

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

王志强 中国气象局气象干部培训学院
肖子牛 中国科学院大气物理研究所
翟盘茂 中国气象科学研究院
于玉斌 中国气象局
李维京 国家气候中心
胡永云 北京大学
谈哲敏 北京大学
孙健芳 中国气象局公共气象服务中心
费建芳 国防科技大学
赵立成 国家气象信息中心
张鹏 国家卫星气象中心
管兆勇 南京信息工程大学
何建新 成都信息工程大学
黄建平 兰州大学
廖小罕 中国科学院地理科学与资源研究所
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	郭虎	郭学良
李柏	李国平	罗云峰	倪允琪	曲晓波
任国玉	任小波	沈文海	王存忠	王怀刚
王卫丹	武炳义	杨修群	俞小鼎	张朝林
张庆云	赵平			

编委 (按音序排名)

毕宝贵	陈镜明	陈云峰	陈振林	崔春光
崔讲学	董文杰	杜钧	封国林	何金海
何清	胡欣	胡跃文	姜彤	金飞飞
雷小途	李集明	李俊东	李良福	李耀辉
李跃清	李忠	梁旭宇	刘晶	刘黎平
刘立	刘征	刘宇	卢乃锰	陆日莹
罗兵	罗亚丽	马舒庆	马耀明	彭莹
浦一芬	宋燕	索渺清	汤绪	田红
万齐林	王斌	王斌(海外)	王东海	王海元
王建林	王式功	王延青	王迎春	吴立广
王自发	卫晓莉	温敏	翁富	杨萍
谢志辉	闫冠华	延晓冬	杨武全	张大林
杨昭明	姚学祥	伊兰	翟武全	赵广忠
张广俊	张立祥	张小玲	张跃堂	朱定真
周定文	周建华	周凌晔	周显信	邹晓蕾
朱小祥	朱玉洁	祝燕德	邹立尧	

编辑部

张萌 侯美亭 秦莲霞 冀文彬 江剑民
崔晓军

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://cma.library.cn/amst

投稿系统: http://qxkjjz.cbpt.cnki.net/EditorCN/Quit.aspx

官方微博: http://weibo.com/2115232930/profile

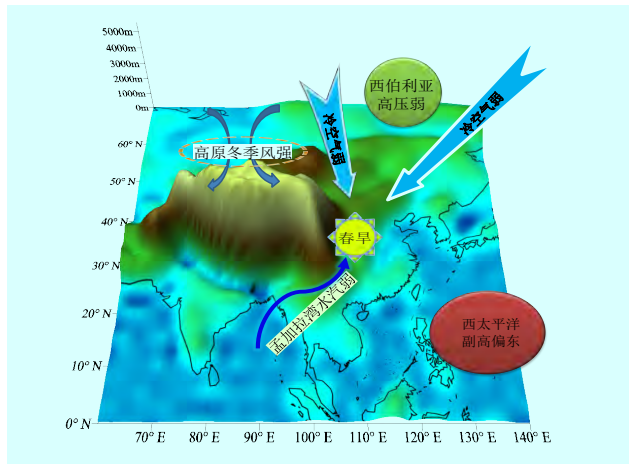
印刷: 北京金吉士印刷有限责任公司

本期责任编辑: 侯美亭

ISSN 2095-1973

CN 10-1000/P

定价: 30元



本刊已被万方数据、《中国学术期刊网络出版总库》和CNKI系列数据库以及《中文科技期刊》(维普网)全文收录, 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9卷 第5期 2019年10月20日

1 许小峰: 主编语

研究论文

研究进展

- 6 张顺谦, 王春学, 甘薇薇: 一种改进的高原季风指数及其与四川春旱的关系
- 16 雷蕾, 孙继松, 乔林, 陈明轩: 一次超级单体雹暴的中尺度对流特征和形成条件分析
- 24 鲁亚斌, 唐盛, 闵颖, 胡娟, 李华宏, 许迎杰, 杨竹云: 孟加拉湾低压与昆明准静止锋影响下云南极端暴雨过程分析
- 32 许淇, 李启亮, 张吴平, 张晔萍, 张明伟, 高浩, 范锦龙: 风云卫星数据在中国农业监测中的应用进展

短论

- 37 孙倩倩, 王也, 袁东敏, 闵裕秋, 隋伟辉: 玉米、小麦和水稻种植气象服务图示应用
- 43 穆璐, 于金, 刘红欣: 紫外线预报产品设计与研究

专题 基层气象现代化

- 47 梁涛, 何盛浩, 王佳丽, 王露, 杨津: 荆门市近60年日照时数变化特征及其影响因素
- 52 黄彬, 贺汉清, 陈玉华: 梅州双偏振雷达天线过冲故障分析

主编语

在不同季节,青藏高原相对于周围同高度自由大气的温差会出现显著、甚至是相反的变化,从而可以通过热力作用对周围及邻近地区的大气环流、天气气候产生影响。夏季,青藏高原为热源,在近地面层会形成热低压,在冬季则相反,为冷高压。与此气压系统相适应,在高原周围存在一冬夏盛行风向相反的季风层,构成青藏高原季风,可以用高原季风指数作为指标反映青藏高原季风的强弱。然而,目前高原季风指数定义尚无统一标准,几种代表性指数反映出的高原季风特征不完全一致,且较多关注高原夏季风对我国夏季气候和旱涝的影响。本期封面报道(P6)选取并改进了一种新的高原季风指数,能较好反映高原冬夏季风转换时间和年际变化特征,并基于该季风指数分析了高原冬季风异常对四川春季干旱的影响。

我国地处季风气候区,造成各地气温、降水伴随季风活动和强弱出现较大变化,导致干旱、低温冷害、冰雹、高温等气象灾害频频发生,严重影响着我国农业的发展。有效开展气象为农业服务是减少农业气象灾害影响的途径之一,提炼出农作物关键期重点气象服务提示、并利用相应的科普宣传图集,有助于大众对气象信息的理解,提升接受度和服务效果(P37)。另外,随着我国卫星技术水平的不断提升,风云卫星的农业遥感应用

得到了快速的发展。我国学者利用风云卫星在作物长势监测、作物分类与面积统计和产量估算、农业气象灾害监测、草原生态监测以及数据精细化处理等方面开展了大量的研究工作,取得了一系列成果(P32),为及时、高效、准确的提供作物生产信息,支撑国家的粮食安全战略提供了保障。

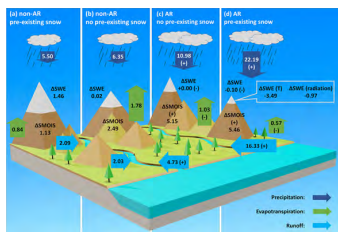
2006年以来,在全球掀起了第三次人工智能(AI)浪潮,其发展特点与前两次明显不同之处在于现代深度学习技术的快速提升,而这与人工智能日渐蓬勃的商业化密切相关。我国气象部门基于当今业务需求已经开展了新一代人工智能预研究(P55),其中,基于深度学习的临近预报已经取得了一定进展。预报模型不仅能跟踪雷达回波的移动方向,而且能较好地反映雷达回波的生消变化,较传统雷达回波外推方法取得了一些新的进展。

1849年俄国东正教会在北京建立地磁气象台和1872年法国教会在上海徐家汇建立观象台等一系列事件,推进了中国开始进入到近代气象观测时代。本期往事钩沉回顾了云南(P63)、重庆(P68)、新疆(P71)的近代气象观测活动,同时也特别关注了中华人民共和国成立前三地的气象观测史,以期为我国现代的气象观测提供一些历史参考和借鉴。

许小峰

论坛

- 55 唐伟,周勇,董昊,张定媛,赵文芳:我国气象领域应用人工智能技术的现状和国际对比
- 57 郭荣芬,彭启洋,李峻峰:新媒体时代气象科普舆论引导的需求及对策——以云南气象科普的实践与探索为例
- 60 王蕾,俞卫平:从《气象》载文统计看气象科技的发展



P4

科学观察

- 2 读图 数字 榜单

往事钩沉

人物/事件

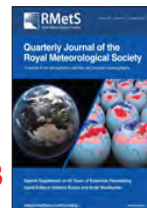
- 63 解明恩,和文农:云南近代气象台站创建历史述略
- 68 吉莉:重庆市北碚区气象局的前世今生
- 71 李冬梅,任宜勇,张静:20世纪上半叶苏联在新疆开展气象活动的研究

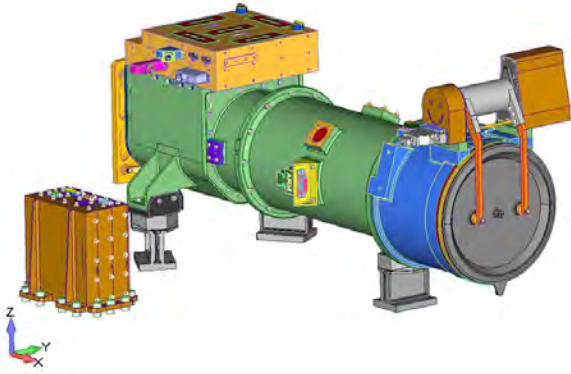
阅读

信息

- 46 新书架
- 70 贾朋群:集合预报:预报新观念的25年
- 76 钱馨平,路雅恬,张萌:第四次“台站巡礼”策划研讨活动成功举办
- 77 高被引论文选编
- 79 编辑选编
- 封3 媒体扫描

封3

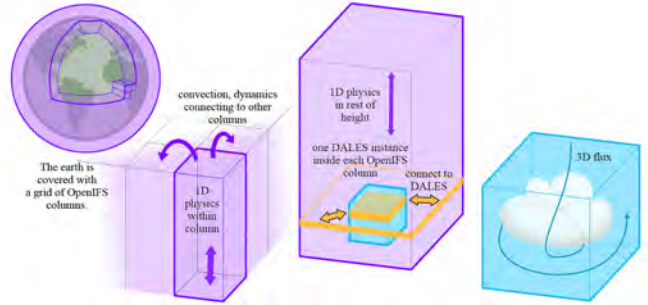




GOES-U: 增加日冕探测器

计划2024年升空的美国地球静止业务环境卫星GOES-U, 并非是目前在轨的GOES-R的简单复制, 而是计划增加由美国海军研究实验室研制的空间天气探测设备——袖珍日冕仪 (Compact Coronagraph, CCOR, 见图)。目前CCOR已经完成了关键设计评估, 将进入仪器制造阶段。

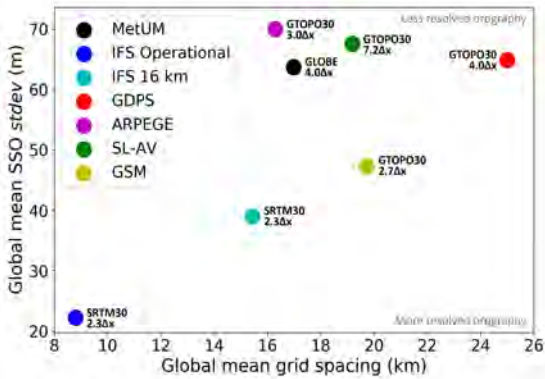
来源: NOAA



超参数化方法改进模式中云过程的表达

气候模式的分辨率无法解析云生成时的尺度过程, 是一直困扰学者的问题。荷兰学者在一项最新的研究中提出超级参数化方法, 直面这类问题。研究者的思路是用更小尺度和更准确的云过程模拟替代全球环流模式中的个别参数化。上图为超级参数化模式 (superparameterized model) 示意图。其中, 全球模式OpenIFS (紫色) 的一些格点被选中实施超级参数化。选中的每个格点与局地模式DALES (蓝色) 进行耦合, 实现三维云和对流解析。由此生成的趋势再反馈回全球模式。

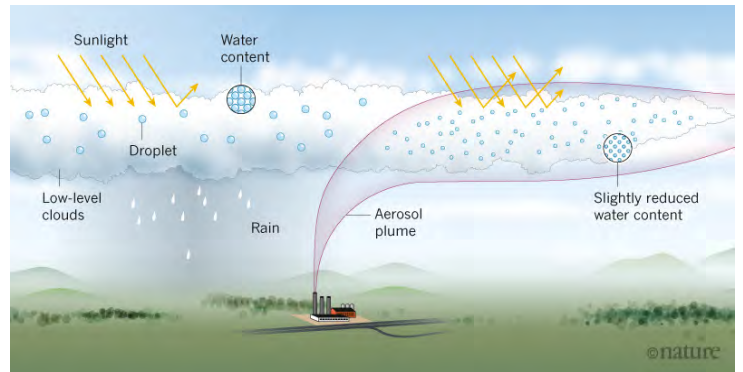
来源: *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*



地形带给模式的不确定性

英国气象局与多国气象机构合作者, 针对地形在天气、气候模式的表征, 包括网格尺度地形和次网格尺度地形 (subgrid - scale orography, SSO) 所带来的不确定性展开研究。图中给出用模式分辨率表征的SSO的标准差 (图中 Δx 表示模式网格距)。

来源: *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*



人为气溶胶作用的细节研究

人类活动生成的低层云气溶胶, 如图中所示的一个工厂制造的气溶胶烟云, 所携带的液滴更小且数量较平常更多, 并形成低层云。因此, 能反射更多太阳照射, 使地球变得更冷。研究表明, 人为气溶胶导致云中水含量 (因而降水频率) 弱减少。该效应略微弱化了总体气溶胶导致的云反射的增加。

来源: *Nature*

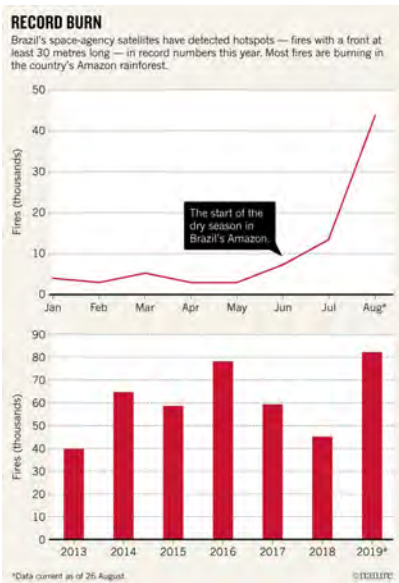
数字

53% IPCC最新发表的AR6周期第二份特别报告《气候变化与土地》, 全面审视土地利用与气候变化问题。这份报告是IPCC历史上第一次发展中国家作者占比超过一半, 达到53%。

1.44万颗 德国和瑞士学者发表的最新研究表明, 对全球海洋构成威胁的微塑料, 已经进入大气循环。在1升北极雪中, 微塑料颗粒数多达1.44万, 而在德国南部乡村, 数量更是多达15.4万。

20年 截至2019年8月, 黄河实现连续20年不断流。黄河自1972年到1996年的25年里, 有19年出现断流, 1997年更是发生黄河下游占河道总长90%、持续达226天的迄今最严重断流。

国际“季风指数”主题被引频次最高的前10篇论文



火势令人忧

2019年于季巴西亚马孙地区热带雨林火灾，吸引了全球的关注。截止8月，火灾次数达8万次以上，超过去年同期80%。图中给出今年（上）和近年该地林火发生情况的比较。

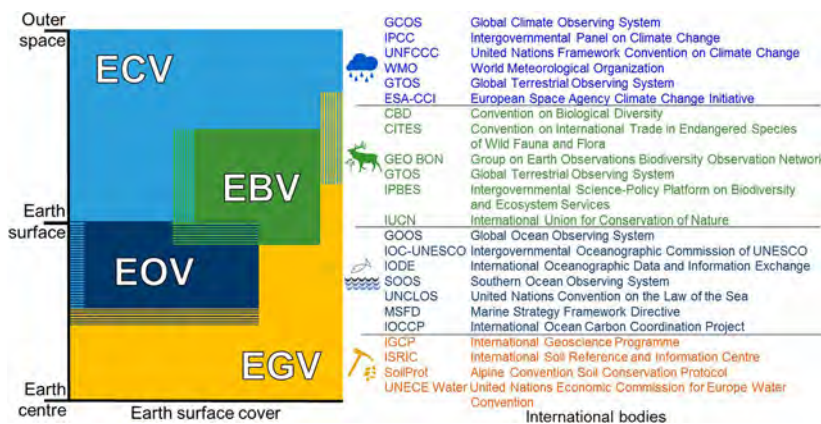
来源: Nature

排名	篇名	第一作者	来源	被引
1	Monsoon and ENSO - selectively interactive systems	Webster, PJ	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 118(507)	1113
2	Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system	Torrence, C	Journal of Climate, 12(8)	853
3	Choice of south Asian summer monsoon indices	Wang, B	Bulletin of the American Meteorological Society, 80(4)	481
4	A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon	Jhun, JG	Journal of Climate, 17(4)	303
5	A broad-scale circulation index for the interannual variability of the Indian summer monsoon	Goswami, BN	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 125(554)	293
6	Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon	Lau, KM	Journal of Climate, 13(14)	267
7	A unified monsoon index	Li, JP	Geophysical Research Letters, 29(8)	244
8	The mean evolution and variability of the Asian summer monsoon: Comparison of ECMWF and NCEP-NCAR reanalyses	Annamalai, H	Monthly Weather Review, 127(6)	194
9	Ocean forcing to changes in global monsoon precipitation over the recent half-century	Zhou, TJ	Journal of Climate, 21(15)	160
10	Asynchronous evolution of the Indian and East Asian Summer Monsoon indicated by Holocene moisture patterns in monsoonal central Asia	Wang, YB	Earth-Science Reviews, 103	170

来源: SCI-E数据库

检索时间: 2019年9月19日

侯美亭 提供



全球环境治理的大视角

英国、荷兰等多国学者在最新研究成果中呼吁，地质多样性也是推进可持续管理的重要方面。如图，研究者用已有的关键气候变量（ECV，浅蓝）、关键海洋变量（EOV，深蓝）、关键生物多样性变量（EBV，绿）和关键可持续发展目标（ESDGV）对地球的覆盖，并给出建议的关键地质多样性变量（EGV，橙）对地球的覆盖情况。其中，EBV并未延伸到整个地球表面（水平轴），一些关键变量之间有重叠（条纹区域）。图右侧给出主要的相关监测和评估网国际条约。

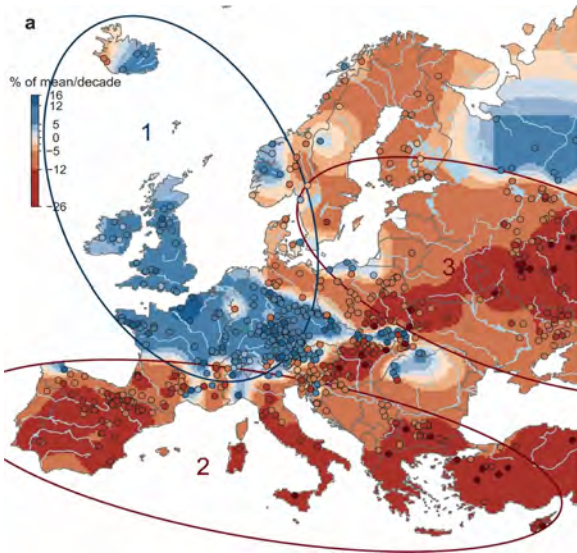
来源: PNAS

1.5 m/s 中法海洋卫星日前完成了8个月的测试，其中海面风场产品精度优于1.5 m/s，空间分辨率处于世界领先水平。卫星可获得全球海洋风场、海浪谱产品，应用于台风、海浪和海冰监测。

10% 美国全国经济研究所最新发表的研究报告对174个国家50年来的数据进行研究，指出如果“一切照旧”不对温室气体排放进行限制，到2100年全球温度将上升4℃，世界和美国的人均GDP分别减少7%以上和10%。

200万条 中国自2002年正式加入国际Argo海洋观测计划后，累积收集了全球Argo实时海洋观测网近200万条0~2000 m水深范围的温盐剖面资料。

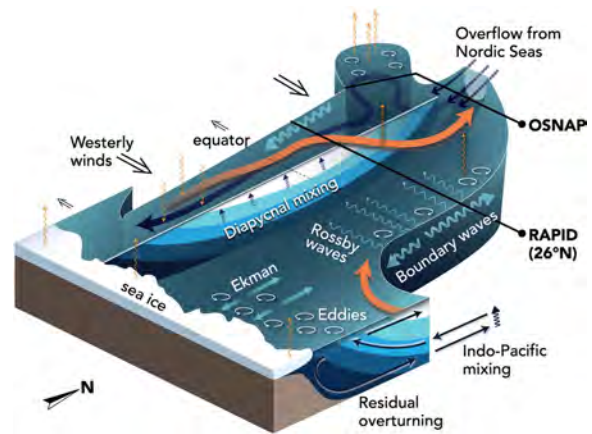
读图



气候变化带给欧洲河流洪水的趋势：3个区域表现各异

气候变化导致主要气象灾害，如河流洪水的主要变化趋势是什么，英国等欧洲多国学者在最新发表的文章中给出了答案。研究表明，西北欧（1）、南欧（2）和东欧（3）分别表现出不同的趋势：降水和土壤湿度增加、降水减少蒸发增加和融雪减少和提前。

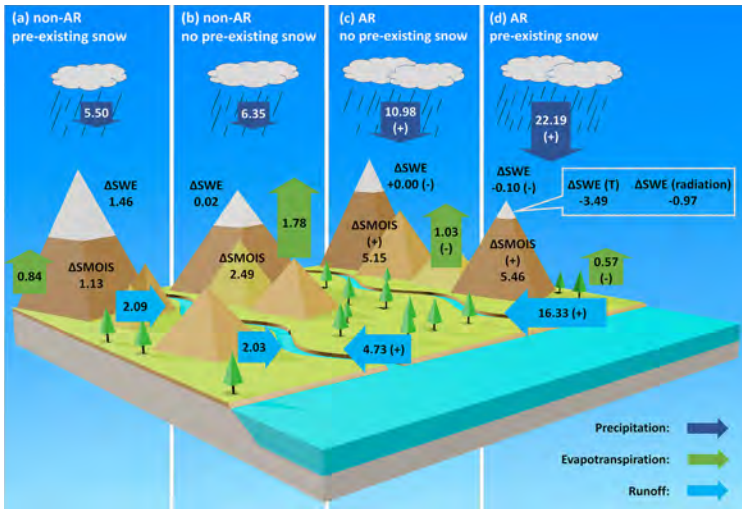
来源：Nature



最近20年对AMOC的认识

大气、海洋、生物圈和冰雪圈等圈层的相互作用，大多通过各种机制。AMOC（大西洋经向翻转环流）是其中重要的机制之一。英美学者在最新发表的进展评述文章中，对最近20年来学界对AMOC认识的不断深入进行了梳理，并用上图揭示了决定AMOC强度、结构和变率的关键过程，图中用红箭头表示最上层向北暖流，向南深水较冷水流用蓝色箭头表示。最近10~20年部署的观测阵列，如图中黑色线标注的始于2004年位于26°N的RAPID-MOCHA阵列和OSNAP（北大西洋近极地翻转项目）阵列，以及新一代海洋和气候模式为更深入认识AMOC做出了贡献。

来源：Journal of Geophysical Research: Oceans



大气河流在地表的痕迹

大气河流（AR），即大气中从赤道向极地方向狭窄的高湿度气流传输通道，已经得到更多学者的认可。美国学者在最新发表的研究成果中，给出了AR在美国西部陆地水文中的痕迹。图中给出地面平均水文过程对存在或不存在AR的反应，包括降水、蒸发、径流和雪水当量变化（ ΔSWE ）等（图中数字的单位为mm/d）。

来源：Journal of Geophysical Research: Atmospheres

数字

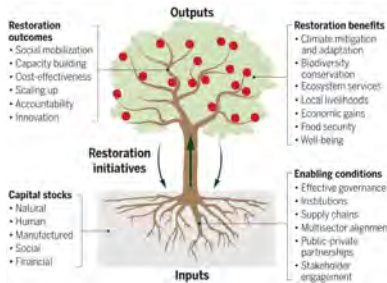
197个 1987年，46个国家签订了旨在保护大气臭氧层的蒙特利尔条约，为逐渐停止消耗臭氧层物质的使用打下基础。今天多达197个国家批准了该条约，由于消耗臭氧层物质同时也是温室气体，更多国家批准条约也为减缓气候变化做出了贡献。

2.5米 我国首颗民用高光谱业务卫星——5米光学业务卫星2019年9月12日成功发射，该卫星搭载的2台探测设备，其中全光谱段分辨率可达2.5米，多光谱为10米，高光谱优于30米。

700万人 瑞士国内难民监测中心最新报告显示，2019年1—6月暴风雨和洪水等极端天气造成700万人流离失所，创下纪录。报告预计今年全年受灾人数可达2200万人，是上半年的3倍。

Restoration systems deliver multiple benefits

A forest restoration system integrates structures (trunk and roots) that assimilate and distribute resources (soil) to initiate and sustain restoration outcomes (branches). The system ultimately delivers myriad benefits for nature and humanity (fruits). Restoration outcomes and benefits sustain the system, stabilize enabling conditions, and increase capital stocks.



森林恢复 多方受益

“绿水青山就是金山银山”，在生态学上得到了更多验证。美国学者最近说明了森林恢复系统将综合能够吸收和分布资源（土壤）的树木结构（树干和根系），得到持续的产出（树枝）。恢复系统最终给自然和人类（果实）带来无限益处。森林恢复和受益维持系统，稳定适宜环境并增加资产存量。

来源: Science

中国“季风指数”主题被引频次最高的前10篇论文

排名	篇名	第一作者	来源	被引频次
1	近40年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常	施能	大气科学, 1996, (6)	269
2	一个新的季风指数及其年际变化和与雨量的关系	李建平	气候与环境研究, 2005, (3)	192
3	南海夏季风活动及其影响	李崇银	大气科学, 1999, (3)	160
4	东亚季风指数及其与大尺度热力环流年际变化关系	祝从文	气象学报, 2000, (4)	155
5	东亚夏季风的季节内振荡研究	据建华	大气科学, 2005, (2)	140
6	一次东北冷涡中东亚季风对西北地区干旱气候的影响	张存杰	高原气象, 2002, (2)	134
7	东亚季风指数的定义及其与中国气候的关系	乔云亭	大气科学, 2002, (1)	122
8	东亚副热带夏季风指数及其与降水的关系	赵平	气象学报, 2005, (6)	113
9	高原季风年际变化的初步分析	汤懋苍	高原气象, 1984, (3)	111
10	关于季风动力学以及季风与ENSO循环相互作用的研究	黄荣辉	大气科学, 2003, (4)	106

来源: CAJD数据库

检索时间: 2019年9月19日

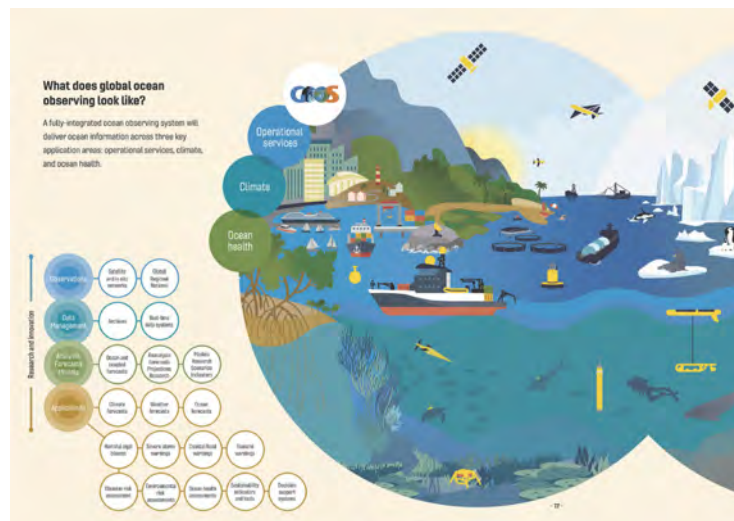
张萌提供



2018年美国龙卷发生偏少

2018年美国发生了大约1124次龙卷，较长期平均偏少大约8%。全年时间段来看，偏少主要是冬末和春季，而夏、秋两季还略微偏多。全年没有发生EF-4以上强龙卷，这也是现代龙卷记录以来的第一次，全年因龙卷死亡10人，也远远少于最近25年年均死亡75人的平均值。图中给出2018年美国龙卷分布。

来源: Weatherwise



2030年的全球海洋观测

全球海洋观测系统（GOOS）最新发布的2030年战略，描述了未来着眼于业务服务、气候和海洋健康三个关键应用领域的全球海洋观测情景。

来源: GOOS

1年 2019年10月10日，NASA将电离层连接探测器卫星（Ionospheric Connection Explorer, ICON）送入轨道。这颗致力于研究天气与空间之间联系的卫星，携带了4种探测仪器，探测范围大约包括地球以上90~580km。卫星因火箭问题被推迟了1年以上。

68000 住户

数据咨询公司CoreLogic最新发表的报告称，美国加州首府萨克拉门托市市区有68000住户面临“高”或“极高”林火风险。为这些社区居民再造数万住房，需要300亿美元投入。

95~130

太阳活动周期预测委员会的专家，对即将到来的第25个太阳周期进行了预测，结果指出该周期太阳活动总体水平与24周期相似，太阳黑子数在95~130范围内（低于140~220的均值），峰值期出现在2023—2026年。

一种改进的高原季风指数及其与四川春旱的关系

张顺谦^{1, 2} 王春学² 甘薇薇²

(1 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 成都 610071;

2 四川省气候中心, 成都 610071)

摘要: 利用1961—2016年四川150个气象站的春旱日数资料和NCEP再分析资料, 采用相关分析、小波分析, 以及合成分析等方法, 通过对Div_PMI的改进定义了一个新的高原季风指数Div_PMI₂, 并分析了高原冬季风异常造成四川春旱异常的可能原因。结果表明, 四川大部地区春旱日数呈弱的减少趋势, 但春旱常发区(四川盆地西部和南部及川西南山地)呈显著增加趋势; 与几种代表性高原季风指数比较, Div_PMI₂能够更好地反映高原冬夏季风的转换时间和相对强弱, 56年内该指数冬(夏)季均为正(负)值, 没有出现相反的情况, 并且与四川平均春旱日数有更高的相关性和更为相似的周期振荡特征; 环流分析表明, 当高原冬季风偏强时, 春季西伯利亚高压偏弱、孟加拉湾和高原高度场偏高、西太平洋副高偏东, 导致北方冷空气偏弱、高原低值系统发展受阻、西南暖湿气流不能输送到四川, 加之对流层中层被下沉气流所控制, 水汽向外辐散, 由此导致该地区出现晴朗少雨天气, 发生春旱。

关键词: 高原季风, 四川, 春旱

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.001

An Improved Plateau Monsoon Index and Its Relation with Spring Drought of Sichuan Province

Zhang Shunqian^{1, 2}, Wang Chunxue², Gan Weiwei²

(1 Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu/Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072

2 Sichuan Provincial Climate Center, Chengdu 610072)

Abstract: By using the data from 150 meteorological stations in Sichuan and the NCEP reanalysis data, and the methods of correlation, wavelet and synthetic analysis, a new plateau monsoon index (Div_PMI₂) was constructed by improving the Div_PMI. The possible reasons for the abnormal spring drought caused by the plateau winter monsoon were analyzed. The results showed that in most areas of Sichuan Province, the number of spring drought days tended to decrease weakly, but the spring drought-prone areas (western and southern Sichuan Basin and mountainous areas in southwestern Sichuan) tended to increase significantly. The Div_PMI₂ was always positive (negative) in winter (summer) from 1961 to 2016. Therefore, the new index can better characterize the transition time and relative strength of the plateau monsoon compared to several typical plateau monsoon indices. The Div_PMI₂ index has higher correlation and more similar periodic oscillation characteristics with the average spring drought days than other indices in Sichuan province. The analyses of circulation showed that the Siberian high was weakened and the height field in the bay of Bengal and the plateau was positive anomaly when the plateau winter monsoon was strong. As a result, the cold air in the north was weak, the development of low-value system in plateau was hindered, and the southwest warm and humid air flow could not be transported to Sichuan. In addition, the middle troposphere was controlled by subsidence airflow, and water vapor diverged outward, which led to sunny and rainless weather and spring drought in this area.

Keywords: plateau monsoon, Sichuan, spring drought

0 引言

春旱是四川常发的一种气象灾害, 嘉陵江以西龙泉山以东的地区有70%以上的年份都会发生春旱^[1]。严重的春旱常给四川社会经济造成重大损失,

如1999年四川盆地发生的严重春旱, 造成粮食减产 3.5×10^8 kg, 6.563×10^6 人饮水困难^[2]。再如2009年秋至2010年春, 攀西地区发生了50年不遇的秋冬春连旱, 造成 1.4×10^8 m²农作物绝收, 6.3×10^5 人饮水困难。因此, 加强四川春旱形成机理研究, 提高春旱预测能力, 对于减轻干旱造成的损失有重要意义。

青藏高原通过热力作用对周围及邻近地区的大气环流、天气气候产生影响^[3]。夏季青藏高原近地面

收稿日期: 2019年3月11日; 修回日期: 2019年7月17日

第一作者: 张顺谦(1964—), Email: z_sqian@126.com

资助信息: 四川省应用基础研究重点项目(2017JY0294)

层为热低压, 冬季为冷高压, 与此气压系统相适应, 在高原周围存在一冬夏盛行风向相反的季风层, 这就是青藏高原季风^[4] (以下简称高原季风)。高原季风指数是反映高原季风强弱的指标, 汤懋苍等^[5]从高度场出发首次定义了高原季风指数TPMI (Traditional Plateau Monsoon Index), Xun等^[6]通过引入高原近地层气压系统中心位置参数对TPMI进行修正, 以此定义了一个动态高原季风指数DPMI (Dynamic Plateau Monsoon Index), 齐冬梅等^[7]、田俊等^[8]从风场出发, 根据高原南北两侧纬向风差异定义了一个高原夏季风指数ZPMI (Zonal Wind Plateau Monsoon Index), 周懿等^[9]根据600 hPa散度场高原主体区冬夏季辐散辐合相反的特性, 从散度场出发定义了一个高原季风指数Div_PMI (Divergence Plateau Monsoon Index), 王颖等^[10]和庞轶舒等^[11]从高原季风环流角度出发定义高原季风强度指数。这些指数从不同侧面反映了高原季风的特征, 对高原季风都具有一定的表征能力, 但由于定义角度和应用目的不同, 所反映出的高原冬夏季风相对强弱、转换时间等不尽相同, 与四川春旱的相关程度也有较大差异。

高原季风异常引起大气环流发生改变, 对我国及高原地区天气气候产生影响。白虎志等^[12-13]研究发现, 夏季青藏高原高度场指数与同期我国降水相关分布从华北到华南呈“+ -”东西向带状分布, 冬季高原高压强度指数与同期我国气温均为正相关。马振峰等^[14-16]研究指出, 当高原夏季风偏强(弱)时, 热带海温表现为拉尼娜(厄尔尼诺)特征, 南亚高压也偏强(弱), 位置偏北偏东(偏南偏西)。周娟等^[17]分析发现, 在高原夏季风强年, 高原中、东(西)部降水多(少), 气温高(低), 而弱季风年, 则与之相反。齐玉磊等^[18]分析发现高原夏季风异常与中东亚干旱半干旱区夏季降水异常有关。王颖等^[19]、齐冬梅等^[20]发现高原冬季风对西南地区冬季气温有着一致影响, 当高原冬季风偏强(弱)时, 西南地区冬季气温一致偏高(低)。罗雯等^[21]分析了高原冬季风强弱年我国的气候差异, 发现高原冬季风的影响具有滞后效应, 高原冬季风强弱年的夏季, 大气环流和我国气候明显不同。

四川地处青藏高原东侧, 其天气气候与高原季风之间有密切的联系。马振峰等^[22]发现, 四川盆地初夏干旱通常表现为高原夏季风偏弱, 高原低压偏西, 而多雨年则表现为高原夏季风偏强, 高原低压偏东。高原夏季风的强弱变化对四川盆地东、西部区和川西高原区的降水有着不同的影响, 当高原夏季风偏强(弱)时, 四川盆地东部区及川西高原区容易发生洪涝(干

旱), 四川盆地西部区容易发生干旱(洪涝)^[18, 23]。

如前所述, 目前高原季风指数定义尚无统一标准, 几种代表性指数反映出的高原季风特征并不完全一致, 在高原季风对我国天气气候的影响研究上, 更多的是关注高原夏季风对夏季气候和旱涝的影响, 关于高原冬季风及其对四川春季干旱的影响研究还很欠缺。本文选取计算简便且物理意义明确的高原季风指数Div_PMI, 对其加以改进, 使其能更好反映高原冬夏季风转换时间和年际变化特征, 且与四川春季干旱有更好相关关系, 然后分析高原冬季风异常对四川春季干旱的影响, 并从大气环流异常角度探讨其可能的原因, 以便为四川春季干旱的气候预测提供新的线索和依据。

1 资料与指数

1.1 资料来源及预处理

1) 地面观测资料: 本文所用地面资料为完整性较好的四川150个台站的逐日气温、降水资料, 来自四川省气象探测数据中心日值资料集, 资料时段为1961—2016年。

2) 再分析资料: 使用NCEP/NCAR再分析中心1961—2016年的逐月再分析资料, 包括 u 、 v 风场、位势高度场、垂直速度场、地面气压场、比湿场等, 资料分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 各物理量春季值由3、4月再分析资料平均得到。

3) 春旱日数资料: 目前中国气象局推行的综合气象干旱指数MCI (Meteorological drought Composite Index) 在四川的适用性还有待提高, 其监测结果总体来说旱情偏重、范围偏大, 因此作者对其作了修订^[24], 本文所用春旱日数资料为根据作者改进后的MCI指数计算得到, 即按照国标GB/T 20481—2006的标准(改进后的MCI连续10 $d \leq -0.5$)先计算得到各站1961年以来的历次干旱过程, 然后以各次干旱过程跨某年3—4月的干旱日数之和作为当年的春旱日数。

1.2 高原季风指数

为检验改进后的高原季风指数的性能, 本文选取3个有代表性的季风指数与其作对比分析, 它们是:

1) TPMI: 即汤懋苍等^[5]提出的传统高原季风指数, 定义为高原四周东($80^{\circ}E$, $32.5^{\circ}N$)、南($90^{\circ}E$, $25^{\circ}N$)、西($100^{\circ}E$, $32.5^{\circ}N$)、北($90^{\circ}E$, $40^{\circ}N$)四个点与高原主体中心点($90^{\circ}E$, $32.5^{\circ}N$) 600 hPa高度距平差值之和。夏季高原近地面为热低压, 因此TPMI夏季为正。

2) ZPMI: 它是田俊等^[8]根据高原南北侧600 hPa纬向风差异定义的高原季风指数。定义为高原

主体正南侧 ($85^{\circ}-95^{\circ}\text{E}$, $27.5^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$) 和正北侧 ($85^{\circ}-95^{\circ}\text{E}$, $35^{\circ}-37.5^{\circ}\text{N}$) 的平均纬向风分量 U_1 、 U_2 的差值与它们的气候平均值 \bar{U}_1 、 \bar{U}_2 的差值之比。夏季高原为气旋性环流, 高原南侧为偏西风北侧为偏东风, 因此夏季 ZPMI 为正。

3) Div_PMI: 它是周懿等^[9]根据高原主体夏季冬季 600 hPa 散度场存在相反特征定义的高原季风指数。定义为 ($30^{\circ}-35^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}-100^{\circ}\text{E}$) 范围内的平均散度。夏季高原近地面为热低压, 气流从四周向中心辐合, 因此夏季 Div_PMI 为负值。

为了比较几种高原季风指数的周期性振荡特征与四川春旱周期性振荡特征的异同, 采用 Morlet 小波进行季风指数和平均春旱日数的多尺度时间特征分析^[25]。根据小波系数实部等值线图分析不同时间段的周期性特征, 利用小波方差曲线图分析时间序列存在的主周期, 振荡周期的显著与否采用 Torrence 等^[26]提出的红噪声标准谱方法进行检验。

2 改进的高原季风指数

周懿等^[9]定义的 Div_PMI 具有明确的物理意义, 能合理的解释高原季风的形成机理, 且计算方法简单。但根据该指数计算得到的冬季风强度比夏季风明显偏弱, Div_PMI 最大值为 $2.2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (12月), 最小值为 $-5.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (6月), 冬季风强度指数不及夏季风的一半。而白虎志等^[13]计算的各月 TPMI 结

果显示, 其值介于 $-7.5 \sim 6.9 \text{ dagpm}$, Xun 等^[6]计算的 DPMI 和 TPMI 均介于正负 2 倍标准差之间, 表明 DPMI 和 TPMI 计算的高原冬、夏季风强度基本相当。由此可见, 虽然 Div_PMI 具有计算简单等优势, 但不能很好地反映高原冬、夏季风的相对强弱。

从 7 月和 1 月 600 hPa 平均流场与平均散度场 (图 1) 可以看出, 7 月 (图 1a), 在高原南侧印度半岛有一气旋式流场, 高原北部塔克拉玛干沙漠有一反气旋式流场, 气旋式流场东部的偏南气流与反气旋式流场东部的偏北气流, 从南北两侧流向高原主体中心, 从而在高原上形成一个宽广的辐合区, Div_PMI 定义区域内散度值全部为负。而 1 月 (图 1b), 从平均流场看, 高原主体以平直西风为主, 仅在高原南北两侧各有一弱气旋和弱反气旋扰动, 从平均散度场看, 高原主体北部为负值区 (辐合区), 南部为正值区 (辐散区), Div_PMI 定义区跨南北两个区域, 其上半部存在大片的负值区, 整个冬季 (12—次年 2 月) 的情况与 1 月基本一致, 由于上述原因, 造成冬季 Div_PMI 比夏季偏小。如果只取矩形框下半部, 则夏季整个区域为散度负值区, 而冬季整个区域为散度正值区, 以此得到的冬、夏季风指数值将大体相当。因此对 Div_PMI 加以改进, 定义为 ($30^{\circ}-32.5^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}-100^{\circ}\text{E}$) 范围内 600 hPa 平均散度值, 记为 Div_PMI₂ (Divergence Plateau Monsoon Index 2)。

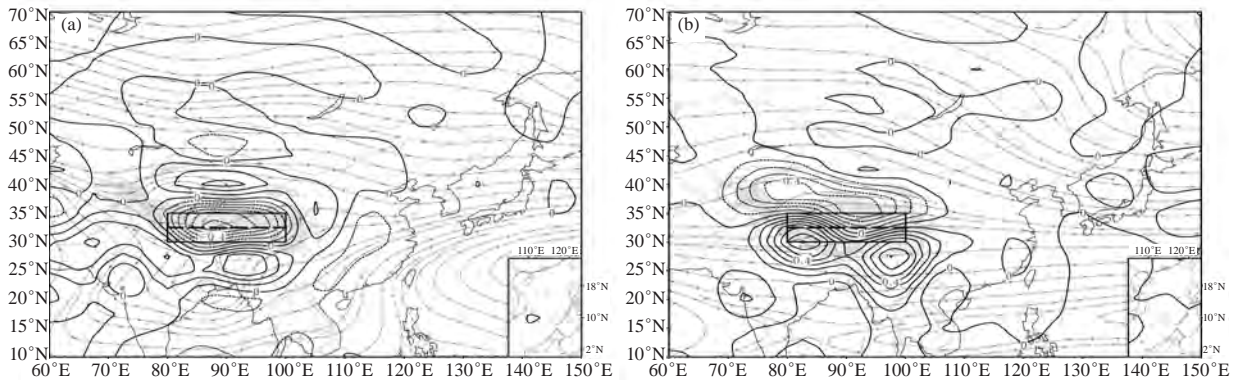


图 1 1961—2016 年平均 (a) 7 月和 (b) 1 月 600 hPa 流场和散度场 (等值线, 单位: 10^{-5} s^{-1} , 实线矩形框为 Div_PMI 定义区, 被虚线分隔的下部矩形框为 Div_PMI₂ 定义区)

Fig. 1 The average field of flow and divergence over 600 hPa at July (a) and January (b) during 1961–2016 (units: 10^{-5} s^{-1} , the solid line rectangle is the scope of the Div_PMI, and the lower part separated by the dotted line is the scope of the Div_PMI₂)

2.1 季风强度与转换时间的比较

图 2 为 TPMI、ZPMI、Div_PMI 和 Div_PMI₂ 4 种指数逐月变化对比图, 从图 2a 可以看出, ZPMI 指数只在 11 月为冬季风, 其余月份均为夏季风, 这显然与事实不符; Div_PMI 3—10 月为负, 11 月至次年 2 月为正, 最小值出现在 6 月, 为 $-5.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 最大值

出现在 12 月, 为 $2.2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 说明 Div_PMI 3—10 月为夏季风, 以 6 月夏季风最强, 11 月至次年 2 月为冬季风, 以 12 月冬季风最强, 且冬季风强度明显弱于夏季风; Div_PMI₂ 4—9 月为负, 10 月至次年 3 月为正, 最小值出现在 7 月, 为 $-3.8 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 最大值出现在 12 月, 为 $4.2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 说明 Div_PMI₂ 4—9 月



图2 1961—2016年4种高原季风指数逐月气候平均值 (a) 及与平均值符号相反年份数 (b)

Fig. 2 The monthly average of the four Plateau Monsoon Indices (a) and number of years with different signs relative to the mean value (b) from 1961–2016

为夏季风，以7月夏季风最强，10月至次年3月为冬季风，以12月冬季风最强，且冬、夏季风强度基本相当；TPMI与Div_PMI₂具有相似的年内变化特征，即同样表现为4—9月为夏季风，以6月夏季风最强（6.7 dagpm），10月至次年3月为冬季风，以12月冬季风最强（-6.4 dagpm），且冬、夏季风强度基本相当。

王同美等^[27]在研究高原区域月平均加热率的垂直分布后发现，3月高原区域只在低层因地面感热增强开始出现正的加热，4月低层感热的迅速增长使垂直积分的总加热由冷源转为热源，并在7月达到最大，10月积分的总加热由热源转为冷源，只有低层因感热加热为弱的正加热，垂直积分的总加热率在4—9月为正值，7月最大，10月至次年早春3月为负，12月最小。可见，Div_PMI所指示的夏季风转冬季风时间比大气热源转冷源时间晚了1个月，冬季风转夏季风的时间比大气冷源转热源的时间提前了1个月，而Div_PMI₂和TPMI所指示的高原冬、夏季风转换时间与高原大气冷、热源的转换时间一致，且Div_PMI₂所指示的最强高原冬、夏季风出现时间与高原大气冷、热源极值出现时间一致，说明Div_PMI₂能更好地揭示高原冬夏季风的转换期和强盛期。

2.2 季风指数季节一致性的比较

图2b给出了1961—2016年各月高原季风指数与其气候平均值反相（符号相反）的年份数，用 nr 表示，其值大小可反映季风指数所指示的冬、夏季风“相悖”程度。由于ZPMI对高原季风的季节变化表征能力较差，因此不再对它进行讨论，但可以看出其 nr 值在8—12月都很大。Div_PMI₂的 nr 值在7—8月和12—2月均为0，表示56a每年夏季均为夏季风，冬季均为冬季风，没有出现夏季为冬季风、冬季为夏季风这种“相悖”的情况，说明Div_PMI₂能够揭示出每一年高原

冬夏季风的存在，具有很强的高原季风表征能力，而4月和10月的 nr 值较大，恰好体现了过渡季节的季风特征，高原大气热源建立时间早的年份其4月表现为夏季风，反之表现为冬季风，高原大气冷源建立时间早的年份其10月表现为冬季风，反之表现为夏季风。Div_PMI的 nr 值在夏季7—8月也为0，即没有出现夏季为冬季风的情况，但冬季12月至次年2月不为0，特别是隆冬2月有14a表现为夏季风，说明Div_PMI对高原夏季风有很强的表征能力，但对高原冬季风的表征能力欠佳。TPMI的 nr 值在夏季7—8月为1，即有1a夏季表现为冬季风，冬季1—2月也不为0，特别是隆冬2月有9a表现为夏季风，说明TPMI对高原夏季风的表征能力较强，但对高原冬季风的表征能力不够理想。

3 高原冬季风与四川春旱的联系

3.1 四川春旱气候特征

表征春旱强度的物理量可以是春旱日数、春旱期平均MCI、春旱期最小MCI等，但一般来说春旱日数越长，早期平均MCI和最小MCI就越小，三者之间具有很高的相关性。通过计算相关系数发现，四川平均春旱日数与平均MCI和最小MCI之间的相关系数分别达到-0.974和-0.966，而业务服务上更加关注干旱持续时间，因此本文以春旱日数作为研究对象。

从图3a可以看出，四川盆地东部、川西高原北部春旱时间较短，平均春旱日数在10 d以下，四川盆地西北部、中部和西南部、甘孜州南部春旱时间较长，平均春旱日数在10~20d，川西南山地春旱时间最长，平均春旱日数在20 d以上。从图3b可以看出，四川大部地区春旱日数呈弱减少趋势，其中川西高原西北部和四川盆地中部的减少趋势通过了水平0.05的显著性检验，四川盆地西部沿绵阳、德阳、成都一线，川南宜宾及川西南山地中西部，其春旱日数呈增加趋势，且通过了水平0.05的显著性检验。

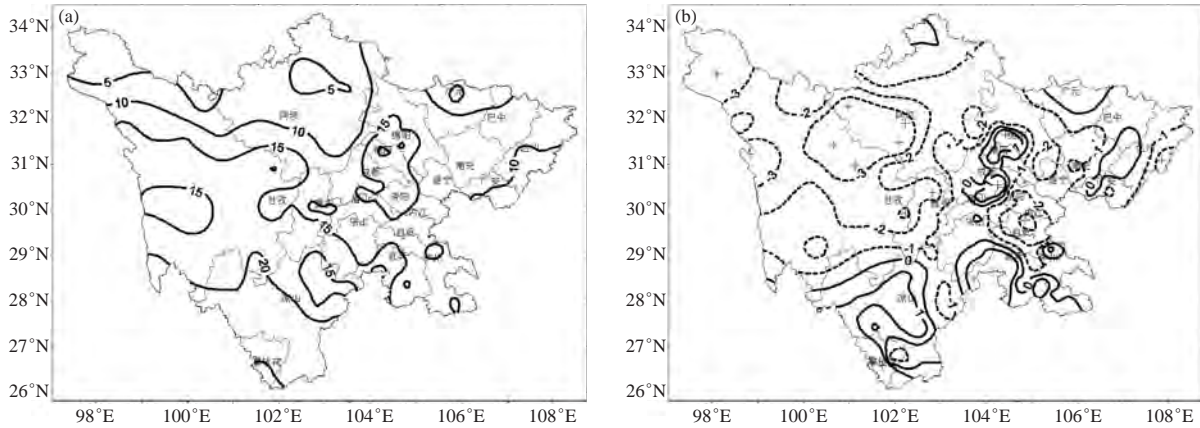


图3 四川春旱日数气候平均值 (a, 单位: d) 及气候变化倾向率 (b, 单位: d/10a, +为变化显著台站)
Fig. 3 Climatological average of spring drought days (a, units: d) and the climate change propensity (b, units: d/10a, + stands for the significant stations) in Sichuan

3.2 高原冬季风对四川春旱的影响

分析冬季各月季风指数与四川平均春旱日数的相关系数发现, 12月和1月各指数与四川平均春旱日数均无相关性, 但2月3种季风指数与四川平均春旱日数均显著相关, 因此, 下面以2月季风指数代表高原冬季风进行相关分析。从2月3种季风指数与四川平均春旱日数的相关系数看, TPMI为0.31, Div_PMI为0.33, 只通过了0.05的显著性水平检验, 而Div_PMI₂的相关系数为0.38, 通过了0.01的显著性水平检验, 说明Div_PMI₂与四川平均春旱日数之间的相关性更好。

从2月Div_PMI₂指数与各站春旱日数的相关系数分布图(图4)可以看出, 2月Div_PMI₂指数与各站春旱日数均为正相关, 说明高原冬季风偏强(弱),

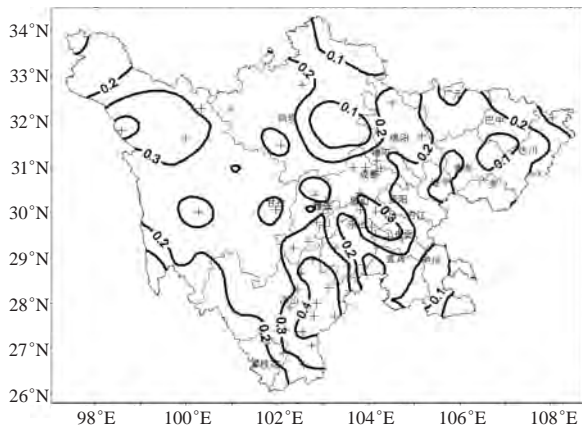


图4 2月Div_PMI₂指数与各站春旱日数相关系数分布图
(注: +表示通过水平0.05显著性检验的台站)

Fig. 4 Distribution charts of correlation coefficients between Div_PMI₂ in February and spring drought days in different stations (+ indicates a significant level of 0.05)

四川全境未来春旱日数将一致偏多(少), 尤其是在盆地西北部、盆地西南部、攀西地区东部和川西高原更是如此, 这些地方多数台站春旱日数与高原冬季风指数的正相关系数通过了0.05的显著性水平检验。TPMI和Div_PMI与春旱日数的关系也表现为四川一致正相关, 且通过显著性检验的区域位置与Div_PMI₂基本一致, 但以通过显著性检验的台站数看, TPMI为32站, Div_PMI为36站, Div_PMI₂为46站, 说明Div_PMI₂与四川春旱的正相关关系更具普遍性。

图5为2月各季风指数及四川平均春旱日数的多尺度时间变化特征(左图中细实(虚)线分别表示高原冬季风或四川春旱偏强(弱), 粗实线所围区域为小波方差通过0.05显著性水平检验的区域, 粗虚线表示边界效应影响锥, 该曲线以外的区域受边界效应影响不予考虑; 右图中实线为时间平均小波方差, 虚线为水平0.05的红噪声方差), 可以看出, TPMI、Div_PMI、Div_PMI₂、四川平均春旱日数都具有准3a周期性振荡特征, 且都通过了0.05的红噪声水平检验, 说明3个高原冬季风指数都可以反映出四川春旱的准3 a周期变化规律。但从全局方差看, Div_PMI₂和四川平均春旱日数的准3 a周期的全局方差最大, 为各自振荡的第一主周期, 而TPMI和Div_PMI的准3a周期全局方差较小, 只是其振荡的第二主周期。从时域关系上看, Div_PMI₂和四川平均春旱日数的准3a振荡从1960年代后期至2000年代中期均很显著(通过了0.05的红噪声水平检验), 而TPMI和Div_PMI的准3 a振荡在1980年代中前期并不显著, 另外, Div_PMI₂和四川平均春旱日数的准3a周期在1960年代后期至1970年代初期及1990年代后期至2000年代初期都异常强烈(方差在0.6以上), 而TPMI和Div_PMI只有1990年代后

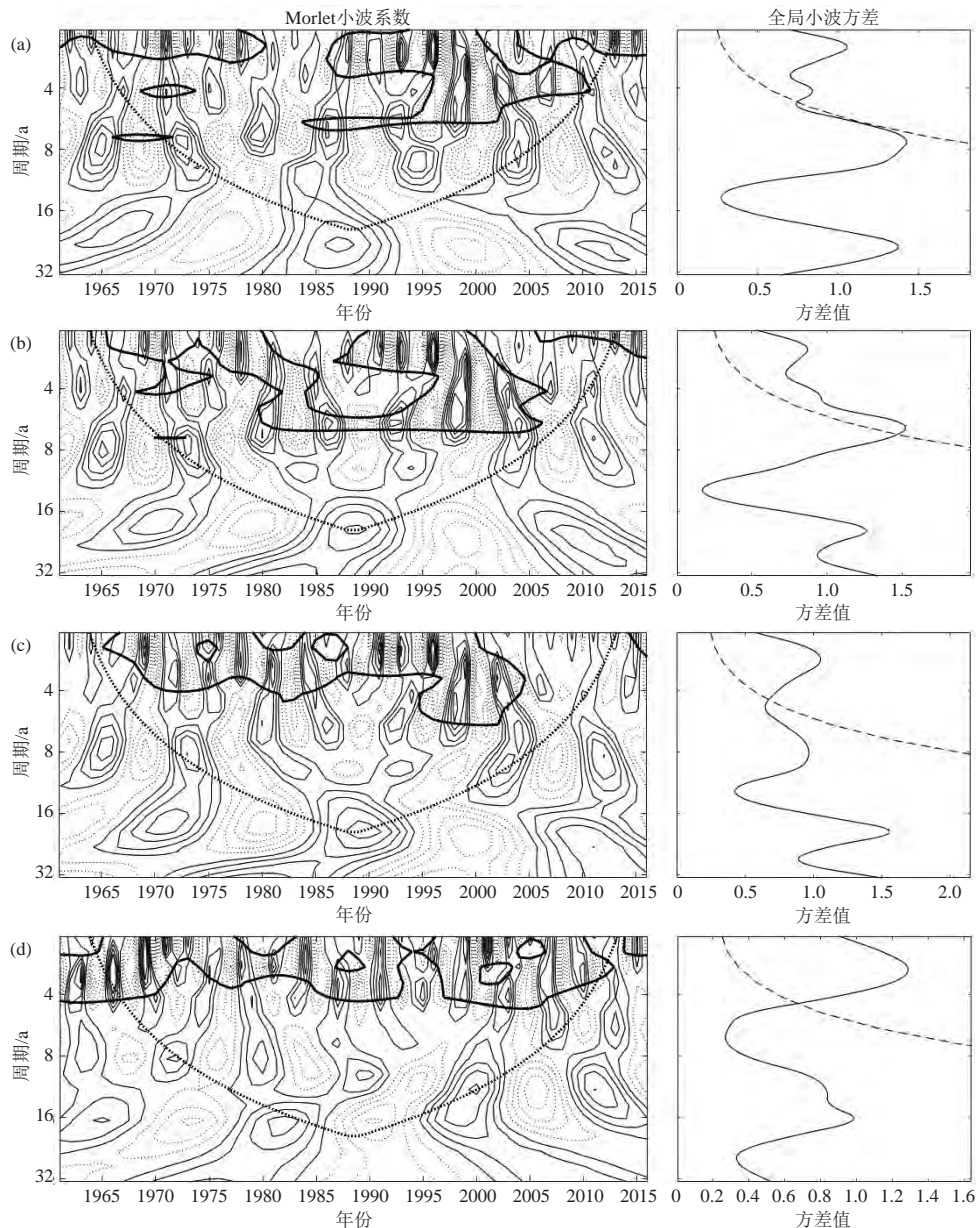


图5 TPMI (a)、Div_PMI (b)、Div_PMI₂ (c) 及四川平均春旱日数 (d) 的小波分析图 (其中左图为小波系数实部等值线, 右图为全局小波方差)

Fig. 5 Wavelet analysis of TPMI (a), Div_PMI (b), Div_PMI₂ (c), and the average spring drought days of Sichuan (d) (The left is the real part of the wavelet coefficient contours, the right picture is the time average variance)

期至2000年代初期一个异常强烈时段。由此可知, 与TPMI和Div_PMI相比, Div_PMI₂具有与四川平均春旱日数更为相似的周期性振荡特征。

图6为1961—2016年2月Div_PMI₂与四川平均春旱日数年变化曲线, 可以看出, 冬季风指数和四川春旱日数均未发生趋势性变化, 且阶段性变化特征相似。根据对1961—2016年2月Div_PMI₂和四川平均春旱日数距平及异常情况的统计 (表1), 56 a中, 有35 a的Div_PMI₂处于正位相 (正距平), 其中有23 a四川平均春旱日数也同时处于正位相, 正位相一致

率为65.7%, 而另外21 a的Div_PMI₂处于负位相 (负距平), 其中有16 a四川平均春旱日数同时处于负位相, 负位相一致率为76.2%, 总的位相 (符号) 一致率 (符号一致年数/总年数) 达到69.6%。以0.5倍标准差作为异常标准, 以此得到56 a中有25a Div_PMI₂处于正异常, 其中有15 a四川平均春旱日数也同时处于正异常, 正异常一致率为60%, Div_PMI₂处于负异常的年份为13 a, 四川平均春旱日数同时处于负异常的年份为10 a, 负异常一致率为76.9%, 总的异常一致率 (异常一致年数/Div_PMI₂异常总年数) 为65.8%。由

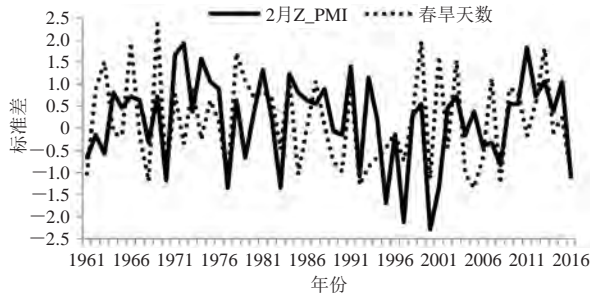


图6 1961—2016年2月Div_PMI₂指数与四川平均春旱日数逐年变化曲线图

Fig. 6 Annual variation of Div_PMI₂ in February and the average spring drought days of Sichuan from 1961–2016

此可见，2月Div_PMI₂的大小对未来四川春旱的强弱具有较好的指示意义。

4 高原冬季风影响四川春旱的大气环流分析

从表1可知，高原冬季风异常与四川春旱异常之间有大约三分之一的年份不一致，说明四川春旱不仅与高原冬季风异常有关，而且还受其他因子的影响，比如高原积雪、海温的异常等（我们将另文分析这些影响）。因此，为了使环流分析能更好地反映高原冬季风对四川春旱的影响，我们从异常一致年中选取极端干旱年进行环流合成分析。根据平均春旱日数，以1倍标准差作为选取标准，从15个正异常一致年中挑选出9个春旱极端强年：1966、1969、1978、1984、1987、1991、1999、2003、2013年，从10个负异常一致年中挑选出7个春旱极端弱年：1961、1970、1977、1992、2000、2008、2016年，以此对高原冬季风异常引起的四川极端春旱进行大气环流的合成分析。

表1 1961—2016年2月Div_PMI₂与四川平均春旱日数一致性统计结果

Table 1 Statistical results of the consistency between Div_PMI₂ in February and the average spring drought days of Sichuan from 1961–2016

		Div_PMI ₂ /a	平均春旱日数/a	一致年数/a	一致率/%
符号一致性	正位相	35	30	23	65.7
	负位相	21	26	16	76.2
异常一致性	正异常	25	23	15	60.0
	负异常	13	15	10	76.9

注：正（负）位相一致率=正（负）位相一致年数/Div_PMI₂指数正（负）位相年数，正（负）异常一致率=正（负）异常一致年数/Div_PMI₂指数正（负）异常年数。

4.1 500 hPa 高度场合成分析

从对流层中层500 hPa高度场（图7）上可以清楚看到，高原冬季风强年（图7a）欧亚中高纬总体表现为北低南高的纬向型环流分布，在40°N以北地区，西西伯利亚—蒙古高原—中国东北—日本海一线均为位势高度负距平，且距平中心在贝加尔湖以西地区，表明乌拉尔山地区没有形成阻塞形势，西伯利亚高压脊

显著减弱，北方冷空气不易南下。而在40°N以南的伊朗高原经青藏高原并东延至东海洋面为正距平，距平中心位于青藏高原主体，表明高原冬季风强年高原高度场偏高，不利于高原低值系统的形成和东移，川西高原和四川盆地受高值系统控制以晴好天气为主。同时孟加拉湾高度场也为正距平，南支槽活动受到抑制，不利于孟加拉湾水汽向西南地区输送，副高位于菲律宾以东的西太平洋上，位置比常年偏东。高原冬季风弱年（图7b）情况正好相反，位势高度距平场呈北高南低分布，西伯利亚高压脊加强形成阻塞有利于冷空气的爆发南下，青藏高原—华东沿海—西太平洋为一宽广的负距平区，有利于高原低值系统的发展东移，给四川和我国东部地区带来降水，副高西伸到菲律宾以西的南海上，位置比常年偏西，更有利于热带暖湿气流的向西输送。从高原冬季风强弱年位势高度差值场（图7c）可以看出，高纬地区强年比弱年的位势高度显著偏低，而青藏高原、四川盆地和我国南方地区强年位势高度比弱年偏高，副高位置强年比弱年偏东约9个经度。

4.2 500 hPa 垂直速度场合成分析

为了揭示高原冬季风与春季对流层中层垂直速度场的关系，选取高原冬季风强、弱年500 hPa垂直速度场进行合成分析。从500 hPa垂直速度距平场可以看出，高原冬季风强年（图8a），青藏高原、川渝地区为正距平，该地区为下沉气流，高原冬季风弱年（图8b），四川地区为负距平，被上升气流所控制，而500 hPa垂直速度差值场（图8c）上，青藏高原东部、川渝地区为正差值，说明四川地区被下沉气流所控制。由此可见，在高原冬季风强年，春季川西高原和四川盆地对流层中层被下沉气流所控制，没有有利的动力条件配合形成降水，致使春旱较重发生。

4.3 水汽输送合成分析

为了揭示高原冬季风对春季水汽来源和输送途径的影响，这里我们给出了高原冬季风强、弱年垂直积分的水汽通量和水汽通量散度的合成差值场。由图9a可以看出，高原冬季风强年，孟加拉湾出现气旋式水汽输送异常，西太平洋出现反气旋式水汽输送异常，从苏门答腊岛经菲律宾到日本岛南部出现一条异常水汽输送带，四川位于这条异常水汽输送带西北侧，南方暖湿水汽难以到达，同时西北方向也没有冷空气的输送。从水汽通量散度场看，四川地区为水汽辐散区，水汽向外净流出。缺乏冷暖空气的交汇加之水汽的流失，导致四川干旱的发生。高原冬季风弱年（图9b），印度半岛出现气旋式水汽输送异常，暖湿

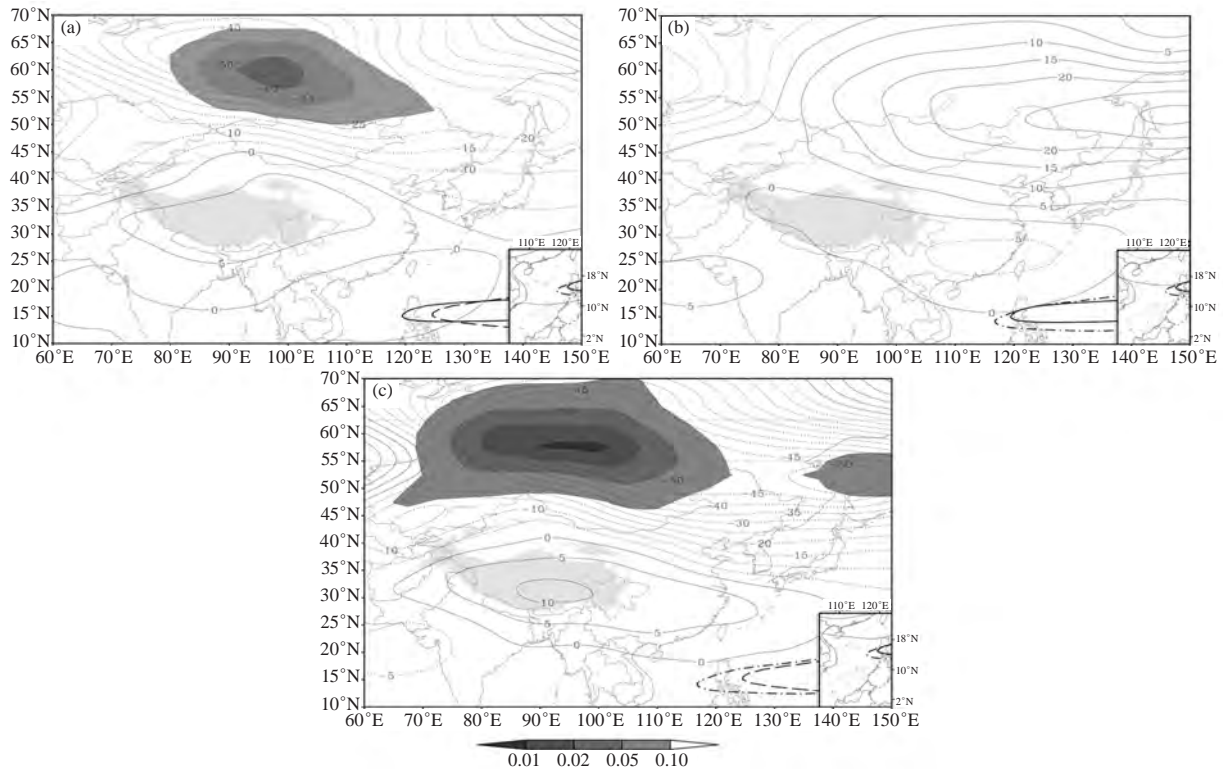


图7 高原冬季风不同强度年份春季500 hPa高度距平场及差值场 (单位: gpm)

(a) 强年; (b) 弱年; (c) 强年减弱年, (其中, 粗实线、粗虚线、点划线分别为春季副高5875 gpm线多年平均位置及高原冬季风强、弱年位置。由浅到深阴影区分别为通过0.10、0.05、0.02和0.01显著性水平检验的区域, 灰色区域为青藏高原, 图8、图9同此)

Fig. 7 The anomaly of strong (a), weak (b) plateau winter monsoon years and the composited difference (c) of 500 hPa height (units: gpm, the rough line, rough dotted line and dot line are the position of 5875 gpm for the climate mean, strong years, and weak years. The shaded from shallow to deep indicate the confidence level of 0.10, 0.05, 0.02, and 0.01. The gray area is the Qinghai Tibet Plateau. The meaning is the same in Figure 8 and 9)

空气可以通过孟加拉湾直接输送到我国西南部, 同时南支绕流偏强, 青藏高原南侧偏西冷空气输送增强, 与暖湿水汽在青藏高原东侧汇合; 从水汽通量散度场看, 四川地区为负距平, 即水汽在该地区辐合, 有利于降水的形成, 因而不易发生干旱。距平差值场 (图9c) 的水汽输送特征更为明显, 可以看出, 孟加拉湾地区出现气旋式水汽输送异常, 但其右侧北上的暖湿空气路径偏东, 无法到达我国西南部, 同时青藏高原南侧出现异常偏东水汽输送, 即南支绕流偏弱, 四川以偏东、偏北的水汽输送为主, 水汽呈流出状态, 水汽通量散度也表现为异常辐散区, 即来自孟加拉湾北部的暖湿气流和南支绕流带来的西北冷空气无法在高原东部汇合, 四川地区水汽来源严重不足, 从而导致干旱的发生。

5 结论与讨论

本文利用地面观测资料和NCEP再分析资料, 对Div_PMI加以改进, 以(30°—32.5°N, 80°—100°E)范围内600 hPa平均散度定义了一个新的高原季风指

数Div_PMI₂, 分析了四川春旱的气候特征, 从高原冬夏季风的表征能力、与四川春旱日数的关系等方面对Div_PMI₂和几种代表性高原季风指数作了对比分析, 最后探讨了高原冬季风强弱与春季大气环流异常的关系及对四川春季干旱的影响, 得到如下主要结论:

1) Div_PMI₂具有更强的高原季风表征能力。由该指数得到的高原冬夏季风强度基本相当, 一年之中4—9月为夏季风, 10月至次年3月为冬季风, 夏季风7月最盛, 冬季风12月最盛, 这与高原大气冷热源转换时间及极值出现时间完全吻合。在1961—2016年的56a中, 该指数夏季(7—8月)均为夏季风, 冬季(1—2月)均为冬季风, 没有出现夏季为冬季风、冬季为夏季风这种“相悖”的情况。

2) 四川盆地东部春旱时间较短, 四川盆地西北部、中部和甘孜州南部春旱时间较长, 川西南山地春旱时间最长。四川大部地区春旱日数呈弱减少趋势, 但四川盆地西部、川南及川西南山等春旱常发区的春旱日数呈显著增加趋势。几种高原季风指数和四川平

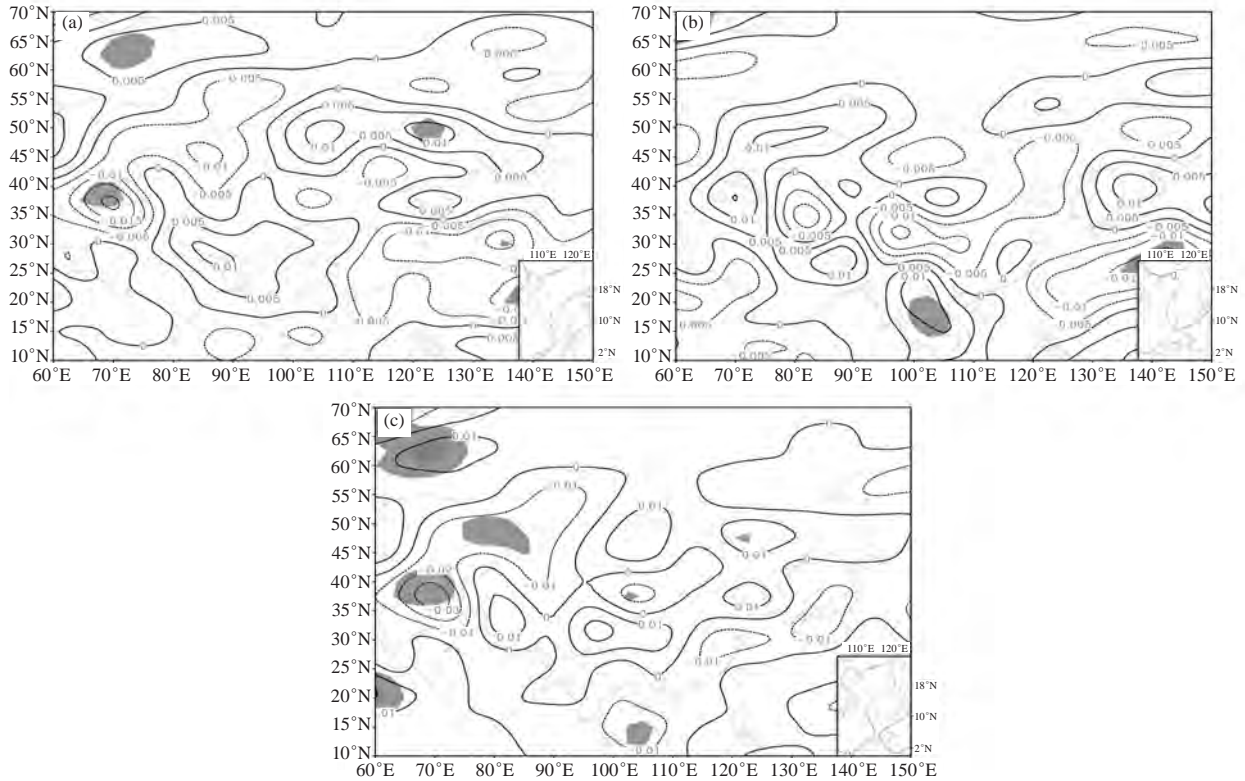


图8 高原冬季风强弱年春季500 hPa垂直速度距平场及差值场 (单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)
(a) 强年; (b) 弱年; (c) 强年减弱年

Fig. 8 The anomaly of strong (a), weak (b) plateau winter monsoon years and the composited difference (c) of 500 hPa vertical velocity (units: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

均春旱日数的小波分析表明,高原冬季风和四川春季干旱均存在显著的准3a周期性振荡,但与其他几种指数相比, Div_PMI_2 的准3a振荡与四川平均春旱日数的准3a振荡同为第一主周期,且在时域上具有更好的强弱一致性。

3) 高原冬季风强年春季西伯利亚高压脊减弱,高原和孟加拉湾高度场偏高,副高位置偏东,致使北方冷空气不易南下,高原低值系统发展受阻不能东移影响四川,南支槽活动受到影响,来自孟加拉湾的西南暖湿气流与南支绕流带来的西北冷空气无法在高原东部汇合,川西高原和四川盆地处于水汽辐散区,对流层中层被强烈的下沉气流所控制,这样的环流形势导致该地区春季以晴朗天气为主,有利于干旱的发生。

高原季风是高原与周围大气的热力差异所致,季风强弱与高原热力作用具有正相关关系,当高原主体热源较四周大气强(弱)时,高原夏季风就越强(弱)^[28]。不仅如此,高原热力异常还对后期高原季风、大气环流和我国天气气候产生影响,白彬人等^[29]指出,高原地面加热场强度与DPMI指数之间存在超前1~3个月的相关关系,并发现前期2月青藏高原热

力作用偏强将会导致高原夏季风爆发偏早,爆发初期强度偏强。黄仪方等^[30]研究发现,前期冬季青藏高原地面加热场通过影响后期春季500 hPa高度场,导致高原东侧川渝地区春季气温异常。由此可知,高原冬季风对四川春旱的影响其本质是冬季青藏高原的热力异常,当冬季青藏高原异常偏冷时,一方面使高原冷高压偏强,导致高原冬季风偏强,另一方面使春季高原加热变缓,高原由冷源变热源需要的时间更长,此时春季高原仍将偏冷,高原冷高压继续偏强,导致春季高原季风也偏强, Div_PMI_2 计算结果证实,当冬季(2月) Div_PMI_2 为正距平时,有三分之二以上年份其春季(3月) Div_PMI_2 也为正距平。由于春季高原冷高压强大,致使高原低值系统的发展东移和西南暖湿气流的向北输送受阻,从而导致四川少雨干旱。

本文只是合成分析了高原冬季风影响四川春旱的大气环流异常原因,今后需要进一步通过数值模拟的方法研究冬季高原热力异常—高原冬季风异常—大气环流异常之间的联系,揭示高原冬季风影响四川春季干旱的有关动力学机制与过程,以便加深高原冬季风对四川春旱影响机理的认识。

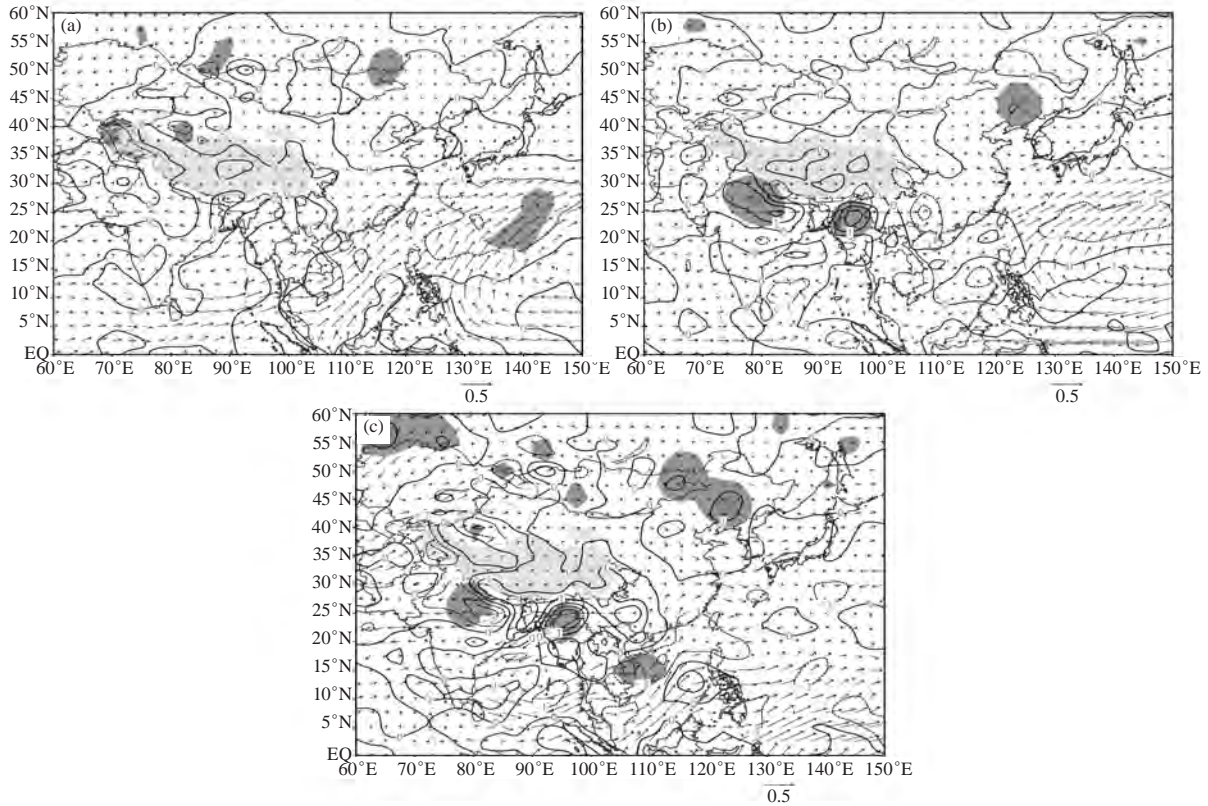


图9 高原冬季风强弱年春季垂直积分的水汽通量(矢量, 单位: $10^2\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)和水汽通量散度(等值线, 单位: $10^{-5}\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)距平场及差值场
(a) 强年; (b) 弱年; (c) 强年减弱年

Fig. 9 The anomaly of strong(a), weak(b) plateau winter monsoon years and the composited difference(c) of the vertically integrated vapor flux (Vector, unit: $10^2\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) and the divergence(contour, unit: $10^{-5}\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

参考文献

[1] 陈淑全, 罗富顺, 熊志强, 等. 四川气候. 成都: 四川科学技术出版社, 1997.

[2] 詹兆渝, 等. 中国气象灾害大典. 四川卷. 北京: 气象出版社, 2006.

[3] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979.

[4] 汤懋苍, 沈志宝, 陈有虞. 高原季风的平均气候特征. 地理学报, 1979, 34(1): 33-42.

[5] 汤懋苍, 梁娟, 邵明镜, 等. 高原季风年际变化的初步分析. 高原气象, 1984, 3(3): 76-82.

[6] Xun X, Hu Z, Ma Y. The dynamic plateau monsoon index and its association with general circulation anomalies. Advance in Atmospheric Sciences, 2012, 29(6): 1249-1263.

[7] 齐冬梅, 李跃清, 白莹莹, 等. 高原夏季风指数的定义及其特征分析. 高原山地气象研究, 2009, 29(4): 1-9.

[8] 田俊, 马振峰, 范广州, 等. 新的高原季风指数与四川盆地夏季降水的关系. 气象科学, 2010, 30(3): 308-315.

[9] 周懿, 范广州, 华维, 等. 高原季风的分布特征及其指数对比分析. 高原气象, 2015, 34(6): 517-1530.

[10] 王颖, 李栋梁. 变暖背景下青藏高原季风变异及其对中国西南气候的影响. 气象学报, 2015, 73(5): 910-924.

[11] 庞轶舒, 马振峰, 杨淑群, 等. 盛夏高原季风指数的探讨及其对四川盆地降水的影响. 高原气象, 2017, 36(4): 886-899.

[12] 白虎志, 谢金南, 李栋梁. 近40年青藏高原季风变化的主要特征. 高原气象, 2001, 20(1): 22-27.

[13] 白虎志, 马振峰, 董文杰. 青藏高原地区季风特征及与我国气候异常的联系. 应用气象学报, 2005, 16(4): 484-491.

[14] 马振峰, 高文良. 热带海温变化与高原季风发展. 应用气象学报, 2002, 13(4): 440-447.

[15] 马振峰. 高原季风强弱对南亚高压活动的影响. 高原气象, 2003, 22(2): 143-147.

[16] 马振峰, 高文良. 青藏高原季风年际变化与长江上游气候变化的联系. 高原气象, 2003, 22(s1): 8-16.

[17] 周娟, 文军, 王欣, 等. 青藏高原季风演变及其与土壤湿度的相关分析. 高原气象, 2017, 36(1): 45-56.

[18] 齐玉磊, 冯松, 黄建平, 等. 高原夏季风对中东旱半干旱区夏季降水的影响. 高原气象, 2015, 34(6): 1566-1574.

[19] 王颖, 李栋梁, 王慧, 等. 青藏高原冬季风演变的新特征及其与中国西南气温的关系. 高原气象, 2015, 34(1): 11-20.

[20] 齐冬梅, 赖欣, 李跃清, 等. 高原冬季风及热带太平洋海温对西南地区冬季气温的影响. 高原山地气象研究, 2016, 36(3): 32-38.

[21] 罗雯, 范广州. 青藏高原冬季风强弱年中国气候对比分析. 高原山地气象研究, 2017, 37(1): 25-32.

[22] 马振峰, 高文良, 刘富明, 等. 青藏高原东侧初夏旱涝的季风环流分析. 高原气象, 2003, 22(s1): 1-7.

[23] 齐冬梅, 李跃清, 陈永仁, 等. 近50年四川地区旱涝时空变化特征研究. 高原气象, 2011, 30(5): 1170-1179.

[24] 王春学, 张顺谦, 陈文秀, 等. 气象干旱综合指数MCI在四川省的适用性分析及修订. 中国农学通报, 2019, 35(9): 115-121.

[25] 张顺谦, 马振峰. 1961—2009年四川极端强降水变化趋势与周期性分析. 自然资源学报, 2011, 26(11): 1918-1929.

[26] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61-78.

[27] 王同美, 吴国雄, 万日金. 青藏高原的热力和动力作用对亚洲季风区环流的影响. 高原气象, 2008, 27(1): 1-9.

[28] 曾钰坤, 范广州, 赖欣, 等. 青藏高原季风活动与大气热源/汇的关系. 高原气象, 2016, 35(5): 1148-1156.

[29] 白彬人, 胡泽勇. 高原热力作用对高原夏季季风爆发的指示意义. 高原气象, 2016, 35(2): 329-336.

[30] 黄仪方, 李跃清. 冬季青藏高原地面加热与春季川渝地区气温关系的分析. 高原气象, 2003, 22(s1): 32-39.

一次超级单体雹暴的中尺度对流特征和形成条件分析

雷蕾¹ 孙继松² 乔林³ 陈明轩⁴

(1 北京市气象台, 北京 100089; 2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081;
3 京津冀环境气象预报预警中心, 北京 100089; 4 北京城市气象研究院, 北京 100089)

摘要: 北京2014年7月16日一次超级单体风暴造成了罕见大冰雹、短时大风和局地暴雨等强天气。利用雷达、自动站、探空、基于雷达观测的四维变分同化系统(VDRAS)等资料针对中尺度对流特征和形成条件进行了分析。结果表明: 1) 这次超级单体风暴有穹窿回波和悬垂、中气旋、三体散射等典型大冰雹雹暴云特征。2) 降雹属于西北气流型, 雹区出现在低层切变线和地面辐合区(辐合线)附近, 低层很好的水汽条件是这种类型下降雹的必要条件。此外, 1500 J/kg以上的高CAPE以及上干下湿的不稳定层结、850 hPa θ_{se} 360 K的高能舌中心均有利于强对流的发生; “喇叭口”型探空、适宜的0°C层和-20°C层高度以及这两个特性层之间厚度变小是大冰雹出现的典型环境。3) 有利的地形、雷暴下山冷池增强导致前侧辐合增强是超级单体发展并向南移动的有利条件。

关键词: 西北气流型降雹, 三体散射, 回波悬垂, 地面辐合线, 冷池

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.002

Analysis of Mesoscale Convective Characteristics and Environmental Conditions of Supercell Hailstorm

Lei Lei¹, Sun Jisong², Qiao Lin³, Chen Mingxuan⁴

(1 Beijing Municipal Weather Forecast Center, Beijing 100089

2 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorology Sciences, CMA, Beijing 100081

3 Beijing-Tianjin-Hebei Environmental Meteorological Center, CMA, Beijing 100089

4 Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089)

Abstract: A supercell storm caused unusually large hail, wind gust, and local heavy rain in Beijing on 16 July 2014. The mesoscale convective characteristics and formation conditions were analyzed with Doppler weather radar, automatic weather station (AWS) data, radio sounding, and the four-dimensional variational radar assimilation system (VDRAS). The results showed that: (1) supercell storm had three-body scattering, echo overhang, mesocyclone, and other typical large hailstorm cloud characteristics. (2) It belonged a northwest flow type. The hailstorm area appeared near the low-level shear line and the boundary layer convergence line. Favorable thermal dynamical and water vapor conditions, vertical wind shear, unstable layer ("horn" type of sounding with high CAPE above 1500J/kg), and 360K θ_{se} high-energy tongue centered at 850 hPa; Suitable 0 °C layer and -20 °C layer height with the thickness between the two characteristic layers reduced were conducive to the occurrence of large hail in Beijing. (3) Favorable terrain and front side convergence enhancement as a result of thunderstorm cold pool enhancement when it moved to plain promoted supercell development and its southward movement.

Keywords: Northwest flow style hailstorm, three-body scattering, overhang echo, boundary layer convergence line, cold pool

收稿日期: 2019年7月24日; 修回日期: 2019年8月30日

第一作者: 雷蕾(1983—), Email: Leilei_bjt@126.com

通信作者: 乔林(1966—), Email: qiaolin0016@sina.com

资助信息: 国家自然科学基金项目(41575050); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506006)

0 引言

冰雹、短时强降水等强对流天气具有突发性、局地性、致灾性强的特点, 常常给大城市运行带来较大的困扰, 并且在地质灾害易发区造成严重的安全隐患, 对人民生命财产安全造成严重危害。预报和科研人员一直致力于对其结构特征、形成机制和预报着

眼点进行探索研究，具有十分重要的经济价值和社会意义。强对流天气的发生发展依赖于大气的热动力条件，通常都是在有利的天气背景下发展的，更与中小尺度天气系统直接相关，此外，还与地形的影响密切相关^[1-4]。近年的研究表明，中尺度的辐合（边界层辐合线、阵风锋等）抬升机制、近地面冷池的增强往往与对流风暴发生有紧密联系^[5-13]。冰雹在强对流天气中致灾性强，北京地区5—9月均为冰雹多发月份，6月最多，其次为8月和7月^[14]；从落区来看西北部山区是高发区^[14-15]，主要的天气影响系统有低槽冷锋、蒙古涡、西北气流和东北涡^[16-18]，其中西北气流类型下的对流往往具有独立发展或多个对流局地发展后合并的特点，回波范围不大，但很强^[16]。本文研究的2014年7月16日这次大雹事件就属于这种天气类型降雹。

7月16日下午至夜间（16—22时，北京时，下同），位于河北赤城的局地孤立单体进入北京西北部，并发展成超级单体迅速南下，具有强度强，灾害严重等特点。北京西部和中心城区受其影响出现了严重的冰雹天气（图1a中红色三角指示冰雹出现的地方），最大直径7 cm（昌平流村）（图2a），密度较

大，持续时间约30 min，是继2005年5月31日北京城区出现的5 cm大冰雹事件^[19]之后的又一次更强的冰雹天气，如此大尺寸在北京地区冰雹记录中也属罕见。冰雹导致西北部乡镇房屋受损，果树折断、倒伏，玉米等农作物大面积受损，现场调查了解，南口镇花塔村桃园基本绝收，估算造成昌平区直接经济损失6700万元。对流过程中伴有6级以上短时大风、其中城区西部一带局地阵风达9级（图1a），还伴有局地短时暴雨，最大小时雨强48.4 mm（图1b），部分路段出现严重的积水，海淀田村附近桥上短时间迅速积水达2 m、淹车18辆（图2b）。7月16日，延庆、昌平、海淀、石景山等多区发布暴雨黄色（或蓝色）预警信号和冰雹黄色预警信号。

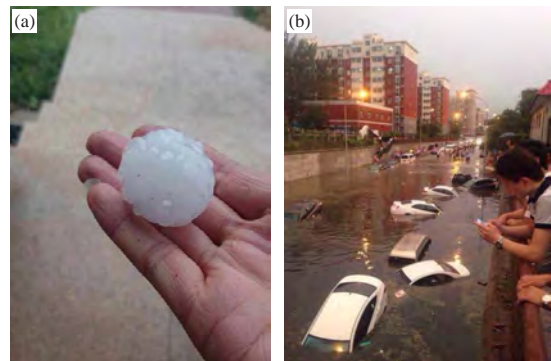


图2 2014年7月16日昌平 (a) 大冰雹及 (b) 短时强降水造成的局地内涝
Fig. 2 Big hail (a) and waterlogging disaster (b) in Beijing on 16 July 2014

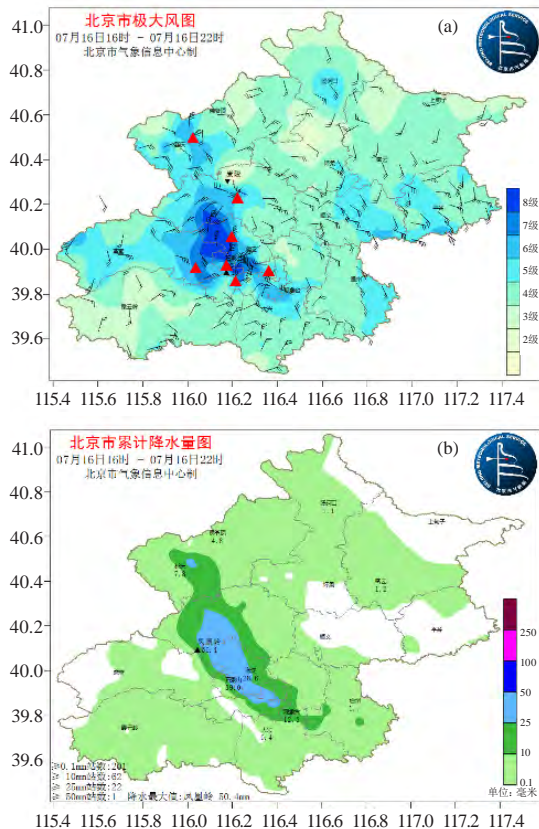


图1 2014年7月16日16—22时北京地区 (a) 冰雹和短时大风和 (b) 雨量分布
Fig. 1 Hail and wind gust (a), rainfall (b) distribution in Beijing area from 1600 BT to 2200 BT on 16 July 2014

这次过程提前一天预报有雷阵雨天气，但是全球及区域模式对于降雨量级、落区、出现的时间均分歧较大，北京的区域中尺度模式表现出较全球模式更接近实况的预报效果。近年来，北京市气象台在分类强对流天气的潜势预报中做了一些工作，研发了基于区域快速循环同化中尺度模式的强对流天气分类概率预报系统^[20]，但是临近时次的实况探空、雷达等资料综合分析依然是更准确预报和预警的手段。对于这次罕见的大冰雹事件，仍需利用观测资料进行仔细分析其特征，并有必要对这次对流风暴的组织结构和形成原因进行一些探讨。

1 天气背景

7月16日08时，华北东部500~700 hPa有低涡低槽影响，500 hPa温度槽落后于高空槽，槽后冷平流有利于高空槽加深发展，同时，槽后西北气流加强，北京正处于西北气流影响中。低层850 hPa配合有南北向切变线，地面气压场呈现“东高西低”分布特征，京津冀处于高压后部弱辐合区内。高空槽系统配置表现为

“前倾槽”结构，槽后的冷平流叠加在低层切变线南侧的偏南气流暖平流之上，大气层结不稳定（图3）。在槽和切变线影响下，华北地区850~700 hPa有垂直上升运动，并且北京处于850 hPa的上升中心（图4a），700 hPa上升中心与之相比略偏西（图4b），因此北京城区及以西地区均处于有利的动力抬升区域。此外，北京地区850 hPa比湿11~12 g/kg、相对湿度75%以

上（图5a），且处于 θ_{se} 高能量中心（357~360 K），有利于强天气的发生发展（图5b）。这次降雹属于西北气流类型，这种类型下低层湿度往往是降雹的必要条件，切变线等扰动和辐合上升区即雹云出现和发展地区。

北京16日08时探空显示CAPE值达到1785 J/kg，K指数为36 °C，SI指数达-4 °C，0~6 km垂直风切

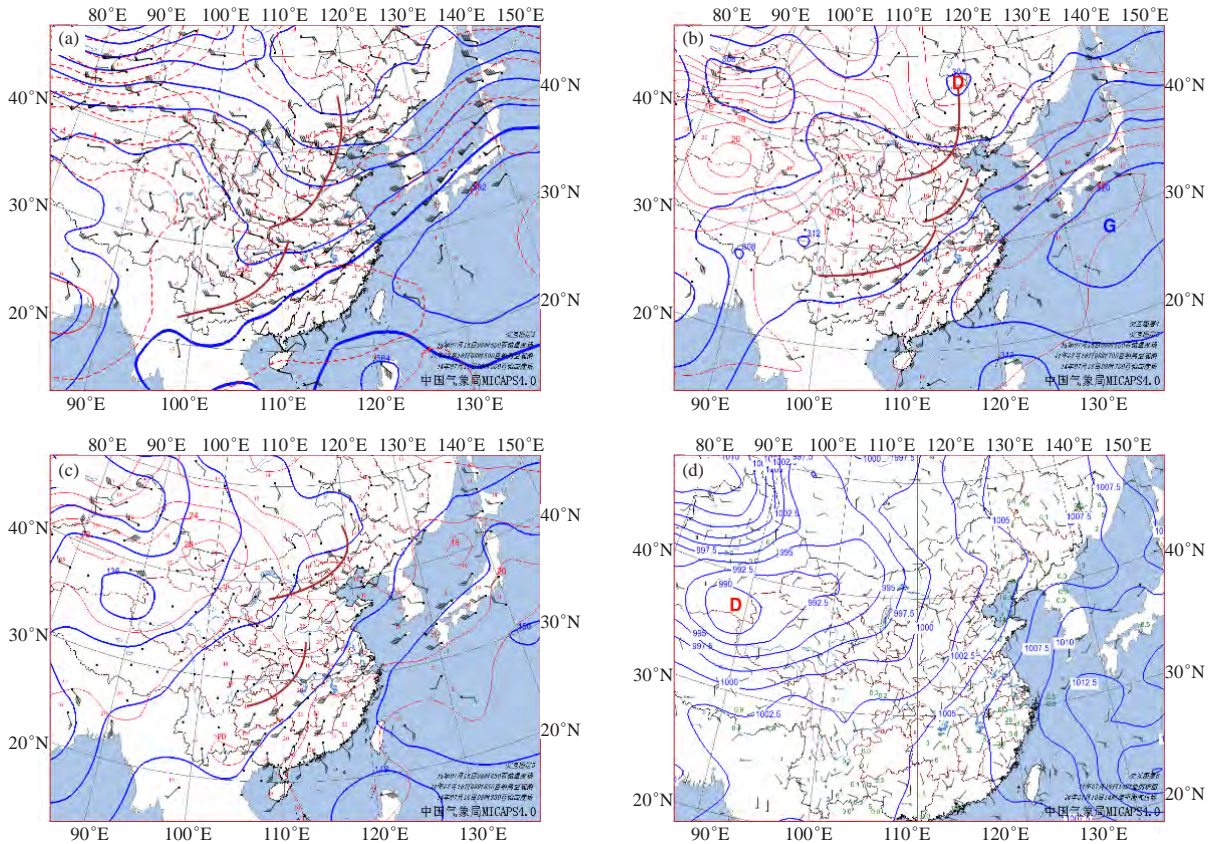


图3 2014年7月16日08时 (a) 500 hPa、(b) 700 hPa、(c) 850 hPa，以及 (d) 14时地面天气形势
Fig. 3 Synoptic maps at 500 hPa (a), 700 hPa (b), 850 hPa (c) at 0800 BT and surface (d) at 1400 BT on 16 July 2014

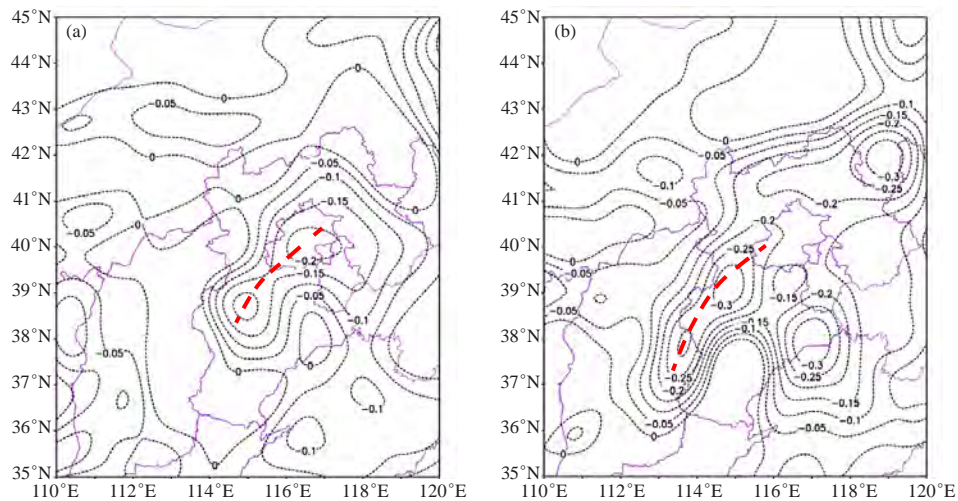


图4 2014年7月16日08时 (a) 850 hPa和 (b) 700 hPa垂直速度 (单位: Pa/s)
Fig. 4 Vertical velocity at 850 hPa (a), 700 hPa (b) at 0800 BT on 16 July 2014 (unit: Pa/s)

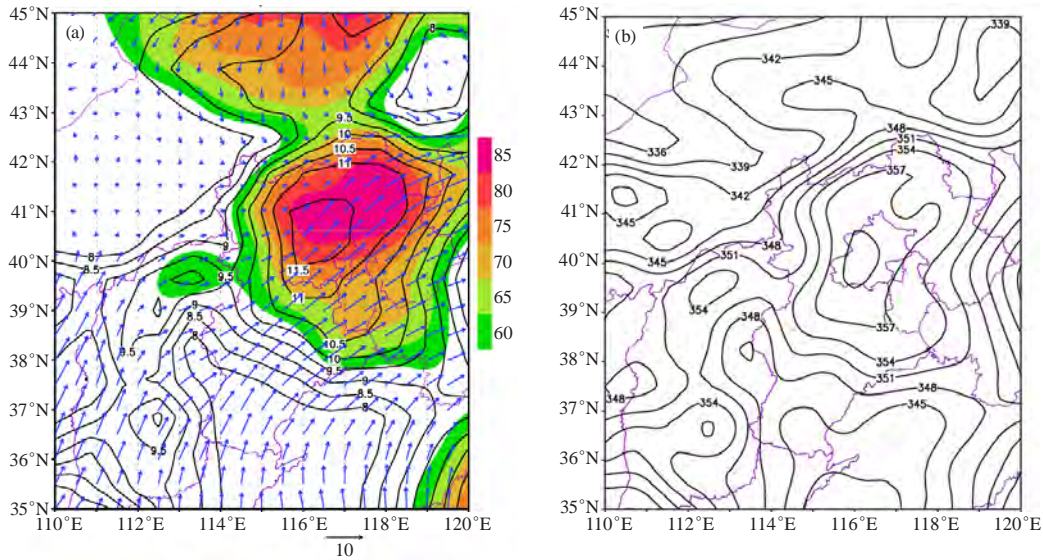


图5 2014年7月16日08时850 hPa比湿 (单位: g/kg) 配合相对湿度 (a) 和假相当位温 θ_{se} 场 (b) (单位: K)
Fig. 5 Specific humidity (unit: g/kg) and relative humidity (a), θ_{se} (b) (unit:K) at 0800 BT on 16 July 2014

变约为10.92 m/s (图6a)。14时, 在强雷暴发生前, 500 hPa以上有明显的干空气侵入, 中低层湿度也略有减小, 探空呈现出“喇叭口”型结构, 是典型的冰雹和雷暴大风的探空曲线结构 (图6b)。此外, 低层转

为弱的东南风, 垂直风切变进一步增大。08时0 °C层和-20 °C层, 层高度分别位于610 hPa、400 hPa附近, 14时0 °C层略有抬升, 由4300 m左右升高到4500 m, 使得和-20 °C层之间的厚度减小, 层结不稳定性趋于

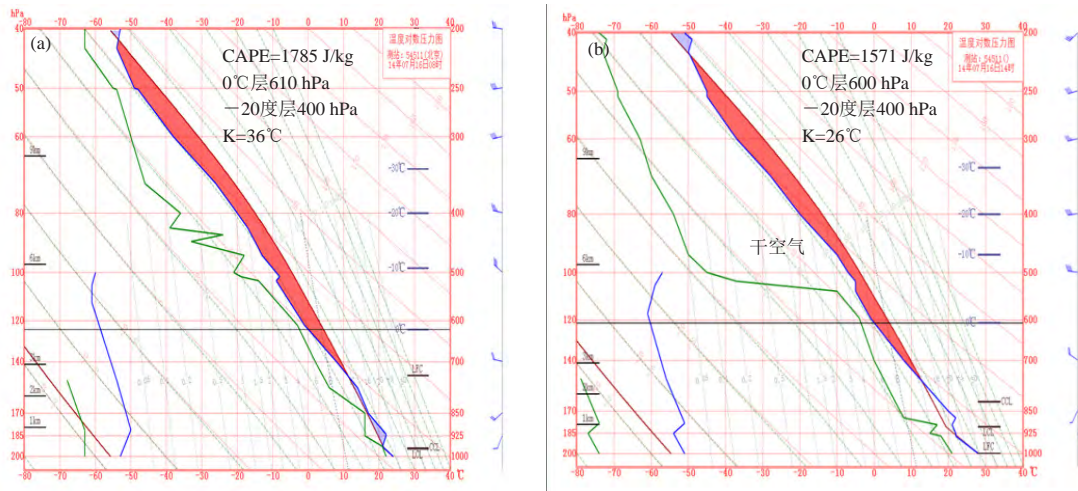


图6 2014年7月16日08时 (a) 和14时 (b) 北京 (54511) 探空
Fig. 6 Radio sounding at 0800 BT (a) and 1400 BT (b) on 16 July 2014 at Beijing Observation Station

增大, 满足北京地区出现冰雹的特性层高度条件^[21]。

2 降雹的超级单体的雷达回波特征

由观象台SA雷达监测可见, 7月16日下午北京地区出现非常清楚的边界层辐合线 (由天津附近的雷暴阵风锋和海风合并造成) 由东南部向西移动, 表明低层的辐合条件非常好同时该辐合线也形成了向西伸展的湿舌和丰富的水汽输送^[13]。此时 (16:18) 河北赤城的局地孤立单体即将进入延庆 (图7a)。该单体迅速向东南方向移动, 经延庆进入昌平。17:36, 该单体与

边界层辐合线相遇后强度迅速加强, 同时前侧梯度加大; 18时, 6.0度仰角出现“三体散射”的特征, 径向速度上观测到非常清楚的中气旋 (图7b、7c), 旋转速度达到23.5 m/s, 表明超级单体已经形成。其最强反射率因子达70 dBZ, 高度在6 km左右, 回波顶高在15 km以上, 垂直累积液态水含量达70 kg/m²。正是受该超级单体影响, 昌平区多地遭冰雹袭击, 最大冰雹直径达7 cm。

18:18, 低层0.5度仰角的径向速度上出现沿径向

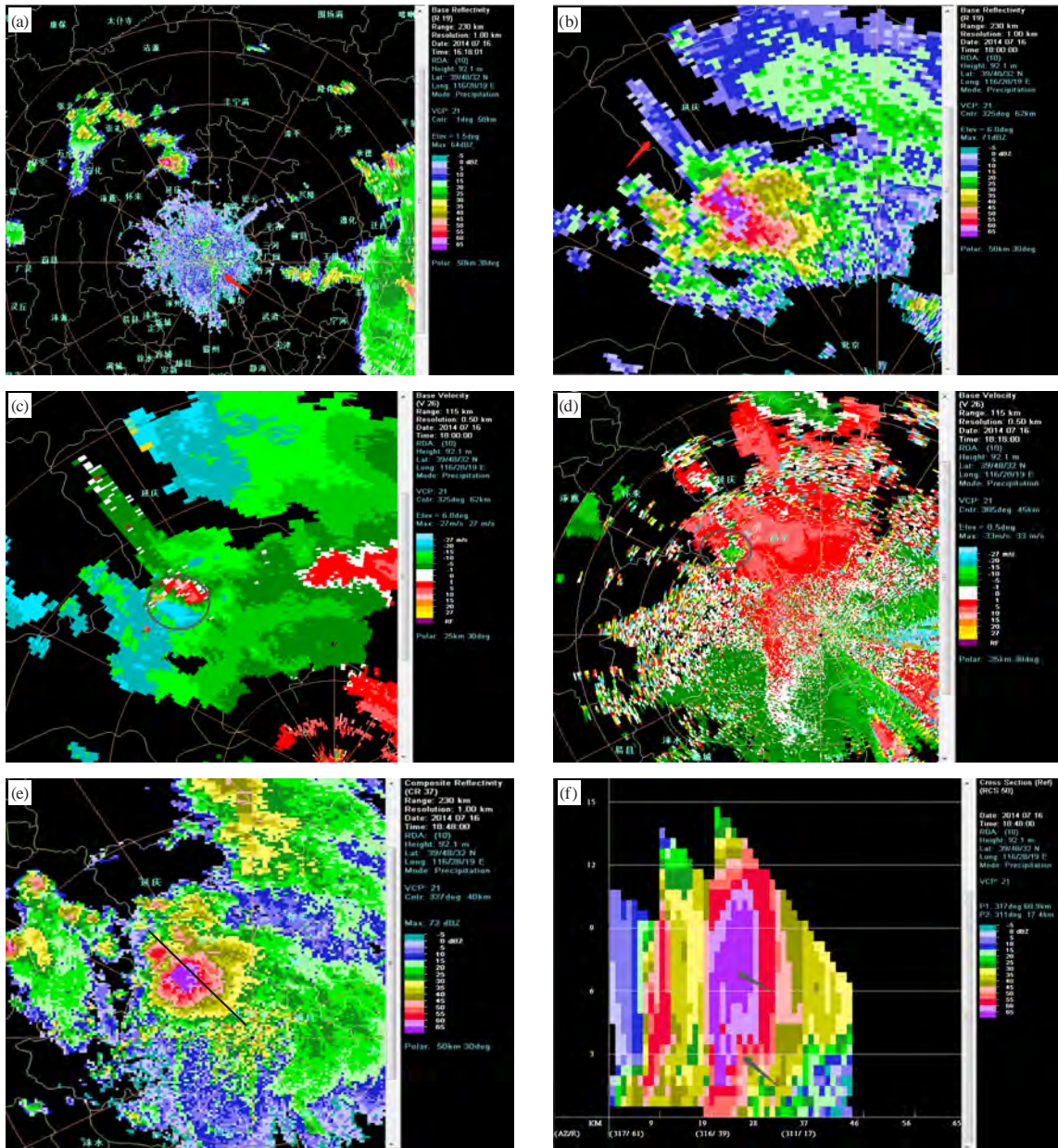


图7 观象台SA雷达 (a) 1.5°反射率因子 (16:18), (b) 6.0°反射率因子 (18:00), (c) 6.0°径向速度 (18:00), (d) 0.5°径向速度(18:18), (e) 组合反射率因子 (18:48), (f) 垂直剖面 (经过图e超级单体雷暴) (18:48)
Fig. 7 Beijing SA-band radar reflectivity factor at 1.5° (1618 BT) (a) and 6.0° (1800 BT) (b) radial velocity at 6.0° (1800 BT) (c) and 0.5° (1818 BT) (d), composed reflectivity factor (1848 BT) (e), and vertical profile across the supercell (f) (1848 BT)

的正负速度对 (下击暴流) (图7d), 且中层4.3度、6.0度仰角有明显的中层径向辐合, 预示地面将有较强的短时大风。18:20昌平流村出现18.8 m/s的8级瞬时大风, 并且多地出现6~7级短时大风。

该超级单体经昌平进入海淀后, 反射率因子的垂直剖面仍然表现为非常典型的穹窿状悬垂结构, 低层有明显的有界弱回波特征, 55 dBZ以上的强回波高度达12 km, 70 dBZ强回波高度为10 km左右 (图7e、7f)。之后, 强反射率因子核高度下降至1~2 km,

演变为低质心、强降水对流系统, VIL由80 kg/m²降至40 kg/m², 但是强度依然维持在60 dBZ以上, 对应海淀局地出现短时暴雨, 导致了小范围严重积涝。

3 形成条件

北京的地形三面环山, 延庆、门头沟, 以及房山的西部地区海拔在500~2000 m, 自西向东由山地向平原过渡, 昌平山区向平原过渡地区处于喇叭口地形中 (图8), 此外, 由于午后至傍晚山区受热不均, 对流云容易在山区发展, 配合边界层辐合线恰好移动

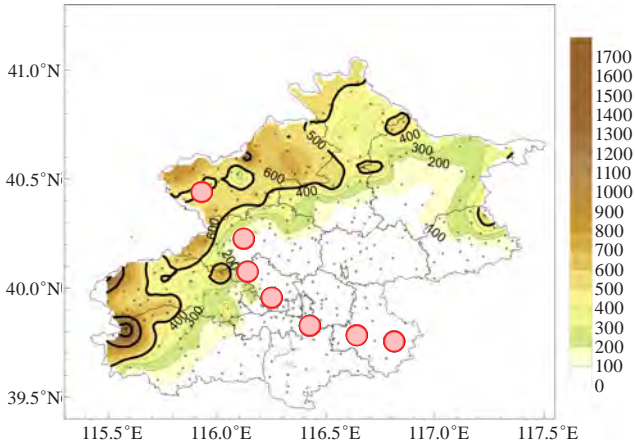


图8 北京地形高度及2014年7月16日超级单体移动路径 (●表示超级单体; 地形高度单位: 米)

Fig. 8 Topography height and supercell movement path on 16 July 2014 in Beijing (●represents supercell; topography height unit: m)

到山前, 低层偏东风在山前有很好的辐合条件, 可见超级单体在从延庆经昌平山区后明显加强与地形和边界层辐合线有密切关系。这种从延庆经昌平中部进入海淀的冰雹路径也是北京4条冰雹路径之一^[14]。

此外, 17—20时自动站风场及其后1 h降雨量客观分析发现(图9), 17—18时延庆地区降水与偏东风在海坨山山前的辐合抬升有关(图9a); 18—21时超级单体出流使地面辐合线进一步加强, 强出流沿山坡加速下滑推动地面辐合线快速向东南方向移动^[13], 平原地区强降水均出现在地面辐合线附近, 并且雨团随辐合线向东南方向移动, 说明地面辐合线对于强对流系统的维持有很重要的作用(图9b~d)。

利用VDRAS资料对昌平的超级单体分析发现, 18—19时低层扰动温度场上表现为明显的冷池, 中心的扰动温度可达 -9°C 左右, 强度比一般对流系统形

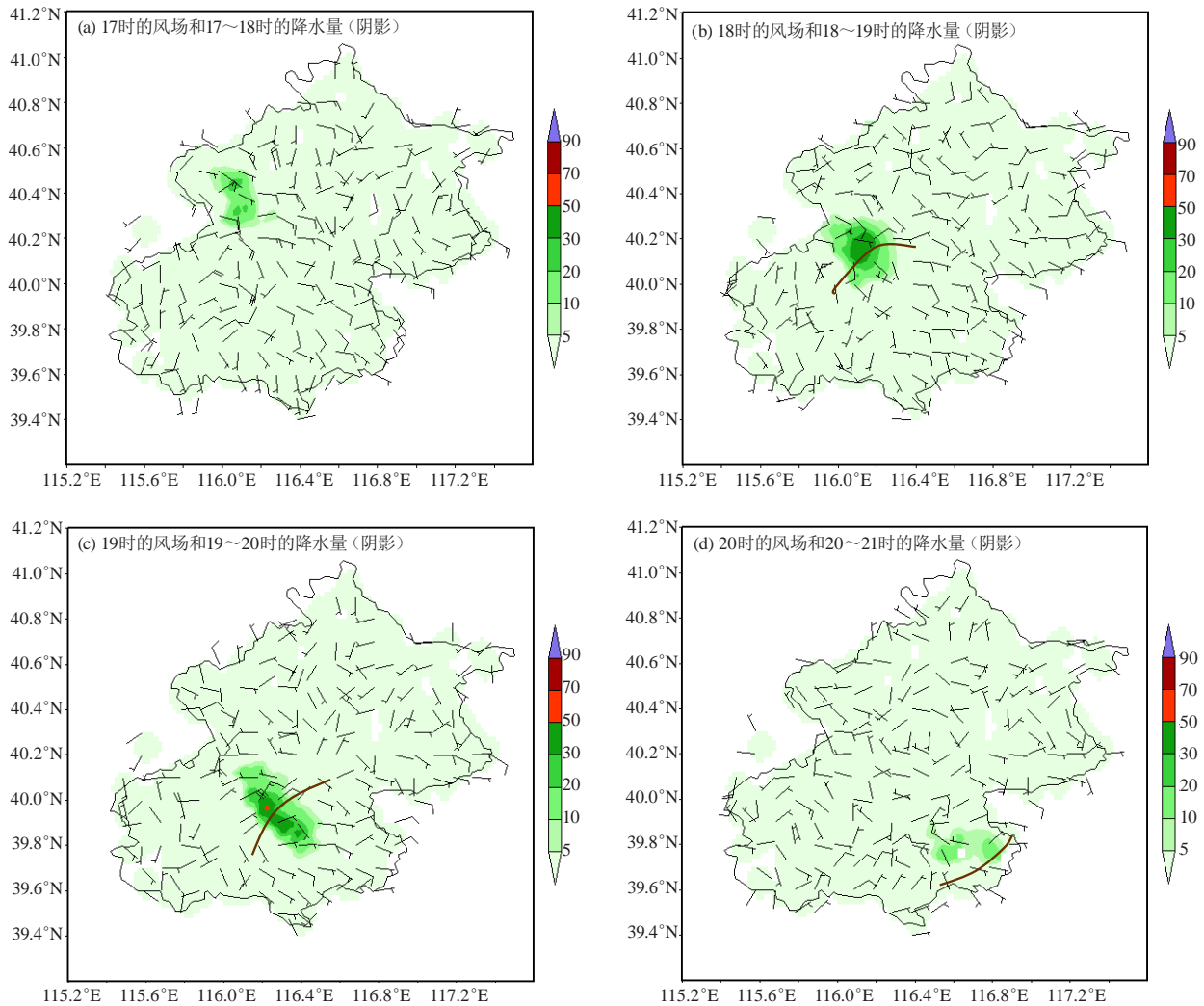


图9 2014年7月16日地面自动站风场叠加及其后1 h雨量 (a) 17时; (b) 18时; (c) 19时; (d) 20时

Fig. 9 Surface ground wind and rainfall one hour later from 1700 BT to 2100 BT on 16 July 2014

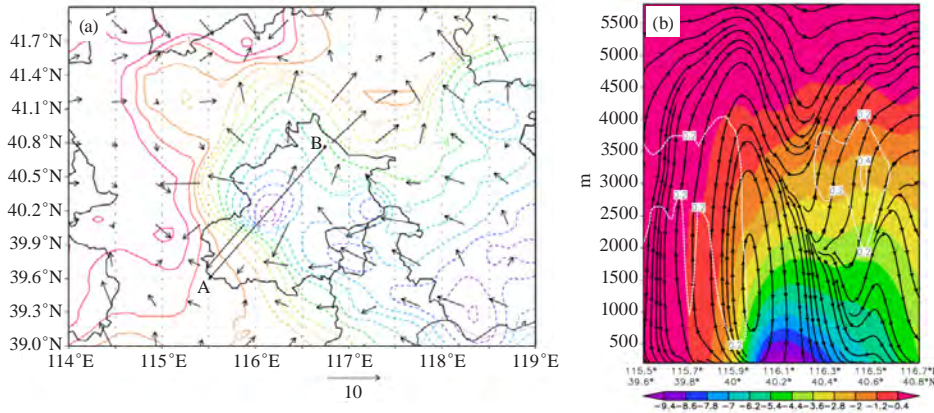


图10 2014年7月16日18:37 200 m VDRAS水平风场（风矢量）叠加扰动温度场（等值线）（a）和沿如图所示剖面（等值线为垂直速度、填色为扰动温度，叠加流场）（b）

Fig. 10 Wind field and perturbation temperature (contour) at 200 m of VDRAS (left), vertical profile of vertical velocity (dashed contour), perturbation temperature(shaded), and streamline(right) at 1837 BT on 16 July 2014

成的冷池强得多，并且冷池南侧偏北风出流与其前侧偏东风形成更强烈的辐合（图10a）。沿雷暴冷池大梯度区和最大出流位置（图10a中的A-B线）分析垂直扰动温度、流场以及上升运动发现（图10b），-5℃以下的冷池厚度可到2 km，其上为明显的下沉气流，其前侧为辐合上升气流配合上升运动，构成了完整的

垂直径向环流。随着时间的推移，超级单体的增强造成冷池的增强，进而造成了扰动温度大梯度，配合有利地形，前侧辐合加强并出现更为显著的垂直上升运动，因而超级单体得以继续发展和不断向南移动。因此，18—19时、19—20时的雨量和扰动温度梯度场发展有明显的相关关系（图11），强降水位于扰动

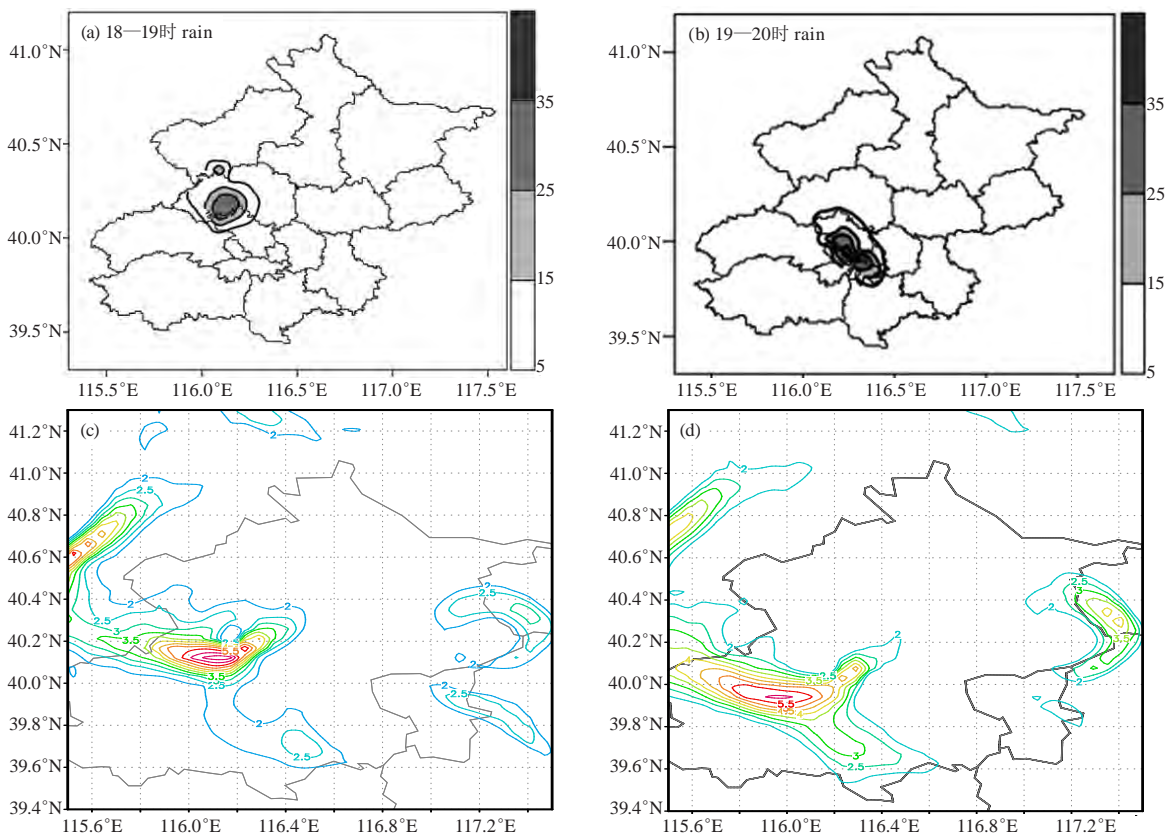


图11 2014年7月16日1 h降水量 (a. 18—19时, b. 19—20时, 单位: mm) 和扰动温度梯度 (c. 18—19时, d. 19—20时, 单位: °C)
Fig. 11 Precipitation (a, b, unit: mm) and gradient perturbation temperature (c, d, unit: °C) on 16 July 2014 (a, c are from 1800 to 1900 BT, and b, d are from 1900 to 2000 BT)

温度梯度中心偏雷暴移动的右前侧。

4 结论与讨论

本文通过多种观测资料分析了这次由超级单体导致的强对流天气的中尺度特征和形成条件，初步分析结果表明：

1) 这次过程是高空西北气流型的降雹，出现在低层切变线和地面辐合区（辐合线）附近。在这种天气形势下，低层有明显的垂直上升运动，并且垂直风切变较大。850 hPa以下偏南风、近地面东南风的水汽输送使得本地低层比湿大，水汽条件好是这种类型下降雹的必要条件。此外，1500 J/kg以上的高CAPE以及上干下湿的不稳定层结、850 hPa θ_{se} 360 K的高能舌中心均有利于强对流的发生；“喇叭口”型探空、适宜的0 °C层和-20 °C层高度以及这两个特性层之间厚度变小是大冰雹天气出现的典型环境。

2) 造成此次大冰雹的超级单体有非常明显的三体散射、穹窿状回波悬垂、中气旋等典型特征。而后期强降水时段，强反射率因子核所在高度迅速下降，演变为低质心结构，指示地面强降水和短时大风发生。

3) 昌平山区向平原过渡地区的喇叭口地形，以及由于午后至傍晚山区受热不均，配合低层偏东风在山前很好的辐合条件（边界层辐合线恰好移动到山前），有利于超级单体下山增强，是强对流维持和发展的原因之一。

4) 由超级单体强降雹、降水导致的低层强烈降温使雷暴冷池增强，进而造成了扰动温度大梯度前侧辐合的加强和更为显著的垂直上升运动，因而雷暴得以继续发展和不断向南移动。雨量和扰动温度梯度场发展有明显的相关关系，强降水位于扰动温度梯度中心偏雷暴移动的右前侧。

虽然这次强对流天气发生在华北“七下八上”雨季的开端，但是从前期的环流形势来看，副热带高压的主体仍然偏南，环流径向度较大，仍然以冷空气频繁活动为主，因此出现风雹类的强对流天气的可能性更大；而在7月18日副高明显北跳后，西南暖湿气流

随之向北推进，雨季才真正开始，对流天气逐渐转变为以短时强降水造成的暴雨天气为主。因此，在强对流天气类别潜势预报中，预报员对于大尺度形势的把握是至关重要的。

参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 张朝林, 季崇萍, Ying-Hwa, 等. 地形对“00.7”北京特大暴雨过程影响的数值研究. 自然科学进展, 2005, 15(5): 572-578.
- [3] 孙继松. 气流的垂直分布对地形雨落区的影响. 高原气象, 2005, 24(1): 62-69.
- [4] 孙继松, 何娜, 王国荣, 等. “7·21”北京特大暴雨系统的结构演变特征及成因初探. 暴雨灾害, 2012, 31(3): 218-225.
- [5] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报. 北京: 气象出版社, 2004.
- [6] 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): 221-233.
- [7] 孙继松, 杨波. 地形与城市环流共同作用下的 β 中尺度暴雨. 大气科学, 2008, 32(6): 1352-1364.
- [8] 丁青兰, 王令, 卞素芬, 等. 北京局地降水中地形和边界层辐合线的作用. 气象科技, 2009, 37(2): 152-155.
- [9] Wilson J W, Chen M X, Wang Y C. Nowcasting thunderstorms for the 2008 summer Olympics // The 33rd International Conference on Radar Meteorology, Cairns, Australia, American Meteorological Society, 2007.
- [10] Wilson J W, Feng Y, Chen M, et al. Nowcasting challenges during the Beijing Olympics: Successes, failures, and implications for future nowcasting systems. Weather and Forecasting, 2010, 25(6): 1691-1714.
- [11] Wilson J W, Schreiber W E. Initiation of convective storms at radar-observed boundary-layer convergence lines. Monthly Weather Review, 1986, 114(12): 2516-2536.
- [12] 陈明轩, 王迎春, 高峰, 等. 基于雷达资料4DVar低层的热动力反演系统及其在北京奥运期间的初步应用分析. 气象学报, 2011, 69(1): 64-78.
- [13] 陈明轩, 肖现, 高峰. 出流边界对京津冀地区强对流局地新生及快速增强的动力效应. 大气科学, 2017, 41(5): 897-917.
- [14] 叶彩华, 姜会飞, 李楠, 等. 北京地区冰雹发生的时空分布特征. 中国农业大学学报, 2007, 12(5): 34-40.
- [15] 孙继松, 石增云, 王令. 地形对夏季冰雹事件时空分布的影响研究. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 76-84.
- [16] 赵淑艳, 朱文志. 北京地区冰雹云生成的宏观条件分析. 气象科技, 2004, 32(5): 348-351.
- [17] 张琳娜, 郭锐, 何娜, 等. 北京地区冰雹天气特征. 气象科技, 2013, 41(1): 114-120.
- [18] 蓝渝, 郑永光, 毛冬艳, 等. 华北区域冰雹天气分型及云系特征. 应用气象学报, 2014, 25(5): 538-549.
- [19] 王华, 孙继松, 李津. 2005年北京城区两次强冰雹天气的对比分析. 气象, 2007, 33(2): 49-56.
- [20] 雷蕾, 孙继松, 王国荣, 等. 基于中尺度数值模式快速循环系统的强对流天气分类概率预报试验. 气象学报, 2012, 70(4): 752-765.
- [21] 雷蕾, 孙继松, 魏东. 利用探空资料判别北京地区夏季强对流的天气类别. 气象, 2011, 37(2): 136-141.

孟加拉湾低压与昆明准静止锋影响下云南极端暴雨过程分析

鲁亚斌¹ 唐盛² 闵颖¹ 胡娟¹ 李华宏¹ 许迎杰¹ 杨竹云¹
(1 云南省气象台, 昆明 650034; 2 云南省气象服务中心, 昆明 650034)

摘要: 利用水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 逐6小时FNL再分析资料、常规观测资料和FY-2E观测资料, 诊断分析了2015年10月9日云南极端暴雨过程。结果表明: 此次云南极端暴雨是由孟加拉湾低压和昆明准静止锋共同作用造成; 孟加拉湾低压登陆后长时间维持提供了源源不断的水汽供应, 700 hPa切变线和昆明准静止锋使水汽辐合明显增强; 在高低空急流和锋面抬升作用下上升运动得到强烈发展; 受地形和锋面抬升, 在潮湿大气中存在倾斜上升运动有利于条件性对称不稳定能量的释放。

关键词: 孟加拉湾低压, 昆明准静止锋, 极端暴雨, 形成机制

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.003

The Analysis of Extreme Rainstorm Process as Influenced by the Bay of Bengal low and Kunming Quasi-stationary Front in Yunnan

Lu Yabin¹, Tang Sheng², Min Ying¹, Hu Juan¹, Li Huahong¹, Xu Yingjie¹, Yang Zhuyun¹
(1 Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034 2 Yunnan Meteorological Service Center, Kunming 650034)

Abstract: The formation mechanism of an extreme rainstorm process in Yunnan on October 9th, 2015 was analyzed using FNL reanalysis data, conventional observation, and FY-2E satellite observatory data. Results showed that this extreme rainstorm in Yunnan was caused by the Bay of Bengal low combined with Kunming quasi-stationary front. The Bay of Bengal low maintained for a long time after landing, which provided long-lasting and abundant supply of water vapor. The shear line at 700 hPa and Kunming quasi-stationary front greatly enhanced the water vapor convergence. Rising movement was strongly developed because of high-level and low-level jet streams and frontal lifting. The slantwise updraft by the orographic uplift and frontal lift was favorable to the release of conditional symmetric unstable energy in moisture air.

Keywords: the Bay of Bengal low, Kunming Quasi stationary Front, extreme rainstorm, formation mechanism

0 引言

孟加拉湾热带低压及云贵准静止锋是影响低纬高原的重要天气系统。对孟加拉湾热带低压的研究多侧重于风暴量级, 因为孟加拉湾风暴往往给云南造成暴雨天气。关于孟加拉湾风暴影响云南的活动规律和影响已有不少研究, 李玉柱^[1]和段旭等^[2]研究指出孟加拉湾风暴活动集中在5月和9—10月呈双峰型分布特点, 其中5月孟加拉湾风暴活动与云南雨季开始期关系密切,

对云南初夏降水影响很大; 李英等^[3-4]分析了孟加拉湾对流云团影响云南的特征, 得出高空槽与孟加拉湾云团配合是云南产生强降水的重要类型; 王曼等^[5]通过数值模拟分析了大地形对孟加拉湾风暴路径、结构变化和降水分布的作用和影响; 吕爱民等^[6]研究了孟加拉湾风暴影响下西南地区大到暴雨, 指出低纬高原地形对孟加拉湾风暴偏南风的强迫抬升加剧了上升运动, 有助于强降水的产生; 索渺清等^[7]研究了孟加拉湾风暴对滇西北暴雨雪天气的影响机制; 以上研究多侧重于春季孟加拉湾风暴影响, 对秋季孟加拉湾风暴的影响研究并不多, 段旭等^[8]研究表明, 随着全球气候变暖, 孟加拉湾风暴频数极端年份增加, 强度加大, 并向东北、偏北移动的次数显著增加, 当东北路径孟加拉湾风暴与云贵高原地区冷空气相遇时, 其降水量级比无冷空气配合时大两个量级。另外, 对云贵

收稿日期: 2018年2月2日; 修回日期: 2018年8月8日
第一作者: 鲁亚斌(1965—), Email: Lybl165@163.com
通信作者: 李华宏(1978—), E-mail: lihuahong08@163.com
资助信息: 国家自然科学基金项目(41565004); 云南省科技惠民项目(2016RA096); 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金项目(SZKT201704)

准静止锋天气的研究往往侧重于冬春季，对秋季昆明准静止锋加强后引发的暴雨天气研究较少，而这类天气需要特别警惕并加强研究。

2015年10月9日，云南在秋季后汛期出现了大到暴雨局部大暴雨强降水天气过程，并伴随有强对流天气，过程雨量之大成为2015年度云南最强降雨过程，同时也是云南自1961年以来单日最强的暴雨过程^[9]。为了揭示本次暴雨发生的物理原因，本文应用水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 逐6小时FNL再分析资料、常规观测资料及FY-2E卫星资料等非常规观测资料，通过诊断分析，深入认识这次暴雨过程的形成原因，以期为该灾害性天气的业务预报预警提供借鉴。

1 极端暴雨实况及灾情

受孟加拉湾低压和冷空气的共同作用，2015年10月8日20时至9日20时，云南出现了大范围的大到暴

雨局部大暴雨（图1a），伴有强对流天气（图1b），经云南省乡镇自动雨量站统计，1130个乡镇站出现大雨，786个乡镇站出现暴雨，100个乡镇站出现大暴雨，1个乡镇站出现特大暴雨，最大降水出现在哀牢山东坡的玉溪市新平县的发启站（图1c），日雨量为264.5 mm。这次强降水过程暴雨区呈西北—东南向分布，哀牢山西侧的滇西南出现雷电活动，暴雨区内有成片短时强降水，降水持续时间长，因而累积雨量大。这次云南强降雨天气过程造成曲靖、玉溪、保山、普洱、临沧、楚雄、红河、怒江和德宏等9州市16个县发生洪涝和山体滑坡，共10.2万人受灾，因灾死亡9人、失踪5人、受伤5人，紧急转移安置88人，农作物受灾面积3127.9 hm^2 、绝收面积998.6 hm^2 ，倒塌房屋49间、损坏房屋671间，损失严重。

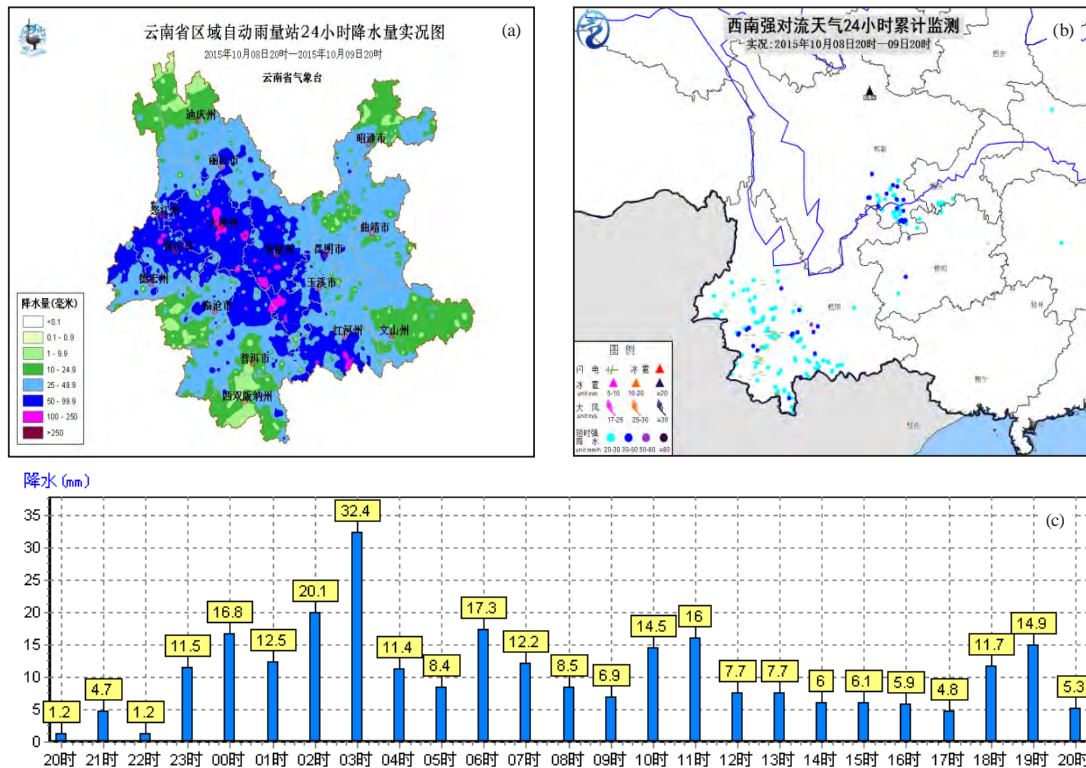


图1 2015年10月8日20时至9日20时 (a) 云南省区域自动雨量站24小时降水量 (单位: mm); (b) 西南对流天气24小时累计监测分布; (c) 云南省玉溪市新平县发启站逐小时雨量 (单位: mm)

Fig. 1 (a) The rain chart from 20:00 BT Oct.8 to 20:00 BT Oct.9 (units: mm); (b) the distribution of severe convection, and (c) the hourly rain graph at Faqi station (unit: mm)

2 影响系统

2.1 孟加拉湾低压

2015年10月5日08时，孟加拉湾中部有一热带低压（ 16.1°N ， 90.5°E ）生成，随后以 $15\sim 20\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向偏北方向移动，8日08时（图2a）受副高外围

西南气流引导转为东北向，之前强度变化不大，随着孟加拉湾低压向北移过 20°N 进入孟加拉湾北部后明显加强；8日20时（图2b）在孟加拉国吉大港附近登陆，登陆后继续向东北方向缓慢移动，低压云系随之影响云南，降水开始。低压云系中持续出现的中尺度

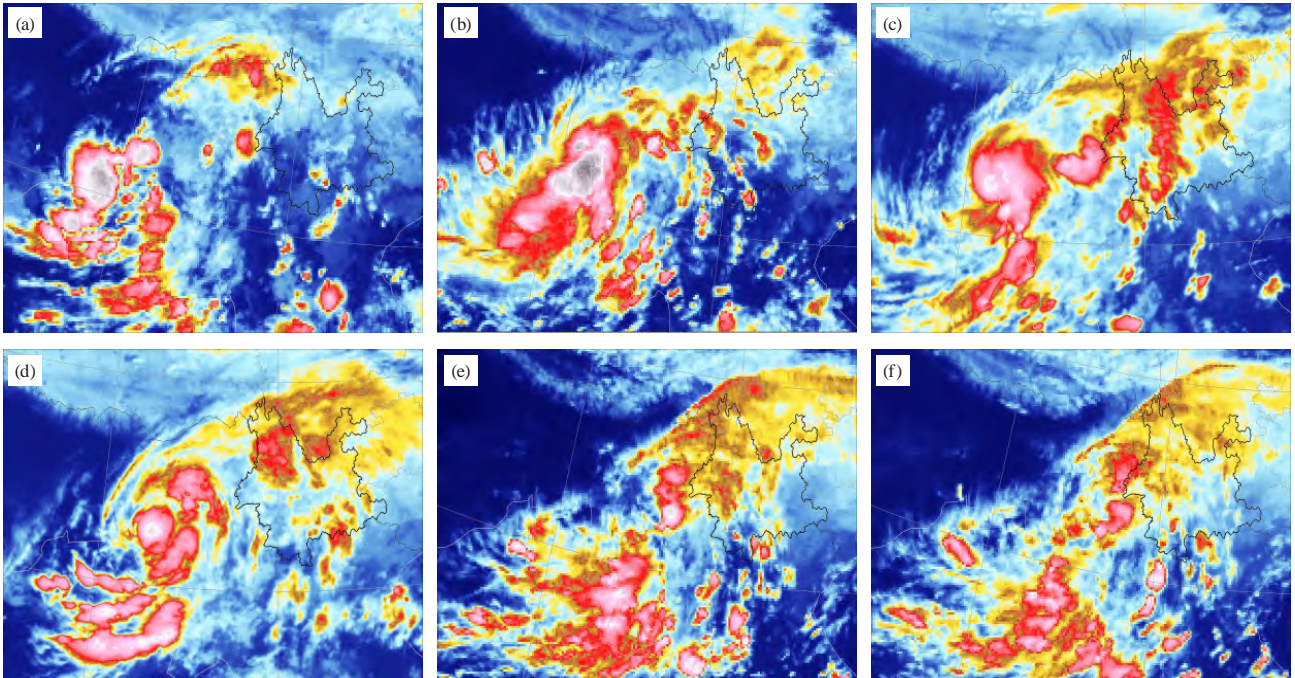


图2 FY-2E红外云图

(a) 8日08时; (b) 8日20时; (c) 9日00时; (d) 9日08时; (e) 9日14时; (f) 9日20时
Fig. 2 Infrared images of FY-2E satellite at (a) 08:00 BT Oct. 8, (b) 20:00 BT Oct. 8, (c) 00:00 BT Oct. 9, (d) 08:00 BT Oct. 9, (e) 14:00 BT Oct. 9, and (f) 20:00 BT Oct. 9

对流云带（图2c~e）是造成短时强降水的重要原因，9日20时（图2f）孟加拉湾低压云系有所减弱。从图3也可看出，孟加拉湾低压登陆后维持时间长达24 h，低压东部伴随深厚的西南低空急流。而孟加拉湾低压登陆后平均维持时间不超过12 h^[2]，可见孟加拉湾低压登陆后维持时间长是造成这次极端暴雨的重要原因之一。

2.2 昆明准静止锋

在孟加拉湾低压北上登陆的同时，500 hPa西风带经历了一次低槽东移过程，槽后西北气流引导中低层冷空气南下（图3a）。700 hPa在四川以北的316 dagpm冷高压前沿东北气流与来自孟加拉湾低压的西南气流在云南东北部生成一条西北—东南向的切变线（图3b）。在800 hPa云南近地面也有切变线位于哀牢山东坡（图3c）。由于切变线后部冷高压势力强，有利于切变线南压并越过哀牢山，9日20时切变线位于滇西南。地面昆明准静止锋8日20时位于哀牢山东部，之后向西翻越哀牢山，9日20时影响滇西南（图3d）。

在500 hPa低槽后部西北气流引导下，700 hPa和800 hPa切变线及昆明准静止锋影响云南，正好和登陆的孟加拉湾低压相遇，强冷空气和强暖湿气流相互作用并长时间对峙造成此次云南北极暴雨天气过程，强降水落区与700 hPa切变线及昆明准静止锋走向基本一致。

3 水汽条件

孟加拉湾低压活动过程中虽未达到风暴标准，但8日20时登陆时其东部800 hPa到500 hPa层次出现了西南风急流，使得云南大部整层可降水量达25~40 mm，整层可降水量大于35 mm范围覆盖了滇中及以西以南广大地区，具备强降水的必要水汽条件。分析700 hPa水汽通量散度演变过程，8日20时暴雨开始酝酿时，水汽通量散度达 $-20 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，8日20时后700 hPa切变线加强南压，同时孟加拉湾低压东部的西南急流移近云南，水汽辐合不断增强，9日02时（图4a）水汽通量散度增强至 $-80 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，实况显示这期间出现了大范围暴雨，到9日20时（图4b~4d）在暴雨区持续强水汽辐合。可见，伴随着孟加拉湾低压西南低空急流影响，700 hPa切变线加强了水汽辐合，中低层水汽长时间强烈辐合为强降水发展提供了有利条件。

4 垂直上升运动

4.1 高、低空急流作用

8日20时200 hPa高空西风急流位于 34°N 附近，同时700 hPa孟加拉湾低压东部出现低空急流。整个暴雨期间，高低空急流都在加强，高空急流入口区右侧高层辐散区下方正好是低空急流前方的低层辐合区，使

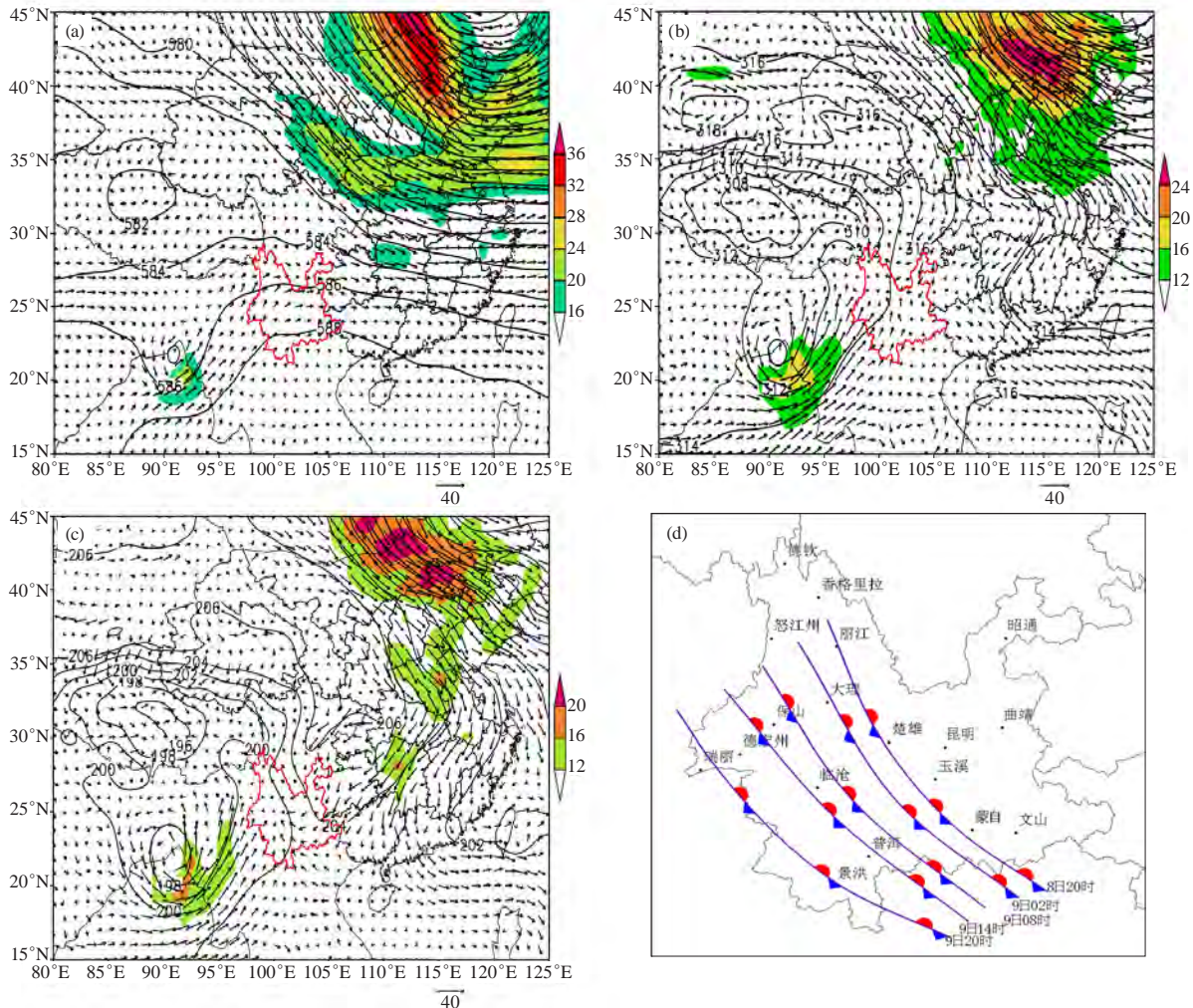


图3 8日20时高空形势图

(a) 500 hPa; (b) 700 hPa; (c) 800 hPa; (d) 昆明准静止锋动态图

Fig. 3 The situation chart at 20:00 BT Oct. 8 at (a) 500 hPa, (b) 700 hPa, and (c) 800 hPa, and (d) the developing graph of Kunming quasi-stationary front

高空急流的次级环流得到加强。9日08时, 200 hPa (图5a) 高空急流超过 $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 高层辐散达 $50 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 700 hPa (图5b) 西南低空急流增强至 $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 低层辐合加强, 云南境内辐合强度达 $-40 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 高层辐散低层辐合有利于暴雨区上升运动的发展加强。

从暴雨区的纬向流场剖面可见, 暖湿气流倾斜上升到300 hPa附近下沉, 形成一个横越高空急流的次级环流圈, 暴雨区位于急流次级环流上升支中, 垂直运动得到强烈发展 (图5c)。

4.2 锋面抬升作用

暴雨发生前昆明准静止锋维持在云贵交界处, 由于近地层冷高压势力加强, 使得其前沿贵州、广西一带东北风加强, 静止锋向西越过哀牢山。8日20时近地层800 hPa假相当位温密集区沿哀牢山呈西北—东南向, 9日02时锋后东北风加强 (图6a), 锋

面坡度抬高有利于强对流发展。8日20时到9日02时随着昆明准静止锋加强, 孟加拉湾低压外围的中尺度对流云团被组织成一条沿锋面分布的 α 中尺度对流云带 (图2c), 短时强降水频繁出现。9日08—20时 (图6b~6d), 随着锋后东北风进一步加强, 锋面向西推进越过哀牢山, 滇西南中尺度对流云带迅速发展起来 (图2e), 强降水持续出现。

另外, 从暴雨区假相当位温和垂直环流剖面可以看出, 锋区附近假相当位温线密集, 锋区伸展到700 hPa附近, 受锋面抬升, 暴雨区上空出现强盛的上升气流, 垂直速度高达 $-250 \times 10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$, 而且上升气流范围大。可见, 锋面抬升有利于上升运动强烈发展, 为暴雨提供了必要的动力条件 (图6e)。

5 条件性对称不稳定

分析云南区域的对流有效位能 (CAPE) 发现,

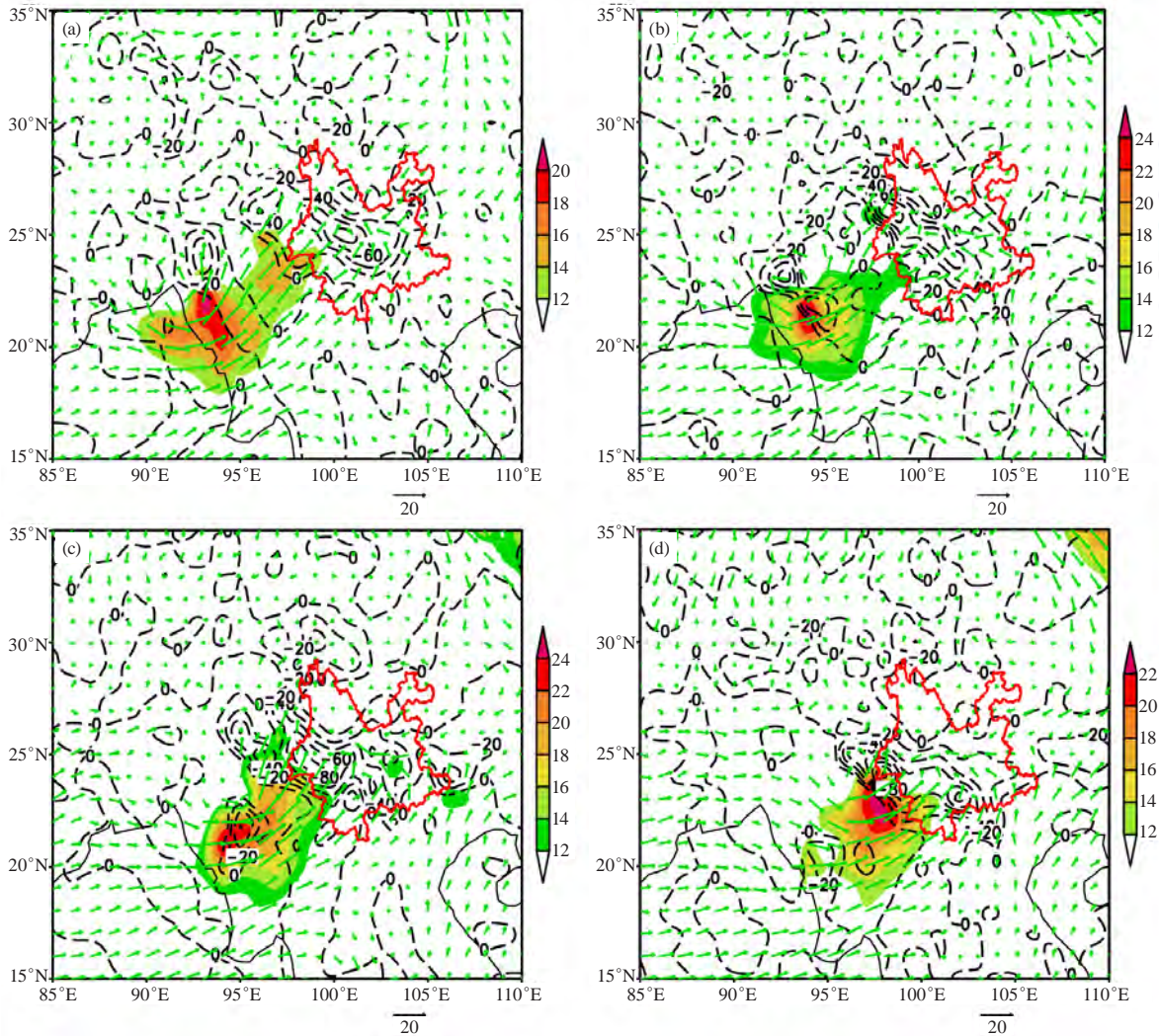


图4 700 hPa水汽通量矢量(箭头)和水汽通量散度(单位: $10^{-8} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)及全风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 阴影 $\geq 12 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a) 9日02时; (b) 9日08时; (c) 9日14时; (d) 9日20时

Fig. 4 The water vapor flux vector (arrow), moisture flux divergence (units: $10^{-8} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and whole wind (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, shadow $\geq 12 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at (a) 02:00 BT Oct. 9, (b) 08:00 BT Oct. 9, (c) 14:00 BT Oct. 9, and (d) 20:00 BT Oct. 9

由于孟加拉湾低压东北移, 低压东部的西南气流向云南哀牢山西侧的滇西南输送了大量不稳定能量, 8日20时(图7a)位于昆明准静止锋前的滇西南CAPE值为 $200 \sim 1100 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 到9日14时(图7b)滇西南CAPE值仍高达 $200 \sim 1200 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 另外从图7c~7d可见, 哀牢山东侧为对流稳定区 ($\theta_{se500} - \theta_{se800} > 0$), 哀牢山西侧为对流不稳定区 ($\theta_{se500} - \theta_{se800} < 0$), 滇西南受西移越过哀牢山的昆明准静止锋触发, 对流不稳定能量先后释放出现强对流天气, 这是滇西南出现了雷暴天气和短时强降水较多的重要原因。

由以上分析可知, 哀牢山西侧的暴雨为对流性降水, 东侧为稳定性降水, 20时以后哀牢山东侧静止锋后部存在近饱和的对流稳定层结(图7c~7d), 并

且风向由低层偏东风向中高层偏西风顺转, 垂直风切变明显。对称不稳定是大气在垂直方向上对流稳定和水平方向惯性稳定的情况下, 气流作倾斜上升运动仍然可能发生的一种不稳定, 潮湿大气中的对称不稳定称为条件性对称不稳定(CSI)。由湿位涡理论^[10]可知, 湿位涡 $MPV < 0$ 是大气发生CSI的充要条件, MPV 在等压面上的水平分布状况可以反映出CSI的区域和强弱, 湿位涡已被应用于低纬高原地区^[11]。8日20时后, 暖湿气流受地形及锋面抬升作倾斜上升运动, 条件性对称不稳定能量释放, 强降水发展, 哀牢山东侧暴雨区上空存在一带状 MPV 负值区(图8a), 9日02时, MPV 负值区分布在昆明准静止锋及700 hPa切变线附近(图8b)。可见, 孟加拉湾低压东部的西南低空

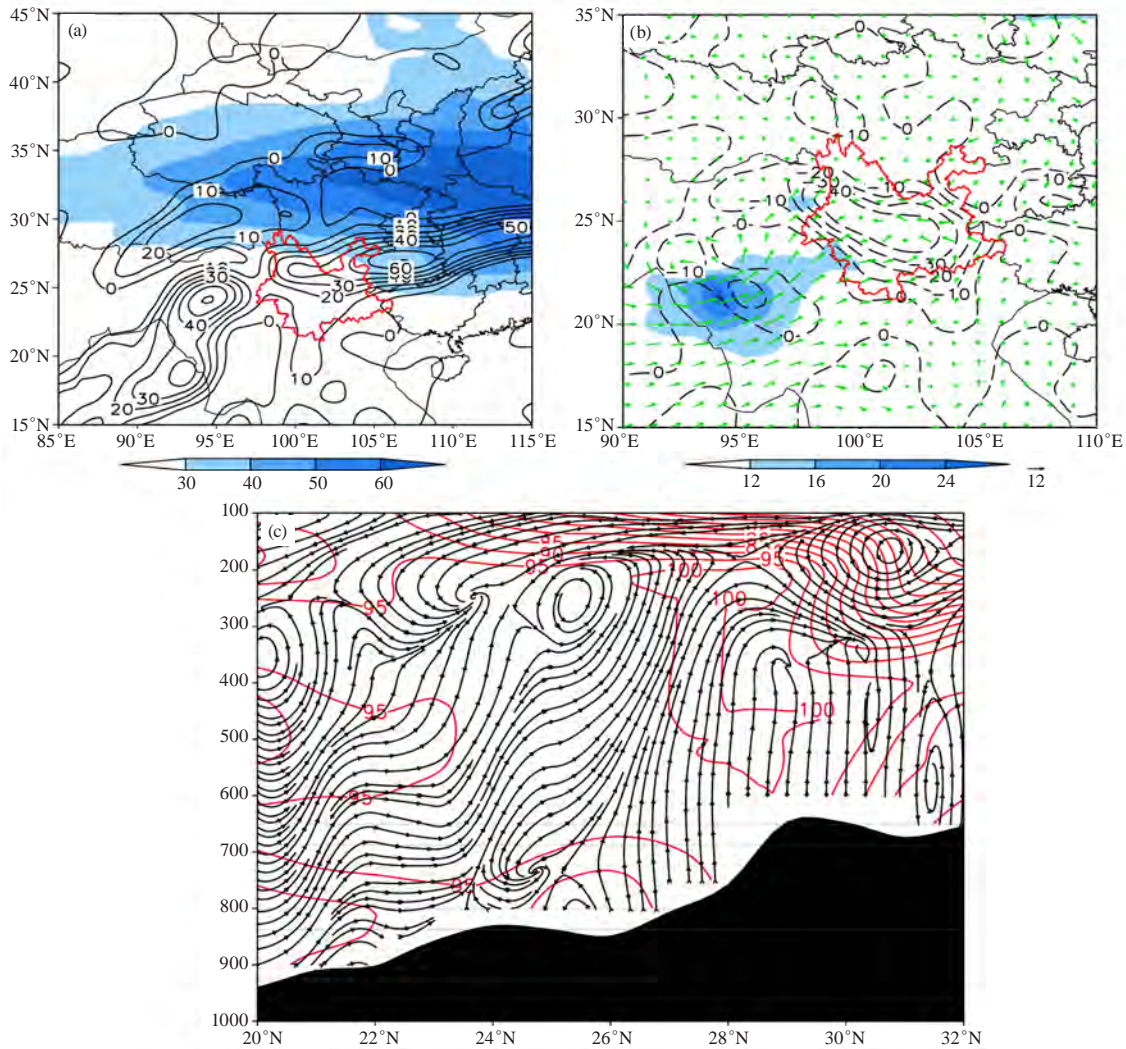


图5 9日08时 (a) 200 hPa高空急流(阴影, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) 与散度 (实线, 单位: 10^{-6}s^{-1}) ; (b) 700 hPa低空急流 (阴影, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) 和散度 (虚线, 单位: 10^{-6}s^{-1}) 及流场 (风矢) ; (c) 暴雨区 (24° — 27°N) 沿 102°E 纬向流场 (流线) 剖面 and 相对湿度 (实线条) 垂直剖面合成图

Fig. 5 (a) The upper level jet (shadow, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and divergence (solid line, unit: 10^{-6}s^{-1}) at 200 hPa, (b) low level jet (shadow, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), divergence (dashed line, unit: 10^{-6}s^{-1}) and flow field (wind arrow) at 700 hPa, and (c) the vertical section synthesis of flow field (streamline) and relative humidity (solid line) along 102°E at 08:00 BST Oct. 9

急流受地形和锋面抬升作倾斜上升运动, CSI不稳定能量得到释放, 促使垂直涡度和强降水发展。因此, CSI是此次极端暴雨的重要形成机制。

6 结论

1) 在孟加拉湾低压和昆明准静止锋共同作用下, 强冷空气和强暖湿气流长期对峙造成云南北端暴雨, 暴雨落区沿昆明准静止锋和700 hPa切变线分布, 强度大、范围广。

2) 孟加拉湾低压为暴雨过程提供了源源不断的水汽输送, 在700 hPa切变线和昆明准静止锋作用下水汽辐合明显加强。

3) 高低空急流的有利配置促进高空急流次级环

流上升支发展, 同时在锋面抬升作用下, 暴雨区上升运动得到大大增强。

4) 西南暖湿气流受地形和锋面抬升作倾斜上升运动, 有利于条件性对称不稳定能量释放。

参考文献

- [1] 李玉柱. 初夏孟加拉湾风暴的若干特征. 气象, 1981, 7(5): 5-7.
- [2] 段旭, 陶云, 寸灿琼, 等. 孟加拉湾风暴时空分布和活动规律统计特征. 高原气象, 2009, 28(3): 634-641.
- [3] 李英, 郭荣芬, 索渺清, 等. 初夏孟加拉湾对流云团北上低纬高原的初步研究. 热带气象学报, 2003, 19(3): 277-284.
- [4] 李英, 张腾飞, 索渺清. 孟加拉湾云团影响下云南强降水分析. 气象科学, 2003, 23(2): 185-191.
- [5] 王曼, 段旭, 李华宏, 等. 孟加拉湾风暴Mala登陆期间地形敏感性试验. 气象学报, 2011, 69(3): 486-495.
- [6] 吕爱民, 文永仁, 李英. 一次孟加拉湾风暴Akash (0701)对我国西

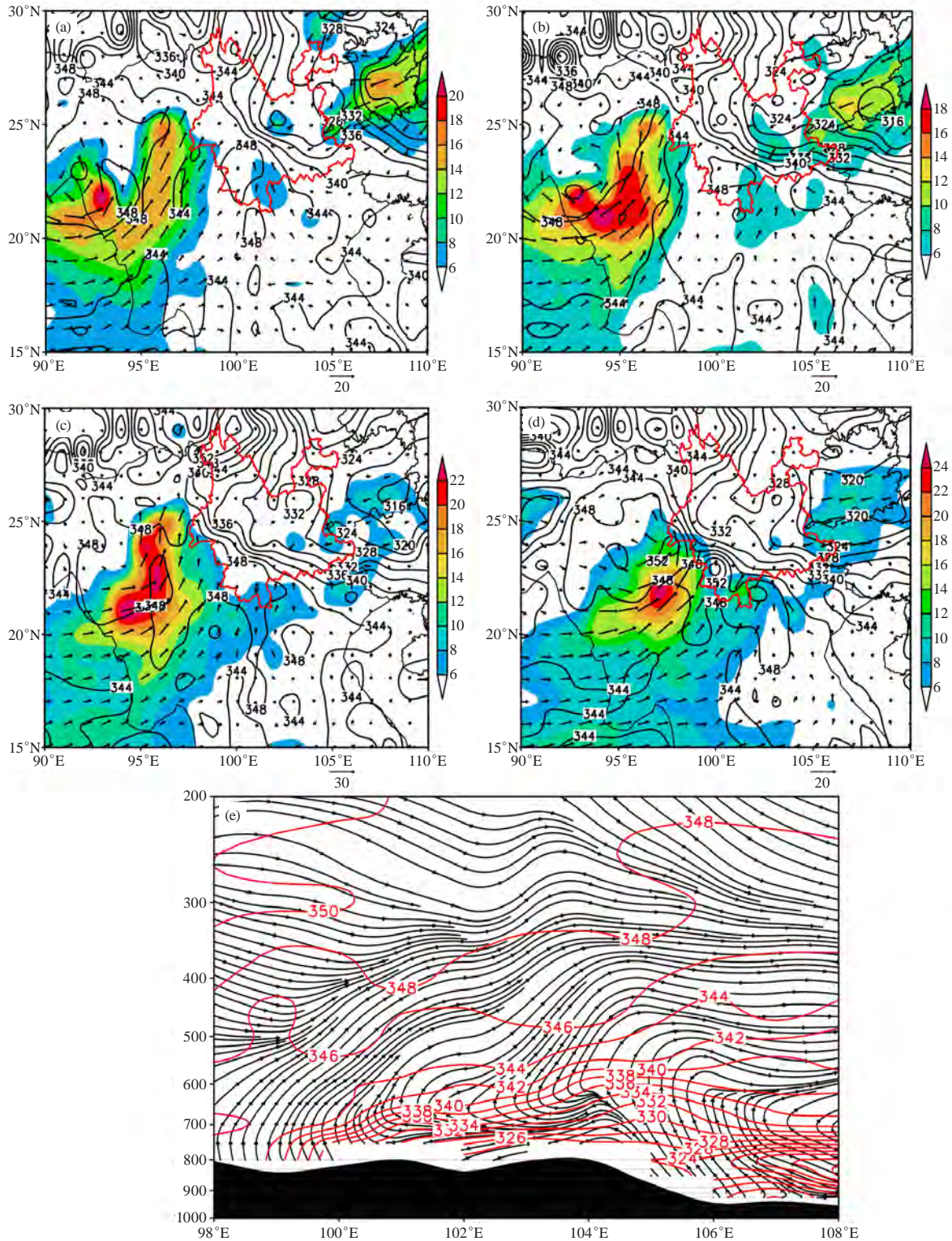


图6 800 hPa假相当位温 (实线, 单位: K)、流场 (风矢)、全风速 (阴影, 单位: $m \cdot s^{-1}$) 分布图 (a. 9日02时, b. 9日08时, c. 9日14时, d. 9日20时) 和暴雨区 (98°—102°E) 沿24°N经向垂直流场 (流线) 及假相当位温 (单位: K) 剖面合成图 (e. 9日08时)

Fig. 6 The potential pseudo-equivalent temperature (solid line, units: K), flow field (wind arrow) and whole wind (shadow, units: $m \cdot s^{-1}$) at 800 hPa at (a) 02:00 BT Oct. 9, (b) 08:00 BT Oct. 9, (c) 14:00 BT Oct. 9, and (d) 20:00 BT Oct. 9, and (e) the vertical section synthesis of flow field (streamline) and potential pseudo-equivalent temperature (unit: K) along 24°N at 08:00 BT Oct. 9

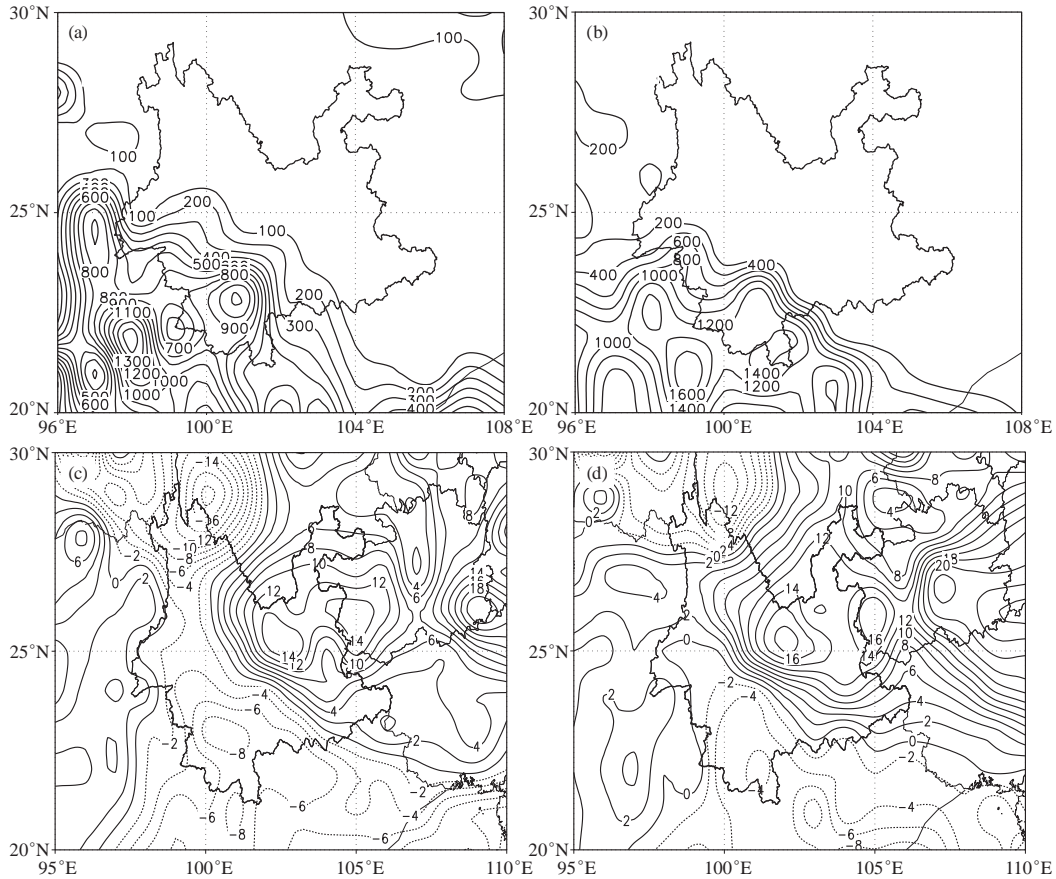


图7 CAPE (单位: $J \cdot kg^{-1}$) 分布图 (a. 8日20时, b. 9日14时) 和 $\theta_{se500} - \theta_{se800}$ (单位: K) 分布图 (c. 8日20时, d. 9日02时)
 Fig. 7 The distribution of CAPE (unit: $J \cdot kg^{-1}$) at (a) 20:00 BT Oct. 8 and (b) 14:00 BT Oct. 9 and the distribution of $\theta_{se500} - \theta_{se800}$ (units: K) at (c) 20:00 BT Oct. 8 and (d) 02:00 BT Oct. 9

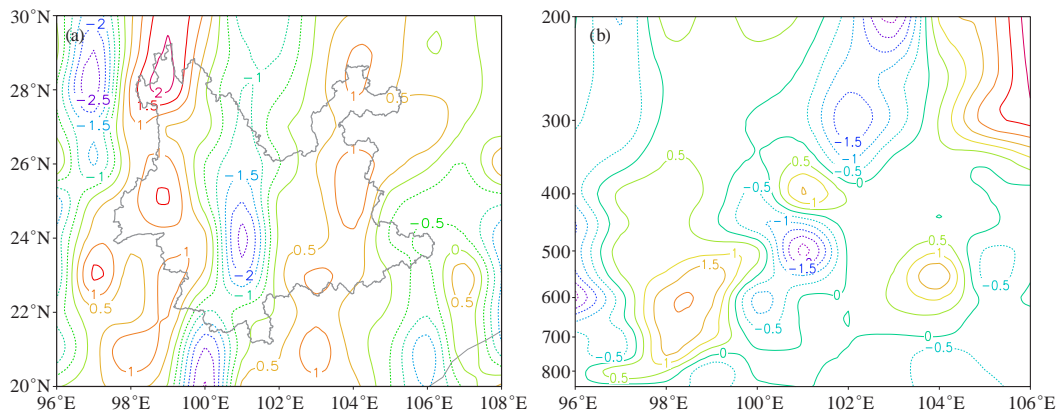


图8 (a) 8日20时500 hPa上MPV水平分布图; (b) 9日02时沿24°N过暴雨区 (100°-102°E) MPV经向垂直剖面图
 (单位: $1 PVU = 10^{-8} m^2 \cdot s^{-1} \cdot K \cdot kg$)

Fig. 8 (a) The horizontal distribution of MPV on 500 hPa at 20:00 BST Oct. 8; (b) The vertical section synthesis of MPV along 24°N (unit: $1 PVU = 10^{-8} m^2 \cdot s^{-1} \cdot K \cdot kg$) at 02:00 BT Oct. 9

南地区强降水过程的影响分析. 大气科学, 2013, 37(1): 160-170.

[7] 索渺清, 丁一汇. 南支槽与孟加拉湾风暴结合对一次高原暴雪过程的影响. 气象, 2014, 40(9): 1033-1047.

[8] 段旭, 段玮. 孟加拉湾风暴对高原地区降水的影响. 高原气象, 2015, 34(1): 1-10.

[9] 段旭, 段玮, 王曼, 等. 昆明准静止锋. 北京: 气象出版社, 2017.

[10] 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展. 气象学报, 1995, 53(4): 387-404.

[11] 段旭, 李英. 滇中暴雨的湿位涡诊断分析. 高原气象, 2000, 19(2): 253-259.

风云卫星数据在中国农业监测中的应用进展

许淇^{1, 2} 李启亮^{1, 2} 张吴平² 张晔萍¹ 张明伟¹ 高浩¹ 范锦龙¹

(1 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2 山西农业大学资源与环境学院, 晋中 030800)

摘要: 我国风云卫星数据很早就已经在农业遥感中得到了应用, 第二代卫星发射之后的十年, 随着卫星技术水平、卫星数据处理和分发能力的提升, 风云卫星的农业遥感应用得到了快速的发展。目前我国学者利用风云卫星在作物长势监测、作物分类与面积统计和产量估算、农业气象灾害监测、草原生态监测以及数据精细化处理等方面开展了大量的研究工作, 取得了一系列新的成果。未来还应充分发挥风云卫星数据的巨大的潜力, 利用最新的云计算数据处理技术、基于互联网的信息技术服务技术, 面向全球农业监测, 及时、高效、准确地提供全球作物生产信息, 以支撑国家的粮食安全战略和联合国的可持续发展目标。

关键词: 风云卫星, 农业遥感, 作物长势, 作物分类, 农业气象灾害

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.004

Overview of Agricultural Application of China's FY Satellite Data

Xu Qi^{1, 2}, Li Qiliang^{1, 2}, Zhang Wuping², Zhang Yeping¹, Zhang Mingwei¹, Gao Hao¹, Fan Jinlong¹

(1 National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081

2 Resources and Environment College, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030800)

Abstract: China's FY satellite data have been applied in agricultural remote sensing for a long time. With the improvement of satellite technology, satellite data processing and distribution capabilities, the agricultural application of FY satellite data has been rapidly developed after the launch of the second generation of polar orbiting satellite. Chinese researchers have carried out a great deal of research work on crop growth monitoring, crop classification, crop planted area statistics and yield estimation, agricultural meteorological disaster monitoring, grassland ecological monitoring as well as the data processing, and achieved a lots. In near future, the tremendous potential of FY satellite data should be brought into the reality. The latest cloud computing of data processing and Internet-based information service technology will be used to provide timely, efficient and accurate global crop production information for global agricultural monitoring in order to support the national food security strategy and the sustainable development goals of the United Nations.

Keywords: FY, agricultural remote sensing, crop growth, crop classification, agrometeorological disasters

0 引言

我国是农业大国, 及时准确的农情信息对农业生产管理、国家粮食安全政策制订、农业可持续发展战略规划具有极其重要的意义。依靠人工定点观测或抽样调查获取农情信息的方法具有一定的滞后性和片面性, 难以满足大范围、宏观和及时的基本需求, 此外还需要大量的人力、物力和财力的投入。遥感技术凭借其观测范围大、重复观测周期短、数据可比性较强等特点, 在快速获取作物长势信息、作物空间分布、

产量估测及作物灾害调查等方面得到了广泛应用。我国农业遥感技术的研究与应用经历了从20世纪70年代末的技术引进、80年代到90年代中期的关键技术攻关、90年代中后期到现在的快速发展、业务应用几个阶段^[1]。近年来, 随着我国风云气象卫星第二代极轨卫星的发展, 其上搭载的中低分辨率传感器的数据质量得到了大幅提升, 并可以近实时获取全球数据, 在全球农业监测中逐渐发挥着重要的作用。

我国第一代极轨卫星风云一号A、B、C和D星分别于1988年、1990年、1999年和2002年发射。风云三号第二代极轨卫星系列目前有4颗卫星(A星、B星、C星和D星, 简称FY-3A、FY-3B、FY-3C、FY-3D)在轨运行, 分别于2008年5月7日、2010年11月5日、2013年9月23日和2017年11月15日成功发射, 星上主要搭载有中分辨率成像光谱仪(MERSI)和FY-3

收稿日期: 2018年11月1日; 修回日期: 2019年1月3日
第一作者: 许淇(1995—), E-mail: 18235431730@163.com
通信作者: 范锦龙(1975—), E-mail: fanjl@cma.gov.cn
资助信息: 国家自然科学基金项目(41271429); 欧盟FP7 SIGMA603719; 中欧龙计划 32194

微波成像仪^[2], MERSI数据具有全球性、全天候、三维、定量、多光谱遥感的特点, 并可免费下载使用, 具有监测全球性自然灾害和生态环境变化的能力, MERSI数据还拥有包括蓝、绿、红、近红和热红外在内的5个250 m分辨率的波段(表1)^[2], 进一步加强

了对地表精细地物的观测能力, 为大面积农业遥感提供了新的遥感数据源^[3]。此外, FY-3微波成像仪(表2)以其在监测土壤水分方面的明显优势可为农情遥感提供监测数据。

我国在20世纪90年代就开始推动风云卫星数据在

表1 MERSI 250米分辨率通道特性
Table 1 MERSI 250m resolution channel characteristics

通道设置	通道号	中心波长	波段范围	噪声等效反射率A (%) 或噪声等效温差 (300 K)	动态范围 (A或K)
分辨率为250 m的宽波段 (主要用于云、植被和地表温度)	1	0.47 μm	0.445~0.495 μm	0.45	100%
	2	0.55 μm	0.525~0.575 μm	0.40	100%
	3	0.65 μm	0.625~0.675 μm	0.40	100%
	4	0.865 μm	0.840~0.890 μm	0.45	100%
	5	11.25 μm	10.0~12.5 μm	0.50 K	300 K

注: 在第5-6栏中, 第1-4通道的数据为反射率, 第5通道的数据为温差或最大温度。

表2 FY-3微波成像仪主要系统参数
Table 2 main system parameters of FY-3 microwave imager

频率/GHz	10.65	18.7	23.8	36.5	89
极化	V/H	V/H	V/H	V/H	V/H
带宽/MHz	180	200	400	900	4600
灵敏度/K	0.5	0.5	0.8	0.5	1.0
定标误差/K	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
地面分辨率/ km \times km \leq	51 \times 85	30 \times 50	27 \times 45	18 \times 30	9 \times 15
扫描方式	圆锥扫描				
天线视角/ $^{\circ}$	45 \pm 0.1				
幅宽/km	1400				

农业遥感中的应用工作^[4], 随着卫星技术水平、卫星数据处理和分发能力的提升, 2008年发射第二代卫星之后, 风云气象卫星的农业遥感应用得到了快速的发展, 本文将重点对我国学者利用风云卫星在作物长势监测、作物分类与面积估计、农业气象灾害监测、草原生态监测以及数据精细化处理等方面的最新应用进行概述和总结。

1 风云卫星数据的处理方法研究

遥感数据处理是数据应用前的关键一环。遥感数据的处理方法比较成熟, 但由于FY-3/MERSI是新的卫星数据源, 随卫星工程开发的卫星监测分析与遥感应用系统(SMART)有所滞后且该系统不是专门针对数据处理的, 在一定程度上影响了FY-3/MERSI L1数据的广泛应用。遥感数据应用前的处理方法主要包括HDF5格式的数据读取、辐射转换、太阳高度角订正、几何投影变换以及大气纠正等关键图像处理步骤^[3]。

为了方便使用FY-3/MERSI数据开展农业应用研究, 在数据的读取与图像合成方面, 张茂鑫等^[5]针对HDF5文件格式的MERSI影像数据的读取、图像合成方法进行了研究, 王卫东等^[6]基于C++开发了风云三号卫星实时遥感数据提取和中分辨率真彩色图像合成

的方法; 在数据的校正转换方面, 邓书斌等^[7]提出了将地理位置查照表(GLT)几何校正法应用于VIRR的几何校正, 杨何群等^[8]采用基于三角网的几何校正算法实现了对研究区的全部20个通道的几何校正, 并在此基础上利用后向映射重采样输出各通道图像纠正后像元的数字值, 对其进行辐射定标、太阳高度角订正等预处理, 提高了FY-3/MERSI数据的处理效率。

在数据反演方面, 李聪等^[9]批量处理了FY-3A/MERSI数据, 生成整个新疆的植被指数图, 节省了数据处理时间并为监测植物长势等后续应用作好了准备, 胡博等^[10]利用IDL编程语言自动批量对全国数据进行处理并按旬生成NDVI和EVI两种植被指数, 提高了工作效率并方便了全国植被类型分布研究、植被长势监测以及推动了国产数据在林业中的应用等。然而, 在FY-3/MERSI的数据处理过程中发现MERSI数据的几何定位精度还存在数个像元的误差^[11], 在开展农业遥感应用前还需要进一步进行几何地理定位精度订正, 以保证时间序列遥感影像应用的质量。

在FY-3微波数据的处理及反演方面, 杨虎等^[12]根据FY-3微波成像仪传感器参数特性借助微波地表辐射传输方程在10.65、18.7 GHz频段上模拟了地表微波辐射特性并建立了地表参数反演算法, 同时可以得到地表土壤水分和地表温度参数。权维俊等^[13]提出了一个适用于NOAA AVHRR和FY-3A VIRR数据的改进型Becker和Li分裂窗地表温度反演算法, 为作物的干旱监测做好了准备。

遥感影像往往会由于天气、电磁干扰、数据传输故障等因素导致影像出现云遮盖、缺值、无数据的现象, 在研究使用中无法获取覆盖完整研究区、晴空、长时间序列、逐旬的影像以及数据处理流程不成熟、不精准而带来较大误差, 如何应用现有的数据融合得

到所需数据以及进行精细化的数据处理成为了研究难点。众多学者针对Landsat、Sentinel、MODIS、资源一号数据的精细化处理进行了研究^[14-24]。我国风云卫星精细化处理方面目前鲜有人研究，吴荣华等^[25]针对FY-3A/MERSI数据进行了高精度交叉定标，洪毅等^[26]通过对数据组合处理获取云图组合产品资料等方法，对FY-2静止气象卫星云图进行了高分辨率精细化处理，以上学者均针对风云卫星数据精准处理的部分环节进行了探讨，对数据的填补与融合方面还未开展。

2 风云卫星数据的农业应用

2.1 作物长势监测

作物的生长状况与作物的光谱反射特征密切相关，万宗义^[27]观察发现FY-1号卫星两个探测通道的资料合成处理后的图像的色调差异反映了作物的长势差异。利用FY-3卫星影像数据不同波段的组合生成的归一化植被指数（NDVI）和增强植被指数（EVI），根据当年的植被指数与上一年或历史多年的平均，即可判断作物在该生育期内的长势，也可对同一区域的植被指数进行聚合，根据多年植被指数的对比来判断当前作物的长势情况。很多应用研究使用的就是这个技术方法^[28-29]，祝必琴等^[30]、梁凤超等^[31]分别基于FY3B/MERSI数据计算所得的NDVI对水稻和棉花进行长势监测并得到了可观的结果，于成龙等^[32]则利用EVI对水稻的关键生育期进行识别为长势监测提供了方法参考。国家卫星气象中心利用风云三号卫星的中分辨率数据构建了全球植被指数，并利用前后两年的植被指数差异对比，实现了全球作物的长势监测，但是作物长势监测信息发布还是利用常规技术。未来发展趋势是开发基于网络平台的系统，以便于更多的用户及时了解和掌握关注区域的作物长势。

2.2 作物分类与产量估算

作物的空间分布和面积统计对粮食安全、农业的可持续发展以及政府的宏观调控有着重要意义。作物的产量与其前期的生长状况和作物的种植面积有关，在获取当季作物空间分布的基础上可以由前期的植被指数及其变化与后期产量建立关系，进而对总产量进行估算。一些学者利用我国的气象卫星数据对大宗作物和经济作物进行了作物分类以及总产量研究，张文智^[33]基于风云气象卫星MERSI数据和作物生长模型，采用数据同化方法，在我国华北地区开展了冬小麦估产的方法研究，表明FY-3/MERSI在作物产量估算中有着较大的应用潜力，王馨凝等^[34]研究发现基于250 m分辨率的MERSI数据采用最小距离法和最大似然法分类效果都要好于MODIS数据。武永利等^[35]基于单时

相FY-3A/MERSI采用监督分类方法对山西南部冬小麦提取得到了可靠的结果。陈兴娟等^[36]采用决策树模型自动提取江西水稻总体精度达90%以上，基本满足水稻生育期面积遥感监测与产量的需求，祝必琴等^[30]研究发现FY3B/MERSI遥感影像可用于水稻苗情监测分类。李峰等^[37]在菏泽市进行玉米面积提取，认为FY3等低分辨率卫星影像可以作为地面调查资料的有效补充，减少野外调查人力和物力的投入，特别是方便于进行大区域作物种植面积提取，樊香所等^[38-39]利用冬季和春季早期获取的MERSI数据，采用分层提取的方法构建决策树，提取的华北平原冬小麦种植区精度可达90.8%；在基于MERSI NDVI旬产品建立作物提取模型对华北平原春玉米、夏玉米及棉花进行提取研究中，总体精度也达84%以上。我国的气象卫星数据在作物分类方面与面积估算中展现了较大的应用潜力，但多数研究还是针对大宗作物开展的研究，要进一步满足针对不同种植模式和复杂多样的作物进行遥感分类和面积提取的需求，还须进行更深入的研究。另外，开展业务化的作物分类工作，还需要利用部门力量加强地面样方数据的及时获取与处理，然后引入最新的遥感分类算法，如随机森林，构建一套遥感影像分类技术平台来支撑此项工作。

2.3 农业气象灾害调查

干旱是影响社会发展和农业生产的主要气象灾害之一。与地面观测相比，借助遥感技术进行大范围旱情动态监测具有一定的优势^[40]。MERSI数据具有5个250 m分辨率通道，可以得到250 m分辨率的干旱监测结果，有比MODIS更为优越的应用潜力，利用FY-3/MERSI数据对中国大面积干旱连续监测对确保干旱监测的及时性和准确性有十分重要的意义。向大亨等^[41]通过对比TVDI发现FY-3A MERSI具有与MODIS数据一样强的干旱监测能力，且在空间分辨率及光谱分辨率方面有较大的提高，武鹏飞等^[42]对同一区域不同时次的FY-3A/MERSI与MODIS的归一化植被指数（NDVI）和比值植被指数（RVI）进行计算，并针对地面光谱和影像数据方面分析发现FY-3A/MERSI比MODIS数据更敏感。朱琳等^[43]和李峰等^[44]利用FY-3A MERSI数据基于垂直干旱指数进行干旱情况监测，发现基于FY-3A MERSI 250 m分辨率卫星资料计算的PDI能够客观反映研究区旱情的空间分布和动态发展过程，说明利用FY-3A MERSI卫星资料进行干旱监测可行。王颖等^[32]基于FY-3A/MERSI数据建立了运用耦合干旱指数（VSWIC）评价干旱的方法，比运用VSWI指数评价干旱效果更理想。王卫东等^[45]基于两

个红外通道的FY-3 VIRR一级(L1)数据,采用地表温度分裂窗反演算法反演得到的TDVI能较好的反映研究区干旱分布情况,改善了向大亨^[41]、王颖^[45]、李爽^[47]、李峰^[44]等基于MERSI单一红外通道反演精度不足的问题。刘凯等^[48]建立了2015—2016年冬小麦生育期内月尺度的FY-3C/SM TVDI模型,初步实现冬小麦主要种植区内微波遥感监测10~20 cm土层旱情模型。现有的干旱监测研究大多是基于遥感指数开展的,未来应充分利用风云三号卫星的全球观测能力,在现有数据处理的基础上,直接生成相应的干旱指数,同时利用基于云平台的技术,直接服务于用户。

霜冻灾害通常发生在作物的幼苗期与花期(春季)和晚熟作物灌浆成熟期(秋季),作物每个物候期的生长状况均与其最终产量的形成密切相关^[49],幼苗期与花期、灌浆成熟期遭受霜冻灾害均可能直接造成作物的减产,甚至绝产,及时准确的获取霜情信息迫在眉睫。而依靠气象站插值得出的霜冻灾害和依靠霜冻实地调查分别具有不确定性与滞后性。刘晨晨^[50]和牛新赞^[51]探讨了风云卫星数据在宁夏自治区霜冻灾害监测的可行性和可靠性,为业务化霜冻监测提供理论和技术支持。以上学者的研究均未考虑云对监测结果的影响,并且针对试验点的研究普适性不强。未来为了更好地满足全国性准确的农业霜冻灾害监测的需求,应充分考虑并降低遥感数据处理环节带来的误差并且将更多的霜冻指标与卫星数据纳入监测系统。

2.4 草原生态监测

风云三号极轨气象卫星数据的快速、覆盖面广、不受地面条件限制的优点为草原监测提供了可能,并且植被指数空间分辨率为250 m,比以往研究常用的1.1 km分辨率的AVHRR能更详尽地反映草地的空间差异。裴浩等^[52]利用第1代极轨气象卫星资料对内蒙古乌拉盖地区草地生产力的遥感估测研究表明运用极轨气象卫星遥感资料可以省时省力地实现大面积草地生产力的估测任务,同时保证其时效性、动态性、客观性和实用性。李云鹏等^[53]建立了基于MERSI NDVI估测内蒙古草原牧草产量的估测模型,并证明了将其用于遥感估测天然草地牧草产量的可行性,其精度可以满足宏观测产的要求,不仅适合大面积监测估产,还可用于局部地域牧草产量的定点估产。基于我国气象卫星的草原生态监测处于初步发展阶段,未来需要建立产草量估测模型和草原承载力模型,快速、准确、实时的监测草原生产力变化,对草原生态系统给予及时的健康诊断。

随着我国气象卫星的快速发展,未来我们将面

临的是海量的卫星数据,如何处理、管理、应用、服务将成为研究难题。云平台已成为目前解决海量数据计算、存储、应用、发布等问题的重要途径。杨如军等^[54]提出了基于“混合云”架构的国土资源运输局中心建设方案,极大地提高了数据处理和发布方面的工作效率;张树凡等^[55]设计了基于云计算的多元遥感数据服务系统,在保护源数据安全、降低数据使用成本的前提下提高了数据的共享率及用户使用率;沈盛或^[56]针对适用于云计算的高分辨率遥感影像存储组织结果进行了研究。未来应构建针对我国风云卫星的云平台系统,便捷高效的方便用户使用,推动我国风云卫星数据发挥最大效用。

3 结论与展望

农业领域是遥感技术最早开始应用和产生显著效益的领域。与欧美同类卫星相比,我国的卫星发展较晚,其应用的广度和深度还有限,可喜的是2008年以来在第二代极轨气象卫星数据的支持下,在农业领域的应用得到了一定程度的促进,在大面积作物分类与估产、作物的干旱和霜冻监测、草原生态系统监测等方面开展了系列性的工作,但风云卫星遥感数据的处理、应用及方法中仍存在不足和问题。

1) 完善、成熟、精准的数据处理平台是保证数据应用研究的基础。当前我国风云卫星数据处理的平台还不够成熟,在几何订正方面还存在较大的偏差,今后需要加强数据处理平台的建设,提升遥感数据处理的质量,以发挥我国卫星数据的最大效用。

2) 我国风云卫星数据在农业监测应用方面表现出巨大的潜力,完全实现业务化应用还需要调动各方资源继续推动科研向业务的转化。在农业应用方面不仅要开展针对研究区大宗作物分类、干旱、霜冻灾害监测、草原生产力等研究,还应进行更广泛的农业应用研究,寻求更有效的研究方法和思路以满足我国地形复杂、气候多样、作物类型繁多的现实需求。

在遥感参数反演方面,应积极开展除了现有的植被指数、干旱指数之外的叶片含水量、叶片生化组分、土壤有机质含量等方面的研究;在作物分类方面应建立样本数据库,动员公众志愿者采集和上传样本,降低样本获取的时间和费用,并在海量样本库的基础上尝试多类作物同步提取识别研究;在农业灾害监测方面,在现有干旱、霜冻灾害监测研究的基础上开展洪涝、农业病虫害研究。在此基础上我国风云卫星数据将更全面的服务于农业领域,同时将为农业政策制订与施用效果评估提供更完善的基础数据。

3) 未来应充分挖掘风云卫星数据的巨大的潜

力,利用最新的云计算数据处理技术、基于互联网的信息服务技术,建设风云卫星农业应用综合平台,面向全球农业监测,及时、高效、准确地提供全球作物生产信息,以支撑国家的粮食安全战略和联合国的可持续发展目标,同时,推动我国气象卫星在农业遥感领域发挥更大的效益。

参考文献

- [1] 陈仲新,任建强,唐华俊,等. 农业遥感研究应用进展与展望. 遥感学报,2016,20(5): 748-767.
- [2] 杨军,董超华,卢乃猛,等. 中国新一代极轨气象卫星——风云三号. 气象学报,2009,67(4): 501-509.
- [3] Fan J L, Pierre D. Crop monitoring using European and Chinese medium resolution satellite data. Symposium on the Dragon Program 3, 2016
- [4] 方宗义,江吉喜. 风云一号气象卫星在气象和农业遥感中的应用. 红外研究,1990(2): 156-161.
- [5] 张茂鑫,李国春. 基于HDF5文件格式的MERSI影像数据提取的研究与实现. 现代农业科学,2009,16(3): 189-191+222.
- [6] 王卫东,王钊,李登科. 基于VC++的风云三号卫星实时遥感数据提取方法. 陕西气象,2011(3): 38-40.
- [7] 邓书斌,于强,骆知萌,等. ENVI下基于GLT的风云三号气象卫星几何校正研究. 遥感信息,2009(2): 98-99.
- [8] 杨何群,周红妹,尹球,等. FY-3气象卫星MERSI数据快速预处理IDL实现. 遥感技术与应用,2012,27(4): 566-574.
- [9] 李聪,张旭,石玉,等. 基于多时相FY-3A/MERSI的新疆地区植被指数提取及变化分析. 现代农业科技,2016(8): 199-200,208.
- [10] 胡博,覃先林,杨飞,等. 基于MERSI数据的处理及旬植被指数生成方法. 中国农学通报,2012,28(10): 63-68.
- [11] 范锦龙,张晔萍,李昌宝,等. 风云卫星中分辨率遥感数据几何定位误差分析. 遥感技术与应用,2018,33(4): 621-627
- [12] 杨虎,施建成. FY-3微波成像仪地表参数反演研究. 遥感技术与应用,2005(1): 194-200.
- [13] 权维俊,韩秀珍,陈洪滨. 基于AVHRR和VIRR数据的改进型Becker“分裂窗”地表温度反演算法. 气象学报,2012,70(6): 1356-1366.
- [14] 孙家柄,卢健,马吉莘. TM影像数据精处理和多重数据数字复合. 武汉测绘科技大学学报,1989(4): 1-7.
- [15] 彭检贵,罗为检,宁小斌,等. 基于STARFM模型的遥感影像融合. 中南林业调查规划,2018,37(3): 32-37.
- [16] 姜晓晨,邓正栋,武国瑛,等. Landsat 8 OLI多光谱与全色影像融合算法的比较. 信息技术与网络安全,2018,37(8): 31-35.
- [17] 阳雄伟,陈春花. 基于融合时间特征Landsat影像的水稻面积提取. 地理空间信息,2018,16(6): 87-89+96+9.
- [18] 凯楠. 基于时空分辨率融合的延河流域植被季节变化分析. 西北大学,2018.
- [19] 关韵桐,李金平. 基于Sentinel-1A与Sentinel-2A融合的土地利用/覆盖分类研究——以昆明市呈贡区为例. 测绘与空间地理信息,2018,41(7): 95-98.
- [20] 郭交,朱琳,靳标. 基于Sentinel-1和Sentinel-2数据融合的农作物分类. 农业机械学报,2018,49(4): 192-198.
- [21] 高书鹏. 基于时空数据融合技术的云南省橡胶林识别方法研究. 云南师范大学,2018.
- [22] 孙锐,荣媛,苏红波,等. MODIS和HJ-1CCD数据时空融合重构NDVI时间序列. 遥感学报,2016,20(3): 361-373.
- [23] 陈燕丽,何立,莫建飞,等. 融合HJ-1 CCD和MODIS数据生成高分辨率影像方法对比. 科学技术与工程,2018,18(32): 1-6.
- [24] 袁如金,张敏,李世伟. 基于华浩超算平台遥感影像几何校正研究——以资源一号02C数据为例. 测绘与空间地理信息,2017,40(1): 159-161.
- [25] 吴荣华,杨军,杨忠东,等. 光谱响应差异对高精度交叉定标的影响——以FY-3A/MERSI与EOS/MODIS为研究实例. 遥感信息,2011(2): 51-57.
- [26] 洪毅,李玉柱,陈智源,等. FY-2卫星数字云图的细网格定量处理. 浙江气象,2008(1): 3-6,42.
- [27] 杨邦杰,裴志远. 农作物长势的定义与遥感监测. 农业工程学报,1999,15(3): 214-218.
- [28] 吴炳方,张峰,刘成林,等. 农作物长势综合遥感监测方法. 遥感学报,2004,8(6): 498-514.
- [29] 陈仲新. 欧盟合作项目——“华北平原农作物长势监测与产量预测”正式启动. 中国农业资源与区划,2005(2): F003.
- [30] 祝必琴,黄淑娥,陈兴鹏,等. 基于FY3B/MERSI水稻长势监测及其与AQUA/MODIS数据对比分析. 江西农业大学学报,2014,36(5): 1009-1015.
- [31] 梁凤超,程红霞,胡列群,等. 基于FY-3/MERSI数据监测棉花完整生长季长势的计算方法. 新疆农业科学,2014,51(8): 1381-1387.
- [32] 于成龙,刘丹,张志国. 基于FY-3的黑龙省水稻关键发育期识别. 中国农学通报,2014,30(9): 55-60.
- [33] 张文智. 国产气象卫星数据与作物生长模型同化的冬小麦估产方法研究. 电子科技大学,2014.
- [34] 王馨凝,李国春. 基于MERSI和MODIS数据的2种监督分类方法比较研究. 现代农业科技,2009(7): 266-268.
- [35] 武永利,赵永强,靳宁. 单时相MERSI数据在冬小麦种植面积监测中的应用. 中国农学通报,2011,27(14): 127-131.
- [36] 陈兴鹏,黄淑娥,祝必琴,等. FY-3C/MERSI卫星影像水稻信息自动提取的决策树方法研究. 江西农业学报,2016,28(2): 85-89.
- [37] 李峰,王昊,秦泉,等. 基于HJ-1 CCD影像的玉米种植面积估算研究. 山东农业科学,2016,48(2): 138-142.
- [38] 樊香所,许文波,范锦龙. FY-3250m分辨率数据的华北平原冬小麦提取. 遥感学报,2015,19(4): 586-593.
- [39] 樊香所. 基于风云卫星中分辨率数据的农业种植区信息提取方法研究. 电子科技大学,2015.
- [40] 郑有飞,徐芳,詹武武,等. 基于AMSR-E数据的被动微波遥感干旱指数研究. 南京气象学院学报,2009,32(2): 189-195.
- [41] 向大享,刘良明,韩涛. FY-3A MERSI数据干旱监测能力评价. 武汉大学学报(信息科学版),2010,35(3): 334-338.
- [42] 武鹏飞,胡列群,李贵才,等. 基于棉田光谱的FY-3A/MERSI与MODIS植被指数关系研究. 沙漠与绿洲气象,2011,5(4): 49-52.
- [43] 朱琳,刘健,张晔萍,等. FY-3A/MERSI数据在中国北方干旱监测中的应用. 遥感学报,2010,14(5): 1004-1016.
- [44] 李峰,赵玉金,赵红,等. FY-3A/MERSI数据在山东省农田干旱监测中的应用. 干旱气象,2014,32(1): 17-22.
- [45] 王颖,李国春,高阳华,等. FY-3A/MERSI数据在重庆市伏旱监测中的应用. 现代农业科技,2011(10): 271-273+278.
- [46] 王卫东,赵青兰,权文婷. FY-3 VIRR数据在陕西省干旱监测中的应用. 陕西气象,2015(2): 15-18.
- [47] 李爽,李国春. 应用FY-3A/MERSI数据反演土壤水分的研究. 现代农业科技,2011(10): 261-264.
- [48] 刘凯,孙丽,孙海玥,等. 基于风云微波数据的中国冬小麦区干旱监测研究. 干旱气象,2017,35(6): 918-925.
- [49] 任建强,陈仲新,唐华俊,等. 长时间序列NOAA-NDVI数据在冬小麦区域估产中的应用. 遥感技术与应用,2007(3): 326-332.
- [50] 刘晨晨. 风云卫星地表温度反演及其在霜冻监测中的应用. 电子科技大学,2013.
- [51] 牛新赞. 基于风云系列卫星的果树霜冻监测系统的设计与实现. 电子科技大学,2013.
- [52] 裴浩,敖艳红. 利用极轨气象卫星遥感监测草地生产力的研究——以内蒙古乌拉盖地区为例. 干旱区资源与环境,1999(4): 56-64.
- [53] 李云鹏,格根图,娜日苏,等. MERSI资料在内蒙古草原草产量估测中的应用研究. 干旱区资源与环境,2012,26(9): 154-159.
- [54] 杨如军,马骁驰,朱剑,等. 基于混合云架构的广西国土资源云应用实践与探讨. 国土资源信息化,2016(6): 25-29.
- [55] 张树凡,吴新桥,曹宇,等. 基于云计算的多源遥感数据服务系统研究. 现代电子技术,2015,38(3): 90-94.
- [56] 沈盛斌,刘哲,张平仓,等. 一种适用于云计算可扩展高分辨率遥感影像存储组织结构. 长江科学院院报,2014,31(12): 107-112.

玉米、小麦和水稻种植气象服务图示应用

孙倩倩¹ 王也¹ 袁东敏² 闵裕秋¹ 隋伟辉¹

(1 中国气象局华风气象传媒集团, 北京 100081; 2 南京信息工程大学, 南京 210044)

摘要: 农业是气候影响最敏感的行业之一, 频繁的农业气象灾害制约着我国农业的发展。分析了玉米、小麦、水稻在各生育期易遭受的灾害性天气, 提炼出关键期重点气象服务提示, 并进行可视化处理, 制作成相应的科普宣传图集, 提高大众的接受度, 提升服务效果。

关键词: 农业气象灾害, 玉米, 小麦, 水稻, 科普图集

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.005

Graphical Application of Meteorological Services in Corn, Wheat and Rice Planting

Sun Qianqian¹, Wang Ye¹, Yuan Dongmin², Min Yuqiu¹, Sui Weihui¹

(1 Huafeng Meteorological Media Group, Ltd, Beijing 100081

2 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

Abstract: Agriculture is one of the areas that is most sensitive to climates. Agricultural development in China is restricted by frequent agro-meteorological disasters. The meteorological disasters vary with crop growing periods, which calls for different measures for mitigating the associated adverse effects on agricultural production. This paper analyses the disastrous weather in each growing period for corn, wheat, and rice. We also obtain the meteorological service hints in the key periods and then visualize the results by making professional publicity atlas. Through these methods, public acceptance and service quality can be improved.

Keywords: agro-meteorological disaster, corn, wheat, rice, atlas of popular science

0 引言

我国是世界上自然灾害易发、多发的国家之一。由于地处季风气候区, 各地气温、降水等气象环境条件的年际变化较大, 干旱、低温冷害、冰雹、高温等气象灾害频频发生。而农业是气候影响最敏感的领域之一, 频率高、强度大的农业气象灾害给中国农业带来巨大的经济损失^[1-2]。因此掌握农业气象灾害的特点和发生规律, 对于防御气象灾害、提高防灾减灾的能力, 保障农业增产具有十分重要的意义。

农业市场的发展方向开始向分工精细化过渡, 因而对农业气象信息的需求也日趋提高。另外, 农业气象信息产品往往缺少图形匹配, 影响了科学普及和提示服务的效果。因此提供具体的农业气象灾害信息, 应该逐渐向着精细化、图形化的方向发展, 将农业气象研究的科技成果通过图集形式向农民进行传播,

增强农业气象灾害科普宣传力度, 提升为农服务的效果。

1 研究思路

目前关于农业气象灾害研究成果众多, 不过普遍是以单一灾种对作物的影响为研究对象, 但作物在不同生长发育时期或阶段所遭受的气象灾害有所差异, 对最终产量的影响也有不同^[3-5]。针对这一短板, 本文分析提炼了玉米、小麦、水稻这三种作物的不同生长发育期的高影响天气, 给出相应服务提示, 并通过 Surfer、Photoshop 等软件进行图形产品开发, 建立科普宣传图集, 电视、网站、微博、微信等媒体均可以使用发布, 通过全媒体进行广泛传播, 也可以提高受众的接受度。

2 玉米不同生育期灾害性天气分析

我国31个省(市、区)都有玉米种植, 从东北平原起, 经黄淮海平原, 至西南地区, 形成了一条中国玉米带^[6]。在玉米整个生长期中, 干旱、涝灾、低温冷害、高温热害是其易发生的几种灾害(图1)^[7]。

收稿日期: 2017年12月27日; 修回日期: 2018年11月6日
第一作者: 孙倩倩(1988—), Email: sunqianceo@163.com
资助信息: 2017年中国气象局公共气象服务中心业务基金(M2017006)

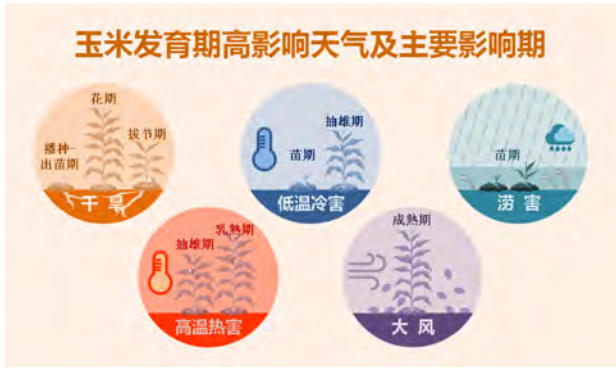


图1 玉米发育期高影响天气
Fig. 1 High-impact weather in the corn development

2.1 干旱

每年4—5月，正是东北、西北、华北等地春玉米播种的季节，若发生春季干旱，对出苗和苗期生长不利。而初夏（5月下旬—6月上、中旬）正是华北等地麦茬玉米、夏玉米的播种季节，此时若上述3旬的旬降水量不足20 mm，总雨量不足50 mm，或表层土壤湿度占田间持水量 $\leq 60\%$ ，将造成玉米晚播或出苗不好（图2）。



图2 玉米干旱指标
Fig. 2 Drought susceptibility index of corn

当植株开始进入旺盛生长阶段，对水分要求迫切，抽雄前10天至后20天，是水分的临介期，穗分化及开花期正是伏旱和伏秋连旱易发生期。干旱严重时，7月下旬—8月中旬，连续2旬的旬雨量不能满足玉米需求，将造成雄穗与雌穗抽出时间间隔太长，授粉不良，果穗籽粒少；雄穗和雌穗抽不出来，雌穗部分不育甚至空秆。

抽雄—成熟期，土壤湿度占田间持水的百分率小于60%时开始受旱，小于40%时严重受旱，将造成花粉死亡，花丝干枯，不能受粉^[8-9]。

2.2 涝灾

从出苗至七叶期易受涝害，当土壤水分过多或积水时，会使根部受害，甚至死亡。当田间持水量90%

以上持续3 d时，玉米三叶期表现红、细、瘦弱，生长停止；连续降雨大于5 d时，苗弱黄或死亡。

大喇叭期以后，耐涝性逐渐提高。但花期7月下旬—8月中旬雨量之和大于200 mm，或8月上旬的雨量大于100 mm时，就会影响玉米的正常开花授粉，造成大量秃顶和空粒。

玉米中后期，耐涝性较强。若地面淹水深度10 mm并持续3 d，只要叶片露出水面都不会死亡，不过产量会受到很大的影响。但若出现大于10 d的连阴雨天气，玉米光合作用减弱，植株瘦弱常出现空秆（图3）^[10-11]。



图3 玉米涝灾指标
Fig. 3 Flood susceptibility index of corn

2.3 低温冷害

玉米的低温冷害主要发生区域是在东北三省和内蒙古，可分两种情况：一是夏季低温，持续时间较长使抽穗期推迟，在持续低温得影响下玉米灌浆期缩短，在早霜到来时籽粒不能正常成熟，如果早霜提前到来，则遭受低温减产更为严重；二是秋季降温早，使籽粒灌浆期缩短，玉米生育前期温度不低，但秋季降温过早，降温强度高、速度快，初霜到来早，灌浆期气温低，灌浆速度缓慢，且灌浆期明显缩短，籽粒不能正常成熟而减产^[12-13]。



图4 玉米低温冷害指标
Fig. 4 Chill index of corn

2.4 高温热害

黄淮海地区6—9月是一年中温度最高和降水最集中的季节。特别是7月下旬—8月上旬，是一年中平均气温最高的时间段，常出现极端高温天气（图5）。而这时黄淮海玉米处在孕穗至吐丝授粉时期，是产量形成的关键期，对在地作物的后期产量形成影响较大^[14]。



图5 玉米高温热害指标

Fig. 5 High temperature damage index of corn

综上四种气象灾害，得到玉米生育关键期重点气象服务提示（表1）。

3 小麦不同生育期灾害性天气分析

小麦是一种温带长日照植物，其适应范围较广，自18°—50°N，从平原到海拔4000 m的高度均有栽培。我国小麦按种植季节可划分为三个区域：春小麦区，主要分布在长城以北；北方冬小麦区，主要分布在秦岭、淮河以北，长城以南；南方冬麦区，主要分布在秦岭淮河以南^[15]。

按照灾害的严重程度排列，对小麦影响最严重的几种灾害依次为：干旱、冻害、霜冻、湿害、大风、热害（干热风、雨后青枯）、烂场雨（图6）。

3.1 干旱

小麦干旱灾害是我国麦区，尤其是北方冬麦区的主要农业气象灾害。播种出苗期容易出现夹秋旱，一般是出现在9—11月，气温持续偏高、降水稀少、空气干燥、蒸发旺盛，导致土壤迅速失水。播种期出现干旱会影响根、叶的生长，出苗的时间推迟，严重的

表1 玉米生育关键期重点气象服务提示

Table 1 Main meteorological service tips in the corn development

	高影响天气	作物表现	应对措施	
玉米生育关键期重点气象服务提示	苗期 (播种—出苗—拔节)	干旱	苗不齐；植株矮小、细、弱，根系发育受阻，甚至造成叶片凋萎植株死亡	提高土壤缓冲能力和抗旱能力；及时灌溉、施肥；苗期进行分类管理
		低温	烂种、出苗率低、幼苗叶尖枯萎甚至死苗	及时补种；催芽播种
	穗期 (拔节—抽雄)	干旱	引起小穗、小花数目减少，减少了果穗上籽粒的数量	充分挖掘水源、全力增加有效灌溉面积；加强灌溉，适时适量追施拔节肥
		涝灾	玉米根部氧气不足，根系呼吸困难，影响玉米生长	提高水利设施抵御洪涝灾害的能力；及时排涝，开深沟引水出田
高温		正值雌穗分化期，高温导致根系弱小，植株瘦矮，产生空秆	喷施微肥、适当补水	
花粒期 (抽雄—成熟)	低温	降低光合作用，影响植株生长	施用磷肥能改善玉米生长环境	
	干旱	籽粒不饱满，穗棒松软，有的穗轴上籽粒呈大至小梯状排列—灌浆期	辅助授粉；加强灌溉、根外喷水（肥）；干旱绝产地块及时青贮	
	高温	容易造成高温逼熟影响产量	采用人工辅助授粉的方法来帮助玉米植株提高结实率、增加穗粒数。	
	大风	容易发生倒伏	倒伏严重，特别是匍匐的玉米，应及时进行人工扶直，并在根部培土	

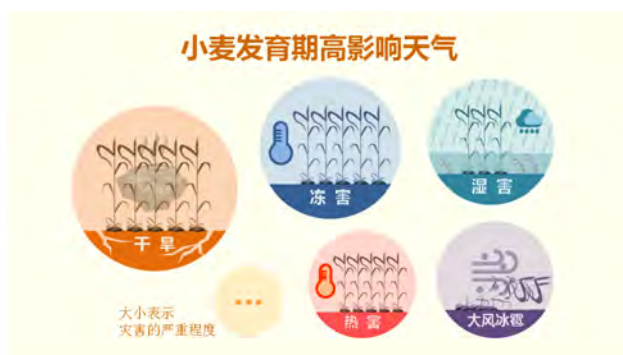


图6 小麦发育期高影响天气

Fig. 6 High-impact weather in the wheat development

种子不能发芽。越冬期若发生干旱将使次生根的发育明显受阻。返青拔节期干旱将使生长发育迟缓。抽穗开花期以及灌浆成熟期如果发生干旱会直接影响到小麦的产量，干旱较严重时，亩产量会显著减少^[16-17]。

3.2 冻害

小麦冻害是小麦与温度关系的反应，是小麦在不同生育时期环境温度低于其三基点温度的下限温度，使其生育受阻的一种气象灾害现象。

11月中下旬—12月中旬，最低气温骤降10℃左右，达-10℃以下，持续2~3 d，小麦的幼苗未经过抗寒性锻炼，抗冻能力较差，极易形成初冬冻害。

12月下旬—翌年2月中旬处在小麦越冬期，持续低温或因天气反常造成冻融交替而形成的小麦冻害。2月下旬—3月中旬，小麦返青至拔节期间，麦苗植株生长加快，抗寒力明显下降，如遇寒流侵袭则易造成冻害，此类冻害发生较为频繁且程度较重，是黄淮麦区的主要冻害类型。3月下旬—4月中旬，小麦在拔节至抽穗期间，对低温极为敏感，气温回暖后又突然下降形成的霜冻，极易形成霜冻冻害（图7）^[18-20]。

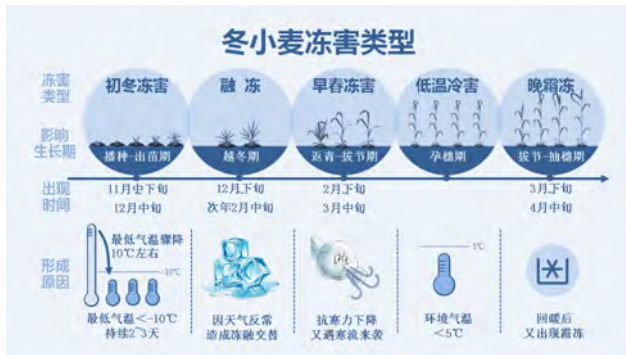


图7 冬小麦冻害类型

Fig. 7 Cold injury types of winter wheat

3.3 湿害

湿害是南方小麦产区稳定持续增产的主要障碍因子，随着降雨量的增加，湿害程度也会有相应加重，单产相应降低。以拔节-成熟期发生湿害损失最重，尤其是长江中下游由于湖泊较多，地下水位较高，小麦生育期降雨偏多，大大超出小麦一生总的需水量，造

成不同程度的湿害。

夏季烂场雨多发生在5月下旬—6月中旬，发生严重洪涝灾害使得小麦受到较大损失的，均为烂场雨^[21-22]。

3.4 大风

在小麦生育中后期，因受气候因素或是栽培措施不当，易造成小麦大面积发生倒伏，严重影响小麦成熟，造成减产。气候因素是，在小麦灌浆末期，由于先后阴雨，伴随大于5~6级的阵风或大风，可使小麦大面积发生倒伏。

3.5 干热风

干热风是小麦生长发育后期，即开花、灌浆、乳熟阶段，一种高温低湿并伴有一定风力的农业气象灾害，麦株的芒、穗、叶片和茎秆等部位均可受害。较为严重的干热风平均10年1~2次，而一般区域性干热风几乎年年都有发生。一般年份干热风可使小麦减产1~2成，严重年份减产3成以上^[23-24]。

综上所述，得到小麦生育关键期重点气象服务提示（表2）。

4 水稻

水稻是一种喜温、喜湿的短日照作物，除海拔在2600 m以上的青藏高原以及东北、西北高山地区外，南起海南岛崖县，北至黑龙江黑河都可种植水稻^[25]。在其生育期内，干旱、低温冷害、高温热害、涝害为

表2 小麦生育关键期重点气象服务提示

Table 2 Main meteorological service tips in the wheat development

	高影响天气	作物表现	应对措施
播种出苗期	干旱	出苗时间推迟，出苗困难且不整齐，幼苗生长缓慢，严重时种子不能发芽	及时灌溉、施肥，采用流体播种技术
	冻害	叶尖受冻，叶片干枯和幼苗死亡	科学确定播量，及时补种
	连阴雨	小麦烂种烂芽，出苗缓慢，苗势参差不齐；根系生长不良，根量减少，植株苗小叶黄或僵苗	清理沟渠，排湿降渍；阴雨结束后及时浸种催芽补种
越冬期	干旱	次生根发育受阻，植株下部或中下部叶片枯黄甚至枯萎	加强应急性灌溉设施的建设浇足冬水，碾压、耙耱保墒
	冻害	开始叶片的部分或全部为水渍状，以后逐渐干枯死亡	镇压防冻，浇灌越冬水
返青拔节期	干旱	小麦返青拔节推迟，枯黄叶增加，株高降低，重特旱伴有植株死亡	增施有机磷肥，勤松土保墒，控制浇水次数和量
	冻害	叶片轻重不同的干枯，幼穗可能受冻死亡	科学运用春季第一肥水；熏烟防霜，及时施用氮肥
拔节-孕穗期	干旱	部分植株中午至晚上叶片萎蔫，中下部叶片枯黄，抽穗期推迟，成穗率与结实率下降，特旱时植株大面积干枯、死亡	浇足扬花水，选用抗旱剂、保水剂减缓干旱的危害
	冻害	形成无颖的空穗，无籽粒穗，或幼穗死亡	及时追施肥水，喷施叶面肥
	湿害	结实率、粒重降低	耩耧松土散湿提温
灌浆成熟期	干旱	中午至晚间叶片萎蔫，植株叶片过早枯黄，灌浆期缩短，粒重下降，重特旱有早衰逼熟现象甚至枯死	加强灌溉，跟外喷水
	烂场雨	麦穗发芽，诱发小麦赤霉病等；影响小麦的收获进度，造成收割脱粒困难，使子粒受潮，千粒重及产量下降	浇灌浆水防“烂场雨”，做好一喷三防工作
	大风	千粒重下降，穗粒数减少，产量降低，品质变劣	协调群体结构，合理运用肥水
	干热风	茎叶灰青色，炸芒干枯，穗子脱水青枯，籽粒瘪瘦而无光泽，产量和品质降低	干热风出现前适时浇灌，孕穗扬花期喷洒磷酸二氢钾



图8 水稻发育期高影响天气及主要影响期

Fig. 8 High-impact weather in the rice development and main influencing periods

最主要的几种灾害（图8）。

4.1 干旱

幼苗期，由于秧苗在移栽过程中，根系受损，新根发育刚开始，吸收力弱，而叶片蒸腾作用仍继续进行，因而此时耐旱力较弱。分蘖前期由于移栽之后新根逐渐长出，耐旱能力较刚移栽后要强一些，但后期，分蘖需水量提高，干旱则容易导致植株分蘖数减少，植株矮小。孕穗期，幼植需要大量的水分和养分，如果水分供应不足，则花粉粒发育受阻，颖花数减少，颖花退化，结实粒数减少，产量降低。抽穗开花期需水量仍比较大，抗旱力较弱，干旱会影响授粉。乳熟期，水稻大量光合作用积累干物质，养分形成和运转集中，都需要适量的水分，此时抗旱能力较弱，干旱则容易造成灌浆不饱满，秕粒增多，蜡熟期则影响较小^[26-27]。

4.2 低温冷害

水稻作为喜温作物，对于热量需求较高，低温冷害是水稻生长期主要气象灾害之一，我国所有稻区都可能受到低温冷害的威胁。水稻生长季内，低温冷害主要出现在三个时段，也可以称之为是水稻“三寒”（图9）。

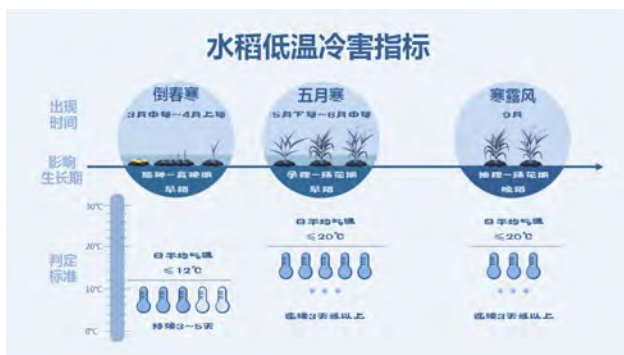


图9 水稻低温冷害指标

Fig. 9 Chill index of rice

“清明寒”即倒春寒，一般出现在3月中旬—4月上旬，影响南方早稻的播种育秧，若是出现在播种前，则会导致播种期延迟，若是播种之后，则容易引起早稻烂种、烂秧，还可能影响早稻分蘖和幼穗分化。

“小满寒”也称“五月寒”，是指5月出现连续3 d或以上日平均气温 $\leq 20^\circ\text{C}$ 的低温天气。在5月前期出现，会影响早稻的返青分蘖，会引起生育期推迟，减少有效分蘖。出现在5月下旬—6月上旬，则主要影响早稻孕穗扬花，花粉粒不能正常成熟，不能受精而造成空粒、瘪粒。

“秋分寒”即“寒露风”，是指寒露节气前后，我国南部秋季晚稻开花期间，强冷空气侵入引起显著降温，影响水稻开花、授粉、受精和灌浆，使水稻结实率和品质下降而减产的一种低温危害^[28-29]。由于水稻品种的差异，寒露风的致灾指标也有所不同，粳稻适于在高纬度或高海拔种植，耐寒性较好，在抽穗至开花期，当日平均气温连续3 d低于 20°C ，或2 d低于 18°C 时，容易遭受寒露风灾害；而籼稻适宜在低纬度、低海拔湿热地区种植，不耐寒，当日平均气温连续3 d低于 22°C ，或2 d低于 20°C 时，就容易致灾^[30]。

4.3 高温热害

高温热害一般是在水稻抽穗结实期，气温超过水稻正常生育温度上限，影响正常开花结实，造成空秕粒率上升而减产甚至绝收。在我国北方稻区，水稻生长期中，很少有高温危害。而在南方稻区，内陆地区高温热害影响大于沿海，尤其在长江流域多地，水稻容易遭受高温热害，导致水稻生育期缩短，灌浆不足，结实率下降，稻米品质变差^[31-32]。其中抽穗开花期是水稻对高温最敏感的生育阶段，其次为灌浆结实期和孕穗期，营养生长期高温影响最小。

4.4 涝害

水稻属于水田作物，有着较强的耐涝能力，在一定的淹水环境中，还有利于水稻的生长，但在长期淹水的环境仍会受到伤害。一方面可能会造成植株倒伏、茎秆折断、叶片根系受损等直接伤害；另一方面，在淹水的环境下，氧气和光照不足，光合速率和呼吸作用减弱，会导致光合产量降低，从而影响产量。

水稻孕穗期和抽穗开花期对淹水的反应最为敏感，耐涝性差，淹水后损失严重，其次是灌浆期和幼穗分化期；而分蘖期和成熟期耐涝性较强，淹水3~4 d影响还不大。淹水对于水稻生殖生长影响要更大一些，此时淹水将影响幼穗发育，容易出现烂穗、畸形穗等现象。乳熟期是水稻干物质积累、形成产量

的关键时期，淹水会阻碍胚乳发育，导致空秕粒增加，米质下降。而在蜡熟期和完熟期，水稻灌浆完成之后，淹水影响不大，但可能会由于长期淹水，谷粒

浸泡导致发炎霉烂而引起减产^[33-34]。

综上几种气象灾害，得到水稻生育关键期重点气象服务提示（表3）。

表3 水稻生育关键期重点气象服务提示
Table 3 Main meteorological service tips in the rice development

		高影响天气	作物表现	应对措施
水稻生育 关键期重 点气象服 务提示	播种育秧期	低温阴雨	早稻烂种、烂秧，秧苗不壮甚至死苗	加强田间管理，采取防寒措施，如灌溉、覆盖等
	分蘖到拔节期	低温阴雨	秧苗返青缓慢迟迟不分蘖；引发稻瘟病	合理灌溉、以水调温；施肥中耕、增温保温；喷药预防病虫害
		高温干旱	根系活力下降，生长迟缓，分蘖数减少	合理灌溉，降温增湿
	孕穗到扬花期	低温	花粉粒不能正常成熟，不能受精而造成空粒、瘪粒	科学灌溉，以水调温
		高温	开花授粉不良	喷灌降温、增施肥料
		暴雨	花粉受到破坏，结实粒数下降	适时施肥、晒田
		干旱	发育受阻，结实粒数下降	节水灌溉、喷施抗旱剂
	乳熟到成熟期	高温	高温逼熟，灌浆不足，籽粒不饱满	及时灌溉，补足土壤水分；根外喷施钾肥
		干旱	灌浆不饱满，秕粒增多	节水灌溉
		低温阴雨	灌浆速度减慢，成熟延迟；收获不利，稻谷发芽霉烂	以水调温，采取夜灌、喷灌等方式；喷洒滑雪保温材料
		台风	灌浆受抑，空秕粒增多；植株倒伏	疏通沟渠，及时补肥，防治病虫害

参考文献

[1] 王春乙, 张继权, 霍治国, 等. 农业气象灾害风险评估研究进展与展望. 气象学报, 2015(1): 1-19.

[2] 朱晓华. 我国农业气象灾害减灾研究. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 139-140.

[3] 王春乙, 王石立, 霍治国, 等. 近10年来中国主要农业气象灾害监测预警与评估技术研究进展. 气象学报, 2005, 63(5): 659-671.

[4] 王春乙. 重大农业气象灾害研究进展. 北京: 气象出版社, 2007.

[5] 唐蓉. 我国主要农业气象灾害及灾害研究进展. 安徽农业科学, 2007, 35(29): 9354-9354.

[6] 李琼, 魏如檀, 周小云, 等. 近年来中国农业气象灾害研究的文献分析. 安徽农业科学, 2011, 39(22): 13434-13437.

[7] 佟屏亚. 中国玉米种植区划. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.

[8] 张淑杰, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 东北地区玉米干旱时空特征分析. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 231-236.

[9] 董秋婷, 李茂松, 刘江, 等. 近50年东北地区春玉米干旱的时空演变特征. 自然灾害学报, 2011(4): 52-59.

[10] 高晓容, 王春乙, 张继权, 等. 东北地区玉米主要气象灾害风险评价与区划. 中国农业科学, 2014, 47(24): 4805-4820.

[11] 杨若子, 周广胜. 东北三省玉米主要农业气象灾害综合危险性评估. 气象学报, 2015(6): 1141-1153.

[12] 高素华. 玉米低温冷害机理研究综述. 气象科技, 1997(4): 37-43.

[13] 马树庆, 刘玉英, 王琪. 玉米低温冷害动态评估和预测方法. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1905-1910.

[14] 李德, 孙义, 孙有丰. 淮北平原夏玉米花期高温热害综合气候指标研究. 中国生态农业学报, 2015, 23(8): 1035-1044.

[15] 赵广才. 中国小麦种植区划研究. 作物栽培学发展学术研讨会, 2010.

[16] 王石立, 姜秀荣. 华北地区冬小麦干旱风险评估的初步研究. 自然灾害学报, 1997(3): 63-68.

[17] 赵艳霞, 王馥棠, 袁国旺. 冬小麦干旱识别和预测模型研究. 应用气象学报, 2001, 12(2): 234-241.

[18] 郑大玮. 冬小麦冻害及其防御. 北京: 气象出版社, 1985.

[19] 张雪芬, 郑有飞, 王春乙, 等. 冬小麦晚霜冻害时空分布与多时间尺度变化规律分析. 气象学报, 2009, 67(2): 321-330.

[20] 王永华, 李金才, 魏凤珍, 等. 小麦冻害类型、诊断特征及其预防对策与补救措施. 中国农学通报, 2006, 22(4): 345-348.

[21] 李金才, 常江. 小麦湿害生理及其与小麦生产的关系. 植物生理学报, 1997, 33(4): 304-312.

[22] 李金才. 冬小麦湿害的临界期、生理机制及预防措施的研究. 山东农业大学, 1997.

[23] 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风. 北京: 气象出版社, 1988.

[24] 北方十三省小麦干热风科研协作组. 小麦干热风伤害机理的研究. 作物学报, 1984, 10(2): 105-112.

[25] 中国水稻研究所. 中国水稻种植区划. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1989.

[26] 夏石头, 萧浪涛. 干旱对水稻生长发育的影响及提高水稻抗旱性的途径. 中国植物生理学会全国学术年会暨成立40周年庆祝大会学术论文摘要汇编, 2003.

[27] 汤广民, 蒋尚明. 水稻的干旱指标与干旱预报. 水利水电技术, 2011, 42(8): 54-58.

[28] 胡芬. 水稻花期低温冷害的气象指标与机理. 中国农业科学, 1981, 14(2): 60-64.

[29] 聂元元, 蔡耀辉, 颜满莲, 等. 水稻低温冷害分析研究进展. 江西农业学报, 2011, 23(3): 63-66.

[30] QX/T 182-2013, 水稻冷害评估技术规范. 2013.

[31] 刘伟昌, 张雪芬, 余卫东, 等. 水稻高温热害风险评估方法研究. 气象与环境科学, 2009, 32(1): 33-38.

[32] 王华银, 张骏, 王志润. 水稻高温热害调查分析及应对技术探讨. 安徽农学通报, 2004, 10(2): 24-24.

[33] 夏石头, 曾可. 水稻涝害生理及其与水稻生产的关系. 植物生理学报, 2000, 36(6): 581-588.

[34] 李钟学, 张季中, 王玉莲. 水稻涝害的研究与探讨. 中国林副特产, 2004(6): 24-25.

紫外线预报产品设计与研究

穆璐 于金 刘红欣

(中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要: 为满足用户对紫外线的防护需求, 一款基于位置的紫外线预报WAP产品, 从用户调研、功能规划、算法制定和提示库制定四个方面进行了产品设计与研发。产品结合用户个性化防晒需求, 研发出皮肤晒黑晒伤算法, 并建立精准提示库。产品上线后用户反馈良好。

关键词: 基于位置, 紫外线预报, 产品, 设计与研究

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.006

Location-Based Ultraviolet Forecasting Product Design and Research

Mu Lu¹, Yu Jin, Liu Hongxin

(China Meteorological Administration Public Meteorological Service Centre, Beijing 100081)

Abstract: In order to meet the user's requirements about the ultraviolet (UV) protection, this paper investigates a product of mobile internet devices, which is location-based UV forecasting. This paper discusses four aspects of UV forecasting product including user research, function planning, algorithm formulation, and instruction library. This product meets many different kinds of sunscreen requirements. We develop the bark scorch algorithm and set up the precise prompting library. After the product was serviced on-line, the users have given many good feedbacks. At the same time, this product has been explored through the e-commerce mode of sunscreen products.

Keywords: location-based, ultraviolet rays forecasting product, design and research

0 引言

人们长时间暴露在阳光下, 皮肤会被紫外线损伤, 轻者晒伤晒黑, 重者引发皮肤癌。我国在2000年初开始对太阳紫外线辐射进行观测, 同时进行有关紫外线辐射强度的初步分析和各种预报模型的研究工作。

中国天气网(<http://www.weather.com.cn/>)于2017年研发出一款基于用户位置的紫外线预报产品并在手机WAP端开展服务应用(产品链接地址:<http://e.healthweather.cn/uv/>)。

1 国内外紫外线气象服务产品调研

80%的用户需要希望掌握近1~2 d的紫外线强度变化, 指导护肤。20%的用户(皮肤过敏或者感光度高的人群)需要随时掌握近3 d的紫外线强度变化, 方便出行。城市用户需要国际紫外线(UVI)等级标准^[1], 希望能够基于UVI数值进行防护提示。乡镇用

户需要紫外线强度直观等级提示, 对如何防护, 是否合适晾晒有更强需求。

针对目前国内外主流的用户下载排名前3的紫外线气象服务产品(表1), 对其功能和优劣势进行分析。

表1 紫外线气象服务产品调研

Table 1 Product research of ultraviolet weather service

序号	名称	优势	不足
1	UVlens APP	1. 全天紫外线等级 2. 不同肤质人群, 涂抹防晒霜的应对措施 3. 提醒防晒霜补涂的时间提醒功能	没有UVI值, 预报时效短
2	UVindex APP	1. 有UVI值和强度等级 2. 预报时效长4 d 3. 峰值提醒时间	没有晒伤风险提示
3	UVindex forecast APP	1. 逐小时紫外线强度UVI值 2. 预报时效长3 d	没有晒伤风险提示

2 主要功能及算法研究

2.1 主要功能

紫外线产品的功能包含当前紫外线提示语、个性化皮肤定制晒黑晒伤时间、未来3 d逐小时紫外线预报、科普资讯和防晒品购买等5大功能。其中产品最

收稿日期: 2018年4月3日; 修回日期: 2019年7月2日
第一作者: 穆璐(1984—), Email: mul@weather.com.cn

突出的亮点在于个性化皮肤定制和不同海拔提示库两大功能（图1）。



图1 皮肤防晒定制和不同海拔提示库界面

Fig. 1 The interface of skin sunscreen customization and its forecast at different altitudes

2.2 算法研究

2.2.1 紫外线指数预报算法

目前国内外对紫外线指数预报主要有统计预报和模式预报两种方法^[2]，模式预报主要利用卫星探测臭氧总量，利用辐射传输模式推算紫外辐射量；而统计预报主要依赖于高精度、高准确度的紫外实时观测资料应用统计学方法建立紫外线辐照度的预报方程。统计学方法无明确物理意义，而辐射传输方程从紫外线辐射在大气中的传输机理出发易于人们接受，但许多资料难以获取，同时对计算机要求较高^[3-5]。

本产品以陈万隆^[6]的到达地面的紫外辐射参数化方案、Frederick模式中的高度修正方程和NWS的云量修正方程^[5]为基础，通过对当地当前时间晴空紫外辐射的理论值研究，利用海拔、气温、云量等多要素进行实时订正，对到达地面的紫外辐射强度进行预测，通过辐射观测资料，如紫外辐照度、曝辐量，对紫外辐射进行检验分析，修正多要素订正算法以预测总紫外辐射强度：

$$Q_w = \eta \zeta Q (a^2/r^2), \quad (1)$$

式中， Q_w 为紫外辐射， Q 为太阳总辐射， η 为紫外辐射占总辐射的比例，取值0.043。 ζ 为臭氧订正系数，取1。 a^2/r^2 为日地距离订正值，取1。

根据中国气象局2008年下发的QXT 87-2008《紫外线指数预报》中对紫外线强度的等级划分标准进行紫外线指数等级划分，以提升产品的标准性和科学

性^[6]。算法流程如图2所示：

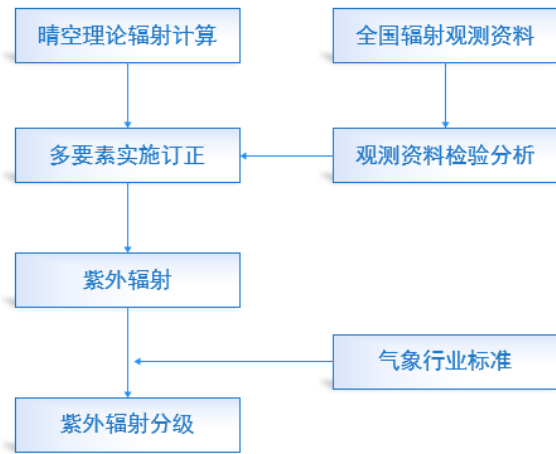


图 2紫外线指数算法流程

Fig. 2 The algorithm flow of ultraviolet index

2.2.2 皮肤防晒算法

从产品服务角度出发，单纯拥有准确的紫外线指数对用户的针对性和预报的直观性有所欠缺，我们调研了大量国内外皮肤学科研究发现紫外线除了长期影响带来引发皮肤癌、眼疾等外，也是引起皮肤晒黑晒伤的主要因素，因此产品结合美国哈佛医学院皮肤科医生Fitzpatrick于1975年提出的，将皮肤分为 I、II、III、IV、V、VI型的Fitzpatrick-pathak的经典日光反应性皮肤分型，将不同皮肤类型的最小红斑量（MED）和最小持续黑化量（MPPD）与防晒产品的SPF、SPF遮蔽率以及亚洲地区通用的PA结合^[7]，估算出针对于不同皮肤分型的晒黑晒伤时间，已满足用户的需求。

通用皮肤防晒算法公式：

晒伤时间计算=SPF×晒伤自我防护时间

晒黑时间计算=PA×2×晒黑自我防护时间

TT=MIN（SPF×晒伤自我防护时间，PA×2×晒黑自我防护时间）

2.2.3 提示库研究

产品提示库从两个层面出发，首先针对于亚洲常见皮肤类型，结合紫外线指数，提供在未进行防护的条件下紫外线对用户造成损伤的最短时长，其次结合产品算法针对用户设置的皮肤分型和选择的防护措施综合给出可能造成损伤的最短时长。此外针对不同海拔高度地区建立了分海拔区域化提示库，为了满足不同海拔地区的紫外线情况，根据经纬度和海拔信息等综合判断，建立全面的分海拔区域化提示库，通过海拔高低的不同，给出精准提示。表2—4给出了平原地区默认的提示库。

表2 平原地区默认等级提示语
Table 2 Default reminder at plain areas

UVI值	强度说明	默认提示语
0	无	NA
1	较弱	户外紫外线强度较弱, 可以尽情运动。
2	较弱	日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF10、PA+
3	较弱	日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF10、PA+
4	弱	日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF15、PA++
5	弱	日晒20 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF15、PA++
6	中等	日晒20 min后会晒黑, 40 min会晒伤, 戴帽子和太阳镜, 防晒霜涂SPF20-25、PA++
7	中等	日晒20 min后会晒黑, 40 min会晒伤, 戴帽子和太阳镜, 防晒霜涂SPF20-25、PA++
8	强	日晒15 min后会晒黑, 30 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++
9	强	日晒15 min后会晒黑, 25 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++
10	强	日晒15 min后会晒黑, 25 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++
11+	极强	日晒15 min后会晒黑, 20 min会晒伤, 尽量避免外出, 防晒霜涂SPF30+、PA+++

表3 高海拔地区默认等级提示语
Table 3 Default reminder at high areas

UVI值	强度说明	默认提示语
0	无	NA
1	较弱	户外没有紫外线, 不需要采取防护措施
2	较弱	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF10、PA+
3	较弱	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF10、PA+
4	弱	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF15、PA++
5	弱	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒20 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF15、PA++
6	中等	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒20 min后会晒黑, 40 min会晒伤, 戴帽子和太阳镜, 防晒霜涂SPF20-25、PA++
7	中等	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒20 min后会晒黑, 40 min会晒伤, 戴帽子和太阳镜, 防晒霜涂SPF20-25、PA++
8	强	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒15 min后会晒黑, 30 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++
9	强	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒15 min后会晒黑, 25 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++
10	强	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒15 min后会晒黑, 25 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++
11+	极强	海拔高、空气稀薄、太阳辐射强, 日晒15 min后会晒黑, 20 min会晒伤, 尽量避免外出, 防晒霜涂SPF30+、PA+++

表4 低海拔地区默认等级提示语
Table 4 Default reminder at low areas

UVI值	强度说明	默认提示语
0	无	NA
1	较弱	您的防晒霜可防护一整天哦!
2	较弱	户外没有紫外线, 不需要采取防护措施
3	较弱	海拔低、太阳辐射弱, 日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF10、PA+
4	弱	海拔低、太阳辐射弱, 日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF10、PA+
5	弱	海拔低、太阳辐射弱, 日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF15、PA++
6	中等	海拔低、太阳辐射弱, 日晒30 min后会晒黑, 防晒霜涂SPF15、PA++
7	中等	海拔低、太阳辐射弱, 日晒20 min后会晒黑, 戴帽子和太阳镜, 防晒霜涂SPF20-25、PA++
8	强	海拔低、太阳辐射弱, 日晒20 min后会晒黑, 戴帽子和太阳镜, 防晒霜涂SPF20-25、PA++
9	强	海拔低、太阳辐射弱, 日晒15 min后会晒黑, 30 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++
10	强	海拔低、太阳辐射弱, 日晒15 min后会晒黑, 25 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++
11+	极强	海拔低、太阳辐射弱, 日晒15 min后会晒黑, 25 min会晒伤, 打防晒伞, 防晒霜涂SPF30+、PA+++

3 服务效果

产品上线后, 从用户实时反馈系统得出结论, 85%的用户使用后, 认为对防晒护肤有帮助, 60%的用户认为紫外线预报数据准确。通过浏览量统计平台

的数据, 浏览量和独立用户数逐步提升。

浏览量和用户数的趋势变化如图3所示, 可以发现紫外线随季节强弱的变化, 越来越受到用户的关注和查询。

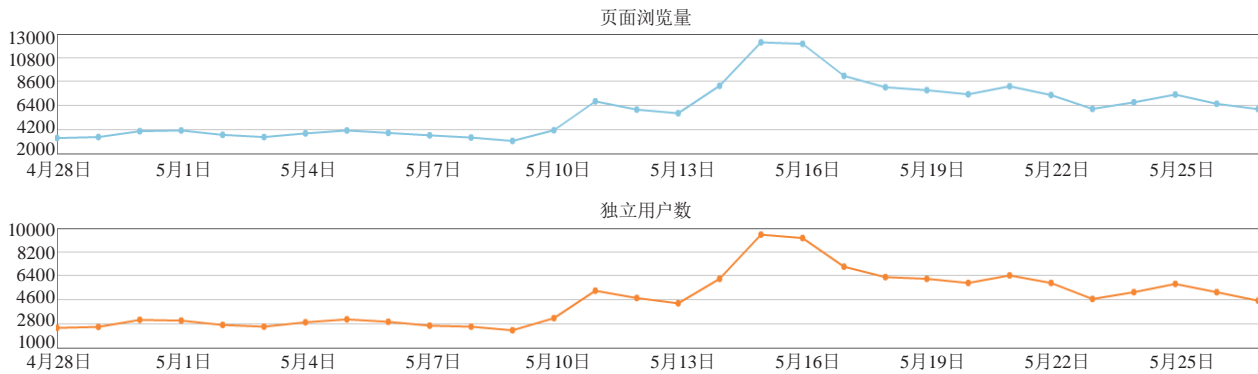


图3 产品点击趋势变化曲线
Fig. 3 Product click over time

4 小结

本文研发的产品，将国内紫外线等级标准与国外标准统一，并且是国内最早推出的基于位置的紫外线预报产品，产品中根据国外对中国女性皮肤类型的分析，结合皮肤学科中Fitzpatrick-pathak的经典日光反应性皮肤分型，研究出适合中国女性皮肤，晒黑晒伤时间算法，融合了用户个性化防晒需求。该产品还初步尝试了与电商资源进行合作，让产品更具有实际应用价值和长远商业价值。

但是，该产品在某些方面需要进一步改进。例如，该产品主要基于智能手机WAP端的应用服务，在PC端应该深入应用。未来研究开发以GIS地图为基础的全国紫外线等级预报网格产品，从空间层面上拓展，从所在地，扩展到全国领域。同时，从时间层面

上增加中长期紫外线预报，从未来3 d逐小时，提升为未来15 d逐小时。

参考文献

- [1] Long C S, Miller A J, Lee H-T, et al. Ultraviolet index forecasts issued by the National Weather Service. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77(4): 729-748.
- [2] 吴兑. 到达地面的紫外辐射强度预报. *气象*, 2000, 26(12): 38-42.
- [3] Liu W, Lai W, Wang X M, et al. Skin phototyping in a Chinese female population: analysis of four hundred and four cases from four major cities of China. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2006, 22: 184-188.
- [4] 沈元芳, 况石. 国家气象中心紫外线指数预报的试验运行. *城市气象服务科学讨论会学术论文文集*, 2001.
- [5] 应爽, 谢静芳, 刘海峰, 等. 基于WRF模式产品的长春市紫外线等级逐时预报模型的建立. *气象灾害防御*, 2016(3): 20-22.
- [6] 陈万隆. 几种下垫面对紫外线的反射率. *高原气象*, 1995, 14(1): 102-106.
- [7] 邓雪娇, 吴兑, 游积平. 广州市地面太阳紫外线辐射观测和初步分析. *热带气象学报*, 2003, 19(增刊): 118-125.

新书架

NEW BOOK

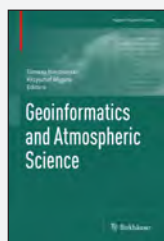
编辑：张定媛

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



Flood Monitoring through Remote Sense
《利用遥感进行洪水监测》

编著者：Alberto Refice 等
出版者：Springer
出版年：2018



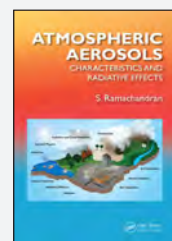
Geoinformatics and Atmospheric Science
《地理信息学与大气科学》

编著者：Tomasz Niedzielski 等
出版者：Birkhäuser
出版年：2017



《气候动力学引论》

编著者：李崇银
出版者：气象出版社
出版年：2018



Atmospheric Aerosols: Characteristics and Radiative Effects
《大气气溶胶：特征与辐射效应》

编著者：S Ramachandran
出版者：CRC Press
出版年：2018

荆门市近60年日照时数变化特征及其影响因素

梁涛 何盛浩 王佳丽 王露 杨津

(湖北省荆门市气象局, 荆门 448000)

摘要: 对荆门市境内荆门、钟祥、京山三站1961—2017年逐月日照时数、总云量、低云量、水汽压、相对湿度、能见度资料进行统计分析, 结果表明, 荆门、钟祥两站年、季日照时数均为显著的减少趋势, 其中减少速率最大的是日照时数, 夏季减少最多, 秋、冬季次之, 春季最小; 20世纪60—70年代日照充沛, 80年代为过渡时期, 90年代以后日照时数减少的趋势加剧。京山站夏季减少趋势显著, 秋、冬两季为不显著的减少趋势, 春季为不显著的增加趋势。年日照时数异常出现过11站次, 季日照时数异常出现过33站次, 均以异常偏多为主; 能见度显著下降是造成年/季日照时数减少的最主要原因, 总云量、相对湿度和水汽压增加也是个别季节、个别站点日照时数减少的原因; 京山站日照时数下降趋势小于荆门、钟祥两站的原因, 主要是由于能见度下降趋势较小, 这可能与京山县的地理环境以及经济发展模式对环境的破坏较小有关。

关键词: 日照时数, 气候倾向率, 影响因子

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.007

The Variation Characteristics and Influencing Factors of Sunshine Duration in Jingmen Municipality During 1961 to 2017

Liang Tao, He Shenghao, Wang Jiali, Wang Lu, Yang Jing

(Jingmen Meteorological Bureau of Hubei Province, Jingmen 448000)

Abstract: Statistical analyses were done for data collected from three observational stations in Jingmen municipality from 1961 to 2017. The analyzed data include monthly sunshine duration, total cloud amount, low-level cloud amount, vapor pressure, relative humidity, and visibility. The results indicated that the sunshine duration of Jingmen station and Zhongxiang station was significantly reduced with time, with the greatest reduction rate occurring in summer when the sunshine duration was the most, followed by autumn and winter, and the lowest reduction rate in spring. The sunshine duration was abundant during the 60s and 70s. It started to decline during the 80s and decreased remarkably since the 90s. At Jingshan station, the decrease in sunshine duration was significant in summer but not significant in autumn and winter. For the spring, however, there was a slight (not significant) increase in sunshine duration. A significant decrease in visibility contributed mainly to the reduced annual/seasonal sunshine duration, while the increase of total cloud cover, relative humidity and water vapor pressure also partly explained the decrease of sunshine duration in individual seasons and stations. The lower decreasing rate of sunshine duration in Jingshan station compared to the Jingmen station and zhongxiang station was mainly attributed to the smaller decrease of visibility in Jinshan station which could be related to the geographical environment and the economic development model of Jingshan county.

Keywords: sunshine duration, climatic trend rate, influencing factors

0 引言

关于气候变化及其影响的研究, 大部分学者主要从气温和降水两方面来探讨气候变化趋势以及全球气候变化对农业生产和生态系统影响等方面的影响^[1-4]。日照也是影响气候变化的主要气象要素之一。日照时数是指太阳每天在垂直于其光线的平面上的辐射强度超过或等于 120 W/m^2 的时间长度, 是表示太阳辐射强

弱的气象要素之一。

日照时间的长短不仅直接影响着农牧业生产, 而且对人类的日常生活有重要的影响, 因而也有部分学者对日照时数的时空分布特征及其主要影响因子开展了研究。靳利梅等^[5]基于上海地区11个气象站的气象资料, 对影响日照时数的气候因子进行了分析, 结果表明上海年日照时数与降水量和降水日数呈显著负相关, 年日照时数的减少与年降水量的增加有关。周晓宇等^[6]根据1961—2009年东北地区104个气象站日照时数、气温、降水、风速和相对湿度资料, 研究了东北

收稿日期: 2018年4月17日; 修回日期: 2018年9月21日
第一作者: 梁涛 (1981—), E-mail: 470779338@qq.com

地区日照时数月、季、年的时空变化特征,结果表明东北地区年日照时数呈显著减少趋势,平均每10 a减少40.5 h。郭晓宁等^[7]利用柴达木盆地格尔木站及周边9个气象站近60 a的资料,对格尔木日照时数的气候变化特征进行了综合分析,结果表明近60 a来格尔木日照时数变化呈下降趋势,大气环流、气温、总云量、低云量、相对湿度等因素是格尔木及周边地区日照时数变化的主要影响因素。

荆门市地处江汉平原北部,属北亚热带季风气候,四季分明,日照时数年际差异大,年日照时数最大值与最小值相差560.6 h,近年来随着经济社会发展和人类活动的加剧,日照时数的减少趋势非常明显,对工农业生产和人民生活都产生了深远的影响。研究日照时数的气候特征、变化趋势和影响因素,对于合理安排农业生产等有着非常重要的作用。

1 资料和方法

1.1 资料

采用荆门、钟祥、京山三站逐月日照时数、总云量、低云量、水汽压、相对湿度、地面能见度资料。日照时数采用暗筒式日照计进行观测,总云量、低云量、能见度采用人工观测,相对湿度采用毛发湿度计观测。由于1980年地面气象观测规范变更对能见度资料有较大的影响,为保证资料连续性,能见度资料选取1980—2017年,其余要素为1961—2017年的资料。文中四季按照气象学方法划分,即前一年12月—当年2月为冬季,3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季。多年平均值采用最近30年(即1981—2010年)平均值。

1.2 气候倾向率和变异系数

采用线性趋势分析来估算气象要素的气候变化趋势。利用变异系数来分析荆门市不同站点年和四季日照时数的稳定性,变异系数 $CV=\sigma/\mu$ (σ 为标准差, μ 为平均值)。

1.3 异常年份分析

世界气象组织对天气、气候异常,提出了两种定量的判断标准^[8]:一是距平值达到标准差(又称均方差)2倍以上(不管近年是否出现过);二是在最近完整的30年气象资料中未出现过的情况(不一定距平值超过标准差的2倍),或称30年以上一遇的罕见天气现象。本文采用距平值大于标准差的2倍作为异常来分析荆门市日照异常特征。

2 日照时数变化特征

2.1 日照时数的基本特征

表1给出荆门市各站四季和年日照时数的平

均值。1961—2017年荆门市三站的年日照时数大致在1300~2300 h,从空间分布看,总体上呈东多西少分布规律,东部京山最多,年平均日照时数在1937.2 h,西部荆门最少,年平均日照时数为1793.1 h。三站平均年日照时数为1870.0 h,其中冬季为344.9 h,占全年的18.4%;春季为458.1 h,占全年的24.6%;夏季为612.5 h,占全年的32.8%;秋季为450.2 h,占全年的24.2%。夏季最多,冬季最少,两季日照时数相差近一倍,从一个侧面显示出荆门市四季气候差异明显。

表1 荆门市各站四季和年平均日照时数(单位:h)
Table 1 The interdecadal average of sunshine duration in spring, summer, autumn, winter and annual values of three station in Jingmen municipality (unit: h)

	春季	夏季	秋季	冬季	年
荆门	440.3	594.8	432.1	324.7	1793.1
钟祥	464.4	614.9	450.6	340.1	1879.6
京山	469.5	627.8	468.0	369.8	1937.2
三站平均	458.1	612.5	450.2	344.9	1870.0

2.2 日照时数的年(代)际变化趋势

分析荆门、钟祥、京山年、季日照时数变化趋势,图1给出了荆门市各站日照时数的年际变化曲线,由图1和表2可以看出:荆门、钟祥两站的年日照时数呈显著下降趋势($P<0.01$),其下降的气候倾向率为104.3~108.0 h/10 a,20世纪60年代和70年代日照时数基本上都在平均值以上波动(正距平),其中60年代偏多趋势最为明显,80年代为过渡时期,90年代以后日照时数减少的趋势非常明显,基本上在平均值以下波动。京山日照时数呈不显著的下降趋势($P>0.05$),下降的气候倾向率为35.0 h/10 a,下降幅度明显小于荆门、钟祥两站。

从近60年四季日照时数的变化趋势(表2)来看,春季荆门为显著减少趋势($P<0.01$),钟祥为不显著的减少趋势($P>0.05$),京山为不显著的增加趋势($P>0.05$);夏季日照时数各站均表现为显著减少趋势($P<0.01$)。在减少速率上,荆门与钟祥基本相当,减少速率约为全年的一半,京山的减少速率明显小于上述两站,可见年日照时数的减少主要是由于夏季日照时数的减少;秋季日照时数荆门和钟祥两站表现为显著的减少趋势($P<0.01$),京山表现为不显著的下降趋势($P>0.05$);冬季日照时数荆门和钟祥为显著的减少趋势($P<0.01$),京山为不显著的减少趋势($P>0.05$)。

综上所述,近60年荆门、钟祥两站年和季日照时数均为显著的减少趋势,其中四季减少速率最大的

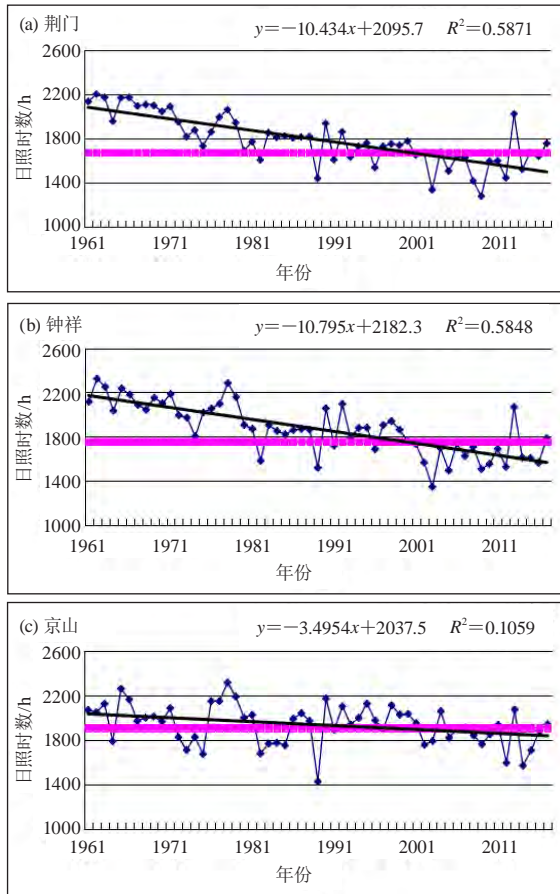


图1 荆门市各站1961—2010年年日照时数及变化趋势(红线为近30年平均值)

Fig. 1 Annual sunshine duration of three stations in Jingmen municipality from 1961 to 2010 (The red line was the average in recent 30 years)

表2 荆门市各站四季和年日照时数变化率(单位: h/10 a)
Table 2 The changing rate in sunshine duration for spring, summer, autumn, winter and whole year at three stations in Jingmen municipality (unit: h/10 a)

	春季	夏季	秋季	冬季	年
荆门	-11.3*	-51.6**	-21.5**	-18.6**	-104.3**
钟祥	-8.6	-51.0**	-23.6**	-22.1**	-108.0**
京山	9.1	-25.8**	-9.8	-8.0	-35.0

注: *表示在0.05水平上显著相关, **表示在0.01水平上显著相关, 下同

是日照时数, 夏季减少最多, 秋、冬季次之, 春季最小。京山站只有夏季减少趋势显著, 减少速率明显小于荆门、钟祥两站, 秋冬两季为不显著的减少趋势, 春季为不显著的增加趋势。

2.3 日照时数的稳定性分析

表3给出了全市年季日照时数的变异系数, 从地域分布来看, 荆门站、钟祥站的变异系数明显大于京山站, 说明京山站年、季日照时数的稳定性大于荆门、钟祥两站; 从季节分布来看, 冬季变异系数最

大, 夏季其次, 秋季再次, 春季最小, 表明春季日照时数稳定性最大, 秋季次之, 冬、夏两季稳定性最小。

表3 荆门站年/季日照时数的变异系数(单位: %)

Table 3 The coefficient of variation of sunshine duration in spring, summer, autumn, winter and whole year at three stations in Jingmen municipality (unit: %)

	春季	夏季	秋季	冬季	年
荆门	13.92	20.34	15.28	21.21	12.49
钟祥	12.00	18.90	16.69	21.73	12.42
京山	14.43	14.93	15.16	18.12	9.13

2.4 日照时数的异常分析

就荆门市全市来看(表4), 春季日照时数荆门站异常偏多出现过3次, 异常偏少出现过1次, 钟祥站异常偏多和异常偏少各出现过2次, 京山站异常偏多和异常偏少各出现过1次; 夏季日照时数以异常偏多为主, 荆门站异常偏多出现过4次, 钟祥站异常偏多出现过3次, 京山站异常偏多出现过3次, 异常偏少出现过1次; 秋季日照时数荆门站异常偏多出现过2次, 钟祥站异常偏多出现过2次, 异常偏少出现过1次, 京山站异常偏多和异常偏少各出现过1次; 冬季日照时数荆门站和钟祥站异常偏多各出现过2次和1次, 京山站异常偏多和异常偏少各出现过1次。日照时数异常在四季之中均有可能发生, 异常偏多比异常偏少出现频率更高。

年日照时数以异常偏多为主, 荆门站异常偏多出现过5次, 钟祥站异常偏多出现过4次, 荆门站和钟祥站异常偏多主要集中在20世纪60年代。京山站异常偏

表4 近60年荆门市年、季日照时数异常年份

Table 4 The abnormal years of sunshine duration in spring, summer, autumn, winter and whole year at three stations in Jingmen municipality in recent 60 years

		异常年份
春季	荆门	1965(+), 1974(+), 2000(+), 2009(-)
	钟祥	1962(+), 1965(+), 2002(-), 2003(-)
	京山	2002(-), 2011(+)
夏季	荆门	1961(+), 1964(+), 1966(+), 1972(+)
	钟祥	1961(+), 1964(+), 1966(+)
	京山	1961(+), 1966(+), 1982(-), 1990(+)
秋季	荆门	1977(+), 1979(+)
	钟祥	1979(+), 1998(+), 2016(-)
	京山	1989(-), 1998(+)
冬季	荆门	1963(+), 1968(+)
	钟祥	1963(+)
	京山	1963(+), 1990(-)
年	荆门	1961(+), 1962(+), 1963(+), 1965(+), 1966(+)
	钟祥	1962(+), 1963(+), 1965(+), 1978(+)
	京山	1978(+), 1989(-)

多和异常偏少各出现过1次。

3 影响日照时数的主要气象因子

3.1 日照时数与影响因子的相关性

影响日照时数的因子较多，云量是影响日照时数最主要的因子。大气透明度对日照时数也有很大的影响。大气透明度是表征太阳辐射透过大气程度的参数，其受水汽含量和大气气溶胶含量等因子影响。能见度是反映大气透明度的一个指标，在其他因素不变的条件下，能见度与大气气溶胶质量密度成反相关，因此，能见度可以在很大程度上反映大气气溶胶含量^[9-11]。本文选取云量（总云量、低云量）、水汽压（水汽含量）、相对湿度和能见度等气象要素分析影响荆门市日照时数的主要气象因子。

从荆门站年、季日照时数与云量、水汽压、相对湿度和能见度的线性相关系数来看（表5），年、季日照时数与总云量呈显著的负相关，尤其在秋、冬两季。年日照时数与低云量呈显著的负相关，四季日照时数与低云量呈不显著的负相关。四季和年日照时数与总云量的相关性均优于同时期与低云量的相关性。夏、冬两季日照时数与水汽压呈显著的负相关，而春季、秋季和年呈不显著的负相关。春、夏、秋、冬四季日照时数与相对湿度呈显著的负相关，全年呈不显著的负相关。日照时数与能见度在全年和春、夏、冬三季呈显著正相关，秋季虽然相关性不显著，但相关系数较大。

表5 荆门站年、季日照时数与影响因子的相关系数
Table 5 The correlation coefficient between sunshine duration and influencing factors at Jingmen station

	春季	夏季	秋季	冬季	年
总云量	-0.515**	-0.661**	-0.687**	-0.716**	-0.621**
低云量	-0.078	-0.097	-0.044	-0.132	-0.102**
水汽压	-0.013	-0.273*	-0.241	-0.336*	-0.053
相对湿度	-0.303*	-0.487**	-0.311*	-0.361**	-0.228
能见度	0.349*	0.486**	0.215	0.354*	0.501**

注：“+”表示正相关，“-”表示负相关，下同。

对比钟祥、京山两站日照时数与云量、水汽压、相对湿度和能见度等影响因子的相关系数与荆门站的相关性可以看出，钟祥、京山两站的相关系数与荆门站的相关系数非常相似。

3.2 日照时数减少的主要原因

通过对日照时数与总云量、低云量、水汽压、相对湿度和能见度的相关性以及上述影响因子的变化趋势的分析可以看出（表5—10），荆门站年日照时数与水汽压和相对湿度呈不显著的负相关，相关系数小，其影响较小，不可能是导致日照时数减少的主要

原因，因此主要考虑总云量、低云量和能见度对年日照时数的影响。荆门站年日照时数与总云量和低云量呈显著的负相关，与能见度呈显著的正相关，也就是总云量、低云量增加，能见度降低，将导致日照时数减少。从表7可以看出荆门站年总云量基本持平，低云量和能见度均呈显著减少（下降）趋势，因此荆门站年日照时数减少主要与能见度下降有关。

同理可得出，钟祥站、京山站年日照时数减少也

表6 钟祥站年、季日照时数与影响因子的相关系数
Table 6 The correlation coefficient between sunshine duration and influencing factors at Zhongxiang station

	春季	夏季	秋季	冬季	年
总云量	-0.372**	-0.464**	-0.623**	-0.835**	-0.053
低云量	-0.125	-0.136	-0.095	-0.353*	-0.415**
水汽压	-0.169	0.183	-0.239	-0.218	-0.096
相对湿度	-0.347**	-0.280*	-0.353**	-0.356**	-0.158
能见度	0.326	0.466**	0.371*	0.349*	0.452**

表7 京山站年、季日照时数与影响因子的相关系数
Table 7 The correlation coefficient between sunshine duration and influencing factors at Jingshan station

	春季	夏季	秋季	冬季	年
总云量	-0.588**	-0.510**	-0.785**	-0.835**	-0.407**
低云量	-0.569**	-0.157	-0.305*	-0.353*	-0.015
水汽压	-0.340**	-0.388**	-0.386**	-0.218	-0.055
相对湿度	-0.698**	-0.364**	-0.460**	-0.356**	-0.156
能见度	0.17	0.464**	0.454**	0.349	0.474**

表8 荆门站年/季总云量、低云量、水汽压、相对湿度、能见度（单位：总云量、低云量（成/10 a），水汽压（hPa/10 a），相对湿度（%/10 a），能见度（km/10 a），下同）趋势系数及显著性

Table 8 The trend coefficient and significant level of total cloud amount, low-level cloud amount, vapor pressure, relative humidity, and visibility at Jingmen station

	春季	夏季	秋季	冬季	年
总云量	-0.09	0.09	-0.06	0.05	0.02
低云量	-0.34**	-0.17**	-0.27**	-0.23**	-0.25**
水汽压	0.03	-0.02	0.03	0.08	0.04
相对湿度	-1.23**	0.29	-0.84*	-0.61	-0.61**
能见度	-3.19**	-4.25**	-3.53**	-2.90**	-3.39**

表9 钟祥站年/季总云量、低云量、水汽压、相对湿度、能见度趋势系数及显著性

Table 9 The trend coefficient and significant level of total cloud amount, low-level cloud amount, vapor pressure, relative humidity, and visibility at Zhongxiang station

	春季	夏季	秋季	冬季	年
总云量	-0.17**	-0.04	-0.08	-0.00	-0.09**
低云量	-0.30**	-0.22**	-0.22**	-0.18*	-0.22**
水汽压	0.02	-0.02	0.04	0.07	0.04
相对湿度	-1.56**	-0.25	-0.87*	-0.53	-0.78**
能见度	-1.42**	-2.10**	-2.04**	-1.30**	-1.67**

表10 京山站年/季总云量、低云量、水汽压、相对湿度、能见度趋势系数及显著性

Table 10 The trend coefficient and significant level of total cloud amount, low-level cloud amount, vapor pressure, relative humidity, and visibility at Jingshan station

	春季	夏季	秋季	冬季	年
总云量	-0.18**	-0.08	-0.12	0.03	-0.08**
低云量	-0.33**	-0.12**	-0.24**	-0.19**	-0.21**
水汽压	0.00	-0.07	0.07	0.13*	0.03
相对湿度	-1.29**	-0.07	-0.59	-0.46	-0.66**
能见度	-0.56**	-1.27**	-1.12**	-0.46*	-0.84**

主要与能见度下降有关,春季日照时数减少荆门站、钟祥站、京山站主要与能见度下降有关;夏季日照时数减少荆门站主要和总云量增加、相对湿度增加以及能见度下降有关,钟祥站和京山站主要和能见度下降有关;秋季日照时数减少荆门站、钟祥站和京山站主要与能见度下降和水汽压增加有关;冬季日照时数减少荆门站、钟祥站和京山站主要与总云量增加、能见度下降和水汽压增加有关。

综上所述,年日照时数主要与能见度下降有关,四季日照时数减少均与能见度下降有较大关系,另外,总云量、相对湿度和水汽压增加也是个别季节、个别站点日照时数减少的影响因素。由此可见,能见度显著下降是造成年/季日照时数减少的最主要的原因。

4 结论与讨论

1) 荆门市年日照时数大致在1300~2300 h,总体上呈东多西少分布规律,三站平均年日照时数为1870.0 h,夏季最多,冬季最少,两季日照时数相差近一倍。

2) 年日照时数荆门、钟祥减少趋势显著,减少速率为104.3~108.0 h/10 a,20世纪60年代和70年代以偏多为主,80年代为过渡时期,90年代以后日照时数减少的趋势非常明显。京山日照时数变化呈不显著的减少趋势,减少速率为35.0 h/10 a。

3) 近60年荆门、钟祥两站四季日照时数均为显

著的减少趋势,其中减少速率最大的是日照时数最多的夏季,秋、冬季次之,春季最小。京山站夏季为显著的减少趋势,秋冬两季为不显著的减少趋势,春季为不显著的增加趋势。

4) 京山站年、季日照时数的稳定性均大于荆门、钟祥两站;春季日照时数稳定性最大,秋季次之,冬、夏两季稳定性最小。

5) 年日照时数异常出现过11站次,分别是2009年荆门站、2003年钟祥站、1989年京山站,都是异常偏少;季日照时数异常出现过33站次,以异常偏多为主。

6) 能见度显著下降是造成年/季日照时数减少的最主要的原因;总云量、相对湿度和水汽压增加也是个别季节、个别站点日照时数减少的原因。

7) 京山站年/季日照时数下降趋势明显小于荆门站和钟祥站的原因,主要是由于京山站能见度下降趋势明显小于荆门、钟祥两站,这可能与京山县低山、丘陵较多植被较好,以及大力发展第三产业的发展模式对环境的破坏较小有关。

参考文献

- [1] 王玉洁,秦大河.气候变化及人类活动对西北干旱区水资源影响研究综述.气候变化研究进展,2017,13(5): 483-493.
- [2] 翟盘茂,余荣,周佰铨,等.1.5℃增暖对全球和区域影响的研究进展.气候变化研究进展,2017,13(5): 465-472.
- [3] 马守存,保广裕,郭广,等.1982—2013年黄河源区植被变化趋势及其对气候变化的响应.干旱气象,2018,36(2): 226-233.
- [4] 郭建平.气候变化对中国农业生产的影响研究进展.应用气象学报,2015,26(1): 1-11.
- [5] 靳利梅.近50年上海地区日照时数的变化特征及影响因素.气象科技,2012,40(2): 293-298.
- [6] 周晓宇,张新宜,崔妍等.1961—2009年东北地区日照时数变化特征.气象与环境学报,2013,29(5): 112-120.
- [7] 郭晓宁,杨延华,李海凤,等.1951-2013年格尔木及周边地区日照时数气候变化特征分析.沙漠与绿洲气象,2015,9(6): 62-67.
- [8] 彭云峰,王琼.近50年福建省日照时数的变化特征及其影响因素.中国农业气象,2011,32(3): 350-355.
- [9] 王京丽,刘旭林.北京市大气细粒子质量浓度与能见度定量关系初探.气象学报,2006,64(2): 221-228.
- [10] 吴兑,毕雪岩,邓雪娇,等.珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究.气象学报,2006,64(4): 510-517.
- [11] 王守强,翟安国.大气能见度变化趋势及影响因素分析.现代农业科技,2013(4): 235-236.

梅州双偏振雷达天线过冲故障分析

黄彬 贺汉清 陈玉华
(广东省梅州市气象局, 梅州 514021)

摘要: 梅州新一代天气雷达升级双偏振后进行业务试运行过程中, 天线在运行中大约15 d左右会出现一次天线俯仰冲顶至上限位, 显示仰角90°的故障现象, 造成雷达不能正常运行。针对梅州雷达多次发生天线俯仰冲顶故障的情况, 结合雷达的工作原理、信号流程和电路原理图, 对故障成因进行了推断分析, 并对维修过程作了详细的介绍, 最后对天线冲顶这类常见故障的处理做了分析总结。

关键词: 双偏振雷达, 交流伺服系统, 光纤链路, 轴角编码盒

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.008

Analysis of Overshoot Fault of Meizhou Dual-Polarization Radar

Huang Bin, He Hanqing, Chen Yuhua, Yang Lihong
(Guangdong Meizhou Meteorological Bureau, Meizhou 514021)

Abstract: During the business commissioning process after upgrading to the double polarization, the antenna of the new generation of Meizhou weather radar usually pitches to the upper limit once about 15 days or so. This results in a failure phenomenon by showing elevation angle of 90° which causes radar run abnormally. In this paper, we analyze the possible causes of the multiple antenna pitching to upper limit by considering the working principles, signal flow and circuit schematic diagram of the radar. The maintenance process is also introduced in detail. Finally, the processing of common antenna pitching problem is analyzed and summarized.

Keywords: Dual polarization radar, ac servo system, fiber optic link, shaft Angle coding box

0 引言

双偏振雷达目前在天气雷达领域已是趋势所在, 根据气象现代化部署, 截至2020年, 广东天气雷达将全部升级成双偏振雷达^[1-4], 梅州双偏振雷达采用成熟的、业务上应用广泛的双发双收模式, 发射机输出信号功分两路, 分别以水平和垂直极化方式同时发射, 双通道接收机和数字中频对数据进行并行处理, 有效改善反射率测量精度和准确性, 更好的消除地物杂波, 大大降低了系统相位噪声, 提高了观测数据和产品的质量。2017年4—7月, 梅州雷达机务人员发现梅州雷达会不定期出现系统正常扫描情况下天线冲顶的故障^[5-7], 且期间天线动态错误比平时出现的要频繁, 出现冲顶故障后机务人员可以通过进入天线座俯仰仓, 手动装置将天线摇动到正常位置, 重新加载软件控制系统使雷达正常运行, 但一段时间后又会出现相同故障, 故障出现时间的随机性大, 严重影响了台站

雷达的业务正常运行。根据CINRAD/SA雷达的基本原理, 雷达机务人员对此次雷达故障进行了检查和维修, 发现故障原因为轴角编码盒性能不稳导致不定时发生天线过冲, 更换新轴角编码盒器件后观察了4个月, 未出现天线冲顶故障, 确定故障解决, 并对此次故障进行总结和记录, 以期对雷达其他类似故障的处理提供参考。

1 故障现象分析

梅州新一代天气雷达升级双偏振后进行业务试运行过程中, 大概间隔半个月左右会出现一次天线俯仰冲顶, 导致雷达停机, 故障出现时停机时天线俯仰角显示超过90°, 报天线动态错误、天线无法停在待机位等故障信息。

结合表1所给出的故障信息分析, 俯仰和方位编码器同时故障, 导致天线无法按指令运行。天线动态错误^[8-9] (PEDESTAL DYNAMIC FAULT) 是指计算机对天线发出控制角度命令之后7.5 s内, 未有响应, 角度未在规定的误差范围内则会报动态故障 (位置差 $<0.2^\circ$ 或者 $0.9<$ 实际速率/期望速率 <1.015)。

收稿日期: 2018年11月5日; 修回日期: 2019年5月27日
第一作者: 黄彬 (1981—), Email: 35912690@qq.com

表1 天线过冲故障报警信息表
Table 1 Antenna overshoot fault alarm information

报警号	报警描述
313	ELEVATION ENCODER LIGHTFAILURE 俯仰编码器灯故障
324	AZIMUTH ENCODER LIGHT FAILURE 方位编码器灯故障
336	PEDESTAL DYNAMIC FAULT 天线座动态故障
339*	PEDESTAL UNABLE TO PARK 天线无法停在待机位置
398	STANDBY FORCED BY INOP ALARM 不可工作强制待机

2 故障排除思路

2.1 根据故障现象分析确定重点检测部件及顺序

图1为轴角编码盒编码后角码传输过程,发生天线俯仰冲顶故障,应先检查方位及俯仰共有链路部分,即光纤通信、上下光纤板的供电是否正常,如俯仰闪码还需要检查清洗滑环部件,其次检查上光端机电源电压是否正常(同时给俯仰和方位轴角编码盒进行供电),如果排除共有链路部分及上光端机电源故障后,根据故障现象表现为俯仰冲顶,应重点检查俯仰轴角编码盒的工作情况。

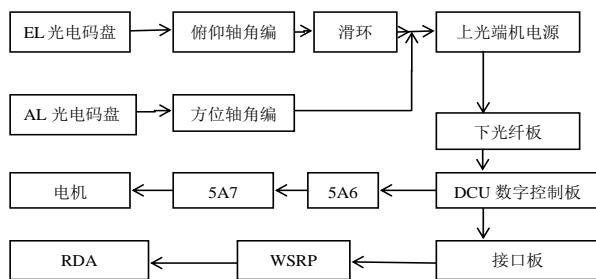


图1 角码传输详细链路图

Fig. 1 Detailed diagram of angular code transmission

2.2 轴角编码盒的检测方法

轴角编码盒电路结构如图2所示,由激磁信号发生器、RDC电路以及PLD可编程逻辑器件组成,供电

电压为5 V。通过对轴角编码盒电路图分析,轴角编码盒接地不好或输出的串行轴角数据出现错误可能引起闪码。可以通过检测图1中由俯仰轴角编码盒,滑环,上下光纤板,DCU数字控制板组成的传输链路的反馈信号来检测轴角编码盒工作情况。检测点位于DCU的数字控制板(AP2)上。从天线座传输的方位轴角数据经过XS(J)11的26脚A(+)、24脚A(-),分别输入到AP2板上接收器D25的2脚和1脚,俯仰轴角数据经过XS(J)11的22脚E(+)、29脚E(-),分别输入到接收器D25的6脚和7脚,D25的输出端3脚是串行的TTL电平的方位轴角数据,5脚是串行的TTL电平的俯仰轴角数据,它们都是14位数据,前面13位是轴角数据,最后一位是相应支路的激磁检测位,该信号高电平正常,低电平故障。正常情况下,手动推动天线时,DCU的AP2板上D25接收器波形呈现有规律连续变化。如果波形无变化、无规律变化、突然展宽或消失,且光纤链路正常,则说明轴角编码盒已损坏,需更换。

3 故障处理

出现天线俯仰冲顶故障报警后,值班人员想通过RDASC软件把天线回到PARK(待机)正常位置未成功,随后关掉DAU(数据获取单元)及天线伺服开关,进到天线罩内采用俯仰手轮强行将天线摇到PARK位置,然后对方位及俯仰共有链路部分进行检查,手动匀速推动天线观察方位和俯仰角码未出现闪烁和不连续情况,可判定共有链路正常;进入天线罩对上光端机电源2PS1进行电压测试(图3),检查图中标注的两组5.5 V电源电压,轴角编码盒要求供电电压稳定且大于5 V,测试结果显示一组电压为5.2 V,一组为5.0 V属于正常范围,说明轴角编码盒供电无问题,可排除上光端机电源故障和方位及俯仰共有链路

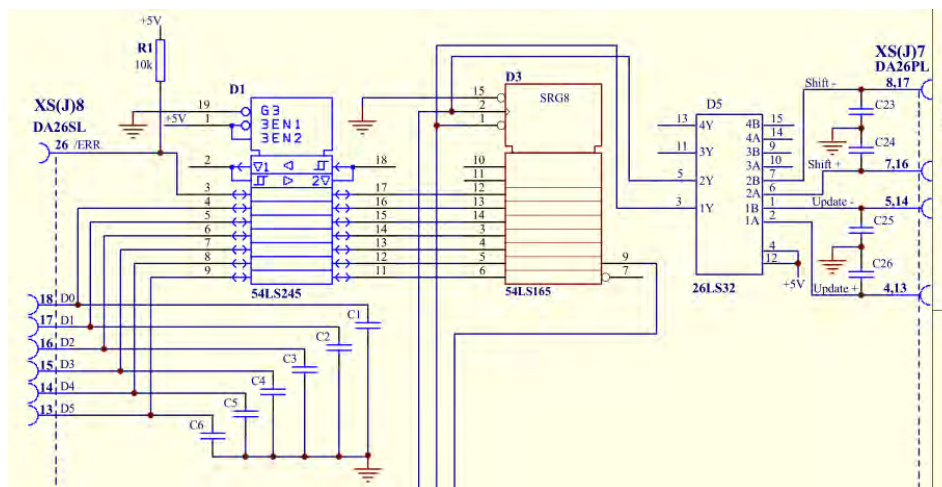


图2 轴角编码盒结构电路图

Fig. 2 Circuit diagram of axial angle coding box structure

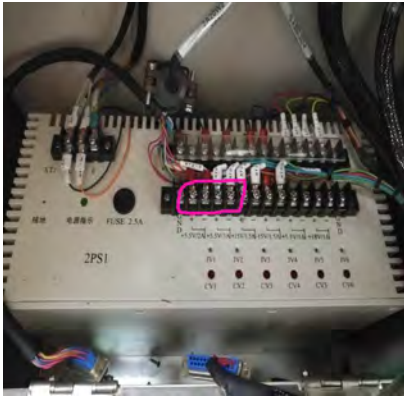


图3 上光端电机内部结构图
Fig. 3 The internal structure of the glazing motor

部分, 怀疑是俯仰轴角编码盒性能不稳引起。具体故障排除流程见图4。

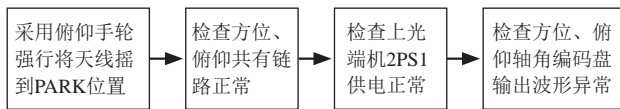


图4 故障排除流程图
Fig. 4 Troubleshooting flowchart

通过对调方位和俯仰轴角编码盒来检查是否还会出现冲顶现象, 对调后观察了半个月依旧会出现冲顶现象, 未能解决问题。由于轴角编码盒给数字控制单元的數字控制板(AP2板)串行接口传输仰角、俯仰轴角的编码信号, 所以可通过示波器对此串行接口来检测轴角编码盒的数据波形变化来判断轴角编码盒是否有故障, 具体检测点如图5所示。对调方位和俯仰轴角编码盒后进行波形检测, 手工匀速推动天线, 用示波器检测AP2板D25接收器第5脚输出的俯仰轴角编码盒波形, 波形周期性变化, 说明轴角编码盒俯仰环节和光纤链路正常; 用示波器检测D25第3脚的方位轴角编码盒波形, 波形无规律变化, 有突然展宽或消失的现象, 由此可将故障源定位为对调后的轴角编码盒方位环节。2017年7月4日为避免存有故障隐患把方位和俯仰的轴角编码盒全部更换, 更换新轴角编码

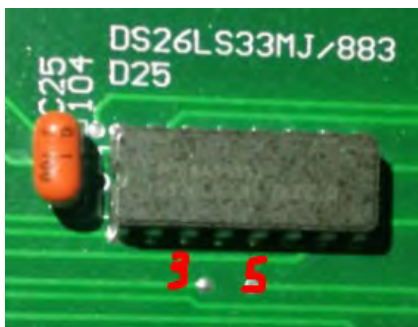


图5 数字控制板D25芯片
Fig. 5 Digital control board D25 chip

盒后, 重新检测其方位和俯仰轴角编码数据的反馈波形, 均呈周期性变化, 输出其中一个周期内正常波形(图6), 继续对雷达连续运行观察4个月, 未发现有天线俯仰冲顶故障, 确定故障排除。



图6 D25芯片3脚输出其中一个周期内示波正常图形
Fig. 6 One wave normal figure of D25 chip 3 pin output

4 小结

双偏振天气雷达在天伺系统信号链路上的复杂性导致雷达定位出现偏差环节很多, 随机性大, 定位故障难度较大, 本次故障排除难点在于引起故障的部件不是完全故障状态, 不容易检测和判断, 部件性能不稳定难以通过简单检测确定, 需要监测一定时间的状态来判断。在实际检修过程中, 此类故障应重点优先检查方位和俯仰共有链路部分、上光端机电源、电机等, 在排除重点环节正常前提下, 再对天线的轴角编码盒、光电码盘等误差源进行排除, 能更准确判断误差原因。加强对工作环境的改进, 如在天线罩内增加抽湿机、循环风冷系统, 防止过潮和高温, 这样也可增加轴角编码盒等器件的使用寿命; 雷达技术保障人员应深入了解雷达整个系统的工作流程, 密切关注雷达信号流程, 并熟练掌握信号流程中关键点的参数特征, 对于快速排除雷达故障非常有用。

参考文献

- [1] 吴少峰, 肖伟军, 张羽, 等. 新一代多普勒天气雷达三级终端的设计与应用. 广东气象, 2013, 35(2): 67-70.
- [2] 钟晨, 张羽, 高建秋, 等. 双偏振多普勒天气雷达在冰雹识别中的应用. 广东气象, 2014, 36(4): 76-80.
- [3] 吴少峰, 周志玉, 黎德波. CINRAD/SA雷达电机故障的分析与处理. 广东气象, 2014, 36(4): 73-75.
- [4] 郭泽勇, 曾广宇, 黄裔诚, 等. 天气雷达故障案例采集平台的设计与实现. 广东气象, 2015, 37(3): 72-76.
- [5] 杨立洪, 刘小燕, 陈玉华. 双偏振雷达相关系数的产品分析. 广东气象, 2017, 39(3): 69-72.
- [6] 潘新民, 柴秀梅, 崔炳俭, 等. CINRAD/SB雷达伺服上电故障诊断分析. 气象科技, 2011, 39(2): 212-216.
- [7] 潘新民, 王全周, 崔炳俭, 等. CINRAD SA/SB型新一代天气雷达故障快速定位方法. 气象与环境科学, 2013, 36(1): 71-75.
- [8] 陈忠勇. CINRAD/SA雷达发射机驱动级工作原理及检修技术探讨. 气象科技, 2012, 40(1): 1-4.
- [9] 贺汉清, 李源锋, 杨立洪. CINRAD/SA雷达天线故障定位与技术调整. 广东气象, 2008, 30(3): 61-62.

我国气象领域应用人工智能技术的现状和国际对比

■ 唐伟 周勇* 董昊 张定媛 赵文芳

通过调研人工智能技术的发展现状以及在我国气象领域的应用情况,开展该领域论文计量等的国内外对比,分析人工智能技术对气象的预期影响,提出中国气象局加快促进人工智能技术应用应优先解决的三点基础性问题:一是统筹加快培养和聚集人工智能高端人才,二是开发用于人工智能训练及测试的公共数据集和环境,三是建立人工智能技术标准体系和评估体系。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.009

2006年以来,人工智能(AI)在全球掀起第三次浪潮,一般被称为“新一代人工智能”或“人工智能2.0”。这次发展浪潮和前两次有两点明显不同:一是得益于硬件越来越便宜、大规模并行计算能力越来越强以及大数据的出现,人工智能在深度学习算法上取得突破性进展;二是这一次浪潮的影响已经远远超出学术界之外,政府、企业都开始谋划和投入人工智能技术和产业。

1 人工智能技术发展现状

根据《人工智能标准化白皮书(2018版)》定义,人工智能是利用数字计算机或者数字计算机控制的机器模拟、延伸和扩展人的智能,感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统。

人工智能的结构化层次从下往上依次是基础设施层、算法层、技术层、应用层(图1)。其中算法层是人工智能的核心,机器学习算法是人工智能技术应用的主要算法之一。常用的机器学习算法有逻辑回归(LR)、支持向量机(SVM)、随机森林(RF)、梯度提升决策树(GBRT)、人工神经网络(ANN)等。深度神经网络(深度学习)算法是神经网络算法的一个最新分支,具体算法包括深度玻尔兹曼机(DBM)、深度信念网络(DBN)、卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)、长短期记忆网络(LSTM)等。基础设施层包括硬件、计算能力和大数据基础等。利用机器学习算法,人工智能的主要技术方向包括赋予计算机感知/分析能力的计算机视觉(图像处理)和语音技术、提供理解/思考能力的自然语言处理技术、提供决策/交互能力的规划决策系统和

大数据/统计分析技术等。应用层即具体技术,包括图像识别、图像理解、模式识别、视频识别、语音识别等。

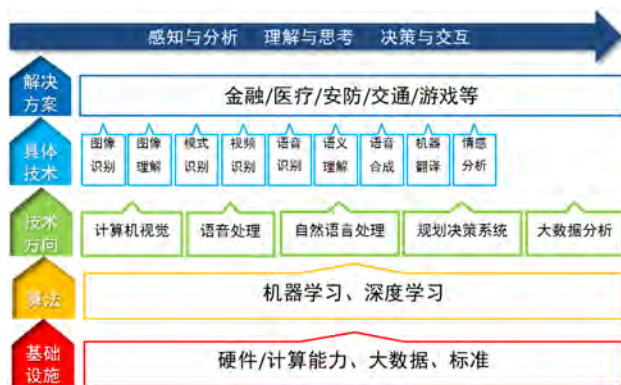


图1 人工智能的层次结构(引自《人工智能》,腾讯研究院等著)

2 人工智能在我国气象领域的应用

我国气象部门基于当今业务需求的新一代人工智能预研究大多从2017年开始,主要的研发应用场景有5类:一是基于视频分析与模式识别的气象观测智能识别,相关单位有浙江省气象局、中国气象局气象探测中心等;二是基于深度学习的临近预报(雷达图像外推、降水临近预报、累积降水预报、强对流分类概率预报等),相关单位有国家气象中心、公共气象服务中心、上海市气象台、福建省气象台、广东省气象台、香港天文台等;三是基于机器学习的定量降水客观预报和台风集合预报,相关单位有国家气象中心、公共气象服务中心、广西区气象局等;四是基于机器学习的数值预报订正,相关单位有北京市气象局、上海市气象台、福建省气象台等;五是人机互动的预报

收稿日期:2018年10月18日;修回日期:2018年12月11日

* 通信作者:周勇(1972—),Email:zhouy@cma.gov.cn

智能编辑和基于自然语言生成的预报产品智能生成，相关单位有国家气象中心、公共气象服务中心、上海市气象台等。这些应用场景中，基于深度学习的临近预报已经取得了一定进展。预报模型不仅能跟踪雷达回波的移动方向，而且能较好地反映雷达回波的生消变化，较传统雷达回波外推方法取得了一些新的进展。

人工智能在商业气象服务公司中的应用则从2014年起得到开展，并在精细化预报上取得较高准确率。北京彩彻区明科技有限公司（简称彩云天气）基于气象部门的天气雷达资料，采用了深度学习算法，建立了0~2小时逐分钟、空间分辨率为1 km的临近降水预报。北京墨迹风云科技股份有限公司（简称墨迹天气）利用气象部门雷达回波图和卫星云图，通过深度学习预测降雨云团的趋势，并结合智能手机的定位功能，发布用户所在位置的即时天气情况。此外，阿里巴巴、百度、IBM中国研究院、腾讯等IT巨头在气象中也有所涉猎。总的来说，商业气象服务公司因为人才、技术等先发优势，对人工智能技术的应用超前于气象部门。

3 国际上气象领域人工智能的应用

国外气象领域对人工智能的研究和应用自20世纪90年代开始开展，已有很多可借鉴的成果。一些研究针对强风暴开展预测研究，如采用前馈神经网络方法、逐步回归正向选择法、朴素贝叶斯分类器方法等预测发生直线大风或龙卷风的概率，如采用模糊标签神经网络方法、随机森林和梯度提升决策树方法对直线大风进行预测，如采用梯度提升决策树、随机森林、弹性网络方法等研究风暴持续时间、冰雹发生概率的预测。一些研究针对风能和太阳能预测开展研究，如采用人工神经网络、自回归移动平均模型、支持向量机、回归树、相似集合方法对风速、风能、太阳辐照度等进行预测。一些研究采用模糊逻辑、随机森林算法等开展航空湍流的临近预报研究。一些研究采用人工神经网络方法、多参数支持向量机方法、分层K均值聚类方法等针对卫星资料开展云分类和降水估计研究。还有一些研究采用神经网络方法、模糊逻辑方法等开展气象数据融合和数据提取的研究，在气象预报业务上发挥了很好的作用。

作为科技领域的一项指标，论文发表的数量可以在一定程度上体现该领域的研究水平。基于Web of Science平台的SCIE和CPCI-S国际会议数据库，本研究检索了2008—2017年有关人工智能及其主要算法主题的论文，对比了国内外气象领域对人工智能

研究的论文发表情况。通过使用检索式TS=(“artificial intelligence” OR “AI” OR “machine learning” OR “deep learning” OR “Deep Neural Network” OR “artificial neural network” OR “decision tree” OR “fuzzy logic” OR “hierarchical clustering” OR “k-means clustering” OR “support vector machine” OR “logistic regression” OR “ridge regression” OR “elastic nets” OR “random forests” OR “gradient boosted regression tree” OR “Gradient Boosted Decision Tree” OR “natural language processing” OR “Deep Belief Nets” OR “Deep Boltzmann Machine” OR “convolutional neural network” OR “recurrent neural network” OR “Long Short-Term Memory”), 学科类别限定为“气象和大气科学”，文献类别限定为期刊论文、综述和会议论文，检索得到该主题文献1612篇（检索时间为2018年6月）。

从论文发表数量和影响力来说，我国在世界上仅次于美国，遥遥领先于其他国家。2017年，我国大气科学领域有关人工智能的论文数比2008年增长了7倍。2012—2017年，我国大气科学领域有关人工智能的论文数在国际上仅次于美国，且和美国的差距逐年缩小，在2017年美国为76篇，我国为72篇（图2）。2012—2017年我国在该领域至少被引用1次的论文数在国际上也是仅次于美国（图3）。

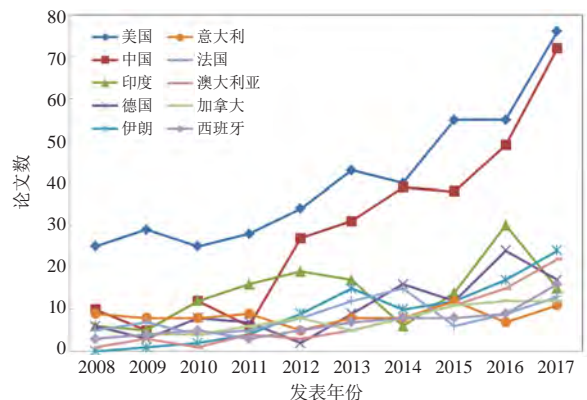


图2 2008—2017年大气科学领域有关人工智能的论文数前十名的国家

从应用领域来说，由于我国的人工智能产业在国际上位于世界第二的水平，高校、企业的研发应用能力很强，气象部门在观测识别、数据处理、短时临近预报、模式参数化、预报结果集成分析等领域，与清华大学、北京大学、中科院等科研院校以及阿里巴巴、百度、IBM等企业开展广泛合作，并已取得若干成果。特别是我国已有多项算法取得国际领先的业绩。如国家气象中心和清华大学合作研发的基于深度

（下转62页）

新媒体时代气象科普舆论引导的需求及对策 ——以云南气象科普的实践与探索为例

■ 郭茶芬 彭启洋 李峻峰

结合云南科普现状,实例分析了新媒体在气象宣传舆论引导中的优势。通过阐述气象科普宣传发展的时代背景和需求,就提升气象科普能力,增强舆论引导提出如下对策措施:整合宣传资源,加强舆论引导;聚焦融媒体“直播+”,增强用户粘性;细分用户需求,实现精准推送;加强学习培养,培育专业科普团队。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.010

随着新媒体时代网络、手机移动客户端等数字媒体的普及,气象灾害的社会敏感性愈加明显,各种极端、异常的天气气候事件、特殊天气现象往往成为新媒体追捧的“明星”热点事件,尤其以微博、微信、网络视频为主要代表的新媒体,凭借技术优势及对新闻性信息的天然附着,成为重大突发公共事件的传播“加速器”。如2012年“7.21”北京61年一遇的特大暴雨引发的城市内涝、人员伤亡事件;2013年1月3日云南民航史最多航班延误的昆明长水机场大雾事件,航班取消400多架次,引发媒体热议。

新媒体时代中“把关人”的缺失,打破了原来传统媒体对信息的垄断,使一部分话语权转移到普通受众手中,且由于传播渠道的自由和开放,使得信息迅速在新媒体时代中呈几何级数扩散,致使被放大的新媒体舆论缺乏相应的约束性和组织性,舆论秩序相对混乱。本文结合云南省气象服务中心在气象舆论导向、科普宣传中出现的实例分析,指出气象科普舆论及时引导的必要性,进而提出一些改进对策措施,希望通过科普宣传能力提升建设,加大舆论导向作用,为公众提供准确及时信息,为政府部门分担解忧。

1 新媒体时代的气象科普需求与对策

1.1 气象科普的社会性需求

据统计,云南省全民科学素养3.29%,距离2020年超过10%的目标差之甚远。特别是当今气象热点话题较多的形势下,为追求“轰动效应”“眼球效应”,各种活跃度高、用户粘性强的社交媒体、自媒体往往胡乱拼接,各种标新立异的标题党和拼凑内容

以新、奇、快迅速蔓延。有管理者以“谣言就是谣言,总会被事实击倒”的所谓冷处理方式对待此类舆论,任其滋长,导致言论一边倒,严重损害气象服务的公众形象,气象舆论与导向作用严重滞后。

对策措施1:整合宣传资源,加强舆论引导

新媒体传播对重大突发公共事件有深刻影响,在“黄金四小时”之前提早介入,是预防社会情绪大面积波动,缓和集群化负面舆论的有效方式。针对舆论热议的天气事件、重大高影响天气或气象灾害事件,应在第一时间落实事件处置主体,第一时间发布准确、真实、有针对性信息,第一时间回复质疑,以赢得与之沟通和舆论引导的最佳时机。其次,与主流媒体及时互动,借助主流媒体的传播优势、专业经验和集团作战能力,增加与新媒体的互动度。通过积极参与新媒体建设,打通官方和民间两个舆论场,及时回应网民社会关切,引领公众理性思考。

1.2 气象科普的及时性需求

对策措施2:聚焦融媒体“直播+”,增强用户粘性

当前,媒体融合发展是传媒领域一场重大而深刻的变革,以互联网、移动传播为代表的新媒体网络直播的迅猛发展,移动端资讯直播用户规模成波动性增长态势,增速均值为6.6%。据统计,截止2017年6月,我国网民7.51亿,手机用户达7.24亿人,未来仍存在巨大的增长空间。而无论哪种媒体,本质都是“内容为王”,而重大气象灾害、社会重大活动、公众关注的天气热点和奇异天气现象等融媒体“直播+”具有极高的关注度,国家顶层也大力推进气象

收稿日期:2018年1月10日;修回日期:2018年10月22日

服务不断融合创新。气象服务效益的提升，需与时俱进，结合手机移动平台，聚焦融媒体“直播+”方式，通过传统媒体与新媒体的融合，形成优势互补，进而增强用户粘性，提升气象服务产品传播效率和质量。网络直播相比于传统媒体直播，成本较低，传播速度较快，受众率较高，在气象宣传方面具有如下优势：针对重大天气，可以获取第一手现场实况，传递给用户最新、最全面的天气信息。对于重大活动、会议、体育比赛，天气是必不可少的元素，气象服务保障关乎其成败。

1.3 气象科普的多样性需求

宣传媒介是提高气象服务社会效益的重要环节。通过宣传媒介，可使公众及时了解气象预报、气象常识，了解气象服务的新产品、新功能，使气象信息深入更多领域，发展更多用户，发挥更大社会效益；通过宣传媒介，使各级领导和公众深入了解气象发展现状和趋势，进而从认识到理解，再到支持，使气象事业发展进入良性循环，为气象事业赢得更广阔发展空间。

对策措施 3：细分用户需求，实现精准推送

首先，细分公众需求：服务人群重点针对未成年人、社区居民、城镇劳动者、领导干部公务员和农民五类人群进行需求划分；其次，传播渠道因地制宜，细分为科普场馆、商业楼宇、公共交通、基层社区等；第三，产品内容分层分时，如微博微信内容1分钟、公交移动3分钟、社区显示屏5分钟、商圈楼宇15~30秒等，最终使气象科普传播内容从吸引眼球到主动关注、从浅层认识到深层理解，更加通俗化、生活化以贴近公众生活，进而提高受众的参与度与互动性。

1.4 气象科普的科学性需求

新媒体传播的即时性、互动性、虚拟性和开放性，使新媒体传播能量得到空前释放，舆论空前活跃，负面、消极、非理性和情绪化的舆论弥漫在新媒体的传播环境中，鱼目混珠，进而误导大众，给社会稳定和舆论生态带来风险和隐患。新形势下利用好宣传媒介，特别是新媒体，及时发出科学性、准确性、专业性的声音，可以不断提升气象工作的影响力和权威性。

对策措施 4：加强学习培训，培育专业科普团队

思路决定出路。目前气象部门各单位从事宣传工作的多是非气象专业文科类的年轻人，他们的优势是思维活跃，语言灵动、接地气，但缺点是气象专业知识欠缺。而服务首席和新闻发言人，多是长期从事专

业领域的科技型专家，语言形象与传播能力都有待提高。此外，气象服务是面向公众和各行各业的，需要不同知识的交叉融合，因此必须培养一支训练有素、有热情、乐奉献、用情怀、勇担当的专业科普队伍，优势互补，理论上以“走出去、请进来”的方式定期培训学习，行动上深入基层、农村、社区和企事业单位进行实地调研需求、开展现场科普活动的实践，以服务意识优化气象科普宣传产品，提高文字解读能力，把专业化语言“翻译”成大众喜闻乐见的视听语言，搭建一条气象信息到公众最后一公里间最高效的沟通桥梁，定期通过公众满意度调查，进行评优奖励，进一步提高气象科普宣传能力。

2 云南气象科普舆论引导的若干案例

近年来，云南在气象科普宣传工作中，针对2014年鲁甸6.5级地震、2015年昆明彩云事件、2016年昆明“天漏”谣言、2017年国际旅游交易会等一些重大突发事件、社会关注热点、重大社会活动，主动请缨、多措并举、第一时间发声，舆论引导成效显著，实战中锻炼了队伍。

2.1 云南鲁甸6.5级地震应急宣传

2014年8月3日云南鲁甸发生6.5级地震，617人遇难，112人失踪，直接经济损失198亿，社会关注度高居榜首，地震是群灾之首，震后的次生灾害洪水、滑坡、泥石流接踵而至。为有效提高震区群众应对次生灾害的能力，针对鲁甸“8.03”地震实际情况，云南省科学技术协会、云南省地震局、云南省气象局经过周密组织、精心策划，首次联合主办了以“防震减灾、平安云南”为主题的科普大篷车系列活动。

特邀地震、气象服务专家，前往震区合力开展系列科普宣传。（1）活动启动仪式。通过北斗卫星通讯系统与北京主会场进行视频连线，中央领导在北京主会场观看了活动现场视频，中央一台新闻联播、云南日报要闻版、中国天气网等主流媒体进行了报道。

（2）震区应急广播电台专家访谈。中国应急广播的访谈实况通过灾区所有乡村高音喇叭、人手一部的应急调频收音机同时收听，覆盖了整个地震灾区，受众极广。（3）科普讲座深入基层。通过深入浅出，图文并茂的讲解，使震区广大群众系统了解地震、气象次生灾害基本知识及自救互救知识。（4）防灾减灾宣传展台在校园和市区广场巡展。

2.2 2015年昆明彩云、雾霾事件

2015年11月17日，受南支槽前西南气流云系影响，昆明上空出现千姿百态、变幻莫测的彩云，云鳞云还是地震云？大家纷纷拿起手机、相机拍照，电

视、广播、各大报刊以及网络、微博、微信纷纷开启了秀云模式，朋友圈被五彩斑斓、绚丽多姿的彩云刷屏。

云南省气象服务中心与都市时报共同打造网文《你看、你看昆明的天起火了》，第一时间为公众解读，该文在网络上24小时点击达17万，7天点击达23万。通过舆论引导，引发全国网友关注这一独特的气象景观，掀起一场“到云南看云去”的热潮。随后，都市时报主办，企业搭台，云南省首届“家乡美”主题摄影大赛、云南首届云图网络摄影比赛颁奖仪式暨“云销”之路2015年云文化研讨会举行，云南省气象服务专家与本土主流媒体、摄影、文化、旅游、品牌营销等行业等各方专家积极建言献策，共同探讨“云”营销和品牌建设，共同打造线上“云博物馆”。在这个审美主导的眼球时代，通过销“云”抓住眼球，进而带动销“云南”，为云南经济发展做出了贡献。

云南特殊的地形地貌，形成的云具有独特的形状和色彩。云南与云有不解之缘，素有“彩云之南”的美誉，小到“祥云”“云龙”等县名，大到云南省名，借助云这个话题，积极助推特色云南气象科普品牌。通过此次彩云事件、“云文化”研讨会为契机，进一步推进了气象科普的部门协作和全社会的共同参与。

再比如，2015年3月22日云南省会昆明天空灰蒙蒙一片，雾还是霾？微信、微博各网络新媒体上公众哗然，一片噪声，政府受到舆论压力。云南省气象服务中心专家紧急研判，得出结论：是雾非霾！该结论及时通过新华网、云南日报、昆明日报、云南电视台等各大主流全媒体报道，再次以正确的舆论引导，杜绝了舆论绑架，为政府减压。

2.3 2016年昆明“天漏”“外星来客”事件

2016年8月2日昆明暴雨如注，一组“昆明天通洞”的图片在社交平台疯传，远远望去大雨倾盆而下，犹如一帘巨大幕布。有网友猜测，这是典型的大龙卷吗？更有小伙伴脑洞大开，这不就是《大鱼海棠》中鲲经过海天之门时的场景吗？还有网友把图片PS成了科幻大片《独立日》中外星飞船入侵地球时的场景……昆明大片：《独立日3·暴雨如注》，宛如一根巨大立柱，震撼的画面让许多网友感叹“昆明天通洞了！”、昆明“天漏”“外星来客”在微信朋友圈热议，引起极大恐慌和迷惑。

云南省气象服务中心服务首席针对此事件，及时主动撰稿《昆明海天之门开启了？原来是“雨

幡”》，推送给主流媒体《春城晚报》，解读相关图片和数据后认为：“天漏大雨”实为“雨幡”，由台风“妮妲”外围气流的风速辐合所致。第一时间借助主流媒体发出权威声音，及时与公众互动、答疑解惑，主动引导社会舆论。实况显示，云南多地均出现局地短时强降水，整个强降水落区排列与线状中尺度飑线一致，与此同时昆明共出现雷暴闪电981次。该文迅速通过网站、微博、微信传播，使公众及时知晓了此类天象乃气象上说的雨幡为正常的天气现象，社会恐慌得到平息，公众对气象工作由认识—理解—关注—支持，使气象服务与社会公众需求更贴近。气象服务不只是气象预报预警、防灾减灾，针对阴晴冷暖、风霜雨雪等天气变化、特别是一些奇异天气现象热点第一时间发出权威声音，进而扩大自身传播力、影响力。

3 小结

科普传播的信息具有公开性、大众性、综合性、开放性、专业性等特点，科普传播内容必须做到统筹兼顾、与时俱进。新媒体与科普宣传工作具有天然的契合性，因此融合新媒体平台与传统媒体的优势，发挥公众同时作为信息接受者和传递者的有利面，建立一个气象部门—媒体平台—受众传播者三位一体的多元化宣传主体，最大限度地扩大资源气象、公共气象以及气象防灾减灾知识传播广度和深度，占领信息传播制高点。

如何顺应气象信息传播全球化趋势、如何满足社会及公众对气象信息的精细化需求，气象服务工作者需要认真思考并付诸行动。气象科普宣传工作是气象防灾减灾公共气象服务的重要组成部分，首先要“转”—转变观念、其次“借”—借力使力、再“学”—不断学习、之后“变”—与时俱进。只有这样，才能做好气象科普舆论引导，引领气象舆论正确导向，进而助力气象服务工作的有序开展，以需求为导向，让公众满意、政府支持。

深入阅读

- 石莹. 2015. 新媒体传播中的“蝴蝶效应”及其对策探讨. 新闻研究导刊, 6(17): 211-212.
- 张跃庆. 2014. 新媒体语境下的网络舆论形成机制及应对策略. 兰州教育学报, (9): 82-83.
- 毕宏音. 2013. 重大突发公共事件中的新媒体传播. 重庆社会科学, 22(4): 50-57.
- 肖君. 2015. 新媒体对科普宣传的影响与提升. 云南科技管理, (1): 57-58.
- 胡雨晗, 刘邦凡. 2014. “蝴蝶效应”在微博舆论中的影响力分析. 电子商务, (10): 3-4.

(作者单位：云南省气象服务中心)

从《气象》载文统计看气象科技的发展

■ 王蕾 俞卫平

基于《中国学术期刊综合引证报告(2006—2009年版)》《中国学术期刊影响因子年报(2009—2017年版)》的数据以及该时段内《气象》144期期刊论文正刊资料,对《气象》的文献计量等各项评价指标及载文量、学科分类、栏目设置、作者区域分布、高被引论文及下载率进行了统计分析,在了解《气象》期刊发展最快的十多年论文产出的特点和规律的同时,从一个侧面可了解我国气象科技的发展。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.011

《气象》自2006年以来,综合影响因子、综合总引频次等计量指标不断上升,2017年入选“第4届中国精品科技期刊”,2018年又获选“2018期刊数字影响力100强”(学术类期刊)。本文针对2006—2017年《气象》杂志12年的载文情况,分析论文分布的特点和规律,试图从一个侧面,给出我国气象科技发展的特征。

1 《气象》主要评价指标简析

利用中国学术期刊(光盘版)电子杂志社出版的《中国学术期刊综合引证报告(2006—2009年版)》《中国学术期刊影响因子年报(2009—2017年版)》、CNKI中国引文数据库提供的数据以及2006—2017年《气象》总计144期发表论文信息,进行全面的统计。2006—2017年《气象》无论是总被引频次、综合影响因子、他引总引比和基金论文比等指标都有了长足的进步(表1)。总被引频次可以客观地说明《气象》

总体被使用和受重视的程度以及在学术交流中的作用和地位;综合影响因子反映出《气象》整体的学术影响力达到了很高的程度。在10余年的时间里,期刊的总被引频次和综合影响因子分别上升了1.64倍和1.08倍;他引总引比也稳步上升,2017年占总被引频次的83%。《气象》的基金论文比,从2006年43%上升到2017年的93%,提高了1.16倍。

2 载文量

载文量是鉴定期刊的基本指标之一。《气象》2006—2017年共出版144期(不含增刊),发表论文类文章2495篇,计18814页。去除每期固定的“天气气候评述”“数值预报检验”“台风精度评定”等栏目文章299篇,实际刊载论文2196篇。这些文章平均篇幅,从2006年的篇均6.1页,提高到2017年的10.1页,反映出近十多年来气象科研文章的分析走向深入和全面。

3 学科分类

2006—2017年刊载的2495篇论文中,涉及气象学、环境科学和资源利用、海洋学、地质学、计算机软件及应用、航空航天、建筑学、公路交通、医疗气象、投资保险等48种学科,反映出气象科学与各行各业的交叉、渗透和融合。

天气学理论与天气预报、气候系统与全球变化的研究论文占比超过50%。近年来环境监测预测的论文有所上升,相比2006年,增多了12.5%。这反映出期刊“以天气气候监测、预报为中心,以报道灾害性天气为重点”的办刊方针,同时也反映出十八大以来重视生态环境的保护,加大环境治理使得相关研究增加。

有259篇论文由1人独著,占文章总数的10.4%。

表1 2006—2017年《气象》主要评价指标

年	综合总被引频次	综合影响因子	他引总引比	基金论文比
2006	1751	1.017	0.7	0.43
2007	2314	1.156	0.76	0.48
2008	2488	1.283	0.77	0.61
2009	3044	1.533	0.75	0.57
2010	3710	2.045	0.65	0.81
2011	3592	1.888	0.68	0.91
2012	3818	1.972	0.7	0.93
2013	4020	1.947	0.79	0.93
2014	4454	2.176	0.8	0.91
2015	4761	2.274	0.8	0.91
2016	4617	2.093	0.81	0.92
2017	4627	2.112	0.83	0.93
增长率	164%	108%	18.5%	116%

收稿日期:2019年2月27日;修回日期:2019年9月2日

在责任机构方面,多机构论文1483篇,占67.53%。在一定时域内,一种期刊的论文合著率,从宏观上可以反映出研究过程中的困难程度和完成研究成果所必需的知识结构。一般来说,合著率越高,学科的发展水平就越高。随着气象事业的不断发展,以及多学科的相互渗透,不仅使论文合著率显著提高,而且也使大气科学领域的科研工作向更高层次发展。

4 栏目论文

表2给出2006—2017年《气象》的栏目设置和载文情况。2009年以前,期刊遵循“面向业务,面向基层,面向应用、面向科研,为气象现代化建设服务”的方针,沿用传统的特色栏目,通过技术交流、台站园地、天气气候评述、气象业务现代化、专业气象服务、防灾减灾等栏目,广泛交流多层次的气象科技研究成果其中,创建于20世纪70年代的“台站园地”栏目在不同时期以讲座和新知识介绍的形式,对于推

动广大气象科技人员知识更新,适应各项新业务的开展,起到了积极的配合作用。八九十年代推出的“专业气象服务”“气象科技兴农”等栏目报道了气象为海洋导航、水利水电、森林火险、海水养殖、旅游气象、桑蚕养殖、草场及畜牧业以及气象与病害等关系的分析研究,从而大大拓宽了气象的服务面。随着气象事业的发展,《气象》在2010年调整了办刊方针,即“以天气气候监测、预报为中心,以报道灾害性天气为重点,面向研究型业务,充分展示气象现代化的最新进展”,同时进行了改版增容,增加了检索条目等,栏目设置也做了相应调整。在这些栏目中,有些是针对某些专题而开设的,比如2010年为庆祝中央气象台成立60周年出的特刊,2012年第10期北京“7·21”特大暴雨分析与研究,2016年第11期“6·23”阜宁龙卷分析与研究,2014—2016年超强厄尔尼诺事件研究等。

表2 2006—2017年《气象》不同栏目的载文情况

年份	研究论文	技术交流	综述和专题评述	天气气候评述	气象论坛	短论	气象业务现代化	专业气象服务	台站园地	防灾减灾	国外动态	知识园地	总篇数
2006	122	63	7	27	1		17	14	7	3			261
2007	157	33	7	28	3				3			1	232
2008	141	38	3	27	4				7		1		221
2009	157	28	1	30	1								217
2010	181	9	17	22		25							254
2011	163	15	4	18	2	13							215
2012	138	20	5	24	4	11							202
2013	155	17	1	25		3							201
2014	130	14	3	25	4	2							178
2015	122	20	1	25	7								175
2016	128	12	4	24	3	1							172
2017	126	10	3	24	1	2							167
合计	1720	279	56	299	30	57	17	14	17	3	1	1	2495

5 论文作者分布统计分析

对作者的区域分布分析,有助于期刊编辑部准确地把握稿件的来源及报道内容的发展方向。通过对2006—2017年所有署名作者的来源区域分布统计(图1),《气象》上发表论文的作者遍及包括香港在内的32个省和地区,其中北京最多、江苏次之。

6 2006—2017年《气象》高被引和高下载率论文情况分析

2006—2017年《气象》高被引前30篇论文集中反映了2007—2012年的一些高影响事件,如“2008年我国大范围雨雪冰冻事件”、雾霾事件、北京“7·21”特大暴雨等,这些相关的分析论文都有较高的引用频次,其中王凌和高辉分别作为第一作者发表在2008年第4期关

于2008年1月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析的两篇论文,被引次数分别达到221和188次,列为第一和第三。另外在前30篇高被引论文中,大多数作者只有1篇入选,丁一汇和陶诗言院士分别有2篇论文入选,表明两位院士是《气象》杂志最具影响力的作者。

下载次数在一定程度上可反映论文被关注的程度,也从另一个侧面反映学术影响力以及学科热点的方向。本文用CNKI中国知网下载次数进行统计,结果表明,丁一汇院士的“空气污染与气候变化”一文高居榜首,下载频次为3125次。高下载的前30篇文章中,有15篇综述类的论文,涉及卫星、台风、强对流、水文、泥石流、极端天气气候事件等领域。俞小鼎、湛芸、孙军等分别撰写的关于北京“7·21”特大暴雨分析的论文也获得了较高的下载率。

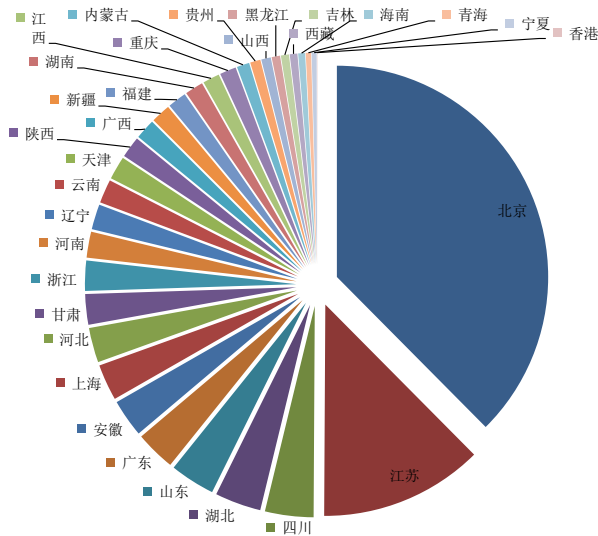


图1 2006—2017年《气象》发表论文的国内作者来源区域分布

7 结语

《气象》是反映我国气象科技发展的重要期刊，

多年来为推动气象科技的发展做出了突出的贡献。《气象》的各项指标反映出期刊近十多年来取得了长足的发展和进步，也是我国气象科技发展整体很好的反映。

气象科学的发展伴随着与各行各业的相互渗透和交叉，使得气象科学成为21世纪以来最有活力的一门科学。加强多单位合作与交流是促进和提高各地气象科研水平的有效途径。

深入阅读

- 安秀芬, 王景文, 黄晓鹏. 2003. 《中国科技期刊研究》1990—2002年的载文分析. 中国科技期刊研究, 14(3): 264-267.
- 方太强, 于淑云. 2000. 90年代《图书情报工作》论文及作者统计分析. 图书情报工作, (1): 22-27.
- 胡英. 2005. 大气科学类核心期刊文献计量分析. 图书情报工作, (3): 20-27.
- 王惠翔. 1993. 十年来我国文献学与文献工作研究论文的调查分析. 冶金高校图书馆, (2): 23-27.

(作者单位: 国家气象中心《气象》编辑部)

(上接56页)

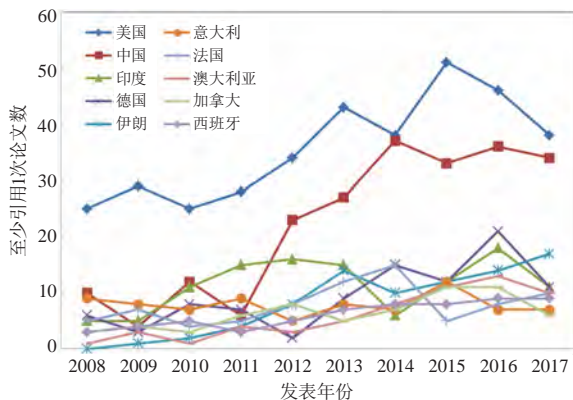


图3 2008—2017年大气科学领域有关人工智能的“至少被引用1次”论文数前十名的国家

学习的回波外推(PREDRNN)的成果,在人工智能领域A类国际会议NIPS(2017年)上取得最好成绩;清华大学研发的基于卷积神经网络技术的短时强降水定量预测方法,在全球顶级学术会议CIKM(2017年)的挑战赛中,在来自中、美、英等10余个国家和地区的1395组选手中排名第1。可见近5年来,人工智能在我国大气科学领域的应用研究呈明显增多趋势,研究成果数量和影响力逐年提升,一些成果取得了国际领先的成绩。

总的来说,由于人工智能领域在原理上并未取得突破性的进展,其技术爆发不是全领域的,仅是利用深度学习在图像和语音识别等几个有限领域取得了成

功。因此,上述国内外应用于气象上的人工智能案例也主要是基于图像识别(如对雷达图像、卫星遥感影像)开展取得的成功。

致谢: 本文由2018年度气象软科学研究项目(指令项目[01])、2018年度气象软科学研究项目(重点项目[04])、2019年度气象软科学研究项目(2019ZDIANXM19)共同资助。

深入阅读

- Lagerquist R, Mcgovern A, Smith T. 2017. Machine learning for real-time prediction of damaging straight-line convective wind. *Weather & Forecasting*, 32(6): 2175-2193.
- Marzban C, Stumpf G J. 1998. A Neural network for damaging wind prediction. *Weather & Forecasting*, 13(1): 151-163.
- Mcgovern A, Elmore K L, Gagne D J, et al. 2017. Using artificial intelligence to improve real-time decision making for high-impact weather. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(10): 2073-2090.
- Williams J K. 2014. Using random forests to diagnose aviation turbulence. *Mach Learn*, 95: 51-70.
- 唐伟, 周勇, 王喆, 等. 2017. 气象预报应用人工智能的现状分析和影响初探. *中国信息化*, 11: 69-72.
- 腾讯研究院, 等. 2017. 人工智能. 北京: 中国人民大学出版社.
- 许小峰. 2018. 从物理模型到智能分析——降低天气预报不确定性的新探索. *气象*, 44(3): 341-350.

(作者单位: 唐伟, 周勇, 中国气象局气象干部培训学院, 中国气象局发展研究中心; 张定媛, 中国气象局气象干部培训学院; 董昊, 天津市气象局; 赵文芳, 北京市气象信息中心)

云南近代气象台站创建历史述略

■ 解明恩 和文农

云南近代气象观测始于清光绪十九年(1893年)的蒙自海关,1899年云南府法国交涉委员署创建云南府(昆明)测候所。在此后的50年间,外国传教士、海关、滇越铁路公司、民间人士、民国“中央政府”、民国“云南地方政府”、民国空军、“中国航空公司”等先后在滇设置过多个测候站所,初步建立了云南近代气象测候站网。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.012

云南地处西南边陲,交通闭塞,地理气候复杂,虽然近代气象事业起步相对较晚,但可供挖掘整理的气象史料丰富。本文拟对云南近代气象测候站网的创建进行综述,以期提高对云南近代气象史的认识。

1 近代云南气象台站概况

1849年俄国教会建立北京地磁气象台,1872年法国教会建立上海徐家汇观象台,标志着中国开始进入近代气象观测时代。云南近代气象观测始于清光绪十九年(1893年)的蒙自海关,1899年云南府法国交涉委员署创建云南府(昆明)测候所。在此后的50年间,外国传教士、海关、滇越铁路公司、民间人士、民国“中央政府”、民国“云南地方政府”、民国空军、“中国航空公司”等先后在滇设置过多个测候站所,初步建立了云南近代气象测候站网,积累了宝贵的气象资料,丰富了对云南天气气候规律的认识。截至1950年3月云南和平解放时,全省仅存9个气象台站,即:昆明太华山气象站、昆明巫家坝机场气象站、沾益机场气象站、昭通机场气象站、蒙自机场气象站、保山机场气象站、大理气象站、玉溪气象站、丽江气象站,气象测候员仅有39人。

近代外国列强、民国政府等在滇设置的气象测候站所,按其行政隶属关系,大致可归纳为四类。

第一类为外国人测候所,包括法国交涉委员署为上海徐家汇观象台设置云南府测候所、法国教会测候所、法国滇越铁路建设公司测候所、英法海关测候所、美国志愿航空队驼锋航线测候站等。

第二类为云南地方测候所,包括私立气象测候所、省立气象测候所、教育与建设部门测候所、农业部门测候所等。

第三类为民国“中央”部门测候站,包括“中

央研究院”气象研究所测候站、民国“中央气象局”测候站、“中国航空公司”测候站、西南联大测候站等。

第四类为民国空军测候站,包括民国云南空军测候站、民国“中央空军”测候站等。

2 外国人测候所

由于云南特殊的地理位置、丰富多样的自然资源和民族文化资源、神秘独特的宗教习俗,在近代是西方传教士、外交官、商人、科学家、探险家喜欢游历、探险、传教、考察的重要地区之一,其中地质学、动植物学、气象学是外国人赴滇科学考察的重点领域。

开设领事馆。1887年法国在蒙自设领事馆,1895年开思茅、河口为对外商埠。1899年法国以办理滇越铁路事务为由,派总领事方苏雅(奥古斯特·费朗索瓦, Auguste Francois)“暂住”省城昆明,办理一切外交事务。1910年法国在昆明设立“法国外交部驻云南府交涉员公署”,法国驻滇总领事改为交涉委员,1932年法国驻蒙自领事馆迁往昆明。1901年英国在腾越(腾冲)设领事馆,1902年英国以商量滇缅铁路边界事宜为由,派领事常驻昆明。1912年英国驻滇总领事馆开馆。1942年日军占领腾冲前夕,英国驻腾冲领事馆关闭。1899年法国传教士开始在云南府天主堂(昆明平正街天主教堂)设立气象观测点,1901年7月改为上海徐家汇观象台所托进行气象观测,是近代云南气象测候的开端。1906年法国人在蒙自天主教堂观测降雨量。1906年法国传教士Pkuline在昆明设气象观测所进行测候6年。2006年2月旅法云南人王益群女士向云南省气象档案馆提供了一份由法国驻滇总领事方苏雅整理的昆明气象资料复印件,记载了昆明

收稿日期:2017年9月7日;修回日期:2018年12月6日

1899—1903年的月平均气温、最低最高气温等记录，佐证了法国传教士在昆明的最早测候记录始于1899年。另据1944年陈一得先生参与编纂的《续云南通志长编（上册）卷十二~二十四》记载：昆明、蒙自气温记录始于1907年，蒙自雨量记录始于1897年，昆明雨量记录始于1902年。

开办海关。1889年设蒙自（Mengtsz）海关。1909年4月滇越铁路通车至蒙自碧色寨，蒙自关在碧色寨设分关。1910年4月滇越铁路全线通车，蒙自关在昆明设云南府分关。蒙自关包括河口、云南府、碧色寨分关和蛮耗、马白分卡。1902年设腾越（Tengyuen）海关，含蛮允、弄璋街分关。1897年设立思茅（Szemao）海关，设猛烈（江城）、易武（勐腊）分关。海关气象观测是在近代中国半殖民地半封建社会背景下创建的，它是外国殖民者为其商贸和航运需要，在中国建立的第一个气象观测站网体系。1853年清政府海关总税务司成立，1863年清政府任命赫德（Robert Hart）为海关总税务司，形成了名义上隶属清政府，实际上由洋人掌控的海关机构。为了获取我国重要口岸的气象情报，1869年11月赫德颁发总税务司通札，要求通商口岸的海关开展气象观测。据海关总署1905年出版的《海关气象工作须知》，全国海关气象观测站自1869年小规模创建，至1905年有41个站进行观测并寄送观测记录至远东5个观象台，云南有3个海关气象观测站名列其中。即腾越（Tengyuen），具体建站时间不详，中国气象档案馆存档记录为1911年1月至1942年3月，疑为1905年以前就有观测。思茅（Szemao），现无存档记录，疑为1905年以前就有观测。蒙自（Mengtsz），现无存档记录，疑为1905年以前就有观测。《海关医报》（Medical Reports）是晚清中国海关将各通商口岸海关医务官撰写的当地医疗卫生报告汇集印发的半年刊。《海关医报》除包括居住城市的卫生概况、疾病流行及居民死亡情况外，还包括与疾病，特别是流行病密切相关的气温、降水信息。《海关医报》为研究清末云南腾越、思茅、蒙自海关气象观测提供了有力的佐证。佳宏伟根据《海关医报》提供的气象信息，整理得出了1902—1910年腾越逐月降水量和最低最高气温，1896—1900年思茅逐月降水日数和1902—1910年逐月最低最高气温，1893年蒙自逐月降水日数和最低最高气温。1893年成为云南目前有据可查的近代气象测候最早开始的年份。

修筑铁路。1895年法国迫使清政府承认其具有滇越铁路的修筑权。1898年根据《中法滇越铁路章

程》，法国获得自越南边界修筑铁路到云南昆明的权利，1901年9月在蒙自成立“滇越铁路建设公司”。1903年开始动工修建，至1910年4月1日通车。滇越铁路从越南海防开始，经河内、老街，进入中国云南境内的河口，经蒙自、开远、华宁、宜良、呈贡至昆明，全长855 km，其中云南段为466 km。为满足滇越铁路运行需要，法国滇越铁路建设公司于1906年滇越铁路铺轨入境起，陆续在云南境内铁路沿线建立了8个气象观测站（其中5个为雨量站），即蒙自测候所、河口测候所、昆明测候所、宜良雨量站、华宁婆兮雨量站、开远雨量站、蒙自芷村雨量站、屏边腊哈底雨量站。气象观测从建站一直持续到1929年或1936年，前后达二十余年，非常遗憾，如今这些宝贵的气象资料已大多失传。表1为清末外国人在滇设置的气象测候所简表。

表1 清末外国人在滇设置的气象测候所简表

序号	站名	隶属机构	建立时间
1	云南府（昆明）测候所	云南府法国交涉委员署	1899—1903
2	云南府（昆明）气象观测所	法国传教士Pkuline	1906.1—1911.12
3	云南府（昆明）气象观测所	不祥	1902—1936
4	蒙自测候所	法国滇越铁路建设公司	1906.1—1932.12
5	河口测候所	法国滇越铁路建设公司	1907.1—1929.12
6	昆明测候所	法国滇越铁路建设公司	1907.1—1929.12
7	宜良雨量站	法国滇越铁路建设公司	1912—1936
8	华宁婆兮雨量站	法国滇越铁路建设公司	1912—1936
9	开远雨量站	法国滇越铁路建设公司	1912—1936
10	屏边腊哈底雨量站	法国滇越铁路建设公司	1918—1936
11	蒙自芷村雨量站	法国滇越铁路建设公司	1918—1936
12	腾越海关测候所（英）	海关总署海岸稽查处	1911—1942（1902年）
13	蒙自海关测候所（法）	海关总署海岸稽查处	1905年前（1893年）
14	思茅海关测候所（法）	海关总署海岸稽查处	1905年前（1896年）

注：括号内年份根据《海关医报》推算而得。

3 云南地方测候所

按照北洋政府农商部要求，杨文清、张祖荫、陈葆仁等于1915年5—12月在云南省甲种农业学校（东陆大学旧贡院，今云南大学会泽楼后边）创办了“云南气象测候所”，是云南人从事气象测候工作的最早记录。该所于1920年1月正式观测，可惜因战乱和经费原因，测候仅坚持了4年，于1923年底停办。

20世纪20—30年代，“云南省县级地方政府”教育局、建设局、棉业推广所等机构在各地相继设立气象测候所。这些观测记录短暂或断断续续，缺乏连续性和完整性。据云南省气象档案馆提供的资料，民国期间“云南省地方政府”所设置的气象测候所大致情

况如下。

3.1 一得私立测候所

陈一得(1886—1958年),原名陈秉仁,字彝德,是云南近代气象、天文、地震事业的先驱。1927年7月陈一得先生在昆明创办了中国第二个私人测候所——“昆明私立一得测候所”,又称“昆明市代用气象测候所”,是云南人自己办气象的开始。一得测候所位于昆明市钱局街83号(102°42'E, 25°03'N, 海拔1922.1 m)。每日3次观测,观测时间为105°E时区标准时的06、14、21时,观测项目有气压、气温、湿度、蒸发量、能见度、云量云状云向、风向风速、降水量、天气现象等。从1930年开始,一得测候所每年定期编发《昆明市气象年报》《昆明市代用测候所概览》等并呈报“昆明市政府”、“中央研究院”气象研究所、上海徐家汇观象台等。1936年6月,云南省教育厅主持成立“省立昆明气象测候所”,聘陈一得为首任所长。鉴于省立昆明气象测候所当时建筑设备尚未竣工,故仍在一得测候所原址继续进行气象观测。1938年5月省立昆明气象测候所迁至新址昆明太华山,一得测候所停止观测。

3.2 省立昆明气象测候所

1936年6月1日成立省立昆明气象测候所,隶属省教育厅,位于昆明西郊太华山顶(102°37'E, 24°57'N, 海拔2358.3 m),正式气象观测始于1938年5月。所长陈一得、测算员2人、电报员1人、书记员(兼事务员、仪器管理员)2人,建立了昆明气象测候所的组织简章、观测凡例、办事细则。地面气象观测项目完整,每天24次观测记录和发报,编制气象记录月报、季报、年报。1945年6月陈一得先生辞职后,昆明气象测候所移交昆明科学馆管理,测候业务持续到1953年3月云南军区司令部气象科接管并保持至今。现为太华山国家基准气候站,是云南连续气象观测时间最长的气象台站,在昆明气象测候所旧址建成了“云南气象博物馆”。

3.3 云南省地方教育部门设置的测候所

除1936年设立的省立昆明气象测候所外,1915—1938年民国“云南省地方政府”教育部门先后设置的气象测候所还有19个。各县教育局所属气象测候所主要观测项目有气温、风向风力、天气或只有气温、降水,每日一一般观测2次(07时、14时),观测时制不明。

3.4 云南省地方建设部门设置的测候所

1932—1941年民国“云南省地方政府”建设部门

先后设置的气象测候所有27个。各县建设局所属气象测候所主要观测项目有温度、湿度、降水、云、能见度、风、天气概况等,每日07时、14时2次观测,观测时制不明。

3.5 云南省地方棉业推广所设置的测候站

1933年云南省实业厅拟定“发展云南棉业计划”,开始在部分地区设立棉业试验场和棉业推广所,并在试验场和推广所附设气象测候站,共计8个。各测站主要观测项目有气温、湿度、云量云状、降水量、能见度、风、天气概况等。观测时间为105°E时区标准时的06、14、21时3次,或06、14时2次。除宾川站观测时间达7年外,其余站点均不足1年。

3.6 云南省其他地方机构设置的测候站

1920—1948年云南省其他地方机构还设置了32个气象测候站,进行短暂和简易的气象观测,其中会泽(东川)、元江、大理喜洲等站观测时间超过10年。

4 民国“中央部门”测候所

1927年4月南京国民政府成立,1928年6月成立“中央研究院”,1929年1月“中央研究院”气象研究所成立,1941年10月民国“中央气象局”成立。1942年气象研究所将建立和管理全国气象台站的任务和天气预报移交“中央气象局”。1947年民国“中央气象局”对全国气象台站网的设置进行了调整和布局,将气象台站分为气象台、气象站、测候所、雨量站四级。1939年12月至1950年3月民国“中央气象局”、“中国航空公司”、西南联合大学等先后在滇设置气象测候所8个(表2)。

大理测候所1939年12月由气象研究所与国民政府经济部水利司合作创办,1942年1月移交民国“中央气象局”管辖,其气象观测延续到建国后。保山测候所1941年1月由气象研究所与国民政府经济部水利司合作创办,1942年1月移交民国“中央气象局”管辖,1942年5月撤迁至丽江,另建“丽江测候所”,保山测候所的气象观测记录止于1942年4月。丽江测候所1942年5月由保山测候所迁至丽江后设立,1943年1月开始气象观测,观测记录延续到建国后。玉溪测候所1943年12月由民国“中央气象局”建立,其观测记录延续到新中国成立后。

在中国大陆组建气象站网,是二战时期美军与军统局开办“中美合作所”的主要目的之一。1944年5月,气象训练班第一期学员毕业后就开始到重要城市建立气象站,首批5个站中就有昆明。“中美合作

表2 民国“中央部门”在滇设置的气象测候所简表

序号	站名	建立时间
1	大理气象测候所	1939.12—1950.3
2	保山气象测候所	1941.1—1942.5
3	丽江气象测候所	1942.5—1950.3
4	玉溪气象测候所	1943.12—1950.3
5	昆明气象站	1945.10—1946.8 (中美合作所)
		1946.9—1947.5 (民国国防部二厅)
		1947.6—1948.1 (民国“中央气象局”)
	昆明气象台	1948.2—1949.12 (民国“中央气象局”)
6	“中国航空公司”昆明航站气象台	1943.3—1945.8
7	云龙导航台测候所	1944—1945.8
8	清华大学高空气象台观测站(嵩明)	1939.10—1944.4

所”气象站业务直接由“中美合作所”气象组指挥，行政上隶属当地的军统特务组领导。1946年3月“中美合作所”解散。8月“中美合作所”上海气象总站及所属气象台站改隶国防部二厅管辖，经调整改编后，所属气象台站41处，其中昆明属于二等测候站，每日4次地面观测、2次高空风观测。1947年6月，根据国民政府行政院训令，国防部二厅所属41个台站的气象人员归属民国“中央气象局”，通讯人员归并到民用航空局电讯总台。

1929年5月“中国航空公司”成立，1930年8月与美国飞运公司联合成立新的“中国航空公司”。抗日战争爆发后，中航相继开辟昆明—仰光、昆明—河内、重庆—昆明—汀江（印度）—加尔各答（印度）等国际航线，其中汀江—昆明、汀江—叙府（宜宾）、汀江—泸州三条航线的“驼峰空运”，是中航在抗日战争后期担负的主要航空运输任务。1942年5月—1945年9月中航公司飞机飞越“驼峰航线”共8万多架次，运输物资5万余吨。为保障航线的飞行安全，中航在航线上设有电台（昆明、云南驿、丽江、云龙、保山、汀江、葡萄等），重要机场派驻专职气象员进行航空气象保障，其他机场均由受过短期训练的报务员兼任。设立昆明巫家坝（1943年3月）、印度汀江（1942年4月）、印度加尔各答（1943年3月）、缅甸葡萄（1945年1月）、缅甸八莫（1945年10月）等机场气象观测站。驼峰航线上云南境内的主要备降机场有呈贡、昆阳、羊街、陆良、沾益、昭通、云南驿、腾冲、保山、丽江。汀江机场气象站提供汀江到昆明沿线半小时一次的天气报告、驼峰航线天气预报以及汀江、昆明航站的天气实况及预报。

1939年秋，赵九章先生作为西南联合大学所属的清华大学航空研究所高空气象组的负责人，在昆明嵩明县城西的灵应山建立了“清华大学航空研究所高空气象台”，开展地面气象观测和高空气象探测试验，

为美国航空队提供气象服务。派人协助盟军举办无线电探空仪训练班，为驻昆“中国空军”培训了5批气象员。赵九章等更是想方设法，成功自行设计制造了水银气压表，并代制国内紧缺的水银气压表数十具，使各地的气象台站得以继续观测，赢得了国内气象界的好评。

5 民国空军测候所

1922—1950年，民国云南空军、民国“中央空军”和美国航空队先后在滇设置气象测候所11个（表3）。

1922年唐继尧主持滇政后着手创建云南空军，设立云南航空处、修筑昆明巫家坝机场、创办云南航空学校，云南航校是继1913年北京“南苑航校”之后创办的全国第二所航校。云南空军自1922年建立以后直到1937年抗战爆发，云南航空队仅有20余架飞机。1937年“中央航校”迁到昆明巫家坝机场接管云南航空队。据有关资料统计，抗战前云南建有27个机场（或飞行跑道），抗战爆发后，云南因军事需要修建了40个机场，民国期间云南共建有67个机场，著名机场有昆明巫家坝、云南驿（祥云）、昭通、沾益、陆良、蒙自、保山、丽江等。昆明巫家坝机场因其重要的战略位置成为最主要的空军基地之一，1941年后美国陈纳德将军率领的“飞虎队”总部就驻扎在巫家坝机场，是当时全球最繁忙的国际机场之一。

据王宪钊、张丙辰两位前辈回忆，被称为“飞虎队”的美国援华志愿航空队（1943年扩编为美国陆军第14航空队）在抗战中后期也是“驼峰航线”的主要经营者，美军在印度、缅甸设有少量的机场气象台，在国内10个机场设有无线电探空和高空测风站（聘有少量中方雇员），印度汀江机场和昆明巫家坝机场设立的气象台与中航公司机场气象台相互交换气象情报，美军重点提供密支那、新背洋、汀江附近备降机

表3 民国空军及美国航空队在滇设置的气象测候所简表

序号	站名	建立时间
1	昆明航空站测候台（巫家坝）	1922—1939（云南空军）
	昆明机场气象区台（巫家坝）	1939—1947.1（民国空军第五总站）
	昆明机场气象台（巫家坝）	1947.2—1950.3（民国空军第五气象大队）
2	蒙自航空站测候台	1925.8—1939（云南空军）
		1939—1947.1（民国空军第五总站）
		1947.2—1950.3（民国空军第五气象大队）
3	保山航空站测候台	1939—1950
4	会泽航空站观测站	1939.11—1949
5	陆良航空站观测站	1939.11—1949
6	沾益航空站测候台	1939—1950.3
7	丽江航空站测候台	1943—1950
8	云南驿机场气象台	1944—1950
9	昭通航空站测候台	1945.1—1950.3
10	美国航空队昆明航空站气象台	1944.5—1945.8
11	美国航空队沾益航空天气预报台	1944.5—1945.8

场天气报告，昆明、汀江的高空测风和无线电探空。在昆明成立的中美空军混合团司令部由人事、情报、作战、后勤4个科和通信、气象2个室组成，其中气象室由5人构成（美方2人、中方3人），具体负责绘制地面和高空天气图并提供未来36小时预报。1943—1944年“中国航空公司”和美国航空队先后在昆明巫家坝建立机场气象站并开展腾冲、保山、云龙、丽江、云南驿、昭通、沾益、陆良、羊街、呈贡、昆阳等备用机场的航线、航站气象保障工作。

1937年8月“中央航空学校”西迁昆明，更名为昆明空军军官学校，昆明空军军官学校设有测候训练班和气象台。1939年1月航空委员会迁至重庆，成立航空委员会气象总台，负责向航空委员会及有关部门提供气象情报和气象预报并综管全国各地空军气象台的技术督导工作。为了配合美英盟军对日作战，航空委员会在全国各军事重镇设立了16个空军总站，总站设有测候区台，测候区台下设若干机场测候台，并在中国西南地区建立了较为密集的测候站网，以便开展气象观测和空军飞行气象保障服务，其中在云南相继设立的空军总站测候区台有：空军第四总站（沾益）、空军第五总站（昆明）。1944年底昆明空军军官学校测候训练班迁成都凤凰山并入成都空军通信学校，设立凤凰山实习气象台。抗战胜利后，航空委员会重庆气象总台迁回南京。1946年国民政府航空委员会改组成立空军总司令部并将全国划分5个空军军区。1947年2月空军总司令部所属气象总台、测候区台、测候台，分别改编为气象总队、气象大队，云南所属的重庆空军军区区设置为第五气象大队，仿照美军建制，更名为505气象大队。

据邓士英先生回忆，1944年昆明空军气象台（巫

家坝）有台长1人，测候员2人（1人做预报，1人管测报）。测候士5人，担任航空报的测报，每日8次补助绘图的测报和报表制作，1日2次经纬仪小球测风等，另有填图员1人、事务员1人、文书1人、测候兵2人、炊事兵1人。台站设置方面，除有昆明空军军官学校气象台、美空军气象台外，还有沾益、昭通、陆良、云南驿、保山等测候台站。

6 结语

云南近代气象观测始于清光绪十九年（1893年）的蒙自海关，1899年云南府法国交涉委员署创建云南府（昆明）测候所。1927年陈一得先生创建的“昆明私立一得测候所”是中国第二个私人测候所，1936年设立的昆明气象测候所（太华山）是目前云南省连续气象观测时间和保留站址最长的气象站。清末至民国时期，外国传教士、领事、海关、滇越铁路公司、陈一得、民国“中央政府”、民国“云南省地方政府”、民国空军、美国盟军、中航公司、西南联大等先后在滇设置过多个测候站所，几乎涵盖滇省全境，形成了云南近代气象测候站网的雏形。

深入阅读

- 郭亚非, 张敏, 1995. 试论云南近代海关. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 27(2): 39-44.
- 马肇元, 2004. 中美空军在云南的抗战. 昆明: 云南人民出版社.
- 吴增祥, 2014. 1949年以前我国气象台站创建历史概述. 气象科技进展, 4(6): 60-66.
- 中国近代气象史资料编委会, 1995. 中国近代气象史资料. 北京: 气象出版社.
- 周继厚, 2016. 抗战时期的机场建设. 云南档案, 12: 15-19.
- 朱伟, 2014. 民国时期云南空军的发展研究. 漯河职业技术学院学报, 13(1): 89-90.

（作者单位：云南省气象台）

重庆市北碚区气象局的前世今生

■ 吉莉

北碚气象局的前身是“中国西部科学院”下设的农林研究所附设的气象测候所。北碚测候所成立后，每天除观测天候、雨量、湿度、温度外，还将每月气象情况汇总，上报四川省建设厅，以便安排农事活动。同时还编辑出版16开本的《气象月刊》，主要刊载当月所测的北碚气象实况。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.013

重庆市北碚区位于重庆市区西北郊的缙云山下，嘉陵江畔，东接渝北区、南连沙坪坝区、西界璧山区、北邻合川区，是重庆都市功能拓展区和两江新区的重要板块。幅员面积755 km²，常住人口80万人，辖9个街道、8个镇。北碚区于20世纪20年代末，由爱国实业家卢作孚先生开拓，抗战时期为陪都迁建区，又被誉为“陪都的陪都”，是重庆的历史文化名城。

北碚气象局同样拥有悠久的建站历史，历经多次搬迁更名，随着近百年历史的变迁，在见证历史的同时，也成为了历史的一部分。

1 “中国西部科学院”测候所的建立

北碚气象局的前身是“中国西部科学院”（图1）下设的农林研究所附设的气象测候所。“中国西部科学院”是中国近代著名爱国实业家卢作孚在1930年9月中国西部地区的第一家民办科学院。成立之初，下设机构只设有工业化验所、农事试验场、博物馆、兼



图1 中国西部科学院旧址

善中学四个单位，后来相继成立了总务处和理化、地质、生物、农林四个研究所。

西部科学院农林研究所于1931年4月成立，当时称为农事试验场。农林所设主任1人、助员4人、工役3人，下设各部由事务员和技术员若干人组成。所主任为刘振书，聘请刘雨若（农学家）主持研究工作。测候部（气象测报）作为农林研究所下属机构，主要作用是为改进农业，以便安排农事活动。

“中国西部科学院”农林研究所下属测候部在1931年开始进行了持续3年的气象观测。于1934年12月19日，正式成立测候所并开始气象观测与记录工作，并将每月气象情况汇总，上报四川省建设厅，以便安排农事活动。另一说法根据北碚气象局本局的历史沿革记录，北碚气象局的前身“中国西部科学院”北碚测候所，正式成立于1935年1月1日（表1）。

北碚测候所最初建立的时候，位于重庆北碚的东阳镇石子山（29°49'N、106°20'E；海拔298.2 m）上，地势开阔，便于观测。后来与1942年初迁至朝阳镇的水岚垭山顶（29°50'N、106°25'E；海拔258.5 m），持续观测到1945年底。1946年1月1日，“中央气象局”正式接管“中国西部科学院”附属的北碚测候所。

1935年北碚测候所成立后，每天除观测天候、雨量、湿度、温度外，还将每月气象情况汇总，上报四川省建设厅，以便安排农事活动。同时还编辑出版16开本的《气象月刊》，主要刊载当月所测的北碚气象实况。

收稿日期：2017年9月19日；修回日期：2019年3月15日

表1 1937年四川气象测候所名册 (共计151个)

类别	地点
三等所:	内江、乐山、遂宁
	四等所: 温江、灌县、新津、资中、资阳、荣县、仁寿、简阳、井研、永川、江津、合川、荣昌、綦江、大足、浦江、大邑、彭山、洪雅、青神、名山、屏山、马边、峨边、雷波、犍为、峨边、南化、庆符、江安、兴文、珙县、筠连、泸县、叙永、富顺、合江、古蔺、酉阳、涪陵、丰都、南川、彭水、黔江、秀山、石柱、奉节、开县、忠县、巫山、云阳、城口、大竹、广安、梁山、垫江、长寿、南充、蓬安、南部、安岳、绵阳、广汉、安县、什邡、剑阁、广元、江油、阆中、昭化、北川、平武、达县、巴中、通江、南江、茂县、理番、懋功、梓潼、新繁、铜梁、汉川、华阳、成都、宜宾、巴县、江北、松潘、西昌、盐源、宝兴、会理、汉源、荣经、芦山、天全、雅安、冕宁、延边、越西、全阳、崇庆、新都、郫县、彭县、崇宁、威远、璧山、眉山、邛崃、夹江、丹棱、长宁、纳溪、古宋、万县、渠县、邻水、岳池、苍溪、营山、武胜、西充、仪陇、射洪、盐亭、绵竹、德阳、金堂、罗江、彰明、开江、宣汉、万源、隆昌、双流
省政府系统 (144个)	
教育系统 (2个)	四川大学测候所(成都)、重庆大学测候所(沙坪坝)
其他系统 (2个)	重庆海关测候所、“中国西部科学院”北碚测候所

2 “中央气象局”北碚测候所的合并

1939—1946年,北碚地区的气象机构同时存在的还有一个“中央气象研究所”(原南京北极阁气象台)。它成立的背景是:由于1937年抗日战争爆发,“中央气象研究所”被迫从南京迁至汉口,由于汉口租住的广东银行四楼12间房已不够用,加上敌机常来骚扰,工作受到影响,气象研究所决定分批次迁往重庆,同年11月,南京北极阁气象台停止气象观测。1939年,日本侵略军对重庆实施的“五三”“五四”大轰炸对人民生命财产造成重大损失。因工作需要,除天气预报部分暂留颖庐外,“中央气象研究所”其余部分于5月11日从重庆市撤离,13日抵达郊区北碚,暂借西部科学院图书馆办公。“中央气象研究所”在重庆北碚张家坨租赁三栋房屋作为临时办公地点,并设有测候所,进行了两次短期的连续气象观测。大气组因为设备较多、搬迁不易,仍然留在重庆市。后来因为与北碚的机构联系不方便,大气组也于1939年10月2日迁至北碚,由于大气组负责的气象观测所需观测场有特殊要求,因此也只得暂时借住在“中国西部科学院”。

1940年3月,竺可桢先生到北碚视察工作,决定在北碚象山购买土地,修建办公用房、宿舍及观测场。同年11月全部竣工,命名为“象庄”。1940年12月,气象研究所由北碚张家坨迁入水井湾象庄,12月30日,气象研究所建立的水井湾象庄地面观测场(29°50'N、106°25'E)正式启用,每日观测6次,观

测时间为120°E时区标准时的05、08、11、13、17、20时。1946年元旦起,“中央气象局”正式接管“中国西部科学院”附属的北碚测候所。5月18日,北碚测候所迁至北碚象庄气象研究所原址。并且在当年的元旦起观测时间改为105°E时区的07、13、21时三次。这些测候所统称为“中央气象局北碚测候所”。

1940年“中央气象研究所”在北碚缙云山设立测候所(表2)。1946年1月20日,“中央气象研究所”在北碚缙云山设立的测候所转交“中央气象局”北碚测候所管理,改名为北碚测候所缙云山分所。

表2 民国30年(1941年)四川气象测候所名册(共计149个)

类别	地点
一等所:	四川气象测候所(成都市)
三等所:	内江、乐山、遂宁、汶川、雷波、酉阳
四等所:	温江、灌县、新津、资中、资阳、荣县、仁寿、简阳、井研、永川、江津、合川、荣昌、綦江、大足、双流、大邑、彭山、洪雅、青神、名山、屏山、马边、峨边、高县、犍为、峨边、南溪、庆符、江安、兴文、珙县、筠连、泸县、叙永、富顺、合江、古蔺、巫溪、涪陵、丰都、南川、彭水、黔江、秀山、石柱、奉节、开县、忠县、巫山、云阳、城口、大竹、广安、梁山、垫江、长寿、南充、蓬安、南部、安岳、中江、三台、潼南、蓬溪、乐至、绵阳、广汉、安县、什邡、江油、阆中、昭化、北川、平武、达县、巴中、通江、南江、茂县、理番、梓潼、
雨量站:	崇庆、新都、郫县、彭县、新繁、崇宁、威远、璧山、铜梁、眉山、邛崃、夹江、丹棱、长宁、纳溪、古宋、万县、渠县、邻水、岳池、营山、武胜、西充、仪陇、射洪、盐亭、绵竹、德阳、金堂、罗江、彰明、开江、宣汉、万源、隆昌、
教育系统 (1个)	四川大学测候所(成都)
中央系统 (8个)	扬子江水利委员会宜宾测候所、“中央气象局”重庆大学(沙坪坝)测候所、“中央研究院”气象研究所北碚(缙云山)测候所、“中央研究院”气象研究所松潘测候所、“中央研究院”气象研究所广元测候所、重庆海关测候所、“中国西部科学院”北碚(朝阳镇水岚垭)测候所、“中国西部科学院”北碚测候所
西康省政府系统 (14个)	省会所: 康定 三等所: 西昌、泰宁、雅安 四等所: 会理、芦山、巴安 雨量站: 雅江、得荣、道孚、丹巴、理化、泸定、白玉

3 北碚气象局的现代转型

1949年12月成都解放后,在当时的背景下,气象工作的首要任务是军事和航空服务。1950年1月重庆市军管会接管北碚测候所,隶属西南军区航空处,撤消办事处,保留重庆气象台(今沙坪坝气象局),北碚更名为中央气象局测候所;8月16日西南军区司令部气象处在重庆气象台的基础上成立,1950年8月20日更名为中国人民解放军西南军区司令部北碚气象站。根据四川军区第4号命令,1953年1月1日更名为中国人民解放军四川军区北碚市气象站。1953年8月1日,中央决定各级军事气象组织逐级分期转到政府系

统建制，配合国民经济建设。1954年1月1日更名为重庆市北碚气象站（图2）。



图2 北碚区气象局五十年代的办公楼

1956年11月1日，国务院第七办公室批复中央气象局，同意将所属各中心气象台划归各省气象局建制。1958年6月1日更名为重庆市北碚区水文气象站；1964年10月1日更名为四川省重庆市北碚气候站；1966年1月1日更名为四川省重庆市北碚气象站；1969年5月1日更名为四川省重庆市气象台革命委员会北碚气象站；1971年9月1日四川省重庆市北碚气象站；1990年6月14日更名为重庆市北碚区气象局至今。

4 北碚气象精神的传承

北碚气象在经历了艰难曲折、不平凡的近百年历史之后，在战争、动乱等多方面因素的影响下仍然

坚持中长期的连续的观测，并保存下来，是北碚气象人的宝贵遗产。在北碚气象发展的过程中，大量的老一辈气象工作者做了许多开创性的工作和杰出的贡献（图3）。他们是北碚气象的宝贵财富，也是北碚气象事业发展中不可缺少的一部分，新时代的北碚气象工作者更应该继承他们为气象事业奋斗终身的可贵精神，继续推动北碚气象事业发展。



图3 北碚局预报员正在使用高频电话

深入阅读

吴增祥, 2007. 中国近代气象台站. 北京: 气象出版社.
曾旭, 2012. 四川气象事业近代化的历程——以四川气象测候所为中心的考察. 成都: 四川师范大学.
赵宇晓, 陈益升, 1991. 中国西部科学院. 中国科技史料, 12(2): 72-83.
竺可桢, 2005. 竺可桢全集（第7卷）. 上海: 上海科技教育出版社.

（作者单位：重庆市北碚区气象局）

集合预报：预报新观念的25年

贾朋群

中国学者熟悉的《英国皇家气象学会季刊》(QJRMS) 2019年9月推出“集合预报25年”专题增刊，增刊的13篇文章较为深入地讨论了集合预报的方方面面，尤其是在数值天气预报成功运行了近70年，人类逐步完善解决用机器制作短期确定性天气预报科学问题的时候，为什么还要挖掘包括集合预报在内的新技术，从理念发展和面对预报科学问题给出更加完整的解决方案等角度，进行了解读、回顾。同时对大约与历史同样长度的未来，集合预报会走向何方进行了探索。

专辑在给出背景导言、过去和未来25年回顾与展望和集合预报历史发展演化分析3篇评述文章后，就相关的混合增益算法、辐射不确定性、对流集合、集合系统体量的大小和调整、北大西洋涛动、海洋集合、气溶胶多模式集合预报现状和概率预报等科学问题，展开了较为深入的

研究进展归纳。

本专辑的出版，为全球主要预报中心集合预报的业务和研究人员，提供了一个全面审视和思考这一目前最重要的预报方法的发展规律的机会，专辑针对未来集合预报发展方向很多细节的讨论，尤其是2019年7月美国CLIVAR项目召开了以“大集合”为主题的学术会，提出的集合方法在较长时间尺度地球系统模式预测中应用的新观念和做法，或许提示我们集合的思想和方法，在未来地球系统模拟中会有更大的作为。

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）



20世纪上半叶苏联在新疆开展气象活动的研究

■ 李冬梅 任宜勇 张静

以苏联在新疆建立的气象站为对象,以历史沿革为坐标系,厘清苏联20世纪上半叶在新疆开展气象活动的事实及目的,为新时代新疆气象事业发展提供经验,为国家气象安全提供历史借鉴。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.014

20世纪上半叶,新疆经济社会发展迟缓。苏联为了把新疆作为自己的势力范围,在多处或军事、水利、农业等不同领域建立气象台(站),以观察气象为借口获取气象资源,这一行为延续到新疆和平解放(1949年)。同样,英国人、日本人在和阗(今和田,下同)、阿克苏等地也有气象活动的记载。本文研究的对象是苏联,意在通过其在新疆建立气象台以及开展各类气象活动的研究,挖掘这一时期苏联格外关注和广泛涉猎新疆气象领域的深层次原因,并分析此举对新疆政治、经济、社会发展的影响。

1 外国人在新疆从事气象活动的基本情况

在新疆气象档案馆馆藏资料的基础上,对1900年后外国人在新疆形成的观测资料进行梳理和分类,渐次形成比较清晰的脉络,特别是苏联在新疆建立气象台站的有关情况,包括:台站分布、技术方式、活动目的等;同时,查阅地方档案材料,力图最大程度掌

握苏联在新疆开展气象活动的情况。

根据《新疆通志第10卷·气象志》,清朝末期和中华民国期间,即1850—1949年,新疆陆续建过一些地面测候所,观测时次不统一,记录不连续。新疆最早的气象观测活动始于1893年12月俄国人罗波洛夫斯基等在鄯善鲁克沁建立的测候所,进行定时观测,持续到1895年10月。1907—1908年,在迪化农林试验场内设立有简易气候站,按照二十四节气观测气温,该站由俄国专家帮助建立,原始资料存于俄国科学院。1914年,北洋政府在迪化东门外农林试验场设立中国人自己建立的第一个气象台,并派技士二人驻所观测,由于经费不足,不久即停办。

从19世纪中叶到20世纪30年代,即1850—1939年,据记载,有8个国家55人次先后深入新疆,独立或与中国联合考察、探险,其中俄国25人次,明确涉及气象考察活动的有8次,其中俄国6次(表1)。

表1 外国人1850—1939年间独立或与中国联合在新疆开展的涉及气象的考察

时间	国别	人员	考察地点	考察内容
1868年	俄国	布尼亚可夫斯基、莱因特尔等	天山等	气象观测
1877年6月	俄国	普尔热瓦斯基等	伊宁、塔里木河等	气象观测
1879年1月	俄国	普尔热瓦斯基等	哈密、阿勒泰等	气象观测
1885年1月	俄国	普尔热瓦斯基等	罗布泊、塔什库尔干等	气象观测
1893—1895年	俄国	罗波洛夫斯基等	鲁克沁、哈密、迪化等	设立测候所气象观测
1893年	俄国	克莱门茨等	吐鲁番、阿勒泰等	气象观测气候调查
1928年1月—1931年2月	中瑞联合	中方徐旭生等 瑞方斯文赫定等	迪化、天池、婁羌、库车 鄯善、吐鲁番、和田等	设立测候所地面、高空观测
1931年7月—1932年2月	中法联合	中方褚民谊、李煜瀛等 法方卜安、彼甘等	哈密、阿克苏、库车、迪化等	气象观测

可见,俄国派遣所谓“探险队”、“考察团”的规模最大,次数最多,其中最著名的就是俄国探险家普尔热瓦斯基。

1929—1949年,苏联、德国、瑞典、日本都曾

在新疆进行过气象观测活动,建立或参与建立气象观测站数十个,涉及迪化(今乌鲁木齐,下同)、阿山(今阿勒泰,下同)、塔城、哈密、吐鲁番、昌吉、奇台、鄯善、镇西(今巴里坤,下同)、婁羌(今若

收稿日期:2019年3月10日;修回日期:2019年8月20日

羌)、焉耆、库车、阿克苏、喀什、和阗、伊犁等地。由于时局动乱、机构变化、政权变动等原因,这些台站资料观测时间较短,保存较少,绝大多数被外国人带走或失传,还有一部分存于台湾或损毁,仅留下残缺不全的原始记录表(簿)散存各处。

新疆气象档案馆现存最早的气象观测记录,是1929年库车气象站用英文记录的《气象报告书》,在1930年6月21日的气象报告书上出现了汉语(图1);1938年阿山、1939年焉耆、1942年哈密气象站的记录表均为俄文(图2、图3),此外,塔城、吐鲁番、迪化等气象站均有苏联技术人员参与的痕迹。

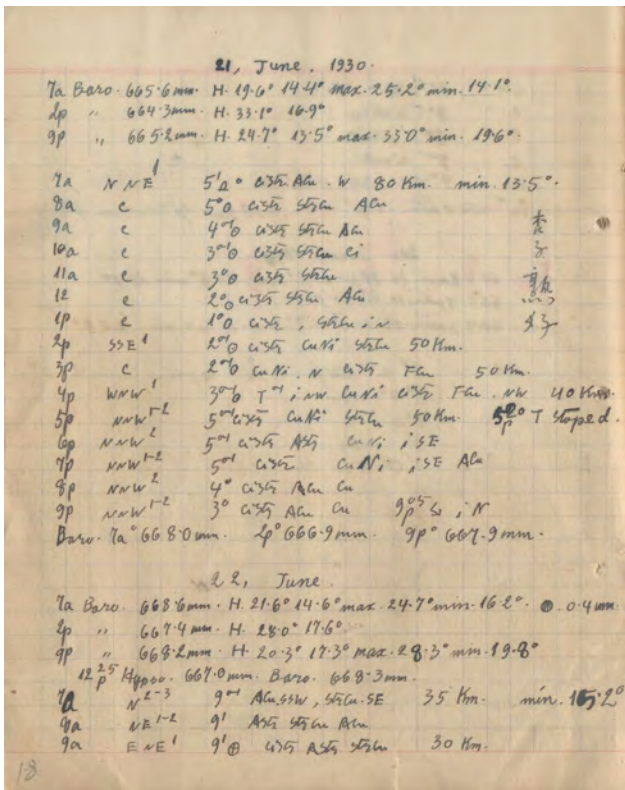


图1 库车1930年6月21日气象报告书

据《西方气象科技引进与中国气象事业近代化》,“近代以来,中国始终没有成立统一管理气象事业的行政机关,气象事业一直被外国人所操控。”“1941年8月,‘行政院’发文成立‘中央气象局’,开始接管各级气象机构”。加之盛世才主新后期(1938—1944年),随着国际国内形势的变化,盛苏关系破裂,盛世才开始驱逐外国势力,苏联在新疆开展气象活动的规模趋于萎缩,直至新中国成立前期,中央气象局全面管辖新疆区域的气象台(站、所),苏联在新疆的气象活动全面终结。

2 苏联在疆开展气象活动的基本特征

1949年以前,有苏联参与的气象观测活动基本

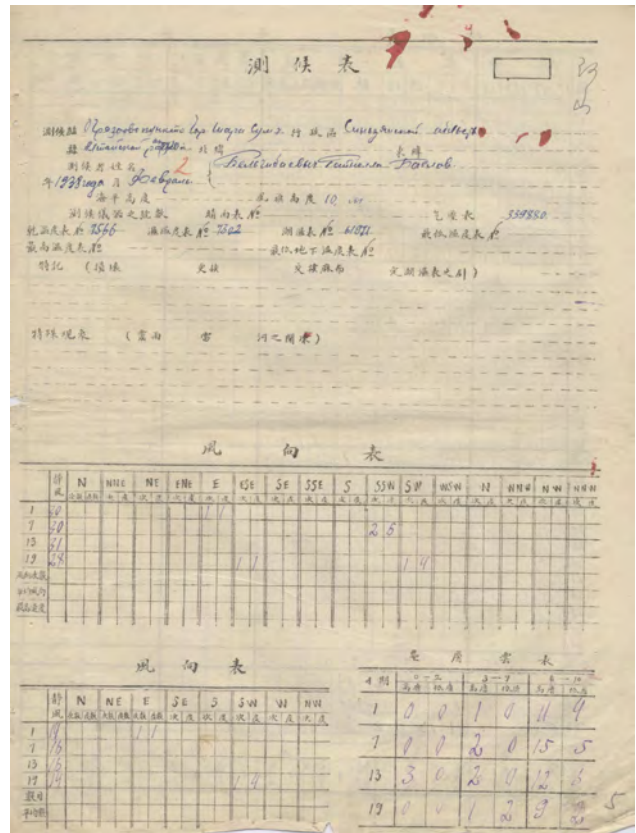


图2 阿山(阿勒泰)气象站1938年的气象测候表

分布于新疆全境,既有最北侧的阿山、塔城,也有最南边的和阗,还有东边的哈密、镇西,西边的喀什、伊犁,以及天山两侧的迪化、昌吉、奇台、吐鲁番、焉耆、库车等,但台站数量较少,气候代表性严重不足。

观测项目呈逐步增多的态势。如库车气象站观测资料从1929年10月至1930年6月,观测项目有气温、气压、风向、风速、云量、云状、能见度、天气现象等。其次是迪化(图4)从1937年1月开始观测,项目有:气温、气压、风向、风速、云量、云状、能见度、天气现象及相对湿度、地温、积雪深度等。阿山测候所观测记录从1938年1月至1942年3月,观测项目有气温、气压、风向、风速、云量、云状、能见度、天气现象及相对湿度、积雪深度等。另外,吐鲁番、焉耆、伊犁、和阗、喀什、塔城等地的气象观测活动,从1938—1943年陆续开始,持续一年至数年不等,观测项目与前述三站大同小异,北疆多了积雪深度的观测项目。

观测时次是一天四次定时观测,时间以当地平均太阳时为标准,即90°E为标准时,改为世界标准时应减6小时。四次观测较为普遍,时间分别是当地时间

Управление Единой Гидро-Метеорологической Службы

ТАБЛИЦА метеорологических наблюдений

Станция: Район: Область: Долгота:

Заведующий и наблюдатели: Гол. наблюдатель: Гол. записывающий:

Высота флюгера над уровнем моря: Высота флюгера над поверхностью земли:

Номер прибора, служащих для наблюдений: Барометр №: Анероид №: Сухой термометр №: Смоченный термометр №: Гигрометр №: Миним. термом. №: Максимальный термом. на почве, почва №: Общее примечание (повреждения и замена приборов, смена батиста, перевод стрелки гигрометра и т. п.):

Особые явления (ливни, грозы, вскрытие и замерзание рек и т. п.):

ТАБЛИЦА ВЕТРОВ

В заголовках столбцов «ч» означает число наблюдений с ветром данного направления, а «с» соответствующую сумму скоростей

Знаменатель	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1	20	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	5	2	2	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	11	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Суммы	48	5	9	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средн.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ис. скор.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

图3 1939年6月焉耆气象站气象观测记录表

Управление Единой Гидро-Метеорологической Службы

ТАБЛИЦА метеорологических наблюдений

Станция: Район: Область: Долгота:

Заведующий и наблюдатели: Гол. наблюдатель: Гол. записывающий:

Высота флюгера над уровнем моря: Высота флюгера над поверхностью земли:

Номер прибора, служащих для наблюдений: Барометр №: Анероид №: Сухой термометр №: Смоченный термометр №: Гигрометр №: Миним. термом. №: Максимальный термом. на почве, почва №: Общее примечание (повреждения и замена приборов, смена батиста, перевод стрелки гигрометра и т. п.):

Особые явления (ливни, грозы, вскрытие и замерзание рек и т. п.):

ТАБЛИЦА ВЕТРОВ

В заголовках столбцов «ч» означает число наблюдений с ветром данного направления, а «с» соответствующую сумму скоростей

Знаменатель	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1	20	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	5	2	2	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	11	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Суммы	48	5	9	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Средн.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ис. скор.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Повторяемость отнетон облачности

Сроки	0-2	3-7	8-10
1	12	20	4
7	16	16	2
13	19	22	2
19	21	22	1

图4 迪化气象站1937年1月气象记录表

的01、07、13、19时；个别地方的观测是白昼每小时观测一次，如：哈密气象站（空军第81测候所）等；而迪化气象站（空军气象站）则每三小时观测一次。

从观测仪器看，以苏式仪器为主。最高温度表使用的是苏联产品，观测范围从 $-18.5\sim 75.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；最低温度表使用的也是苏联产品，观测范围从 $-55.0\sim 25.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；闹钟居然也是苏联产品。空盒气压表使用的是德国产品，测量范围从 $400\sim 790\text{ mm}$ ；只有风向器是中国产品。

从观测记录的文字来看，最开始基本使用的都是俄文，中期以维吾尔文字记录为多（图5），接近1949年时，则以汉语记录为主，但空军所属气象站自始至终使用的都是汉语。

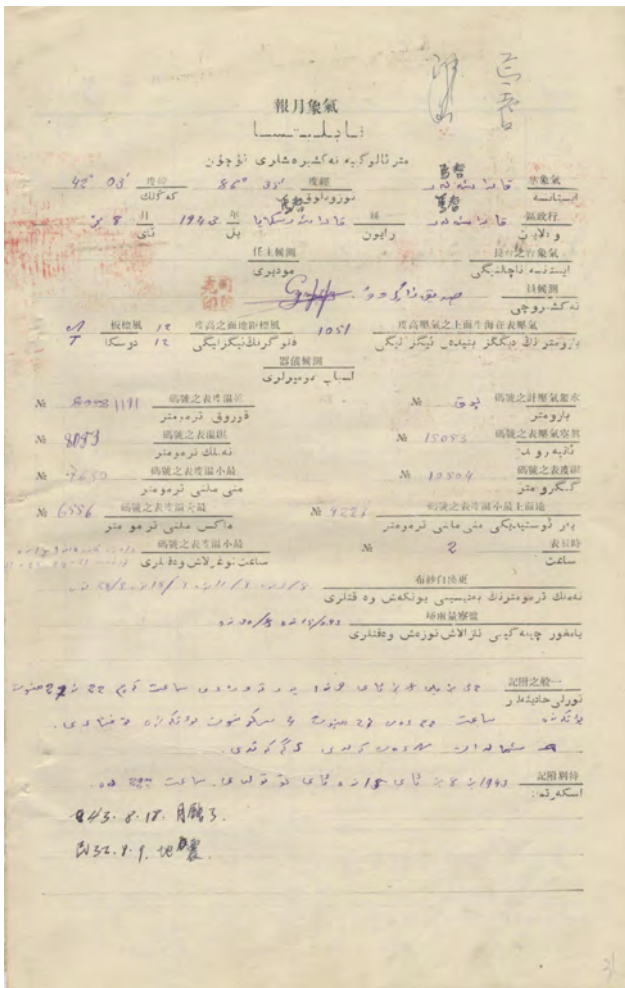


图5 焉耆1943年8月气象月报

从观测记录的书写形式来看，测候所（站）使用的观测表（簿）有铅印、油印，甚至复写而成。

从有限的原始气象观测记录来看，个别气象站的记录很好地反映了当地的气候特点。例如，吐鲁番属独特的暖温带大陆性干旱荒漠气候，夏季平均气温在

$30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，7月份最热，1943年7月10日的四次气温记录分别是 $37.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $33.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $46.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $43.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最大（高）气温是 $48.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，这个最高气温的记录一直保持到2017年7月10日，被 $49.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的记录所刷新。

从观测业务人员在记录表上的签名来看，外国人有苏联人、英国人，中国人从名字上判断则有维吾尔族、汉族等，个别人参加了不同台站的观测，如阿不都阿哈提1941年在和阗气象站的记录表中出现，1942年他在喀什的气象观测记录表中再次出现。还有观测员阿布都拉先后出现在迪化（1937、1938、1941年）、阿山（1941年）、哈密（1942年）等地的气象月报表上。

从业务流程上看，据《乌鲁木齐几处气象台站史料》，“1938年4月在迪化农牧场场部新建一农业气象站，聘有苏联专家，按苏联气象观测规范工作”。

分析、比对上述信息，可形成如下结论：综上所述的气象台站多由苏联技术人员按照本国气象业务规范建立，并组织实施。考虑到业务运转的需求和新疆实际情况，由“苏联教官教气象”（《新疆气象史略》），在新疆当地少数民族群众间开始了零星、短期的气象专业培训，侧重于天气监测和数据统计等方面。随着建站任务的不断加大，个别业务骨干作为中坚力量被派到新的站点开展工作，使气象业务在全疆多地域、多领域逐渐铺开。

此外，据《新疆通志第10卷·气象志》，“此阶段，各测候所和气象台（站）仅提供气象实况服务”。

3 苏联在新疆建立气象台站的时代和政治背景

1917年俄国十月革命后，在英、日等帝国主义想把新疆作为反苏基地的形势下，苏联为了本国的国家利益与安全，十分重视新疆工作，而新疆地方当局为了维护统治，也需要社会稳定，故双方保持着较为特殊的关系。

盛世才主政新疆前期（1933—1938年），苏联派遣专家、顾问、教官、医生和联共党员共300余人来新疆帮助整顿财政金融，发展农业、工业、畜牧业、交通运输、文化教育、宣传通讯事业，苏联的帮助对抗战争和中国革命起到了正面作用。但这种援助同样包含着民族利己主义的成分，不仅在政治上扶植“一边倒”的亲苏政权，而且利用援助渗透到各方面，大量搜集政治、经济、天文、气象、水利、地理、地质等情报，在此背景下，新疆早期的气象活动更多地受到了苏联的影响。

4.3 用于农牧业生产

苏联曾帮助新疆编制经济发展计划，指导成立了“新疆省设计委员会”，并于1937年制定了第一个三年建设计划（1937—1939年），提出在阿山、塔城、伊犁、昌吉、焉耆、库车、喀什、和阗农牧局和迪化农牧场、吐鲁番机械化农场增设测候所，除库车、喀什延期外，其他几个测候所相继成立。迪化晋铺农场气象站（现水磨沟公园内）的设立，即为三年建设计划的产物。

5 苏联在新疆从事气象活动研究的启示

5.1 气象站是苏联对新疆政策的微观缩影

可以说，每个气象站的出现都不是空穴来风，背后都有着缜密的政治考量。苏联在新疆或建立气象站或深度参与气象活动，微观、侧面地反映了苏联一直觊觎新疆，染指并控制了某些领域，但同时也促进了部分领域的科技进步。如：基于本国利益的考虑，对新疆进行气象等方面的援助，填补了气象活动在新疆的欠缺，使气象台站从无到有，客观上为当地经济繁荣和科技进步起到了积极作用。

5.2 气象要发挥在维护国家边疆安全中的独特作用

气象在国家安全中承担的不可或缺的重要角色。新中国成立后，新疆气象事业完全按照国家意志科学规划，独立自主地稳步发展，围绕国家公共安全，不

断强化气象综合防灾减灾职能；围绕深化开放合作，推动“一带一路”气象保障。“十三五”时期，新疆作为“丝绸之路经济带”核心区和面向中亚、南亚的前沿，充分发挥核心作用和区位优势，联合各相关国家的气象水文部门，共同研究全球气候变化带来的水资源、气象灾害、农业等诸多领域的影响及应对问题。

5.3 研究苏联在疆开展气象活动的意义

通过气象活动这条线索重现这段史实，旨在让后代厘清历史，并对其进行反思。新疆区位特殊，大国博弈在新疆体现突出，应清醒地认识到新疆的重要地位，特别是在维护国家政治、经济和领土安全中具有举足轻重的作用。同时，这段边疆气象发展史，对于探索当代中国边疆治理的重大问题以及地方政府如何正确发挥自身优势，发展与毗邻国家的关系，也不啻为一种有益的参考。

深入阅读

包尔汉. 1984. 新疆五十年. 北京: 文史资料出版社.
邓力群, 李力安, 有林. 2003. 当代新疆简史. 北京: 当代中国出版社.
胡良珍. 1988. 中俄疆界问题之研究. 台北: 中央文物供社.
苗普生. 2004. 新疆史纲. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社.
吴增祥. 2007. 中国近代气象台站. 北京: 气象出版社.
朱培民. 2000. 20世纪新疆历史研究. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社.

(作者单位: 新疆维吾尔自治区气象局)

第四次“台站巡礼”策划研讨活动成功举办

■ 钱馨平 路雅恬 张萌

2019年10月, 本刊“台站巡礼”栏目第四次组稿策划研讨活动在安徽省安庆市成功举办。此次活动吸引了来自国家级—省级—地级—县级气象部门及多所高校和研究机构的代表参与。活动期间, 代表们走访了安庆市气象局、潜山(天柱山)气象局, 并参观了叶笃正生平陈列馆。陈列馆中展示了我国大气物理学创始人之一、全球气候变化研究开拓者叶笃正先生的生平及贡献, 使参观者对叶先生的学术思想、为学之道等有了更深的认识。在之后进行的研讨会上, 潜山著名学者郑炎贵教授和中国科学技术大学王永教授分别就“潜山文化中的十个‘第一’”和“走近机器人世界”主题进行了特约讲座, 开拓了与会代表的视野。各机构代表也汇报分享了最新的研究成果。百年气象台站方面, 关于芜湖气象站、大连气象站、泰山气象站、徐家汇观象台、军山气象台等的专题研究对气象文化史中物质气象文化的重要组成部分——百年台站的发展演变进行了探寻和研讨; 其他方面, 也有对中瑞西北科考



图 与会代表参观天柱山气象局

团、涂长望谱系、古代科学家对气候学的认识等不同视角的深入分析。除此之外, 不乏“古诗文中的洞庭湖气象变化解析”“亚历山大冯洪堡的自然探索之旅”“山东1959—1960年气象服务及气象哨老照片”等特色汇报。本次研讨会内容多样、成果丰硕, 为各与会代表提供了交流平台, 也促进了“台站巡礼”栏目今后高质量的进步与发展。

(作者单位: 钱馨平、路雅恬, 南京信息工程大学; 张萌, 中国气象局气象干部培训学院)

高被引论文选编

编辑：张萌 侯美亭

“季风指数”主题

来源数据库：SCI-E和CAJD，检索时段：2017—2019年

季节内到季节尺度预测计划 (S2S) 数据库对亚洲夏季风的模拟——Simulations of the Asian summer monsoon in the sub-seasonal to seasonal prediction project (S2S) database. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2017, Vol. 143, No. 706.

1999年5月—2010年10月，多个季风指数已应用于多个模式，基于此，国家气候中心的颀卫华等使用来自S2S数据库的10个模式，评价了它们对季节内到季节尺度的亚洲季风的预测能力。北方夏季季节内振荡 (BSISO) 指数的双变量异常相关 (BAC) 表明，该业务模式可以分别提前6~24.5 d和6.5~14 d预测BSISO1和BSISO2事件，但随着前置时间的增加，模式往往低估了BSISO的幅度。对于强BSISO事件，对于所有模式而言，BSISO1 (BSISO2) 在3-5相位表现出较低的技巧，这表明当BSISO1 (BSISO2) 位于印度和海洋大陆 (南海和孟加拉湾) 上空时，预测BSISO1 (BSISO2) 并不容易。另一方面，对于不同的模式，更高的技巧出现在不同的相位。例如，在6-7相位，对于强BSISO1事件和BSISO2事件的预测能力，ECMWF集成预测的极限可以分别超过30 d和28 d。通过对ECMWF、NCEP和CMA模式的BSISO生命周期的比较，也表明ECMWF模式能够更好地预测强BSISO事件的演化。S2S模式中附加的季风环流指数，包括Webster-Yang指数 (WY)、印度夏季风指数 (ISM)、南亚风指数 (SAM) 和东南亚风指数 (SEAM) 的预测，在9~31 d、3~17 d、7~13 d和7~14 d于相应的季风区具

有显著的统计意义。然而，SAM和SEAM区域夏季风降水的显著性技巧在各模式之间存在显著差异，其预报技巧介于2天到2周。

用多种气候指数描述澳大利亚北部的降雨量——Describing rainfall in northern Australia using multiple climate indices. *Biogeosciences*, 2017, Vol. 14, No. 3.

热带稀树草原景观在全球范围内分布广泛，对气候变化高度敏感，但影响它们的物理过程和气候现象仍然知之甚少，因此在气候模式中也没有得到很好的描述。为此，澳大利亚Monash大学的Rogers等量化了气候现象和澳大利亚热带稀树草原的历史降雨量变率之间的关系，特别是在强降雨梯度 (即澳大利亚北部热带样带，NATT) 下，这些关系是如何变化的。研究利用16个相关气候指数对气候现象进行描述，并与1900—2010年的降水量进行相关分析，确定各气候指数对季节、年和年代际时间尺度的相对重要性。采用线性统计方法研究了降水趋势、气候指数趋势和雨季特征。一般而言，气候指数与降雨的相关性在NATT北部较强，该地区的年降雨量变率较低，且大部分降雨发生在雨季。这与印度—澳大利亚季风由北向南影响减弱是一致的。季节性变化与澳大利亚季风指数强烈相关，而年变率与更多的气候指标存在相关，主要包括塔斯曼海和印尼海表温度指数 (在研究时段内，两者都经历了线性增加) 和ENSO指数。这些发现强调了了解气候变化过程的重要性，以及了解北部区域降雨与气候现象之间关系的重要性，以便预测该区域未来的降雨格局。

东亚季风对东北地区夏季降水的影响——The influences of East Asian Monsoon on summer precipitation in Northeast China. *Climate Dynamics*, 2017, Vol. 48, No. 5-6.

吉林省气科所的Sun等使用分布均匀的包含104个站点的1961—2013年降水数据集和NCEP再分析资料，分析了中国东北地区北方夏末 (7—8月) 的降水异常及其和东亚夏季风 (EASM) 波动导致的水汽输送异常之间的关系。在此基础上，提出了一个新的EASM影响指数 (I-EASM) 来量化EASM对东北夏季降水的影响。通过研究I-EASM变化与区域大气环流异常之间的关系，研究发现I-EASM与东北地区异常降水密切相关，可以作为衡量影响区域干湿条件的物理过程的主要因子。I-EASM指数对大气环流的大尺度异常反应灵敏。其中高I-EASM值与蒙古气旋增强、乌拉尔山附近阻塞以及西太平洋副高向西北移动有关。低I-EASM值与这些特性的相反模式相关联。异常波动具有一定的前兆。夏季的一个主要高 (低) 指数很可能是在太平洋厄尔尼诺 (拉尼娜) 事件的海面温度异常出现之前而出现的。

过去的三十年南亚植被绿度因潮湿而得到加强——Moisture-induced greening of the South Asia over the past three decades. *Global Change Biology*, 2017, Vol. 23, No. 11.

南亚在过去几十年经历了夏季风环流的减弱，导致湿润地区降雨量下降。与其他热带生态系统相比，在评估以农作物为主的南亚气候变化影响时，缺乏对植被变化程度和触发因素的定量评估。为此，中国科学院青藏高原研究所的Wang等使用基于卫星的归一化植被指数 (NDVI) 量化了植被绿度的时空变化，并发现了普遍的绿化趋势，这与近十年来夏季风环流的减弱形成了鲜明对比。研究进一步表明，水分供应是旱季或干旱地区限制植被活动的主要因素，而在湿

润地区，云量或温度将变得越来越重要。干旱地区水分条件的增强，与季风的减弱相吻合，是植被绿度大面积增强的主要原因。这一结果强调了使用统一的季风指数来预测南亚植被动态的重要性。目前的气候—碳模型普遍正确地再现了植被生产力在时间特征上对水分的主导控制。但由于气候模拟的偏差，模式集成不能准确再现卫星植被变化的空间格局。南亚地区水分条件导致的绿化对区域碳循环和维持粮食安全具有重要意义，这种绿化可能会持续到更湿润的未来。

(以上由侯美亭选编)

近55年来中国西北地区降水变化特征及影响因素分析——《高原气象》2017年第35卷第6期

刘维成等利用1961—2015年中国西北地区128个站的降水观测资料和NCEP再分析资料，分析了年、季降水量与降水日数变化总趋势及其区域分布特征，并采用与平均温度、气候指数相关性来分析和讨论其所受的影响因素。结果表明：1) 西北中西部年降水量呈增加趋势，增加趋势位于 $0.1\% \cdot (10\text{ a})^{-1} \sim 10.0\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ ；西北东部年降水量呈减少趋势，减少趋势均小于 $5\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ ；春季、夏季和秋季西北西部大部分地区降水量是以增加趋势为主；东部主要为减少趋势，但是在冬季几乎所有站点的降水量呈增加趋势；2) 西北西部降水日数以增加趋势为主，东部地区降水日数以减少趋势为主，大部分站点年降水日数在冬季呈现增加趋势，其他季节则基本表现为西北西部增加、西北东部减少；3) 河西走廊西部、青海高原边坡、西北东部年降水量与年平均气温呈负相关，青海高原年降水量与年平均气温呈正相关，西北地区大部分年降水日数与年平均气温呈负相关；4) 北疆、南疆和西北东部 37°N 以南地区年平均降水量变率与年平均温度变率呈现负相关，且相关系数较大，而其余地区为正相关；5) 西风带影响西北大部分地区年降水量，东亚季风和南亚季风主要影响西北地区

中北部和南部的年降水量。

青藏高原季风演变及其与土壤湿度的相关分析——《高原气象》2017年第35卷第1期

周娟等利用1979—2014年欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的ERA-Interim再分析资料，构建了一个能更有效反映季风演变过程的高原季风新指数(ZPMI)，并与已有高原季风指数TPMI、DPMI和QPMI进行对比分析。发现TPMI反映的高原夏季风爆发和撤退的时间较ZPMI、DPMI提前1~2个月左右，ZPMI能更好的反映高原上季风降水的年变化和年际变化特征。而其冬季风和夏季风具有相似的年际、年代际变化特征，总体均呈现上升的趋势，且夏季风增强的趋势更显著。同时，ZPMI也能够较好的描述高原上的气象要素特征，即：在强季风年，高原中、东(西)部降水多(少)，气温高(低)；而弱季风年，则与之相反。高原晚春(4—5月)土壤湿度与当年高原夏季风存在显著的相关，当4—5月高原中部、东部地区土壤湿度偏大(小)、西部土壤湿度偏小(大)时，高原夏季风偏强(弱)。

盛夏高原季风指数的探讨及其对四川盆地降水的影响——《高原气象》2017年第35卷第4期

综合考虑盛夏时期高原环流场与高度场的变化特征，提出了新的高原季风指数。通过相关统计、小波分析等统计方法，与其他高原季风指数进行对比研究，结果表明该指数能较好响应盛夏高原热力的年际变化，反映高原盛夏风场分布特征。在此基础上，利用该指数研究分析盛夏时期高原季风对四川盆地降水的影响。分析结果表明，盛夏高原季风偏强时，对流层中层印度半岛—孟加拉湾地区高度场偏高，西太平洋副热带高压，乌拉尔山阻塞高压，东北亚阻塞高压异常偏强，东亚/太平洋(EAP型)遥相关

波列呈“十一十”分布。低层印度半岛—孟加拉湾和西太平洋高压外围的异常反气旋环流，将来自阿拉伯海、孟加拉湾和南海的暖湿气流输送至我国南方地区；乌拉尔山阻塞高压与东北亚阻塞高压之间的异常偏北气流和我国东北地区的异常东北风使北方冷空气南下。冷暖气流汇集于四川盆地，水汽辐合上升运动增强，导致该地降水偏多。

东亚夏季风指数的分类及物理特征分析——《大气科学学报》2017年第40卷第3期

陈海山等利用1961—2010年NCEP再分析资料，分析了较有代表性的16个东亚夏季风指数，讨论了不同季风指数反映的环流及降水之间的异同，探讨了不同季风指数与东亚夏季风不同空间模态之间的可能关联。结果表明，东亚夏季风指数大致分为两类：1) 第一类季风指数存在明显的年代际变化，反映了东亚夏季风强弱的整体一致型变化，与东亚夏季风环流第一模态具有很好的对应关系。高指数年，整个东亚区域夏季风活动整体偏强；贝加尔湖地区为深厚气旋性环流控制，副高位置略偏北；华北、东北地区降水显著偏多，长江流域及其以南降水偏少，降水异常型与我国夏季偶极型季风降水相似，这类指数对我国华北地区降水有较好的指示作用。2) 第二类季风指数具有明显的年际变化特征，反映的是东亚夏季风强弱的南北反相变化，与东亚夏季风环流第二模态相对应。高指数年，我国东南地区夏季风偏弱，东北部夏季风偏强；西北太平洋为深厚的气旋性距平环流控制，副高偏北，该分布型与东亚—太平洋(EAP)遥相关十分相似；我国东北、内蒙古地区，华南地区降水增多，长江流域降水显著减少，降水异常型与我国夏季三极型季风降水异常型相似，这类指数对我国长江流域降水有较好的指示作用。

(以上由张萌选编)

编辑选编

编辑：侯美亭 张萌

评估21世纪气候变暖下的亚洲俄罗斯人类可持续性和“吸引力”的景观潜力——Assessing landscape potential for human sustainability and ‘attractiveness’ across Asian Russia in a warmer 21st century. *Environmental Research Letters*, 2019, Vol. 14.

过去，人类迁徙与气候变化有关。随着文明的发展，人类对环境的依赖程度降低，特别是对气候的依赖，因为技术和经济发展使我们能够适应和克服环境不适。亚洲的俄罗斯（乌拉尔以东至太平洋）人烟稀少，人口主要集中在气候舒适、土地肥沃的南部森林-草原过渡带。俄罗斯克拉斯诺亚尔斯克联邦研究中心的Parfenova等使用当前和预测的气候情景评估了亚洲的俄罗斯各种景观的气候舒适度，以确定21世纪人类定居的潜力。气候变化情景取自20个CMIP5环流模式，并使用了两种CO₂代表性浓度路径方案（RCP 2.6代表轻度气候变化，RCP 8.5代表极端变化）。以1961—1990年作为气候平均态，计算了1月和7月的温度异常和年降水量异常。根据1月和7月的温度和年降水量计算了三种对人类福祉很重要的气候指数：生态景观潜力、冬季严寒程度和永冻土覆盖。研究发现，到21世纪80年代，亚洲俄罗斯的气候将更温暖、更温和。集合平均值并没有表现出极端干旱。据预测，永冻土区将向东北方向显著移动。生态景观潜力将增加1~2类，从“低”到“相对较高”，这将导致整个亚洲俄罗斯的人口密度增加。社会经济进程和政策选择将促使和吸引人口向该区域迁徙。了解生态景观潜力有助于制定长期经济和社会发展可行战略，为气候迁移和战略适应规划提供关键基础信息。

全球涡度协方差观测站点的潜在蒸发——Potential evaporation at eddy-

covariance sites across the globe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2019, Vol. 23.

潜在蒸发（ E_p ）是水文预报和干旱监测的重要变量。然而，关于 E_p 的解释以及计算方法有好几种，迫切需要将这些方法的表现与全球不同生态系统的实地观测情况进行比较。为此，比利时根特大学的Maes等将潜在蒸发定义为实际生态系统在给定大气条件下以最大速度蒸发时所达到的陆地蒸发（或蒸散）速率。研究使用了FLUXNET2015数据库中的涡度协方差测量，涵盖11个不同的生物群系，基于最广泛使用的 E_p 方法进行比较，并揭示其相对性能。对于107个站点中的每一个，根据能量平衡和土壤含水量方法，提取了对于生态系统视为无胁迫的天数，这些天中的蒸发测量用作校准和验证估算 E_p 的不同方法的参考。结果表明，一种简单的辐射驱动方法，根据生物群系进行校准，在原位测量中始终表现最佳（平均相关系数为0.93；无偏的RMSE为0.56 mm/d；偏差为-0.02 mm/d）。Priestley和Taylor方法，根据生物群系进行校准，效果稍差一些，但比更复杂的基于Penman、Penman-Monteith或温度驱动的方法要好得多。研究表明，基于Penman-Monteith的方法性能不佳很大程度上与以下事实有关：在生态系统尺度上，不能假定无胁迫的气孔导度在时间上是恒定的。相反，较简单的辐射驱动方法所需的生物群系特定参数在时间和生物群系类型上相对稳定。这使得这些方法成为估算 E_p 的有力方法，也是调查用水和需求、干旱严重程度和生物群系生产力影响的合适工具。

城市植被是否降低了温度和空气污染浓度？加拿大渥太华中央实验农场环境监测研究的结果——Does urban vegetation reduce temperature and air pollution concentrations? Findings from an environmental monitoring study of the Central

Experimental Farm in Ottawa, Canada. *Atmospheric Environment*, 2019, in press.

城市绿化或植被在减缓空气污染和城市热岛方面发挥着重要作用，但对于绿地如何影响城市环境仍然缺乏足够理解。加拿大卫生部的Van Ryswyk等调查了加拿大中央实验农场（CEF）绿地的环境效益，该农场占地4 km²，毗邻渥太华的城市核心区。2016/2017年，在以CEF为中心的40 km²区域内开展了秋季、冬季和夏季移动监测，以描述细颗粒物（PM_{2.5}）、超细颗粒（UFPs）、黑碳（BC）和温度的空间变化，连续14 d的每天早上（09:30—10:30）和晚上（17:00—18:00）同时测量两条路线。计算了每个路段的中位暴露水平，并将其用作季节特定土地利用回归模型的输入。这些模型是针对每个环境变量（PM_{2.5}、UFP、BC和温度）和季节（秋季、冬季和夏季）的组合开发的。预测变量包括土地和道路类型，以及由标准化差异植被指数（NDVI）表示的特定季节的城市绿化。空气污染和温度的水平和空间模式因季节而异。通过开发线性回归模型，以到农场最近边界的距离为主要预测值，研究描述了CEF与环境污染和温度测量之间的空间关系。研究发现，在研究区域内，秋季和冬季PM_{2.5}以及夏季BC的增加与到CEF边界的距离呈正相关。在考虑道路和其他土地利用特征后，靠近CEF也会导致秋季气温较低。这些结果表明，这一独特的城市绿地对空气污染浓度和减轻渥太华极端高温事件有重要的有益影响。

（以上由侯美亭选编）

极端气候事件对陆地生态系统碳循环的影响——《中国科学（地球科学）》2019年第49卷第9期

近年来，极端气候事件发生频率增加，对陆地生态系统服务功能和人类社会生产生活造成严重影响。碳循环是驱动陆地生态系统变化的关键过程。准确理解和评估极端气候事件对陆地生态系统碳循环的影响，能为

人类社会减缓和适应气候变化提供重要科学依据。朴世龙等以干旱、极端降水、极端高温和极端低温为例，系统总结了极端气候事件对陆地生态系统碳循环的影响及其机理。已有研究表明，干旱是当前陆地生态系统碳汇功能的重要胁迫因子，对生态系统生产力与呼吸都存在压制作用，但生产力对干旱的敏感性一般高于呼吸对干旱的敏感性，从而导致陆地生态系统碳汇功能显著削弱，甚至使之变成碳源。不同模型对干旱导致的碳循环变化模拟结果差异很大，显示目前学术界对生态系统碳循环响应干旱机制的认知有限，尤其是干旱对热带植被生长的影响机制仍存在较大争议。极端降水事件对生态系统碳循环的影响存在显著区域差异，一般认为，极端降水促进干旱地区生态系统碳积累，却不利于湿润地区生态系统固碳；但目前对极端降水导致的土壤碳侧向输移和土壤养分流失等间接影响过程的了解十分有限，致使结果存在很大不确定性。极端高温和极端低温也通过不同的机制过程影响生态系统碳循环，尤其值得注意的是其影响程度与这些事件的发生时间存在密切关系，但这一联系还有待进一步研究。基于已有认识，建议未来关于极端气候事件对碳循环影响的研究重点应该是关注其长期效应和不同时间尺度上的作用机理，并加强基于多数据、多途径的多尺度集成研究。

冬季北极增暖与中纬度环流和极寒天气之间的联系：经向位涡梯度的关键作用——《中国科学（地球科学）》2019年第49卷第9期

冬季中纬度欧亚大陆在20世纪90年代后表现出明显的变冷趋势，这与近几十年的北极增暖和北极海冰快速融化同时发生，因此许多学者将中纬度极寒天气增多归结为北极增暖和北极海冰减少的影响，但也有些学者认为这两者之间没有关系。因此，中纬度极寒天气事件和北极增暖之间的关系仍是国际大气科学界未解决的难题。事实上，中纬度极寒天气的产生

主要与阻塞的维持、位置和移动密切相关。李牧原等通过回顾前人的研究指出，基于阻塞非线性多尺度相互作用（NMI）模型所提出的位涡经向梯度（ PV_y ）可能是解决中纬度极寒天气和北极变化之间最关键的因子。根据NMI模型可以发现， PV_y 的大小主要反映阻塞的频散性和非线性强弱。研究表明，北极增暖通常会使得 PV_y 减小，而当 PV_y 较小时，阻塞系统有弱频散性和强非线性，因此阻塞能够长时间维持，从而导致欧亚大陆有强的极寒事件发生；但当 PV_y 较大时，即使有北极增暖，阻塞也不容易维持，在这种情况下北极增暖或海冰融化对中纬度极寒事件的影响是弱的。因此，从 PV_y 的大小去看中纬度极寒天气和北极增暖之间的联系也许将是未来该领域的一个主要研究方向。

北极地区低平流层惯性重力波的观测研究——《地球物理学报》2019年第62卷第8期

南极地区重力波活动有大量报道，相对而言，北极地区重力波的研究还很少。杨遵勋等利用极区Ny-Alesund站点（78.9°N，11.9°E）无线电探空仪从2012年4月1日到2017年3月31日共5年的观测数据，统计分析了北极地区低平流层惯性重力波的特征。观测显示，月平均纬向风在20 km以下盛行东风，再随着高度增加，逐渐呈现出半年振荡现象。对流层高度在5~13 km范围内变化，其月平均高度显示出年循环，最高出现在夏季，约为10 km，最低出现在冬季，约为8.5 km。对流层和低平流层月平均温度都显示出明显的年周期变化，这与中低纬度观测结果有所不同。结合Lomb-Scargle谱分析和矢端曲线方法，估算了准单色惯性重力波参数。个例研究表明，低平流层惯性重力波呈现出远离源区的自由传播性质。统计结果显示，惯性重力波的水平与垂直波长分别集中在50~450 km和1~4 km范围内，本征频率集中在1~2.5倍惯性频率间，这些值都比中低纬度观测值稍小。垂直方向本征

相速度主要集中在 $-0.3\sim 0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，而纬向和经向本征相速度集中在 $-40\sim 40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在5年的观测中，大约91.5%的惯性重力波向上传播。在冬季和早春，由于极地平流层极涡活动，激发出向下传播的惯性重力波，因此，向下传播的比例上升到相应月份的20%左右。由于低层大气盛行的东向风的滤波效应，低平流层大部分惯性重力波向西传播。波能量呈现出明显的年周期变化，最大值在冬季、最小值在夏季，与北半球中低纬度观测结果一致，表明北半球重力波活动普遍冬季强、夏季弱。

1804号台风“艾云尼”龙卷分析——《气象学报》2019年第77卷第4期

2018年6月8日，在1804号台风“艾云尼”螺旋雨带中发生了两次陆龙卷天气，分别袭击了广州市南沙区横沥镇和佛山市南海区大沥镇。黄先香等利用广州CINRAD/SA多普勒天气雷达、佛山CINRAD/XD多普勒天气雷达、5 min间隔的地面自动气象站和MICAPS等资料，研究了两次陆龙卷的天气背景、环境参数和龙卷风暴中尺度结构特征。结果表明：广州南沙龙卷为台风环流外围龙卷，位于台风中心的东北象限，强度为EF3级；佛山南海龙卷为台风环流内部龙卷，位于台风中心的东侧，强度为EF1级。龙卷均发生在中低空强东南急流在珠江口附近上下叠加和高层辐散的有利大尺度环流背景下。环境条件表现为较强的低层风垂直切变和较大的风暴相对螺旋度（SRH）、较小的对流有效位能（CAPE）和对流抑制能量（CIN）、极低的抬升凝结高度（LCL）；地面存在中尺度辐合线和小尺度涡旋。广州S波段雷达探测到两次龙卷母风暴的低层钩状回波和入流缺口回波特征及低层中等强度中气旋，龙卷出现在钩状回波顶端、中气旋中心附近。佛山X波段双偏振雷达清晰地探测到佛山南海区大沥龙卷的微型超级单体和龙卷碎片特征（TDS）。

（以上由张萌选编）

《自然评述 地球和环境》 2020年

《自然》子刊将于2020年1月添加与地球科学密切相关的新期刊。这本计划在2020年推出的，仅出版在线版的评述类期刊，是计划新增3种期刊之一，覆盖整个地球和环境科学，刊发高质量的评述论文、特写和评论。期刊主要关注的三大主题为：天气和气候、地面过程和固体地球。此外，社会与自然环境之间的相互作用，也将是期刊的特色领域。



《皇家气象学会季刊》 2019年9月

这本在气象学科享有盛誉的期刊，为了纪念集合预报25年推出2019年主题增刊。增刊的13篇文章涉及集合预报的各个方面，其中阐述ECMWF过去和未来25年集合预报业务发展的文章，是对这一与气象业务密切结合的主题很好的梳理。

(详细报道见本期70页。)

《经济学家》 2019年8月

这本经济类期刊本期封面，谈到一个严肃的话题：地球上最大的雨林——亚马孙，是走向死亡还是受到保护。亚马孙拥有地球40%的热带雨林和10%~15%的陆地物种，相关文章认为，这片雨林已经到达了一个不可逆的被毁点，这样的权力目前在拥有其面积的三分之二的巴西手中。



《卫报周刊》 2019年7月

本期封面强调树木在挽救全球气候危机中的作用。封面报道依据一项最新研究，在全世界范围内种植一万亿棵树木，将是解决气候危机的最有效和最经济的方法之一。封面用夸张的字体强调，一万亿棵树木这个机器，能够杀死二氧化碳。

媒体扫描 贾朋群 编辑

MEDIA SCAN

《经济周刊》 2019年8月

2019年7月，横行欧洲的高温让越来越热的欧洲有了更多思考。这本德文期刊本期封面报道，提出了应对全球“气候冲击”的问题。本期报道称，2018年欧洲夏季高温导致农产品大幅度减产，1亿颗树木枯死，经济损失高达130亿美元。文章分析，面对气候冲击，国家和企业需要调整策略，尤其对德国来说，或许蕴藏着巨大机遇。



《一带一路经济》 2019年8月

世界银行最新出版的这份156页的报告，代表了该组织针对跨大陆尺度，改进区域合作与联系的努力，而一带一路倡议（Belt and Road Initiative, BRI）就是这种努力的重要组成。该倡议将中国与70多个国家联系在一起，报告给出最新的相关经济学研究成果，着重于BRI在连通性方面的作用。

《加拿大的顶级气候变化风险》 2019年8月

这本加拿大科学院气候变化风险与适应专家委员会最新发表的报告，列出了影响该国的12个主要风险，这些风险与该国的安全具有某种形式的联系，其中最关键的两个风险被报告重点强调：地缘政治动态（Geopolitical Dynamics）和物理基础设施（Physical Infrastructure）。



《亚太灾害报告2019》 2019年8月

这本由联合国亚太经济社会委员会发布的报告，揭示了亚太地区因气候变化和环境退化，各种自然灾害在强度、频率和复杂性等方面的改变。

Advances in Meteorological Science and Technology (Bimonthly)

Vol.9 No.5, October 20, 2019

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

Honorary Editor Chou Jifan, CMA Training Centre

Editor-in-Chief Xu Xiaofeng, CMA

Associate Editors-in-Chief

Wang Zhiqiang

Xiao Ziniu

Zhai Panmao

Yu Yubin

Li Weijing

Hu Yongyun

Tan Zhemin

Sun Jian

Fei Jianfang

Zhao Licheng

Zhang Peng

Guan Zhaoyong

He Jianxin

Huang Jianping

Liao Xiaohan

Jia Pengqun (executive)

Managing Editors

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

Editors

Bi Baogui, Bin Wang, Chen Jingming, Chen Yunfeng, Chen Zhenlin, Cui Chunguang, Cui Jiangxue, Dong Wenjie, Du Jun, Feng Guolin, He Jinhai, He Qing, Hu Xin, Hu Yuewen, Jiang Tong, Jin Feifei, Lei Xiaotu, Li Jiming, Li Jun, Li Liangfu, Li Yaohui, Li Yueqing, Li Zhongming, Liang Xudong, Liu Jingmiao, Liu Liping, Liu Licheng, Liu Shi, Liu Zhengyu, Lu Naimeng, Lu Riyu, Luo Bing, Luo Yali, Ma Shuqing, Ma Yaoming, Peng Yinghui, Pu Yifen, Song Yan, Suo Miaoqing, Tang Xu, Tian Hong, Wan Qilin, Wang Bin, Wang Donghai, Wang Jianlin, Wang Shigong, Wang Yanqing, Wang Yingchun, Wang Yuan, Wang Zifa, Wei Xiaoli, Wen Min, Weng Fuzhong, Wu Liguang, Xie Zhihui, Yan Guanhua, Yan Xiaodong, Yang Ping, Yang Song, Yang Zhaoming, Yao Xuexiang, Yi Lan, Zhai Wuquan, Zhang Dalin, Zhang Guangjun, Zhang Lixiang, Zhang Xiaoling, Zhang Yuetang, Zhao Guangzhong, Zhou Dingwen, Zhou Jianhua, Zhou Lingxi, Zhou Xianxin, Zhu Dingzhen, Zhu Xiaoxiang, Zhu Yujie, Zhu Yande, Zou Liyao, Zou Xiaolei

Editorial office

Zhang Meng, Hou Meiting, Qin Lianxia, Ji Wenbin, Jiang Jianmin, Cui Xiaojun

Add: CMA Training Centre, 46 Zhongguancun Nandajie,

Beijing 100081, China

Tel: +86-10-68409927/68409933

Email: amst@cma.gov.cn

<http://cmalibrary.cn/amst>

<http://weibo.com/2115232930/profile>

Printed by

Beijing Jinjishi Printing Limited Liability Company

ISSN 2095-1973

CN 10-1000/P

RMB 30.00

Main Contents

1 Xu Xiaofeng/ Message from the Editor-in-Chief

Article

- 6 Zhang Shunqian, Wang Chunxue, Gan Weiwei/ An Improved Plateau Monsoon Index and Its Relation with Spring Drought of Sichuan Province
- 16 Lei Lei, Sun Jisong, Qiao Lin, Chen Mingxuan/ Analysis of Mesoscale Convective Characteristics and Environmental Conditions of Supercell Hailstorm
- 24 Lu Yabin, Tang Sheng, Min Ying, Hu Juan, Li Huahong, Xu Yingjie, Yang Zhuyun/ The Analysis of Extreme Rainstorm Process as Influenced by the Bay of Bengal low and Kunming Quasi-stationary Front in Yunnan
- 32 Xu Qi, Li Qiliang, Zhang Wuping, Zhang Yeping, Zhang Mingwei, Gao Hao, Fan Jinlong/ Overview of Agricultural Application of China's FY Satellite Data
- 37 Sun Qianqian, Wang Ye, Yuan Dongmin, Min Yuqiu, Sui Weihui/ Graphical Application of Meteorological Services in Corn, Wheat and Rice Planting
- 43 Mu Lu, Yu Jin, Liu Hongxin/ Location-Based Ultraviolet Forecasting Product Design and Research
- 47 Liang Tao, He Shenghao, Wang Jiali, Wang Lu, Yang Jing/ The Variation Characteristics and Influencing Factors of Sunshine Duration in Jingmen Municipality During 1961 to 2017
- 52 Huang Bin, He Hanqing, Chen Yuhua, Yang Lihong/ Analysis of Overshoot Fault of Meizhou Dual-Polarization Radar

Survey

2 Picture/ Number/ Ranking

Forum

- 55 Tang Wei, Zhou Yong, Dong Hao, Zhang Dingyuan, Zhao Wenfang/ The Present Situation and International Comparison of the Application of Artificial Intelligence in Meteorology in China
- 57 Guo Rongfen, Peng Qiyang, Li Junfeng/ The Guidance of Meteorological Popularization in the New Media Era with an Example: the Practice and Exploration of Yunnan Meteorological Popularization
- 60 Wang Lei, Yu Weiping/ The Development of Meteorological Science and Technology can be Seen from the Statistics Published in Monthly Meteorology

History

People/Event

- 63 Xie Mingen, He Wennong/ A Brief History of Meteorological Stations in Yunnan Province in Modern Times
- 68 Ji Li/ History of Meteorological Bureau of Beibei District, Chongqing
- 71 Li Dongmei, Ren Yiyong, Zhang Jing/ Study on Meteorological Activities of the Soviet Union in Xinjiang during the First Half of Twentieth Century

Reading

Information

79 Selected Papers