPS/MET (GPS/Meteorology), German CHAMP (Challenging Minisatellite Payload), Argentine SAC-C (Satellite de Aplicaciones Cientifico), GRACE-A (Gravity Recovery and Climate Experiment) cooperated by Germany and US, FORMOSAT-3/COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate) cooperated by Taiwan and US, European Metop-A (Meteorological Operational Satellite), and German TerraSAR-X. Table 1 lists the launch times and mission periods of these GPS RO missions. The early GPS/MET RO experiment provided about 100~150 occultation vertical profiles every day. Subsequent missions such as CHAMP and SAC-C together provide 350 profiles daily. Unlike other GPS RO programs, COSMIC employs six LEO satellites, and provides about 3000 profiles globally, which is 3~4 times more than any other GPS RO mission with a single LEO satellite carrying a GPS receiver. At present, COSMIC, MetOp-A and TerraSAR-X are LEOs, each LEO being equipped with a single GPS receiver, and are still healthily functioning. But the amount of profiles provided daily has decreased to 1000~1500. The COSMIC-2, planned to launch in 2012, was delayed for various reasons. Program FORMOSAT-7/COSMIC-2 might launch six LEO satellites in 2016 and 2018, respectively. If FORMOSAT-7/COSMIC-2 were launched successfully, we could obtain 12000 RO profiles globally every day (see <http://www.cosmic.ucar.edu/cosmic2/index.html>).

The COSMIC Data Analysis and Archive Center (CDAAC) is responsible for the monitoring and storage of GPS data, and provides download services for users. The GPS occultation data products are classified as Level-1 and Level-2. Level-1 products include LEO satellite measurement data, tracking data from ground-based station, navigation data, LEO precise ephemeris, residual phase and SNR (Signal to Noise Ratio). Level-2 products include bending angle, refractive index, pressure, retrieved temperature and water vapor, etc., which are extensively used in both operational and research centers. In terms of timeliness, the GPS occultation products also include real-time products and post-processing products. The real-time products are instant data obtained in 90 minutes after observing times and are used in operational weather monitoring and forecasting. Post-processing data

can be downloaded in 2~3 months and are more precise and effective than real-time data. They are more useful for meteorological research. Level-2 products mainly include the retrieved variables such as bending angle, refractive index, influence parameter, angle between tangential direction of the radio signal and the due north direction, dry air temperature, pressure, wet air temperature and water vapor pressure. For convenience, CDAAC interpolated NCEP GFS analysis data, ECMWF TOGA and ERA-40 Interim reanalysis data to the average position of each RO observation profiles.

The refractive index (N) observed by GPS RO technique is a function of atmospheric temperature (T), pressure (p), water vapor pressure (p_w), cloud water content (q_{lwc}) and ice water content (q_{iwc}):

$$N = 77.6 \frac{p}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{p_w}{T^2} + 1.45 q_{lwc} + 0.69 q_{iwc}$$

The unit measurements of T , p , p_w , q_{lwc} , q_{iwc} are K, hPa, hPa, $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ respectively. Therefore, through the GPS RO data assimilation technique, useful information about T , p , p_w , q_{lwc} and q_{iwc} in neutral atmosphere could be obtained. Like the assimilation of any other data, an effective GPS RO data assimilation is determined largely by how are quality control, observation operator and appropriate validation of assimilation method and result done. It is essential to have a full knowledge of that data. [1-9] provided several methods of both quality control and GPS RO data assimilation.

There are several noticeable features of radio occultation data: (1) the observing time of an entire vertical profile of GPS RO is about 1 minute; (2) its horizontal resolution is about 300 km, and the refractive index at tangent point influence the bending angle of the whole signal path most; (3) vertical resolution is about 1.5 km in the stratosphere, and increases to 0.2 km in the low troposphere. Error sources of GPS RO data include instrument errors, error propagation through data processing process and errors introduced due to approximation assumptions used in data retrieval from raw measurements. The instrument errors consist of random errors and systematic errors. The later is associated with the presence of multi-paths, satellite position and velocity errors, and retrieval errors. A detailed description of GPS RO data processing procedure and observation errors can be found in [10].

Several basic features of GPS RO data are briefly discussed below through Figs. 2-6. Fig. 2 provides a global distribution of COSMIC GPS RO profiles (dotted) and temperature retrieval (shaded) at 9-km height on 1

January 2007. It is noticed that COSMIC RO data are most densely distributed at middle and high latitudes. Similar to radiosonde profiles, the latitudinal and longitudinal position of a single GPS RO profile varies with altitude. A vertically averaged position of each RO is plotted in Fig. 2, 3 and 4 show three-dimensional (3D) and 2D distributions of an arbitrarily chosen COSMIC GPS RO profile. Tangent directions at the perigee point of a radio propagation path of different sounding heights are also provided in Fig. 4. It can be inferred that not only the sounding positions of occultation sounding profile but also the tangent directions vary with height. Every RO sounding data reflects an integrated effect of the atmospheric state along the ray path of about 300~500 km long and 1.4 km wide centered at the perigee point. The effects of the atmospheric conditions at different positions of the ray are different. The atmosphere near the perigee point contributes mostly to the total bending (see Fig. 5). The further away from the earth, the less the atmosphere contributes. The weights reflecting such a different effect is schematically shown by the vertical coordinate and colored shadows in Fig. 5. A more detailed theoretical and numerical description was provided in Shao et al^[3]. Fig. 6 illustrates how an observed bending angle, refractive index, temperature and water vapor pressure varied with altitude. Bending angle is quite sensitive to lower water vapor (Fig. 1a). Influenced by atmospheric density, the refractive index shows an exponential decrease as altitude increases. Figure 6c and 6d are vertical profiles of temperature and water vapor pressure retrieved from bending angle profile using a one-dimensional variation (1D-Var) data assimilation algorithm. Due to its very high vertical resolution, the GPS occultation sounding data can very precisely determine the height of tropopause.

As a limb-sounding method, GPS RO and satellite nadir-looking data are quite complementary for both numerical weather prediction and climate change research applications. There are three exclusive advantages to apply GPS RO sounding data in climate change research: (1) SI-traceability. The original data of GPS occultation sounding is time, which is determined by a reference

clock calibrated to atomic clock based on international standard unit. (2) GPS RO sounding data is not sensitive to GPS receiver type; the observed climate signal is not weakened by time; and systematic deviation caused by the change of satellite platform does not exist. (3) The contribution of humidity to refractive index in the upper troposphere and stratosphere is negligible. Atmospheric pressure and temperature profiles can be highly accurately inverted from GPS RO refractivity data. Because of these stated features, GPS RO data can be used as a baseline data for climate change research, and can also be used for calibrating satellite microwave temperature sounding instruments. Through a 1D-Var retrieval, the well calibrated satellite microwave temperature sounding data can be assimilated to provide a homogenous temperature climate data record of more than 30 years, precisely illustrating the temperature climate change trend in the troposphere and stratosphere.

参考文献/Reference

- [1] Liu H, Zou X, Shao H, et al. Impact of 837 GPS/MET bending angle profiles on assimilation and forecasts for the period June 20–30, 1995. *J Geophys Res*, 2001, 106(D23): 31771–31786.
- [2] Liu H, Zou X. Improvements to a forward GPS raytracing model and their impacts on assimilation of bending angle. *J Geophys Res*, 2003, 108(D17), 4548.
- [3] Shao H, Zou X. On the observational weighting and its impact on GPS/MET bending angle assimilation. *J Geophys Res*, 2002, 107(ACL 19): 1-28.
- [4] Shao H, Zou X, Hajj G A. Test of a non-local excess phase delay operator for GPS RO data assimilation. *J Applied Remote Sensing*, 2009, 3: 033508.
- [5] Zeng Z, Zou X. Application of principle component analysis to CHAMP radio occultation data for quality control and a diagnostic study. *Mon Wea Rev*, 2006, 134: 3263-3282.
- [6] Zou X, Vandenberghe F, Wang B, et al. A ray-tracing operator and its adjoint for the use of GPS/MET refraction angle measurements. *J Geophys Res*, 1999, 104(D18): 22301-22318.
- [7] Zou X, Wang B, Liu H, et al. Use of GPS/MET refraction angles in three-dimensional variational analysis. *QJ R Meteorol Soc*, 2000, 126: 3013–3040.
- [8] Zou X, Liu H, Anthes R A. A statistical estimate of errors in the calculation of radio occultation bending angles caused by a 2D approximation of raytracing and the assumption of spherical symmetry of the atmosphere. *J Atmos Oceanic Technol*, 2002, 19: 51-64.
- [9] Zou X, Zeng Z. A quality control procedure for GPS RO data. *J Geophys Res*, 2006, 111(D02112), doi: 10.1029/2005JD005846.
- [10] 邹晓蕾. 资料同化理论和应用 (上册). 北京: 气象出版社, 2009.

广州白云机场一次秋季大暴雨成因 及上游对流云团的触发机制

王刚 梁蕾蕾 刘峰

(民航中南空管局气象中心, 广州 510405)

Cause of a Heavy Rain in Autumn at Guangzhou Baiyun Airport and Trigger Mechanism of Upper Convection Cloud

Wang Gang, Liang Leilei, Liu Feng

(Guangzhou Meteorological Center, CAAC, Guangzhou 510405)

引言

华南暴雨既受西风系统的影响, 又受热带地区天气系统的影响, 中小尺度对流活动频繁, 加之华南地区复杂的地形、下垫面条件以及海陆热力差异对比等对中小尺度对流系统形成和发展等外强迫作用, 使得其预报的难度非常大。

但是, 目前对于华南暴雨的研究主要集中在前汛期和后汛期暴雨, 而对于非汛期暴雨的研究还较少。2011年10月13—14日清晨, 广东省出现了暴雨到大暴雨局部特大暴雨过程。广州、佛山的部分气象站录得超过250mm的特大暴雨降水, 其中广州白云机场录得168mm的大暴雨。因而, 分析这次大暴雨过程的成因, 旨在加深对华南秋季暴雨的认识, 为秋季暴雨过程的预报提供一些思路。

1 资料说明与计算方法

使用的资料包括: 常规地面观测和探空资料、每小时1次的自动站加密雨量及风场资料, NCEP的 $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、FY-2D静止卫星逐小时云顶黑体辐射亮温(TBB)资料、广州白云机场多普勒雷达产品、风廓线雷达资料。

2 天气背景及物理量分析

广州白云机场13日08时—14日08时共录得168mm的大暴雨。从13日下午13:49闻雷开始, 白云机场的雷暴过程一直持续到13日晚上22:30才解除, 持续8h41min。此次过程造成白云机场190个出港航班延误, 另有23个航班备降, 2个航班返航。

收稿日期: 2012年2月25日; 修回日期: 2012年3月24日
第一作者: 王刚(1985—), Email: wanggang@atmb.org

2.1 环流形势演变特征

在暴雨过程发生前, 13日08时500hPa环流形势上蒙古低压中心位于 45°N , 106°E 。受蒙古低压环流影响, 大陆中东部处于宽广的槽前西南气流控制。副高主体在海上, 西脊点偏东, 位于菲律宾附近。在副高西侧10个纬距以内有热带低压活动。13日08时, 850hPa上受热带低压环流及副高西南侧影响, 华南沿海为东南气流控制。北方有冷空气受高空槽的引导南下, 切变线位于江南南部至南岭一带。地面形势为冷空气以偏西路径南下, 锋锋位于江南南部; 13日20时, 蒙古低压中心东移南压至 44°N , 110°E 附近, 高空槽随之快速东移。热带低压有所北抬, 进一步靠近华南沿海, 华南沿海仍受较强的东南风场控制。在高空槽东移的引导下, 冷空气快速南下, 在浙江中部—福建中部—广东中部一带形成一条东北西南向的切变线。地面图上, 冷空气快速从西路渗透南下, 锋面位于广东省中北部。

蒙古低压东移南压, 带动深厚的高空槽系统东移。南海热带低压北抬, 使华南沿海中低层维持较强的东南风场控制。高空槽引导冷空气快速从西路南下, 切变线东移南压, 使得广东区域低层辐合加强。地面冷空气与华南沿海地区的东南暖湿气流交汇。这些天气尺度系统的合理配置及相互作用, 为暴雨过程发生的提供了十分有利的环流背景条件。

2.2 物理量条件分析

2.2.1 低空和超低空水汽输送

水汽条件是产生暴雨的基本条件之一。分析850和925hPa(图1)风场和水汽通量得出, 菲律宾东部海面到广东珠江三角洲一带均位于 $\geq 10\text{g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})^{-1}$

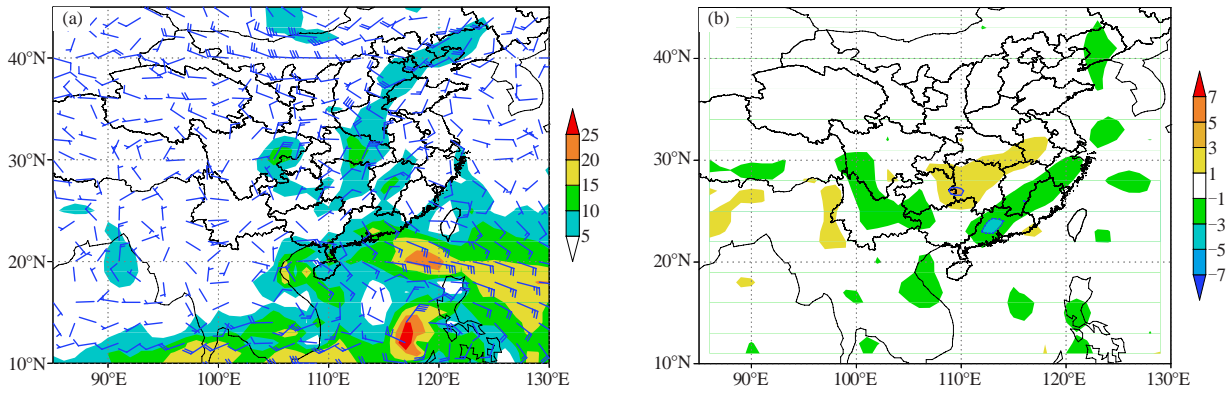


图1 2011年10月13日08时925hPa水汽通量 (a) 和10月13日20时925hPa水汽通量散度 (b)

的较高水汽通量区域内，这条强大而稳定的水汽通道从菲律宾东部的洋面上，一直向西北方向延伸到广东中部地区，这条水汽输送带在超低空（925hPa）更为显著，水汽通量达到 $25\text{g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})^{-1}$ 。这说明在发生暴雨前和暴雨过程中，有水汽通道的建立和维持。从850hPa风场可以看出，这条水汽通道的建立和维持，与南海的热带低压环流和西太平洋副高有关，在副高的西南侧与热带低压之间（即菲律宾东部到华南沿海），造成了一个强的水平气压梯度，进而在低层形成了较强的东南气流和强水汽输送带。强大的水汽输送带将来自菲律宾东部、南海北部的水汽，源源不断地输送到珠江三角洲地区，为暴雨的产生和维持提供了良好的水汽条件。

从13日20时850及925hPa水汽通量散度可见，浙江南部至广东中部为水汽通量辐合区，辐合中心位于广东省中部，850hPa水汽通量散度达到 $-3\times 10^{-5}\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ，925hPa水汽通量散度达到 $-5\times 10^{-5}\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ，这说明低层东南风将水汽输送到广东省中部，为降水的持续发展提供水汽。另外值得注意的是，925hPa的超低空水汽输送的贡献更为显著。

2.2.2 位势不稳定层结与不稳定能量

分析清远（59280站）10月12日08时—13日20时的探空资料（表1），发现K指数（K）都在36以上，沙氏指数（SI）为负值，说明在暴雨发生前期有大量不稳定能量积累。GCAPE在12日08时—13日08时逐渐增加，与13日20时开始减弱，说明暴雨发生时开始消耗前期积累的不稳定能量。对流抑制能量（CIN）则相反，12日08时—13日08时，CIN逐渐减小，在13日

08是只有 $0.3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，非常有利于扰动的发展。暴雨发生时，CIN迅速增加。从上述分析可看出，此次过程前期积累了一定的不稳定能量，有利于中尺度对流系统的发展。

2.2.3 动力抬升条件

13日20时，从浙江南部至广东中部沿850hPa切变线为一带状的辐合带，辐合中心位于广东省中部及江西南部。200hPa辐散中心位于广东省中北部地区，基本与低层的辐合区重合。从500hPa垂直速度可见，广东省中部存在一个强上升区。低层辐合，高层辐散的形势有利于广东地区上空产生的垂直上升运动。这种配置下，中低层大尺度动力抬升与高层强辐散呈现出垂直耦合状态，有利于大范围上升运动的持续发展。随着500hPa高空槽的东南移动，使得垂直上升大值区主要位于高空槽前，即对水汽的抬升和降水的产生有组织和引导作用。

从沿 113°E 散度径向剖面图（图2）可见，在广州（ 113°E ， 23°N ）上空，500hPa以下为辐合，以上为辐散层，辐散中心在250hPa，高层的辐散中心值比低层的辐合值大，由于抽吸作用，增强了该地区的垂直上升运动，使得低层的辐合进一步加强。高低层这种配置是强降水产生的重要条件。强上升运动增强了低层的辐合，有利于低层暖湿气流快速向高空输送，并且有利于触发锋前不稳定能量释放，导致对流性暴雨发生。图2中上升区向高纬地区倾斜也反映了地面锋面超前于空中锋面。低层冷空气的侵入，使冷锋前暖湿空气被迫抬升，这有利于锋区上空不稳定能量的进一步释放和对流的发展。

表1 59280（广东清远站）探空得出不稳定能量条件

时间	K指数 (K)	沙氏指数 (SI)	强天气威胁指数 (SWEAT)	归一化对流有效位能 (GCAPE)	对流抑制能量 (CIN)	抬升指数 (LI)
12日08时	38	-1.02	240.6	0.2	58.4	-1.14
12日20时	36	-0.02	217.3	0.5	19.0	-1.38
13日08时	37	-0.02	225.0	0.7	0.3	-0.96
13日20时	37	0.02	225.0	0.2	71.3	0.51

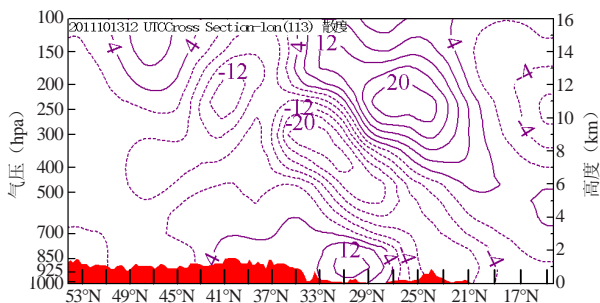


图2 2011年10月13日20时沿113°E径向散度垂直剖面图

3 暴雨过程中尺度特征分析

3.1 中尺度云团活动特征

利用高时空分辨率的卫星资料及自动站降水资料,分析暴雨过程中尺度云团发生发展过程,探讨大暴雨产生的机制。从暴雨过程逐时FY-2D云顶辐射亮温及降水量图可看出(图略),强降雨主要发生在冷云区内或者TBB梯度最大处。13日11时在广东沿海及广东西部地区,有分散的弱雨区活动,尚没有明显的对流云团活动。12时,在广东西北部及广西地区新生两个云团(A, B)。随着午后热力作用的加强,13时后A和B云团快速加强,出现 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 的区域,并逐渐东移。A云团于15—16时达到强盛阶段,成为 β 尺度对流云团,白云机场受其影响,出现强雷雨天气,小时降雨量达40mm/h。B云团于16—17时达到强盛阶段,并移至广东广西交界处。随后A云团东移减弱,在其后部珠三角西侧生成新云团C(09时),C云团迅速加强,给珠江三角洲带来强降水。B云团东移减弱,分裂为两部分,一部分东北向移动,移至粤北地区后减弱消失,一部分东南向移动与C云团合并。C云团于19—20时达到强盛阶段,之后逐渐减弱。14日00时在C云团的上游珠三角西侧又有一个新云团D发展加强,给珠江口地区又带来一次降水过程。影响广州的强降水主要是三个 β 尺度对流云团(A, C和D)造成的,其中两个(C, D)是在前对流云团的上游珠三角西侧发展起来的。影响白云机场的降水是由两个 β 尺度对流云团造成的,其中以A云团为主。对流云团上游产生新的对流云团,再次移入造成广州形成大暴雨。

10月13日11—19时每小时雷达反射率显示(图略),11—12时,A云团的发展阶段,本场偏西30~50km内, A_1 单体逐渐发展,开始影响白云机场的航班进近过程。13时, A_1 云团进一步加强壮大,移至本场西北方向,同时本场南面20~30km处有若干小单体(A_2)开始生成。14时,这些若干小单体迅速加强并合并,形成一个较大单体,北移影响本场,产生强雷雨天气。15时本场仍受 A_2 云团影响,同时在A云团的上游(西南方面)开始有孤立的单体开始生成并发展,16—

18时,C云团发展壮大,形成 β 尺度对流云团,在云团东北移动过程中,本场连续受到雷雨影响,导致多个航班的备降和延误。可以看出,这次过程是由前后两次对流云团引起的, A_1 单体的强盛时期,其南部有新单体生成,然后迅速发展壮大,影响本场,形成强雷雨天气。 A_2 单体发展壮大后,在西南侧又有新的单体C生成,并逐渐发展形成带状,最终形成 β 尺度对流云团,移动过程中,再一次影响本场。因此,对流单体强盛时期,上游产生新的单体,发展并移入,导致白云机场长时间受雷雨影响,对飞行产生了较大的影响。

3.2 上游云团发展的机制

此次大暴雨过程是由于对流云团的上游不断有新的云团生产、发展、移入造成的。从自动站时降雨和自动站地面风场的流线图可以看出(图略),在A云团发展及强盛时期,来自海上的强东南气流被卷入云团前部,东南气流为对流云团输送水汽,有利于云团的发展与维持。对流云团后部则为向外出流,这种出流可能是由于强降水产生的下沉气流引起的。气流向上游流出时,在上游(粤中偏西地区和珠江口西部)形成辐合,产生中尺度辐合线,C云团正是在珠江口西部发展起来的。可以推测,这种低层扰动可能会激发上游云团的发展,产生新的对流云团的发展。上游对流云团的再次移入导致降雨的持续增幅,导致大暴雨天气。中尺度对流系统产生的次级环流,导致在上游形成地面辐合线,可能是上游中尺度对流云团发展的触发机制。

3.3 风廓线雷达特征

广州白云机场风廓线雷达探空图(图3)显示,广州上空自低层到高层由东南偏东风转为西南偏西风,风向随高度做顺时针旋转,整层大气为暖平流,说明广州处于锋前暖区中,积累了相当的不稳定能量。强降雨发生(14—17时)前,低层由弱而浅薄的东南偏东风转为较强而厚的偏东风,说明低层风向产生逆时针偏转,风速增大,并存在上传的过程。这说明暴雨的增幅可能与低空风速的脉动及风向的变化有关。从14日00时00分开始,850hPa以下逐渐转为东北风,风向随高度出现逆转,为冷平流,表明低层有冷空气向下渗透,说明冷锋已经开始影响广州。

4 总结与讨论

(1)天气形势分析表明,蒙古低压东移南压,带动深厚的高空槽系统东移,南海热带低压北抬,使华南沿海中低层维持较强的东南风场控制。高空槽引导冷空气快速从西路南下,切变线东移南压,使得广东区域低层辐合加强。地面冷空气与华南沿海地区

(下转69页)

“天气业务”主题文献计量学指标分析

张萌 胡英

(中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

Bibliometric Analyses on the Field of Weather Forecast

Zhang Meng, Hu Ying

(CMA Training Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

科技论文的产出量和被引用频次反映了一个国家、机构或科学家的科研水平及其科研成果的影响力。本文针对“天气业务”主题文献计量指标的分析研究,可以使气象及相关领域科研、业务人员,科研管理和政策制定者了解该领域国内外发展现状,把握学科发展趋势和研究热点,展示研究机构和科学家在“天气业务”领域的科研成果及分布情况,从而更加科学地制定研究发展目标,更好地促进科研交流和学术发展。

1 数据来源及统计方法

利用ISI Web of Science平台的SCI-E数据库及中国知网学术期刊网络出版总库(以下简称CNKI),分别使用检索式Topic =operat* OR predic* OR forecast* OR service OR warning OR observa*和主题=业务 OR 预报,学科类别均限定为大气科学类,对1990—2012年“天气业务”主题科技论文进行检索,检索命中该领域国际和国内文献分别为65598和18016篇(最后检索日期为2012年8月)。统计给出年代分布、国家和作者影响力、研究机构和刊载期刊产出等数据,并在此基础上对数据进行了分析对比研究。

2 统计结果与分析

2.1 论文产出年代分布及国际合作

天气预报业务起源于19世纪^[1],随着学科不断发展,有关天气业务的文章也不断涌现。SCI-E数据库中能够检索到的有关“天气业务”主题的科技论文最早发表于1921年的*Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*杂志,而CNKI数据库检索到中国最早的该主题文献是1930年刘治华撰写的刊登在《中国气象学会会刊》的《论长江下游在冬季雨期中

之气压分布状况》一文。

图1是1990—2012年SCI-E和CNKI数据库“天气业务”主题文献的年代分布图,其中,检索年限内中国科学家独立或参与发表的文献数量(SCI-E中国)共计3563篇。可以看出,20世纪90年代开始,国内外有关“天气业务”主题的文献数量均呈逐年上升趋势。CNKI数据库检索数据显示,中国国内该领域研究成果数量平稳上升,文献数量增长率较缓皆因起点较高——1990年就已有454篇文章发表。SCI-E数据库在1990年收录该主题文献456篇,2011年全年收录5216篇,涨幅明显,可见近年来各国对天气业务的关注程度明显增加。1990年,SCI-E收录中国科学家独立或参与发表的文献数量仅为4篇,2011年则达到572篇,总体呈现稳步增长趋势,显示出我国学者的独立研究和对外合作成果受国际同行的认可度逐步提升。表1给出1990—2012年中国在“天气业务”领域主要合作的国家/地区分布。在该领域与中国合作最为密切的国家是美国,合作论文数1011篇,约占总数的1/3。分列二三位的是日本和德国。

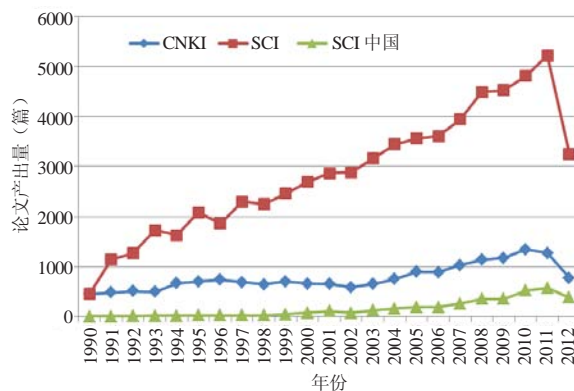


图1 1990—2012年“天气业务”主题文献年代分布

2.2 国家及中国学者影响力

论文产出量及被引频次可以客观地展示一个国家和学者在某一领域的研究水平。表2给出了SCI-E中

收稿日期: 2012年6月30日; 修回日期: 2012年8月15日
 第一作者: 张萌(1987—), Email: zhangme@cma.gov.cn
 资助信息: 中国气象局气象软科学面上项目[2012]第034号

表1 中国“天气业务”主题文献主要合作国家/地区 (SCI-E)

序号	合作国家/地区	合作发文章量 (篇)
1	美国	1011
2	日本	280
3	德国	163
4	加拿大	148
5	英国	146
6	法国	113
7	韩国	95
8	澳大利亚	94
9	中国台湾	64
10	荷兰	62

“天气业务”领域文献产出量排名前10的国家和地区的总被引次数、篇均被引次数和h指数^①，可以看到，美国的文献产出量为31701篇，占全部检索结果的48.3%，遥遥领先于其他国家，虽然由于数据库的限制^②无法得到美国的总被引次数和篇均被引次数，但从其很高的h指数可以推断得出其文献的影响力一定也名列前茅。论文产出量位列2~5的分别是英国、德国、法国和加拿大，他们的影响力指标在伯仲之间。值得一提的是，澳大利亚虽然产出量只排在第9位（2570篇），约是法国的1/2，但其篇均被引次数和h指数均排在第6位，与第二集团的几个国家相差不多，可见澳大利亚的高质量SCI论文占其产出的比重很大；而中国虽在产出量上排名第7，但其他三项指标只排在第9位，说明我国近年来SCI论文产出量虽然有很大提高，但论文质量和影响力还有待进步。

学科发展需要社会、行业、人才等多方面的支持，“领军人物”的作用也不可忽视。图2给出了我国“天气业务”领域较有影响力的学者的论文产出量及h指数。丑纪范院士该领域论文产出54篇，h指数18，影响力排名第1；薛纪善研究员论文产出68篇，位列第1，h指数16，位列第2；周秀骥院士和王迎春研究员论文产出虽然不多，但h指数分别为14和15，说明其发表的文章中高影响文章较多。10位学者所属机构不同，且在检索年限内部分作者的所属机构也曾变动，但他们有一个共同点就是其创作黄金时期所出的成果大多在研究所或高校完成。这也许得益于研究所和高校较浓的学术氛围和较好的科研环境。

2.3 国内外机构和期刊产出

国内在“天气业务”领域文献产出量排名前10的机构（表3）中有5所高校，2个研究所，2个国家级业务单位和1个省级业务单位。南京信息工程大学产出841篇，位居榜首，表明该高校的教学与科研和气象

表2 国际“天气业务”主题文献产出量排名前10的国家/地区影响力 (SCI-E)

序号	国家/地区	产出 (篇)	总被引次数	篇均被引次数	h指数
1	美国	31701	—	—	236
2	英国	6967	167856	24.09	145
3	德国	6597	136982	20.76	123
4	法国	4884	98163	20.10	109
5	加拿大	4144	84659	20.43	108
6	日本	4029	57357	14.24	89
7	中国	3563	35040	9.83	64
8	意大利	2623	37041	14.12	70
9	澳大利亚	2570	51270	19.95	91
10	俄罗斯	2467	23130	9.38	61

象业务的结合最紧密，从一个侧面反映出局校合作的成果；中国气象科学研究所和国家气象中心分别位居2，3位；省级业务科研单位中，广西气象台以203篇的产出量榜上有名。国外机构产出排名中，除中国科学院排在第5位之外，其他9家机构均来自美国，可见美国在“天气业务”领域的“霸主”地位。排名前三位的是美国国家级科研业务机构的NASA、NOAA和NCAR，美国海军排在第9，跻身前10位的还有科罗拉多大学等5所高校。综上还可以看出美国空间天气业务应用所占的比例很大。

国内外刊载“天气业务”领域文献的期刊排名第1位的分别是《气象》和*Journal of Geophysical Research Atmospheres*，刊载数量均超过排在第2位的期刊近一倍。从表4中可以看到，《陕西气象》、《山东气象》等省级行业内部刊物也成为了“天气业务”领域研究成果交流的一个重要平台。中国气象局图书馆对此领域刊载期刊收录比较全面。

2.4 热门文献及研究热点

SCI-E和CNKI被引频次最高的热门文献在本期

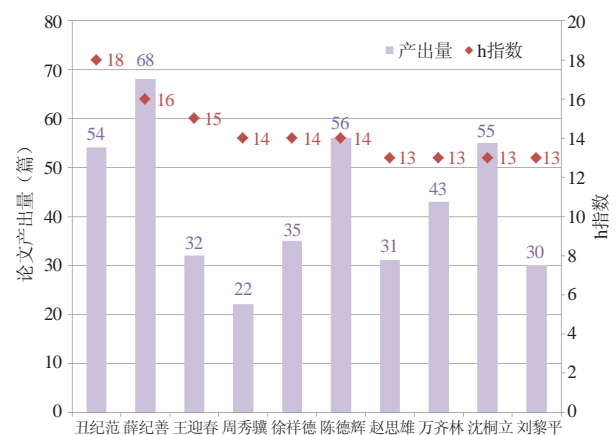


图2 1990—2010年“天气业务”领域影响力排名前10的作者 (CNKI)

① h指数：一个国家或学者发表的n篇论文中有h篇论文每篇至少被引用了h次，其余 (n-h) 篇论文每篇的被引次数均小于h

② 统计数量>10000篇时，SCI-E不能提供引文分析报告

表3 中国和国际“天气业务”主题文献产出量排名前10的机构

CNKI			SCI-E	
序号	机构	产出(篇)	机构	产出(篇)
1	南京信息工程大学	841	NASA	4028
2	中国气象科学研究院	604	NOAA	4023
3	国家气象中心	559	NCAR	2929
4	中国科学院大气物理研究所	529	科罗拉多大学	2077
5	解放军理工大学	291	中国科学院	1551
6	南京大学	261	科罗拉多州立大学	1278
7	北京大学	255	华盛顿大学	1268
8	兰州大学	235	加利福尼亚理工学院	1186
9	中国气象局国家气候中心	231	美国海军	1102
10	广西气象台	203	马里兰大学	1050

表4 中国和国际“天气业务”主题文献刊载数量排名前10的期刊

CNKI			SCI-E	
序号	期刊	刊载数量(篇)	期刊	刊载数量(篇)
1	气象	1672	<i>Journal of Geophysical Research-Atmospheres</i>	8345
2	气象研究与应用	920	<i>Advances in Space Research</i>	4338
3	气象科技	783	<i>Journal of Climate</i>	3345
4	气象与环境科学	693	<i>Atmospheric Environment</i>	3316
5	陕西气象	672	<i>Monthly Weather Review</i>	3292
6	沙漠与绿洲气象	629	<i>Journal of the Atmospheric Sciences</i>	2366
7	应用气象学报	624	<i>Atmospheric Chemistry and Physics</i>	2259
8	山东气象	613	<i>Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society</i>	1864
9	高原山地气象研究	599	<i>Annales Geophysicae</i>	1804
10	暴雨灾害	575	<i>Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics</i>	1537

P3, P5页榜单中给出。从CNKI数据库的检索结果可以看出,我国气象界在暴雨、热带气旋(台风)、数值预报、数值模拟等方向的论文产出最多,反映了灾害性天气预报与天气预报方法改进方面是我国气象科研业务人员亟待寻求突破的方面。同时还可看出,天气业务越来越呈现出向其他领域交叉的发展趋势。从近几年才建刊、却跻身前10位的《沙漠与绿洲气象》和《高原山地气象研究》的主题论文刊载量可以看出,我国特色专业气象服务和区域特色气候研究与预报服务正在形成研究热点,并已取得了可喜进展。从SCI-E被引频次最高的热门文献以及刊载期刊最多的是*Journal of Climate*,可以看出,受政治和经济影响,气候研究与业务是近20年来国际天气业务研究中的重中之重。

3 结论

本文仅对文章开始列出的检索式命中文献进行统计分析,分析结果仅基于所选主题词,虽然难免遗漏,但大体可以概括描述“天气业务”领域的基本趋势和发展现状。从文献产出量可以看出,20世纪90年

代开始,国内外在天气业务方面的发展十分迅速。无论是国家影响力还是机构产出量,美国都独占鳌头,领先优势巨大;对比大气科学其他分支领域在国际的影响力^[3,4],中国在此领域的国际地位较高,国际合作也较多。中国国内对天气业务的重视从90年代开始就未曾松懈,“领军人物”多出自高校、研究所,“领军机构”也以高校、研究所居多。值得关注的是,作为省级业务单位的广西气象台的文献产出量排到了国内机构的第10位,而省级行业刊物和内部刊物也逐渐成为天气业务的重要交流平台之一,可见省级业务单位对我国天气业务的发展具有很大的推动作用。

参考文献

- [1] 端义宏,金荣花.我国现代天气业务现状及未来发展趋势.气象科技进展,2012,2(5):6-11.
- [2] 王梅英,刘雪立,王璞.h-指数在期刊评价中的地位和作用.中国科技期刊研究,2012,23(3):387-390.
- [3] 胡英,张萌.空间天气领域文献计量指标分析.气象科技进展,2012,1(4):49-52.
- [4] 张萌,胡英.“雷达气象”文献聚焦分析.气象科技进展,2012,2(1):54-55.

现代民航气象业务进展

■ 周建华 林彩燕

民用航空气象，作为我国航空运输系统的重要组成部分，是民航安全、快速、持续和有效发展的重要保障。伴随中国民航（在本文的论述中不包括港澳台地区）60年的发展历程，中国民航气象事业由诞生到成长，随着社会、经济环境的变化，不断发展壮大。今天，虽然与航空有关的各类技术飞速发展，但天气仍然是影响航空安全、正常与效率的最重要因素之一。

我国民航气象业务隶属于中国民用航空局管理，接受中国气象局的行业管理与业务指导，与军事气象等其他行业气象在业务、科研、培训等各方面保持密切的合作，与大学及科研院所在科研、培训与应用技术研究等领域也保持密切的合作。在全球范围内，民航气象由国际民航组织（ICAO）和世界气象组织（WMO）两个政府间组织共同管理，前者提出服务需求与技术标准，后者组织实施和提供技术支持。我国民用航空气象情报主要通过北京区域飞行气象情报交换中心参与国际交换。国内外的总体组织框架如图1和图2所示。

一、民用航空气象目前整体发展状况

风、能见度和云底高度是机场最低运行标准的主要指标，不同的机场、不同的跑道、不同的机型、不同的机长都有不同的标准，只有在所有标准都符合最低运行标准时，飞机才能起飞或者降落。因此每个机场都必须设置气象台或者气象站，提供机场观测、机场预报和服务。

1. 我国民航业发展概况

新中国成立以来，我国民用

航空运输业不断发展，航线网络不断拓展，运输能力持续增强。从新中国民航创立之初的40个小型简易机场、12架小型飞机和12条短程航线，年旅客运输量仅1万人次，发展到今天的183个运输机场、1850多架运输飞机和2290条（截至2011年底）遍布全球的定期航班航线，年旅客运输量达到2.9317亿人次。首都机场已经成为亚洲最大的机场，全国航空运输总量世界排名从1978年的第37位上升到目前的第2位。

2. 民用航空气象业务运行体系

航空气象业务随着民航业发展的需要而不断发展变化。从1950年代开始，随着机场的开航设置气象台；90年代随着飞行量的增加，为了加强资源共享、减少重复劳动、提高工作效率，开始设置地区气象中心；2008年，随着民航运行管理、航空公司集中运行控制、流量管理、协同决策等各方面的需要，设置了民航气象中心。民航气象业务单位包括1个民航气象中心、7个地区气象中心和160多个机场气象台（站），还建立了9个国际航空

气象监视台（地区气象中心或机场气象台兼任），1个中国民航飞行气象情报交换中心（民航气象中心信息室兼任）。目前已基本形成了“民航气象中心—地区气象中心—机场气象台”自上而下的逐级运行管理、业务指导与技术支持的“一体化”运行模式。

从业务发展的角度看，1950—1970年代，主要以人工观测为主，信息传递采用人工发报的方式；到1980年代，引入自动观测系统，显著提高了机场运行标准；1990年代初期，引入多普勒天气雷达；进入21世纪，随着民航体制改革和规范化管理的需要建立法规标准体系；2004年，随着民航强国与气象强国的发展需要开始承担国际义务，2010年，民航气象中心与国家气象中心共同建立的亚洲航空气象服务网站业务化运行。2010年开始，随着服务格局的变化调整服务方式，建立了分级区域预警预报与服务模式，并建立了国际航路监视业务。2011年，民航气象中心承担了亚洲重要气象情报咨询试验中心的工

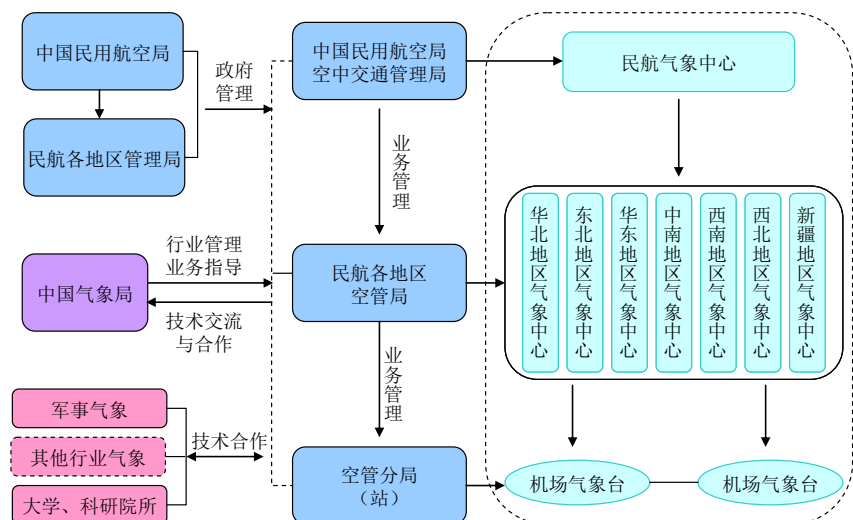


图1我国民用航空气象的国内业务合作组织框架示意图

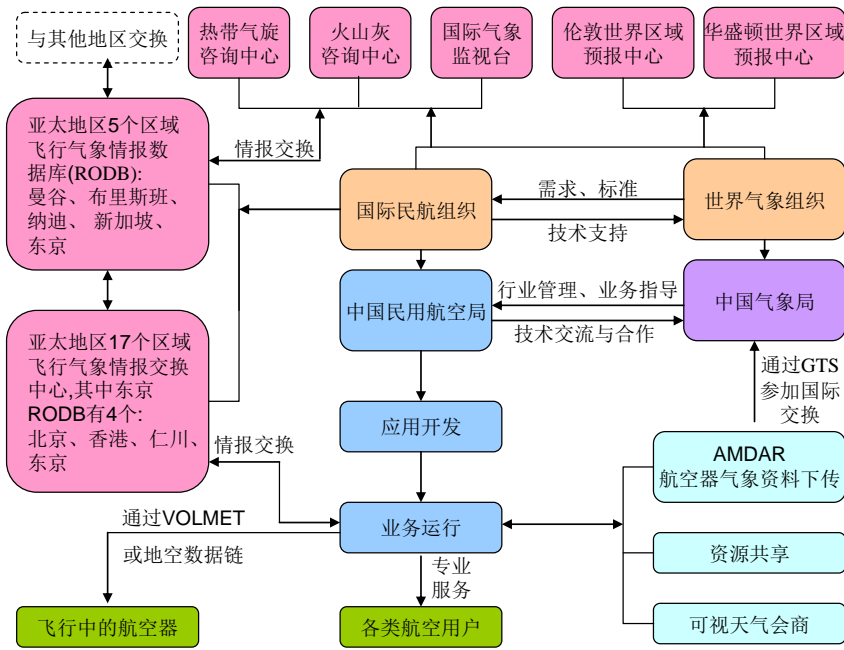


图2 民用航空气象的国际组织框架示意图

作，目前正在积极争取成为亚洲重要气象情报咨询中心。

3. 民用航空气象业务流程

民用航空气象工作的基本任务是探测、收集、分析、处理气象资料，制作发布航空气象产品，及时、准确地提供民用航空活动所需的气象信息，为飞行安全、正常和效率服务。对飞行安全造成威胁的天气现象除了日常可见的低云、低能见度、大风、降雨、冰雪、雷电、台风等以外，还有飞行才能遭遇的颠簸、积冰、低空风切变与火山灰云。

地面观测和探测。民用航空气象地面观测是指对机场及视区范围，尤其是机场跑道和飞机进近着陆地带及起飞爬升区域的气象状况及其变化过程进行系统、连续地观察和测量。航空气象地面观测每一小时（或半小时）发布一次。航空气象地面观测由机场气象观测员借助安装在跑道附近的气象自动观测系统等设备发布。

航空气象探测目前主要依靠卫星、天气雷达、风廓线雷达等，对影响航空运输的强对流、风、低云、雾、沙尘等强天气现象和要素

进行探测。民航系统拥有的70多部天气雷达用于对机场及终端区的强对流天气进行探测。另外，目前的商用飞机上都装备了气象雷达。

航空器探测是高空气象探测的重要手段。航空器空中天气报告分数据和话音两种方式。航空器气象资料下传（AMDAR）是近年来航空气象业务上应用的一种重要的探测手段，飞机经过位置报告点时，通过地空数据链自动向地面报告实时风向、风速、温度等气象要素值，是数据形式的航空器空中天气报告。2003年3月，中国的AMDAR资料正式加入到世界气象组织的全球交换系统（GTS）中，填补了中国航空器探测气象资料的空白。

预警预报与产品制作。针对不同的用户及不同的需求，航空天气预报的种类分为：机场预报、着陆预报、起飞预报、航路预报、区域预报、重要气象情报、机场警报和风切变警报等。预报和警报的主要天气和要素包括风、能见度、云、强对流天气、沙尘、颠簸、积冰等，并根据用户的不同需求制作不同的产品。

航空天气预报的理论一般与天气预报别无二致，但是航空天气预报的内容与要求却与一般天气预报有较大区别。一是精细化，它通常包括云量、云状、云高、能见度、风向风速、天气现象的出现时间和它们随时间的变化，以满足用户定时、定量、定点的要求；二是范围广泛，地理区域通常包括飞行航路和区域的所有高度层，需要预报的内容除了日常可见的危险天气，还包括航空飞行活动才能遭遇的积冰、颠簸、低空风切变等天气现象。

飞行气象情报国内国际交换。航空气象的信息传递主要依靠民航气象数据库系统，该系统覆盖国内100多个机场。民航各地区气象中心根据各自的职责将从国内获取的气象资料经过计算机加工处理转发给民航气象中心，再由民航气象中心向民航地区气象中心和机场气象台（站）进行广播。目前，我国有30多个机场的天气报告和预报通过航空固定电信网（AFTN）参加国际飞行气象情报交换。

专业服务。航空气象服务的对象主要有航空公司、空中交通管理部门、机场及其他与航空有关的部门。为航空公司提供的气象服务主要有以下两个方面：一是为航空公司的运行控制部门提供气象信息；二是在飞机起飞前，为机组人员提供气象服务。

另外，当开辟新航线时，需要充分考虑该航线上盛行风向、对流层顶高度、高空急流等气象因素的影响，充分利用气象资源，选择最经济的飞行高度和航线，不但可以提高飞行安全系数，而且有助于提高航空公司的经济效益。当新建机场时，在机场选址、跑道方向确定和飞行程序设计时，都必须充分考虑当地的气象条件，趋利避害，以最大限度地提高机场的利用率。

二、民航的发展对航空气象业务与服务的新需求

发达国家的经验告诉我们，当航空运输业发展到一定的水平时，天气将成为影响其发展的重要因素。目前我国35%以上的航班延误是由于天气原因造成的，流量控制造成的延误中也有许多是天气原因造成的。随着我国民航运输业持续快速发展，空中交通管理部门、航空公司、机场等航空气象用户无论从飞行安全，还是从社会效益和经济效益等角度，都对民航气象情报分发的及时性、预警预报的准确率、信息资源的集约化、气象产品的精细化、气象服务的决策辅助能力和集中统一程度等方面提出了日益增长的需求，这是民航气象系统现有业务格局所不能满足的。

1. 增进航空安全

据美国运输安全委员会（NTSB）的事故报告，许多航空事故都与天气有关。NTSB所报告的民用航空事故40%都与天气有关。天气或是事故的直接原因或是其中的影响因素。遗漏的、不及时的、费解的和错误的气象情报有可能导致机组、签派、空管人员对天气状况的错误认识，在气象情报及时、准确时，如果机组、签派、空管人员对气象知识的掌握程度不足和气象产品的使用能力不够也会对天气状况产生错误的理解，这些错觉导致了与天气有关的错误决策，从而引发航空事故。因此，危险天气的准确观测与预警预报、信息的及时可靠传送和直观易懂的显示对空管人员、签派人员和最先进入危险区域的机组至关重要。

2. 提高运行效率

随着中国民航运输业的飞速发展，不断增加的航班量使得在计划的时间和空域中实施航班计划有越来越多的困难，与天气有关的改航

和地面延误决策势必随之增加，航班计划的更改将会愈来愈频繁。为了提高运行效率，航空公司、空管部门、机场必须更精确地了解空域容量的紧张将出现在何时何地，同时也不得不更准确地预测与天气有关的改航决策在何时何地最可能出现，以便高效地使用空域，灵活地计划航班，以适应时间和空域分配上的不足。

三、未来十年民航气象业务发展

随着全球经济一体化，航空运输对经济的发展将起到越来越重要的作用。为了积极应对航空运输业未来发展所面临的机遇和挑战，美国、欧洲先后提出了面向航空运输业快速发展的“下一代航空运输系统（NextGen）”综合计划和“单一天空计划（SESAR）”，并在21世纪初陆续开始研究与实施。

近年来，中国民航全行业持续快速发展，民航大国的规模已经形成。2009年中国民航提出了建设民航强国的目标：到2020年，满足旅客运输量约7亿人次的市场需求，民航开始成为大众化的出行方式，基本建立空中客运快线系统；到2030年，满足旅客运输量约15亿人次的市场需求。这个目标对航空运输系统提出了更高的要求，需要构建更先进的航空运输系统，从根本上解决航空运输各个环节的服务保障能力与快速增长的需求之间的矛盾。民航气象服务必然是其中不可或缺的系统之一。

1. 适应民航发展的民用航空气象总体技术目标

根据航空运输业发展的要求，运行协调决策机制、流量管理、航空公司集中运行控制、通用航空（低空飞行）对航空气象服务提出了严峻挑战。民航的运行与管理，是一个多部门协同合作的复杂过程，需要各航空公司、空管部门、

机场部门建立共同的情景意识，其中共同的天气情景意识是重要的基础，但是，目前有关各部门具有共同的天气情景意识存在许多限制。因此，民用航空气象未来总体技术目标是：唯一权威气象信息资料来源、气象参与飞行全过程决策、气象信息与决策工具高度融合。

唯一权威气象信息资料来源。目前航空用户使用的气象信息来自各种渠道。有时，航空运行决策接收到来自不同渠道的气象信息，用户很难判断哪个更准确，或者不同用户在对同一事件进行处理时由于使用不同的气象信息而得出不同的结论。为了保证提供给用户的气象信息的一致性和连续性，使用户具有共同的天气情景意识，民航气象系统提供的气象信息将收集、融合、处理成唯一的权威信息资料来源，并由统一的气象信息共享网络来分发气象信息。唯一权威信息源是政府和用户共同决策过程中使用的主要信息。目前气象信息源的点对点连接的复杂构架将被一个所有用户都能访问的唯一路径替代。

气象参与飞行全过程决策。气象参与飞行全过程决策是指气象服务贯穿于飞行决策的始终，满足不同的决策系统的需要。如气候资料用于机场选址、跑道方向的选择；气象信息从飞行前数周甚至数月开始用于编制和分析所有飞行计划，供飞行员和签派员选择基于天气和有关联的约束条件的飞行计划；所需预报时段涵盖飞行前的天、周、月甚至年，预报种类包括临近预报、短时预报、短期预报、中长期预报、气候预测；满足飞行过程中空中交通管制不同阶段的需要，提供天气报告、警报、临近预报、短时预报等；对系统能力有重大影响的天气预报可以用概率预报，用以评估风险。

（下转75页）

美国“强对流预报哲学与技术思维方法”简述

■ 周庆亮

与其他人类探索活动不同，强天气预报是依赖科学认知中细微差别的各个方面来预测即将发生的、可能从来没有出现过的灾害。你无法在强天气预报领域里找到任何一种单独的、完全可靠的方法来解决这个问题。因此，那些习惯用一种预报方法或者完全依赖数值预报的人，在制作强天气预报时很快就会陷入困境，甚至导致预报失败。

“常规预报”已经拥有丰富的数据样本、可预报的大气动力因子（大部分是静力平衡的）和悠久的历史；而强天气预报只有一些粗略的数据，大气运动也大多不满足地转平衡，并且坚实可靠的研究只有短短几十年历史。所以，成功的强天气预报需要把客观分析和主观思考非常巧妙的结合起来。

一、预报流程

预报的目的是准确地断定正在发生什么，未来它将可能如何变化。其决策过程分为三部分：信息的认识、理解以及预测，分别对应着气象术语中的分析、诊断和预报。

1. 分析 (Analysis, “What”)

分析过程是解决正在发生什么天气的问题。这在整个预报过程中是第一步，是一个认知的过程。预报员需要查阅各种图形的、数据形式的当前天气观测记录，查看雷达和卫星图像等遥感数据，甚至眺望窗外。这个步骤使预报员在脑海中构建了针对当前大气状态的一个四维空间模型。20世纪90年代以前，分析过程常常因为绘图或通信系统的局限而导致信息缺乏。如今情况发生了变化，预报员拥有了丰富的天气图和数据，这就需要预报员优先选择一些数据而不是随意使用，并且需要熟悉所使用的数据内涵，

从而在其中选优。因为像地面图这类的图形产品有大量的原始资料信息使得预报员应接不暇，天气图手工分析技术可以帮助预报员有条不紊地分析关键要素，从而找到天气环流特征。

2. 诊断 (Diagnosis, “Why”)

诊断过程试图去解释观测到的天气现象为什么会发生。这是一个理解的过程。预报员通过综合分析各种图表、图像以及其他产品，从而在脑海中对预报区域发生的整个天气过程有一个连贯、统一的理解。当诊断工作完成后，我们在分析中关注的任何一点，比如局地低温或者风暴的存在，都能得到正确的解释。

诊断并不是一个自身独立的过程，它在分析过程中需要不断地补充和强化。诊断工作的完成，可以使预报员对某一个天气为什么发生得到一个确定的答案。

3. 预报 (Prognosis, “How”)

预报过程是指对观测到的天气未来如何变化做出判断。这是一个推断的过程。该过程建立在分析和诊断的基础上，并且要依靠预报员自身对天气的直观感知、深刻洞察和丰富的经验来完成。严格意义上的人工预报，是要在即使没有计算机模式预报的时候，也能够对锋面系统、气团运动、温度趋势以及天气事件做出确定的预报。实际上，计算机模型能够提高人工预报能力，特别是对未来12~24h的预报，作用最为明显。但是，概念模型、经验、直觉，当然还有来自诊断分析的理解力，都对最终的预报有巨大的影响。

二、客观方法

在分析、诊断和预报天气时，

【编者语】

作者于2010年3月4—6日在美国俄克拉荷马州参加美国风暴预报中心主办的“第十届全国强对流天气研讨会”期间，遇见正在签名售书的强对流预报气象学家Tim Vasquez先生，他刚刚完成新著*Severe Storm Forecasting*。作者将书中关于美国开展强对流预报的一些预报哲学与技术思维方法进行整理后，在此与大家分享。

有很多客观方法。客观方法是指建立在数学、气象、物理甚至统计关系上的一套严密分析方案。也就是说，客观方法中已经包含了很多技巧。因此，不懂气象知识的人也可以通过运用客观方法得到有意义的预报结果。

动力学预报方法（从数值模式中得到的）和主观预报方法（预报员没有借助数值预报）相比，开始的几个小时内，人类的主观预报效果是最好的，因为预报员能够对当前大气的状态做出很好的诊断，并且直觉感官能够对未来几小时之内的变化做出准确的预报。模式不能解决大气中小尺度天气的性质和雷达、卫星以及室外观测等问题，这说明在强天气风暴预报中预报员的作用是巨大的。

然而对于小尺度以上的天气系统来说，运动方程和物理参数化变成了主要因子，对于时效大于4~6h的预报，模式预报效果好于预报员主观预报。当预报时效延长到数天时，模式预报效果仅仅比气候平均量稍好，这个时段的预报称为中期预报。当预报时效超过一周时，动力学预报虽然能够精细描述大尺度的天气，但它的预报效果并不好，这个时段的预报称为长期预报。

1. 数值模型

在强天气预报中，动力学模型（通常被直接称为“模型”）被大量应用。这些模型，是基于运动方

程基本精确的三维空间上的模拟，从而用数学方法及时地反演出某地的大气运动、温度以及湿度的情况。因为实际大气并不能被非常精确的模式化，因此模式模拟的误差随时间逐渐增加。与实况相比，当前大部分数值模式对未来5~10d的预报效果都很不理想。随着预报时效的增长，误差会越来越大，大部分天气预报机构将16d作为最长的预报时效。

无法精确模拟大气的另一个影响，就是无法精确地模拟出那些导致雷暴天气的重要大气特性。很多情况下，在大气层中层，1℃的差别可能会导致晴天或有龙卷超级单体出现截然不同的两种情况。尽管每个州早晨仅仅放飞一到两个探空气球，但是数值模式还是高度依赖这些探空数据。如今有很多方法去改善这种局限，但是数值模式的主体依然是探空气球的数据。相比之下，人们通常可以通过简单地观测卫星、雷达影像来获取探空站之间的各种大气信息。

目前，用于日常预报的数值模式，能够很好的解决州、郡以及全国范围预报，但是对单个雷暴天气的预报效果并不好，同样模式对冰雹、龙卷以及风暴的演变过程的模拟也很不理想。因此，数值模式可以很好地描述风暴产生前的环境场，但是一旦风暴生成后模式输出产品就不是很好用了。

2. 诊断参数

预报员可能会用到一些诊断参数，这些参数是以预报因子的形式表现出来的观测数据。这个过程甚至不需要使用计算机或者数值模式，只需要手动计算或者估计就可以。像稳定度指数和切变指数都是大家熟知的诊断参数。诊断参数为我们提供了一个简单的方法和明确清晰的预报因子。

尽管诊断参数可以简化我们的预报工作，但是同样也存在很多问题。首先，用这些参数来代表当

前正在发生的实际天气过程，只能用抽象的方式来实现。一个参数可能存在不正确的背景代表性，比如在暖锋北侧的基于地面计算的不稳定场就是这样的。另一个问题就是输入量没有代表性，比如使用12时的观测场来描绘00时（上述时间都为世界时）要发生的风暴。诊断参数还可能有数学上的缺陷，存在不充分的或者是有关偏差的检验评估。此外，多维度构成的参数还存在噪音问题。例如，强天气威胁指数（SWEAT Index），某一个特定输入值的组合或者误差就会导致没有代表性的结果。

在20世纪60—70年代，中尺度天气预报技术和计算机技术还不成熟，基于指数的预报制作非常普遍。这些技术使用了几十种稳定度和切变指数，在某些方面形成了集合预报的方法。尽管在概念模型、临近预报和分析方法中诊断参数体现了优越性，但是我们在使用它们时还是越精简越好。

一名谨慎的预报员必须理解所有诊断参数的内涵，把它作为预报的一个组成部分，并最精炼地去使用它们，把它们和其他分析工具（如数值模式）的输出结果做同样的处理。尽管很多诊断参数，比如不稳定度和切变大小是很有用的，但是预报员仍然需要仔细地分析基本的物理量场。

3. 技术流程

预报完全可以基于一个流程图或者决策树进行。因此，非常重要的一点是一个诊断参数的输出完全取决于一个或多个因子条件。如今存在大量值得我们注意的方法，像1979年的Moller流程图和1987年的Colquhoun方法。他们对决策过程的诸多重要方面的诠释是非常有用的，但是这些方法很死板，并没有考虑动力条件和主观因素。也就是说，在处理一些简单问题时，这些方法是非常有用的，比如对高空风玫瑰图进行分析。然而对于一些比

较复杂的非线性问题，比如对雷暴形成或强天气类型的预报，这些方法的误差会迅速的增加。

Moller在20世纪70年代后期提出了南部平原风暴预报流程图（图1）。从图中可以看到，这是一个基于环流型（Pattern-Based）的雷暴预报流程图，这些环流型特性均来自地面天气图。大气的非线性特征使任何一个固定不变的预报“决策树”在预报中的应用都过于简单和缺乏辨别力，但是这种工具对于阐述预报因子之间的关系是非常有用的。

三、主观方法

主观预报方法，需要应用理解力、相关知识储备、空间想象力以及完美的推理能力。如今计算机还不具备这些能力，所以人的主观能动性是预报过程中很重要的一部分：预报员运用很多综合分析技巧、多种直觉感受。但是决策方法有很大的随意性和不确定性，主要是靠经验来获得。

1982年Len Snellman给出了一个非常有用的主观分析和诊断的框架，称为“预报漏斗”——预报天气的必要步骤：假设一种天气过程仅仅是由比其尺度更大的天气过程引发的，所以要先从“大处”出发，然后依次在比之更小的尺度中分析下去。这种自上而下（从大到小）的分析方法意味着强天气预报需要先从全球天气尺度的天气图开始分析，然后再分析其中的中尺度系统。

1. 手工分析

手工分析天气图，被普遍地认为是预报员以及用户们简单地强化天气图上细节的过程。然而，有经验的预报员对此看法不同。手工分析是提高预报员自身的天气形势意识能力的一种实践。预报员需要吃透数据，并且综合所有的信息，脑海里形成一个完整的大气结构图。各种信息的获取，是来自于过程，而非结果。

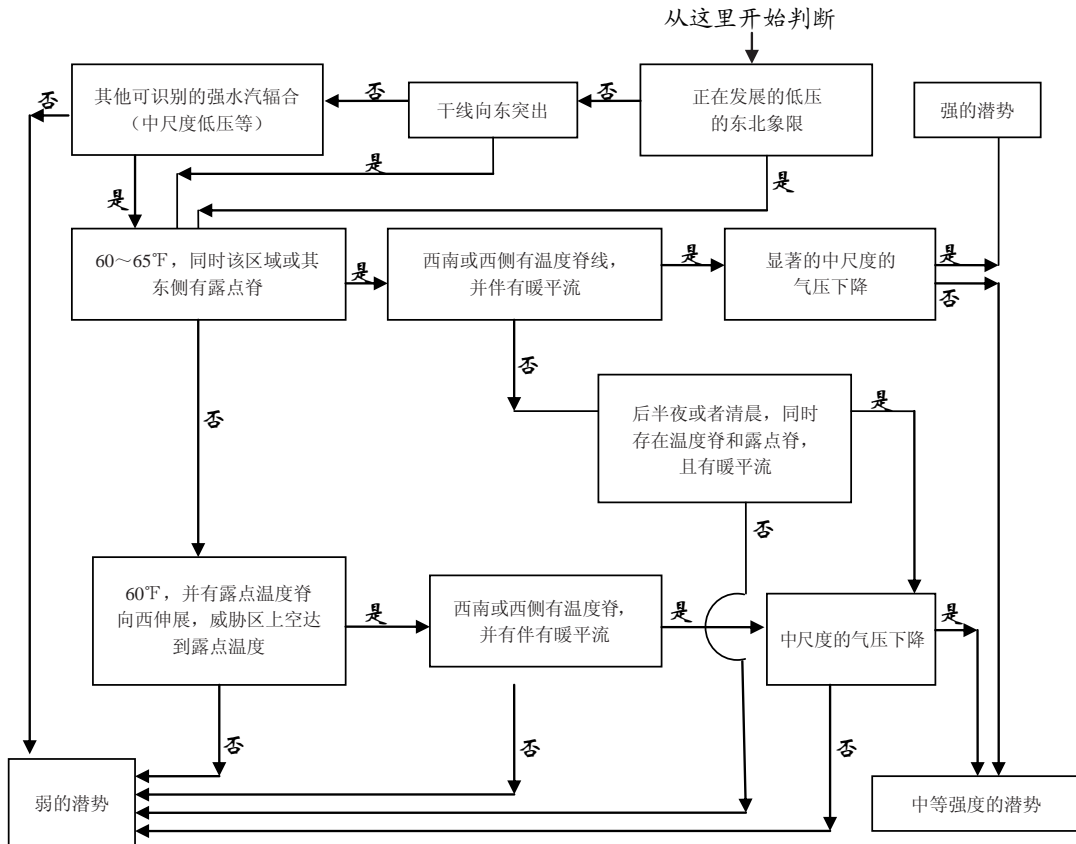


图1 美国南部平原风暴预报流程图

除非要图示给其他人看，否则天气图分析中标准的符号使用和整洁图面并不那么重要。天气图可以是集一切有效观测系统各种数据的资料同化综合分析的草图板，比如可以在地面图上勾勒出雷达动画中显示的出流边界位置的连续变化，仅仅是将之草草地速记下来。通常我们不需要去分析上层大气天气图上的等值线，因为在高空图上没有非常小尺度的观测数据，并且预报模式对高空图上的等高线、等温线、等湿度线以及风场的客观分析已经做得非常好了。然而，在图上确定急流位置、寻找短波槽、标注重要的演变都会极大地帮助预报员进行诊断分析，这些工作不能仅仅留给计算机来完成。

总之，每天大密度的地面数据为预报员提供了很好的条件，他们可以从中发现大量的重要天气形势和正在发生的天气现象。当高质

量的数据呈现时，预报员在识别天气形势重要特征方面要比电脑表现的更好，就像设计师在由计算机辅助的系统房屋设计中，领悟其社会的、美学的以及市场的价值方面要比计算机出色得多一样，尽管这种软件自身能够很容易的自动生成大量的土木工程方面的数据。大气探测、雷达数据、廓线资料和卫星影像也是分析诊断的主要工具。探空数据可以经过猜想场和数值预报场的修正，从而得到每天最大加热时刻、假想的气块能够被抬升时的探空预报场。只要有一根铅笔和半分钟的时间，这些工作就都可以完成，并且对一名有经验的预报员来说，这样做比用一大堆诊断参数有意义得多。

2. 概念模型

概念模型是指描绘了某一特定天气过程中大部分代表性特征的一个理想模型。它作为一个工作流

程，可以帮助我们理解一个复杂的天气过程和预测其发展变化。在 *Severe Storm Forecasting* 一书中，频繁使用了概念模型，从而用浅显易懂的方式陈述一些复杂的观点。像大家熟知的超级单体风暴示意图，风暴的每一部分都被加上了注解，就是一个概念模型的范例。

尽管概念模型可以在很大程度上帮助我们构想和记忆天气过程的主要部分，但是也会出现这样的不足，就是概念模型可能促使像“蛋糕切割器”机械地切蛋糕一样，使得考虑预报的方式千篇一律！然而为了每一份预报的制作准确，针对不同的天气过程需遵循各自特定的条件来分析预报。预报员只有通过仔细检查天气过程中的各个组成部分，考虑每个部分对天气产生的权重来避免上述问题的发生。这就是我们所说的“配料法”。换句话说，预报员应该力求去关心实际正

在发生的天气过程而不是往概念模型上生搬硬套。但是如果系统自身太过于复杂或者各种配料的作用并不是很清楚的情况下,那么从概念模型入手不失为一个明智之举。

美国著名强对流气象学家 Charles Doswell 指出,仅仅靠定量模式已经不能满足天气预报的需要。因此,作为气象学家和预报员需要对天气过程继续使用一些定性分析的信息,开展诊断分析这个关键的步骤。很多新技术的倡导者(这些人并不是气象专家或预报员)并不理解诊断工作是科学推理中不可或缺的重要一环。他们视其为一种适合自动化的、无聊的、重复性的工作。这对于气象科学来说是一场悲剧。

四、平衡预报(The Balanced Forecast)

目前最常见的预报错误,是由于预报员急于分析而忽略诊断方法的运用或者是缺乏理解以及综合各类气象信息的能力导致的。有些预报员强烈怀疑,甚至公然的蔑视各种模式(比如数值模式或概念模型),但是在他们的预报过程中又强烈的依赖于这些模式,从某种程度上来讲这已经比较普遍了。这个问题就是我们通常所说的“气象癌症”,这个说法由气象学家 Len Snellman 在 1977 年提出。但我们不能完全归咎于预报员。很多预报部门由于受到技术和业务流程设计能力的限制,导致对天气的分析能力下降,并且要求许多预报员从诊断分析里面解脱出来,强调直接使用数值模式结果来预报以节省时间。在过去的三十年中,许多杂志文章都关注研究数值模拟,天气个例分析都是从数组、诊断分析量着手,而不是进行天气过程和机理分析,这也促使了“气象癌症”的发生。

预报员如果不综合运用各种预报方法与手段去制做预报,也许可以准确描述在当地发生的天气以及 RUC 模式产品有什么变化,但

是却无法正确解释为什么地面风会回转,或者为什么当地的温度会上升而不是其他地方。这些预报也许是经过认真分析和预测而得出的结论,但是很明显没有进行相关的诊断工作,缺乏深入细致的分析。

为了得到有依据的可信预报结果,预报员们必须在分析、诊断和预报这三个方面做得很好。这就需要灵活运用诊断量、模式结果和人工分析的结果。对危险天气区的探空廓线的分析是非常有必要的。随着分析过程的进行,预报员应该在脑海中对天气过程有一个完整的架构。RUC 模式可以用来预报暖锋的移动,但是在风暴即将生成时就不能直接采用了。我们要能够合理地融合各种预报工具以及数值模式指导产品的精髓,同时还要全面地理解各种工具的优缺点,明白何时该优先采用何种工具。

诊断和预报的最后阶段,也就是如何利用越来越重要的启发式决策手段来得到预报结果的一个过程。而这决定于两个关键因素:专业技能和预报经验。专业技能是指预报员运用科学知识的能力。预报员应该时刻了解最新的有关天气预报的文献、报告和相关会议,要用积极开放的心态去接受新观点和新概念。预报经验不是由年龄大小或从事预报工作的履历长短来衡量的,而是以从过去预报中总结经验的能力来判断,需要靠长时间解决问题经验的积累和对过去预报决策的不断检验和总结。

五、总结与讨论

事实证明,只有那些最有天赋或最一心一意、富有献身精神的预报员才能在强天气预报中获得长

久的成功。只靠一张单一的图表或一个幸运的估计是绝对不能做出成功的强天气预报的。一所名牌大学的气象学毕业生也许可以熟练地通过解偏导数来得到垂直运动,但是却无法将其运用到实际预报中去,这说明预报技术很难从书本上学习到。课本上的知识和答题的能力并不是成功的关键,关键在于能否将这些知识运用到预报中去。只有通过认真的解读、亲身体验再结合深入地研究才能够最终领悟气象学的精髓所在。

目前,我国的气象学家、首席预报员也不断地在强对流天气预报员培训、预报方法研究以及预报业务实践中总结提炼强天气预报中的哲学以及技术思维方法。陶祖钰在总结 2009 年秋开始的中国气象局全国预报员分级培训工作时,强调了业务预报员对于基础知识、天气实践、长期积累以及哲学思维运用的重要性;俞小鼎、孙继松和章国材等也深入阐述了怎样使用科学的技术思维做好强天气预报的分析、技术方法的研究。有理由相信,在融会贯通了国内外强天气气象学家总结、提炼出的强对流预报哲学与技术思维方法后,我国的强天气业务预报员将会如虎添翼。

致谢:本文得到了国家气象中心强天气预报中心刘鑫华博士的指导和张小雯的帮助。

(作者单位:国家气象中心)

深入阅读

- Vasquez T. 2009. Severe Storm Forecasting. Garland: Weather Graphics.
- 孙继松,陶祖钰. 2012. 强对流天气分析与预报中的若干基本问题. 气象, 38(2):164-173.
- 陶祖钰. 2011. 基础理论与预报实践. 气象, 37(2):129-135.
- 俞小鼎. 2011. 基于构成要素的预报方法——配料法. 气象, 37(8):913-918.
- 章国材. 2011. 强对流天气分析与预报. 北京:气象出版社.

气象科研成果应用效益评估指标设计与试验初探

王亚光 邹立尧 骆海英

气象科研成果应用效益是指气象科技人员通过复杂的脑力劳动所创造的知识产品和业务工具在气象业务中应用后所产生的效益、作用或效果。气象事业是社会公益性事业，气象科研成果的应用效益和作用主要体现在不断提高气象业务的科技含量，以及对气象业务能力持续的技术支撑，由此实现气象部门为政府、社会、国民经济各行业和全体公民提供更为满意的天气气候信息，从而达到全社会防灾减灾、合理利用气象信息的目的。气象科研成果应用的直接效益是解决气象业务中的关键技术问题，间接效益是从技术层面上支持气象业务提供可满足国家安全、经济发展和人民生活需要的气象信息产品。

基于以上概念，对51个气象科研项目应用效益的试验性评估，并在评估中建立和检验了评估指标设计的合理性和可行性。评估试验涉及的51个项目成果主要分为4类，即奥运科技攻关专项（3个）、农业科技成果转化资金项目（8个）、国家社会公益研究专项（33个）和科技基础性工作（7个）；立项时间在2002—2006年之间；项目均来源于科技部。评估重点是以上项目应用转化情况及所产生的社会经济利益。

一、评估指标的设计

在设计气象科研成果应用效益的评估指标时，首先应从确定项目成果的概念入手，采用分类的方法以表示项目成果的表现形式，以突出项目成果的应用特性；此外，还要从专家的评价结果确定科研项目成果的使用价值和成熟度，并以成果实际应用的层次、深度和时间段来表现成果的应用状态；最后，以

项目目标的实现情况和业务单位的应用证明判别成果的应用效果。通过这样的过程，最终形成气象科研成果应用效益的评估指标（表1）。

二、气象科研成果应用效益的评估试验

气象科研成果的评估采用了定量和定性相结合的指标评价方法，该方法常用于比较公共项目的绩效。首先依据评估的重点，设计可体现评估对象特征的核心指标，并依据关联要素进一步细化与分层设置具体指标。指标体系包含可直接表示评价结果的定量指标和无法用数据反映评价结果的定性指标。

1. 数据来源与处理方法

评估数据一是来源于科研项目的原始材料，如项目申报书、成果鉴定书、验收报告、应用证明、合同书等材料；二是来源于《气象科技成果效益情况调查问卷》和《项目成果应用调查追踪问卷》；两种来源的数据都填入统一的评估作业表中。

在数据处理上，根据专家审查会的意见，本评估对评估指标体系中的一级指标做了权重处理；权重系数分别为0.15，0.15，0.3，0.4。

计算方法是依据评分表将每项计分在作业单中累加，总分为100分。如，给51个项目成果表现（形式）赋予分数时，“知识产权”项的成果共有10件，每件1~3分；“作业工具”的成果共有223项，每件2~3分；“知识积累”项的成果666篇（本、册、次），1~3篇1分，5~7篇2分。权重处理后，该一级指标得分最高15分。

本次评估将各个项目的综合得分分为5个等级，以示项目成果应用效益的程度。

2. 评估结果和讨论

51个项目的评估得分结果在图1中给出。全部51个项目中，有13个项目得分在80~89分之间，占项目总数的25.5%，应用效益显著；27个项目得分在70~79分之间，占项目总数的52.9%，应用效益明显；7个项目在60~69分之间，占项目总数的13.7%，应用效益一般；4个项目在60分以下，占项目总数的7.8%，应用效益低。

依据以上数据得出的评估结论是：51个项目所产生的科研成果数量可观，且普遍具有很好的应用推广价值和前景，八成多的科研

表1 气象科研成果应用效益的评估指标

一级指标	二级指标及相关内容
成果表现	知识产权：专利、标准、软件
	科学积累：专著、论文、图集、被采纳的决策建议等 业务工具：软件系统、模型、计算方法、技术方法、技术规范、业务判据等
推广价值	适用领域：本单位、区域、部门、行业、跨行业
	使用价值：根据满足业务需求的程度（关键、支撑、辅助）确定价值 成果转化前景：成果的前瞻性、适用性、成熟度
应用状态	业务化：研究成果经业务试验测试和准业务运行后，在业务平台上正式运行
	准业务运行：项目成果按照业务要求运行，但未经正式考核、批准纳入业务流程 成果共享：指成果共享的程度和范围，如行业内、部门内、省内
应用效果	考核/合同指标：指项目完成任务书规定的研究内容，验收合格或超额完成
	承担单位支持力度：指项目承担单位给予额外的人、财、物力支持
	支撑作用/技术效果：指项目成果应用所形成的作用和技术效果 社会/经济效益：指应用单位应用项目成果后产生作用（效益）的评价

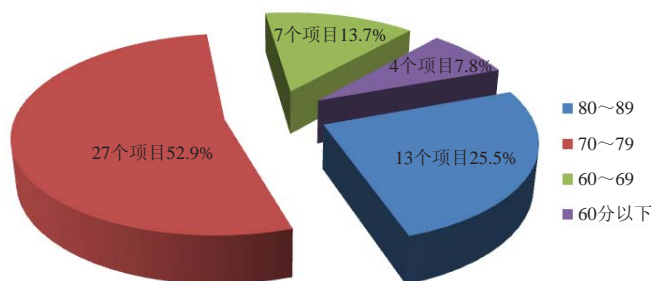


图1 51个项目占各分数段的数量和比例

成果（业务应用在半年以上）在气象业务活动中有不同程度的应用；应用效益平均得分为74.5分，项目成果的应用效益属中等水平。

应用效益得分较高的项目具有以下特点：（1）项目目标与业务实际应用的对接准确，立项时研究目标设计就是要实现业务应用；（2）项目成果的成熟度和使用价值高，属成熟的科技成果转化；（3）项目成果在实际业务中应用的时间相对较长，运行较为稳定；

（4）项目成果已取得业务管理部门正式的业务运行许可；（5）投资规模大的应用基础性项目，业务应用的范围广。

应用效益得分不高的项目有以下原因：（1）有些项目虽已结题，但项目成果仍处于业务试验阶段，尚未达到成熟和可转化的程度；（2）有些项目成果在业务中运行的时间较短，尚未达到业务部门运行的考核要求和业务主管部门运行许可；（3）有些项目

的成果只有部分应用或未进行推广应用，无法体现出应用效益；

（4）同类但水平更高的项目成果转化业务。

本次评估试验的4类项目多是面向业务的应用技术研发项目，立项目标主要是通过项目研发，解决业务技术中的关键问题。其中，也有一些科技基础平台建设项目和成果转化项目。尽管都是应用技术类的项目，但也存在立项目标各异、成果载体不同、立项时间不同步、应用时间长短不一等问题，而使用同一尺度衡量其应用效益，确有不妥之处，会使客观评价产生偏差。但此次的评估也初步检验了气象科研成果应用效益评估指标设计的可行性和合理性，并为今后设计气象科研成果的应用效益评价指标、改进评价方法提供了依据和思路。

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）

（上接57页）

的东南暖湿气流交汇。这些天气尺度系统的合理配置及相互作用，为大暴雨过程发生的提供了十分有利的环流背景条件。500hPa槽的东移，槽前上升运动强。850hPa辐合与200hPa辐散，形成抽吸效应。抽吸效应与垂直上升运动互相耦合，有利于上升运动的维持。副高的西南侧与热带低压之间形成强的水平气压梯度带，低层形成了较强的东南气流和强水汽输送带，其中925hPa超低空水汽输送贡献更大。过程前期积累了一定的不稳定能量，有利于中尺度对流系统的发展。

（2）分析卫星云图与雷达资料表明， β 尺度对流云团的不断发展与移入是造成广州地区大暴雨的直接

原因，强降雨主要发生在冷云区内或者TBB梯度最大处。影响广州地区的大暴雨是3个 β 尺度对流云团引起的。对流单体强盛时期，上游产生新的单体，发展并移入，导致白云机场长时间受雷雨影响，对飞行产生了较大的影响。

（3）自动站风场资料表明，中尺度对流系统因强降水产生的次级环流，在上游地区形成地面辐合线，可能是上游中尺度对流云团发展的触发机制。风廓线雷达探空风能够探测到暴雨的一些中尺度特征，暴雨的增幅可能与低空风速的脉动及风向的变化有关。

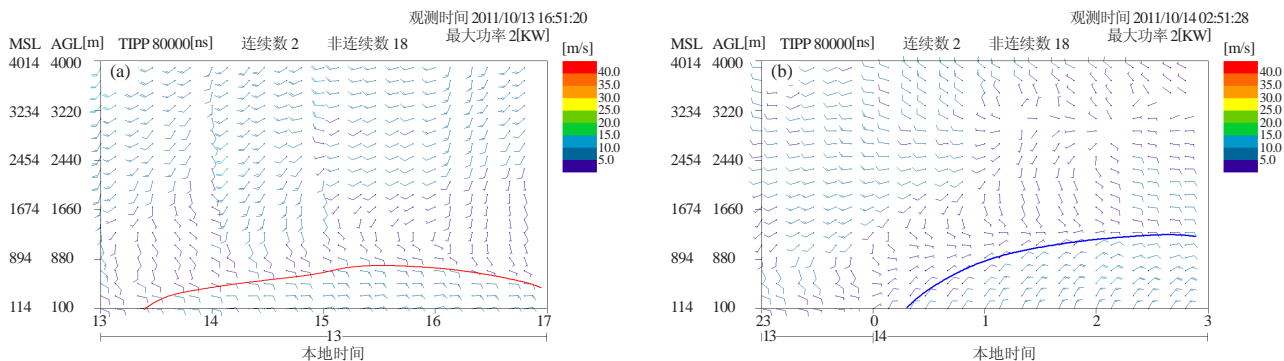


图3 广州白云机场风廓线雷达探空风场时序图
(a) 13日13—17时，(b) 13日23时—14日03时

国家级气象园区骨干网络的规范化调整

■ 周琰 蒋敏慧 张恩超 王彬 郭利

中国气象局骨干网络系统承担着国家级气象园区内各直属机构的业务及办公的局域网互联互通功能。随着气象应用近年来日新月异的发展, 各类业务系统与办公的日常运行对中国气象局骨干网的承载性能的要求明显提升, 而原有骨干网络系统自正式业务化运行至今已超过十年, 网络设备性能过于老旧、应用的网络技术面临过时, 已无法满足国家级业务与办公运行的未来发展需求, 亟需升级改造。本文针对骨干网原有架构及运行情况进行分析, 充分结合国家级园区网内各机构的办公与业务发展需求, 对骨干网络系统提出了升级改造总体设计思路, 将整体网络结构进行优化调整。2012年3—5月, 根据升级设计方案, 中国气象局骨干网升级实施建设已初步完成, 本文在升级实施工程完成的基础上详细分析了新建骨干网络系统的性能变化以及业务化运行效益。

一、原有骨干网络系统概述

1. 整体架构

中国气象局骨干网络系统于2001年开始一期建设, 在2004年为实现气象科技大楼(气象中心和气候中心)的网络接入, 进行了骨干

网二期系统建设。整个骨干网络系统(图1)采用了三层网络架构: 核心层、汇聚层、接入层。其中, 核心层主要承担整个园区网的高速转发功能, 由四台高端交换机全网状冗余互联, 分为两个设备组, 分别承担园区内南区 and 北区各单位和相关业务系统的网络接入功能; 汇聚层主要承担园区内各单位以及一些公共资源(高性能计算、存储系统等)到骨干网核心层的直接接入; 接入层主要承担各单位楼宇的终端入网功能。各层网络设备并未设立任何安全控制措施。

2. 各机构局域网

原有骨干网络系统统一规划了全网互联的IP地址及网络路由, 并统一配置了汇聚层网络交换机, 但不涉及各机构局域网内部的建设。近几年, 由于园区机构改革和气象业务发展的需要, 各机构局域网络系统变化较大而且发展迅速, 均自行升级改造或重新建设了各自的局域网系统, 更换了新的网络接入设备并自行管理和维护。由于园区内各机构局域网络建设情况各不相同, 且实现各机构连通骨干网的汇聚层接入点也均为自行管辖, 导致难以实现统一的建设与管理规范。

3. 存在问题分析

原有国家级园区骨干网络系统主要存在如下问题:

(1) 骨干网系统核心架构由四台网络交换机组成, 分担负责局大院南、北区单位的网络互连, 网络路径管理复杂, 故障定位和排查较困难, 跨南北区的端到端网络传输层级较多, 网络扩展性较差。

(2) 每个机构的子网系统均由各机构自行设计、建设和维护管理, 缺乏整体的系统规划和管理规范, 由于人员意识和经费投资不同, 机构子网的发展很不平衡, 对气象业务的整体支撑能力不足, 网络设备的综合利用率不高。

(3) 骨干网一张物理网承载了园区各机构众多的业务系统、办公系统以及所有用户的互联网访问, 由于网络设备复用以及缺少必要的安全隔离措施和相关的控制手段, 目前只要用户接入网络并开通互联网访问, 便可没有任何限制地同时访问业务网、办公网和互联网, 任何一种访问行为引入的病毒和恶意程序, 都可能导致在整个网络中传播, 给骨干网系统整体运行稳定性带来影响。

(4) 骨干网按照行政区划/地理位置进行网络接入功能区分, 而业务系统分散在各个机构子网中, 未能实现业务系统的统一网络接入和共享使用, 不同机构之间的业务系统互访需要跨多台网络设备、经多级转发, 随着同级机构业务交流的增多, 将严重影响信息传输的时效性。

这些主要问题一定程度上制约了国家级园区骨干网络系统的发展, 不利于新气象业务系统的设计

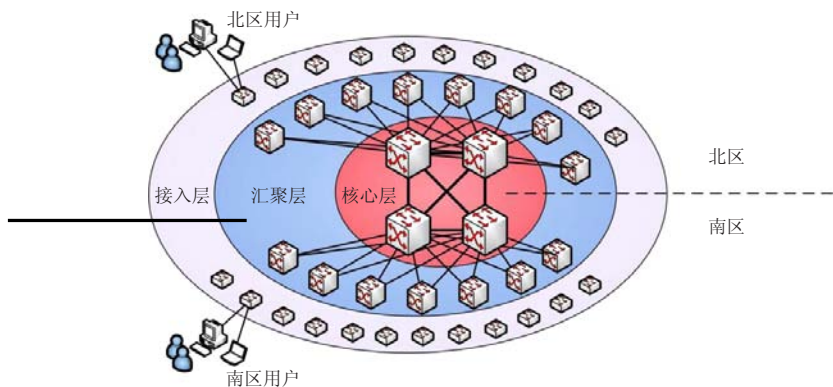


图1 中国气象局骨干网络系统原架构

与实现。因此，需要结合业务系统建设的新要求，按照统筹集约的设计思想和原则，统一规划和部署国家级骨干网络系统新格局，同时针对局大院各单位子网系统进行规范性设计，为各项业务的顺利开展奠定网络基础。

二、国家级骨干网规范化调整建设

鉴于国家级气象园区原有骨干网络系统的各类问题，亟需开展全面规范化调整升级。在充分调研各类业务及用户发展需求的基础上，参考各种先进且成熟的网络技术与网络管理思路，提出骨干网升级的总体设计，并在设计方案的指导下顺利完成了升级建设工作，取得了网络性能的整体提升。

1. 规范化网络拓扑设计

此次骨干网升级在更换老旧设备的同时，根据气象部门业务特点，进行了一系列的网络调整，形成了一套适合气象部门的规范化网络拓扑设计思想：

(1) 以业务为中心进行网络拓扑设计，不再按照地理位置划分网络区域

原有骨干网以各楼宇地理位置为主要划分依据实现网络连通，网内各类核心气象应用业务系统分散部署。现在骨干网内设立专门的“数据中心区”，将各核心气象业务系统统一调整至数据中心区进行集中管理与重点防护，在网络资源、设备性能、网络安全等方面给予更高保障。

(2) 针对气象局各类出口线路性质，将相关业务系统进行区域划分

气象部门网络出口根据性质可以分为几类：气象专网，用于国内各气象部门的数据传输，收集、交换国内气象数据信息；各类专线，用于政府及其他机构的数据传输，用于政府或其他机构的决策、

公共服务；互联网，用于个人办公上网、公众气象服务、国际数据交换。这三类出口的服务对象不同，面临的对外威胁不同，因此需要采取不同的安全保护措施。进行区域划分后，可以对同区域业务采用相同或相似的安全策略，集约硬件资源，减少资金投入。

(3) 分离业务、办公区域，控制办公终端接入

园区内原各类办公终端与业务系统混连现象严重，一方面两者混合不利于网络运维，难以对业务系统进行网络资源保障；另一方面也不利于对业务系统、办公电脑采取不同的安全策略，较难进行安全控制。现在骨干网内设立专门的“终端接入区”，实现园区内办公终端的专有接入，降低网络运维复杂度与终端用户对业务系统所产生的直接影响性。

(4) 为交互不紧密的重要业务系统提供相对独立的网络保障

原有骨干网存在部分交互并不紧密的重要业务系统不但位于同一个区域，而且位于同一个接入交换机上，一旦接入交换机发生故障，将同时影响多个重要业务系统。此次将存在此类威胁的重要业务系统分离上联不同的网络接入点，为交互不紧密的重要业务系统提供相对独立的网络保障。

(5) 办公终端分等级保障

国家级气象直属单位分为实时性业务单位与非实时性业务单位，原有骨干网对上述两类单位未作区分，作为相同级别直接接入骨干网汇聚层。现将上述两类单位进行区分，设立专门的“单位接入区”，实现非实时性业务单位的专有接入，在园区内对两类单位按照各自需求开展具有针对性的分类管理与保障。

2. 整体架构

新建国家级气象园区骨干网络整体架构（图2）继续沿用核心、汇聚和接入三层网络架构，并采用先进、成熟、标准化的万兆以太网技术，将骨干域从千兆带宽升级至万兆，同时应用虚拟化技术提升硬件可靠性。在气象业务支撑层面，根据不同网络功能、业务相关性或地理位置，对现有网络架构进行适当调整，进行分区划域：包括数据中心区、互联网区、外联区、CMANet区、终端接入区。

数据中心区、外联区、CMANet区、互联网区分别各由一对汇聚交换机承担区内所属业务的网络接入功能，而终端接入区则直接由各单位所辖汇聚层设备直接上联核心层所形成，未设置专有区域汇聚交换机，降低了新建网络成本。

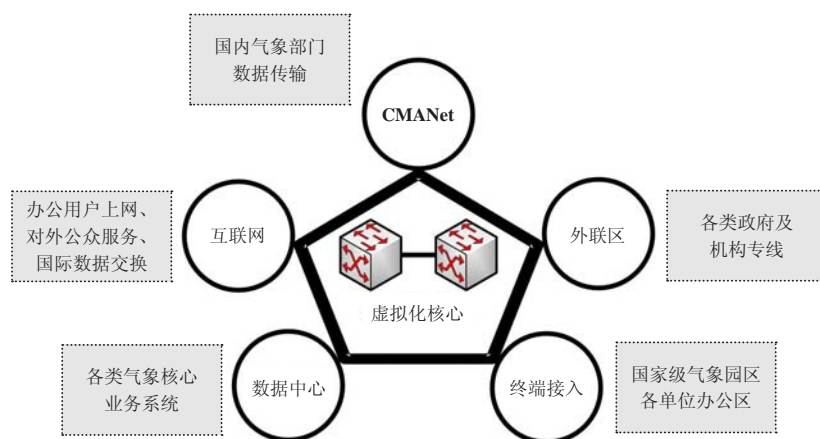


图2 升级后的中国气象局骨干网络系统

数据中心区：承担国家级核心业务系统的统一接入，包括信息中心负责建设和维护业务系统、新建或待建的重大系统，以及各单位自建但提供其他单位共享的公共资源或业务系统。

互联网区：承担中国气象局对外公众服务网站、国际数据交换业和办公用户上网等。

外联区：承担各类政府及机构专线接入，用于与政府、机构进行数据交换或决策。

CMANet区：主要承载国内气象部门数据交换、收集等业务。

终端接入区：承担大院各单位业务管理及办公终端的网络接入，将各单位楼层接入直接上联至本区域，便于实现对终端安全的统一管理。

3. 实施建设

骨干网升级实施过程利用现有空闲的光缆资源搭建新网，实现新旧两套网络并存；逐一更换老旧设备，实现设备硬件性能升级；进行业务调整及归并，增强可管理性；实行分区划域，提高系统安全建设；扩展网络服务和综合监视功能，保障业务运行和用户使用；进行逐步切换，实现无缝衔接，确保业务正常稳定运行。骨干网升级实施流程设计如图3所示。

2012年3—5月，历经两个多月，骨干网升级实施建设全面完成，包括国家级气象园区网内的全

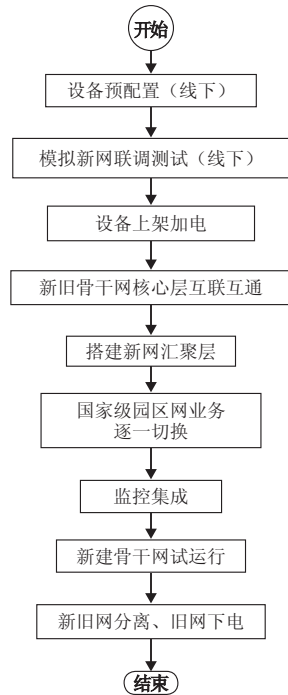


图3 骨干网升级实施流程设计

部业务和所有直属单位（含北京局）的网络切换，总共涉及28个单位/业务区域，整个割接过程基本实现业务平滑迁移。

三、效益分析

骨干网升级实施初步工作已完成，原有网络系统全部业务均顺利迁移至新网，实现了全网的全天候实时监控集成工作。经过一段时间的网络系统试运行，整体情况稳定可靠，基本为零故障。

此次升级是气象局骨干网络系统建立以来最大规模的一次建设改造，升级后骨干网络核心链路全面

提升至万兆，同时为桌面系统提供千兆网络连接。核心层设备应用了虚拟化技术，充分提升设备性能使用率并降低故障影响率，汇聚层网络设备基本实现双机互备，提升了系统运行可靠性。网络结构初步实现了分区划域，有效提高了对核心业务系统运行的集中保障能力，并提升了部分业务系统的互访效率，同时也为大院局域网络系统的未来精细化管理奠定了基础。气象中心会商室的网络接入由接入层提升至直连数据中心核心层，有效加强了网络保障性，为气象预报预测业务的运转提供了高速、冗余和高可靠的网络运行环境。

四、未来优化方向

新建骨干网络系统目前仅能实现网络层面运行状态的监控，需在未来逐步实现上层网络管理功能，即从气象应用业务的角度，实时监控网络层面的应用业务数据信息传输质量，以便为业务运行提供更加精准的性能分析与故障定位排查功能。与此同时，为适应国家信息安全建设相关标准，骨干网络系统将以等级保护网络建设要求为主要指导，逐步开展安全加固工作，为其上所承载的各类已定级系统提供安全可靠的网络运行环境。

（作者单位：国家气象信息中心）

下期要目

- ◆ 热带海气边界层观测研究若干进展
- ◆ 南海夏季风监测和预测研究与业务现状的评述
- ◆ 珠三角灰霾数值预报模式与业务运行评估
- ◆ 中国不同强度降水时空变化特征
- ◆ 大气Rossby长波理论的建立和发展
- ◆ 气象条件对冬小麦生长发育和产量影响的研究综述

NWS在美国未来国家气象事业中的定位

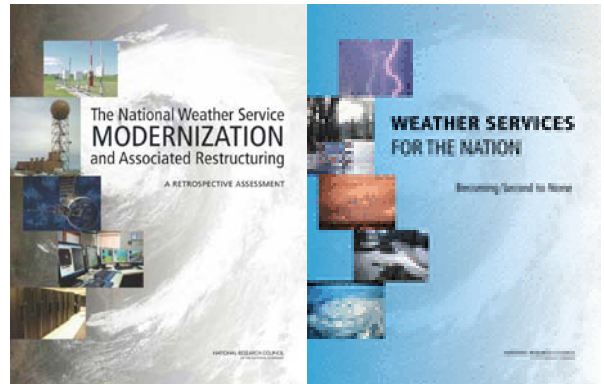
——实现不可替代的价值以及与技术和社会发展更好的融合

■ 贾朋群

隶属于美国海洋和大气管理局（NOAA）的美国气象局（NWS），在20世纪80年代启动了气象现代化和相关调整（MAR）项目，到2000年正式宣布完成。这次历时超过10年，实际投入超过45亿美元的重大项目，无疑是美国气象界一件重大里程碑事件，同时也在21世纪初，向全球展示了气象部门实现现代化的过程和风采。

在项目完成12年后，美国科学院于2010年7月，启动了用时26个月的“MAR回顾性评估”项目。该项目对过去的MAR项目进行了全面和多视角的评估，并在此基础上给出了以NWS为代表的美国气象事业的未来发展之路。

2011年，项目委员会就MAR评估发表了第一篇报告：《NWS现代化和相关调整项目：回顾性评估》。2012年8月，美国科学院又在线发表了项目委员会“姊妹报告”的第二篇：《国家天气服务：成为最佳》（印前版），在为这次评估画上句号的同时，也让我们有机会探讨NWS乃至整个美国气象界可能发生的一些演进。本文依据上述“姊妹报告”，试图围绕美国气象现代化发展这一主题，梳理出一些引人关注的特点。



美国科学院关于NWS现代化项目回顾性评估“姊妹报告”

一、气象事业中的更多部分将产业化成为必然趋势

对发生在10多年前的项目进行评估，特别是开展着眼于未来发展的回顾性评估，认识目前和项目实施前后的形势变化，无疑左右着评估导向性的结论。实际上，在MAR正式完成的12年之后，NWS面临的挑战不比MAR之前的时代更轻松。在MAR时代，发布天气信息在很大程度上是NWS、广播业以及对广播提供支持的天气数据和服务私人提供商的同义词。在这个圈子以外，天气、水和气候事业能力有限。而正是在这十余年的时间里，美国天气私企获得了极大的发展，突出表现在向广播业和联邦部门不提供服务的部分航空业发送天气数据，以及针对特殊或适宜客户群提供服务等方面。

人类活动范围的扩大、城市化和沿海居住人群大幅增加等人类发展带来的天气脆弱性增加，以及气象科技发展的成果，使得今天的天气信息越发“值钱”。而市场依据其规律的大规模介入，已经导致私企和其他组织更多地参与了天气信息的获取、分析和直接向包括商业和公众在内的各种客户提供。今天的天气信息用户，往往有多种信息来源可以选择，气象信息的市场化特征越来越明显。这些都意味着气象事业中越来越多的部分，特别是最接近用户需求的领域，已经走向和将更多地走向产业化。

关于美国气象事业的产业化特征，也许可以从2007年的数据开始，做进一步的量化分析。2007年联邦部门总预算估计为34亿美元。在私人企业界，基于同一年的调查，与天气相关的服务活动规模为16.5亿~18亿美元。基于前十年的增长率，私企服务市场预计在2012年前达到25亿美元左右。如果加上NOAA（及其他联邦部门）针对私企在基础设施（主要是观测系统）上的花费，私企市场的总额现在超过了40亿美元，与联邦政府的预算相当。即推测2012年联邦和非联邦气象事业投入，各自达到40亿~50亿美元。而从发展的眼光看，几乎可以肯定，以私企为主的非联邦市场投入的额度，今后要超过NOAA占三分之二的联邦投入。这不仅是因为需求和市场的惯性增长，还基于联邦预算资源的不确定和很可能在今后十年里受到限制的限制的考虑。

二、“第二价值链”带来了新的市场，更放大了气象事业的社会经济价值

美国气象事业中非NWS部分的增长十分明显。以公众接收的天气信息为例，这些信息主要来自数字媒体频道。这些出口包括一般网络网站（例如，Bing, Google, Yahoo）、天气网站（例如，Accuweather.com, Weather.com, Weather Underground等）、缺省安装的移动应用（例如，Android, iPhone和Windows电话平台等）、第三方天气应用（其中，2012年7月，iPhone App Store超过1600个，Android Market超过5000个应用程序）、推特、社交网站等。不仅如此，这些IT最活跃领域的创新还在加速。例如，下一个十年，准确地点的道路天气状况将可能实时发布到汽车仪表盘中。

从气象信息的经济学视角来看，传统NWS价值链，或称为“初级价值链”，是由NWS通过核心伙伴向公众发布天气信息。NWS的核心伙伴包括了应急管理、州和地方政府以及广播和电子媒体。如果将包括上述IT渠道在内的，不同于传统的价值链，定义为气象信息的“第二价值链”，那么今天来源于NWS，但形式和内容都有所变化的第二价值链信息的重要性日益提高。首先，公众接收的绝大多数预报来自第三方而非NWS直接的发布。这样的信息在百姓获得前在某种程度上有所改变，可以认为经过了第二价值链。再有，天气和水相关的决策，越来越多地融合了基于NWS的天气和水信息以及通过第二价值链的来自其他信息源的信息。很多服务需求，包括一些与NWS挽救生命和财产核心使命相关的内容，无法仅靠初级价值链来满足。第三，即使NWS的核心伙伴，包括应急管理及广播和数字媒体，现在接收到的来自第二价值链的信息已经占据其决策的主要部分。例如，几乎所有电视频道使用私人提供商的预报服务制作其天气信息，而NWS信息通常只是在监测和警报情况下出现。

三、NWS在新趋势下的核心能力建设——成为支柱

从上述内容以及其他迹象可以看出，气象信息服务的市场已经越做越大。作为国家气象主管机构的NWS，在这样的新形势下如何发展，无疑是一个巨大的挑战。在MAR之前，NWS与第二价值链上的很多企业很大程度上形成竞争关系。MAR和2003年美国科学院发表《公平天气》报告后，NWS制定了新的政策避免与第二价值链中的大量企业竞争或取而代之。这种改变对国家无疑是正面的。

即使今天，整个第二价值链仍然是基于NWS数据和服务而构建。如果NWS核心能力被削弱，这个价值链会严重退化。此外，当公众面临风险时，初级价值链对于确保公众获得最直接的躲避和缓解之道非常关键，这一点也同样不容削弱。因此，整个国家的天气和气候事业共同体，都建立在NWS提供的核心能力基础之上。因此，新形势下NWS的定位和首当其冲要做的，就是强化其核心能力，成为整个事业的核心和支柱（图1）。这些核心能力最主要的要素包括基础数据、核心功能、与业务相关的研究等。无论是以往还是未来，正是NWS的核心能力的质量，构成了NWS、公众和事业共同体其余组成之间信任和依赖关系的基础。从这一点上看，NWS不仅不会被市场埋没，而且愈发成为事业不可或缺、也不可替代的基础因素。

四、高科技含量的NWS核心业务能力建设

NWS的核心能力建设，虽然主要内容似乎仍显老套，例如，涉及的领域无外乎观测数据、模式和产品制作等，但是一些提法和视角确有新意。首先，众多参与机构的领域，NWS要成为制定规则和掌握关键技术的龙头。这首先表现在核心能力的第一项基础数据库建设上。未来的观测肯定是开放的，但是，要保证基于各种观测的基础数据库具有最高的质量，确是一件越来越难的挑战。NWS需要通过平衡用户需求，引领基础数据库的不断改进，同时给出清晰的质量和绩效指标，用于基础数据库的评估。

第二，关键技术一定要做到全球最优秀。目前美国的模式水平，已经被多个国家和组织超越。要迎头赶上，业务模式的开发战略需要调整。例如，模式的百花齐放时代已经到了走向统一模式的转折点，从而集中开发出更高水平的模式产品，而地球系统预报能力，能将改进的天气和气候预报与更大范围的社会问题，例如食品、水、能源、健康和人类安全等联系在一起。

第三，业务相关的研究被提上日程。业务相关的研究，包括了基于问题的优先研究。这些问题或者阻碍了分析或预报技巧，或者制约了预警产品的制作。一些系统和正在开展的研发活动，对于加强NWS核心能力至关重要。这些研发项目和合作涉及了大容量计算能力、全球数据同化、飓风预报等。此外，NWS还应该具有持续的开发和检验其渐进式技术更新的能力。这将让NWS对新的科学和技术带来的可能性做出反应以提高其能力，从而促进对国家的服务。

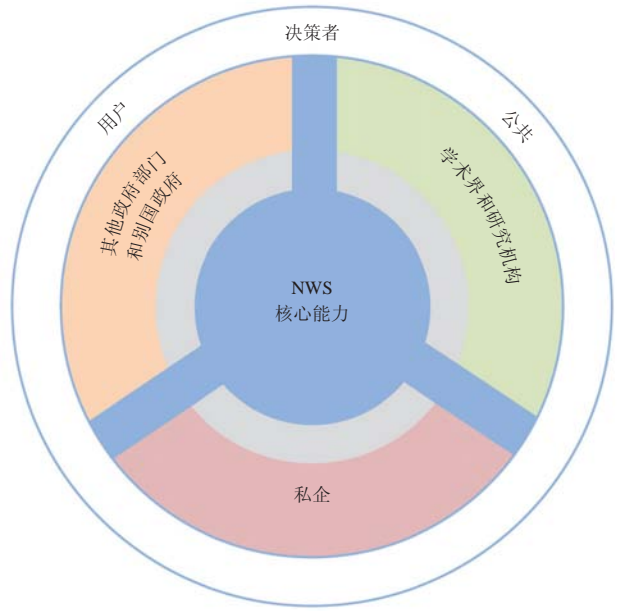


图1 NWS的核心能力（轴心和辐条，蓝色区域）、其在更广泛事业共同体中的伙伴（轴心、辐条和边缘之间的空间）及天气服务终端用户（四周边缘）之间关系的“轴—辐条—轮”链接循环概念图（环绕车轴的灰色环状区域表示NWS与事业共同体其他部分之间的责任灰色区域，该概念框架图的用意是表达不同实体是如何相互联系在一起和支持来自NWS核心能力的天气信息服务）

五、NWS结构调整将带来新的风貌

MAR项目在1990年代实施的一个重要内容，是NWS组织结构的调整。其中，最引人注目同时也是难度巨大的调整，是将NWS原来的二级基层结构，即204个天气服务站和52个天气预报办合并，变为122个天气预报办的一级结构。而后者的管辖范围，打破了州的行政边界，主要依据新一代天气雷达的覆盖范围以及中尺度模式的范围而划定。而新的天气预报办的办公地点，也多从居民区转移到相对偏远的雷达塔附近。

然而，上述在MAR期间建立的，与雷达站覆盖拼图吻合的NWS地方机构，主要反映的是1990年代天气、水和气候事业的功能。当时设计的能几乎一直向美国本土提供服务的地方机构网，在广泛的意义上被很好地实现了。而目前新的变化需要我们重新思考，例如，技术，包括通信和计算机预报模式的改进，已经改变了NWS目前组织结构中的很多逻辑关系。例如，在MAR的计划时代让台站要位于或在NEXRAD雷达站附近的主要原因，是宽带通信费用，但现在低价宽带通信放宽了台站与NEXRAD站之间距离要近的限制。今天计算机预报模式显著的改进和模式输出转化成公众预报效率的提高，能够让NWS的气象学家把注意力更多集中在高影响天气事件和做出快速反应上。另一方面，NWS台站远离社区，使NWS与应急管理者和社区其他关键相关者之间的交流难度加大，而这种交流的必要性，随着天气异常的频繁和社区脆弱性的增加愈显重要。因此，NWS基层台站地点的新调整，也将因为技术进步和服务重点的改变被提上议事日程。

六、小结

马克·吐温说过一句话，“历史从不重复，但常常押韵”。现代化最先产生在西方，包括气象事业在内的现代化，其内容无疑是个规范的动态变量，但其发生肯定会显示出一定的周期性。NWS面对今天的各种挑战，需要在未来10年或更长的时间里发生改变，而MAR无疑是一个起点。如果说MAR成功地让NWS在12年前实现了机构的现代化，那么未来，NWS更重要的使命，是引领整个事业共同体的进步，向国家气象事业的整体现代化迈进。

(作者单位：中国气象局气象干部培训学院)

(上接63页)

气象信息与决策工具高度融合。目前的气象信息没有很好地与自动决策支持工具整合在一起，需要用户解释和人工整合。未来气象信息将同化和整合到人工决策程序与自动化决策工具中，无需用户对气象信息进行更多的分析和解释。比如当与运行有关的天气状况参数超标时，能自动产生天气对运行影响的信息并传递给相关部门。随着自动化程度和气象信息与决策工具融合技术的日益成熟，一些以人为主的决策将变成自动化支持或完全自动化。

2. 新一代航空气象系统建设

新一代航空气象系统的业务系统建设大致可分为四个方面：探测系统、预报业务系统、气象信息综合平台和决策支持辅助系统。

探测系统。加强机场终端区立体监测网的建设，努力提高探测

资料的时空分辨率。要充分利用现有民航系统的台站网，依托全国气象部门的台站网，加强机场终端区及航路立体监测系统的建设，实现资源共享；充分利用地空数据链资源，加大对飞行中的航空器的气象数据的收集和应用研究，同时加大对飞行中的航空器的服务内容。

预报业务系统。加强客观天气预报业务系统建设，建设航空数值天气预报模式、航空重要天气预报预警系统，通过合作建设等方式，进一步提高从机场终端区到航路飞行的航空气象预警预报水平。

气象服务综合平台。加强部门间的合作与资源共享，在目前初步建立航空气象服务综合平台基础上不断完善。同时，提高航空气象信息的准确率和传输的及时性，加强并加速天气信息的整合与分发，建立四维天气资料库，供用户协同决策使用。

决策支持辅助系统。根据用户需求，开发流量管理工具、尾流预测工具等不同形式的决策支持辅助系统，实现运行决策系统与气象资料的高度融合，提供给决策者清晰的判断依据，为科学决策、飞行安全、提高容量与效率做贡献。

建设中国民航新一代航空气象系统，应满足航空运输业的发展需求，还应与国家气象的发展保持同步，遵循国家气象“公共气象、安全气象、资源气象”的发展理念，借助国家气象的整体资源共同发展；还应具有国际专业领域的影响力，提升我国在航空气象领域的国际地位，为维护国家安全和国家利益作贡献。建设一个满足航空运输系统性能需求的新一代航空气象系统，为中国民航从民航大国迈向民航强国的跨越式发展做出积极的贡献。

(作者单位：中国民航气象中心)

争做减排急先锋

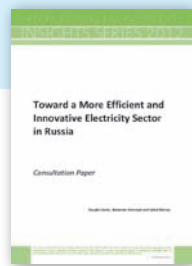
——《俄罗斯电力部门向更加有效和更具创新性迈进》评介

张泓波

俄罗斯在应对气候变化问题的政策取向方面以“务实”作为其根本原则。一方面，俄罗斯对于气候变暖是由于人类活动所造成的这一论断持怀疑态度，即使是在2010年，俄罗斯政府依然认为需要有更多的科学证明来证实气候变化与人类的工业化活动相关；另一方面，在2009年的G8峰会上俄罗斯总统确定了2020年的排放目标，并指出到2050年其温室气体排放将减少到1990年的50%。为了达到上述目标，俄罗斯采取了一系列的应对气候变化的改革措施。其中，电力部门的改革在整个改革中占据了非常重要的地位。俄罗斯在确定气候变化政策的时候不是考虑气候变化本身是“真”是“假”，而是考虑气候变化政策是否能够促进本国经济增长和国家安全。该书对俄罗斯电力改革的介绍同样在各个方面贯彻了务实的政策原则。《俄罗斯电力部门向更加有效和更具创新性迈进》一书介绍了俄罗斯电力改革所涉及的关键行动以及政策实施所需要克服的困难与对策。该书是由Douglas Cooke, Alexander Antonyuk和Isabel Murray共同完成的咨询文件。其为俄罗斯电力部门的二次改革指明了方向。

本书共分为五部分。第一部分：介绍。此部分介绍了俄罗斯电力行业改革。该项改革反映了俄罗斯高效、可靠的电力部门在提高经济活力和社会繁荣方面的重要影响。2005年，国际能源组织发布了《俄罗斯电力改革：出现的挑战与机遇》一书。该书研究表明俄罗斯的改革包含一系列的措施，并提出了在实施过程中存在的挑战。目前，俄罗斯的电力改革正步入一个充满争议的阶段。因此，国际能源机构认为，目前是个适当的时机

以更新其初始的工作。新的研究将描述自2005年以来新的趋势，并将检测关键性的其他挑战。第二部分：竞争。此部分介绍了有竞争性的电力供应链是提供高效、创新、市场响应的能够满足并扩大消费者经济利益和股息的前提条件。俄罗斯电力改革试图通过建立有效的市场竞争来实现这些愿景打下一个良好的基础。第三部分：投资。未来二十年内，俄罗斯电力部门面临着大量的投资需求。根据2011年的世界能源展望，俄罗斯需要（以2010年美元价格计算）投资总额达到6150亿美元。投资方向主要有两个：其一是满足更新和替换老化的基础设施的需要；其二是建立高效的电力市场，进行有效的网络规划和调控的需要。第四部分：价格。通过价值链进行成本反映定价对于为高效的投资、运营与改革电力系统的激励信号传递机制至关重要。两个方面可以促进价格的形成：①建立有效的电网价格。②有效的成本反映终端用户的定价。第五部分：实施。改革的进程已经取得了相当大的成就。然而，目前无法保证未来将有一个有效的成果。国际能源机构的经验显示，政党的意愿以及社团的支持将受到考验，有时会做出不当的妥协。由于价格改革的刺痛及政府干预压力的增加，压力将危及政策的有效性。一些利益相关者（政府官员、大面积的市场参与者、系统运营者、行业参与者、重要的用户、金融、工业分析家、学术研究机构）注意到单一的制度在战略上的改革措施不会起到作用。断裂性的、分散性的职责将导致狭隘与有限的反应。单一机构或者为整体战略负责的实体将有助于加速并改进政策实施效果。



International Energy Agency, 2012年出版

值得一提的是，笔者认为本书中最值得推荐的一部分是第三部分。在为电力部门引入竞争这部分为我国垄断性的电力行业引入竞争提供了很好的借鉴。故而，笔者将在引入竞争这部分做以重点介绍。有效的市场竞争的建立主要通过以下手段：①通过所有权的多样性建立市场结构；②建立有效的零售竞争机制。通过更有效的价格与革新性的服务为顾客提供选择与买方需求。目前，俄罗斯政府计划从2014年起撤除余下的交叉补贴，这将为全面零售竞争的引入开辟道路。综合性的政策方法包括：引入成本反映定价机制、建立合法的规章框架、建立一个竞争性的零售市场结构、建立一个行政和商业性的进程、保护隐私的同时为支持竞争性和创新性的产品发展提供必要的信息、教育消费者以便于他们能够进行有效选择、建立有效的竞争规则—监督零售市场并保护消费者。③引入竞争性的能源供给。④提升竞争性的补充措施。该项措施主要包括：改进电网的运作效率、改善系统运营、建立有效的资本市场、朝向一个更有效的热电联供的企业参与。

俄罗斯电力部门改革所取得的成就对于俄罗斯的能源部门以及实现长期的经济繁荣具有重要的影响。这也证实了俄罗斯在应对气候变化方面务实性的所在。该书为我国从经济发展、改善人民生活水平、促进市场发展等角度制定应对气候变化的减排政策提供了借鉴。

（作者单位：南京信息工程大学）

文摘 (中文文献)

ENSO和EAWM的关系减弱—— 《科学通报》2012年第57卷第19期

王会军等通过分析ENSO, 东亚冬季风(EAWM)及海洋和大气的氣候变异, 发现ENSO和EAWM之关系在20世纪70年代中期以后减弱了, 由之前的显著反相关, 变成了没有显著相关。研究还发现了ENSO在东亚和西北太平洋区域的信号明显向东撤和向南撤的气候年代际变化特征。特别是ENSO在东亚的信号南撤到北印度洋、亚洲和西太平洋的低纬度地区; 在东北亚的信号向东南撤到了阿留申区域, 使得ENSO和阿留申低压之间的关系在70年代中期之后加强了。进一步的分析发现在70年代中期之后, 与ENSO相关的海温变率在北印度洋和西太平洋区域减小, 使得ENSO和EAWM之间的联系被削弱了。与此同时, EAWM的年际变率也在此时段减小, EAWM的影响区域北退、影响程度减弱, 也推动了EAWM和ENSO关系的减弱。所以, ENSO在亚洲影响的南撤东撤, 以及EAWM影响范围的北退和削弱, 使得两者在空间上“疏远”了, 其链接也就减弱了。

深入探索全球变化机制——《中国科学: 地球科学》2012年第42卷第6期

《全球变化及其区域响应》科学指导与评估专家组为评估该课题结题而撰写的战略研究报告中指出: 全球变化作为历史上第一个由科学界提出的全球性政治问题, 强有力地推动着学科发展。同时, 国际主流意识在全球变暖问题上几十年来的巨大变化和当前面对的剧烈争论, 反映出全球变化理论认识上的不成熟性。当前, 我国全球变化研究已获得国家重大科学研究计划的支持, 国家自然科学基金委可以集中力量支持变化机制基础理论的深入探索, 从地球系统科学的高度、在更大的时空范围内研究变化机理, 力争在基础理论上有所突破。全球变化的机制, 主要涉及温室气体的气候效应、CO₂与生源要素循环和气候

系统中的水循环三大基础科学问题。建议我国针对基础问题, 结合本身特色, 聚集力量采取以下举措: (1) 开展长期观测——科学和技术的结合; (2) 穿越时空尺度——不同过程的辨识; (3) 促进学科交叉——发展比较行星学等学科; (4) 设置大型计划——发挥我国自然条件的优势。藉以揭示地球系统的运行机制, 促使我国的相应学科尽早实现从跟踪到创新、从“原料输出型”到“深加工型”的转变。

地球观测数据卫星分发系统的发展——《地球科学进展》2012年第27卷第7期

范锦龙撰文综述了地球观测数据卫星分发系统的发展。文中指出, 地球观测数据卫星分发系统(GEONETCast)借助通信卫星, 把从地面站点、航空和航天平台获取的观测数据、产品传送给广大的用户。GEONETCast当前由CMACast, EUMETCast和GEONETCast Americas 3个区域系统组成, 作为地球观测组织(GEO)提出的全球综合地球观测系统(GEOSS)的全球地球观测数据和信息卫星分发系统, 旨在满足9个社会受益领域的用户需求。GEONETCast建立在现有区域系统之上, 利用GEO的协调机制, 共同确定GEONETCast系统的整体计划和要求。各区域系统在科研项目和业务建设的支持下, 不断发展完善。未来要保障GEONETCast健康、良性和可持续的业务运行, 还需要加强4方面的工作: ①区域系统之间的互相通信; ②保持GEONETCast的开放性和动态性, 发展更多的数据提供者提供地球观测数据; ③发展更多的数据使用者; ④数据政策。

WRF模式对一次大暴雨过程的数值模拟——《地球物理学报》2012年第55卷第6期

邓少格等利用中尺度数值模式WRF对2003年7月4—5日淮河流域特大暴雨过程进行了数值模拟, 并利用高时空分辨率模拟结果资料, 提取了暴雨中心区大气重力波频率、周期、水平波长、垂直波长、水平相速和群速等特征参数, 分析了暴雨过程中重力波参数随时间的演变特征。结果表

明, 对此次暴雨强降水过程影响较大的重力波主要是发展的 α 中尺度波和 β 中尺度波, 暴雨后期随着重力波的频散, 周期和水平波长有减小趋势, 频率有增大趋势。非降水区的重力波参数特征和降水中心区有明显不同, 大气中小振幅的 α 中尺度和 β 中尺度重力波是否发展和暴雨强降水的关系密切。

台风“登陆”及“擦边”刍议——《气象》2012年第38卷第6期

雷小途撰文针对台风登陆预报业务及防台减灾工作中的“登陆”和近年来广为使用的“擦边”等的模糊表征问题, 从登陆和擦边的基本词义出发, 结合台风特殊的水平结构, 分析了台风在近岸区域移动时台风与海岸线间的相对位置特征, 给出了“登陆”和“擦边”的具体判别办法, 以避免实际业务中可能出现的用词用语的混乱现象。文中明确, 台风“擦过”(海岸)某地的“擦”是指: 台风在近海移过, 期间台风的外区(包括外边沿至眼区之间的环形区域)触及但眼区未触及陆地的移动状态。台风“擦过”海岸(某地或某区间), 是指台风外区环流“擦”, 一旦眼区触及陆地即为“登陆”, 即不存在眼区或台风中心“擦过”海岸的情况。台风“擦过”海岸时, 台风与海岸相距的距离并不固定, 因此也不存在“相距多远才算擦”的问题。

亚洲—太平洋夏季风系统的基本模态特征——《大气科学》2012年第36卷第4期

刘芸芸等撰文指出, 亚洲—太平洋季风区各季风子系统间的相互作用对季风区甚至全球的气候变化都有显著的影响。整个亚洲—太平洋夏季风系统都处于高层辐散、低层辐合的庞大辐散环流中, 从高层辐散中心流出的三支气流分别对推动印度夏季风、东亚副热带夏季风和南海夏季风起着重要的作用, 很好地表现了亚洲—太平洋夏季风系统的整体性特征。季风区多种气象要素的基本模态在年代际和年际尺度上都表现出较为一致的变化特征: 年代际尺度上亚洲—太平洋夏季风系统整体呈现减弱趋势; 年际尺度上存在准2年和准4年的两个周

期,其中准2年振荡特征表现为若印度西南季风偏强,则印度季风雨带偏强偏北,导致印度大陆中北部地区降水偏多;同时,由于西太平洋副热带高压的北移和偏强的印度西南季风显著向东延伸,10°—30°N范围内的西北太平洋地区则表现为异常的气旋性环流,而30°—50°N之间为反气旋性环流异常,对应东亚夏季风偏强,季风雨带能够北推至我国华北地区。也就是说,当亚洲夏季风中某一季风子系统表现为异常偏强时,另一季风子系统在这一年中也将表现为异常偏强,反之亦然。准2年的振荡周期可能是亚洲—太平洋夏季风系统的一种固有振荡,它从年际尺度上反映了亚洲—太平洋夏季风受热带太平洋—印度洋海温的强迫表现出明显的整体一致特征。

气候变暖在继续——《气候变化研究进展》2012年第8卷第4期

唐国利等在评述、分析气候变暖问题争议的历史和现状的基础上,通过对观测事实的分析,得出以下结论:(1)2001—2010年是全球有观测记录以来最暖的10年,中国情况也是如此。(2)无论全球还是中国,2001—2010年较1991—2000年,温度都保持了持续上升,表明气候变暖并未停止。(3)从近20年各季节的情况看,冬季是我国增温幅度最小的季节,甚至在北方出现降温。地面气压场分析表明,这同西伯利亚高压的增强有关。由此也说明,自然因子仍然对气候有不可忽视的影响。但是,部分区域和季节的温度下降并没有影响全国、全年保持变暖的趋势。(4)对近10年温度上升不明显的原因,还有争议。例如,有人认为这与深层海洋的吸收有关。但是也有人认为太阳活动、火山活动、对流层污染物也有影响。尽管最近10年温度上升不明显,但是从长期开看,气候仍保持了变暖的趋势。

极端天气气候事件影响我国农业经济产出——《中国科学:地球科学》2012年第42卷第7期

刘杰等选取对天气气候变化敏感并且脆弱性较高的农业经济领域为研究对象,将极端天气气候因子引入经典的Cobb-Douglas生产函数,构建一

个新的气候经济模型。运用计量经济学方法,定量分析了极端天气气候事件对我国农业经济产出的影响。结果表明:(1)极端天气气候因子是我国农业经济产出变化的格兰杰原因。

(2)极端天气气候事件对不同区域农业经济的影响差异较大,且多为负面影响;华北和华南是受极端天气气候影响最显著的地区;极端降水和干旱是影响农业经济最显著的因子。

(3)全国平均来看,极端天气气候因子与农业经济产出之间存在长期均衡关系,对我国农业经济有显著的负面影响。值得注意的是,极端高温对华北农业经济的产出弹性为负值,而对东北的产出弹性为正值,这一结果与传统的认识存在一定的差异。其原因在于模型参数估计方法的选取。统计验证表明,华北各地级市农业经济产出之间的差异符合随机效应,而东北农业经济产出之间的差异符合固定效应。对随机效应和固定效应的统计判定,会影响参数估计方法的选取,最终使得模型参数的大小、正负值产生变化。

喜马拉雅—青藏高原不同子区域隆升对亚洲夏季气候演变的影响——《科学通报》2012年第57卷第25期

鉴于喜马拉雅—青藏高原空间上各重要部分隆升时间上的差异,张冉等利用美国国家大气研究中心的通用大气模式就其主要隆升阶段对亚洲夏季气候演变影响进行了敏感性试验研究。研究发现喜马拉雅山和青藏高原北部隆升分别对南亚与东亚北部夏季气候的发展具有重要影响,喜马拉雅山隆升导致南亚夏季风环流的显著增强和区域季风降水的明显增加,而青藏高原北部隆升造成东亚夏季风环流的明显发展和东亚北部降水的显著增加,且随后的阶段性隆升对这些均影响有限。与以往模拟研究相比,试验结果表明对比分析喜马拉雅—青藏高原不同子区域隆升有利于深入理解亚洲夏季风演变历史。

城市热岛效应的研究进展与展望——《气象学报》2012年第70卷第3期

随着世界各国城市化的进展,城市热岛效应已经成为一个跨学科领域的问题,受到包括大气环境、区域

气候、水文和生态等多学科科学家的关注。在过去半个多世纪中,城市热岛问题的研究获得了相当丰富的研究成果,通过对这些成果的综合分析,归纳出城市热岛研究中采用的3类主要方法——观测(外场试验和遥感技术)、数值模拟以及实验室仿真法。寿亦萱等系统地回顾了城市热岛效应的研究历史,重点对与城市热岛关系最密切的城市边界层、热岛环流与复杂地形的相互作用以及能量平衡研究所取得的成果进行了总结和评述。最后对城市热岛问题未来8个可能的研究方向进行了探讨,其中,包括沿海和复杂地形附近的城市热岛问题、城市群间热岛环流的相互作用、城市化与空气污染问题、城市热岛效应对平均降水的影响、城市化对雾和闪电的影响、城市天气预报的精细化、城市气候变化预测以及城市热岛效应减缓方案的制定,并对其发展前景进行了粗略的展望。

雷暴与强对流临近天气预报技术进展——《气象学报》2012年第70卷第3期

临近预报指0~6h(0~2h为重点)的高时空分辨率的天气预报,预报对象是该时段内出现明显变化的天气现象,主要包括雷暴、强对流、降水、冬季暴风雪、冻雨、沙尘暴、低能见度(雾)、天空云量等,其中以雷暴和强对流天气的临近预报最具挑战性。俞小鼎等综述了针对雷暴和强对流天气的以主观预报为主、结合客观算法的临近预报技术,同时讨论了高分辨率数值预报模式在临近预报中的应用。主观临近预报技术包括基于多普勒天气雷达观测数据并结合其他资料(常规高空和地面观测、气象卫星云图、快速同化循环的数值预报产品等)对雷暴生成、发展和衰减,特别是对强对流天气(包括强冰雹、龙卷、雷暴大风和对流性暴雨)的临近预报,客观算法包括几种应用最广的雷达回波或云图外推算法和强对流天气识别技术。高分辨率数值预报模式的应用包括与雷达回波外推融合延长临近预报时效,与各种观测资料融合得到快速更新的三维格点资料为雷暴和强对流近风暴环境的判断提供重要参考。

文摘 (英文文献)

全球气候模式对陆地风速年代际变化的敏感性研究——Causes for decadal variations of wind speed over land: Sensitivity studies with a global climate model. *Geophysical Research Letters*, 2012, Vol. 39, L11701.

观测显示,过去30年北半球中纬度地区的陆表风速下降了约0.3m/s,而南半球以及海表风速却没有出现类似的下降。苏黎世联邦理工学院大气和气候科学研究所的Bichet等利用一个全球气候模式ECHAM5进行敏感性试验,评估了1870—2005年间粗糙度长度、气溶胶排放、海表温度以及温室气体浓度等不同要素的变化在陆表风速改变中扮演的角色。研究发现,在陆地不同区域,随粗糙度长度的增加(1.2~4.9倍),模拟能够再现观测到的风速“静止化”趋势。其他强迫的变化也能导致风速下降,例如,气溶胶排放的增加可以导致印度风速下降0.2m/s。尽管如此,与观测相比,模拟依然低估了强迫对全球风速的影响。

城市化和人为热释放对中国气候的区域影响模拟——Simulating the regional impacts of urbanization and anthropogenic heat release on climate across China. *Journal of Climate*, 2012, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00333.1>

随着经济发展,中国的城市化进程进一步加速,城镇人口也迅速增加,进而引起城市大规模的能源消耗,该过程导致的人为热释放已经成为影响气候的一个重要因素。中科院大气物理研究所的冯锦明等使用WRF模式耦合城市冠层模式(UCM),模拟了城市化引起的下垫面变化(USCU)和人为热释放(AHR)两种情景下的区域气候响应。模拟试验的时段设置为2006年12月—2008年12月。模拟发现,USCU导致地表反照率和可利用地土壤水分显著下降。包括AHR在内,两种情景导致了我国许多区域地表温度升高。特别是在长江三角洲城市群地区,USCU和AHR共

同作用可能导致地表气温增加了2℃。不考虑任何额外热量来源的情况下,在冬季,AHR对地表气温的影响大于USCU的影响,然而在夏季,情况恰好相反。USCU和AHR皆导致了地表能量收支的变化。它们都导致感热通量增加,但USCU显著减少了潜热通量,AHR使潜热通量略有增加。在这两种情景下,一些地区的降水增加,尤其是北京—天津—河北地区,而其他区域的降水有所下降,特别是长江三角洲地区下降显著。

植被反馈影响Sahel降水年代际变率的进一步评价——A further assessment of vegetation feedback on decadal Sahel rainfall variability. *Climate Dynamics*, 2012, doi: 10.1007/s00382-012-1397-x

Abdus Salam国际理论物理中心的Kucharski等使用耦合了VEGAS动态植被模型的大气环流模式ICTPAGCM(“SPEEDY”),以观测的SST变化作为外部强迫,模拟了植被反馈对年际尺度上Sahel降水变化的影响。植被反馈很大程度上反映了地表反照率和蒸散发变化带来的影响。模拟发现,在考虑植被反馈的情形下,模拟结果和观测得到的降水年代际变异是一致的,尽管模拟得到的变化幅度只有观测的60%。而在去除了植被反馈的试验中,模拟结果和观测的一致性显著降低,模拟得到的降水年代际变化幅度仅占观测的35%。研究指出,降水的年代际变异是由SST驱动的,然而陆面反馈显著加强了这种变异。局地蒸发和水汽通量辐合的变化对于总的降水响应有重要影响。与限定了反照率的敏感试验对比,对照试验中降水的年代际变异是更强烈的,进一步表明了植被正反馈在物理机制上是与反照率反馈有关的,这也支持了Charney(1975)的假设,即植被正反馈效应相当程度上由反照率变化所贡献。

空气污染对中国日照时数的影响幅度——The magnitude of the effect of air pollution on sunshine hours in China. *Journal of Geophysical Research*, 2012, Vol. 117, D00V14.

太阳辐射下降引起的“全球变暗”现象一直是研究的热点,不过由于太阳辐射的观测序列在时空分布上

远少于日照时数,日照时数已被普遍用作太阳辐射的替代指标。目前对于人为空气污染导致的气溶胶释放对日照时数的影响程度依然缺乏了解,为此,中科院遗传所农业资源研究中心的王雅雯等分析了中国38个城市(包括省会城市和部分大中城市)日照时数和空气污染指数(API)的关系。研究发现,自20世纪60年代至今,除南昌外其余城市的日照时数皆出现了显著下降,下降最显著的城市主要位于四川盆地、华北平原和长江三角洲。API和日照时数呈现显著的负相关,特别是在冬季和华北区域。在日平均API≤80的城市,2000年以后的日照时数较20世纪60年代下降了13.4%;在日平均API>80的城市,2000年以后的日照时数较20世纪60年代下降了15.9%。晴空状态下,2001—2005年的日照时数在API≤80的情况下较API>80的条件下增加了8.4%。作为反映空气中可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫和氮氧化物等污染物浓度的指标,API对日照时数的变化具有负作用,API通过影响大气中的气溶胶改变大气对太阳辐射的散射和吸收,以及通过改变云的特性,减少到达地表的太阳辐射。研究认为,我国日照时数的减少很大程度上可由API解释。

东亚夏季风的年代际减弱引起的中国东部气溶胶浓度增加——Increases in aerosol concentrations over eastern China due to the decadal-scale weakening of the East Asian summer monsoon. *Geophysical Research Letters*, 2012, Vol. 39, L09809.

普遍认为目前中国不断增加的气溶胶浓度是由经济迅速发展引起的排放大幅增加造成的。然而,中科院大气物理研究所朱建磊等给出了新的原因,他们使用一个由气象场驱动的化学传输模式模拟发现,东亚夏季风的年代际减弱也是中国气溶胶增加的部分原因。研究发现,模拟的气溶胶浓度与东亚夏季风的强度具有强烈的负相关。在季风最弱的年份,中国东部(110°—125°E, 20°—45°N)的硫酸盐、硝酸盐、铵盐、黑碳和有机碳气溶胶,以及夏季表层的PM_{2.5}浓度要比季风最强烈的年份高出17.7%。东亚夏季风年代际减弱引起的中国东部大气

环流（空气污染物的辐合）的变化是引起气溶胶增加的主要原因。

使用大气红外探测仪和模型分析El Niño中对对流层CO₂的影响——Influence of El Niño on Mid-tropospheric CO₂ from Atmospheric Infrared Sounder and Model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2012, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-11-0282.1>

受化石燃料排放的影响，大气中的CO₂浓度呈现不断增加的趋势，其季节循环幅度又与生物圈中的碳交换密切相关。而除了这些，CO₂新的变化特征正被逐渐揭开，例如中对流层CO₂变化趋势中的MJO、TBO等信号。最近，休斯顿大学的Jiang等利用大气红外探测仪（AIRS）和一个化学传输模型MOZART-2（Model of Ozone and Related Chemical Tracers version 2），分析了中对流层CO₂对El Niño的时空响应特征。研究发现，中太平洋和西太平洋之间的CO₂的差异与南方涛动指数具有很好的相关。AIRS数据显示，在El Niño（La Niña）事件期间，中太平洋具有更多（更少）的中对流层CO₂，而西太平洋恰恰相反。MOZART-2也给出了相似的结果，尽管MOZART-2模型中El Niño的信号弱于AIRS数据中的El Niño信号。

并非简单的累加效应：植物生物量和土壤过程对CO₂和温度变化综合响应的定量评述——Simple additive effects are rare: A quantitative review of plant biomass and soil process responses to combined manipulations of CO₂ and temperature. *Global Change Biology*, 2012, Vol. 18, No. 9.

近年来，研究者逐渐注意到大气CO₂浓度增加和气温升高对生态系统的潜在交互影响，这种交互影响对地球系统模式的校正具有重要意义。为此，比利时安特卫普大学的Dieleman等就气候变暖和CO₂上升对生态系统生产力和土壤过程产生的交互影响、单因子影响的有关研究进行了综述。在CO₂增加和温度升高的双因子影响下，所有研究都发现生物量和土壤呼吸趋于加强。但与仅进行温室升高的单因子处理相比，单独CO₂增加和上述双因子处理两种情形产生的影响更为相似。与单独温度升高相比，单独CO₂增

加和双因子处理导致细根生物量的增加要高于地上生物量的增加，三种情形下土壤呼吸都在加强，但后两种情形下的叶氮浓度皆有所下降。不过，双因子处理下矿质氮可利用性的下降并没有单独CO₂增加时的下降明显，这可能是由于变暖导致分解作用加速造成的。总生物量，特别是地上部分，双因子处理下的增加量位于两种单因子处理下的增加量之间，说明累加效应并不存在。这暗示了基于单因子过程参数化的地球系统模式可能高估了生产力的增加。分析认为，需要更多的、更长期的多因子处理试验来进一步理解不同的交互作用。由于在双因子处理中，CO₂造成的影响比变暖的影响更占优势，因此，建议在利用地球系统模式模拟全球变暖时，不应该仅使用单因子变暖试验来进行参数化。

气候变暖背景下极端降水的变化程度——How much do precipitation extremes change in a warming climate? *Geophysical Research Letters*, 2012, Vol. 39, L17707.

台湾中研院环境变迁研究中心的许乾忠等使用ECMWF和NCEP再分析逐日数据，分析了全球变暖下的降水强度变化。研究发现，基于两种再分析资料得到的结果和以往基于GPCP的有关研究结果具有很好的一致性，再分析资料给出了极端降水变化的又一种独立证据。研究指出，全球平均温度升高1℃，前10%的强降水的年降水量就会增加大约一倍，而小雨、中雨的年降水量会减少约20%。这些变化会使干旱、洪涝风险加剧，从而严重影响全球生态系统。得益于观测到的风场和湿度场的的数据同化，再分析使用的大气模式能够较好地模拟随全球温度变化的降水强度变化。相比，耦合气候模式也可以模拟出降水强度的变化，但对变化幅度的估计偏低了约一个量级。出现这种低估的最可能原因，是气候模式的空间分辨率一般太粗，而无法准确反映大气对流。

一个基于遥感的全球陆地干旱严重程度指数——A Remotely Sensed Global Terrestrial Drought Severity Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00213.1>

极端气候事件正在加剧区域干旱、洪涝灾害的发生频率和严重程度。尽管目前干旱指数和全球卫星观测数据的可利用性大大提高，但监测和检测区域到全球尺度的干旱依然面临挑战。近来，蒙大拿大学的慕巧珍等发展了一个近实时的遥感干旱严重程度指数（DSI），以监测和检测8天，月和年尺度上的1km空间分辨率的全球干旱状况。DSI融合了基于遥感的蒸散（ET）和常用的植被指数（NDVI）等信息，对植被水分胁迫特征反应灵敏。利用过去10年的DSI序列发现，DSI很好地捕捉了欧洲（2003年）、亚马逊（2005和2010年）和俄罗斯（2010年）的干旱事件。另外，DSI和PDSI具有一定的相关性（ $r=0.43$ ），两种指数给出了相似的干湿格局。DSI与基于遥感的植被净初级生产力（NPP）也存在相关，DSI与NPP的结合应用可能可以用来评价水分供应和生态系统的交互作用，包括干旱对作物产量和森林生产力的影响。与传统干旱监测方法的种种局限相比，DSI加强了近实时的干旱监测能力，将对区域干旱评价和及时有效制定干旱减缓对策提供帮助。

物候对气候的适时适应有利于物种应对气候变化——Phenological tracking enables positive species responses to climate change. *Ecology*, 2012, Vol. 93, No.8.

大量研究发现许多植物的物候特征（例如展叶、开花期）近几十年来呈现出提前趋势，这表明物种对全球气温上升已经有所响应。然而，不同物种对气温变化的物候敏感度有很大的差异，不能在物候上“追随”气候变化的物种可能在生长上处于劣势。加州大学圣迭戈分校的Cleland等对比了具有不同物候灵敏度的物种在气候变暖下的生长指标（生物量、根长、花的数量等），发现具有高物候灵敏度的物种的生长指标表现有所加强，而低物候灵敏度的物种的表现恰好相反。这表明在未来气候变化背景下，不能在物候上“追随”气候的物种可能存在更大的风险，而物候监测为未来的物种优先保护提供了一个重要工具。

EUMETSAT: 2011年报
2012年9月20日

欧洲气象卫星组织(EUMETSAT)发表的这份年报,全面概述了过去一年该组织的进展。2011年该组织成立25周年,也制定了新的战略——《EUMETSAT,一个位于欧洲心脏的全球业务卫星机构》,凸显其立足欧洲、放眼世界的韬略。其第三代气象卫星项目获准,将成为实现其战略目标的利器。到2011年,EUMETSAT拥有26个成员国和5个有望来年加入其中的合作国家。2011年,EUMETSAT利用3条不同轨道上的5颗业务卫星,实施天气、大气成分、海陆表面和气候观测并发送观测结果,表现优异,全年的观测和发布业务,仅中断过几个小时。



《Weatherwise》
2012年7—8月

这本在北美洲流行的专业气象科普杂志,本期推出了重点文章,讨论社交媒体与天气之间的新联系。配合象征当前丰富的社会媒体的图案,杂志封面更是发出了“社交媒体:改变公众看天气的方式”的感叹。主打文章“社交媒体:预报的新境界”,论述了包括Facebook、微博和博客等在内的社交媒体,正在改变公众与天气交互的方式。文章列举了一些美国私人气象公司,例如天气频道、AccuWeather在新社交媒体上提供的各种形式的天气信息。

UN:《世界水发展报告》
2012年10月

联合国最新的世界水发展报告,日前正式推出。这份3卷本的报告共有51章,各卷的主题分别是“不确定性和风险下的水管理”、“知识基础”和“面对挑战”。报告认为,水是联系地方和区域,带来全球粮食安全、公共健康、城市化和能源等一系列问题的重要要素。因此,如何利用和管理水资源,是世界可持续和平发展的核心内容之一。据悉,从2003年起,联合国教科文组织开始推出世界水发展报告,今年发表的是第四份报告,全面评估了全球和水相关的环境状况及相关内容。



《地球》
2012年8月

这份由国土资源部主管的期刊,用封面报道的方式,反思今年华北地区,特别是京津冀的旱患。期刊派出多名记者,报道和反思了主要发生在今年7月的几次暴雨过程带来的成灾过程分析,同时评介了国内外应对旱患的有效方法。

《新科学家》
2012年9月22日

这本美国著名的科学传播杂志,本期以《“正视”地球工程——主动恢复或减少因人类活动带来的地球环境变化》作为封面文章。然而,正像封面报道的副标题所发出的疑问,“我们制定了冷却地球的计划,它们能成吗?”这样的疑问,不仅针对各种设想的地球工程本身,更是针对这些工程要达到的目的是否会实现,也许还包括了这些工程一旦实施,会有什么样的预想不到的结果。

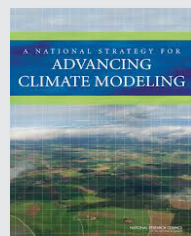


媒体扫描

MEDIA SCAN

《财智月刊》
2012年8月

这份《华尔街日报》旗下的财经类杂志,本期瞄准了矿物燃料。虽然出发点不是说矿物燃料引起的温室效应,却也难言没有一点关系。封面文章认为,前几年人们认为矿物燃料早晚会上涨,所以能源价格一定会上涨。但是,最近美国生产的天然气的价格只是欧洲和亚洲的1/4,导致矿物燃料的回归。而新能源比矿物能源要贵,而且现在的趋势是它们之间的价差正在扩大。创办于1889年的《华尔街日报》,是美国乃至全世界影响力最大,侧重金融、商业领域报导的日报之一。《财智月刊》创刊于1992年,该刊以通俗易懂的高质量内容吸引了不断成长的读者和订户群,树立了在个人理财类刊物中的权威地位。



NAS:《推进气候模拟国家战略》
2012年9月

美国科学院(NAS)发表的这篇报告,号召美国的模拟研究人员共同努力,更好地开发、解释及比较气候和天气模式。报告建议,气候和天气模拟界要试图架构标准化的软件平台,为下一代超级计算机的登台做好准备。这份250页的报告,全面给出了美国未来面临的挑战,从年轻的气候和天气模拟人员匮乏,到新的“气候模式解释员”类别人员的需求等。但是,报告认为最核心的挑战还是如何“搅动美国气候科学界的惰性”,促进最新和更广泛的科学和技术前沿成果的融合。此外,报告还认为,气候模式更加精细和准确,还可以和天气模式结合在一起。

EPA:《气候有序江河入海口脆弱性评估》报告
2012年

美国环保署(EPA)发表的这份报告认为,江河入海口生态系统,在面对气候变化引发的降水、水文改变和海面升高时,是高度脆弱的。为此EPA专门设立了气候有序河口(Climate Ready Estuaries, CRE)项目开展专门研究、评估和示范。本报告为CRE示范项目成果之一,以旧金山海湾的盐沼和泥潭地的生态系统为例,介绍和展示了气候变化脆弱性评估的新方法。



《世界森林状况(2012年)》
2012年9月

联合国粮农组织每两年发表的这份系列报告,全面给出世界森林状况的动态评估。从这份最新的评估报告里我们得知,目前全球森林覆盖面积约为40亿公顷,相当于地球陆地面积的31%。木材占全球初级能源总供给量的9%以上,是20多亿人口做饭和取暖所依赖的主要能源。世界上有6000万土著人口,需要完全依靠森林来生存和生活。

《国家地理》
2012年9月

这份世界上享有盛名的杂志,本期瞄准了肆虐美国的龙卷风,以及其他各种灾害天气。封面上的一句“天气怎么了”吸引了读者,而题目下罗列的“3月份夏季”、“创纪录的洪水”、“没有尽头的干旱”和“暴力大雪”等灾害,更是让读者对照本地的极端天气现象和期刊发出同样的感叹。



Supervisor China Meteorological Administration (CMA)
Sponsor CMA Training Centre
Published by Editorial Office of Advances in Meteorological
Science and Technology

Honorary Editor Chou Jifan

Editor-in-Chief Xu Xiaofeng

Associate Editors

Xiao Ziniu
Zhai Panmao
Luo Yunfeng
Wang Huijun
Li Weijing
Hu Yongyun
Tan Zhemin
Fei Jianfang
Guan Zhaoyong
Zhou Dingwen
Huang Jianping
Liao Xiaohan
Lü Shihua
Jia Pengqun (executive)

Managing Editors

Cheng Xiuhu, Gao Xuehao, Gong Jiandong, Guo Xueliang, Li Bai, Li Guoping, Ni Yunqi, Qu Xiaobo, Ren Guoyu, Ren Xiaobo, Shen Wenhai, Wang Weidan, Wu Bingyi, Yang Xiuqun, Yu Xiaoding, Zhang Chaolin, Zhang Peng, Zhang Qingyun, Zhao Ping

Editors

Bi Baogui, Chen Yunfeng, Chen Zhenlin, Cui Chunguang, Cui Jiangxue, Dong Wenjie, Feng Guolin, Guo Hu, He Jinhai, He Qing, Hu Xin, Hu Yurong, Hu Yewen, Jiang Tong, Lei Xiaotu, Li Hui, Li Jiming, Li Liangfu, Li Yaohui, Li Yueqing, Liang Xudong, Liu Jingmiao, Liu Liping, Liu Shi, Lu Naimeng, Lu Riyu, Luo Bing, Luo Yali, Ma Li, Ma Shuqing, Ma Yaoming, Mao Hengqing, Peng Yinghui, Pu Yifen, Shi Guangyu, Song Yan, Tang Xu, Tian Hong, Wan Qilin, Wang Bin, Wang Donghai, Wang Jianlin, Wang Xiaoyun, Wang Yanqing, Wang Yingchun, Wang Yuan, Wang Zaizhi, Wang Zifa, Wen Min, Wen Hongtao, Wu Liguang, Xie Zhihui, Yan Guanhua, Yang Shaoming, Yao Xuexiang, Yi Lan, Zhai Wuquan, Zhang Hua, Zhang Lixiang, Zhang Xiaoling, Zhang Yuetang, Zhao Guangzhong, Zhou Lingxi, Zhou Xianxin, Zhu Dingzhen, Zhu Xiaoxiang, Zhu Yande, Zou Liyao

Overseas Editors

Chen Jingming, Li Jun, Liu Zhengyu, Jin Feifei, Wang Bin, Weng Fuzhong, Yang Song, Zhang Dalin, Zhang Guangjun, Zou Xiaolei

Editorial office

Zhang Meng, Hou Meiting, Hu Ying, Chen Zhongmei

Add: CMA Training Centre, 46 Zhongguancun Nandajie,
Beijing 100081, China
Tel: +86-10-68409927/68409933
Email: amst@cma.gov.cn
<http://library.cma.gov.cn/amst>
<http://weibo.com/2115232930/profile>

Printed by

Beijing Baochang Color Printing Limited Corporation

ISSN 2095-1973
CN 10-1000/P
RMB 20.00

Main Contents

(Special Issue: Modern Weather Operation)

Message from the Editor-in-Chief

Article

- 6 Duan Yihong et al/ The Status Quo of Modern Weather Operations in China and Its Future
12 Zhao Shengrong et al/ The Development of Objective Meteorological Element Forecast in China
22 Mao Dongyan/ The Monitoring and Forecasting Operation of Severe Convective Weather in China
29 Zong Zhiping et al/ The Research Progress of Quantitative Precipitation Forecast
36 Qian Chuanhai et al/ The Current Status and Future Development of China Operational Typhoon Forecasting and Its Key Technologies
44 Qian Weihong/ Transient Eddy Method and Its Application on the Forecast of Extreme Weather Events
49 Zou Xiaolei/ GPS RO Data Characteristics
55 Wang Gang et al/ Cause of a Heavy Rain in Autumn at Guangzhou Baiyun Airport and Trigger Mechanism of Upper Convection Cloud
58 Zhang Meng et al/ Bibliometric Analyses on the Field of Weather Forecast

Forum

- 61 Zhou Jianhua et al/ The Progress in Modern Meteorological Operation for Civil Aviation in China
64 Zhou Qingliang/ On the U.S. 'Severe Convection Forecasting Philosophy and its Technological Thinking Method'
68 Wang Yaguang et al/ A Test Assessment on the Benefit of Meteorological Research Results
70 Zhou Yan et al/ On the Normalized Adjustment of the Key Network within the State-level Meteorological Community

Reading

Book Review

- 76 Zhang Hongbo/ Toward a More Efficient and Innovative Electricity Sector in Russia

Information

- 21 New Publication
43 Eyes on Weather Station by Editor: Dagan, Yunnan
77 Selected Papers

Survey

- 2 Picture/ Number/ Ranking

Feature

- 73 Jia Pengqun/ NOAA NWS's Value and Role in the Future