

Advances

in Meteorological Science and Technology

气象科技进展

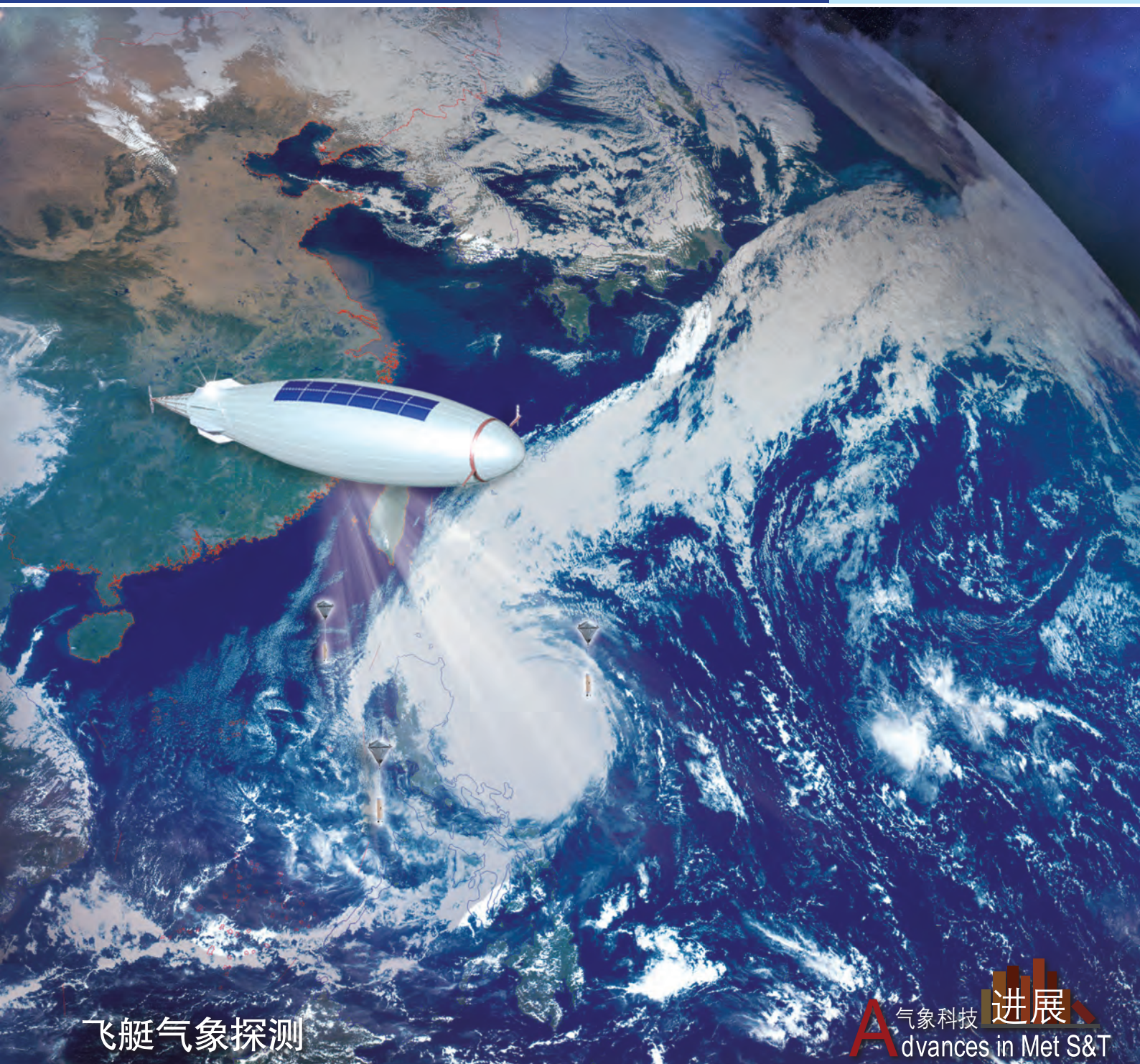
ISSN 2095-1973

CN 10-1000/P

No.4

2019年8月20日

第9卷 第4期



飞艇气象探测

气象科技 **进展**
Advances in Met S&T



中国气象局气象干部培训学院 主办

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 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
雷小途	李集明	李俊	李良福	李耀辉
李跃清	李忠	梁旭东	刘晶森	刘黎平
刘立成	刘实	刘征宇	卢乃锰	陆日宇
罗兵	罗亚丽	马舒庆	马耀明	彭莹辉
浦一芬	宋燕	索渺清	汤绪	田红
万齐林	王斌	王斌(海外)	王东海	元元
王建林	王式功	王延青	王迎春	吴立广
王自发	卫晓莉	温敏	翁富忠	杨松
谢志辉	闫冠华	延晓冬	杨萍	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://cmalibrary.cn/amst>

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

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

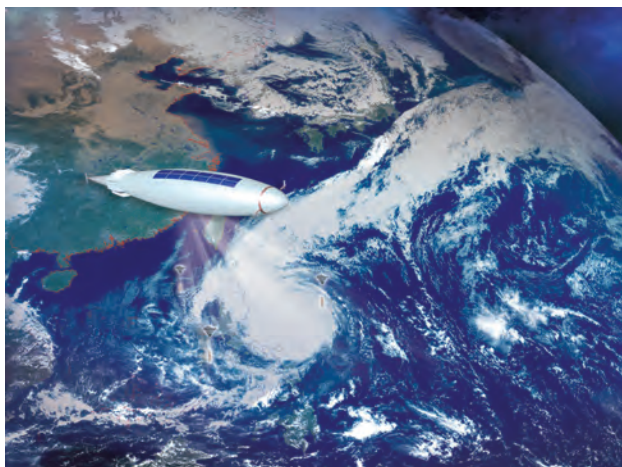
印刷: 北京金吉士印刷有限责任公司

本期责任编辑: 张萌

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4期 2019年8月20日

1 许小峰: 主编语

研究论文

封面报道

6 王柏林, 杨加春, 郭琥: 基于平流层飞艇的气象探测技术探索

研究进展

14 吴维, 吴艳锋, 商量, 张垚, 段士军, 陆雅萍: ZigBee 无线传感器网络在TWP3风廓线雷达系统中的应用

18 郑天天: 气候变化的经济影响研究综述

22 胡跃文, 秦杰, 裴兴云, 牛迪宇, 吉廷艳: 2017年初春贵州高速公路大雾天气分析

专题 气候变化及评估研究

29 余荣: IPCC作者队伍的遴选标准、职责和组建流程

34 屈芳, 肖子牛: 气候变化对人体健康影响评估

48 贾朋群, 张定媛, 田晓阳: WMO首次在联合国安理会上阐述气候变化威胁事件分析

54 吴灿: 基于文献计量的顶尖气候变化学者分析

56 任国玉, 初子莹: 美国气候基准站网建设及启示

主编语

气象观测数据是气象科学研究与业务发展的基石,每一次探测技术的革命性进步,都推动了气象科技的巨大发展。例如,地面观测系统的建立使得早期的天气图预报方法和较为初级的短期天气预报得以实现;高空气象探测资料对探索包括大气长波在内的大气环流整体机构及数值天气预报的发展奠定了重要基础;天气雷达网的建设为中小尺度强对流天气的研究和短时临近天气的监测预警做出重要贡献;气象卫星观测网的形成则为地球系统科学研究和全球天气预报服务提供了实时覆盖全球的观测数据。

经过多年的努力,我国初步建立了地基、空基和天基相结合,门类比较齐全、布局基本合理的综合气象观测系统,并组织实施了气象灾害监测预警、新一代天气雷达、气象卫星等一系列重点工程项目。目前,我国已建成由7颗风云气象卫星、7个国家大气本底站、24个国家气候观象台、216个国家天气雷达站、120个国家高空气象观测站、56个国家空间天气观测站、10714个国家级地面气象观测站、超过5.5万个常规自动气象观测站组成的立体气象监测网,监测预警能力显著增强。

随着观测技术不断升级,高空探测逐渐满足更多元

的需求,移动观测的手段也不断增多。火箭探空、下投式探空、平飘气球、飞机探测等平流层探测手段,越来越广泛地应用于气象探测。本期封面报道介绍了基于平流层飞艇的气象探测技术探索,该试验基于平流层飞艇平台从18 km高度在指定区域进行下投探空,在平流层完成了连续18 h的温度、湿度、气压等要素的观测,并获取了观测资料。

气候变化是21世纪人类面临的最大挑战之一,是各国政府、政府间机构和非政府组织共同关注的议题。目前正值IPCC第六次评估周期内,本刊特别推出“气候变化及评估研究”专题,就IPCC作者队伍的遴选标准、职责和组建流程,气候变化对人体健康影响评估,WMO首次在联合国安理会上阐述气候变化威胁,顶尖气候化学家者计量分析,以及美国气候基准站网建设等方面进行阐述。以期以更全面的视角来审视气候变化问题。

2019年是中华人民共和国成立70周年,本期论坛栏目从我国气候观象台的现状、气象档案事业、科普刊物和省级信息化等的视角,来审视中国气象事业的发展。

许小峰

论坛

- 62 陈冬冬,郭建侠,林立铮,高瑞泉,张明,王建凯,宋树礼:我国气候观象台的现状与发展思考
- 67 兰平:气象档案事业70年回顾与展望
- 70 李平:科普类期刊版式设计探索——以《气象知识》为例
- 74 郑治斌,陈仁芳,李国梁:信息化时代省级及以下气象业务服务体制改革探讨

科学观察

- 2 读图 数字 榜单



P2

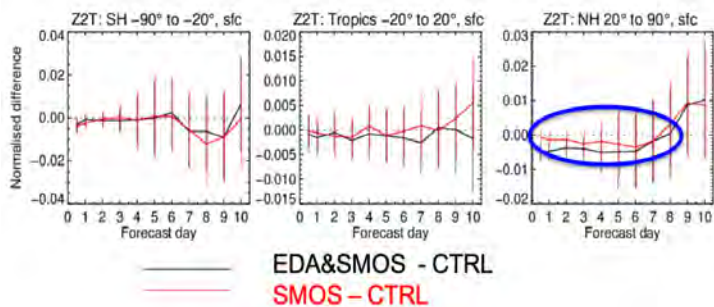
阅读

信息

- 13 2018年全球气象和大气科学领域SCI论文产出增加6.6%
- 28/47 新书架
- 33 王婷波:碳卫星与全球碳测量
- 66 中国气象局2018年SCI论文产出首次突破1000篇
- 77 高被引论文选编
- 79 编辑选编
- 封3 媒体扫描



封3



SMOS数据全面支持ECMWF预报

2009年发射的SMOS（土壤湿度和海洋盐分）卫星数据，从2019年6月开始全面支持ECMWF预报系统。图中给出加入SMOS数据前后系统2 m气温预报标准化的误差对比，其中负数值表示因使用SMOS数据误差的降低。右图给出自2017年夏开始，新卫星数据对北半球预报的正影响。

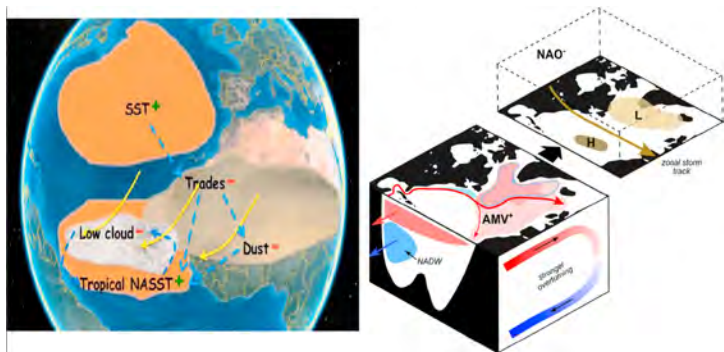
来源：ESA



GOOS: 谋划未来海洋观测

全球海洋观测系统（GOOS）在其最新推出的2030年战略里，描绘了不断建设和改进中的全球海洋观测系统：完全融为一体的立体观测体系，将服务于海洋业务、气候和海洋健康等关键领域。

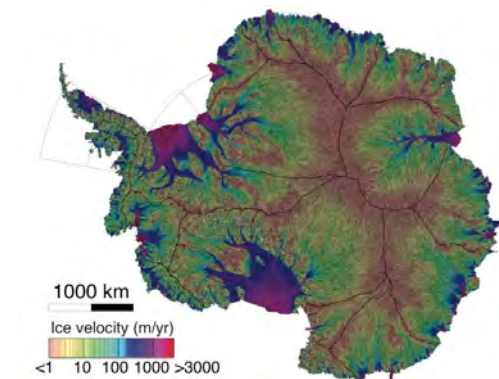
来源：GOOS



大西洋年代际变率相关的海气反馈机制被揭示

来自美国地球物理流体动力实验室的作者与多国合作者，在针对北大西洋经向翻转环流（AMOC）的综述中，试图将AMOC与北大西洋年代际变率（AMV）及其他相关气候影响建立联系。图中给出与正AMV相关的海气反馈框架。左图：温暖中纬SST距平带来较低纬度气旋环流并使贸易风减弱；右图：正AMV阶段与更强的AMOC之间联系的特征表现在近极地回环流暖距平和北半球墨西哥湾流北部再环流回转冷距平等。

来源：Rev Geophy



南极冰流动速度被精确测量

美国学者利用1994年以来6颗不同卫星绘制了南极冰川移动速度的分布图。之前类似的图主要基于冰面上的可见特征获得，而这张新绘制的分布图主要源自合成孔径雷达干涉仪观测，精度提高10倍，而且能够给出南极内陆移动更加缓慢冰川状况。

来源：NASA

数字

28人 2019年3月的最后一天，尼泊尔发生了该国自记录以来的第一次龙卷，该国政府指出事件导致28人死亡，1100人受伤，大约2600座房屋和一处列入世界遗产的国家公园受损。

第44颗 2019年4月20日，我国在西昌卫星发射中心成功发射第44颗北斗导航卫星，这是北斗三号系统的首颗倾斜地球同步轨道卫星，卫星进入工作轨道并进行一系列在轨测试后，将与此前发射的18颗中圆地球轨道卫星和1颗地球同步轨道卫星进行组网。

60倍 研究发现，加拿大北极地区滑坡数量在1984—2015年增加了60倍，1984年发生63次，而2013年出现最大值4077次。研究指出，这一趋势主要与热融滑坡在炎热夏季增加有关。

国际“空基观测”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	Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations	Kulmala, M	Journal of Aerosol Science, 35(2)	1307
2	Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols	Eck, TF	Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 104(D24)	1157
3	Indian Ocean Experiment: An integrated analysis of the climate forcing and effects of the great Indo-Asian haze	Ramanathan, V	Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 106(D22)	911
4	Ozone destruction and photochemical-reactions at polar sunrise in the lower Arctic atmosphere	Barrie, LA	Nature, 334(6178)	752
5	Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data	Vickers, D	Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 14(3)	699
6	An overview of ACE-Asia: Strategies for quantifying the relationships between Asian aerosols and their climatic impacts	Huebert, BJ	Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 108(D23)	596
7	The relevance of the microphysical and radiative properties of cirrus clouds to climate and climatic feedback	Stephens, GL	Journal of the Atmospheric Sciences, 47(14)	546
8	The measurement and parameterization of effective radius of droplets in warm stratocumulus clouds	Martin, GM	Journal of the Atmospheric Sciences, 51(13)	526
9	A GCM parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds	Slingo, A	Journal of the Atmospheric Sciences, 46(10)	507
10	The Indian Ocean Experiment: Widespread air pollution from South and Southeast Asia	Lelieveld, J	Science, 291(5506)	496

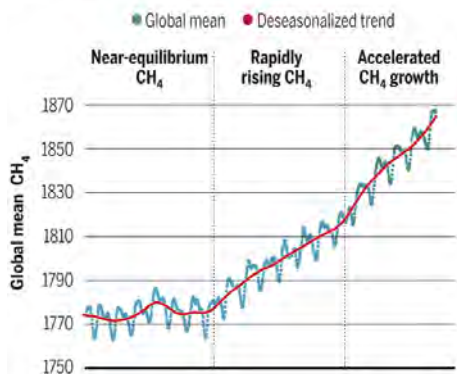
来源: SCI-E数据库

检索时间: 2019年8月5日

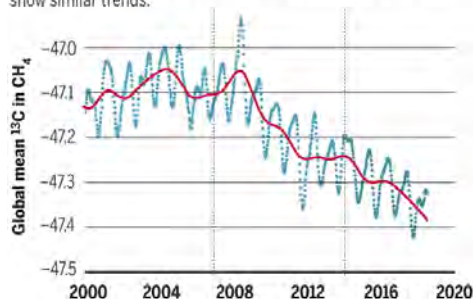
侯美亭 提供

Methane trends

Data from U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration observing stations show that global mean atmospheric CH₄ started to rise in 2007, with a sharper increase beginning in 2014 (2).



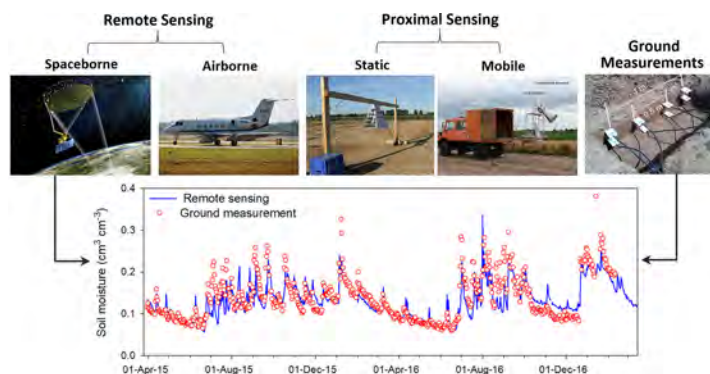
At the same time, the proportion of ¹³C in CH₄ has been falling, providing insight into possible sources for the additional CH₄. Measurements from other observing station networks show similar trends.



大气甲烷快速增加

地球大气重要的温室气体之一甲烷(CH₄)于2007年开始增加, 2014年进入快速增加时期, 同时甲烷中碳同位素的比例持续下降, 表明新增甲烷可能来源不同。

来源: Science



土壤湿度观测: 地面与空中握手

美国 and 德国学者最新从全球尺度上, 评估了土壤湿度观测、监测技术和模拟的进步。在观测方面, 天基和飞机遥感技术(左)、静止和移动临近传感方法(中)和实地/地下传感器观测(右)等手段的观测结果, 给出相对一致的结果。

来源: Rev Geophy

0.6% ~1.3%

美国阿拉斯加

大学学者针对气候变化给阿拉斯加经济带来的影响, 基于已有成果进行了评估, 发现气候变化对该地区年净经济成本为当地GDP的0.6%~1.3%, 属于重要但相对中等的影

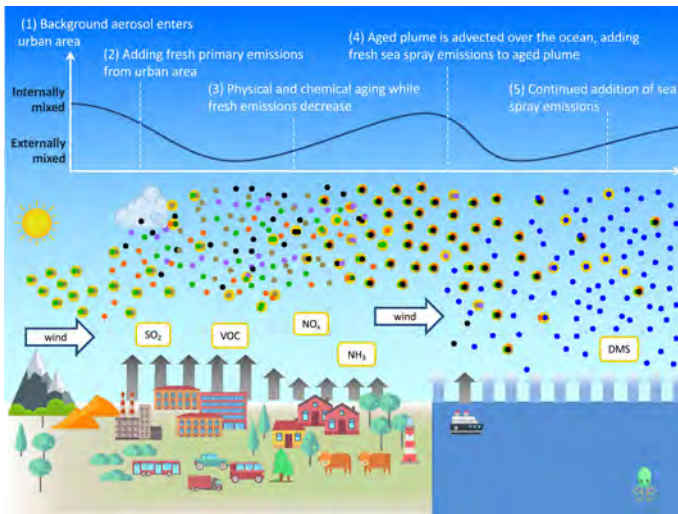
421人

美国学者最近对421位气象广播从业者进行了教育背景调查和分析, 发现其中64%获得过传统气象学学位, 21%拥有气象广播学位或得到认证, 2%接受过气象培训或参加军队培训, 没有气象背景或培训的仅占12%。

6500个

印度气象局

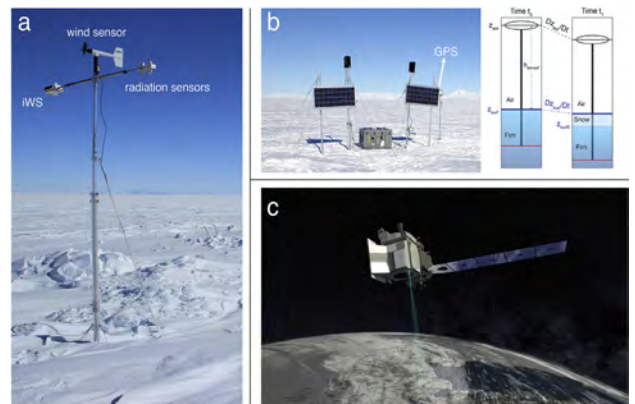
计划在2020年前实现更加精细化的预报, 针对全国660个区域的所有6500个街区进行预报, 并帮助9500万农民了解天气信息。



气溶胶混合的观测、模拟和影响

大气气溶胶是不同化学物的复杂混合物，气溶胶粒子呈现各种形状和形态。美国学者在最新的研究中，研究了气溶胶的这种混合态。图中示意给出气溶胶在大气中传播时其混合态的演变，图上方的曲线量化表示混合程度。

来源：Rev Geophy



冰雪解析的新手段

冰雪圈对于全球变化无疑是至关重要的，针对冰雪圈的监测，尤其是圈层表面质量平衡更为关键。美国和荷兰学者在一项研究中，给出了近年来出现的新监测技术。图a为2014年4月安装在英格兰的智能气象站（iWS）；图b为用GPS信号探测表面高度变化；图c为2018年9月发射的ICESat-2卫星激光高度计。

来源：Rev Geophy



哨兵-3卫星捕捉森林火情

2019年7月28日，欧空局（ESA）哨兵-3卫星捕捉到的西伯利亚林火图像。据俄罗斯联邦林业部门，林火已经影响了大约300万公顷土地。

来源：ESA

数字

743 万美元

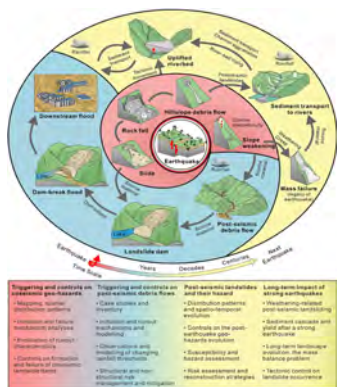
NOAA近期宣布，向其两个合作伙伴底特律河流公司及密歇根环境、大湖和能源部提供743万美元支持，继续通过大湖保护项目开展栖息地修复工作，让大湖地区的生态、社区和经济多方受益。

30%

就美国政府拍卖5G频段事件，NOAA负责人在与美国国会交涉时表示，这将造成77%的气象卫星被动微波探测数据丢失。

47.77 亿元

自然资源部发布的2018年《中国海洋灾害公报》显示，2018年我国海洋灾害以风暴潮、海浪、海冰和海岸侵蚀等灾害为主，直接经济损失总计47.77亿元，低于2009—2018年平均值的98亿元；死亡（含失踪）73人，略高于71人的平均值。



强震导致的地质灾害链

中国与多国学者合作，在最新发表的地震引发的地质灾害综述中，对如图所示的大陆强震形成的地质灾害链研究进行了梳理。图中红色背景为地震滑坡的不同类型；蓝色背景为震后从数天到数年的灾害串；黄色背景为地震的长期影响。

来源：Rev Geophy



大城市可以形成自己的云系统

图中所示的英国伦敦这类的大城市，不仅较周边郊区温度要高出几度，而且最新的基于伦敦和巴黎卫星图像的研究表明，大城市还能延伸其上空云。在春夏季节，城市下午和傍晚会出现较郊区更多的云。这一结果可能令人奇怪，因为城市缺少植被会更干燥，导致更少的水蒸发和云形成。研究者解释说，午后建筑物里保留的热量能引发空气湍流，并向云中输送水汽。

来源：Science

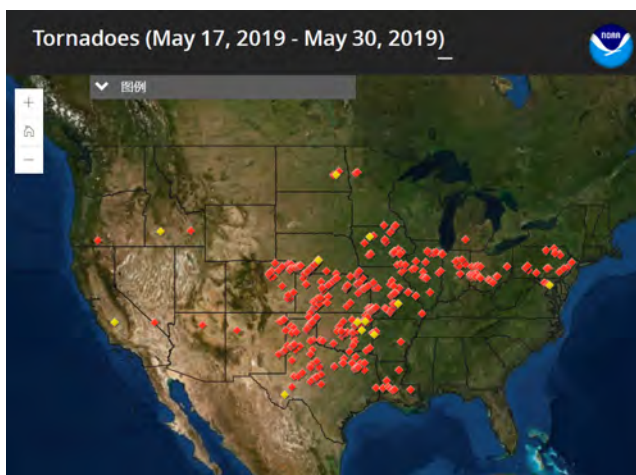
中国“空基观测”主题被引频次最高的前10篇论文

排名	篇名	第一作者	来源	被引频次
1	河北省层状云降水系统微物理结构的飞机观测研究	杨文霞	高原气象, 2005, 24(1)	90
2	华北地区云凝结核的观测研究	石立新	气象学报, 2007, 65(4)	74
2	春末中国西北沙漠地区沙尘气溶胶物理特性的飞机观测	牛生杰	高原气象, 2005, 24(4)	74
4	2003年8~9月北京及周边地区云系微物理飞机探测研究	张佃国	大气科学, 2007, 31(4)	71
5	飞机结冰特性及防除冰技术研究	周莉	中国安全科学学报, 2010, 20(6)	65
6	一次东北冷涡中对流云带的宏微物理结构探测研究	齐彦斌	大气科学, 2007, 31(4)	62
6	大气臭氧与气溶胶垂直分布的高空气球探测	石广玉	大气科学, 1996, 20(4)	62
8	青海一次春季透雨降水过程的云物理结构分析	苏正军	应用气象学报, 2003, 14(s1)	59
9	热带气旋强度资料的差异性分析	余晖	气象学报, 2006, 64(3)	52
10	TCM-90现场科学试验台风FLO“β陀螺”“通风流”非对称动力结构特征	徐祥德	气象学报, 1996, 54(5)	49

来源：CAJD数据库

检索时间：2019年8月7日

张萌 提供



美国5月的龙卷：完美风暴的一部分

2019年5月17日开始直至5月底，美国多处出现龙卷，这一与前几年龙卷相对较少的“沉寂”相比的改变，让很多人不适应。实际上，2003年高风险的龙卷出现在5月4日。然而，那时的5月龙卷大多伴随激烈天气事件，而今年龙卷则是连续13天，每天至少8份龙卷报告，是一项新记录。

来源：NOAA

第1 美国审计总署在最新发表的关于各政府机构利用云计算的报告中指出，多家联邦机构确定了云服务带来重要效益的领域，指出“天气相关信息”在主要云投入领域中位列第一，其余领域包括促进各级政府部门合作和信息共享以及向退伍军人提供福利信息等。

5.5% 美国佛罗里达州立大学的学者对1994—2016年发生在美国的龙卷进行了统计分析，发现龙卷释放的能量平均每年增加5.5%，与龙卷出现天数的增加相吻合。

1.5万桶 德国学者基于空调与碳捕捉技术相似，都需要从周围环境中“抽取”空气这一点，设想给法兰克福的一幢摩天大楼菲尔塔的空调系统配备碳捕捉设备后，将捕获的碳转化为烃，每年能生产大约1.5万桶合成石油。

基于平流层飞艇的气象探测技术探索

王柏林¹ 杨加春² 郭斌³

(1中国华云气象科技集团公司, 北京 100081; 2天津华云天仪特种气象探测技术有限公司, 天津 300384;
3北京航空航天大学前沿科学技术创新研究院, 北京 100191)

摘要: 以平流层飞艇为平台, 搭载探空仪、温度传感器、气压传感器等, 在平流层18 km高度长航时驻停并开展下投探空观测, 探索依托飞艇平台的平流层连续气象观测可行性。通过试验分析, 得出以下结论: 飞艇平台搭载下投导航探空仪方法可行、观测数据真实有效; 飞艇在平流层空间具备连续机动观测能力, 对平流层气象研究具有重要意义; 以飞艇平台开展平流层气温观测, 温度场分布受流体影响较大, 需要对观测位置优化设计。

关键词: 平流层, 飞艇, 气象, 观测

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.001

Study of Meteorological Observation Technology Based on Stratospheric Airship

Wang Bailin¹, Yang Jiachun², Guo Xiao³

(1 China Huayun Meteorological Technology Group Corporation, Beijing 100081

2 Tianjin Huayuntianyi Special Meteorological Sounding Co., Ltd, Tianji 300384

3 Frontier Institute of Science and Technology Innovation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191)

Abstract: This study explored the feasibility of stratospheric airship platforms for continuously meteorological observations. The stratospheric airship platform, carrying the dropsonde, temperature sensor and pressure sensor, was designed to drop radiosonde from 18 km high of the stratosphere at its long standing stop. Following conclusions can be drawn from the test and analysis: 1) The dropsonde-based airship platform is technically sound by providing real and effective observation data. Therefore, it is a stable and reliable means of observation; 2) Near space airship has the capability of continuous observation in the stratosphere, which is of great significance to the corresponding meteorological research in the stratosphere; 3) Observation locations need to be optimized if the airship platforms are used to observe stratospheric temperature because of large influence of fluid on temperature distribution.

Keywords: stratosphere, airship, meteorological, observation

0 引言

平流层飞艇的工作高度介于常规航空器的最高飞行高度和航天器的最低轨道高度之间, 是跨接航空与航天的新兴领域, 具有重要的军民两用价值和战略意义。在军用领域, 可作为信息平台用于通信保障、侦查监控、情报搜集、导弹防御和安全预警等^[1-4]; 在民用领域, 可替代同步卫星进行通信中继、防震减灾、空中运输、大气环境监测和紧急求助等^[5-8]。近年来, 欧洲和美国投入大量资金用于支持多项平流层飞艇研发项目^[9], 中国对平流层飞艇的研究始于“十五”期间, 多个高校和研究所针对平流层飞艇开展方案论证、关键技术攻关等基础性研究^[10]。2009—2012年,

北京航空航天大学先后4次完成20 km以上平流层高度飞行验证, 取得了初步成果。中国科学院黄宛宁^[11]提出了一种适合于平流层飞艇的艇囊内气体及囊体表面温度的测量方法, 经过两次平流层飞艇的缩比飞行试验, 对比同飞艇释放的探空仪珠状热敏电阻温度数据, 初步验证了该方法测量温度数据的准确性, 提出如想进一步提高温度测量精度, 必须针对测量结果进行辐射误差修正。

本文所介绍的试验, 是首次基于平流层飞艇平台从18 km高度在指定区域进行下投探空, 在平流层完成了连续18 h的温度、湿度、气压等要素的观测, 并获取了观测资料。初步验证了平流层飞艇平台搭载气象载荷进行气象观测应用的可行性。基于平流层飞艇的气象探测载荷与应用系统在平台飞行高度、驻空时间、载重量、可复用性等方面具有当前包括气象卫

收稿日期: 2019年2月16日; 修回日期: 2019年6月12日

第一作者: 王柏林(1979—), Email: wbl3309@126.com

资助信息: 重大科学仪器设备开发重点专项(2018FYY01010100)

星、飞机、火箭和气球等载体不具备的平台优势。

1 试验目的

2017年8月27—28日在新疆某基地开展了平流层飞艇气象观测试验,采用北京航空航天大学研制的单囊体飞艇作为平台,该飞艇以氦气充浮,搭载蓄电池和太阳能电池板为供电系统,具有螺旋桨推进动力。飞艇于27日22:56从地面释放升空,大约23:44达到驻留高度18.6 km,经小幅调整后于次日00:35稳定在18.3 km高度,07:29日出后太阳能电池板开始蓄能,飞艇动力系统工作,驻留期间完成一个直径为25 km的圆形航线飞行,开展了两次小区域抗风驻留飞行试验,28日16:14开始下降(飞行轨迹见图1),共驻留18 h。

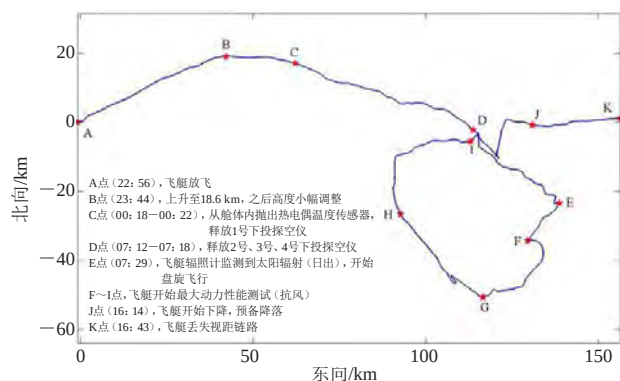


图1 飞行轨迹及操作时间

Fig. 1 Flight track and operating time

飞艇搭载并下投4支导航探空仪,采集从平流层到对流层纵向大尺度气象数据,检验飞艇作为下投观测平台的可靠性和稳定性。飞艇在上升、悬停和下降过程中,受到太阳辐射、地面和云的反射辐射与长波辐射影响,同时自身还在向外发出长波辐射、与大气对流交换热量(图2)。因此,飞艇在不同悬挂高度

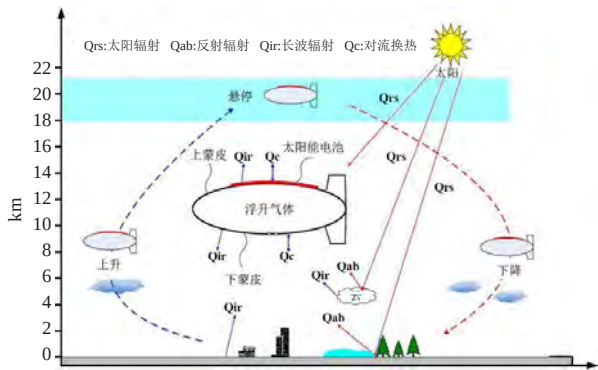


图2 飞艇上升、定点悬停和下降时面临的复杂热环境

Fig. 2 Complex thermal environments faced by airships as they rise, hover and fall

注:图中 Q_{rs} 为太阳直接辐射产生的辐射热量, Q_{ab} 为云层、地面的反射辐射产生的热量, Q_{ir} 为大气长波辐射、地面长波辐射、飞艇蒙皮长波辐射等产生的热量, Q_c 为飞艇与大气间的对流产生的对流换热。

搭载了多种类型的温度传感器,采集平流层气象数据,检验飞艇搭载气象载荷开展长时间、大尺度气象观测的可行性与可靠性,对飞艇平台温度观测布局方案进行了初评。

本次飞艇试验开始前,各类型的艇载气象观测设备均在气象计量部门进行了检定并达到气象业务要求,但因空域限制,下降过程中采用了主动爆破措施,未能顺利回收飞艇及试验设备,缺少对参试气象传感器计量复检,故此次试验更多是飞艇气象观测原理方法探索和检验,部分结论还有待后期试验继续验证。

2 试验数据分析

2.1 艇载下投探空

下投探空仪采用导航测风模式的探空仪,主要由导航定位模组、400 MHz无线电发射模组、压温湿传感器测量模组等几个主要部分组成。利用导航定位模组进行空间实时定位,测定气球在高空大气中随时间漂移的速度与方向,从而计算出高空大气的风向风速;利用气压、温度、湿度(P_{TU})传感器实时测量大气的气象要素;利用400 MHz无线电发射机将定位数据和P_{TU}数据发送到地面接收系统。探空仪温度传感器采用直接0.6 mm珠状热敏电阻,表面采用真空镀铝工艺涂覆防辐射层,具有响应时间短、测量准确度高、防辐射能力强的特点。湿度传感器采用高分子薄膜湿敏电容,具有低温响应快、全程测量准确度高的特点。

飞艇下部悬挂气象载荷舱(图3a),主要包括投放控制系统、测量存储系统、温度探头投放舱、探空仪投放舱等组成,负责系统的数据采集、存储、传输、舱内温场控制、仪器投放控制等功能。艇载气象观测数据借助测控系统回传至地面,探空仪观测数据通过400 MHz传回地面接收机。

1) 探空仪下投过程

2017年8月28日00:22—07:45,飞艇平台从约18 km高度下投了4个探空仪,地面探空接收机共收到8300多条探空秒数据。

从表2探空仪的下降速度和持续时间来看:1、2、3号探空仪工作状态正常,4号探空仪下降速度较快、持续时间较短,疑似降落伞未能完全打开。1号探空仪于凌晨释放,飞艇搭载的可见光载荷未能采集到图像资料,2、3、4号探空仪于日出后释放,模拟图像载荷拍摄到气象载荷舱门打开、探空仪释放的瞬间,数字图像载荷拍摄到2号、4号探空仪初始下降的过程。从视频图像可见(图3b),遥控指令响应及

表1 艇载气象观测设备
Table 1 Meteorological observation equipment on the airship

编号	设备名称	数量	主要性能指标
1	探空仪	4支	工作频段: 400~406 MHz; 温度测量范围: -90~50 ℃; 最大允许误差: ±0.2 ℃; 相对湿度测量范围: 0%~100 %RH; 最大允许误差: ±3 %RH; 气压测量范围: 10~1080 hPa; 最大允许误差: ±1 hPa; 风速测量范围: 0~150 m/s; 最大允许误差: ±0.3 m/s; 风向测量范围: 0°~360°; 最大允许误差: ±3°; 水平定位误差: ≤10 m; 垂直定位误差: ≤15 m;
2	热敏电阻温度传感器	1组(5支)阵列式无涂层 1组(5支)阵列式有涂层	测量范围: -80~60 ℃; 最大允许误差: ±0.2 ℃ 测量范围: -80~60 ℃; 最大允许误差: ±0.2 ℃
3	热电偶温度传感器	1组	测量范围: -80~60 ℃; 最大允许误差: ±0.2 ℃
4	铂电阻温度传感器	2支PT100	测量范围: -80~60 ℃; 最大允许误差: ±0.1 ℃
5	露点传感器	1支	露点测量范围: -80~20 ℃; 露点最大允许误差: ±0.5 ℃
6	气压传感器	1只, 石英晶振 1只, 硅压阻	测量范围: 10~1200 hPa; 最大允许误差(全量程): ±0.2 % 测量范围: 10~1200 hPa; 最大允许误差(全量程): ±0.5 %

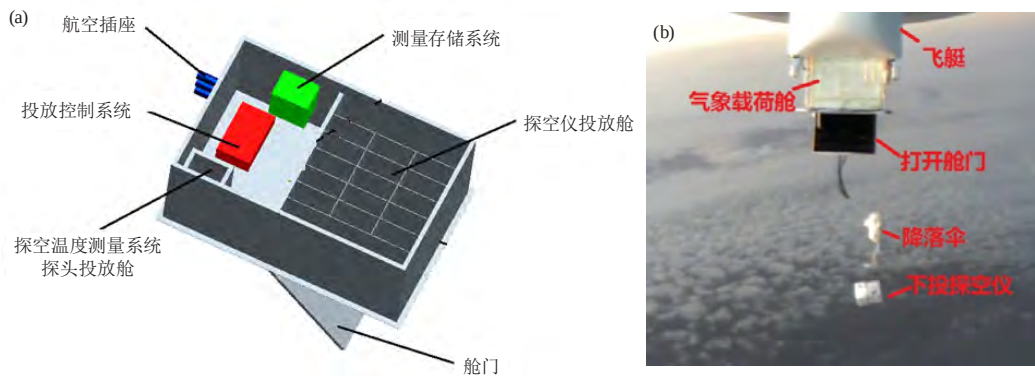


图3 艇载下投探空
(a) 气象载荷舱组成结构简图; (b) 探空仪下投瞬间
Fig. 3 Drop radiosonde from the airship
(a) Brief diagram of the load compartment; (b) Drop moment

表2 下投探空仪释放情况
Table 2 Dropsonde release information

序号	释放时间	终止时间	经纬度	释放高度/m	终止高度/m	持续时间/min	接收距离/km	下降速度/(m/s)	终止原因
1	00时22分33秒	01时10分33秒	88.05°E, 41.96°N	18312	5334	48	60	4.5	
2	07时12分32秒	07时47分03秒	89.06°E, 41.58°N	18331	7362	35	143	5.3	在降落后期因仰角过低, 导致信号被遮挡
3	07时14分53秒	07时47分32秒	89.06°E, 41.57°N	18295	7554	33	143	5.5	
4	07时18分58秒	07时40分44秒	89.07°E, 41.57°N	18310	7070	22	143	8.0	

时, 舱门动作与探空仪释放正常流畅, 与艇体之间没有干涉。

2) 下投探空廓线数据分析

图4为下落过程完整的温湿度廓线和风速风向廓线, 验证了从平流层飞艇中下投探空仪的可行性。以2号探空仪为例, 探空仪在下降至距离地面7362 m高度时, 距离接收点的距离为186 km, 仰角为1°, 已经

与理论计算视距接近, 之后信号消失。

由于夜间只进行了1次下投测试, 廓线数据无法进行比较。而白天3次下投探空仪间隔仅3 min左右, 所测得的廓线可以进行分析比对。图5为3组温度、湿度的廓线图。

由图5可见, 温度和湿度廓线趋势较为一致。为了进一步研究下投探空仪所测廓线的可靠性, 以2

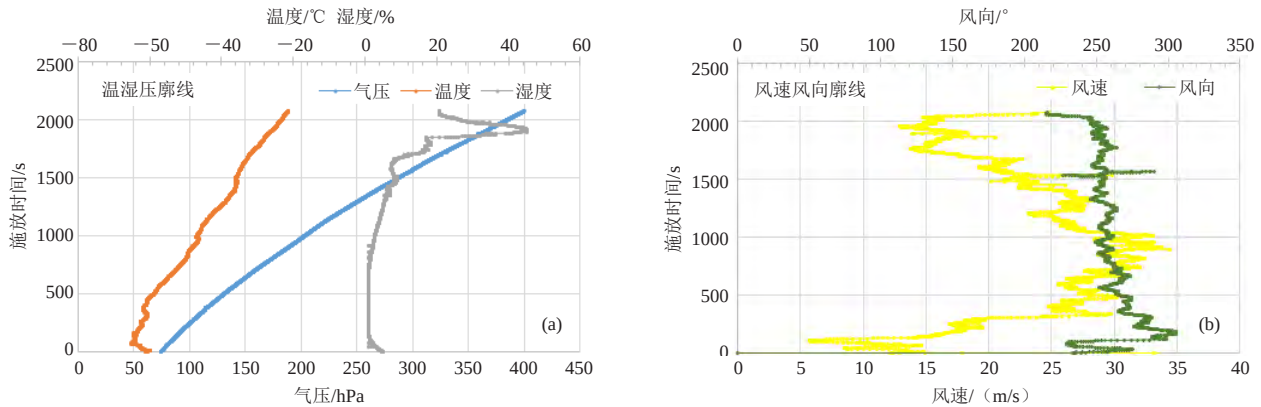


图4 下投探空仪 (2号) 温湿压 (a) 及风速风向 (b) 廓线
Fig. 4 The temperature, humidity, pressure (a), wind speed, and direction (b) profiles of dropsonde (2#)

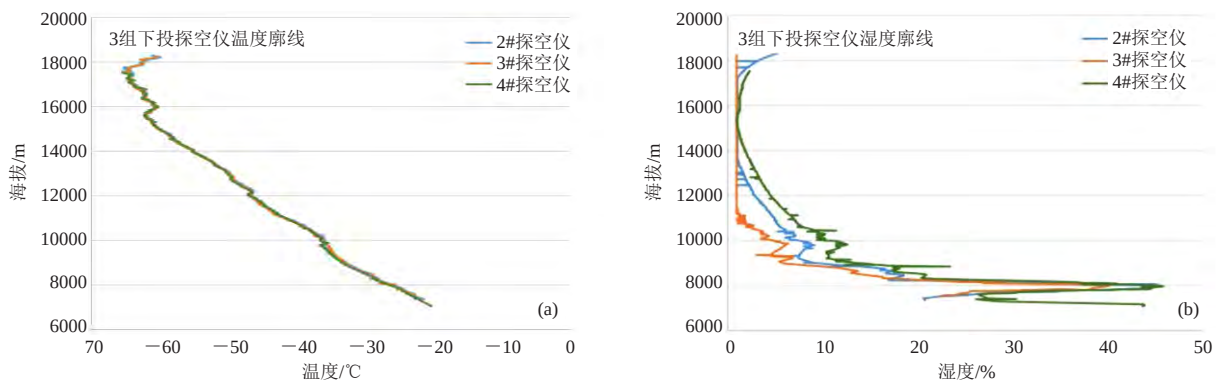


图5 白天释放的3组探空仪温度 (a)、湿度 (b) 廓线比对
Fig. 5 Comparison of three sets of dropsonde's temperature (a) and humidity (b) profiles during the day time

号探空仪为参考标准, 3号和4号探空仪与之做差对比, 比较分析白天3组数据各海拔层 (500 m间隔) 的要素。

由图6a~6e可见, 白天释放的3组探空仪温度差值保持在 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 以内, 说明下投探空仪所测温度廓线一致性较好。3号与2号差值较小, 4号与2号差值更大, 由于4号降速较大 (表2), 造成一致性偏差大; 湿度差值保持在 $\pm 4\%$ 以内, 说明下投探空仪所测湿度廓线一致性较好; 气压差值保持在1.5 hPa以内, 说明下投探空仪所测湿度廓线一致性很好, 而4号比2号的气压差值偏大, 是由于4号降速偏大造成的, 说明降速对气压的测量有一定的影响; 风速差值保持在 $\pm 2\text{ m/s}$ 以内, 说明下投探空仪所测风速廓线一致性很好; 风向差值保持在 $\pm 4^{\circ}$ 以内, 说明下投探空仪所测风向廓线一致性较好。

综上所述, 由下投探空仪观测数据分析可见, 利用平流层飞艇搭载、地面远程操控释放下投式探空仪, 地面场站雷达接收获得的探空观测秒数据质量稳定可靠, 证明飞艇是一种可连续工作时间长、机动性

强、平台稳定的下投式探空的平流层搭载平台。

2.2 艇载温度观测

为了探索揭示太阳反射涂层、安装位置和热流场对温度测量结果的影响, 在载荷舱体下方分别布设了2支热电偶传感器 (距离飞艇底部1 m和2 m)、2支铂电阻传感器 (距离飞艇底部20 cm)、2组阵列式热敏电阻温度传感器 (距离飞艇底部6 cm), 其中1组热敏电阻表面无太阳反射涂层、1组热敏电阻表面有太阳反射涂层, 每组均由5支热敏电阻构成, 安装位置相同, 1号位置朝向艇头, 2号和3号位置在艇左侧, 4号和5号位置在艇的右侧, 1~5号位置间隔 72° 平均分布。

1) 热电偶温度传感器观测数据分析

考虑到热电偶温度传感器体积小、受太阳辐射影响小, 但在飞艇上升过程中易损坏, 故安装在飞艇载荷舱中, 上升至预定高度后 (00:35) 从气象载荷舱中抛出 (位置如图3a), 悬挂在距离舱底1 m和2 m的位置。由于飞艇在白天进行观测时处于太阳辐射的环

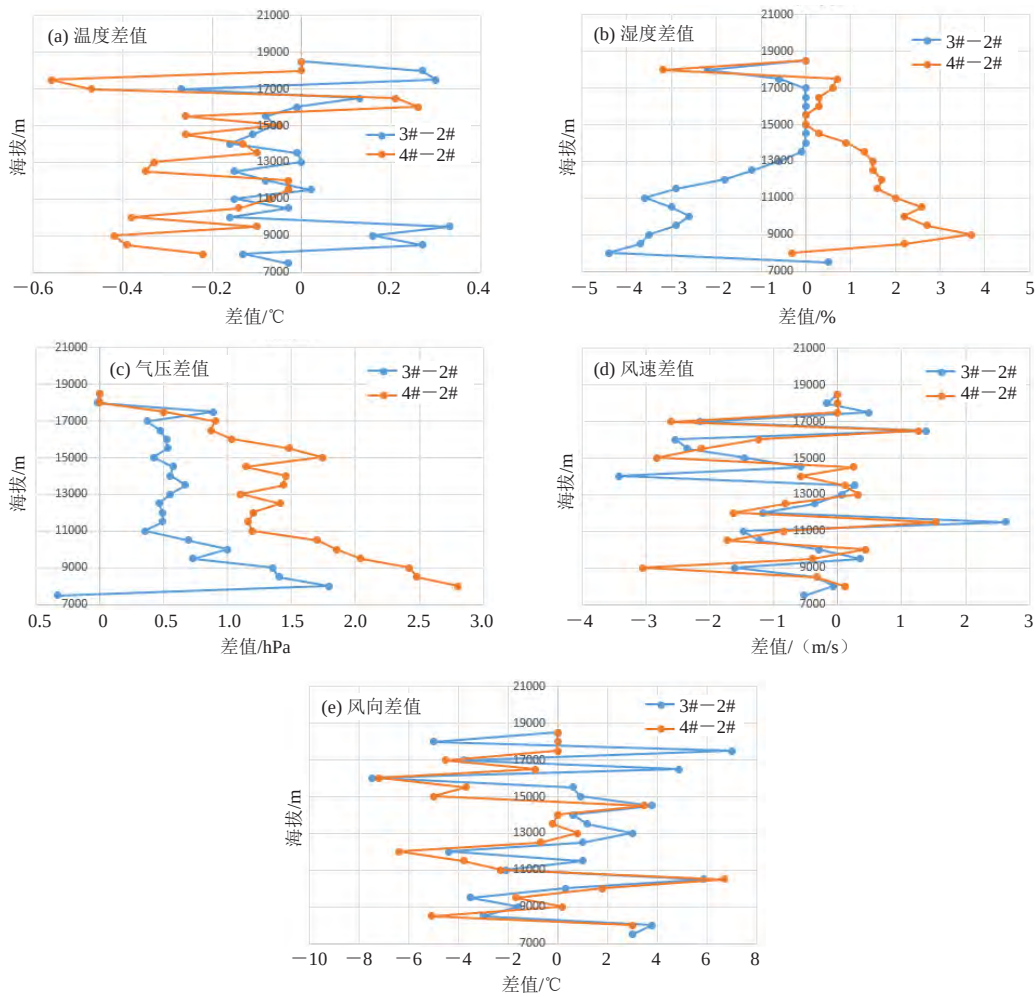


图6 白天释放的3组探空仪温 (a)、湿 (b)、压 (c)、风 (d、e) 要素差值

Fig. 6 Difference of three sets of dropsonde's temperature (a), humidity (b), pressure (c), wind speed (d), and direction (e) profiles during the day time

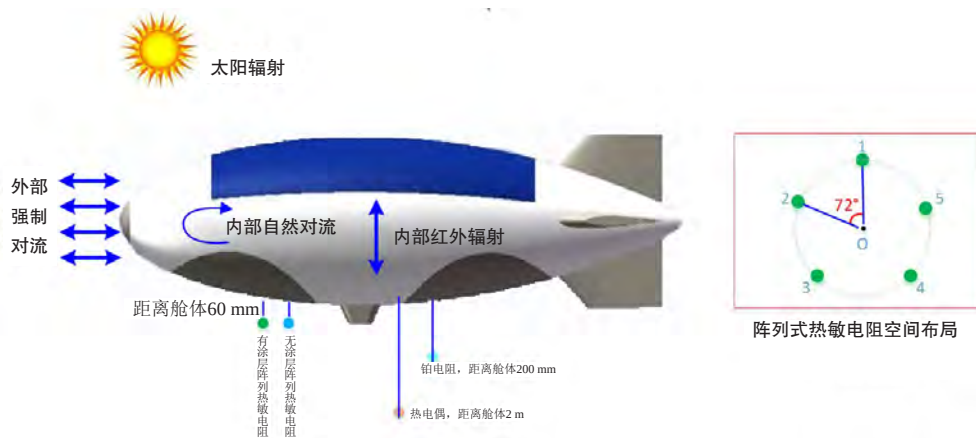


图7 飞艇中阵列式热敏电阻的空间布局示意图

Fig. 7 schematic diagram of space layout of array thermistors in airship

境中, 因此在飞行过程中会产生热尾流, 这种热尾流对大气温度测量的准确度有显著影响。

由图8可见, 在日出 (07: 20) 前, 飞艇动力系

统处于关闭状态, 2支热电偶传感器之间的温度差稳定在1~2 °C, 这种温度差主要是来自于悬挂位置差异。日出后, 在飞艇全速运动阶段 (07: 20—10: 20), 1 m

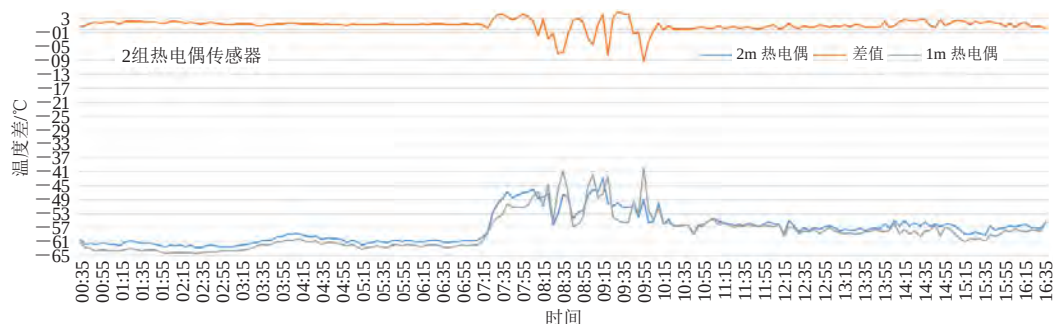


图8 两支热电偶温度传感器观测数据对比

Fig. 8 Comparison of two thermocouple temperature observation data

位置的热电偶温度最高升高了近20℃，两者之间的最大温度差接近10℃，这种温度差一方面是受到太阳辐射影响，而更主要原因，推断是受到飞艇动力装置带来的尾流加热影响，且距离飞艇越近受飞艇尾流加热影响越大；在飞艇低速运动阶段（10：20—16：45），飞艇动力系统尾流加热影响减弱，两者之间的温度差又变得较为稳定，基本在2℃以内。

2) 铂电阻温度传感器观测数据分析

2支铂电阻传感器均布设在距离飞艇底部20 cm位置，随飞艇上升至平流层。

由图9可见，在日出（07：20）前，2支铂电阻温度传感器之间的温度基本稳定在0.2℃以内，体现了非常好的测量一致性，只是在初期飞艇高度调整和释放下投探空阶段波动幅度较大。日出后，与热电偶传感器情况相似，2支铂电阻传感器之间的温度差逐渐变大，在飞艇全速运动阶段（07：20—10：20），两者之间的最大温差接近3℃，推断是受到太阳辐射和飞艇动力系统运转带来的热尾流的共同影响；在飞艇低速运动阶段（10：20—16：45），两者之间的温度差也恢复到1℃以内。

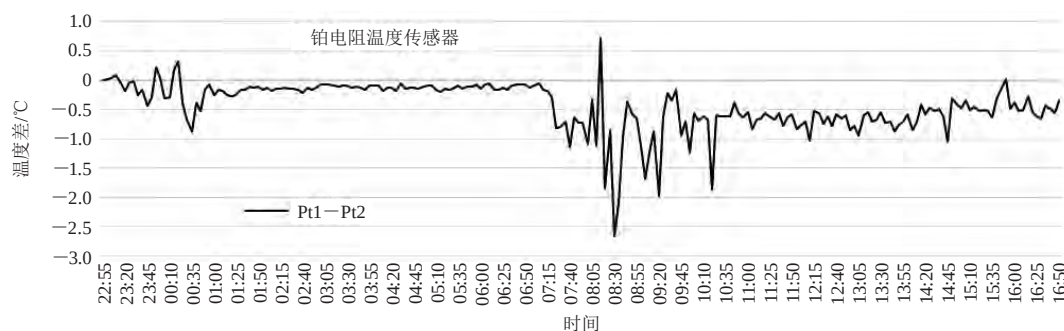


图9 两支铂电阻温度观测数据对比

Fig. 9 Comparison of two platinum resistance temperature observation data

3) 阵列式热敏电阻温度传感器观测数据分析

由图10和图11可见，如果以热电偶（2 m）温度传感器测量数据作为参考标准，在日出（07：20）前，受飞艇红外辐射影响，热敏电阻测量温度高于热电偶测量温度，有辐射涂层阵列热敏电阻的温度波动性明显小于无辐射涂层阵列热敏电阻。日出后，在飞艇全速运动阶段（07：20—10：20），受到太阳辐射、飞艇内部红外辐射和飞艇尾流的共同影响，无论热敏电阻是否有涂层，测量值都出现剧烈变化，比热电偶温度最多低接近12℃；在飞艇低速运动阶段（10：20—16：45），飞艇尾流对热电偶加热影响减弱，热敏电阻受飞艇内部红外辐射和太阳辐射影响增

强，热敏电阻比热电偶温度最多高接近10℃。

由图12可见，以无涂层传感器与有涂层传感器观测结果做差，在1、2和3号位置有无涂层传感器差异情况接近，在4号和5号位置有无涂层传感器差异情况接近。日出前，各位置上有无涂层热敏电阻传感器的差异小，主要是受大气长波辐射和艇体红外辐射影响、未受到太阳辐射影响；日出后，在4号和5号位置上，无涂层传感器测量温度高于有涂层传感器，受太阳辐射的影响，而在1、2、3号位置上，无涂层传感器测量温度高于有涂层传感器，推断是因为传感器距离艇身较近，存在阴影遮挡减小了太阳辐射的影响。

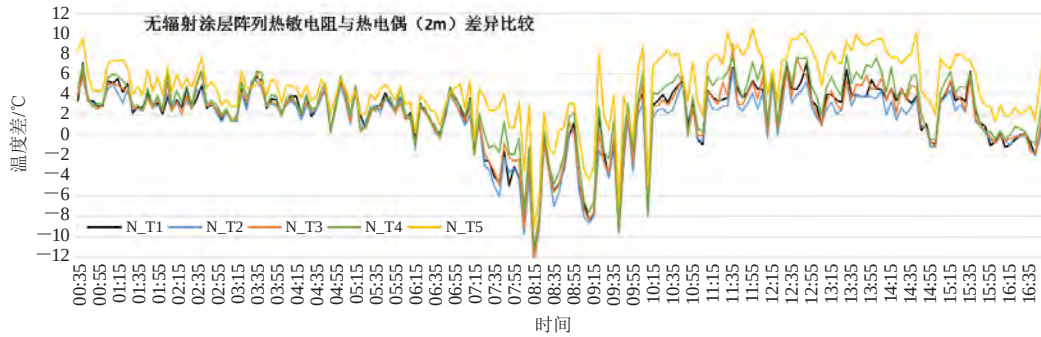


图10 无辐射涂层阵列热敏电阻与热电偶传感器（2 m）比较

Fig. 10 Comparison of radiation-free coated array thermistors with thermocouple sensors (2 m)

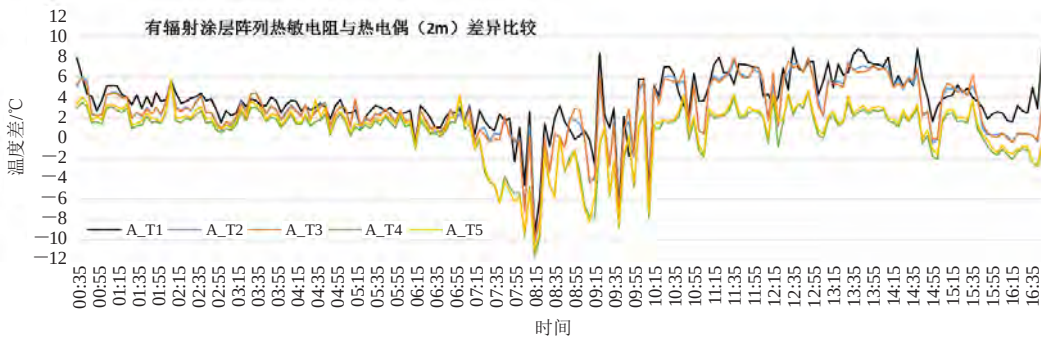


图11 有辐射涂层阵列热敏电阻与热电偶传感器（2 m）比较

Fig. 11 Comparison of radiation-coated array thermistor with thermocouple sensors (2 m)

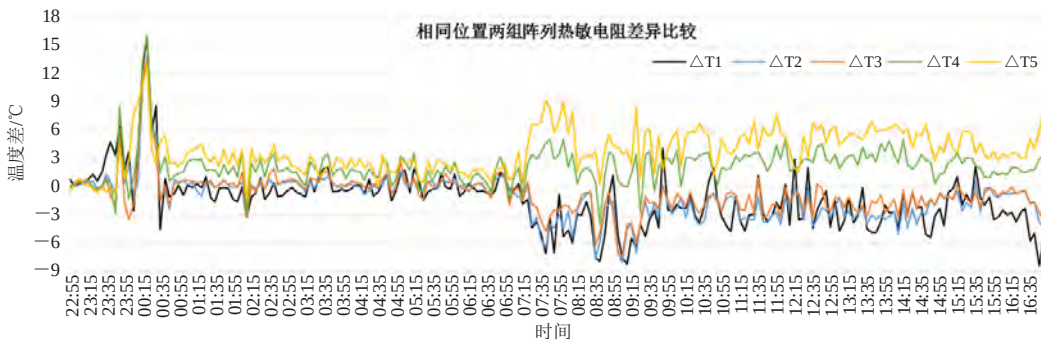


图12 相同位置两组阵列热敏电阻传感器比较

Fig. 12 Comparison of two array thermistor sensors in the same position

4) 大气温度观测布局优化方案

由上述分析可见，受飞艇尾流加热影响程度：热电偶（1 m）>热电偶（2 m）>铂电阻（20 cm）>热敏电阻（6 cm），飞艇的热尾流主要影响区域在距离飞艇底部1 m左右的位置，飞艇的内部红外辐射影响程度，则是距离艇体越远越小，距离艇身太近还会存在一定的阴影遮挡。为了减小太阳辐射和飞艇热尾流对大气温度观测结果的影响，优化温度传感器安装在飞艇周围的布局，可选用热电偶传感器，在飞艇的头部、尾部和两侧分别距离艇体至少2 m分别安装（如图13所示），因为太阳辐射和热尾流都是增温影

响，因此同一个观测时间里的最低温度传感器观测数据即可视为大气温度的相对真值。另外，结合计算流体力学方法提出的辐射误差修正算法，有望将热电偶组温度传感器的辐射误差修正精度提高到0.05 °C量级。

3 初步结论与展望

通过本次平流层飞艇气象观测试验数据分析，可以得出以下初步结论：

1) 基于飞艇平台的下投导航探空仪方式可行，观测数据稳定、可靠，未来飞艇平台观测技术更加趋于成熟稳定，可以成为台风等大尺度灾害性天气观测的一种新手段。

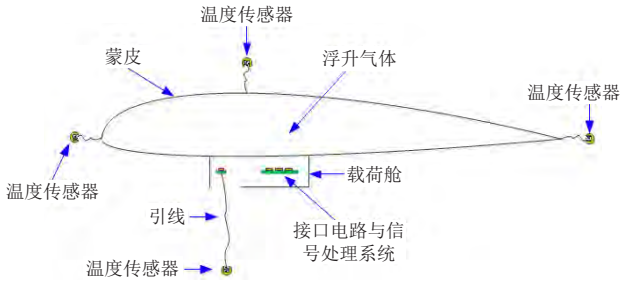


图13 飞艇上热电偶组温度传感器的优化布局示意图
Fig. 13 Schematic diagram of optimal layout of thermocouple group temperature sensors on airship

2) 平流层飞艇在平流层空间开展气象观测, 必须考虑太阳辐射、艇体内部红外辐射、飞艇动力系统产生的尾流等对气象要素观测的影响, 通过合理优化的观测布局设计和误差修正算法设计, 减小环境因素对观测结果的影响。

参考文献

- [1] 崔尔杰. 近空间飞行器研究发展现状及关键技术问题. 力学进展, 2009, 39(6): 658-673.
- [2] Smith I, Lee M, Fortneberry M, et al. HiSentinel80: Flight of a

- [1] High Altitude Airship. Aiaa Aviation Technology, Integration, and Operations, 2011:18.
- [2] Santapietro J J. Persistent wide area surveillance from an airship. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2012, 27(6): 11-16.
- [3] Androulakis S P, Judy R. Status and Plans of High Altitude Airship (HAATM) program. Aiaa Lighter-Than-Air Systems Technology, 2013.
- [4] K Kusagaya T, Kojima H, Fujii H A. Estimation of Flyable Regions for Planetary Airships. Journal of Aircraft, 2006, 43(4): 1177-1181.
- [5] Franceschetti G, Gervasio V, Vinelli F. Large urban areas monitoring: use of unmanned microwave powered airships as remote sensing nodes. Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications IEEE, 2012: 213-215.
- [6] Naylor A. Airship development world-wide- A 2001 review. Aiaa, Aircraft, Technology Integration, and Operations Forum, 2013.
- [7] Smith T, Bingham C, Stewart P, et al. Energy harvesting and power network architectures for the multibody advanced airship for transport high altitude cruiser-feeder airship concept. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part G Journal of Aerospace Engineering, 2013, 227(4): 586-598.
- [8] 姚伟, 李勇, 王文隽, 等. 美国平流层飞艇发展计划和研制进展. 航天器工程, 2008, 17(2): 69-75.
- [9] 赵达, 刘东旭, 孙康文, 等. 平流层飞艇研制现状、技术难点及发展趋势. 航空学报, 2016, 37(1): 45-56.
- [10] 黄宛宁, 才晶晶, 周江华. 平流层飞艇热力学验证温度测量方法研究. 宇航计测技术, 2013, (6): 36-41.

2018年全球气象和大气科学领域SCI论文产出增加6.6%

■ 本刊

基于中国气象局图书馆和本刊共同研制的《气象科学论文文献计量统计年度报告(2019年)》,在气象和大气科学领域,2018年全球总计发表SCI论文科技论文14327篇,较2017年增加了6.6%。其中美国(5040篇,增长1.7%)、中国(3443篇,增长11%)和英国(1479篇,增长0.47%)占据发文数量的前三位。2018年中国发表在上半区期刊(1和2区)的论文数(2277篇)占比达到66.1%,比前一年的61%上升了5个百分点,其中1区的论文1736篇,占50.4%,首次超过论文总量的

2018年,中国在气象和大气科学领域发表SCI论文20篇及以上的机构有54家,图1中给出这些机构的分布及主要研究团队的发文情况。在发文机构方面,中国气象局以667篇位列机构发文第一;南京信息工程大学(508篇)、中

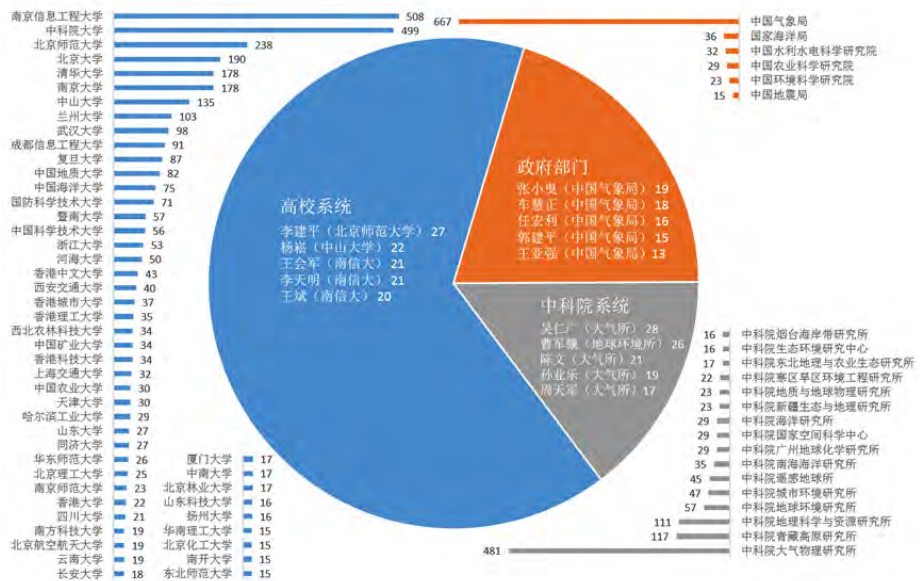


图1 2018年中国气象和大气科学领域SCI论文产出机构分布及主要研究团队发文情况

科大学(499篇)和中科院大气物理研究所(481篇)位列第二到第四位。中科院系统中,青藏高原研究所(117篇)和地理科学与资源研究所(111篇)是继大气物理研究所之后,发文量超过百篇的机构。在高校中,共有36所高校(其中港澳高校5所)的发文量达到了20篇及以上。

ZigBee无线传感器网络在TWP3风廓线雷达系统中的应用

吴维¹ 吴艳锋¹ 商量² 张焱¹ 段士军¹ 陆雅萍¹

(1 北京敏视达雷达有限公司, 北京 100094; 2北京理工大学, 北京 100081)

摘要: 风廓线雷达状态信息、机房室内外环境信息的采集与上传是十分必要的。传统方案是利用主控计算机串口, 采用RS232或RS422等有线通信协议读取这些信息。这种方案存在布线繁琐、计算机串口数量有限、传感器数量不易增加等缺点。ZigBee无线传感器网络是物联网技术中的一种。通过采用ZigBee芯片CC2538将雷达状态监视器和室内外环境信息检测电路板设置为网络终端节点, 将雷达主控计算机连接ZigBee通信模块设置为网络协调器, 组建了一个小型的星形ZigBee无线传感器网络。该网络通信可靠、布线简单、节省串口、扩容方便, 为TWP3风廓线雷达进一步拥抱物联网提供了思路。

关键词: 风廓线雷达, ZigBee, 物联网, 无线传感器网络, CC2538, 电磁兼容

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.002

Application of ZigBee Wireless Sensor Network in the TWP3 Wind Profile Radar System

Wu Wei¹, Wu Yanfeng¹, Shang Liang², Zhang Yao¹, Duan Shijun¹, Wang Yadong¹

(1 Beijing Metstar Radar Co., Ltd., Beijing 100094 2 Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract: It is of importance to collect and upload wind profiler radar status as well as indoor and outdoor environment. The traditional scheme is to read the information through the serial port of the master computer, based on the cable communication protocols such as RS232 or RS422. This scheme has the disadvantages of complicated wiring, limited number of computer serial ports, and difficulty in increasing the number of sensors. The ZigBee wireless sensor network is a new scheme. The radar status monitor and indoor and outdoor environment information detection circuit board are set to network terminal nodes with the ZigBee chip CC2538. The master computer is installed with a ZigBee communication module into network co-ordinator. A small star-shaped ZigBee wireless sensor network is established. The network communication is reliable, the wiring is simple, the serial port is saved, and the expansion is convenient, which provides an idea for the further Internet-of-Things transformation of wind profiler radar.

Keywords: wind profile radar, ZigBee, internet of things, wireless sensor network, CC2538, electromagnetic compatibility

0 引言

风廓线雷达是利用大气湍流对电磁波的“散射”作用对大气风场等物理量进行探测的一种遥感设备^[1]。TWP3风廓线雷达是一款边界层风廓线雷达, 支持24 h无人值守全自动运行。雷达状态信息及机房室内外环境信息的采集与上传是十分必要的^[2]。传统方案是利用计算机串口, 采用RS232或RS422等有线通信协议读取雷达状态监视器或每一路传感器的数据。这种方案存在布线繁琐、计算机串口数量有限、传感器数量不易增加等缺点^[3]。

万物互联的物联网思想提供了另外的方案, 通过建立一个无线传感器网络也可以实现状态信息的感知、识别、监视和应用。针对TWP3风廓线雷达技术特点综合对比几种无线网络方案, ZigBee技术有其独到之处。

1 ZigBee技术简介

ZigBee是一种短距离无线通信协议, 使用868 MHz、915 MHz和2.4 GHz这3个ISM (Industrial、Scientific and Medical: 工业、科学和医疗) 工作频段, 可在全球范围内免费使用^[4]。和WiFi相比, ZigBee成本低、功耗低; 和蓝牙相比, ZigBee传输距离长、开发难度小。目前ZigBee无线网络已经广泛应用于智能家居、智慧农业、智慧交通、医院监护、工

收稿日期: 2018年12月27日; 修回日期: 2019年5月14日
第一作者: 吴维 (1982—), Email: wei.wu@metstar.net

业自动化等物联网领域。

1.1 ZigBee 技术体系

ZigBee协议在开放系统互连（Open System Interconnection, OSI）参考模型的基础上，结合无线网络的特点，采用分层的思想实现，如图1所示。

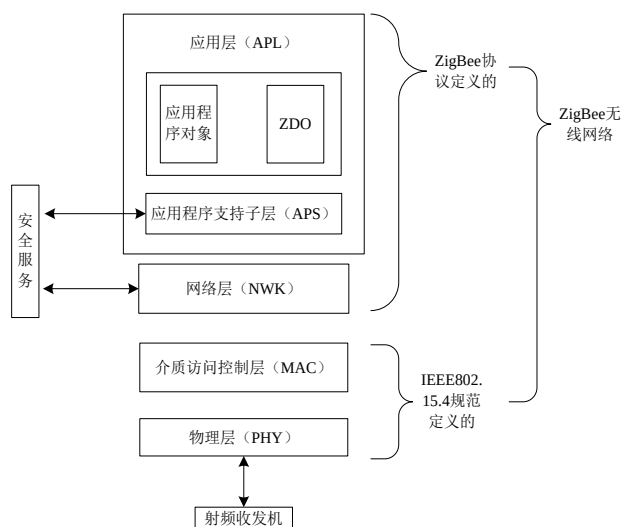


图1 ZigBee无线网络各层示意图

Fig. 1 Schematic diagram of each layer of the ZigBee wireless network

可以看出，ZigBee无线网络共分为5层：物理层、介质访问控制层、网络层、应用程序支持子层以及应用层。其中，IEEE802.15.4定义了物理层和介质访问控制层的数据传输规范，ZigBee协议定义了网络层、应用程序支持子层以及应用层的数据传输规范^[5]。

1.2 ZigBee 无线网络拓扑形式

ZigBee技术具有强大的组网能力，可以组成星形、树形和网状网^[6]，如下图2所示。

星形拓扑是最简单的一种拓扑形式，包含一个协调器（Co-ordinator）节点和一系列的终端（End Device）节点。每一个End Device节点只能和Co-ordinator节点进行通信。如果需要在两个End Device节点之间进行通信，必须通过Co-ordinator节点进行信息的转发。树形拓扑包括一个Co-ordinator以及一系列的Router（路由器）和End Device节点。Co-ordinator连接一系列的Router和End Device，它的子节点的Router也可以连接一系列的Router和End Device，这样可以重复多个层级。网状拓扑（Mesh拓扑）包含一个Co-ordinator和一系列的Router以及End Device。这种网络拓扑支持路由节点之间直接通信，一旦某个路由路径出现问题，信息可以自动沿其他路由路径继续传输^[7]。

星形和树形网络适合单点对多点、距离相对较近的应用。Mesh网状网络支持复杂的网络组合，可以覆

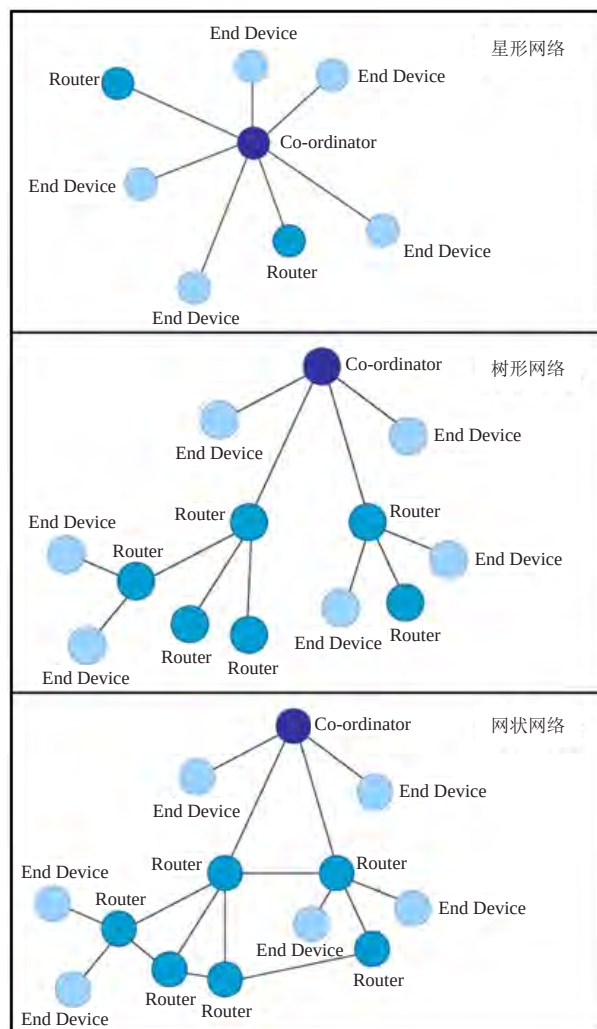


图2 ZigBee3种网络拓扑结构

Fig. 2 Three network topologies of the ZigBee

盖更广阔的范围以及更多的设备^[8]。

2 TWP3风廓线雷达ZigBee无线传感器网络组建

结合TWP3风廓线雷达的特点，选择组建星形网络。主控计算机作为协调器，雷达状态监视器、室内外环境信息采集板分别作为3个终端节点。

2.1 ZigBee 无线通信电路板的设计及室内外环境信息检测的实现

组建ZigBee无线传感器网络，需要有相关硬件和软件支持。硬件方面，美国TI公司SimpleLink™平台推出了支持ZigBee协议的CC2538芯片，这是一枚基于ARM Cortex-M3内核的单片机片上系统（SoC），强大的计算能力以及丰富的外设，使得此芯片特别适合数据采集及控制方面的应用。软件方面，TI公司也推出了相应的Z-stack协议栈^[9]。只要在编写CC2538芯片程序时集成并调用Z-stack协议栈的函数，就可以设定

电路板在无线传感器网络中的类型,实现无线通信,同时可以利用芯片上的外设实现信息采集和控制的功能。

TWP3风廓线雷达室内环境信息包括温度、湿度以及烟雾报警这3个变量。室外环境信息包括温度、烟雾报警和GPS信号这3个变量。综合考虑TWP3风廓线雷达的无线传感器网络需求,利用CC2538芯片设计一块电路板,预留温度传感器、湿度传感器、烟雾报警器以及RS232的接口,其中RS232接口可以和GPS传感器、状态监视器或者主控计算机通信。为了增加灵活性,此电路设计为直流电源或电池双供电模式。得益于CC2538芯片的超低功耗特性,作为终端节点使用时,采用4节5号电池供电,此电路可以工作半年以上时间^[10]。

设计的ZigBee无线通信电路板功能框图如图3所示。

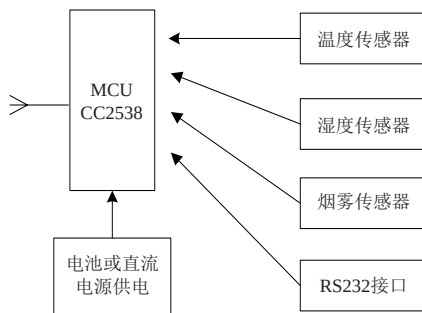


图3 ZigBee无线通信电路板功能框图

Fig. 3 Functional block diagram of ZigBee wireless communication circuit board

TWP3风廓线雷达进行室内外环境信息检测时,室内外各放置一块ZigBee无线通信电路板,根据需要连接相应传感器,即可实现预期功能。程序方面,需要将负责室内外环境信息检测的电路板设置为网络终端节点。

2.2 状态监视器的改造

TWP3状态监视器负责采集雷达自身状态信息,包括交流电电压、模拟电路直流电压、数字电路直流电压及雷达各个模块的状态信息。以前状态监视器电路通过RS232串口和计算机串口进行通信,现在令状态监视器电路通过RS232串口将信息传给ZigBee无线通信电路板,再由ZigBee无线通信电路板加入无线传感器网络。这种方案,硬件电路方面几乎不用修改,软件程序方面,需要将与状态监视器相连的ZigBee无线通信电路板设置为网络终端节点。TWP3状态监视器作为网络终端节点的框图如图4所示。

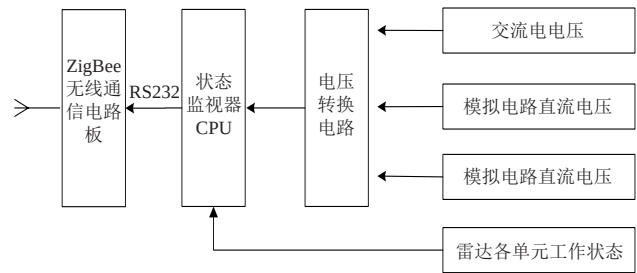


图4 TWP3状态监视器作为网络终端节点

Fig. 4 TWP3 status monitoring unit as network terminal node

2.3 主控计算机的改造

室内外环境信息检测电路板和状态监视器都被设置为网络终端节点,ZigBee无线传感器网络中的协调器就由主控计算机担任。将ZigBee无线通信电路板设置为协调器,通过RS232串口与计算机串口相连,计算机可以像使用串口一样通过ZigBee无线通信电路板读取网络终端节点的数据。

2.4 无线传感器网络工作流程

ZigBee无线传感器网络协调器和终端节点的工作流程如图5所示。

主控计算机通过网络协调器轮询状态监视器、室内、外环境信息检测电路,就可以得到所需的信息。鉴于这些信息重要性和优先级不同,状态监视器的信息每2 s读取一次,室内环境信息每分钟读取1次,室外环境信息每5 min读取1次。对于采用电池供电的电路,可以令CC2538间歇进入低功耗模式,这样可以显著延长电池的使用寿命^[10]。

3 ZigBee无线传感器网络在TWP3风廓线雷达应用效果

在实际应用中,ZigBee无线传感器网络每小时的通信次数就可以达到上千次。一个月的试用期内,即使天气条件恶劣,ZigBee无线传感器网络也能将数据稳定、可靠地上传至主控计算机。对于电磁兼容问题,一方面,TWP3风廓线雷达接收通道前端配置 (1290 ± 2) MHz的腔体滤波器,中频放大器后端配置 (60 ± 1) MHz的LC滤波器,ZigBee的频谱不会影响雷达工作;另一方面,雷达自身发射频谱也被有效控制,雷达发射机静态噪声 < -110 dBm/MHz,杂散 < -60 dBm,雷达也不会影响ZigBee无线传感器网络^[11]。实际使用中,TWP3风廓线雷达通过WPCS软件读取ZigBee无线传感器网络的数据,如图6所示。

4 结论

ZigBee无线传感器网络是实现物联网的方案之一。通过在TWP3风廓线雷达应用ZigBee无线传感器

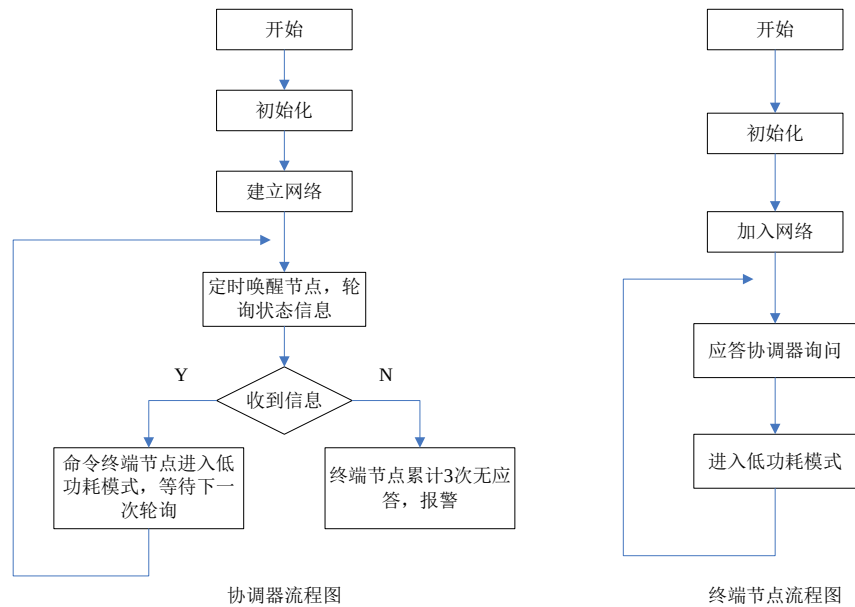


图5 ZigBee无线传感器网络协调器和终端节点的工作流程

Fig. 5 Workflow of the ZigBee wireless sensor network coordinator and terminal node



图6 WPCS软件读取ZigBee无线传感器网络的数据

Fig. 6 Data reading from the ZigBee wireless sensor network using the software WPCS

网络, 解决了传统方案布线繁琐、计算机串口数量有限、传感器数量不易增加等问题。实际使用中还发现, 某些风廓线雷达和自动气象站相邻, 而某些自动气象站或站内某些探测设备也支持ZigBee无线网络协议^[12]。将自动气象站的信息和雷达的信息互相融合,

综合处理, 会不会产生新的应用和收获? 万物互联的物联网, 一定会助力气象设备取得新的发展。

参考文献

- [1] 何平. 相控阵风廓线雷达. 北京: 气象出版社, 2006.
- [2] 陈浩君, 黄兴友, 王亚东, 等. 上海TWP3型边界层风廓线雷达探测性能评估. 气象科技, 2015, 43(3): 355-360.
- [3] 北京敏视达雷达有限公司. TWP3型边界层风廓线雷达手册(上). 北京: 北京敏视达雷达有限公司, 2010.
- [4] Heydon R. 低功耗蓝牙开发权威指南. 陈灿峰, 刘嘉, 译. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [5] 谭晖. 低功耗蓝牙技术快速入门. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2016.
- [6] 李文仲, 段朝玉. ZigBee无线网络技术入门与实践. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [7] 赵芸, 张浩, 彭道刚. ZigBee无线网络技术的应用. 机电一体化, 2007(4): 34-38.
- [8] Jing S, Zhang X. Study of ZigBee wireless mesh networks// International Conference on Hybrid Intelligent Systems. 2009.
- [9] 孙鲁, 籍芳, 陈凯, 等. 基于CC2538和Contiki的无线传感器网络设计. 物联网技术, 2015(3): 21-23.
- [10] 戴由旺, 李增有, 韦俞锋. 基于ZigBee的低功耗无线传感节点设计与实现. 现代电子技术, 2011, 34(18): 121-123.
- [11] 石铁峰, 顾淡云. 1kWUHF声电测风雷达系统全固态发射机. 现代雷达, 1996(4): 67-75.
- [12] 徐兵, 唐慧强. 基于ZigBee的自动气象站系统的设计. 微计算机信息, 2009, 25(3): 154-155.

气候变化的经济影响研究综述

郑天天

(中国海洋大学经济学院, 青岛 266100)

摘要: 近年来, 经济对气候变化的敏感性已成为当今研究的主导领域。随着气候经济学理论的逐步成熟, 越来越多的研究开始关注气候与经济之间的相互影响。众多研究表明, 气候变化的原因可能是自然的内部过程, 也可能是外部力量, 或者是由于持续的人为变化。基于此背景, 近年来对气候的经济影响研究主要包括气候变化分别对不同经济体、金融体系、不同经济部门、经济政策等造成的影响以及极端天气与经济发展之间的关系等内容。人们开始意识到经济活动和气候之间存在着双向反馈, 因此探讨气候变化带来的经济影响问题对于维护经济稳定、采取气候经济政策有着重要的现实意义。

关键词: 气候变化, 经济部门, 气候政策

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.003

A Review on Economic Impact of Climate Change

Zheng Tiantian

(School of Economy, Ocean University of China, Qingdao 266100)

Abstract: The sensitivity of economy to climate change has become a dominant field of research. With the gradual maturity of climate economics theory, increasing researches have been focusing on the interplay of climate and economy. Climate change may be attributed to naturally internal processes, or external forces, or persistently anthropogenic activities. Under this background, studies on the economic impacts of climate change mainly focus on how climate change influences different economies, financial systems, different sectors, and economy policies, respectively, and the relationship between extreme weather and economic development. It has been recognized that there is bidirectional feedback between human activities and the climate. Therefore, studies of the economic impact of climate change will be very meaningful to sustain stable economy and take effective policies on climate.

Keywords: climate change, economy sectors, climate policies.

0 引言

气候变化问题对于人类的生存至关重要。如果不加以控制, 在下一个世纪, 全球平均地表温度将上升3℃左右, 这在人类文明整个历史上都是前所未有的^[1]。根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)的报告, 如果气温增加超过2.5℃, 全球所有地区都可能受到影响, 发展中国家受到的损害尤为严重; 如果气温升高4℃, 可能会给全球生态系统带来不可逆转的破坏, 从而给全球经济造成重大损失。

1 气候变化对不同经济体的影响

发达经济体能够更好地适应气候变化是全球性的共识, 然而, 这一共识却在近期受到挑战: 美国的一项基于地方数据的研究表明, 每日温度高于15℃时会显著降低个人收入。同时研究基于细胞水平的温度与

经济增长的关系, 发现预测出的温度增长对美国 and 欧洲的经济增长有显著的负面影响^[2]。

在整个欧洲, 中等温度对不同区域的国内生产总值存在负向的影响。然而, 在极端温度下, 整个欧洲的国内生产总值(GDP)都会受到显著的负面影响, 尤其是在南部地区, 一些县级区域的GDP会因极端温度而下降。此外, 气候变化会导致欧洲各地工资水平的差异, 这可能会导致人们从欧洲南部向北部移民, 尤其是向北欧国家迁移^[3]。与此相对的还有有关美洲气候变化的研究。一项对于墨西哥气候^[4]的研究指出, 尽管墨西哥是发展中国家, 但其温室气体排放总量在全球排名第十, 同时在生态上易受气候变化的影响。墨西哥对气候变化影响的脆弱性, 推动了该国家宣布实施一系列减少温室气体基本排放量的政策与措施。研究认为, 减少气候变化损害仅仅能够带来较为长期但不确定的利益, 但实际上这与国家乃至世界的短期利益同样切实相关。

收稿日期: 2018年12月28日; 修回日期: 2019年5月25日
第一作者: 郑天天(1995—), Email: 565415772@qq.com

2 气候变化对金融体系的影响

随着气候变化造成的损害越来越明显, 各种不同金融资产的表现同样可能受到影响。随着气候变化对经济的作用近年来受到越来越多的关注, 一些气候经济相关研究认为, 气候对金融体系的影响应当引起重视。有研究表明, 气候变化可能对金融系统的稳定性产生严重影响^[5-6]。气温上升和气候变化造成的经济灾难可能会降低企业的盈利能力, 并恶化企业的财务状况。因此, 气候造成的影响可能包括债务违约, 从而导致银行的系统性损失; 企业盈利能力下降, 再加上全球变暖带来的损害, 会影响投资者的信心, 导致流动性偏好上升, 导致企业部门发行的金融工具被低价售出, 造成亏损^[7-8]。现在的研究共同认证了两种与气候有关的金融风险: 第一, 企业向低碳经济转型会带来一定的冲击, 由此形成碳密集型资产的重新估值相关的转型风险; 其次, 是与气候相关事件造成的经济损失相关的有形风险。到目前为止, 大多数研究都集中在转型风险的影响上, 更需要注意的是对物理风险的详细分析, 这在宏观模型中还只是部分探讨^[9-10]。但是, 针对有形风险的研究其实尤为重要: 如果未来几十年向低碳经济的转型非常缓慢, 从而最终无法避免全球变暖的恶化, 对于有形风险的研究可以帮助我们理解金融体系将如何受到损害, 同时使我们能够了解哪些政策可能更有效地减少可能由气候损害造成的金融系统不稳定^[11]。

许多研究还强调了气候变化损害对金融资产价格以及企业和银行财务状况的影响。实施绿色企业量化宽松计划可以减少气候引发的金融不稳定, 并限制全球变暖。该计划的有效性取决于绿色投资对债券收益率变化的响应能力^[12]。此外, 气候变化破坏了企业的资本, 降低了企业的盈利能力, 可能会逐渐恶化企业的流动性, 导致违约率上升, 这可能会损害金融和非金融企业部门。此外, 气候变化造成的损害可能导致投资组合的重新配置, 导致公司债券价格逐渐下跌, 气候引发的金融不稳定可能对信贷扩张产生不利影响, 加剧气候变化对经济活动的负面影响。

3 经济与极端天气之间的关系

近年来, 极端天气事件发生的频率和强度都在增加, 这将带来更大的经济成本, 也变得更容易预测。不仅是发展中国家, 发达国家也会受到这些条件的损害, 给人民的生命财产安全造成极大的危害。越来越多的学者开始关注经济发展与气候变化导致的极端天气风险之间的关系。更具体地说, 气候变化是一个较为广泛的概念, 包括降雨、温度、风力、太阳能以及

许多其他因素, 而气候变化对经济的影响通常是根据平均天气状况的变化来估计的, 通常以产出或利润的损失来衡量其影响程度。

然而, 人们对极端天气事件的影响知之甚少, 尤其是对中长期经济的影响。事实上, 气候变化会增加极端气温的风险。有研究表明, 加速创新可以部分地减缓极端天气的威胁, 这种创新会削弱过去人口死亡率和极端高温之间的关系。同时, 因为不断上升的气温增加了用于保护经济稳定的产品的需求, 也就是说, 技术创新能够减缓气候变化的影响, 气候变化也推动了技术的创新速度, 二者的作用是相互的^[13]。

此外, 在研究气候变化的经济影响时, 极端天气事件对生产力影响的重要性往往容易被忽视。有研究表明, 极端天气事件也会影响一个国家的生产率。例如, 严重的干旱会降低农业全要素生产率, 从而极大地影响了该国农业全要素生产率增长的长期放缓^[14]。

4 气候变化对不同部门的影响

4.1 渔业部门

许多研究显示了渔业部门会明显受到气候变化的影响。一般来说, 气候影响着世界上所有的地区, 自然系统的变化显然能够通过直接和间接的途径对不同地区的经济政策产生不可避免的影响^[15]。对于渔业部门来说, 气候变化可能对鱼类生产产生重大影响, 也可能导致食品安全性出现一系列问题。因此, 对于一个国家而言, 想要维持渔业人均生产总量的水平保持稳定, 采取适当的战略来适应气候变化是不可或缺的。

有学者对海岛的渔业经济部门进行了研究。与其他发展中国家和太平洋国家相同, 由于这类国家的地理位置、社会经济条件 and 政治往往不稳定, 因此相对更容易受到气候变化的影响。例如, 瓦努阿图和东帝汶的渔业部门是其重要的粮食和收入来源。一些具体的战略使岛屿类国家能够在中期和长期显著地改进沿海和淡水鱼类的生产, 例如可利用水产养殖发展、通过建立和扩大海洋保护区来管理自然资源, 以及部署低成本近海鱼类的聚集装置等战略措施。由于人口增长和收入的改善, 鱼类消费预计会增加, 产量自然也会随之大幅增加, 因此为了改善气候变化下的生产条件, 将需要这类国家政府及私营部门对于渔业进行大量投资^[16]。此外, 气候变化会对捕捞渔业、水产养殖部门产生巨大的压力, 特别是对于一些岛国或沿海地区来说, 比如斐济等, 捕捞渔业与水产养殖部门在这类国家的国民经济与粮食安全生产中扮演着至关重要的角色, 因此采取适应性政策来减少气候变化的负面影

响，将会是国家经济政策的重要组成部分^[17]。

众所周知，比目鱼的生产对渔业十分重要，在海产品的生产中占据了重要组成部分。然而，这种鱼类生产的可持续性正受到气候变化以及其他非气候人类压力因素的挑战。因此，迫切需要扩大对不同鱼类及其渔业对气候变化影响的脆弱性和风险的认识，并采取适当的措施来缓解这种负面影响，同时重视海洋养殖的潜力，将气候变化纳入鱼种保护和渔业管理措施的重要因素之中^[18]。

4.2 农业部门

许多学者已经证实了气候变化对农业部门的经济影响。比如对于许多非洲国家来说，农业对国内生产总值发挥着至关重要的作用^[19]。同时，农业经济部门、粮食的缺乏和气候的脆弱性三者之间有着千丝万缕的联系，因此在某一特定时期内，农业增长非常容易受到气候变化的影响而产生严重的后果^[20]。同样，由于农业生产系统涉及到经济和环境因素，该部门与气候变化的相互作用和影响也更为复杂和深远。国内外许多研究都证明了种植业、畜牧业、渔业、林业等农业生产都容易受到气候变化的影响，因此探讨气候与农业经济部门之间发挥作用的动态变化具有很强的现实意义^[21-22]。

有研究已经证明气候变化对农业生产的净收入有显著影响。特别是气温上升（气候变化的主要因素之一）可能对海岸带农业产生不利影响^[23]。另外有学者通过进行相关分析考察了极端的气温和降雨量的影响，并预测了这两者因素对年度净收益的影响，结果表明，在两个不同的季节，家庭收入和天气之间的关系变量之间非线性显著和倒U形关系，比如在旱季，随着气温和降雨量的增加，净收入减少^[24]。气候变化包括一组气候变量的分布变化，包括温度、降水、湿度、风速、日照时间和水汽蒸发等。这些气候变量，尤其是湿度和风速，对作物生长至关重要。因此，忽略这些变量可能会使气候变化对农作物产量的预期影响产生偏差：有研究证明，忽略湿度往往会高估气候变化对农作物产量的影响，而忽略风速可能会低估影响^[25]。

有学者对巴基斯坦的气候影响进行了研究。农业本身容易受到许多种风险的影响，相对而言，多年来，中国一直因缺少农业保险而面临着自然灾害造成的巨大损失，因此，农作物保险可以作为管理风险的一种有效工具。在引入农业保险计划时，应当考虑的因素包括：过去极端天气的严重程度和频率、农业部门细分类型、社会经济环境以及农民的支付能力和支付意愿。此外，也应当向农民进行气候变化与极端天

气事件所带来影响的知识普及和意识宣传，并且政府对农业保险、农业补贴进行支持也会增加处于农民对农业保险的需求，有效缓解这种极端天气事件对农业经济部门造成的不利影响^[15]。

总的来说，上述调查表明，农业可能是对气候变化最敏感的部门之一，气候变化对农业的影响是多方面的。气候变化将增加我国未来农业生产的不稳定性，产量将出现较大波动。农业生产部门的布局 and 结构、农业生产条件将发生变化，农业成本和投资将大幅增加。此外，全球变暖将导致某些地区地表径流变化、干旱洪涝频发、水质变化，特别是水资源供需矛盾。

5 气候变化与经济政策

一些学者认为，政策制定者应该最关注经济发展在不同阶段的气候政策所面临的主要挑战和机遇。同时不同的经济体应该采取行动，在气候政策方面进行合作。William D. Nordhaus，2018年诺贝尔经济奖的获得者，其建立的对于研究全球经济与气候系统的动态定量模型能够模拟出未来经济和气候如何在对于自然和市场经济（包括相关政策）的运作的不同假设下进行共同的发展。该模型分析了不同国家在气候变化政策上的策略，结果表明，合作性策略比非合作性策略的减排水平更加有效^[1]。

近年来，许多国家都把目光投向了碳排放，同时碳排放对气候变化的影响方式也紧随其后。CO₂的排放会导致大气中CO₂浓度的增加，CO₂浓度的变化受碳循环的影响^[12]。因此一些国家出台了与碳排放相关的环境政策，比如碳税、燃油税以及承诺减少碳排放的一些政策组合，对生产效率和国家经济都发挥了一定的作用。比如，斯里兰卡实行了碳排放税政策，2011年的排放量相比2010年降低了7%。巴基斯坦，尽管2011年的能源补贴和税收市场都发生了扭曲，但碳排放税对于对GDP依然没有负面影响。因此，以这两个经济体为例探究的结果表明，尽管碳排放税政策并非是一种适用于所有气候变化的工具，然而在特定情况下，国家的福利损失可以从碳税收入中得到补偿^[26]。此外，气候变化被视为一个重大的全球性挑战，能源部门的去碳化需要进行大规模的转型，包括增加可再生能源在能源结构中的比重，以及将碳捕获和储存过程纳入其中^[27]。

此外，气候变化现在是公共政策需要考虑的一个重要方面。在气候政策立法方面，世界主要的经济体中已经有近500条的气候变化法律。通过新的气候法律会受几个因素的影响，其中一个重要的原因是旧法

的数量与质量。但也有研究表明, 尽管通常来说政治倾向并不是决定性因素, 但政治因素依然至关重要: 对于民主国家来说, 成立一项气候相关的法律需要经过一再商讨, 同时需要能够承担既得利益的强有力的行政部门来辅助实施^[28]。同时在社会方面, 一些学者将他们的关注点放在社会经济、产业政策之上, 比如旅游业游客数量, 以及旅游资源的使用者数量等。旅游业显然是较为容易受到气候变化影响的产业, 如果自然地区遭受到了洪水、干旱、早春、入侵物种或极端天气等因素的影响, 旅游业将会受到巨大的打击^[29]。

6 结论

综上所述, 气候变化对经济的影响一直是研究的热点, 但这并不意味着对气候变化的研究已经足够深入。世界各国学者的共识是, 气候变化的90%以上可能是人类自身的责任, 人类今天做出的决定和选择将影响气候变化的趋势。迄今为止, 地球的温室效应比历史上任何一个时点都更加严重, 如果这种情况继续恶化, 到21世纪末, 地球的温度将攀升到二百万年来的最高水平。

同时, 这些研究表明, 气候变化风险具有复杂性、内在价值、难以完全量化、动态性和客观性等特点。到目前为止, 气候变化对经济影响的研究主要集中在渔业部门、农业部门、金融体系和气候政策方面。国内外气候变化经济社会风险评估分析方法主要包括风险概率建模与评估、指标体系风险建模与评估、情景模拟动态风险建模与评估方法、气候变化风险社会经济评估图标系统等。由于气候变化风险对经济影响的跨时间性和不确定性, 目前仍有许多未知的研究领域, 如定量与制图, 以及自然影响评价的区别与方法合作, 因此未来的研究仍有很大的改进空间。

参考文献

- [1] William D N, Yang Z L. A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies. *The American Economic Review*, 1996, 86: 741-765.
- [2] Du D, Zhao X B, Huang R H. The impact of climate change on developed economies. *Economics Letters*, 2017, 153: 43-46.
- [3] Asbjørn A, Helene A, Therese D, et al. Impacts and adaptation to climate change in European economies. *Global Environmental Change*, 2012, 22(4): 959-968.
- [4] Wei D, Alejandro B, Adam R, et al. Climate change and the economy in Baja California: assessment of macroeconomic impacts of the state's climate action plan. *Ecological Economics*, 2017, 131: 373-388.
- [5] Peter S, Ben Z. An empirical evaluation of three post Keynesian models. University of Massachusetts Amherst: University of Massachusetts Amherst, 2010.
- [6] Misa T, Sandra B, Rhiannon S. Let's talk about the weather: the impact of climate change on central banks. Bank of England: Bank of England, 2016.
- [7] Emmanuel B, Gaël G, Florent M I. Coping with collapse: a stock-flow consistent monetary macrodynamics of global warming. *Ecological Economics*, 2018, 147: 383-398.
- [8] Yannis D, Maria N, Giorgos G. A stock-flow-fund ecological macroeconomic model. *Ecological Economics* 2017, 131: 191-207.
- [9] Stefano B, Antoine M, Irene M, et al. A climate stress-test of the financial system. *Nature Climate Change*, 2017, 7: 283.
- [10] Arjan T, Bert S, Machiel M, et al. Fossil fuel divestment and portfolio performance. *Ecological Economics*, 2018, 146: 740-748.
- [11] Simon D, Alex B, Charlie D et al. Climate value at risk of global financial assets. *Nature Climate Change*, 2016, 6(7): 676-679.
- [12] Yannis D, Maria N, Giorgos G. Climate change, financial stability and monetary policy. *Ecological Economics*, 2018, 152: 219-234.
- [13] Matthew E K, Zhao D X. The impact of climate change skepticism on adaptation in a market economy. *Research in Economics*, 2018, 72(2): 251-262.
- [14] Sheng Y, Xu X. The productivity impact of climate change: evidence from Australia's millennium drought. *Economic Modelling*, 2018.
- [15] Shah F, Jing W. Evaluation of Pakistani farmers' willingness to pay for crop insurance using contingent valuation method: the case of Khyber Pakhtunkhwa province. *Land Use Policy*, 2018, 72: 570-577.
- [16] Mark W R, Madan M D, Rowena V S, et al. Economic impacts of climate change and climate change adaptation strategies in Vanuatu and Timor-Leste. *Marine Policy*, 2016, 67: 179-188.
- [17] Madan M D, Kamal G, Rowena V S, et al. Economic impact of climate change and climate change adaptation strategies for fisheries sector in Fiji. *Marine Policy*, 2016, 67: 164-170.
- [18] William W L C, Muhammed A O. Vulnerability of flatfish and their fisheries to climate change. *Journal of Sea Research*, 2018, 140: 1-10.
- [19] Luc C, Lionel D, Jesper K. The (evolving) role of agriculture in poverty reduction: an empirical perspective. *Journal of Development Economics*, 2011, 96(2): 239-254.
- [20] John F, Morton. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, 2007.
- [21] Olawale E O, Isaac K T, Labode P. Differential impacts of rainfall and irrigation on agricultural production in Nigeria: any lessons for climate-smart agriculture? *Agricultural Water Management*, 2016, 178: 30-36.
- [22] Thomas O O, van A L, Edward O. Economic impacts of climate change considering individual, additive, and simultaneous changes in forest and agriculture sectors in Canada: a dynamic, multi-regional CGE model analysis. *Forest Policy and Economics*, 2016, 63: 43-51.
- [23] Diptimayee M, Naresh C S. Economic impact of climate change on agriculture sector of coastal odisha. *APCBEE Procedia*, 2014, 10: 241-245.
- [24] Nguyen T L H, Yao S B, Shah F. Economic impact of climate change on agriculture using Ricardian approach: a case of northwest Vietnam. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2018.
- [25] Zhang P, Zhang J J, Chen M P. Economic impacts of climate change on agriculture: the importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 83: 8-31.
- [26] Sumali D, Renuka M, John A A. How efficient are market-based instruments in mitigating climate change in small emitter South Asian economies? *Economic Modelling*, 2018, 75: 169-180.
- [27] Carine L, Francesco C, Gabriel D O et al. Norwegian waste-to-energy: climate change, circular economy and carbon capture and storage. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, 126: 50-61.
- [28] Sam F, Caterina G, Murray C. The political economy of passing climate change legislation: evidence from a survey. *Global Environmental Change*, 2015, 35: 52-61.
- [29] Lisa G, Sonja W S, Mark M. Climate change impacts in Missouri state parks: perceptions from engaged park users. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 2018, 24: 11-20.

2017年初春贵州高速公路大雾天气分析

胡跃文¹ 秦杰² 裴兴云³ 牛迪宇³ 吉廷艳³

(1 贵州省气象学会, 贵阳 550002; 2 贵阳市乌当区气象局, 贵阳 550018; 3 贵州省气象服务中心, 贵阳 550002)

摘要: 利用气象自动站和交通气象站逐分钟能见度观测资料和天气图资料, 分析了2017年初春发生在贵州多条高速公路的持续性大雾天气形成原因, 探讨了山区高速公路大雾天气应对措施。结果表明: 高空槽东移影响, 低空西南气流将南海水汽向贵州输送, 静止锋系统东西摆动和长时间存在, 是这次高速公路大雾过程的主要天气背景。在锋面天气系统影响下, 相邻区域内海拔高度与能见度具有反相关性, 海拔较高处能见度较低, 大雾现象严重、持续时间较长, 贵州高速公路因海拔相对较高更容易发生大雾。锋面逆温维持, 大气层结稳定, 有利于水汽在低空聚集, 充沛的水汽和辐合有利于低云发展增厚、云底下降, 从而导致近地面大雾形成和维持; 随着逆温层减弱消失, 稳定层受到破坏, 不利于水汽聚集和低云发展, 地面大雾也随之减弱消散。应对大雾天气需要特别注意隧道内外能见度反差较大的影响, 以及锋面大雾天气因路面湿滑和低能见度双重因素的影响。

关键词: 大雾, 高速公路, 静止锋, 水汽辐合

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.004

Analysis of Heavy Fog on Expressways of Guizhou Province in Early Spring of 2017

Hu Yuewen¹, Qin Jie², Pei Xingyun³, Niu Diyu³, Ji Tingyan³

(1 Guizhou Meteorological Society, GuiYang 550002 2 Wudang District Meteorological Office of Guiyang, Guiyang 550018

3 Meteorological Service center of GuiZhou province, GuiYang 550002)

Abstract: Based on the synoptic map and one-minute visibility data from automatic weather stations and traffic weather stations, the causes of persistent heavy fog occurred on 9 to 12 March 2017 on expressways of Guizhou were analyzed. The countermeasures of heavy fog weather on mountainous expressways were discussed. The results showed that heavy fog mainly occurred on the expressways under the influence of upper trough eastward movement, water vapor transports from the South China Sea to Guizhou by the southwest airflow, and the east-west shift and long-term existence of the static front system. Visibility in adjacent areas was negatively correlated with altitude because of the influence of frontal weather system. The fog was heavier and lasted for longer time at higher altitudes, resulting in lower visibility. Heavy fog was more likely to occur on expressways in Guizhou because of the relatively high altitude. Atmospheric stratification was stable under the frontal inversion, which was conducive to water vapor accumulation at low levels. The abundant water vapor and convergence was conducive to the development and thickening of low clouds and cloud bottom descent, resulting in the formation and maintenance of heavy fog near the ground. The stability layer was destroyed as the inversion layer weakened and disappeared. This was not conducive to water vapor accumulation and low cloud development, which was beneficial to the weakening and dissipating of the heavy fog. In order to deal with heavy fog weather, special attentions should be paid to the influence of contrasting visibility between inside and outside of tunnels, as well as the influence of wet road surface and low visibility in frontal heavy fog.

Keyword: heavy fog, expressway, stationary front, water vapor convergence

0 引言

贵州地处低纬高原山区, 地形地貌复杂, 天气气候多变, 大雾天气频发, 空间分布差异大, 并呈增多趋势, 对交通安全与畅通存在严重隐患。陈娟等^[1]对贵州雾的研究表明, 1961—2010年贵州大雾的年际间

变化呈现增加趋势, 贵州大雾具有明显的区域分布特征, 各地大雾日数从最少约4 d到最多114 d不等, 大雾有4个高值中心, 包括西部乌蒙山东侧、黔中开阳和息烽县一带、黔东南苗岭山脉一带、黔西南晴隆和普安等地。近年来贵州高速公路建设营运发展迅速, 2018年贵州高速公路通车里程已达6450 km, 高速公路网已覆盖全省各县, 实现全省县县通高速。随着高速公路网的广覆盖, 加上贵州高速公路多隧道和桥梁的特点, 大雾等灾害性天气下高速公路网脆弱性提高, 大

收稿日期: 2019年5月10日; 修回日期: 2019年5月29日

第一作者: 胡跃文(1964—), Email:1006537820@qq.com

资助信息: 贵州省科技支撑计划项目 黔科合支撑[2017]2812)

雾对贵州高速公路交通影响将越来越严重,一旦引发交通事故将造成重大经济损失和人员伤亡。如何应对大雾天气影响已成为交通、气象等相关部门的重要任务。开展高速公路大雾成因分析,有助于提升高速公路大雾预报预警服务能力,对高速公路安全管理、应急措施制定等相关工作具有重要意义。

关于高速公路雾的发生、发展规律与预报方法,国内科研工作者相继开展了较多研究。张利娜等^[2]分析了北京高速公路大气能见度演变特征及相对应的物理因子,对大气能见度演变的动力热力条件进行了探讨。吴彬贵等^[3]研究了京津塘高速公路秋冬雾气象要素与环流特征。吴兑等^[4]利用广东南岭山地京珠高速公路粤北段布设的能见度仪和自动气象站观测资料,分析发现南岭山地高速公路雾区在11月一次年5月最盛。王博妮等^[5]对江苏沿海高速公路低能见度浓雾的研究指出:高空暖性高压脊和地面变性冷高压的高低空环流配置为雾的形成提供了逆温层结和近地面的弱风场条件;偏东气流和逆温层保证了水汽供应及在低层汇聚。田小毅等^[6]对沪宁高速公路江苏段低能见度浓雾天气过程实时资料分析,证实了浓雾具有较强的地域性特征,在丘陵、水网密集地区多局地性浓雾,日出后是团雾多发时段。有些学者^[7-22]对高速公路大雾及其影响也开展了相关研究。贵州因地形作用常受

静止锋影响而出现锋面大雾,并能持续较长时间,有时数日都是雨雾弥漫,能见度很低。针对贵州高速公路大雾的研究工作尚处于起步阶段。唐延婧等^[21]对贵州山区高速公路低能见度研究指出,低能见度长过程有“象鼻”和缓慢下降的前期形态,能见度震荡幅度大、变化快;短过程占多数,能见度呈“突降”形态,其范围小、强度大、发生突然。关于贵州高速公路雾的研究有待进一步开展。

本文利用气象自动站和交通气象站逐分钟能见度观测资料、天气图资料以及贵阳探空资料,分析了2017年初春发生在贵州多条高速公路的持续性大雾天气形成原因,探讨了山区高速公路大雾天气应对措施,以期高速公路大雾预报服务提供技术参考。

1 资料与方法

1.1 天气实况

2017年3月9—12日贵州境内沪昆、兰海、杭瑞、惠兴等高速公路出现持续性大雾天气(能见度 ≤ 500 m)。这是一次锋面大雾天气过程,大雾持续时间较长,从9日00时—13日08时持续有大雾出现,其中,9日23时—10日08时及11日21时—12日09时这两个时段内大雾范围较广,气象站监测显示大雾范围持续在10县站以上(图1)。

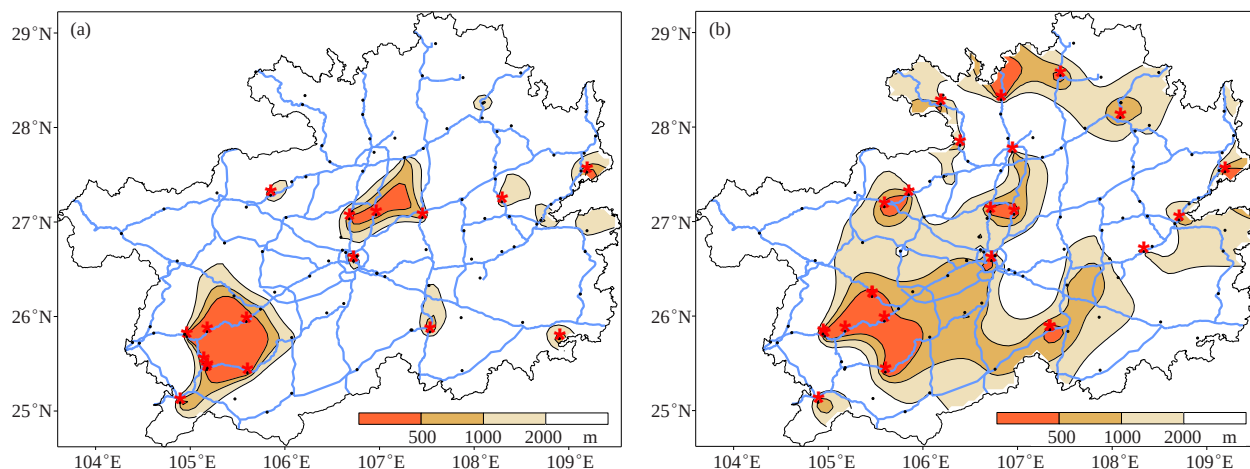


图1 2017年3月10日06时(a)和12日04时(b)高速公路大雾分布(色斑为能见度,单位:m)

Fig. 1 Heavy fog distribution on expressways at 06:00 BT 10 March (a) and 04:00 BT 12 March (b) 2017 (Shaded areas are visibility, unit: m)

3月8日贵州中东部受冷高压控制,静止锋位于云南南部,8日夜到9日白天冷高压减弱东移,静止锋随之东退北抬,沪昆高速普安、关岭、清镇等地出现大雾;9日夜随着静止锋再次西伸南压,大雾范围扩大,除沪昆高速普安、关岭外,兰海高速息烽、惠兴高速兴仁等地也出现大雾;10日白天到11日白天

大雾天气减弱,在兰海息烽、都匀等地有大雾;11日夜到12日早晨大雾天气再次增强,12日03—05时贵州高速公路多地出现大雾,包括沪昆高速(普安、晴隆、关岭、安顺、清镇、贵阳)、兰海高速(修文、息烽、遵义)、蓉遵高速(习水、仁怀)、杭瑞高速(大方)、惠兴高速(贞丰)等地。静止锋的东西摆

动是这次高速公路大雾形成的主要影响系统。

1.2 资料来源

能见度资料包括气象站（77县、3区）和建于高速公路上的交通气象站（25个）自动监测的分钟数据，资料分别来源于CIMISS系统（全国综合气象信息共享平台）和贵州省交通气象服务系统。贵州省交通气象站的建设始于2014年，当年建设完成40个站点，由贵州省交通厅牵头建站，2016—2018年又陆续建设了60余个交通气象站，但由于设备维护和管理权限等原因，能够获取到本次大雾天气的观测资料仅有25个站点资料。

贵阳探空资料来源于CIMISS系统，天气图资料来源于MICAPS（气象信息综合分析处理系统）数据。

1.3 分析方法

利用MICAPS系统进行大气环流形势和水汽条件分析，根据贵阳探空资料绘制层结曲线，分析大气层结特征。

针对出现大雾的气象站点，筛选相对最近（约10 km以内）的6个交通气象站为分析对象（表1），对比分析山区大雾演变特点。

表1 气象站与交通气象站相关信息

Table 1 Information of automatic weather station and traffic weather station

气象站		交通气象站		气象站与交通气象站间距/km	气象站与交通气象站海拔高度差/m
站名	海拔/m	站名	海拔/m		
万山	884	老山口	658	8	226
白云	1323	曹关	1272	5	51
龙里	1093	贾托坡	1314	10	-221
普安	1649	狮子山	1596	5	53
盘州	1800	红果西	1855	10	-55
兴仁	1378	团坡	1393	7	-15

2 环流形势

整个大雾期间，中高纬经向环流明显，500 hPa副热带高压主要位于南海以东洋面，强度较弱，贵州主要受偏西气流影响，陆续有高原槽东移；700 hPa贵州也主要受偏西气流影响（图2）。

850 hPa，大雾之前8日20时贵州受弱脊后部的偏东气流影响。9日白天华南及广西一带南风增强形成西南急流，贵州转为西南风，有利于水汽输送；川东低涡形成，弱脊仍然存在，位于江浙一带。10日08时川东低涡东移减弱，贵州转为偏东风，水汽输送减弱，在贵州南部到广西北部之间有切变形成，江浙一带弱脊维持。10日20时—11日08时广西、广东南风减弱，贵州维持偏东风。11日20时贵州转为偏南风，为

大雾的发展提供了水汽输送条件。12日白天广东、广西一带南风增强，同时，位于蒙古的高压系统也东南移动，高压底部形成一支较强的东风急流，湖南、江西一带为明显的切变系统。

地面图上，3月6—8日冷空气持续补充影响贵州，静止锋位于云南东部，9日冷高压减弱东移，静止锋随之东退北抬到贵州中北部，伴随静止锋东退过程，贵州西部出现大雾，9日夜间南风势力减弱，静止锋西伸南压（10日08时到达西部），由于水汽丰富，锋面云系发展，造成大雾范围扩大。10日白天南风增强、静止锋东退，10日夜间南风减弱、静止锋西伸；11日白天南风再次增强，静止锋有所减弱；11日夜间静止锋在贵州中西部发展增强，由于水汽充沛，再次造成大范围大雾；12日白天到夜间热低压发展逐渐控制贵州大部地区，静止锋减弱，大雾天气也随之减弱。

总之，低空西南气流输送充沛的水汽，静止锋系统北抬，是造成9日夜间大雾形成的主要原因；静止锋系统东西摆动和长时间存在，导致大雾长时间持续；低空西南气流再次发展和静止锋维持，造成11日夜间大范围大雾天气。

3 气象站与交通气象站能见度对比

贵州锋面大雾与静止锋云系的发展有直接关系。一般来说，静止锋云系发展增厚，造成云底下降，并在海拔相对较高的山地接地形成地面大雾。由于贵州以山地为主的地形特点，致使高速公路多修建于半山之间，相比行政县区来说，大多数高速公路海拔相对较高，因此，在锋面天气系统影响下，高速公路更容易发生大雾。

对比气象站与交通气象站能见度发现，锋面系统影响下相邻区域内海拔高度与能见度具有反相关性，海拔相对较高处能见度较低，大雾现象严重，大雾起始时间较早、持续时间较长。8日夜间伴随静止锋从云南东部向贵州东退过程，贵州西部高海拔地区出现大雾。盘州和红果西位于贵州西部，海拔在1800 m以上，红果西海拔比盘州高55 m。监测资料显示红果西于9日00：40—04：40断断续续出现大雾，盘州由于海拔相对较低，因此能见度相对较好，仅在9日03：55出现大雾（图3）。

9日夜间随着静止锋从贵州中北部移向西南部，导致海拔相对较高地区出现大雾天气。兴仁、团坡位于贵州西部，海拔在1300 m以上，团坡相比兴仁海拔较高，大雾于10日04：40产生，比兴仁早1 h，大雾持续时间也相对较长，结束于10日09：10，比兴仁晚

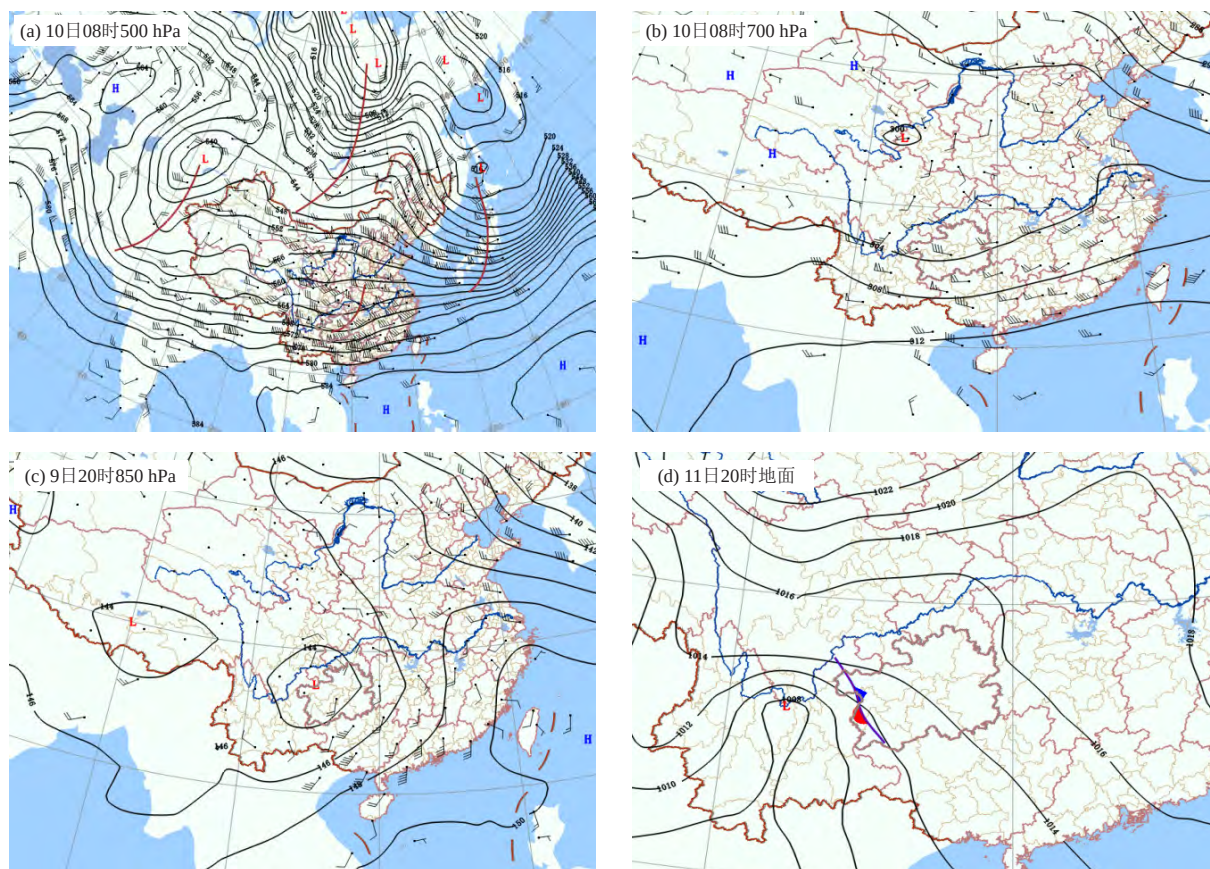


图2 2017年3月9—12日天气形势
Fig. 2 Weather conditions during 9 to 12 March 2017

50 min。万山和老山口位于贵州东部，老山口海拔658 m，比万山低226 m，大雾主要发生在10日00:45—04:25，万山由于海拔相对较高，大雾天气严重，大雾持续时间较长，从9日22:40起持续约18 h。龙里和贾托坡位于贵州中部，贾托坡海拔1314 m，比龙里高221 m，贾托坡于01:05—01:50出现大雾，龙里未出现大雾。

11日夜间由于静止锋再次增强发展，造成贵州多地出现大雾天气。普安和狮子山位于贵州西部，海拔在1600 m上下，狮子山海拔比普安低53 m，大雾现象相对较轻，呈现断断续续状态，持续时间较短；普安大雾天气严重，大雾于11日19:15产生，至12日08:55消散，持续近14 h。白云和曹关位于贵州中部，海拔在1300 m上下，曹关海拔较白云低51 m，能见度较好，没有出现大雾，白云能见度相对较差，能见度在1000 m上下，并于12日00:25出现短时大雾。

4 水汽条件

造成本次大雾天气过程的水汽主要来源于南海。大雾形成前偏南风将南海水汽向贵州等地输送，9日20时850 hPa贵州比湿 >6 g/kg，相对湿度在90%以

上，水汽通量为 $2 \times 10^{-7} \sim 6 \times 10^{-7}$ g/(s·cm·hPa)，贵州处于水汽辐合地带（水汽通量散度为负值）。低空充沛的水汽和辐合有利于低云发展增厚、云底下降，从而导致近地面大雾形成。10日白天到11日白天贵州主要受脊后切变系统北侧的偏北气流影响，水汽输送减弱，低云发展受限，大雾现象也随之减弱。11日20时由于高压系统东移，贵州转受偏南气流影响，水汽通量再次增强，比湿达7~9 g/kg，水汽辐合明显（图4），致使低云再次发展增厚，导致11日夜间贵州多条高速公路出现大雾天气，大雾范围比9日夜间更广。

5 大气层结特征

低空逆温的维持和充足的水汽是大雾形成、发展的重要条件。由于锋面系统的存在，低空形成上暖下冷的逆温结构，大气处于稳定状态，有利于水汽在低空聚集，从而促进低云发展增厚、云底下降，云底在海拔较高的山地接地形成地面大雾。随着逆温层的减弱消失，稳定层受到破坏，云底抬升，地面大雾也随之减弱消散。

从贵阳探空资料可以看出，9日20时，浅层逆温

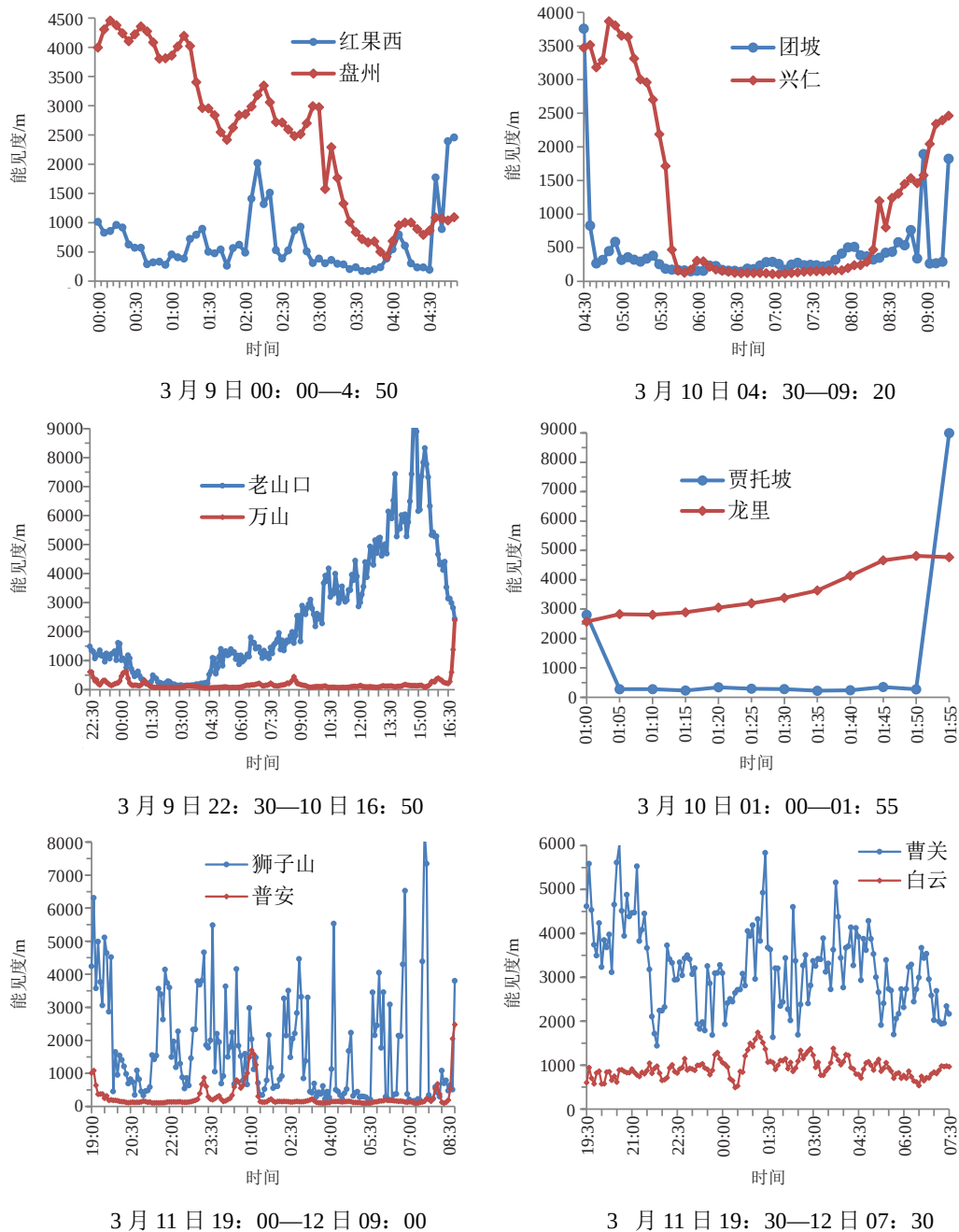


图3 气象站与交通气象站能见度对比

Fig. 3 Visibility comparison between automatic weather station and traffic weather station

位于800 hPa高度附近, 低层湿度较大, 800 hPa高度以下温度露点差为 $0.4\sim 1^{\circ}\text{C}$, 云底位于871 hPa高度, 低云在发展, 有利于近地面大雾形成。10日白天逆温减弱, 稳定层受到破坏, 不利于水汽的聚集和低云发展, 地面大雾也随之减弱; 10日20时在700~800 hPa之间又出现浅层逆温并持续到12日20时, 其中, 12日08时逆温增厚, 说明稳定层结较厚, 有利于大雾持续发展, 实况也显示11日夜间大雾范围广、持续时间

长; 13日08时低空逆温消失, 大雾过程随之结束。

6 山区高速公路大雾天气应对措施探讨

贵州属于高原山区, 地势起伏大。与平原地区不同, 贵州高速公路隧道较多, 大雾天气常导致隧道内外能见度反差较大, 隧道外雾气缭绕、能见度低、视野模糊, 隧道内虽然光线昏暗但能见度好于隧道外, 车辆从隧道内驶出时因能见度陡降易发生危险。因此, 大雾天气车辆行经隧道出口时要特别警惕, 注意

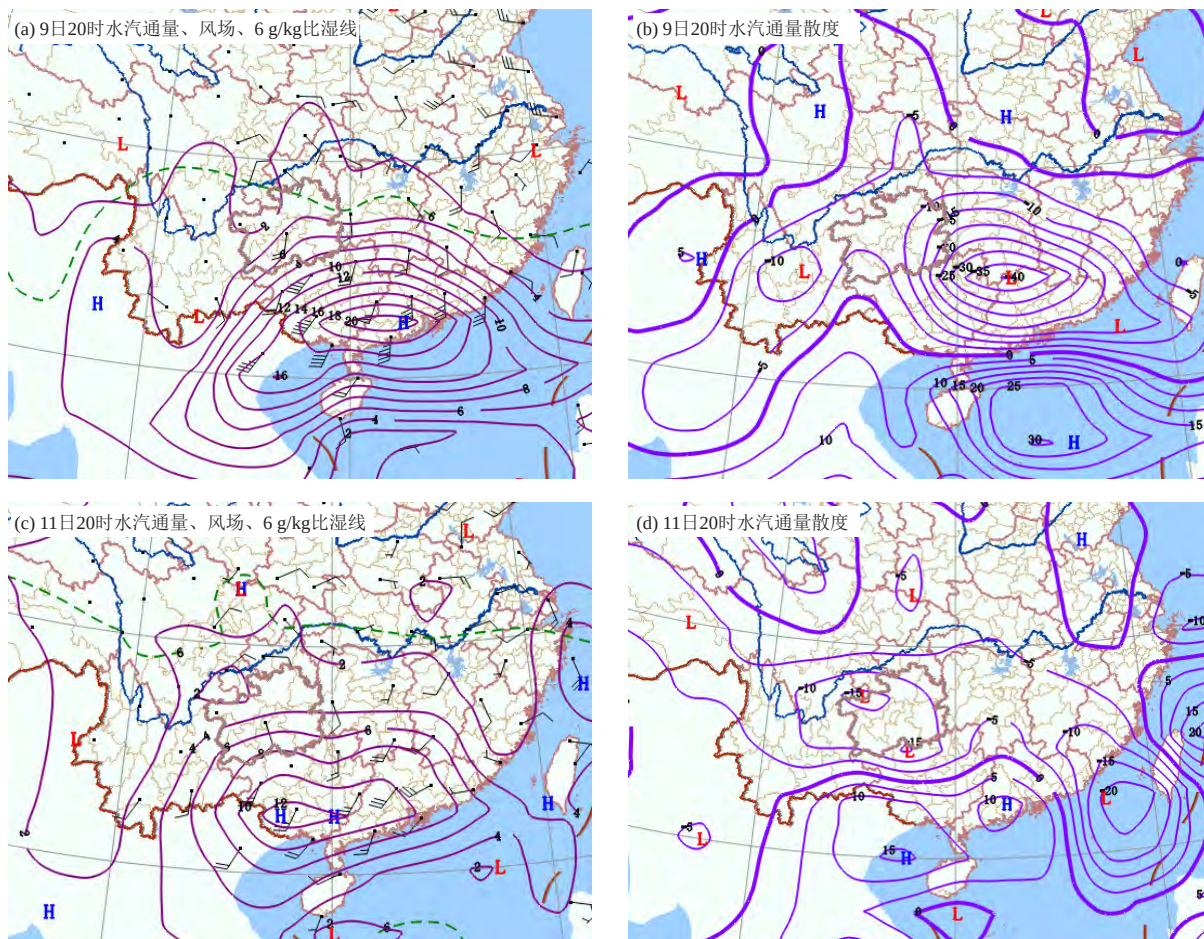


图4 2017年3月9—11日水汽条件
Fig. 4 Water vapor conditions during 9 to 11 March 2017

控制车速。

因地形地势特殊,贵州大雾类型比较复杂,主要分为锋面大雾、辐射大雾和地形大雾。锋面大雾持续时间较长,一天中任何时段均有可能发生锋面大雾;锋面大雾时常伴有蒙蒙细雨,路面附着系数降低,容易导致刹车失阻、车辆侧滑和控制失灵等现象,从而引发交通事故;锋面大雾的生成、发展和消散与静止锋系统的生消和位置关系较大,常出现在地势相对较高地区。辐射大雾主要出现在夜间到早晨,与平原地区辐射大雾形成机制相同,在水汽充足的条件下,因夜间辐射降温作用产生。地形大雾局地性明显、范围有限,以普安、大方、息烽、开阳和万山等地出现较多。驾车人员途经大雾路段要注意减速行驶、控制车距、开启雾灯和报警闪光灯,特别注意锋面大雾天气因路面湿滑和低能见度双重因素影响而产生的安全隐患。

7 结论

1) 配合高空槽的东移影响,低空西南气流将南海水汽向贵州输送,静止锋系统的东西摆动和长时间

存在,是这次高速公路大雾过程的主要天气背景。

2) 锋面系统影响下相邻区域内海拔高度与能见度具有反相关性,海拔相对较高处能见度较低,大雾现象严重、持续时间较长。贵州高速公路多修建于半山之间,海拔相对较高,在锋面天气系统影响下,高速公路更容易发生大雾。

3) 低空偏南气流向贵州输送水汽,致使比湿和相对湿度较大;逆温层的维持,大气层结稳定,有利于水汽在低空聚集;充沛的水汽和辐合有利于低云发展增厚、云底下降,从而导致近地面大雾形成和维持;随着逆温层的减弱消失,稳定层受到破坏,不利于水汽的聚集和低云发展,地面大雾也随之减弱消散。

4) 贵州高速公路隧道较多,大雾天气常导致隧道内外能见度反差较大,车辆行经隧道出口时要特别警惕,注意安全。另外,贵州锋面大雾常伴有蒙蒙细雨,因路面湿滑和低能见度双重因素影响更容易引发交通事故,需要特别防范。

本文分析的大雾天气属于典型锋面大雾过程，因类似大雾天气造成的贵州高速公路交通事故时有发生，社会影响较大，如：2012年2月20日下午厦蓉高速贵阳往都匀方向芭茅冲大桥发生14辆车连环相撞的重大交通事故，造成7人死亡，22人不同程度受伤，事故当日，贵州大部出现大雾并伴有降雨天气，省内多条高速公路能见度低。2012年2月28日下午沪昆高速晴隆路段因大雾天气发生6车连环相撞事故，2人当场死亡。2014年1月10日因大雾并伴有降雨天气，沪昆高速安顺至镇宁路段7车相撞，1人受伤。2015年1月27日贵遵高速因大雾和降雨天气，15车连环追尾，1人死亡、4人受伤。近年来交通部门在高速公路沿线建设的交通气象站，弥补了气象部门对交通气象服务的监测能力，提高了观测资料精度，对山区高速公路大雾天气分析和服务能力的提高具有重要作用。本文结合交通气象站资料开展的大雾天气分析，具有一定实际意义。

参考文献

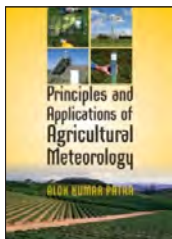
- [1] 陈娟, 罗宇翔, 郑小波. 近50年贵州雾的时空分布及变化. 高原山地气象研究, 2013, 33(2): 46-50.
- [2] 张利娜, 张朝林, 王必正, 等. 北京高速公路大气能见度演变特征及其物理分析. 大气科学, 2008, 32(6): 234-236.
- [3] 吴彬贵, 解以扬, 吴丹朱, 等. 京津唐高速公路秋冬雾气象要素与环流特征. 气象, 2010, 36(6): 21-28.
- [4] 吴兑, 赵博, 邓雪娇, 等. 南岭山地高速公路雾区恶劣能见度研究. 高原气象, 2007, 26(3): 649-654.
- [5] 王博妮, 濮梅娟, 田力, 等. 江苏沿海高速公路低能见度浓雾的气候特征和影响因子研究. 气象, 2016, 42(2): 192-202.
- [6] 田小毅, 吴建军, 严明良, 等. 高速公路低能见度浓雾监测预报中的几点新进展. 气象科学, 2009, 29(3): 414-420.
- [7] 吴东阁. 汝郴高速公路能见度特性及影响因素分析. 公路与汽运, 2013, 158(5): 90-93.
- [8] 吴彬贵, 解以扬, 吴丹朱, 等. 京津唐高速公路秋冬雾气象要素与环流特征. 气象, 2010, 36(6): 21-28.
- [9] 陈晓红, 严小静, 周扬帆, 等. 2010年安徽省高速公路一次连续性大雾过程初探. 安徽农业科学, 2011, 39(29): 18170-18174, 18191.
- [10] 张艳, 红欧博, 孙晓光. 大雾天气高速公路交通事故成因分析及解决措施. 中国科技信息, 2008, 19: 294-297.
- [11] 田华, 王亚伟. 京津唐高速公路雾气候特征与气象条件分析. 气象, 2008, 34(1): 66-71.
- [12] 包云轩, 丁秋冀, 袁成松, 等. 沪宁高速公路一次复杂性大雾过程的数值模拟试验. 大气科学, 2013, 37(1): 124-136.
- [13] 吴和红, 严明良, 缪启龙, 等. 沪宁高速公路大雾及气象要素特征分析. 气象与减灾研究, 2010, 33(4): 31-37.
- [14] 严明良, 缪启龙, 袁成松, 等. 沪宁高速公路一次大雾过程的数值模拟及诊断分析. 高原气象, 2011, 30(2): 428-436.
- [15] 丁秋冀, 包云轩, 袁成松, 等. 沪宁高速公路团雾发生规律及局地性分析. 气象科学, 2013, 33(6): 634-642.
- [16] 周慧, 解以扬, 高鹰. 京津唐高速公路大雾天气气候特征及其对交通的影响. 灾害学, 2008, 23(3): 48-53.
- [17] 王佳, 郭根华, 严明良, 等. WRF模式对沪宁高速公路浓雾的模拟与检验研究. 热带气象学报, 2014, 30(2): 377-381.
- [18] 李岚, 李洋, 邢江月, 等. 沈大高速公路雾气候特征与气象要素分析. 气象与环境学报, 2009, 25(1): 49-53.
- [19] 陈贝, 徐洪刚, 王明天, 等. 成乐高速公路大雾预报方法研究. 高原山地气象研究, 2012, 32(2): 70-76.
- [20] 崔驰满, 包云轩, 袁成松, 等. 江苏省沿海高速公路雾的时空变化特征研究. 科学技术与工程, 2015, 15(12): 6-20.
- [21] 万小雁, 包云轩, 严明良, 等. 不同陆面方案对沪宁高速公路团雾的模拟. 气象科学, 2010, 30(4): 487-494.
- [22] 唐延婧, 裴兴云. 贵州交通站资料应用于山区高速公路低能见度研究. 热带气象学报, 2015, 31(2): 280-288.

新书架

NEW BOOK

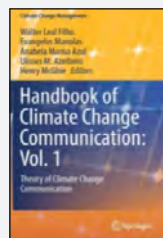
编辑：张萌

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



Principles and Applications of
Agricultural Meteorology
《农业气象原理与应用》

编著者：Alok Kumar Patra
出版者：NIPA
出版年：2016



Handbook of Climate Change
Communication: Vol. 1 Theory of
Climate Change Communication
《气候变化传播手册：第一卷
气候变化传播理论》

编著者：W. Leal Filho等
出版者：Springer
出版年：2018



Hyperspectral Remote
Sensing Applications and
Environmental Monitoring
and Safety Testing Technology
《高光谱遥感应用和环境监测
与安全测试技术》

编著者：Wenqing Liu等
出版者：SPIE
出版年：2016



Regime Interaction and Climate
Change-The Case of International
Aviation and Maritime Transport
《制度互动与气候变化——以国
际航运与海运为例》

编著者：Beatriz Martinez
Romera
出版者：Routledge
出版年：2018

IPCC作者队伍的遴选标准、职责和组建流程

余菜

(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: IPCC作者队伍的遴选和组建是IPCC每一周期内所有评估报告的重要环节。因此, 整理给出了IPCC作者队伍的遴选标准以及作者工作职责等方面的内容。并回顾了历届IPCC中国作者队伍的参与和发展。

关键词: IPCC, 作者队伍, 遴选

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.005

IPCC Author Team Selection, Author Duty and Organization

Yu Rong

(State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: The selection and organization of IPCC author team is an important part of every IPCC cycle. In this paper, principle of IPCC author team selection and main content of author duty are discussed. Meanwhile, the development of Chinese author team in the previous six IPCC cycle is provided.

Keyword: IPCC, author team, selection

0 引言

2018年是联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）成立30周年，也是IPCC 第六次评估报告（AR6）周期内承上启下的一年。IPCC是世界气象组织（World Meteorological Organization, WMO）和联合国环境规划署（United Nations Environment Programme, UNEP）于1998年联合建立的政府间机构，其主要职责为评估气候变化科学知识的现状，气候变化对社会经济的潜在影响以及如何适应和减缓气候变化的可能对策^[1]。IPCC下设有三个工作组和一个专题组：第一工作组负责气候变化的自然科学基础，第二工作组负责气候变化的影响、适应和脆弱性，第三工作组聚焦气候变化减缓，专题组的任务是温室气体排放清单（图1）。除此之外，每次评估周期内会根据当前的热点问题给出给出相关的特别报告。

IPCC的基本原则是全面、客观、公开和透明。IPCC不直接开展科研，它的评估主要是建立在经过同



图1 IPCC组织框架

Fig. 1 Organizational framework of IPCC

行评审并已出版的科学/技术文献基础上。第一到第五次评估报告发布的时间分别为1990, 1995, 2001, 2007和2013—2014年。而第六次评估报告将于2021—2022年发布。

IPCC评估报告是气候变化领域最权威的科学报告，来自全球数百名顶尖的科学家担任报告的作者（包括主要作者协调人和主要作者），志愿参与到IPCC的工作中。同时，还有数百名专家，以贡献作者的身份，为评估报告提供科学支持。历届IPCC报告中，均有气候变化领域的中国科学家参与。

参与IPCC的工作无论对科学家自身的发展还是提高国际气候变化科学领域的研究,甚至是提升国际气候变化应对水平,都具有重要意义。因此,本文将整

收稿日期: 2019 年 5 月 29 日; 修回日期: 2019 年 6 月 5 日

作者：余荣（1990—），Email: yurong@cma.gov.cn

资助信息：国家重点基础研究发展计划(2018YFC1507700),

中国气象局气候变化专项 (CCSF201902),

中国气象科学研究院基本科研业务(2019Y012)

理IPCC作者遴选标准和IPCC作者职责，并进一步讨论中国作者队伍的参与和发展。让IPCC评估报告的作者和其他读者更加了解IPCC，并吸引更多的科学家参与到IPCC评估报告的工作当中。

1 IPCC作者的推荐和遴选的原则及流程

在遴选作者之前，需要确定IPCC工作组/专题组的主席团成员。主席团成员需要得到IPCC政府成员推荐和提名，由IPCC政府成员投票选举产生^[2]。其中，IPCC工作组/专题组包括两位联合主席，根据规定需确保有一位来自发展中国家或者是经济转型国家，另外一位则来自发达国家，而来自发达国家的联合主席所在国家需承办技术支撑小组来为报告提供支持。

1.1 推荐有关潜在的主要作者协调人、主要作者、编审和政府召集人名单

工作组/专题组主席团联合主席选定后，结合各自工作组/专题组主席团和IPCC秘书处对该IPCC周期内所要完成任务的要求，各国政府、有关观察员组织和工作组/专题组主席团应确认报告每个领域的相关专家，推荐可能的主要作者协调人、主要作者和编审名单^[3]。同时，为促进专家的确定及随后的政府评审，政府还应指定其各自的政府召集人1名。IPCC主席团成员和专题组主席团成员在必要时应与其各自区域的政府召集人合作，促进相关主要作者协调人、主要作者和编审成员的确定，以确保发展中国家、发达国家和经济转型国家的专家能够具有相关的代表。

1.2 遴选主要作者协调人、主要作者和编审

在IPCC工作组全会提供的总体指导和审议下，由相关工作组/专题组主席团遴选相应报告的主要作者协调人、主要作者和编审。对于国家温室气体清单专题组编写的报告，则由委员会从政府和观察员组织提供的专家名单中挑选，在适当情况下可以从根据出版物和论著而了解到的其他专家中遴选。

在遴选某一章的人员组成时须囊括各种科学、技术和社会经济观点及专业知识背景。技术支撑小组会提前统计好候选人的相关信息，包括h指数、代表性高水平论文、研究领域、是否有参与IPCC相关经历、目前的职务、年龄等方面的信息，来为主席团成员遴选作者提供科学的参考依据。所选作者要求是所在研究领域的国际知名专家，在某一领域有突出的成就，并具有较强的协调合作能力，且有充足的精力和时间来参与IPCC工作。在此基础上，需要全面地评估以确保地域平衡，并结合发展中国家、发达国家和经济转型国家专家的相应代表性。为了确保报告的全面性，防止报告仅反映某一个国家或者团队的观点，或者某

一区域问题的过度解读，作者团队遴选时要求包括发展中国家至少一名专家、通常应有两名或两名以上专家。为了体现报告的科学性和客观性，IPCC报告作者团队由具有和没有以往IPCC经验的专家组成。IPCC作者团队的构成也会寻求性别上的平衡。来自于工业或者非盈利组织的专家，如果能够给评估报告提供有价值的观点，也可以成为作者。同时，被政府和观察员组织提名但未能入选的专家，鼓励其作为编审参与到IPCC报告当中。

工作组/专题组主席团将向委员会报告遴选过程及其目标得以实现的程度。IPCC秘书处应尽早将各章节的主要作者协调人、主要作者和编审通知所有政府和观察员组织，并指出他们所负责章节的内容。主要作者协调人和主要作者对章节的内容具有共同的责任。工作组/专题组主席团遴选出的主要作者协调人和主要作者可选择其他专家作为贡献作者协助工作。贡献作者需要提供某一领域专业的知识和经验来确保科学领域的全部观点能在报告中体现。随着报告的进展，如果缺少某些领域的专家，可以将需要的名单递交全会进行批准并增补。如果报告编写过程中，主要作者协调人和主要作者存在不能尽职等情况，也会按照适当程序对其进行替换。

1.3 IPCC AR6 第一工作组报告相关作者遴选情况

以IPCC AR6 第一工作组遴选的过程为例，在全世界作者推荐阶段共有911名作者提名。所选作者团队需要覆盖每一章大纲的重点内容所涉及的领域。而对于观测、检测归因、古气候、辐射和模式等交叉问题的方向上更是需要进行严格的选拔。最终，通过全会和第一工作组主席团成员的重重选拔，共遴选出230名作者。230名作者来自63个不同的国家和地区，其中，来自于欧洲、亚洲、北美、非洲、南美和西南太平洋地区的作者比例分别为39%、20%、14%、11%、8%和8%。进一步统计结果显示，所选作者成员27%的为女性^[4]，42%来自于发展中国家和经济转型国家，63%的成员是第一次参与IPCC工作。对于IPCC AR6 第一工作组报告，中国最后有14名专家入选为主要作者，其中包括两名主要作者协调人。

1.4 IPCC 作者的职责

IPCC报告每一章由主要作者协调人、主要作者以及编审完成。各个成员需要明确自己的责任和义务，完成好IPCC评估报告的相关工作^[5]。

主要作者协调人需要全面负责协调某一章节的内容，保证高标准地完成报告的内容，及时进行整合并递交给工作组/专题组的联合主席，并确保章节内容符

合总体文体标准。主要协调人不仅需要了解主要作者的技能和资源,而且还需要具备对章节内容进行协调所需的组织能力。

主要作者要基于现有的科学前沿、技术和社会经济信息,整合现有最新文献的内容,对指定的章节进行内容编写,并在规定期限内完成工作。要求文稿要有充分的依据,并尽可能地如实表达各不同领域专家的观点。在修改报告阶段,主要作者要与主要作者协调人、编审一起,针对专家和政府所递交的评审意见,进行逐条修改并回复。在报告编写的最后阶段,要求主要作者相互密切合作,按照规定时间及时商定修改。

编审将协助工作组/专题组主席团成员确定参与专家评审过程的评审人员,确保所有专家和政府的实质

性评审意见得到反馈,就如何处理有争议/争论的问题向主要作者提供意见,并保证报告的文本充分反映真正有争议的问题。

2 中国IPCC队伍的发展

近三十年来,中国作者在IPCC评估报告中的参与度逐步提升。在IPCC第一次评估报告中,中国作者仅9名,分布在第一和第三工作组(表1)。IPCC第二、第三和第四次评估报告中中国作者的参与人数逐步上升,分别为11、22和47名(包括特别报告和方法学报告)。到第五次评估报告时,中国作者参与人员达到72名。在第六次评估报告当中,中国作者的人数是63人。随着我国科研水平不断提高,中国作者的参与度也随之提高,中国作者的文献被引率也逐步增加。

表1 IPCC评估报告中国参与作者名单
Table 1 List of Chinese authors in the IPCC Assessment Report

报告	参与名单			
	第一工作组	第二工作组	第三工作组	方法学和特别报告
第一次评估报告 (FAR, 1988—1990年)	曹鸿兴、符淙斌、 林学椿、石广玉、 苏文、叶笃正、 曾庆存		骆继宾、谢绍雄	
第二次评估报告 (SRA, 1992—1995年)	曾庆存、周秀骥	郎四维、林而达、 刘春葵、苏纪兰、 谢又予、徐德应、 赵其国、周凤起	谢绍雄	
第三次评估报告 (TAR, 1996—2001年)	丁一汇(联合主席) 戴晓苏、符淙斌、 钱永甫、秦大河、 石广玉、王明星、 王绍武、赵宗慈	李从先、林而达、 刘春葵、秦大河、 苏纪兰、张建云、 张新时	潘家华、李俊峰、 徐华清、叶汝求、 张天柱、周大地、 周凤起	
第四次评估报告 (AR4, 2002—2007年)	秦大河(联合主席) 丁一汇、符淙斌、 高学杰、罗勇、 任贾文、翟盘茂、 张德二、张小曳、 赵宗慈	包满珠、李从先、 林而达、刘春葵、 吴绍洪	蔡祖聪、狄洪发、 段茂盛、高庆先、 姜克隽、郎四维、 潘家华、张天柱、 张希良、张小全、 周大地、周凤起、 邹骥	二氧化碳捕获与封存特别报告: 陈白欣、陈振林、何登发、黄盛初、李清泉、周蒂 保护臭氧层和全球气候系统特别报告: 陈江平、胡建信、游一中、朱彤 2006温室气体指南方法学: 董红敏、高庆先、胡子红、李玉娥、林而达、王灿、阎洪、 杨宏伟、张小全、周大地
第五次评估报告 (AR5, 2008—2014年)	秦大河(联合主席) 丁一汇、董文杰、 高学杰、胡永云、 黄建平、廖宏、 朴世龙、任贾文、 邵雪梅、王凡、 王会军、效存德、 翟盘茂、张华、 张小曳、赵宗慈、 周天军	蔡榕硕、崔雪锋、 高庆竹、黄河清、 姜彤、李玉娥、 林而达、刘起勇、 马世铭、谢立华、 徐鹤、严登华	陈迎、陈文颖、 董红敏、耿涌、 黄鹭新、江亿、 姜克隽、滕飞、 欧阳明高、潘家华、 温刚、张希良、 周大地、邹骥	清单任务组方法学报告: 周凌晔(清单任务组主席团成员) 湿地增补指南: 陈光程、廖宝文、林而达、林光辉、潘根兴、王长科、张称意 2013修订补充方法: 蔡博峰、董红敏、李俊生、李玉娥、潘学标、吴建国、张称意、 张国斌、张小全、周广胜、周凌晔、朱建华 可再生能源和气候变化减缓特别报告: 董红敏、刘永前、刘志雨、王仲颖、许洪华、杨振斌 管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应特别报告: 李建平、罗亚丽、吴绍洪、郑艳
第六次评估报告 (AR6, 2015—2022年)	翟盘茂(联合主席) 曹龙、陈仲良、 龚道溢、姜大膀、 李建、廖宏、 朴世龙、孙颖、 效存德、俞永强、 张华、周波涛、 周天军、左志燕、 王文	崔雪锋、高庆竹、 黄存瑞、姜彤、 居辉、刘俊国、 刘起勇、罗勇、 张知彬、郑艳	白泉、陈迎、 陈文颖、傅莎、 耿涌、姜克隽、 欧训民、潘家华、 谭显春、滕飞、 王灿、魏一鸣、 吴力波	2019年修订方法学报告: 蔡博峰、董红敏、方双喜、高庆先、潘根兴、潘学标、王长科、 于胜民、张称意、郑循华、朱建华、朱松丽 全球1.5℃增暖特别报告: 董文杰、高学杰、姜克隽、周广胜 气候变化中的海洋和冰冻圈特别报告: 蔡榕硕、成里京、焦念志、康世昌、效存德 气候变化与陆地特别报告: 李迪强、贾根锁、吴建国、许吟隆

注:表中可能存在错误和不完善之处。

就两次评估报告而言，第五次评估报告三个工作组共遴选出831名作者，其中中国作者人数是43名，第一、第二和第三工作组的人数分别为17、12和14人。到第六次评估报告时，三个工作组共遴选出722名作者，其中中国作者的人数是38名，第一、第二和第三工作组的人数分别为15、10和13人。仅从参与人数上看（图1），中国作者参与的人数上较第五次评估报告有减少，但第六次报告其实具有更高的参与度，近期，基于对区域问题上的综合考虑，第一工作组作者团队在此基础上增补了一位中国科学家。就第一工作组而言，第五次评估报告中第一工作组的作者主要来自39个国家，但第六次评估报告参与的国家增加到60个。参与国家的代表性大大提高，其中，发展中国家的参与度更加活跃。

从第三次评估报告开始，就有中国作者担任第一工作组联合主席。其中，IPCC第三次评估报告的第一工作组联合主席是丁一汇院士，第四和第五次评估报告的第一工作组联合主席是秦大河院士。目前担任第六次评估报告第一工作组联合主席的是翟盘茂研究员。

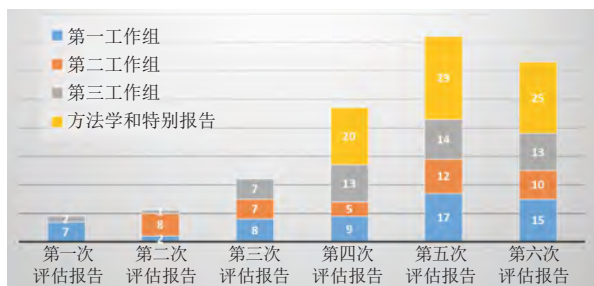


图2 IPCC评估报告中国作者参与人数统计

Fig. 2 Number of Chinese author in the IPCC Assessment Report

3 IPCC第六次评估报告和相关特别报告目前进展

目前处于IPCC第六次评估周期内，IPCC AR6将按照IPCC工作流程，结合UNFCCC的工作和2015年后的重要议程（比如《仙台宣言》《2030年可持续发展目标》《新城市议程》等）来开展。IPCC第一工作组回顾了以往的评估报告，计划在第六次评估周期内基于新的观测结果和数据集（再分析资料，基于过程研究的分析以及模式发展）的分析结果，开展最新的全面评估。提出的评估内容包括全球能量收支、地表和大气相互作用、气溶胶和云相互作用、辐射强迫、全球模式发展和评估、长期预估、气候预测，以及区域气候变化等方面新兴的知识。第二工作组则将基于之前的评估报告，聚焦于全球和区域尺度的解决途径上。评估内容包括观测和预估的气候变化对生态系

统、工业、建筑和人类社会的影响，以及它们的脆弱性、风险和适应气候变化的能力，类似于第二工作组第五次评估报告的风险框架也拟在这次评估周期内给出。第三工作组将继续解决减缓代价、技术经济和市场减缓能力以及不同尺度上政策制定和合作方面的评估。在此基础上，将从“整个系统”的角度来给出减少排放的技术和其他途径；将在经济、生活方式、行为、消费、技术选择和社会技术转型等方面来更好地利用社会科学；也将更好地把气候变化减缓和其他的气候目标联系起来。整体上，三个工作组通过回顾第五次评估报告给出的重要发现和研究不足，将在第六次评估周期内集成基于风险和途径的框架，促进多学科和学科之间的融合，并且此次周期内将加强交叉问题的讨论和区域问题的研究。

IPCC AR6将通过严谨、透明、全面和稳健的语言，评估第五次评估报告以来与气候变化有关的物理基础变化、影响、适应和脆弱性以及减缓等方面的新的重大发现^[6]。第一、第二和第三工作组评估报告将分别于2021年4月、7月和10月审批，综合报告将于2022年10月审批。目前，三个工作组均按照拟定日程有效开展评估工作。第一工作组负责气候变化的自然科学基础相关内容，已于2019年4月完成第一稿，并已递交政府和专家评审。第二工作组负责气候变化的影响、适应和脆弱性评估，在2019年7月召开第二次主要作者会，对完成的第零稿进行修改和专家意见回复。第三工作组负责主要聚焦气候变化减缓，已于4月召开完第一次主要作者会议，确定了报告的大纲内容，以便开展第零稿的撰写。

与此同时，在第六个评估周期内，围绕《2030年可持续发展目标》《巴黎协定》《仙台宣言》《新城市议程》、区域问题，IPCC三个工作组将以解决问题为导向，在给出三个工作组评估报告的基础上，还将完成三份特别报告。专题组还将给出一份温室气体清单方法学修订报告。这些特别报告和方法学修订报告是基于第五次评估报告以来正在发生的变化，并且在第五次评估报告中被列为重要不确定性方面和知识缺陷，或者是新出现的知识领域来给出的。相比于评估报告，特别报告将较早审批。其中的第一份，即《全球增暖1.5℃特别报告》（SR15），是世界各国政府根据《巴黎协定》提出的，已于2018年10月得到全会通过。2019年温室气体清单修订报告已于2019年5月在京都审批通过。第二份特别报告为《气候变化与土地特别报告》（SRCCL），将于2019年8月审批，第三份特别报告是《气候变化中的海洋和冰冻圈特别报告》（SROCC），将于2019年9月审批。

4 讨论

IPCC的参与经历是机遇与挑战并存的。通过参与IPCC撰写，作者能了解到国际最前沿的科学研究问题，及时和国际权威科学家进行交流，参与到国际领先的学术研究团队，并宣传本国最新的研究成果。与此同时，作者们也将遇到很大的挑战。参与IPCC的作者团队成员会面临语言问题、快节奏工作压力问题、交流沟通问题等。作者需要紧跟IPCC工作组报告、特别报告和方法学报告的进程安排，勇于担当，认真履行各自的职责，处理好共性问题 and 交叉问题，更新评估内容有关的最新前沿知识，学会沟通和交流。总而言之，IPCC是一所大学校，参与IPCC报告的作者从中都会学到很多。

参考文献

[1] IPCC. What is the IPCC. (2013-08-30) [2019-05-29]. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/FS_what_ipcc.pdf
[2] IPCC. Procedures for the election of the IPCC bureau and any task force bureau. (2015-02-27)[2019-06-18].<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/ipcc-principles-elections-rules-3.pdf>
[3] IPCC. How does the IPCC select its authors. (2013-08-30) [2019-05-29]. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/FS_select_authors.pdf
[4] IPCC. Report from the IPCC task group on gender. (2013-08-30) [2019-05-29]. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/110520190810-Doc.-10-Rev.1TG-Gender.pdf>
[5] IPCC. Procedures for the preparation, review, acceptance, adoption, approval and publication of IPCC reports. (2013-08-30) [2019-05-29]. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/ipcc-principles-appendix-a-final.pdf>
[6] IPCC. Chair's vision paper. (2013-08-30) [2019-05-29]. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/220520170356-Doc.-2-Chair-Vision-Paper-.pdf>

碳卫星与全球碳测量

■ 王婷波

进入21世纪以来，中国、欧洲、日本、美国先后发射了碳卫星（见表1）。欧洲于2002年3月1日发射的极轨对地环境观测卫星Envisat（Environmental Satellite）-1 载有SCIAMACHY（SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartographY），是第一个能精确测量二氧化碳和甲烷浓度的卫星传感器。

日本于2009年1月23日发射了全球首颗专用温室气体观测卫星GOSAT-1，卫星只搭载了一个红外及近红外碳传感器，还包括两个光学遥感单元：傅里叶变换光谱仪（FTS）、云和气溶胶成像仪（CAI），二者合称为热和近红外碳观测传感器（TANSO）。傅里叶变换光谱仪用于温室气体探测，可以测量太阳短波辐射

和热红外辐射，继而反演得到温室气体的信息。2018年10月29日日本又成功发射了“IBUKI-2”（GOSAT-2），可获取更高精度的温室气体观测值。

美国于2009年2月24日尝试发射OCO-1轨道碳观测卫星，发射升空数分钟后出现意外导致失败。2014年7月2日成功发射OCO-2卫星，这是美国第一个用于监测地球大气二氧化碳水平的卫星，主要任务是绘制完整的大气二氧化碳地理分布图。

2016年12月22日，我国碳卫星（TANSAT）发射成功，TANSAT携带高光谱与高空间分辨率二氧化碳探测仪等探测设备，2017年10月24日，碳卫星数据正式对外开放共享。

表1 二氧化碳浓度观测卫星

卫星	所属国家/组织	发射时间	功能
1 Envisat -1 已退役	欧洲	2002年	包括合成孔径雷达、中度解析成像光谱仪、先进同轨扫描辐射计和成像光谱仪等卫星传感器。成像光谱仪是第一个能精确测量二氧化碳和甲烷浓度的传感器。
2 Gosat-1 在轨	日本	2009年1月	搭载一个红外及近红外碳传感器和两个光学遥感单元，其中傅立叶变换光谱仪用于温室气体探测、云和气溶胶成像仪同步收集云和气溶胶信息。
3 OCO-1 发射失败	美国	2009年2月 发射失败	
4 OCO-2 在轨	美国	2014年7月	由三台高分辨率光栅光谱仪组成，进入光谱仪的阳光将穿过大气两次，一次是从太阳传播到地球，另一次是从地球表面传播到光谱仪，用来测量从地球表面反射出来的阳光，从而对二氧化碳进行精确测量。
5 TANSAT 在轨	中国	2016年12月	携带高光谱与高空间分辨率二氧化碳探测仪、多谱段云与气溶胶探测仪等探测设备。大气二氧化碳反演精度优于4 ppm。
6 IBUKI-2 (Gosat-2) 在轨	日本	2018年10月	主要传感器与GOSAT-1一样，但在观测精度有所提升。此外还具备监测一氧化碳浓度的能力。
7 OCO-3 在轨	美国	2019年5月	由三台高分辨率光栅光谱仪组成，使用一种新的“快照”模式，两对镜子在两个互补的方向上旋转（一个与地球表面平行，另一个垂直），使得OCO-3可以指向视野内的任何地方，捕获详细的二氧化碳地图。还可采集大气二氧化碳的空间测量数据；是第一个测量太阳诱导荧光（SIF）的仪器。

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）

气候变化对人体健康影响评估

屈芳¹ 肖子牛²

(1 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081;

2 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘要: 气候变化是21世纪人类面临的重大挑战之一, 已对公众健康产生了各种直接或间接的影响。气候变化、环境与健康之间有着复杂的逻辑关系。基于联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC)、联合国环境规划署 (UNEP)、世界气象组织 (WMO) 和世界卫生组织 (WHO) 等国际组织以及国内外学者就全球气候变化对健康影响研究的最新进展, 重点论述分析了当前和未来气候变化对人类健康影响的途径、温度和湿度对健康的协同作用、室内外空气质量在气候变化大背景下对健康风险的影响。公众健康领域正在从科学研究走向应对策略, 述评了IPCC、联合国气候变化峰会 (UNFCCC COP 24)、减缓和适应全球气候变化对健康影响的有效措施以及欧洲高温天气-健康行动预案和“健康中国2030”等应对策略, 旨在为我国进一步科学应对气候变化、提升公共健康和降低健康风险提供依据。

关键词: 气候变化, 空气质量, 公共卫生, 应对策略

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.006

Assessment of the Impact of Climate Change on Human Health

Qu Fang¹, Xiao Ziniu²

(1 China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081

2 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: Climate change is one of the biggest challenges facing mankind in the 21st century. It has a great impact on all aspects of human life, and both directly and indirectly threatens human health. Globally, the complex relationships among climate change, environmental quality, and human health are core research issues. This paper reviews the latest research on health risks in the context of climate change, including synergistic effects of temperature and humidity on public health, the effects of climate change on indoor and outdoor air quality as they impact health, and current and future approaches to meeting climate change challenges to health. The review is based on the latest work published by international organizations: the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the United Nations Environment Programme (UNEP), World Meteorological Organization (WMO), World Health Organization (WHO), as well as scholars at home and abroad. Effective measures and strategies to cope with and mitigate the impact of global climate change on public health are suggested. The suggested strategies to address anticipated impacts of climate change are from the IPCC, the 24th Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC COP 24), European heat wave-health action plans and national policies developed in China such as the “Healthy China 2030” plan. These can provide guidance for public health policy and action as China’s pro-actively responds to climate change so as to mitigate its health risks.

Keywords: climate change, air quality, public health, coping strategies

0 引言

气候变化是21世纪全球面临的重大健康威胁, 气候变化通过各种极端天气事件、空气质量等途径, 持续增加人类的健康风险。

21世纪全球大部分陆地发生热浪的持续时间、频次和强度都可能在增加。据世界气象组织 (World Meteorological Organization, WMO) 预计^[1], 2019年将是记录以来最热的五年之一。美国国家海洋和大气管理局 (US National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 最新数据显示, 2019年6月创造了新的全球气温记录, 是连续第43个6月和第414个月气温, 至少名义上高于20世纪的平均水平; 2019年7月气温将比工业化前高1.2℃左右。值得注

收稿日期: 2019年7月15日; 修回日期: 2019年8月5日
第一作者: 屈芳 (1979—), Email: qfang2006@163.com
资助信息: 国家重点研发计划“全球变化与应对”专项 (2018YFA0606203)

意的是,欧洲近年来(2003、2010、2015、2017、2018、2019年6月)的每一波热浪,由于人类引起的气候变化,变得更有可能是更强烈;而2019年7月,西欧大陆的热浪更是极端,创下了自1850年人类有气象记录以来欧洲同期气温最高值;其中,法国、西班牙、意大利等国的6月平均气温甚至比历史平均值高出6~10℃。联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)2013年的报告预测,到21世纪末,全球平均地表温度最大幅度上升4.8℃,全球平均海平面上升0.82 m^[2],预计未来气候变化的严峻趋势将进一步加剧。

2015年,世界卫生组织(World Health Organization, WHO)预计2030—2050年^[3]气候变化将使全球每年因疟疾、腹泻、热应力和营养不足而死亡的人数增加25万;而低收入国家的儿童、妇女和穷人将是最脆弱和最受影响的人群,健康差距将日益加大。2018年,IPCC全球升温1.5℃的特别报告^[4]中进一步明确表示,随着全球变暖,气候对健康、生计、粮食安全、供水、人类安全和经济增长的风险预计将增加。该报告称,如果能将全球变暖幅度控制在1.5℃而不是2℃,可能会减少4.2亿人遭受严重热浪的风险。

1 全球应对气候变化对健康影响的主要历程

气候变化已被视为全球公众健康的紧急问题^[5]。国际组织大规模开展全球气候变化对公众健康的影响研究主要始于20世纪80年代。

1986年9月,WMO、WHO和联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)在圣彼得堡首次召开关于气候变化与人口健康的国际会议^[6]。

1988年,WMO和UNEP联合建立了一个各国政府间的机构——IPCC。IPCC主要任务是定期公布对气候变化的科学认识,提出气候变化对人类的影响,以及对人们如何减缓气候变化的对策进行评估。

1990年,IPCC第一次评估气候变化的结论——“最近100年的气候变化,可能是自然波动或人类活动造成的,也可能是自然波动和人类活动共同影响的结果。”1990年,WHO首次出版的《气候变化的潜在健康影响》中论述了气候变化与潜在的健康问题^[7]。

2006年,地球系统科学联盟正式启动继碳、水、食物之后的第四个研究计划:全球环境变化与人类健康计划,其目标以气候变化为核心,重在揭示全球环境变化与公众健康之间复杂且广泛的关联,将全球变化对健康的危害最小化。

2008年,WHO在马德里会议通过一项高度优先

议程,即为气候变化对人类健康的影响制定一个基于证据的行动框架,并具体提议五个重点领域——应对气候变化与其他重要的健康决定因素和趋势的相互作用、比较短期干预措施的效果、评估非卫生部门政策对健康的影响、加强公共卫生系统应对气候变化对健康的影响等^[8]。

2011年,为应对气候变化、维护和促进公共卫生,全球气候与健康联盟在德班成立。该联盟由来自世界各地的卫生和发展组织组成,其目标是将健康影响纳入全球、国家和地方应对气候变化的政策中,将气候变化对健康的影响保持在最低水平,并最大化气候变化的缓解效益及其对健康的效益。重点是通过世界各地的共同努力,鼓励和支持卫生部门在缓解和适应气候变化方面以身作则;提高对气候变化造成的健康威胁认识,以及认识到在能源、交通、食品和住房等领域,选择适当的气候缓解政策可能带来的健康效益。

2015年7月,WMO和WHO共同发布新版《高温健康预警系统指南》,以应对日益频繁和严重的高温热浪天气对健康的不利影响。该指南涵盖评估高温的方法、高温的干预策略、基础科学和方法,促进更广泛地发展和应用高温早期预警系统,提供以气象或气候预测为基础的信息,将气象、卫生、应急等部门,决策者和公众联合起来开展行动,提醒决策者、卫生相关部门和公众采取行动,减轻高温可能对健康造成的危害。

2018年初,WMO、UNEP和WHO发起了全球健康、环境和气候变化联盟,旨在通过改进天气、气候、大气和水文服务,以及改善对诸如危害性空气质量等环境健康风险的监测和管理来改善健康结果。

2018年10—11月,WHO在日内瓦召开首次全球空气污染与健康大会,针对“空气污染、气候变化和健康保障”这一重大全球调整,各国和各组织作出了70多项改善空气质量的承诺,共商解决方案,提出联合攻关实现到2030年减少全球1/3与空气污染有关的过早死亡。

2018年12月,WHO与气候变化与健康联盟、欧洲区域委员会在波兰卡托维兹举行的全球气候变化与健康峰会上,进一步阐明《气候和健康问题上的行动呼吁》,其中概述了1个十项优先级政策行动,以促进气候和健康效应取得实质性进展。

2019年,WHO将空气污染视为最大的环境健康风险;同年启动了新的五年战略规划——《第十三个工作总规划》。该规划侧重于三个“10亿”目标:全

民健康覆盖受益人口新增10亿；面对突发卫生事件受到更好保护的人口新增10亿；健康和福祉得到改善的人口新增10亿。此外，WHO进一步公布了2019年要重点解决的十大威胁健康的问题^[9]——空气污染和气候变化、非传染性疾病、全球流感、生存环境恶劣、抗菌素耐药性、埃博拉病毒和其他高威胁病原体、初级卫生保健薄弱、不愿接种疫苗、登革热和HIV。

2 气候变化如何影响健康

遗传和环境气候因素变化都扮演着疾病致病原的不同角色。然而，短时间内大量的全球性普遍增长不太可能被解释为遗传所致，因此，有必要进一步研究气候变化和各类环境因素的作用和影响^[10]。总体来看，气候变化通过多种途径影响公众健康^[11]（图1），直接的影响主要是以气候驱动为主的健康暴露风险，中间蓝色途径包括所选的气候驱动样例——这些驱动给人类带来健康威胁的途径以及造成的健康影响；间接方面涉及人类对气候变化的健康影响的脆弱性的环境和生物条件（左侧灰色途径）以及社会行为因素等综合作用（右侧灰色途径）。因此，不同国家健康风险的致病因子，可通过不同气候特征和社会经济条件的对比获得^[12-13]。



图1 气候变化对健康影响的途径^[11]

Fig. 1 The exposure pathways by which climate change affects human health^[11]

3 温度对健康的影响

国内外大量研究表明^[14]，温度是影响公众健康死亡风险最重要的环境因素。健康风险很大程度上取决于气候变化和人体的适应性，人体具有较强的调节机制，长期居住于某一区域时，会对所在地的气候条件有一定适应性。只有当气候要素偏离人体正常的适应范围，才会对健康产生负效应。因此，生活在炎热气

候中的人，更易适应极端炎热环境^[15-16]；而那些生活在寒冷气候中的人，往往能更好应对严寒天气^[17-18]。

3.1 高温和健康

IPCC关于全球升温1.5℃影响的特别报告^[4]指出，2006—2015年全球平均温度比工业化前基线高0.86℃。而相对于1981—2010年地面气温的平均值来看，2015—2018年是全球温度记录中前四个最暖年份。NOAA最新研究显示，非洲、亚洲、欧洲、大洋洲和南美洲，2018年位列前10个最暖年份。

环境温度的变化能引起生理压力，改变人的生理对有毒有害污染物的反应^[19]。高温对公众健康已构成一种越来越大的生命威胁，温度每升高阈值水平1℃，死亡率会上升大约2%~5%。2000—2016年，全球每年受热浪影响人数预估1.25亿^[20]（图2），较1986—2005年的平均值，个别热浪的平均时长已增加0.37 d。2018年春末和夏季，欧洲大部门地区经历了异常高温，北欧和西欧的大部分地区，气温远高于平均水平，但降水量却远低于平均水平。对照追溯1748年的观测资料，瑞典南部隆德5—7月的降雨量仅为此前记录的最低值的一半左右，丹麦经历了最炎热的夏季5—7月，挪威和芬兰也经历了最热的7月。温暖的夜晚和高湿度，也是这一时期的明显特征，拉脱维亚里加连续七晚在20℃以上，8月1日瑞典卡尔斯克鲁纳的全国露点记录为24.8℃。中欧最严重的热浪发生在7月底和8月初，法国热浪持续时间同2003年，强度略低，但仍致使1500人死亡。

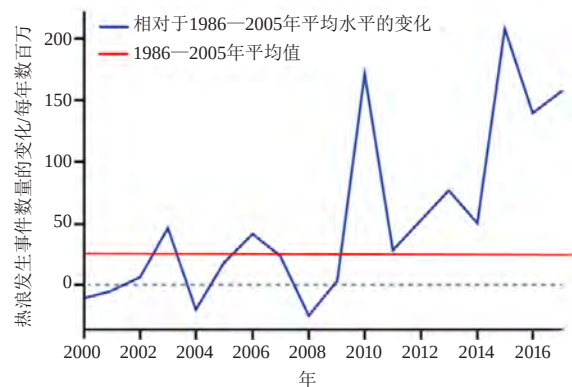


图2 2000—2017年，全球每年受热浪影响的（或“热浪暴露事件”）的人数变化^[20]（蓝线）（单位：百万），相对于1986—2005年的平均值（红线）

Fig. 2 Change in the number of heatwave exposure events (with one exposure event being one heatwave experienced by one person) compared with the historical average number of events (1986—2005 average)^[20]

3.1.1 高温对健康的影响

热相关死亡率是公共卫生领域非常关注的一个问

题,特别是在气候变化背景下。预计气候变化将通过提高温度和更高的热浪频率或严重程度,加剧热对健康的影响^[21-23]。热浪具有周期性和偶发性,多发生于夏季,其中,中纬度地区对热浪最为敏感,但由于人的气候适应性,夏季初的热浪影响要大于夏季后期的热浪效应^[24]。热浪期间,65岁以上老年人死亡率增加更为明显^[25]。

尽管一些研究已提出了环境温度与死亡率之间的相关性^[26-29];尤其高温和急速上升的死亡率关系密切^[30-32]。2003年6—9月,欧洲遭遇持续高温天气^[33-34],12个国家7万多人死亡,是这些城市初期预计最高死亡率的4~5倍。2010年,俄罗斯联邦发生的为期44 d的热浪造成了56000人额外死亡^[35]。

研究者已经提出了一系列方法来解释应对和适应热环境变化的影响,例如采用模拟城市(社会人口特征相似但平均温度不同的城市)和模拟年份(有史以来最热年份)等方法^[36-37]。短期内,热浪可严重影响大量人群,常会触发卫生突发事件,造成超额死亡、一连串的社会经济影响(如工作能力和劳动生产力丧失),以及卫生服务提供能力丧失等。而长期持续暴露于过量的高温的室内外工作人员,常会使工作变得无法忍受或十分危险。因为全天持续升高的温度,将造成人体产生累积生理应激,其中包括呼吸系统和心血管疾病、糖尿病和肾脏疾病等。

热浪通常伴随着电力短缺,能扰乱卫生设施、能源、交通和水资源基础设施,从而触发次级卫生风险。例如,2018年在澳大利亚和美国发生的热浪造成对制冷设备的需求超过了电网载荷,致使数万人断电。此外,热浪还能增加野外火灾的发生风险^[38],扩大安全和卫生风险。如2018年在斯堪的纳维亚和加利福尼亚发生的火灾以及2010年在俄罗斯联邦发生的火灾。

3.1.2 高温对健康的影响机制

温室气体浓度增加会导致全球平均和极端温度升高,人体内部温度控制能力丧失,极端炎热时出现痉挛、虚脱、中暑和高热等一系列疾病。高温能直接造成死亡,也能在热浪或季节性高温延长时,对脆弱群体造成滞后的衍生影响,因此,热应激是人类面临的最高的环境威胁之一,高温对人体健康的影响机制见表1。高温热浪主要通过两种途径引起死亡^[39],一是人体长时间暴露于高温环境中易发生中暑,如果不及时治疗将发展为重症中暑;二是高温热浪可通过加重原有疾病而造成死亡。

表1 高温对健康的直接和间接影响机制

Table 1 Direct and indirect effects of high temperature on health

人体热量的增加	高温		
	直接影响	间接影响	作用程度
来源于从外部环境吸收的热量和身体活动产生的体内热量综合产生的结果	极端暴露情况下,会导致一连串疾病,包括热痉挛、热衰竭、中暑和高热	可能改变人类行为、疾病传播方式、卫生服务的提供能力和空气质量等	视高温事件发生的时机、强度和时长而定
室外工作的人群尤为危险,可能无法停下工作,或无条件享受冷气	加剧多种病情,产生过早死亡风险或导致住院人数增加	可能改变能源、交通和水等社会关键基础设施的运行状况等	依据建筑物和人类行为对主要气候适应性的强弱而定

3.2 低温和健康

预计到2100年,全球近48%~74%的人口将遭受热浪侵袭^[40];而近几十年来极地涡旋的移动,可能会导致中纬度地区的冷期增加^[41-43]。

3.2.1 低温对健康的影响

低温比高温能更间接地影响死亡率。许多研究表明,寒冷天气时期,发病率和死亡率在增加;但冬季较夏季的死亡率更高^[44-46],除较高的传染病(流感)和较重的空气污染外,部分归因于冬季较低的温度。尽管极端低温事件中,低温引发的发病率和死亡率,并不会像极端高温事件中急剧上升;但低温仍旧是暴露人群关注的一个重要问题。

空气污染可以改变寒冷天气的影响^[47-48],增加寒冷与高污染死亡率之间的联系。心血管引发的死亡率是最常见的与天气寒冷有关的健康效应^[49-54]。心血管疾病约占发达国家死亡率的50%,特别是在寒冷天气事件下更容易受到影响。低温与血压胆固醇、纤维蛋白原和红细胞计数等指标升高极其有关^[55],这些都是心血管疾病的危险因素,可导致心肌梗塞等疾病。此外,死亡率的季节性也发生重大变化,日本最高的死亡率在一个世纪的过程中已经从夏季到冬季^[56]。

不同国家和公众受到的气候变化影响程度有很大差异^[57]。例如,老年人比年轻人对冷热温变更加敏感^[58]。Vardoulakis研究发现^[59],在所有纳入分析的地区和城市,老年人(尤其是年龄≥85岁的老年人)的风险最大;健康风险评估中的地理异质性可能反映出人口、健康、行为、城市和建筑环境特征的差异,预计气候变化能导致本世纪英国和澳大利亚与热相关的死亡率急剧上升,但与寒冷有关的死亡人数相应减少。Kodra等采用气候模型预测,21世纪变暖情况下,欧洲大陆地区和其他中高纬度地区仍有可能发生极端寒冷天气事件^[60]。2018年1月3—13日,印度次大陆部分地区遭受寒潮事件,造成135人死亡。

气候的暂时变暖会使人们对高强度的寒潮更加敏感。在气温较高的社区，寒冷效应的影响明显更高^[61-62]。大多数美国研究发现，与寒冷相关的死亡率常滞后2~5 d^[63-65]；而其他研究人员在一些社区1周或更长时间后才发现寒冷的影响^[66-67]。

3.2.2 低温对健康的影响机制

在缺乏生理、行为或有计划适应更高温度的情况下，评估未来气候变化对健康的影响，往往需要考虑到平均温度的变化。低温环境的暴露和耐受，将启动人体体温调节系统，诸如肌肉收缩、颤抖、增加心率（心动过速）和快速呼吸（呼吸急促）等，保护身体免受环境温度的影响，保持核心体温在37℃（即98.6°F）左右；极寒时，人易出现体温低下和冻伤；低温暴露和体温调节功能的衰减，易导致低体温症（核心体温低于35℃），并间接形成冻疮、肺炎和流感等。

4 湿度对健康的影响

未来的气候可能会更加炎热潮湿。湿度的增加也将加剧极端高温对健康的影响，过高的湿度是潜在健康问题出现和存在的决定性因素。水蒸气普遍存在于大气中，并可能导致相对湿度变化，进而影响大气气溶胶的粒径、化学成分和化学过程等物理化学性质。

4.1 高温高湿的环境挑战

美国国家气象局将热浪定义为“一段异常、不舒适的、炎热和异常潮湿的天气”^[68]。在一定的温度条件下，体温调节通常是通过辐射和对流散热来实现的。因此，在美国和加拿大的热浪研究中^[69-71]，经常使用双变量指标，其中包括湿度和温度对热量的描述，例如，美国的热量指数和加拿大的湿度指数^[72]，这类方法包括湿度，因为空气中湿度的含量在人体对高温的热调节效果方面起着不可忽视的作用。

在潮湿条件下，水蒸气压力会降低环境的蒸发能力^[73]。随着环境温度的升高和接近皮肤的温度，辐射热损失的程度减小，更依赖于汗液的蒸发来限制身体温度的升高^[74]。因此，热带季风不仅限制了人体热量的辐射和对流，而且还减少了蒸发热损失，这是因为皮肤表面汗液和潮湿空气之间的水蒸气压力梯度差不明显^[75]。在湿度方面，从温暖到高环境温度再加上高湿度对热调节提出了实质性环境严峻挑战^[76]。

4.2 湿度对健康的影响

气候对健康的影响，其中温度在各类研究已得到广泛关注；而Schwartz等研究发现^[77]，“湿度对死亡率的影响几乎没有得到研究。”但实际上，高湿度可

能会加剧高温的不利影响和作用程度。

由于气候变暖，预计天气会变得“更加极端”，因此，高湿度可能会加剧高温的不利影响，暴露在极端温度和/或极端湿度下会增加死亡风险，即在夏季更热和更潮湿，但在冬季“不那么极端”（更少寒冷和更少干燥）。因此，死亡率可能在夏季增加，而在冬季减少。在高温下，增加特定湿度也更危险^[78]。在高温、高相对湿度的天气下，纽约的心血管和呼吸系统疾病住院人数明显增加^[79]。

儿童的生理、代谢和认知不成熟，对某些环境暴露更为敏感，往往最容易受到环境对健康的不利影响^[80-81]。受到湿度的不利影响，儿童的长期健康也不同程度受到影响^[82]。日本的一项研究表明，哮喘患儿常在高绝对湿度的清晨赴急诊室就诊^[83]。许多儿童呼吸系统疾病对相对湿度很敏感。阿根廷一项研究报告称^[84]，呼吸道合胞病毒和流感病毒与儿童因急性下呼吸道感染住院时的月平均相对湿度呈正相关。研究发现^[85]，低绝对湿度对婴儿因呼吸道合胞病毒引起的下呼吸道感染的入院有保护作用。约旦进行的一项研究发现^[86]，儿童因呼吸道合胞病毒引起的住院感染率和相对湿度之间存在显著正相关关系。印尼一项类似研究也表明^[87]，当平均相对湿度每上升1%，临床肺炎住院的儿童所引起的呼吸道合胞病毒病例将上升6%。土耳其下呼吸道感染住院儿童的研究报告称^[88-89]，呼吸道合胞病毒感染病例数与相对湿度呈正相关。Youssef Agha指出，高层空气相对湿度高于50%和更高的露点与儿童哮喘的恶化显著相关^[90]。

4.3 湿度对健康的影响机制

水蒸气普遍存在于大气中，并可能导致相对湿度变化，进而影响大气气溶胶的粒径、化学成分和化学过程等物化性质^[91-94]。热效应影响人体的机制是复杂的，尽管它常被视为温度的唯一产物，但实际上它是温度、辐射、风和湿度之间相互作用的结果。相对湿度的变化可以影响体表蒸发，导致血液粘稠改变而影响发病。

湿度可以通过多种机制影响人体健康。一方面，低湿度会导致脱水，并促进流感等空气传播疾病的传播^[95-97]。另一方面，高湿度影响气体交换率及肌体的最大摄氧量，使血流速度减慢、瘀滞，加剧热应激的影响，因为湿度会削弱人体出汗和降温的能力^[98]。此外，高湿度水平也会影响呼吸健康，因为它们会促进细菌、真菌和尘螨的传播^[99]。

5 空气质量对健康的影响

气候变化改变着天气，空气质量与气候变化两者

之间的关系十分密切。

5.1 全球空气污染现状

根据世界卫生组织报告^[100], 全球超过90%的城市人口呼吸的空气中, 所含有的室外空气污染物超过了世界卫生组织指导水平。造成健康不良的空气污染物和导致气候变化的温室气体, 其浓度水平的上升是气候变化的关键驱动因素。

从人类健康角度来看, 空气污染物通常包括颗粒物(PM)、地面臭氧(O₃)、二氧化氮(NO₂)和二氧化硫(SO₂)。此外, 一氧化碳(CO)和挥发性有机化合物(VOCs)在处理空气质量问题时也常被考虑, 因为它们是O₃和PM形成的前体。温室气体通常被定义为二氧化碳(CO₂)、一氧化二氮(N₂O)、甲烷(CH₄)和氟化气体(F-gas)。CH₄是一种挥发性有机化合物, 是O₃形成的前驱体, 在处理空气质量问题时也常被考虑。

5.2 气候变化影响室外和室内空气质量

家居内外的空气污染是全球非传染性疾病致死的第二大原因。2013年, 世界卫生组织国际癌症研究机构, 评估发现室外空气污染对人类有致癌作用, 空气污染的颗粒物成分与肺癌发病率、尿道癌或膀胱癌的增加密切相关。其中, 与室外空气污染有关的过早死亡中约58%是因为缺血性心脏病和中风所致, 慢性阻塞性肺疾病和急性下呼吸道感染分别导致18%的过早死亡, 另有6%的过早死亡是由肺癌所致。空气中的污染物可以穿透呼吸系统和循环系统, 损害肺部、心脏和大脑。据估计, 空气污染每年导致700万人过早死于癌症、心脏病和肺病等。这些死亡人数中约有90%来自中低收入国家, 在这些国家, 工业、交通和农业的排放量很大, 家庭中的炉灶和燃料也很多。

气候变化的研究常集中在户外空气质量差, 而绝大多数人更多在室内度过, 这激起了学者研究气候变化对室内环境影响的极大兴趣。气候变化除能引发环境(室外)空气质量的各种组成和浓度水平, 并将以各种方式进一步影响到室内空气质量。因此, 室内空气质量对健康的影响比室外的更大^[101]。

5.3 全球气候变化背景下空气污染对健康的影响

世界多地空气污染程度依然很重, 2012年, WHO报道全球近650万人的死亡, 可归因于家庭室内和环境空气的共同影响^[102]。空气污染对人类健康和环境会产生各种不利的直接影响^[103](图3); 而间接影响, 例如气候变暖如何增加热浪对人类健康造成影响的可能性, 没有被考虑在内, 因为它们依赖于系统中难以预测的反馈机制。

空气污染物/温室气体	生命周期/尺度	气候影响	对人体健康/生态系统影响	大气中的生命周期=日/周 影响尺度=本地/区域
二氧化碳(CO ₂)	全球	↑	☺	大气中的生命周期=一年 影响尺度=全球
含氟气体(F-gases)	全球	↑	☹	↑ 变暖
甲烷(CH ₄)	全球	↑	☹	↓ 制冷
氮氧化物(NO _x)	本地/区域	↑/↓	☹	对人体健康的影响
一氧化二氮(N ₂ O)	全球	↑	☹	对生态系统的影响
颗粒物(PM)	本地/区域	↑/↓	☹	对人体健康/生态系统无直接的影响
二氧化硫(SO ₂)	本地/区域	↓	☹	无直接影响表明该物质或者对人体健康或生态系统无直接影响, 或者不会经历化学过程, 从而产生对人体健康和生态系统产生直接影响的物质
对流臭氧层(O ₃)	本地/区域	↑	☹	
挥发性有机化合物(VOC)/一氧化碳(CO)	本地/区域	↑	☹	

图3 空气污染物和温室气体及其对气候、人体健康和生态系统(含农业)的直接影响^[103]

Fig. 3 Common air pollutants and greenhouse gases and their impacts on climate, human health, and ecosystems including agriculture^[103]

5.3.1 气候变化对环境空气污染的影响

短期气候污染物是指在室内外空气污染中, 能产生强烈气候变化效果, 但在大气中停留时间较短(寿命短至几天、长达约十年)的污染物。因此, 短期气候污染物中的“短期”具体是指能采取果断行动降低排放, 快速改善空气质量并降低近期气候变化的速度。而短期气候污染物, 如CH₄、黑碳和O₃等均直接和健康相关, 都与对人体健康有害的空气污染和全球变暖相关。CH₄本身就是危害严重的短期气候污染物, 主要来自农业活动, 比如畜牧业和农业废弃物处理, 同时也是化石燃料的副产品。短期气候污染物来源交通工具、农业、废弃物管理、住宅和工业部门等多个部门排放的, 对于卫生、环境和气候部门来说, 降低短期气候污染政策是“双赢”的选择。

O₃是排在第二位的短期气候污染物, 会对呼吸道产生不利影响, 引起肺功能改变, 增加哮喘发病率, 并可能引起过早死亡。先期污染物, 如CH₄、氮氧化物(NO_x)、VOCs、CO等, 与阳光交互作用会形成O₃。O₃会降低植物的光合作用和生长, 降低农业产量, 威胁粮食安全, 影响天气模式和冰雪融化, 引起洪水等伤害和危险健康的极端天气事件。此外, O₃能有效吸收太阳辐射, 使气候变暖。

气候变化可能加剧或降低大气颗粒物, 进而影响室内外空气质量。根据《全球疾病负担研究》^[104], PM_{2.5}是中国的第四大死因, 在全球范围内造成了沉重的疾病负担。全球PM_{2.5}水平预计将从1990年的350万(95%置信区间300万~400万)增加到2015年的420万(95%置信区间370万~480万)^[105]。自2013年以来,

PM_{2.5}水平在中国主要城市得到监测,政府已经采取措施控制和降低PM_{2.5}浓度。尤其是在北京,PM_{2.5}浓度在城市地区占主导地位,已被证明与心血管死亡率0.4%的增长相对应^[106];笼罩北京的极端雾霾天气可能导致重大的环境和健康影响^[107]。2015年,全球疾病负担研究表明,中国110万人过早死亡和2200万残疾调整生命年与大气PM_{2.5}暴露联系起来,PM_{2.5}已成为威胁中国人群健康的重要风险因素之一。牛越等^[108]通过对北京、上海和广州三个城市PM_{2.5}污染对医院门诊、急诊量的影响,发现短期暴露于低浓度PM_{2.5},当日急诊和门诊量会呈现上升趋势,而后该趋势减缓;该暴露反应关系未发现明显效应阈值。

气候变化伴随的气温升高,将增加很多区域的VOCs的生物源排放,也可增加NO_x的产生率。另一些污染物如SO₂,经过化学和物理过程形成硫酸盐颗粒,反射阳光,对气候会产生整体降温影响。其他污染物,例如挥发性有机化合物,是O₃和次生有机气溶胶的前体,因此可以产生升温或降温的影响。大气复合污染暴露对人群死亡影响的多中心研究显示^[109],PM_{2.5}与O₃对心血管疾病死亡的影响存在拮抗,PM_{2.5}与NO₂共存时前者效应降低而后者相对稳健,O₃和NO₂之间存在协同作用。

5.3.2 气候变化对室内环境健康效应的影响

气候变化研究常集中在室外空气质量,但绝大多数人更多处于室内,然而由气候变化引起的室内空气质量变化对居民健康影响的研究鲜有关注。实际上,人们绝大多数时间处于室内;虽然建筑将居民和室外大气环境相隔离,但除非是最严密封闭的实验室环境,否则,室外环境变化定会渗透并进一步影响到室内环境。美国气候变化对室内空气质量与居民健康影响委员会针对现阶段气候变化对室内空气与公众健康影响需应对的三大关键问题,重点阐述了气候变化—室内环境空气质量—健康的关系,相关结论清晰明确——“室内环境质量对居民健康有巨大影响,不良的室内环境有损居民的福祉。变化的气候条件不一定会给室内居民带来新的危害,但可能会让已有的室内环境问题更加普遍,更加严峻,因而增加了预防和应对此类的紧迫性。”因此,从室内环境体会气候变化的诸多影响^[110],十分必要。

气候变化对室内环境质量的影响具有地域性,随着时间和地域环境状况的变化而变化;但总体来说,影响室内污染物浓度的因素主要有三类:污染源及其特性,建筑物的特性和人类活动。气候变化和室内空气间的关联,研究不多,主要阻力在于缺乏确凿的证

据;而实际上,室内空气质量的优劣在气候变化的研究和相关政策的制定中,应当备受关注^[111]。具体来说,气候变化影响室内空气质量的三个重要途径^[112]包括:1)室外空气质量变化;2)以不同方式运作的建筑物;3)人类适应气候变化的新行动。

6 公众健康领域从科学研究走向应对策略

6.1 气候变化、温湿度和空气质量对健康影响的交互作用

气候变化带来的挑战对人类健康构成了前所未有的威胁,气候变化、温度变化和空气质量等多种因素之间的交互作用,可能导致复合健康效应的影响和危害。中国巨大的人口和预测的未来气候变化的幅度,决定了气候和致病因素之间的交互作用将会非常激烈^[113]。

6.1.1 气候变化导致高温暴露度升高

气候变化将不断增加高温极端事件的强度和频率,预计到2050年,高温事件由当前20年一遇变为平均每2~5年一遇。大气中温室气体的含量增加造成的变暖量预期,人类暴露于高温的情况预计将会增加,即高温事件的频率、强度和时长有不断增加的趋势,且伴随着对人体健康的广泛影响。因此,特殊人群将更多暴露于高温环境中,从生理上或社会经济上对过热造成的生理压力、病情恶化和死亡风险的增加表现得更为脆弱,包括老人、婴幼儿、孕妇、工人、运动员、参与室外娱乐活动的人群(如宗教活动或音乐节)和穷人。

6.1.2 气候变暖将使空气质量恶化

空气质量对天气条件有较强的依赖性,对气候变化也十分敏感。因此,气候变化能够通过影响空气质量,进一步放大空气污染对人类健康和生态系统的影响。影响空气质量和气候变化的不仅涉及普通的化学成分,还与不同的大气过程紧密相关,图4描述了空气质量与气候变化的相互作用的复杂程度,主要集中在以下五个方面^[114]:1)大气成分的改变(CO₂、CH₄、PM、O₃),2)大气—生物圈之间的相互作用,3)大气—冰冻圈的相互作用,4)气溶胶—云相互作用,5)气溶胶—辐射影响。空气质量对气候变化的直接和间接影响,都与大气污染物与太阳辐射的相互作用相关。对流层臭氧对生态系统产生负面影响^[115],能减弱其对CO₂的吸收能力。

6.1.3 温度导致空气污染加剧

空气污染和温度有密切的交互作用^[116-117],空气污染可能使人们更容易受到温度变化的影响。1993年,全球首次探讨空气污染(SO₂、O₃和吸烟)和高温

图4 空气质量与气候变化的相互作用^[114]Fig. 4 An overview of the main categories of air quality and climate change interactions^[114]

(30 ℃及以上)的协同作用研究发现雅典1987年热浪期间的过度死亡,起因于两者之间的协同作用^[118]。

PM与气温人群健康的交互作用已备受关注。Vanos等^[119]研究发现,炎热天气下,SO₂、PM₁₀等空气污染物对人群死亡率的影响更强。高温作用下,空气污染对死亡率的协同作用明显高于中等温度^[120],女性则表现出更强脆弱性,PM₁₀对女性死亡率影响较大。研究表明,高温会增强PM_{2.5}的危害效应。高温下,人体皮肤渗透性增强,呼吸频率也加速,人摄入的空气量增大^[121],更倾向开窗通风或外出,因此,相应PM_{2.5}暴露量更高。段俊等^[122]研究发现,大气中PM_{2.5}和温度存在交互作用;随着PM_{2.5}浓度的升高,精神分裂症的入院风险在增加;且在高温时,PM_{2.5}的危险效应更大。

近年来,研究表明,臭氧和高温也表现出对人群死亡的健康协同影响。1987—2000年,美国97个城市的研究表明^[123],温度作为混淆因子,分为高、中、低三类,对比研究发现,高温修饰作用下,臭氧暴露每增加10 ppb (1 ppb=10⁻⁹),死亡率随之上升0.47%;研究表明,高温加速了人对臭氧短期污染暴露的生理反馈。美国95个城区的发病和死亡风险证明^[124-125],高温、高臭氧浓度共同作用,会产生温度—臭氧的协同风险效应。当然,也有研究表明,空气污染和温度变化没有必然关联^[126]。

6.2 气候变化和空气污染同源应对、协同控制

空气污染仍然是中国城市面临的最具挑战性的环境问题之一,任重道远。依据《2016—2018年中国环境状况公报》,2016年,我国338个地级及以上城市中,仅84个城市(24.9%)空气质量达标^[127];2017年,共有99个城市(29.3%)空气质量达标^[128];时至2018年,空气质量已达标的城市共计121个,占全国城市的35.8%^[129]。值得一提的是,较2017年,2018年338个城市六项典型污染物浓度年际比较,SO₂、CO、PM_{2.5}、NO₂和PM₁₀已分别下降22.2%、11.8%、9.3%、6.5%和5.3%,而O₃浓度继续上升1.3%^[129]。因此,在全球气候变化背景下,空气污染和气候变化之间的交互作用在不断增加。因此,应以公众健康为中心,把大气层视为一个整体有限的全球资源,不局限于目标地区可以避免意想不到的后果。最佳的应对措施是通过多因素协同控制减排,将气候变化和空气质量同源分析、共同应对、协同减排。

2018年10—11月,WHO召开的首次全球空气污染与健康会议,使政府和合作伙伴聚在一起,希望通过全球共同努力来改善空气质量并应对气候变化。本质上,气候变化背景下应对健康风险挑战的关键,是充分理解空气质量的改善将由应对气候变化的减排得以实现——通过有目标减排短生命周期气候驱动因子(如黑碳)所获得的收益,与应对气候变化综合减

排的收效相比，两者之间并无实质性区别。具体来说，通过实施气候变化和空气污染协同控制的双赢政策^[130]（图5），确保气候变化和空气质量均收益的最佳组合方式，通常涉及降低能源消耗和旅行能耗，鼓励人们采用每公里能耗更低的旅行方式。例如提高能源效率，较易实施开展，能同时改善空气质量和减缓气候变化影响，这并不是因为经济手段非常给力，而是人能通过安装低能耗商品和电器来有效克服能耗。其他双赢方式，还包括新型非燃烧性质能源的增加和使用，如风能、太阳能、潮汐能和核能。

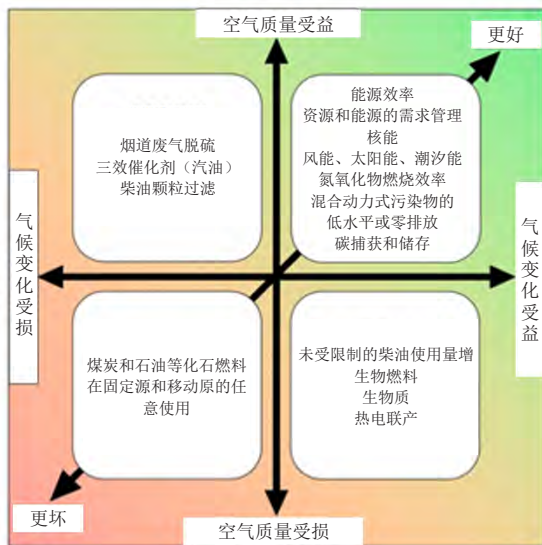


图5 改善空气质量和减缓气候变化之间政策的权衡和协同^[130]

Fig. 5 The synergies and trade-offs between policies to improve air quality and reduce greenhouse gas emissions^[130]

6.3 减缓和适应全球气候变化对健康影响的应对策略

公众健康领域正在从科学研究走向行动决策，应针对空气污染和气候变化对人群健康影响的广泛证据，采取更积极行动，科学应对城市气候变化和空气污染治理^[131]。

6.3.1 全球减缓和应对气候变化健康影响的共性关键问题

城市作为减缓和应对气候变化健康影响的载体之一，虽然全球城市间存在各方面差异，气候计划的完备程度也参差不齐，但关键问题有共性特点，集中体现在：1）需要将公众健康效应纳入全球气候变化减缓和应对决策过程；2）气候变化对健康的影响属全球环境问题，需跨国界、多部门协调联动和互通推进；3）除履约和科学研究之外，气候变化减缓和适应政策还缺乏前瞻性和主动性，应对策略的灵活性和

积极性也相对不足；4）政府、学术界和公众对气候变化影响的认知和行动举措，处在渐进的动态过程中，多方主体广泛参与气候变化减缓行动的热情，亟待有效激发。

6.3.2 IPCC 适应和减缓气候变化健康影响的可持续发展路径

适应降低气候变化影响的风险效果有限，特别是在气候变化幅度和速度较大的情况下；若更多减缓行动推迟到2030年，将会对21世纪升温限制在相对于工业化前2℃以内带来显著加大的挑战；因此，适应和减缓两者相辅相成，是减少气候变化影响所带来风险的互补性战略方法，可充分利用适应和减缓之间积极的协同作用机会，实现显著减排。

2014年，IPCC的第五次评估报告^[132]明确指出，许多适应和减缓方案可有助于应对气候变化，但只靠单一方案却不足以应对；通过综合响应，将适应和减缓与其他社会目标相结合，可有效实施全方位的政策与合作；与可持续发展一致的气候变化应对综合策略会考虑适应和减缓方案产生的各种共生效益、不良副作用和风险；气候变化减缓适应工作越多就意味着相互作用更加复杂，尤其是人类健康、水、能源、土地利用和生物多样性之间。适应措施也具备为减缓提供共生效益的潜力，反之，减缓亦然。

关于具体适应和减缓的应对策略，IPCC的第五次评估报告^[132]进一步提议：首先，适应和减缓响应常见扶持因素和限制因素，因为常见扶持因素可支持适应和减缓响应，通过投资对有效的制度和治理、创新和对环境无害技术和基础设施的投资、可持续的谋生手段以及对行为 and 生活方式的选择；第二，不断加剧的气候变化将加大对许多适应方案的挑战，一些适应响应包括显著的协同效益、协作和权衡；第三，各主要行业需减缓方案，使用综合性方法，结合各类设施降低使用行业的能源使用和温室气体强度、脱碳能源供应、降低净碳排放量和积极增加碳汇；第四，有效的适应和减缓响应将取决于国际、区域、国家和地方多种尺度的政策和措施；最后，通过多种综合响应将减缓、适应及追求其他社会目标相结合，实现可持续发展的权衡和协同效应。

6.3.3 COP 24 减缓气候变化健康影响的提议

2018年12月，联合国气候变化框架公约缔约方第二十四届会议（the 24th Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC COP 24）在波兰卡托维兹推出世卫组织卫生与气候变化特别报告^[100]，针对气候变化

和健康,已提议七项措施减缓气候变化。

第一,减少短期气候污染物,是减缓气候变化对健康影响的必要条件。具体减少短期气候污染物的途径可直接降低,同时能减少接触空气污染和相关疾病;也可间接降低,减少臭氧和黑碳对天气和食品生产与食品安全的负面影响;或者通过减缓短期气候污染物,改善交通系统、提倡健康饮食、改善废弃物管理等。第二,将减缓和适应措施对健康的影响纳入经济和财政政策的设计,包括碳定价和化石燃料补贴改革。第三,将保障健康的承诺纳入《巴黎协定》的规则手册,并系统地将国家数据中心的健康状况,国家适应计划和国家信息通报纳入《联合国气候变化框架公约》。第四,消除适应气候变化的健康投资的现有障碍,特别是对具有气候适应能力的卫生系统和“气候智能型”卫生保健设施的投资。第五,促进卫生社区作为气候变化行动可靠倡导者的参与。第六,动员城市市长和其他地方领导人,作为跨部门行动的倡导

者,减少碳排放,增强抵御能力和促进健康;加强城市和其他地方政府参与《联合国气候变化框架公约》进程的正式机制,扩大促进健康和保护气候的行动范围。第七,系统跟踪气候变化减缓和适应所带来的健康进展,并向联合国气候变化框架公约、全球卫生治理流程和可持续发展目标监测系统报告。

6.3.4 高温天气—健康行动欧洲应对气候变化的模式

继2003年热浪天气之后,欧洲17国制定了高温天气—健康行动预案,重点识别对健康产生不利影响的天气形势,跟踪气象预报,发布预警预报的机制和保护公众健康的行动,以减少或预防发病和死亡,诸如将温度预报自动转换为超过某一预定热波阈值的概率、建立健康预警的播报、针对脆弱群体的护理、实施监测与评估等。气象机构提供必要的信息,联合其他部门开展预防性健康措施,形成高温—健康行动计划^[133](图6)。

欧洲在健康城市建设方面的经验显示,国际合

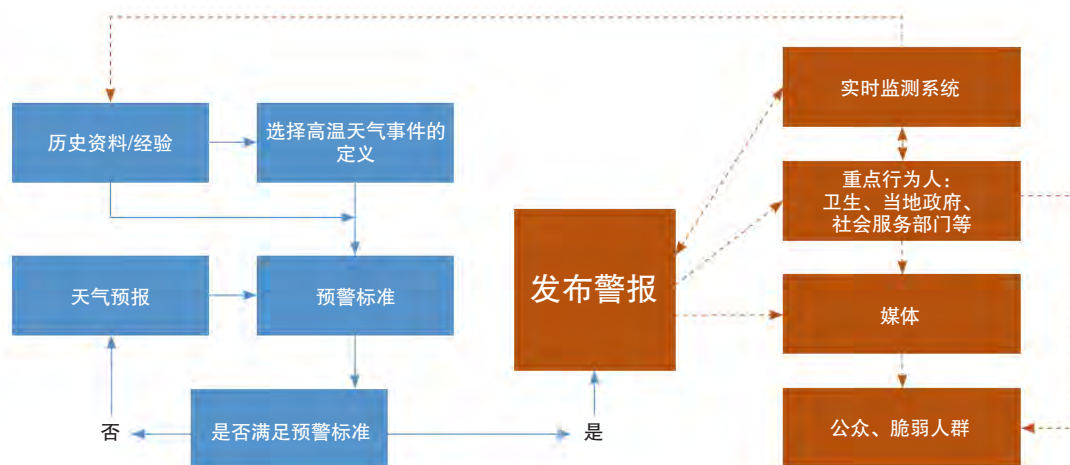


图6 欧洲健康城市高温天气—健康行动计划^[133]

Fig. 6 Heat-health action plans for healthy cities in Europe^[133]

作可以激发地方的领导力,促进政策变革,社会、经济、环境、政治及技术力量将左右健康城市方法在城市发展中的成败;这些经验可在全球世界各地广泛地推广^[134]。

此外,高温致灾的具体阈值依具体区域和具体时间而定。在某种程度上,人们可以通过生理的、自发的行为(例如穿较凉快的衣服)和有计划的适应方式(例如,建立热浪预警系统、提供空调、种植树木和其他植被等)来应对较暖的气候^[135]。

6.3.5 减缓和应对气候变化健康影响的中国智慧

过去40年来,中国经历了快速的经济和社会发展,作为世界最大的经济体之一,在减少温室气体排

放及应对气候变化影响的全球努力中发挥了至关重要的作用。2007年,我国推出了《中国应对气候变化国家方案》^[136],把应对气候变化与实施可持续发展战略、加快建设资源节约型、环境友好型社会和创新型国家结合起来,纳入国民经济和社会发展规划和地区规划,努力控制和减缓温室气体排放。2013年,我国提出“将健康融入所有政策”,将健康需求融入到相关政策,体现以人为本,平衡人与自然的平衡。2014年,我国出台《国家应对气候变化规划(2014—2020年)》^[137],提倡大力节约能源,优化能源结构,改善生态环境,提高适应能力,加强科技开发和研究能力,提高公众气候变化意识,完善气候变化管理

机制。

2016年,我国进一步发布《城市适应气候变化行动计划》^[138]和《“健康中国2030”规划纲要》^[139],提出“健康是中国可持续发展的核心内容”,健康被置于优先发展的战略地位,所有的行动将遵循健康优先、改革创新、科学发展和公平公正四项原则。2017年,我国筛选适应气候变化的28个试点城市,尝试强化城市适应理念、提高监测预警能力、开展重点适应行动等综合方法适应未来气候变化,试点地区打造气候变化国际合作示范窗口,与国际社会一起实施行动^[140]。

因此,我国健康城市实现的要素之一是广泛的公众参与、建立共识,提高公众在健康管理中的参与度,加强自下而上的联系和监督,打造有益补充政府主导的自上而下的中国模式。

参考文献

- [1] World Meteorological Organization. Earth experienced warmest June on record. 2019-07-19 [2019-08-02]. <https://public.wmo.int/en/media/news/earth-experienced-warmest-june-record>.
- [2] IPCC. Summary for Policymakers//Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf.
- [3] World Meteorological Organization. WHO launches country profiles to help action on health and climate change. 2015-11-16 [2019-08-02]. <https://www.who.int/globalchange/mediacentre/news/country-profiles/en/>.
- [4] IPCC. Summary for Policymakers//Global Warming of 1.5 °C. Geneva: World Meteorological Organization, 2018. https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf.
- [5] Solomon C G, LaRocque R C. Climate change-a health emergency. New England Journal of Medicine, 2019, 380(3): 209-211.
- [6] WHO, WMO, UNEP. Climate and Human Health. World Climate Programme Applications WLAP-No. 1, 1987.
- [7] World Health Organization. Potential health effects of climate change. Geneva Report of a WHO Task Group, 1990. https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf.
- [8] World Health Organization. WHO agreed on a research agenda on climate change and public health. 2008-10-08 [2019-08-02]. <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2008/pr36/en/>.
- [9] World Health Organization. Ten threats to global health in 2019. 2019-01-15 [2019-08-02]. <https://www.who.int/emergencies/ten-threats-to-global-health-in-2019>.
- [10] 屈芳. 环境气象因素对呼吸系统疾病影响的研究进展. 气象科技进展, 2013, 3(6): 37-46.
- [11] Crimmins A, Balbus J, Gamble J L, et al. The impacts of climate change on human health in the United States: a scientific assessment. Washington: U.S. Global Change Research Program, 2016. <https://health2016.globalchange.gov>.
- [12] Gosling S N, Lowe J A, McGregor G R, et al. Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. Climatic Change, 2009, 92(3/4): 299-341.
- [13] McMichael A J, Wilkinson P, Kovats R S, et al. International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. International Journal of Epidemiology, 2008, 37(5): 1121-1131.
- [14] Basu R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. Environmental Health, 2009, 8: 40.
- [15] Keatinge W R, Donaldson G C, Cordioli E A, et al. Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. British Medical Journal, 2000, 321(7262): 670-673.
- [16] Zanobetti A, Schwartz J. Temperature and mortality in nine US cities. Epidemiology, 2008, 19(4): 563-570.
- [17] The Eurowinter Group. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. Lancet, 1997, 349(9062): 1341-1346.
- [18] Barnett A G, Dobson A J, McElduff P, et al. Cold periods and coronary events: an analysis of populations worldwide. Journal of Epidemiology and Community Health, 2005, 59(7): 551-557.
- [19] Gordon C J. Role of environmental stress in the physiological response to chemical toxicants. Environmental Research, 2003, 92(1): 1-7.
- [20] Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2018 report of the Lancet countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. Lancet, 2018, 392(10163): 2479-2514.
- [21] Fischer E M, Schar C. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. Nature Geoscience, 2010, 3(6): 398-403.
- [22] Nitschke M, Tucker G R, Hansen A, et al. Impact of two recent extreme heat episodes on morbidity and mortality in Adelaide, South Australia: a case-series analysis. Environmental Health, 2011, 10: 42.
- [23] Tong S L, Ren C Z, Becker N. Excess deaths during the 2004 heatwave in Brisbane, Australia. International Journal of Biometeorology, 2010, 54(4): 393-400.
- [24] Rooney C, McMichael A J, Kovats R S, et al. Excess mortality in England and Wales, and in greater London, during the 1995 heat wave. Journal of Epidemiology and Community Health, 1998, 52(8): 482-486.
- [25] 谈建国, 黄家鑫. 热浪对人体健康的影响及其研究方法. 气候与环境研究, 2004, 9(4): 680-686.
- [26] Armstrong B G, Chalabi Z, Fenn B, et al. Association of mortality with high temperatures in a temperate climate: England and Wales. Journal of Epidemiology and Community Health, 2011, 65(4): 340-345.
- [27] Barnett A G, Hajat S, Gasparrini A, et al. Cold and heat waves in the United States. Environmental Research, 2012, 112: 218-224.
- [28] Gosling S N, McGregor G R, Lowe J A. Climate change and heat-related mortality in six cities. Part 2: Climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change. International Journal of Biometeorology, 2009, 53(1): 31-51.
- [29] Hajat S, Kovats R S, Lachowycz K. Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk? Occupational and Environmental Medicine, 2007, 64(2): 93-100.
- [30] Basu R, Samet J M. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. Epidemiologic Reviews, 2002, 24(2): 190-202.
- [31] Curriero F C, Heiner K S, Samet J M, et al. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. American Journal of Epidemiology, 2002, 155(1): 80-87.
- [32] Mercer J B. Cold-an underrated risk factor for health. Environmental Research, 2003, 92(1): 8-13.
- [33] D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, et al. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. Environmental Health, 2010, 9: 37.
- [34] Robine J M, Cheung S L K, Le Roy S, et al. Death toll exceeded 70000 in Europe during the summer of 2003. Comptes Rendus Biologies, 2008, 331(2): 171-178.
- [35] World Health Organization. Information and public health advice: heat and health. [2019-08-02]. <http://origin.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/en/>.
- [36] Huang C, Barnett A G, Wang X, et al. Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: a systematic review. Environmental Health Perspectives, 2011, 119(12): 1681-1690.
- [37] Kinney P L, O'Neill M S, Bell M L, et al. Approaches for estimating effects of climate change on heat-related deaths: challenges and opportunities. Environmental Science and Policy,

- 2008, 11(1): 87-96.
- [38] Sherwood S C, Huber M. An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(21): 9552-9555.
 - [39] 黄存瑞, 何依伶, 马锐, 等. 高温热浪的健康效应: 从影响评估到应对策略. *山东大学学报(医学版)*, 2018, 56(8): 14-20.
 - [40] Mora C, Dousset B, Caldwell I R, et al. Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 2017, 7(7): 501-506.
 - [41] Cohen J, Screen J A, Furtado J C, et al. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*, 2014, 7(9): 627-637.
 - [42] Wallace J M, Held I M, Thompson D W, et al. Global warming and winter weather. *Science*, 2014, 343(6172): 729-730.
 - [43] Zhang J, Tian W, Chipperfield M P, et al. Persistent shift of the Arctic polar vortex towards the Eurasian continent in recent decades. *Nature Climate Change*, 2016, 6(12): 1094-1099.
 - [44] Monacelli F, Aramini I, Odetti P. For debate: the August sun and the December snow. *Journal of the American Medical Directors Association*, 2010, 11(6): 449-452.
 - [45] McGeehin M A, Mirabelli M. The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 2001, 109(2): 185-189.
 - [46] Carson C, Hajat S, Armstrong B, et al. Declining vulnerability to temperature-related mortality in London over the 20th century. *American Journal of Epidemiology*, 2006, 164(1): 77-84.
 - [47] Keatinge W R, Donaldson G C. Mortality related to cold and air pollution in London after allowance for effects of associated weather patterns. *Environmental Research*, 2001, 86(3): 209-216.
 - [48] Gonçalves F L T, Braun S, Dias P L S, et al. Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of São Paulo. *Environmental Research*, 2007, 104(2): 275-281.
 - [49] Lloyd E. The role of cold in ischaemic heart disease: a review. *Public Health*, 1991, 105(3): 205-215.
 - [50] Gerber Y, Jacobsen S J, Killian J M, et al. Seasonality and daily weather conditions in relation to myocardial infarction and sudden cardiac death in Olmsted County, Minnesota, 1979 to 2002. *Journal of the American College of Cardiology*, 2006, 48(2): 287-292.
 - [51] Kriszbacher I, Bódís J, Csoboth I. The occurrence of acute myocardial infarction in relation to weather conditions. *International Journal of Cardiology*, 2009, 135(1): 136-138.
 - [52] Lee J H, Chae S C, Yang D H, et al. Influence of weather on daily hospital admissions for acute myocardial infarction (from the Korea Acute Myocardial Infarction Registry). *International Journal of Cardiology*, 2010, 144(1): 16-21.
 - [53] Teng H, Heyer H. The relationship between sudden changes in weather and the occurrence of acute myocardial infarction. *American Heart Journal*, 1955, 49(1): 9-20.
 - [54] Baker-Blocker A. Winter weather and cardiovascular mortality in Minneapolis-St. Paul. *American Journal of Public Health*, 1982, 72(3): 261-265.
 - [55] Thakur C P, Anand M P, Shahi M P. Cold weather and myocardial infarction. *International Journal of Cardiology*, 1987, 16(1): 19-25.
 - [56] Sakamoto-Momiyama M. Seasonality in Human Mortality, a Medico-Geographic Study. Tokyo: University of Tokyo Press, 1977.
 - [57] Analitis A, Katsouyanni K, Biggeri A, et al. Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *American Journal of Epidemiology*, 2008, 168(12): 1397-1408.
 - [58] Hajat S, Vardoulakis S, Heaviside C, et al. Climate change effects on human health: projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s, and 2080s. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2014, 68(7): 641-648.
 - [59] Sotiris V, Keith D, Shakoob H, et al. Comparative assessment of the effects of climate change on heat-and cold-related mortality in the United Kingdom and Australia. *Environmental Health Perspectives*, 2014, 122(12): 1285-1293.
 - [60] Kodra E, Steinhäuser K, Ganguly A R. Persisting cold extremes under 21st-century warming scenarios. *Geophysical Research Letters*, 2011, 38: L08705.
 - [61] Anderson B G, Bell M L. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*, 2009, 20(2): 205-213.
 - [62] Guo Y, Gasparrini A, Armstrong B, et al. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. *Epidemiology*, 2014, 25(6): 781-789.
 - [63] Barnett A G. Temperature and cardiovascular deaths in the US elderly: changes over time. *Epidemiology*, 2007, 18(3): 369-372.
 - [64] Medina-Ramon M, Schwartz J. Temperature, temperature extremes, and mortality: a study of acclimatization and effect modification in 50 US cities. *Occupational and Environmental Medicine*, 2007, 64(12): 827-833.
 - [65] Kalkstein L S, Davis R E. Weather and human mortality: an evaluation of demographic and interregional responses in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 1989, 79(1): 44-64.
 - [66] Pattenden S, Nikiforov B, Armstrong B G. Mortality and temperature in Sofia and London. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2003, 57(8): 628-633.
 - [67] Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J. The time course of weather-related deaths. *Epidemiology*, 2001, 12(6): 662-667.
 - [68] National Oceanic and Atmospheric Administration's National Weather Service. Glossary. 2009-06-25 [2019-08-02]. <https://w1.weather.gov/glossary/index.php?letter=h>.
 - [69] Smoyer-Tomic K E, Kuhn R, Hudson A. Heat wave hazards: an overview of heat wave impacts in Canada. *Natural Hazards*, 2003, 28(2/3): 463-485.
 - [70] Quandt S A, Wiggins M F, Chen H Y, et al. Heat index in migrant farmworker housing: implications for rest and recovery from work-related heat stress. *American Journal of Public Health*, 2013, 103(8): e24-e26.
 - [71] Alfano F R D, Palella B I, Riccio G. Thermal environment assessment reliability using temperature-humidity indices. *Industrial Health*, 2011, 49(1): 95-106.
 - [72] Galloway S D, Maughan R J. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1997, 29(9): 1240-1249.
 - [73] Berglund L G, Gonzalez R R. Evaporation of sweat from sedentary man in humid environments. *Journal of Applied Physiology*, 1977, 42(5): 767-772.
 - [74] Mitchell D, Senay L C, Wyndham C H, et al. Acclimatization in a hot, humid environment: energy exchange, body temperature, and sweating. *Journal of Applied Physiology*, 1976, 40(5): 768-778.
 - [75] Moyon N E, Ellis C L V, Ciccone A B, et al. Increasing relative humidity impacts low-intensity exercise in the heat. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 2014, 85(2): 112-119.
 - [76] Hanna E G, Kjellstrom T, Bennett C, et al. Climate change and rising heat: population health implications for working people in Australia. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, 2011, 23(S2): 14S-26S.
 - [77] Schwartz J, Samet J M, Patz J A. Hospital admissions for heart disease: the effects of temperature and humidity. *Epidemiology*, 2004, 15(6): 755-761.
 - [78] Barreca A I. Climate change, humidity, and mortality in the United States. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012, 63(1): 19-34.
 - [79] Lin S, Luo M, Walker R J, et al. Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. *Epidemiology*, 2009, 20(5): 738-746.
 - [80] Balbus J M, Malina C. Identifying vulnerable subpopulations for climate change health effects in the United States. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2009, 51(1): 33-37.
 - [81] Committee on Environmental Health. Global climate change and children's health. *American Academy of Pediatrics*, 2007, 120(5): 1149-1152.
 - [82] Xu Z, Sheffield P E, Hu W, et al. Climate Change and Children's Health-A Call for Research on what works to protect children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2012, 9(9): 3298-3316.

- [83] Kashiwabara K, Itonaga K, Moroi T. Airborne water droplets in mist or fog may affect nocturnal attacks in asthmatic children. *The Journal of Asthma*, 2003, 40(4): 405-411.
- [84] Viegas M, Barrero P R, Maffey A F, et al. Respiratory viruses seasonality in children under five years of age in Buenos Aires, Argentina—a five-year analysis. *Journal of Infection*, 2004, 49(3): 222-228.
- [85] Lapena S, Robles M B, Castanon L, et al. Climatic factors and lower respiratory tract infection due to respiratory syncytial virus in hospitalised infants in northern Spain. *European Journal of Epidemiology*, 2005, 20(3): 271-276.
- [86] Al-Toum R, Bdour S, Ayyash H. Epidemiology and clinical characteristics of respiratory syncytial virus infections in Jordan. *Journal of Tropical Pediatrics*, 2006, 52(4): 282-287.
- [87] Omer S B, Sutanto A, Sarwo H, et al. Climatic, temporal, and geographic characteristics of respiratory syncytial virus disease in a tropical island population. *Epidemiology and Infection*, 2008, 136(10): 1319-1327.
- [88] Turkish Neonatal Society. The seasonal variations of respiratory syncytial virus infections in Turkey: a 2-year epidemiological study. *The Turkish Journal of Pediatrics*, 2012, 54(3): 216-222.
- [89] Noyola D E, Mandeville P B. Effect of climatological factors on respiratory syncytial virus epidemics. *Epidemiology and Infection*, 2008, 136(10): 1328-1332.
- [90] YoussefAgha A H, Lohrmann D K, Jayawardene W P, et al. Upper-air observation indicators predict outbreaks of asthma exacerbations among elementary school children: integration of daily environmental and school health surveillance systems in Pennsylvania. *The Journal of Asthma*, 2012, 49(5): 464-473.
- [91] Flossmann A I, Wobrock W. A review of our understanding of the aerosol-cloud interaction from the perspective of a bin resolved cloud scale modeling. *Atmospheric Research*, 2010, 97(4): 478-497.
- [92] Price C. Evidence for a link between global lightning activity and upper tropospheric water vapour. *Nature*, 2000, 406(6793): 290-293.
- [93] Leng C B, Pang S F, Zhang Y, et al. Vacuum FTIR observation on the dynamic hygroscopicity of aerosols under pulsed relative humidity. *Environmental Science and Technology*, 2015, 49 (15): 9107-9115.
- [94] Hu J, Bohn P W. Optical biosensing of bacteria and bacterial communities. *Journal of Analysis and Testing*, 2017, 1(1): 4.
- [95] Lowen A C, Mubareka S, Steel J, et al. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *Plos Pathogen*, 2007, 3(10): 1470-1476.
- [96] Shaman J, Kohn M. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America*, 2009, 106(9): 3243-3248.
- [97] Xie X, Li Y, Chwang A T Y, et al. How far droplets can move in indoor environments—revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor Air*, 2007, 17(3): 211-225.
- [98] Ahrens C D. *Meteorology Today*. St. Paul: Brooks/Cole, 2009.
- [99] Baughman A V, Arens E A. Indoor humidity and human health—part 1: literature review of humidity-influenced indoor pollutants. *ASHRAE Transactions: Research*, 1996, 102(1): 193-211.
- [100] World Health Organization. COP24 Special Report: Health and Climate Change. Geneva: World Health Organization, 2018. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/276405/9789241514972-eng.pdf?ua=1%20pag16-19>.
- [101] 魏复盛, 胡伟, 滕恩江, 等. 空气污染对人体健康影响研究的进展. *世界科技研究与发展*, 2000, 22(3): 14-18.
- [102] World Health Organization. Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2012. 2016-11-01 [2019-08-02]. https://www.who.int/airpollution/data/AP_jointeffect_BoD_results_Nov2016.pdf?ua=1.
- [103] Melamed M L, Schmale J, von Schneidmesser E. Sustainable policy-key considerations for air quality and climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2016, 23: 85-91.
- [104] Yang G H, Wang Y, Zeng Y X, et al. Rapid health transition in China, 1990-2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*, 2013, 381(9882): 1987-2015.
- [105] Cohen A J, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*, 2017, 389(10082): 1907-1918.
- [106] Kan H, Chen R J, Tong S L. Ambient air pollution, climate change, and population health in China. *Environment International*, 2012, 42: 10-19.
- [107] Zheng G J, Duan F K, Su H, et al. Exploring the severe winter haze in Beijing: the impact of synoptic weather, regional transport and heterogeneous reactions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, 15(6): 2969-2983.
- [108] 牛越, 陈仁杰, 林之靖, 等. 2013—2015年大气PM_{2.5}暴露对中国3个城市5家医院每日急诊及门诊人次的影响. *中华预防医学杂志*, 2019, 53(1): 81-85.
- [109] 汪庆庆, 叶云杰, 张嘉尧, 等. 江苏省大气污染物联合暴露对人群死亡风险急性效应的多中心研究. *中华预防医学杂志*, 2019, 53(1): 86-92.
- [110] Potera C. Climate change impacts indoor environment. *Environment Health Perspectives*, 2011, 119(9): A382.
- [111] Spengler J D. Climate change, indoor environments, and health. *Indoor Air*, 2012, 22(2): 89-95.
- [112] Nazaroff W W. Exploring the consequences of climate change for indoor air quality. *Environmental Research Letters*, 2013, 8(1): 1-20.
- [113] Watts N, Adger W N, Agnolucci P, et al. Health and climate change: policy responses to protect public health. *Lancet*, 2015, 386(10006): 1861-1914.
- [114] von Schneidmesser E, Monks P S, Allan J D, et al. Chemistry and the linkages between air quality and climate change. *Chemical Reviews*, 2015, 115(10): 3856-3879.
- [115] World Meteorological Organization. WMO Reactive Gases Bulletin Highlights Ozone Pollution. 2018-10-01 [2019-08-02]. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-reactive-gases-bulletin-highlights-ozone-pollution>.
- [116] Ren C, Williams G M, Tong S. Does particulate matter modify the association between temperature and cardiorespiratory diseases? *Environmental Health Perspectives*, 2006, 114 (11): 1690-1696.
- [117] Nawrot T S, Torfs R, Fierens F, et al. Stronger associations between daily mortality and fine particulate air pollution in summer than in winter: evidence from a heavily polluted region in western Europe. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2007, 61(2): 146-149.
- [118] Katsouyanni K, Pantazopoulou A, Touloumi G, et al. Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Archives of Environmental Health*, 1993, 48 (4): 235-242.
- [119] Vanos J K, Cakmak S, Kalkstein L S, et al. Association of weather and air pollution interactions on daily mortality in 12 Canadian cities. *Air Quality Atmosphere and Health*, 2015, 8(3): 307-320.
- [120] Qin R X, Xiao C, Zhu Y B, et al. The interactive effects between high temperature and air pollution on mortality: A time-series analysis in Hefei, China. *Science of the Total Environment*, 2017, 575: 1530-1537.
- [121] Roberts S. Interactions between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies. *Environmental Research*, 2004, 96(3): 328-337.
- [122] 段俊, 罗雪莲, 储文革, 等. 2014—2017年安徽省铜陵市大气PM_{2.5}和温度交互作用对精神分裂症患者入院影响的时间序列分析. *中华预防医学杂志*, 2019, 53(1): 51-56.
- [123] Jhun I, Fann N, Zanobetti A, et al. Effect modification of ozone-related mortality risks by temperature in 97 US cities. *Environment International*, 2014, 73: 128-134.
- [124] Wilson A, Rappold A G, Neas L M. Modeling the effect of temperature on ozone-related mortality. *Annals of Applied Statistics*, 2014, 8 (3): 1728-1749.
- [125] Wilson A, Reich B J, Nolte C G, et al. Climate change impacts on projections of excess mortality at 2030 using spatially varying ozone-temperature risk surfaces. *Journal of Exposure Science and*

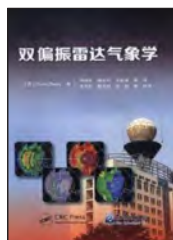
- Environmental Epidemiology, 2017, 27(1): 118-124.
- [126] Stafoggia M, Schwartz J, Forastiere F, et al. Does temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity case-crossover analysis in Italy. American Journal of Epidemiology, 2008, 167(12): 1476-1485.
- [127] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. 2016 report on the state of environment in China. 2017-06-05 [2019-08-02]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201706/P020170605833655914077.pdf>.
- [128] Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. 2017 report on the state of environment in China. 2018-05-31 [2019-08-02]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201805/P020180531534645032372.pdf>.
- [129] Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. 2018 report on the state of environment in China. 2019-05-29 [2019-08-02]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201905/P020190619587632630618.pdf>.
- [130] Monks P S, Granier C, Fuzzi S, et al. Atmospheric composition change-global and regional air quality. Atmospheric Environment, 2009, 43(33): 5268-5350.
- [131] 施小明. 空气污染、气候变化与健康: 从证据到行动. 中华预防医学杂志, 2019, 53(1): 1-3.
- [132] IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2014. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf.
- [133] WHO-Euro. Heat-Health Action Plans. Copenhagen: WHO-Euro, 2008. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/publications/pre-2009/heathealth-action-plans>.
- [134] Ebi K I, Teisberg T J, Kalkstein L S, et al. Heat watch/warning systems save lives-estimated costs and benefits for Philadelphia 1995-98. Bulletin of the American Meteorological Society, 2004, 85(8): 1067-1073.
- [135] O'Neill M S, Carter R, Kish J K, et al. Preventing heat-related morbidity and mortality: new approaches in a changing climate. Maturitas, 2009, 64(2): 98-103.
- [136] The Central People's Government of the People's Republic of China. China's National Program to Address Climate Change. 2007-06-08 [2019-08-02]. http://www.gov.cn/zwgk/2007-06/08/content_641704.htm.
- [137] National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. National climate change plan (2014-2020). 2014-09-19 [2019-08-02]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201411/t20141104_642612.html.
- [138] National Development and Reform Commission; the Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Action plan for urban adaptation to climate change. 2016-02-04 [2019-08-02]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201602/t20160224_226732.html.
- [139] Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. The outline of the "Healthy China 2030" plan. 2016-10-25 [2019-08-02]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-10/25/content_5124174.htm.
- [140] National Development and Reform Commission, the Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Note on pilot projects of building climate adaptative cities. 2017-02-21 [2019-08-02]. <http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201702/W020170224631971736878.pdf>.

新书架

NEW BOOK

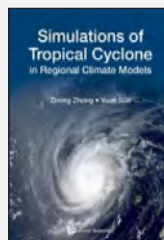
编辑: 张萌

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



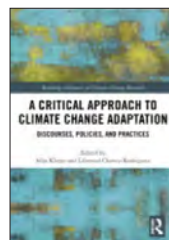
《双偏振雷达气象学》

编著者: Guifu Zhang
译者: 闵锦忠, 戚友存,
王世璋等
出版者: 气象出版社
出版年: 2018



Simulations of Tropical Cyclone in
Regional Climate Models
《区域气候模式中热带气旋的模拟》

编著者: Zhong Zhong等
出版者: World Scientific
出版年: 2018



A Critical Approach to Climate
Change Adaptation: discourses,
policies, and practices
《气候变化适应的关键方法: 论
述、政策和实践》

编著者: Silja Klepp, Libertad
Chavez-Rodriguez
出版者: Routledge
出版年: 2018



Climate Change, New
Security Challenges and the
United Nations
《气候变化、新安全挑战与
联合国》

编著者: Sabita Mohapatra
出版者: Routledge
出版年: 2018

WMO首次在联合国安理会上阐述气候变化威胁事件分析

贾朋群 张定媛 田晓阳

(中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

摘要: 安理会针对气候灾害对国际和平与安全影响主题举行了公开辩论会, 首次邀请了世界气象组织(WMO)就气候与极端天气等问题向安理会成员进行情况介绍。通过对安理会有关气候变化主题历次辩论会的解读分析, 表明WMO的表态陈述让涉及气候变化问题的透视和解析更具科学性, 是联合国其他部门难以替代的。

关键词: 世界气象组织, 联合国安理会, 气候变化

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.007

WMO Addressed the UN Security Council on the Threats of Climate Change for the First Time

Jia Pengqun, Zhang Dingyuan, Tian Xiaoyang

(China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081)

Abstract: For the first time in its history, the World Meteorological Organization has addressed the UN Security Council on the risks to international peace and security posed by climate change and climate-related disasters. Previous UN Security Council debates on the topic of climate change are analyzed. The comparison shows that the statement of WMO made a vital contribution to the dissection and inspection of climate change issues from a scientific perspective, and the role which WMO played is irreplaceable within the UN system.

Keywords: World Meteorological Organization, UN Security Council, climate change

0 引言

2019年1月25日, 联合国安全理事会就气候相关的威胁举行了公开辩论。会议安排了4位主旨发言者, 分别是: 联合国负责政治事务的副秘书长迪卡洛、联合国开发计划署署长施泰纳(会议召开时其正在出席达沃斯论坛, 通过电话连线发言)、WMO首席科学家卡巴特(代表秘书长, 链接1)和美国智库史汀生中心环境安全项目研究人员格舍尔。这是安理会第四次就气候问题展开辩论, 也是WMO的专家第一次受邀进行发言。2007年第一次辩论会, 于当年年底召开的联合国气候变化大会之前召开, 很好地洞察了各国对气候问题的重视程度, 但是针对国际社会作为一个整体, 如何更好地从国际制度上面对这一问题, 留下了较多的悬念。之后的12年, 又召开了两次辩论会, 但在IPCC气候变化评估活动具有了相当影

响并数次推出新报告时, 安理会召开的辩论会上却始终没能听见联合国系统主管天气、气候和水的专门机

链接1 WMO首席科学家 帕维尔·卡巴特



WMO在2018年秋指定了首位首席科学家。首席科学家作为科学和业务之间的桥梁, 职责是指导WMO科学及旗下基础研究活动的总体战略方向, 确保WMO成员的优先事项在研究中得到体现, 研究成果能更快向业务转化。同时, 设立这个职位

也是希望增加WMO对联合国可持续发展目标的贡献。

帕维尔·卡巴特拥有数学和水文学教育背景, 30年研究生涯集中在地球系统科学和全球变化领域, 特别是在陆气交互、气候水文学、水循环和水资源等几个方面。在加入WMO之前, 他是著名国际非政府政策导向型研究机构——国际应用系统分析学会(IIASA)的会长和首席执行官。该学会目前有23个成员国, 其中中国国家自然科学基金委员会代表中国参与其中。

收稿日期: 2019年2月26日; 修回日期: 2019年7月25日

第一作者: 贾朋群(1961—), Email: Jiapq@cma.gov.cn

资助信息: 中国气象局国际合作司委托项目“气象合作及国际气象最新进展研究”

构——WMO的声音。

1 安理会前三次气候变化相关辩论会

1.1 2007 年安理会首次气候相关辩论会

2007年4月17日,联合国安理会举行专题会议,就能源、安全和气候变化之间的关系问题进行公开辩论。安理会当月轮值主席、英国外交大臣玛格丽特·贝克特主持会议并指出,国际社会需认识到气候变化所带来的安全问题,并应着手共同探讨能源、安全和气候变化之间的关系。联合国秘书长潘基文参加辩论,指出能源和气候变化的问题会对国际和平与安全带来影响,并呼吁国际社会尽早就气候变化问题采取行动。

辩论会上,部分代表对气候变化问题表示非常关注和重视,但同时部分与会代表对联合国安理会是不是讨论这一问题的适当场所提出质疑。例如,巴基斯坦常驻联合国副代表法鲁克·阿米利代表77国集团和中国发表讲话说,《联合国宪章》规定,安理会的首要职责是维护国际和平与安全,其他与经济和社会发展有关的问题应由经社理事会和联合国大会负责。他强调,气候变化问题应该在《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》)的有关机制下进行讨论。

中国常驻联合国副代表刘振民在辩论会上表示,气候变化可能有安全方面的影响,但总体来讲,气候变化说到底还是可持续发展问题。安理会参与讨论气候变化,既无助于各国减缓气候变化的努力,也难以帮助受影响的发展中国家有效应对气候变化。他同时表示,中国政府高度重视气候变化问题。中国支持在《公约》机制下就气候变化有关问题进行充分、务实的探讨,也支持各国间进行有利于推动清洁发展的合作^[1]。

中国选择《公约》机制作为气候变化相关国际事务的主要管理机制,既是对随后将召开的联合国气候变化大会的支持,更是充分尊重和维护当时联合国体制和分工的体现。

1.2 2011 年“气候变化的影响”辩论

2011年7月20日,安理会就“维护国际和平与安全:气候变化的影响”举行公开专题辩论。联合国秘书长潘基文在开场报告中指出,极端天气和海平面上升对生命、基础设施和预算的破坏性影响;气候变化“不仅加剧了对国际和平与安全的威胁,其本身也是对国际和平与安全的威胁”。联合国环境规划署执行署长阿齐姆·施泰纳将气候变化称为“威胁倍增器”。小岛屿发展中国家代表瑙鲁总统斯蒂芬强调海平面上升将会导致岛国丧失领土、人口迁徙,认为安理会应首先任命一位气候和安全问题特别代表,并评估联合

国应对这一现象的安全影响的能力^[2]。

辩论中共有65位代表发言,代表们对安理会是否应该考虑气候变化,或是否将其留给传统上负责可持续发展问题的其他联合国机构——特别是《公约》组织、联合国大会和经济及社会理事会,提出了支持或反对意见。一些代表称赞理事会正在发挥的作用是必要的补充,但其他人认为这是一种侵犯,并表示安理会成员可以通过兑现国际发展承诺,促进绿色经济,确保《京都议定书》第二个承诺期,提出可衡量和更雄心勃勃的减排目标,来做出更好的贡献。中国代表王民认为气候变化可能会影响安全,但它从根本上是一个可持续发展问题,安理会没有办法和资源来解决这个问题,但强调国际应提供必要援助。

1.3 2018 年“理解和应对气候相关安全风险”辩论

2018年7月11日的安理会辩论着重讨论气候变化与全球冲突的关系,深化对气候安全风险的认识。会议上共有来自22个国家或机构组织的代表进行了发言。虽然发言者一致认为气候变化及其影响构成严重威胁,但他们在安理会应对气候变化的责任程度上存在分歧。一些人认为,安理会必须将气候变化视为一种安全风险加以应对,另一些人则警告不要扩大安理会的职权范围或侵犯其他机构的管辖权。一些代表提议任命一名气候与安全问题特别代表,并在联合国系统内建立一个气候与安全相关问题的“机构之家”或中心。会议上,联合国副秘书长阿米娜·穆罕默德将气候变化描述为“可能导致冲突的一系列因素之一”^[3]。

中国常驻联合国代表马朝旭表示,国际社会应向发展中国家提供援助。同时,各国应坚持平等和正义的国际原则,尊重全球气候相关协议。他强调坚持共同但有区别的责任原则,尊重各国国情差异。也指出中国长期以来一直参与应对气候变化的全球行动,包括南南合作,并致力于帮助其他国家向前发展。

2 第四次辩论会在德国的倡议下召开,首次邀请了WMO代表做主旨通报

2019年伊始,联合国安理会于1月25日在德国的倡议下,再次举行气候灾害对国际和平与安全影响公开辩论会。会议共有83人先后发言。这次部长级会议的目的由概念说明文件进行了详尽的说明。这份说明文件从气候变化是维护国际和平安全面临的最紧迫挑战、极端天气气候威胁区域的国际安全、干旱与民生、缓慢发生的灾害与流离失所、气候灾害与全球稳定、关键问题等几个方面分14节进行了阐述,最后给出了辩论会的预期成果,以及提交给主席的摘要。会

议报道认为，与会者呼吁积极采取行动，减缓气候变化速度，以有效应对气候变化造成的负面影响。

本次安理会组织的辩论会，首次邀请了WMO就气候与极端天气等问题向安理会成员介绍情况，至少在联合国职能系统的覆盖面上，较前几次辩论会有了改进，而且事实证明，WMO在联合国最重要机构召开的涉及气候变化问题的会议上作表态陈述，不仅必要，而且让问题的透视和解析更具科学性，这是其他部门难以替代的。

公开辩论会上，4位应邀介绍情况的发言人依次表明态度：

1) 联合国负责政治事务的副秘书长迪卡洛：气候变化造成的风险不再是将在“遥远未来”发生的事，这种风险“已成为现实”。她强调积极采取行动的重要性，希望人们清楚认识到气候变化是一个“威胁的倍增器”。“要有紧迫感，要积极兑现承诺，把人民，尤其是那些被边缘化最严重以及最脆弱的人群置于我们努力的中心。”

2) 联合国开发计划署署长施泰纳（通过电话发表讲话）：气候变化“不仅影响大气层，也同时影响生物圈”，国际社会未能有效应对这一挑战。他呼吁安理会积极推动国际社会采取一切可以采取的措施，

以减缓全球变暖速度。

3) WMO首席科学家卡巴特用气候变化相关重要数据进行阐述：气候变化“越来越被视为对国家安全的威胁”，气候变化对安全产生了诸多影响，例如加大山火风险、导致空气质量恶化、造成更多人流离失所及移民数量增加等。

4) 美国智库史汀生中心环境安全项目研究人员格舍尔作为青年研究学者代表向会议提出：以决议形式正式承认气候变化对国际和平与安全造成威胁等建议。

在WMO代表的发言中，提及了一些特别有科学意义的观测事实和用模拟手段获得的未来气候变化。其中引用了英国气象局2016年以来对全球CO₂逐年预测与观测值的最新对比，以及对2019年CO₂浓度的预测。这项引用的关键在于，不仅给出了全球CO₂浓度升高的事实，而且用最近几年预测和实际观测结果的对比，展示了全球气象界对这一严重的气候变化事态，已经具有了很好的整体把握能力。换言之，全球气象界已经为人类未来更好地处理气候变化问题，具备了“精准”预测各种可能和结果的能力。

公开辩论会在4个主旨发言进行情况通报后，包括中国常驻联合国代表马朝旭在内的78个代表随后发言，就会议辩论的主题发表意见。在表1中概括了联

表1 2019年1月安理会气候变化辩论会部分发言要点^[4]

Table 1 Main points from selective statements made by the representatives in the January 2019 Security Council debate^[4]

国家或机构	代表	要点
比利时	副总理	国际社会更多和更加清晰地目睹了气候变化如何带来不安全因素，需要团结一致形成长效方案。现在是安理会考虑将气候变化纳入其日常工作程序的适宜时间，同时并入指定国家讨论和更新维和责任
印度尼西亚	外长	无力适应气候变化的城市转移风险构成实际安全威胁，包括非法移民和粮食短缺。安理会必须加强措施以更好地应对气候变化对安全的影响
俄罗斯	代表	安理会并非处理气候变化的适宜机构，这也是俄罗斯长期以来所持的观点。在安理会讨论气候变化问题既过分又有相反作用。这样的讨论还无视联合国内分工。而且，气候变化并非普遍的挑战
印度	代表	研究发现，气候灾害和安全之间的一般性联系依然模糊不清，IPCC AR5指出：“气候变化和变率对暴力倾向的影响存在争议”
马尔代夫 (代表小岛屿发展中国家)	外长	就气候变化给该国带来的影响发出警告：“多年来，气候变化一直在损害我们这个小小的岛国，侵蚀我们的海滩，杀死保护我们岛屿的珊瑚礁……最重要的是，气候变化将彻底夺走我们的家园。”强调：“我们需要行动——与我们承诺相一致的行动。”
苏丹	代表	苏丹深受气候变化之害，造成争执爆发，包括始于2003年的达尔福尔冲突
欧盟	观察员	需要进一步努力，确保气候和环境风险合适地包括在进入安理会决策基础的风险评估中
多米尼加 (轮值主席)	外长	现在是时候就安理会如何将气候变化纳入其工作程序达成一致
科威特	副总理	气候变化的不利因素增加的速度大于全球行动
德国 (倡议国)	外长	国际社会，尤其是安理会必须随时关注气候变化与安全之间的联系
波兰	环境部长	在全球应对气候变化方面，最近在波兰通过的《卡托维兹规则》目的是让巴黎协定可行
英国	联邦部长	年轻人加入找寻解决方案
中国	联合国代表	增加技术援助，强调在履行巴黎协定及其他国际条约时各国共同但有区别的责任
美国	/	提及最近美国林火和飓风造成灾害，敦促安理会增加信息共享和改进实践
南非	/	安理会也必须强调气候变化是国际社会需面对的一个因素
匈牙利	外长	安理会应将气候变化视为一个和平和安全问题

注：表格底色代表针对安理会是否适宜介入气候变化相关问题的态度，橙色代表支持、蓝色代表反对、无色表示没有明确态度。黑体字国家为现任安理会成员。

联合国会议纪要通稿中记载的这些发言的主要意见。这些意见主要反映了各国针对气候变化与安全问题的看法,以及安理会在这个问题应该充当的角色或适宜发挥的作用等。

辩论发言针对安理会在涉及气候变化方面角色这一会议核心和最敏感问题上,大多数国家表示了肯定的态度,尽管这种肯定是有区别的,其中欧盟“确保气候和环境风险合适地包括在进入安理会决策基础的风险评估中”的说法或许是“最弱”的支持,而即使是辩论会倡导国德国,也仅仅是“国际社会,尤其是安理会必须随时关注气候变化与安全之间的联系”类似在决策过程层面上的支持,与南非、匈牙利等积极肯定的态度有相当的区别。

各国态度中,值得关注的有以下几点:

1) 中国自2018年辩论会起改变了以往反对安理会介入的态度,而是选择了“中立”。此次会上“中立”态度还是主流。这或许考虑到安理会的影响,在未来气候变化国际管理框架中,完全绕开安理会不仅不可能,而且管理手段可能受到制约。此外,安理会的15个理事国也同时是在国际气候变化决策中的主要声音,在这样的平台下进行安全方面的协调,或许有一定的积极意义。

2) 在主要的反对声音中,除了俄罗斯维持自上次辩论会以来强硬反对的态度外,印度站在反对的立场上需要给予重视。而印度代表在辩论会上,引用IPCC AR5成果的做法,既有合理部分,但也有曲解会议主题之嫌。因为如会议概念说明所言,会议瞄准的

是气候变化带来的所有影响,而“气候变化和变率对暴力倾向的影响”仅仅是其中的非主要内容,而且,气候变化引起的资源争执加重也是不争的事实。

3) 多米尼加作为轮值主席国和德国作为倡导国的表态,尤其值得注意。其中多米尼加强烈支持安理会介入气候变化国际管理并在其中起重要作用的态度,未免有些偏激。但是该国代表的大量发展中国家,同时也是受到气候变化负面影响最严重的国家在该问题上的看法,需要进一步进行研究^[5]。

3 WMO关于气候变化威胁的阐述内容及分析

WMO首席科学家卡巴特(Pavel Kabat)教授首先提及,前几日达沃斯世界经济论坛发布的《2019年度全球风险报告》中给出的全球风险图景,极端天气、自然灾害、气候变化和水危机位列生存威胁榜的前4名。认为这再次强调了WMO核心业务的重要性,而早期预警是WMO业务的核心。他接着列举了以下事实:不断创记录的大气二氧化碳(CO₂)浓度(发言中提及的CO₂浓度预测见链接2)和平均气温,提到IPCC最新发布的1.5℃特别报告中总结了升温带来的威胁;极端天气方面,2017年损失超2820亿美元的大西洋飓风季;2018年肆虐印度、日本、东非的洪水,非洲部分地区的严重干旱,使得在2018年上半年,洪水和干旱超越冲突成为引发非跨国界流离失所的主要原因;观测到的海平面上升及其对天气规律、洪水、生态系统、粮食安全的影响。总结认为气候变化对安全的影响是多方位的。影响领域有营养和食物获取、林火风险、空气质量、水冲突、更多的国内流离失所

链接2 全球CO₂变化的模拟和预测

英国气象局预测表明,2019年Mauna Loa的年均大气CO₂浓度将比2018年高 2.75 ± 0.58 ppm (1 ppm = 10^{-6})。这一数字将是有记录以来最大的年度增幅之一,但低于2015—2016年和1997—1998年的增幅,这两个年份都有厄尔尼诺现象,因此太平洋地区的气温大幅上升。

CO₂浓度的增幅取决于人为排放和受气候变化影响的自然碳汇的强度。英国气象局的预测方法使用了赤道太平洋Nino 3.4区域CO₂的年增量、人为CO₂排放和海平面温度(SST)之间的统计关系。他们预计2018—2019年的上升幅度将大于前两年,因为Nino 3.4地区的气温相对较高。这种类似“厄尔尼诺”的现象通常与改变的热带天气形势有关,这种形势使许多陆地区域变得更干燥并降低了植物生长和吸收CO₂的能力,暂时减少了大气中CO₂的清除。

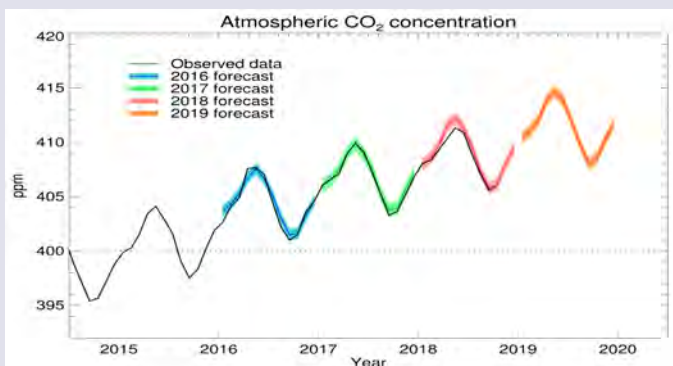


图1 2016(蓝色)、2017(绿色)、2018(粉红色)和2019年(橙色)Mauna Loa CO₂浓度的预测值,以及Scripps研究所的观测值(黑色)^[6]。

Fig. 1 Forecast CO₂ concentrations at Mauna Loa for 2019 (orange), along with previous forecast concentrations for 2016 (blue), 2017 (green), 2018 (pink) and Scripps Institute measurements (black)^[6].

和移民。也因此，气候变化被视为国家安全威胁^[7]。

在通报最后他总结了WMO应该起到的作用：在气候和极端天气问题上建立通报机制，提供政策相关的高质量专业信息，加强对联合国的支持。同时反向希望国际议程更加重视水文气候预报和预警服务，将其视为国家基础设施基本组成部分，提供政治和经济支持。

卡巴特的发言全面展示了WMO在灾害、监测、咨询评估领域的工作，以此揭示了一个问题，WMO工作牵扯到全球事宜的很多方面，但在世界上的声响却相对较小。WMO旗下很大一部分职责通常是悄无声息的——通过国家气象和水文部门提供天气、气候和水相关灾害的预报和早期预警，成功时生活照常，但在这种职责未能达成时会有严重后果。因此后半部分发言其实在暗示，WMO应该在自己的权威领域更多发声，不仅争取发声的渠道，也应该获得更多支持，这对于全球联合应对气候变化的威胁有关键意义。

4 各方对安理会公开辩论会的反应

2019年1月25和26日，即公开辩论会当天和后一天，世界主要媒体快速报道了安理会的这次活动。一些报道还与前一天达沃斯论坛中有关气候变化相关议题结合起来，试图深刻解读国际政局如何应对气候变化这一人类与自然相互作用带来的问题。

关于联合国与气候变化，媒体报道中特别提及马尔代夫外长的一句话，即“当我们还疲于决定联合国以什么形式应对气候变化的哪个方面时，湖泊在干涸”。这一表态虽然是在说明包括联合国在内的机构采取行动滞后，使得气候变化的灾害已成现实，但前半句中的说法，也展示了目前联合国针对该问题的举棋不定：即气候变化这一复杂问题无疑涉及各个方面，联合国是否也能针对不同方面的问题以多个形式（主管机构，如WMO、安理会等）处置？同一篇报道中还亮出了美国政府同一天的表态：处理气候变化是EPA（环保署）可以排在其他问题后面的“优先工作”；而EPA局长则说，该机构还在确立气候变化科学，并决定此问题是否算得上是“危机”。

一些媒体对WMO在安理会辩论会上对CO₂浓度的数据及预测格外关注。英国气象局等的研究成果已经形成了对温室气体的解析能力，震动了媒体，这无疑也使得气候灾害的预测更加令人信服。

这次会议马尔代夫外长可算是突出人物，一些报道注意到，他在发言中回忆了2007年4月17日安理会首次气候相关公开辩论会时，气候变化尚未成为马

尔代夫每天生活中的事实，但已是存在的威胁。12年后他又重复同样的信息：“还有比这更大的安全威胁吗？”他问到，并表示未来比我们想象的更糟糕。

5 结果讨论

联合国安理会将召开这次公开辩论会的时间选择在2019年9月气候峰会以及今年一系列相关活动准备期间（见链接3），很多目的不言而喻。2019年9月召开的峰会，联合国秘书长希望能有机会将各国政府、私营部门和民间社会的世界领导人聚集在一起，支持多边进程，加大并加速气候行动和雄心。就这次峰会的召开，联合国秘书长还任命了前墨西哥外交官路易斯·阿方索·德阿尔瓦为秘书长气候问题特别代表，负责领导峰会的筹备工作。峰会将重点关注气候行动可产生最大差异的领域——重工业、基于自然的解决方案、城市、能源、灾害抵御能力和气候融资。在这次峰会上，世界各国领导人将就其正在采取何种行动以及计划在2020年召开的联合国气候大会上做什么进行通报。预计，基于这次峰会及2019年系列活动的结果，在2020年召开的联合国气候大会上，国际社会将更新并有可能增加承诺。

链接3 2019年联合国气候峰会路线图

为了在COP24成果的基础上再接再厉，加强最高级别的气候行动，在2020年各国最后确定其国家气候行动计划的截止日期之前，联合国秘书长古特雷斯将于2019年9月召开一次气候变化峰会。这次峰会旨在集中讨论限制排放和建设复力的实际举措，将侧重于推动6个领域的行动：向可再生能源过渡，为气候行动和碳定价融资，减少工业排放，利用自然作为解决方案，可持续城市和地方行动，提升气候变化恢复力。

- 3月 联合国大会“面对所有人的气候和可持续发展”高层会议；
- 6月 阿布扎比“清单”活动；
- 7月 经济及社会理事会支持高层政治论坛“赋予人民权利，保障参与度和公正性”；
- 9月 纽约气候峰会；
- 9月24日 联合国大会主办的第一次“气候行动高层政治论坛”；
- 12月 智利气候变化大会（COP25）。

正是因为2019年峰会的重要性，安理会又一次出手，“介入”气候变化问题。试想：如果没有这次公开辩论会带来的安理会关注气候变化威胁的信号，一旦峰会和2020年气候大会获得进展，安理会作为联合国最重要的机构留下空白点，相信是各方不愿意看到的。

5.1 辩论会的新发展

安理会的辩论会有以下发展：1) 此前的气候相关辩论会分别相隔4年和7年。而此次在1年内即召集了两次辩论会，说明国际社会愈加关切安理会在气候变化问题中能起到的作用。2) 2007年辩论会的主题限定在“能源与安全”与气候变化的关系上，而按照概念说明文件的解释，本次辩论会则涉及全球与地区国际安全，人民福祉及全球稳定等更大范围，“气候变化”也被细分为气候变化、极端天气、天气气候灾害（特别是干旱）、缓慢发生的灾害等。尤其是7个关键问题，几乎涉及了气候变化灾害和应对以及包括安理会在内的国际管理体系可能和应该发挥的作用等所有方面。这样的问题深化和找准“靶位”既与以往安理会的工作风格有关，更是与十余年来全球在IPCC等推动下对气候变化问题的认识走向深入，全球气候变化态势走向严峻不无关系。

5.2 对气象界的意义

对全球气象界来说，最大的不同是：安理会前三次对WMO及其已经和将要进行的大量卓越的气候变化评估和协调管理工作视而不见，而这一次则将WMO代表请上讲台，作为辩论会4位情况通报演讲人之一。正是由于WMO代表出席了本次会议并做出主题通报，媒体报道中不乏“联合国主管气候的机构”、“联合国首席气候变化科学家”等WMO本该更广为人所知的头衔。应该说就与WMO关系的考量上安理会正在走向理性。

从WMO对这次事件的报道来看，其作为联合国系统机构，持十分正面的态度，给与了安理会理性邀请很积极的呼应。尤其是WMO秘书长在辩论会的前一天，即达沃斯论坛上，已经再次表明了立场，即“全球变化跑得比我们更快，我确信我们正在输掉竞赛”。次日，其代表即有机会在引人关注的辩论会上进一步解读WMO的观点：早期预警是气候安全问题的核心。这无疑强化了WMO职责。

5.3 中国的立场

如表1所示，中国常驻联合国代表马朝旭在会上的简短发言，再次明确了中国政府针对气候变化的态度，其中各国“共同但有区别”的责任的提法，针对

气候变化威胁和减缓行动尤其合理和最具有操作性。然而，就安理会是否适宜介入全球气候管理，马大使并未触及，而是采用“中性”方案。合理性在于：气候变化的国际应对已经迫切到需立即采取行动的关键时期，这时将安理会这一联合国系统重要机构排除在外既不合适，也不可能。因此，我国进行战略上的调整十分必要，而下一步中国代表广大发展中国家从安理会的视角提出进一步的诉求和战略，则需包括中国气象局在内的相关机构尽快研究制定。

5.4 对气候谈判进程的影响

目前，国际气候谈判主要在《公约》《巴黎协定》等框架下进行，安理会气候安全议题可能对国际气候谈判机制产生影响，很多发达国家主张安理会应当成为讨论和决策气候变化问题的重要机构，安理会可能成为与《公约》并行的气候谈判与决策机制。从联合国各部门职能分工以及安理会辩论看，《公约》仍是联合国应对气候变化问题的主渠道，安理会仅介入气候安全问题的应对，其程度和范围相对有限，不会影响到《公约》的正常运行，反而会成为《公约》的有益补充，进而带动整个联合国系统形成合力，共同应对气候变化。

参考文献

- [1] 何洪泽，席来旺. 安理会就气候变化问题公开辩论. 人民日报, 2007-04-19[07].
- [2] United Nations. Security Council, in statement, says ‘contextual information’ on possible security implications of climate change important when climate impacts drive conflict. <https://www.un.org/press/en/2011/sc10332.doc.htm>, 2011. [2019-02-25].
- [3] United Nations. Addressing Security Council, pacific island president calls climate change defining issue of next century, calls for special representative on issue. <https://www.un.org/press/en/2018/sc13417.doc.htm>, 2018. [2019-02-25].
- [4] United Nations. Massive Displacement, greater competition for scarce resources cited as major risks in Security Council debate on climate-related threats. <https://www.un.org/press/en/2019/sc13677.doc.htm>, 2019. [2019-02-25].
- [5] United Nations Security Council. Letter dated 2 January 2019 from the Permanent Representative of the Dominican Republic to the United Nations addressed to the Secretary-General. <https://undocs.org/en/S/2019/1>, 2019. [2019-02-25].
- [6] UK Met Office. Faster CO₂ rise expected in 2019. <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2019/2019-carbondioxide-forecast>. [2019-02-25].
- [7] World Meteorological Organization. WMO addresses UN Security Council for first time. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-addresses-un-security-council-first-time>. [2019-02-25].

基于文献计量的顶尖气候变化学者分析

吴灿

(中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

摘要: 使用文献计量学的方法, 分析气候变化研究领域的高被引科学家, 发现气候变化顶尖学者的三个主要研究方向, 即生态系统、农林业和其他土地利用、气候模式研究。

关键词: 顶尖学者, 高被引科学家, 气候变化, 文献计量

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.008

Bibliometric Analyses of Top Scholars in Climate Change Study

Wu Can

(China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081)

Abstract: A bibliometric analysis of highly cited scientists in the field of climate change research was conducted. Statistics showed that the three research directions with the highest proportion of talents are ecosystem, agroforestry/land use and climate model.

Keywords: top scholars, highly cited scientists, climate change, bibliometric analysis

0 引言

SCI数据库的数据显示, 2007—2016年中国在气候变化领域的论文比例迅速上升: 从之前的4%升至10%以上, 2016年, 中国在气候变化领域的研究论文产出已跃居全球第二位, 高被引论文数量也排名第五^[1]。

为了快速、准确把握全球气候变化研究领域的顶尖学者分布, 明确我国在该领域顶尖学者的分布现状和短板。本文基于文献计量学方法, 对2009—2018年气候变化研究的科技文献进行数据统计与分析, 从中遴选出气候变化研究领域的顶尖学者, 通过对这一群体的分析, 以期窥探气候变化研究顶尖学者的分布及发展趋势。

1 数据来源与分析方法

基于Web of Science平台的SCI(科学引文索引)和SSCI(社会科学引文索引)数据库为数据源进行检索, 以TS=("climate change" or "climate-change" or "global climate warming" or "global warming" or "global climate cooling" or "global cooling" or "global change" or "global environmental change" or "global-change" or "global-environmental-change")为检索式并限定在article、review两种文献类型, 检索年代为2009—2018

年, 共检索得到152961篇文献(检索时间为2019年4月27日)。

尹志欣等^[2-4]和高志等^[5]在其研究中提到, 顶尖科学人才是指科学成就进入全球同行前1%的科学家, 并建议据此将科学人才进行定量分类(可借用论文被引指数等指标)。基于上述定义, 本文首先从检索获得的152961篇文献中提取高被引论文(即发表的论文为所属领域中前1%的高引用论文, 共4086篇)作为分析的原始数据集。

2 高被引论文数群分析

基于前述得到的原始数据集, 利用InCites数据库对作者数据做必要的清洗, 将作者按总被引频次排序, 从中筛选出总被引频次最高且发表高被引论文篇数不少于7篇的前150名作者, 作为气候变化研究领域顶尖学者群, 进而开展数据统计分析。

以气候变化领域的高被引论文数“10篇”为一个分类数, 对气候变化研究顶尖学者的论文规模分布情况进行分析(图1)。2009—2018年, 高被引论文发表数在30篇以上的有2人, 占1.3%; 发表20~30篇的有9人, 占6%; 发表10~19篇的有49人, 占32.7%; 高被引论文发表数量少于10篇的有90人, 占60%。其中, 高被引论文发表数最多的两位作者的研究方向均为生物地球化学循环和反馈。高被引论文发表数在20~30篇的气候变化研究顶尖学者大部分从事生态系

收稿日期: 2019年5月30日; 修回日期: 2019年7月10日
第一作者: 吴灿(1985—), Email: wucan@cma.gov.cn

统领域研究。

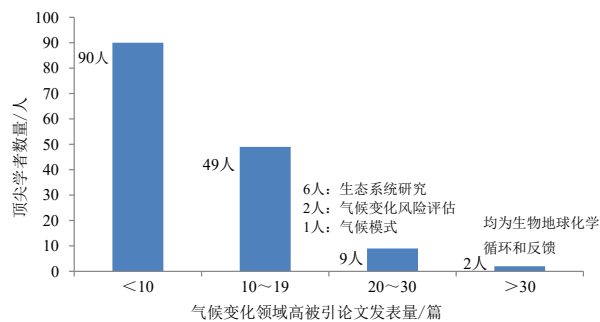


图1 顶尖学者的论文规模分布

Fig. 1 Distribution of the number of papers by top scholars

气候变化研究领域150位顶尖学者分别来自18个国家和地区，排名前3位的分别是美国（47人）、英国（22人）和德国（17人）。中国入选4人，与瑞典并列第十一位。

按照IPCC第五次评估时3个工作组报告的章节设置，对检索到的4086篇高被引论文进行了分类，解析出18个研究方向（表1）。顶尖学者数量占比超过10%的研究方向有：陆地、淡水生态系统及其服务（25人），农林业和其他土地利用（20人），未来全球气候：基于情景的预估和近期信息（17人），以及海洋及沿海生态系统及其服务（15人）。顶尖学者数量占比在5%~10%的研究方向有：生物地球化学循环和反馈（13人），生物多样性（12人），气候变化风险、脆弱性评估及可持续发展（12人），以及水和水循环（8人）。上述这些研究方向可以说是英美等国目前

表1 各研究方向顶尖学者分布

Table 1 Distribution of top scholars in each field

领域	人数
陆地、淡水生态系统及其服务	25
农林业和其他土地利用	20
未来全球气候：基于情景的预估和近期信息	17
海洋及沿海生态系统及其服务	15
生物地球化学循环和反馈	13
生物多样性	12
气候变化风险、脆弱性评估及可持续发展	12
水和水循环	8
国家和地方政策及制度	5
人类对气候系统的影响	4
能源系统	4
天气和气候极端事件	3
健康、福祉的影响	3
减缓方案和发展路径的经济评估	3
冰冻圈和海平面变化	2
需求、服务和减缓的社会方面	2
气候系统观测	1
排放趋势和驱动因素	1

发力且占据主导优势的研究方向。

在这些研究方向中，我国仅在农林业和其他土地利用，未来全球气候：基于情景的预估和近期信息，以及生物地球化学循环和反馈3个研究方向上分别有1位学者入选顶尖学者队伍。

统计发现，各国在18个研究方向上的影响力水平表现不一（表2）。总体而言，美国和欧洲在气候变化研究领域的各个研究方向上均处于领跑地位。其中，美国的表现最为突出，在13个研究方向上均处于领跑地位，且在陆地、淡水生态系统及其服务，未来全球气候：基于情景的预估和近期信息，气候变化风险、脆弱性评估及可持续发展，以及水和水循环这4个研究方向上，其顶尖学者占同研究方向全球顶尖学者的比例均超过了40%，影响力远超其他国家。中国在冰冻圈和海平面变化这一研究方向上，虽然仅有1位学者入选，但由于该研究方向入选全球顶尖学者的总人数较少，使得我国的顶尖学者占比也达到了15%以上，从而在冰冻圈和海平面变化这一研究方向上占有一席之地。

表2 各研究方向上处于领跑水平的国家分布

Table 2 Countries in the leading position in each field

领域	领跑国家和地区
陆地、淡水生态系统及其服务	美国
农林业和其他土地利用	美国、德国
未来全球气候：基于情景的预估和近期信息	美国、英国、德国
海洋及沿海生态系统及其服务	美国、澳大利亚
生物地球化学循环和反馈	美国、法国、英国、德国
生物多样性	美国、英国、瑞士
气候变化风险、脆弱性评估及可持续发展	美国、英国、德国
水和水循环	美国
国家和地方政策及制度	英国、德国、日本
人类对气候系统的影响	美国、英国、澳大利亚、荷兰
能源系统	德国、澳大利亚
天气和气候极端事件	美国、德国、瑞士
健康、福祉的影响	英国、澳大利亚
减缓方案和发展路径的经济评估	美国、瑞典
冰冻圈和海平面变化	德国、中国
需求、服务和减缓的社会方面	美国、挪威
气候系统观测	美国
排放趋势和驱动因素	挪威

我国入选气候变化研究领域顶尖学者群的4位学者（表3），分布于冰冻圈、生物地球化学循环等研究方向。中国要在更多的领域培养顶级学者，还有很长的路要走。

此外，有3位华人学者进入顶尖学者群，他们分别来自美国、澳大利亚和加拿大（表4）。这些学者

（下转73页）

美国气候基准站网建设及启示

任国玉^{1, 2} 初子莹³

(1 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081;

2 中国地质大学环境学院大气科学系, 武汉 430074; 3 北京市气象局, 北京 100089)

摘要: 美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 已基本建设完成了一个全新的国家气候基准站网 (USCRN)。USCRN 旨在为美国提供一个新的基准气候观测网络平台, 降低长期地表气温与降水序列中不可解释的变化, 更好地监测国家气候并支持气候变化影响研究。该观测网当前所包含的站点为 137 个 (最终达到 145 个), 其中美国本土地区 114 个, 阿拉斯加 21 个 (最终将达到 29 个), 夏威夷群岛 2 个, 站点气候观测信息包括气温、降水、地面风速、土壤条件等。所有站点位置选择标准都极为严格, 并保证未来观测环境长期不会改变, 站点基本要素观测资料将不需要再进行任何非均一性处理和城市化影响偏差评估与订正。USCRN 为全球气候观测系统建设树立了一个标杆, 值得包括中国在内的所有国家在规划和设计本国气候观测系统时借鉴。

关键词: 美国, 气候基准站, 气候观测

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.009

A Brief Introduction to the U.S. Climate Reference Network

Ren Guoyu^{1,2}, Chu Ziyang³

(1 Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074

3 Beijing Meteorological Service, Beijing 100089)

Abstract: The U.S. climate reference network (USCRN) is a systematic and sustained network of climate monitoring stations with sites across the conterminous U.S., Alaska, and Hawaii. It is managed and maintained by the National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA). The vision of this program is to provide a continuous series of climate observations with the minimum unexplained diversification for monitoring trends in the nation's climate and supporting climate-impact research. Currently, there are 137 sites in the network, including 114 sites within the continental U.S., 21 sites in Alaska, and 2 sites in Hawaii. These stations use high-quality instruments to measure temperature, precipitation, wind speed, soil conditions, and so on. To avoid further homogeneity or urban impact test and calibration, strict criteria are applied for site selection to ensure the pristine quality of observatory environments in the future. Based on USCRN, NOAA began to deploy U.S. regional climate reference network (USRCRN) across the 9 NOAA climate regions with the same criteria since 2009 to monitor regional climate variation signal. In general, the USCRN could be taken as a benchmark for national climate observational system construction.

Key words: U.S., climate reference network, climate observation

0 引言

美国具有悠久的气象观测历史。自从 19 世纪初以来, 美国就开展气温、水汽、气压、降水和风速、风向观测, 获取实时天气信息, 并建立了历史天气资料数据库。但是, 和世界其他地区的气象观测一样, 美国的气象观测长期以来主要为天气预报服务, 几乎没有考虑后来气候变化研究和监测的需要, 所获得的历史天气观测资料数据存在着较严重的因迁站和更换仪器等造成的非均一性误差, 以及较大的由于城市化过

程引起的系统性偏差^[1]。尽管对这些历史天气观测资料进行了严格的检查和均一化处理, 资料非均一性问题和城市化影响偏差问题仍然是当前气候变化观测研究不确定性的主要来源。

为了获取连续的、不受局地人类活动干预的高分辨率长期地面气候观测记录, 美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 规划建设了美国国家气候基准站网 (USCRN)^[2-3]。结合过去长期的历史观测记录, 这套记录可以为当前的气候变化检测、归因以及未来气候变化预估奠定坚实的观测基础^[2-3]。美国本土的 114 个国家气候基准站于 2008 年建设完成; 除本土站外, 截止到 2017 年底的国家气候基准站还包括夏威夷群岛的 2 个站点和阿拉斯加的 21 个 (最终将达到

收稿日期: 2017 年 11 月 28 日; 修回日期: 2018 年 12 月 6 日

第一作者: 任国玉 (1958—), Email: guoyoo@cma.gov.cn

资助信息: 国家自然科学基金 (41575003)

29个) 站点。至此, USCRN已基本实现业务化, 由NOAA国家环境信息中心(NEIC, 即原来的国家气候资料中心NCDC)管理运行, NOAA大气湍流和扩散部(ATDD)合作运营。作为USCRN的补充, NOAA自2009年起开始着手建设区域气候基准站网(USRCRN)。区域气候基准站只观测气温和降水, 但在空间上更为密集, 并且延续了与国家气候基准站同样高的建设标准。其长期目标是在全美9个气候区建设观测站网, 其空间分辨率大致为130 km, 用于检测区域气候变化信号。USRCRN建成后, 全美的国家和区域基准气候站数量将达到538个。

1 目的和意义

长久以来, 美国科学界的许多人士都认为, 美国拥有世界上最完备的地面气候观测网, 领先于世界大多数国家。但NOAA的管理者和研究人员也意识到, 美国并没有一个能够避免随机和系统偏差的地面观测网, 事实上即使很小的系统偏差, 也足以影响对于年代以上尺度气候变化与变异特征的解释, 并造成气候变化监测和检测结果的不确定性。美国国家研究委员会(NRC)于1999年对美国气候观测站网评估后得出结论: 美国需要稳定现有的观测能力, 并识别那些尚未被充分观测的关键气候变量, 同时, 特别指出要针对气候变化研究和具体业务需求, 制定并执行国家观测计划^[4]。这份报告强调, 美国需要一套新的观测系统, 这套系统能够真正有效地增进人类对于自然和人为气候变化的理解, 而且不仅可以服务于当代的气候学家, 还能够服务于未来从事相关研究的科学家们。

NOAA当局意识到, 气候科学正处在一个十字路口。一方面, 研究者已经做出大量卓越的工作, 证实了区域、全国和全球尺度气候变化; 另一方面, 现有观测系统提供的数据质量先天不足, 气候观测业务存在着严重危机。建设国家基准气候观测网是NOAA对这一危机和NRC建议^[4]的积极响应。USCRN资料将用于未来的气候变化监测业务和科学研究, 也将为全球气候观测系统(GCOS)建设做出示范。人们希望, USCRN运行50年后, 可以回答这样的问题: 在过去50年间, 美国区域气候究竟发生了怎样的变化?

USCRN计划在美国历史上没有先例, 在观测站网与系统设计、候选站点征用许可与评估、设备安装和维护、观测及资料评估、应用等多个环节, 都需要联邦政府层面的有效协调。为了在最大程度上削减建设和运行成本, 增进计划完成后的科学和社会效益, USCRN建设也对美国政府部门间协调合作提出了重要挑战。到目前为止, 尽管各个部门之间的协调、合作

也出现过问题, 但总体来说是成功的。

在NOAA内部, NEIC和空气资源实验室(ARL)进行了有效合作。在USCRN的工程设计、站点布设、站点维护和仪器标定等方面, ARL的研究人员均给予大力配合, 发挥了重要作用。此外, ARL还对未来新仪器的可应用性提供及时分析评估。

2 站址遴选和站网布局

为了得到符合严格建设标准的观测网, USCRN和USRCRN计划完全遵循Karl等^[1]提出的气候变化监测基本原则。USCRN的站址确定, 在一定程度上也考虑了全球气候观测系统表面网(GCOS/GSN)制定的原则和标准, 但总体上二者差异十分突出, 因为GCOS/GSN的原则和标准是在兼顾现有观测网和长序列历史观测记录条件下提出的^[5-6], 距离满足气候变化监测和研究需求尚远远不够。

按照最初制定的计划, USCRN和USRCRN建设必须满足严格的标准。例如, 所有站都要建在目前和未来都不会受到明显人为干预的自然环境中(图1); 要能够抵御飓风、严重结冰和雪暴、高于120 °F (49 °C) 或低于-50 °F (-46 °C) 的温度等极端天气, 在任何

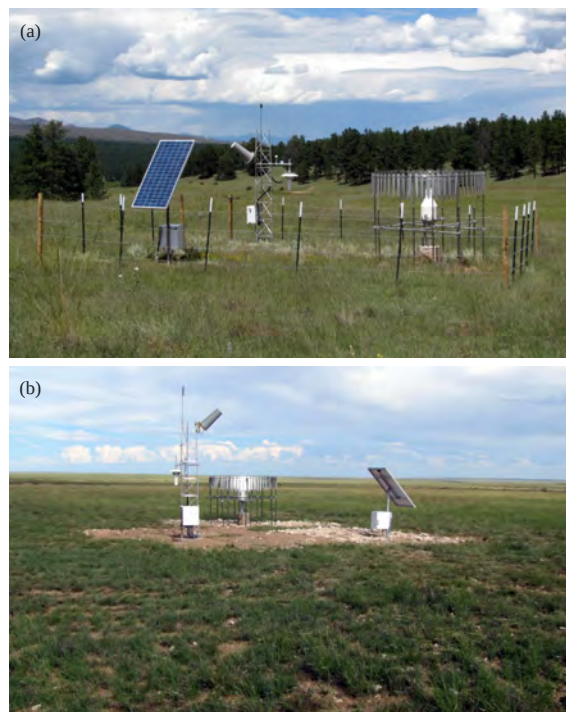


图1 USCRN站点观测环境 (USA/NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/>)

(a) 科罗拉多州Springs站 (39.1°N, 105.09°W, 2010年6月30日); (b) 新墨西哥州Vaughn站 (34.1°N, 104.93°W, 2010年8月28日)

Fig.1 Observational environment of the USCRN Stations (from USA/NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/>)
Spring Station; (b) Vaughn Station

天气条件下保持气候观测不中断；备份电池和太阳能发电装置要确保仪器电力意外中断时继续采集数据。

选取站点时，首先考虑大尺度的台站宏观地理位置。具体遴选标准包括：

1) 区域和空间代表性

考虑大尺度地形影响，站点要能够捕捉到区域性主要气候变异模态。研究表明，美国50个州大约225个均匀分布的站点可以在全国尺度上基本捕获每年气候变异和趋势^[7-8]，但最终设置多少站还取决于财政预算。

2) 区域气候变异和变化趋势敏感性

站点位置应该对区域性气候变异和变化趋势具有代表性，不受局地地貌特征或中小尺度自然和人为因素影响。

3) 站址的长期稳定性

重点考虑所选站址周围区域是否会在未来50~100年发生重大变化。需要评估备选站址被人为干预区域包围的风险，以及台站由于土地开发或其他原因被迫关闭或迁址的可能性。

4) 较低的自然灾害风险

避免在自然灾害风险很高的地方建站，如易发生洪水的低地、强风风口、深厚积雪点、浓雾弥漫

区等。

5) 靠近已有观测网站址

备选台站位置应尽可能靠近现在或过去具有长序列观测资料的站点，以便核准和比较新旧观测资料。

6) 交通和电力便利性

设备安装和定期维护等要求站址所在区域常年可以通车、最好靠近电源，但偏远地区也可采用太阳能电池。

在上述原则和标准中，空间代表性和时间稳定性是最为重要的，在确定具体站点位置时给予了优先考虑。

站点具体位置的确定原则和方法也很重要。在这方面，USCRN发展了一套局地代表性评估方法。标准观测场面积为18 m×18 m，站点周边环境必须相对宽敞、平坦、干爽，植被密度低且远离水体。具体站址的选择还要考虑其他因素，综合决定。USCRN采用分类方案^[9]对每个地点的气象观测代表性打分，确定具体站址位置。

观测场内仪器设备安装布局如图2所示。其中雨量计周围的防风障可以有效降低近地面风速，提高液态和固态降水测量精度。观测场周边可以树立链式或牛栏式围栏，一般限定在4~5英尺高（1英尺=0.3048 m）。

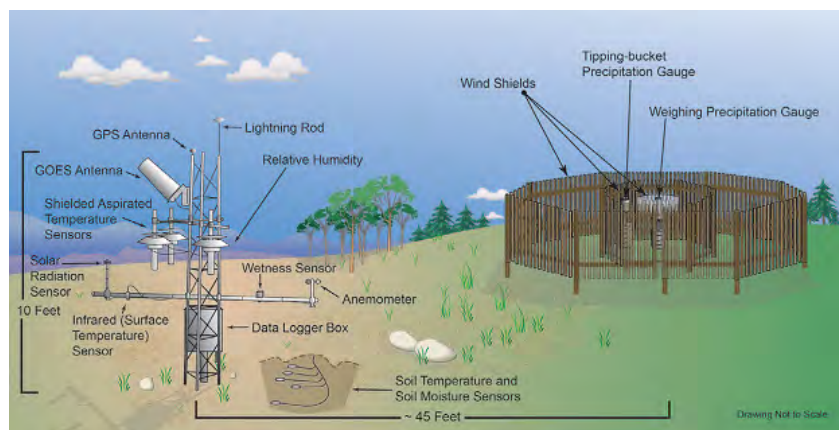


图2 美国USCRN 典型观测场布局 (USA/NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/>)

Fig. 2 Typical layout of the instruments at a USCRN Station (from USA/NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/>)

截止到2017年底，USCRN已经建成了137个站组成的网络，其中包括单独站点100个，双场（一个地点两个站）站点14个，阿拉斯加21个，夏威夷2个。USCRN站网正在建设。图3给出了截止到2015年底各类USCRN站的分布情况。

3 台站观测设备

USCRN自动观测系统以深循环电池为动力，仅需偶尔维护，可实现偏远地区无人情况下的持续操作。系统操作环境非常宽泛，温度为-60~60℃，风

速在50 m/s以下，雨量不大于30 mm/min，但降水观测系统正常工作环境在-25~60℃。

USCRN自动观测系统是一套通用的观测系统，以气温、降水、太阳辐射和风速等为核心观测要素，并可根据需求随时扩展安装新的附加型传感器，用于观测其他气象要素。后来USCRN站还同时配有观测相对湿度、土壤水分和土壤温度的传感器。此外，在观测气象要素的同时，系统也同步监测电池电压、吸出气风扇工作参数等自检变量，用以迅速诊断出现的问

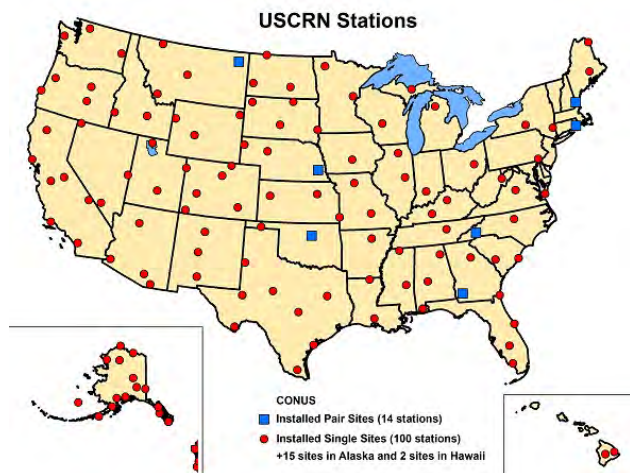


图3 美国USCRN站2015年底分布情况 (USA/NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/>)

Fig. 3 Distribution of the USCRN Stations as of 2015
(From USA/NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/>)

题, 帮助系统尽快得到修复。为降低系统误差、校订漂移和能量损耗, 系统选择不需要外部转换器的仪器设备, 可以通过最小的调整来满足USCRN对误差、精度与可信度的要求。

自动观测系统中, 除降水观测系统外, 所有仪器均安置在一个管壁厚重的铝质观测塔架上。塔高3 m, 底部可用于安装重型观测仪器, 塔架本身嵌入厚重且坚实的混凝土基座中。参照WMO推荐的气候观测标准, 气温和其他支撑传感器均位于1.5 m高处, 包括转杯式风速计 (Met-One 014A型), 测量总入射太阳辐射的日照强度计 (KIPP/ZONEN SP Lite silicon), 以及测定地表温度的高精度红外热电偶传感器 (IRTS-P IR)。降水观测系统及其防护罩安装在距观测塔15 m的地方。观测站中所有线路均设置在埋藏的管道中, 以降低动物对线路造成的损坏。在一些站点, 一系列具有连锁反应的防御设施被安装在观测塔周围, 用以防范不速之客的入侵。安装仪器所使用的硬件设施均为不锈钢或铝制品, 以防腐蝕。

由于近地面气温和降水是关键气候要素, USCRN为其设计了严格的三重备份传感器。这个设计是独特的, 主要目的是保证当有一个或两个传感器出现故障时, 另外至少有一个传感器仍能工作, 以便保证任何一个站点观测记录具有完整性、连续性和准确性。

例如, 温度传感器包括3个完全独立的铂电阻温度计, 每个温度计都有独立的风扇排气式防太阳辐射罩 (温度计型号为: Met-One 076B; 风扇型号为: PABST 4212/12H 12VDC, 外部接有转速计, 且转速计接电部分为包金设置, 以加强其耐腐蚀性)。三个

温度计完全独立测量, 正常情况下, 这些温度计的读数应非常接近, 这也使得传感器的错误可以非常容易被检测出来。

测量降水的仪器为GEONOR T-200B 称重式雨量计, 测量由3个独立的振动电线负载传感器来实现。这些负载传感器均加了附加设施, 用以防止因某个传感器电线破损而造成其余传感器的超负荷运转。雨量计本身附加了智能集电加热器和电热调节器, 当集电器处于 $-5\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 仪器开始自动加热。此外, 作为备用设施, 很多站点还安装了Eco-Harmony TB-3翻斗式雨量计。所有雨量计周围设置可变型的不锈钢“摆叶”防风障, 外围设置小型双壁防风屏, 以保证在有风状况下, 雨量计对实际降水量的测量精度 (图4)。为防止大风引起的仪器振动, 雨量计被安装在铝制管道混凝土基架上。



图4 装有防风罩的称重式雨量计 (图中白色物体为雨量计) (USA/NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/>)

Fig. 4 Rain gauge with windshields at a USCRN Station
(From USA/NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/>)

采集到的观测数据通过坎贝尔数据采集系统记录并传输。数据记录保存在制造商提供的附加内存中, 系统保存这些数据用以应对长期断电等风险。SEIMAC-HDRGOES无线电传输器通过引向反射天线来实现与GOES卫星的通信。数据记录器和传输器装在由玻璃纤维强化塑料制成的密闭容器内, 容器表面涂成白色, 并装有门闩, 避免因任何原因导致的门开启时引起的仪器暴露, 同时配有一小型加热器, 用以保证数据记录器与传输器内部温度不低于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

系统电力由2~4节铅酸深循环蓄电池提供, 所需电池的具体数量由当地气候 (特别是加热需求) 决定, 即使充电失败, 仍然可以保持5~6天的正常工作。多数站点采用交流电, 利用充电器为电池充电,

并通过一条极端振荡保护带来防止交流电路中出现尖峰信号；部分站点采用太阳能，利用2~4块太阳能电池板和一个校准器为电池充电。电池与充电器（或校准器）装在表面涂成白色的独立密闭容器中。

USCRN自动观测站的所有传感设备，安装前均按照美国国家标准技术研究所（NIST）可追踪标准进行校订。

4 数据传输及处理方法

USCRN采用卫星传输方式，每隔1 h，以最小95%的通信效率向NOAA的NEIC提交所有数据。观测数据首先通过NOAA GOES卫星数据搜集系统（DOC）传递到弗吉尼亚州的瓦勒普斯岛，随后再通过英特网与DOMSAT商业卫星系统发送到位于北卡罗莱纳州的NEIC。如果个别站点信息传送失败，将在卫星通信恢复后自动尝试再次传输；如果仍未成功，将联系工作人员，请求人工获取数据并通过互联网或是硬盘拷贝的方式将资料传送到NEIC。观测数据通常在USCRN系统内存保留5个月，工作人员访问站点时可利用笔记本电脑或掌上电脑提取，人工手动提取的数据必须在观测月结束后30天内，以最小97%的成功率向NEIC提交。

USCRN站点各要素的自动观测设备每2 s读数1次，每5 min自动计算一次所有2 s读数的平均值，每1 h自动计算一次12个5 min平均值，数据均回传至美国国家气候资料中心存档。对于设有三套独立的感应器温度和降水观测，数据回传后，工作人员将根据设备运行状况评估结果，对5 min间隔的观测数据进行处理，选取同一时段三套观测数值的中值或是平均值作为该站气温或降水观测的最终数值。

采用3套传感器的方式明显提高了数据观测的连续性和数据质量，但由于需要在每5 min传输的数据中选取一个最佳数据，整体计算过程相对复杂。此外，对于降水观测而言，这样过于强调误差控制的方法也会导致降水量观测数据偏低等问题。为此，NOAA新近研究了一套新的降水数据处理办法，通过加权平均，提取三套独立观测数据中共同的降水量观测信号。采用新方法后，USCRN全网降水增加约1.6%，新方法对弱降水和降水开始阶段的观测数据改进非常明显。2015年8月，USCRN正式使用这套更接近实际降水量的数据处理方法。此外，2004—2005年开始5 min间隔观测后的所有历史数据都已采用这套方法重新处理。

所有USCRN的观测数据和元数据均可在NEIC网站上获取。元数据包括站点照片和全景、按序号排列

的仪器清单、所有仪器的安装时间与变换时间、传感器校准历史、站点设置和维护历史、校订、安置与维护的过程、异常跟踪以及其他细节。从系统整体到单个传感器，都有完整的元数据记录，这为数据使用者增添了更多信心。

USCRN气候数据集的气温观测精度为0.1 °C，在-50~50 °C，误差范围需保持在±0.3 °C内；在-60~-50 °C与50~60 °C，误差范围应在±0.6 °C内。降水观测精度为0.25 mm，其误差范围需保持在±0.25 mm或是报告值的±2%。与气温和降水相比，其他主要变量的测量误差则要相对宽松，风速误差在±1 m/s或测量值的±2%；太阳总入射辐射误差在±70 W/m²，精度为10 W/m²；地表红外温度误差在±0.5 °C，最低精度为0.1 °C。

5 启示和建议

5.1 科学政治、科学认知与 USCRN 建设

在美国科学家主导下，20世纪末世界气象组织（WMO）气候学委员会制定出台了一套遴选全球陆地长序列地面气候观测台站网的“标准”（即GCOS/GSN遴选标准），选出1000个左右所谓“良好”台站，试图用以作为全球气候变化监测和检测的基准网^[5-6]。但是，这个观测网实际上并没有达到“良好”标准，其中大部分台站仍然难以避免各种局地人为因素对关键气候变量观测记录的影响，在实际的全球和区域气候变化监测、研究中使用也不多，仍然采用各业务、研究机构原来发展的相对不那么“良好”、但密度更大的观测资料数据集^[10]。从这个意义上说，GSN的规划不能说是成功的。

美国科学界对GSN网固有缺陷的认识是清楚的，就像对美国本土历史气候观测网（USHCN）存在的问题早就认识到一样^[1, 3]，但可能出于更复杂因素的考虑，对外仍一致声称GSN和USHCN有效、可用。另一方面，NOAA又投入巨量资金建设美国新的CRN。这看似矛盾的行动，其实并不难理解。建设USCRN绝不仅仅因为NOAA出于部门利益，为了扩大影响或者得到白宫和联邦政府的额外经费支持，而是美国科学界存在的关于气候变化幅度和速率的争论确实无法完全忽视，主流学者圈自己对于现有的美国历史气候观测网和长序列观测资料数据的可靠性也心存疑虑。建设USCRN，真实地反映了美国气候学界和相关部门决策者这种相互矛盾的处境和行为。

5.2 USCRN 是国家气候观测系统建设的范例

美国USCRN建设的标准是目前世界上最高、最严格的，如果得到长期坚持和维护，将为解决气候变

化科学上的系列悬而未决的问题提供最终答案。这个高标准、严要求不仅体现在USCRN确定了很高的仪器测量精度、多重备份、持续不间断的动力保障和运行,而且主要表现在对站点周围不同空间尺度当前和未来观测环境质量的苛刻规定^[11]。当前气候变化监测、检测和归因研究上的一个关键的问题是,现有长序列观测资料序列到底代表什么空间尺度的气候演化趋势?或者更具体地,它们是否能够代表区域以上空间尺度的长期气候演化趋势?这个问题存在,主要是因为全球几乎所有国家和地区的气象观测站一般都设在居民区或附近,随着城镇发展,这些观测点的微观和局地气候不可避免地受到城镇附近人类活动的影响,失去对于大尺度气候的代表性。

USCRN为所有国家气候观测系统建设提供了一个范例。中国现有气候观测网的地面气候要素记录同样存在城镇化影响问题,国内学者也一致认识到这种局地人为干预产生了长序列地面气温资料的系统偏差。中国气候观测系统建设方案曾经经过多次论证,但在若干关键科学和技术问题上仍存在不同意见。目前的突出问题是,有关部门认识到了重建国家气候观测系统的必要性,但在处理现有观测网和新建观测网以及站址代表性和维护便捷性的关系上,仍然意见不一,困难较大。USCRN的经验可以借鉴,但不一定全盘照搬。新的国家气候基准站网,完全可以在原有站网基础上设计和重建;只要彻底避开城镇环境,而且保证未来至少50年不受城镇化或其他局地人类活动影响,就可以规划建设一个高标准的、具有中国特色的国家级气候基准站网,为未来的气候、气候变化和环境演变研究、监测奠定基础。

5.3 USCRN 建设中的部门协调问题

USCRN建设过程中,涉及到各个部门之间的协调、合作。规划建设涉及到的政府部门包括内务部、地质调查局、国家公园服务中心、国家航空航天管理局、国务院、灾害控制和预防中心、联邦紧急事务管理局、国家天气服务中心、国家科学基金组织、农业部、国家资源保护中心、白宫科技政策办公室等。所有这些部门和单位都将为USCRN建设做出贡献,并从

中获得回报。国务院负责协调部门间国家气候变化应对事务,并负责协调国际气候谈判和国际合作事务,包括为GCOS计划等提供美国的经验和信息。

总体来说,各部门之间的协作是成功的。但部门之间的合作也带来了问题,例如,其他部门会不断要求扩展观测项目,比如农业部要求增加土壤水分、土壤温度和蒸发量观测,国家自然基金组织和能源部则要求测量温室气体和气溶胶等。这些需求和要求将增加建设、运行成本,明显改变了当初建设USCRN主要为解决地面气候观测系统偏差问题的初衷。为了促进计划成功,适当做出妥协是需要的,而且项目扩展后的观测资料,除了继续主要为气候异常和气候变化监测服务外,也的确可以在天气预报、农业气象服务、水文气象服务和商业活动中得到广泛应用,增加USCRN的实用价值。这些经验,对于我国未来发展新的中国基准气候观测网也具有一定借鉴意义。

参考文献

- [1] Karl T R, Derr V E, Easterling D R, et al. Critical issues for long-term climate monitoring. *Climatic Change*, 1995, 31: 185-221.
- [2] Vose R S. Reference station networks for monitoring climatic change in the conterminous United States. *J Climate*, 2005, 18: 5390-5395.
- [3] Diamond H J, Karl T R, Palecki M A, et al. U.S. Climate Reference Network after one decade of operations: status and assessment. *Bull Amer Meteor Soc*, 2013, 94: 485-498.
- [4] NRC. Adequacy of Climate Observing Systems. Washington: National Academy Press, 1999.
- [5] GCOS. Second report on the adequacy of the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC. Geneva: WMO/TD-1143, 2003.
- [6] Plummer N, Allsopp T, Lopez J A. Guidelines on climate observation net-works and systems. Geneva: WMO/TD-1185, 2003.
- [7] Vose R S, Menne M J. A method to determine station density requirements for climate observing networks. *J Climate*, 2004, 17: 2961-2970.
- [8] 任玉玉, 任国玉, 周江兴. 我国大陆大尺度气候观测网的理想密度和分布. *应用气象学报*, 2012, 23(2): 205-213.
- [9] Leroy M. The WMO intercomparison for present weather sensors. WMO/TD-877: Instruments and observing methods report No. 70, 1998: 19-22.
- [10] Ren Y Y, Ren G Y. Representativeness of four precipitation observational networks of China. *Acta Meteorologica Sinica*, 2012, 26(4): 454-466.
- [11] NOAA/NCDC. Climate Reference Network (CRN)-Site Information Handbook. NOAA-CRN/OSD-2002-0002R0UD0, 2002.

我国气候观象台的现状与发展思考

■ 陈冬冬 郭建侠 林立铮 高瑞泉 张明 王建凯 宋树礼

气候观象台作为综合观测站，具有对气候多圈层及其相互作用开展长期、连续、立体和综合观测的作用。2018年中国气象局正式将气候观象台作为区别于基准气候站等站类的一个独立站类命名，并将气候观象台定性为国家级地面综合观测站。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.010

气候是人类生存环境中最活跃的组成要素之一，与人类的生存息息相关，同时也是最重要的自然资源之一。气候变化将导致人类生存条件的变化，影响社会经济和公众生活的各个方面。气象探测对于气象科学与气象业务的发展起到了先导作用，每一次探测技术的革命性进步，都推动了气象科学与业务的巨大发展。地面观测系统的建立并借助电报的发明，形成了早期的天气图预报方法和有限能力的短期天气预报，全球高空气象探测网资料对于数值天气预报的发展做出了重要贡献，天气雷达网的建立有力地推进了中小尺度强对流天气的研究和短时临近天气监测预警的发展，而全球气象卫星观测网的形成为地球系统科学研究和全球天气预报服务提供了覆盖全球的实时观测数据。

1992年世界气象组织、联合国教科文组织政府间海洋委员会、国际科学联盟理事会、联合国环境规划署共同发起了全球气候观测系统（GCOS）计划，其基本思路是在统一的发展计划和技术规范的指导下，对世界上现有的地球环境方面的观测系统进行必要的改进、补充和整合，建立一个包含气候观测的气象综合观测系统，对大气圈及大气与多个圈层的相互作用进行观测，为气象和地球相关学科的业务与科研提供高质量、连续、均一的各类观测资料

气候观象台作为综合观测站，具有对气候多圈层及其相互作用开展长期、连续、立体和综合观测的作用。2018年中国气象局正式将气候观象台作为区别于基准气候站等站类的一个独立站类命名，并将气候观象台定性为国家级地面综合观测站。建设气候观象台是应对气候变化、服务生态文明建设的一项重要举措，同时气候观象台也是开展相关领域科学研究、开

放合作和人才培养的平台，在当前生态文明体制改革和建设美丽中国的背景下，开展气候观象台的调研和思考，推进气候观象台建设和发展，将是推进我国观测体系现代化和气象业务国际化的重要举措。

1 气候观象台发展简介

GCOS计划发起至今，GCOS在观测数据的积累、观测网的覆盖、观测技术能力提升等方面取得很大进展，并已在IPCC评估报告和与气候有关的研究与决策中起到了非常重要的支撑作用。下面简单对国外著名气候观象台和我国建立的五个气候观象台进行调研总结，以对新时期我国气候观象台建设起到指引作用。

1.1 国外气候观象台发展

欧洲、美国等气象发展发达国家（地区）均已建立了知名的气候观象台，如德国的林登伯格观象台（Meteorological Observatory Lindenberg, MOL）、美国的蓝山气候观象台（Blue Hill Meteorological Observatory）、加拿大的多伦多磁学和气象学观测站（Toronto Magnetic and Meteorological Observatory）等。这些气候观象台在长期从事稳定的基准气候观测的基础上还进行气候系统及多圈层综合观测，下面重点对全球著名的德国林登伯格气候观象台的业务和发展进行讨论。

MOL隶属于德国气象局研究与发展部，是一个长期从事基准气候观测、观测设备试验测试和比对标校，以及观测与预报交互试验研究的专门机构，始建于1905年，并持续开展了气象观测业务，1990年并入德国气象局。MOL虽经历了百年的发展，但其主要工作一直集中在三个方面：一是长期高质量的基准气

收稿日期：2019年2月1日；修回日期：2019年7月21日

候观测，包括地面常规要素、辐射和高空基准气候观测；二是凭借其高质量的观测，开展观测设备测试、试验、比对和标校，解决观测业务的需求；三是以满足数值预报需求为目标，开展观测及与预报相关的科学试验和研究。

在长期基准气候观测方面，MOL是众多气候研究项目的参考站。包括GCOS的辐射基准站，世界气候研究项目（WCRP）参考站，GCOS探空基准站（GRUAN），欧洲气象网（Eumetnet）的风廓线观测站。MOL非常注重大气三维结构连续观测，利用地基遥感技术及直接测量技术持续不断地推进着垂直廓线的观测，是世界气象组织目前所认可的唯一一个地基遥感牵头中心，在垂直廓线观测领域发挥着重要的作用。

MOL作为百年气候观象台有一支稳定且十分严谨的专职科研队伍，有力保障了观测数据的质量。尽管气象观测随着设备的更新和技术的发展一直在延续，但林登伯格气候观象台对观测元数据及不确定度影响方面开展了多项研究，并对该站历史上所用设备和观测方法都进行了细致的数据质控和分析比对，确保高质量的观测资料。正是这种高质量观测资料的积累，造就了林登伯格气候观象台在全球气象观测方面极高

的地位和影响力。

在观测设备和观测方法研究方面，MOL着眼于数值预报模式的需求来规划新设备试验，尤其在新型地基遥感垂直观测和大气边界层观测方面。观测试验多为各类观测设备的综合观测，可提供不同下垫面长期、立体的综合观测，为数值预报模式参数化和预报检验评估提供了大量详实的观测数据。

1.2 我国气候观象台发展

在全球气候观测系统计划制定和实施的大背景下，我国也积极参与到气候观象台的设计规划和建设中。我国在制定气象业务技术体制改革方案时，把发展中国气候观测系统作为气象观测系统改革的重要内容之一，提出了在中国建设气候观象台的改革目标。

为获取高准确性，高精度、长时序的气温、降水等基准观测资料，2007年我国七部委联合印发《中国气候观测系统实施方案》，并在我国不同气候关键区选择了5个具有区域代表性的气象观测站，建设用于进行长期、稳定、连续的气候观测的气候观象台，开展气候观测与技术研发和试验，包括内蒙古锡林浩特、甘肃张掖、安徽寿县、云南大理、广东电白，针对不同气候系统关键观测区设置了不同的观测内容。各气候观象台观测内容在表1中给出。

表1 气候观象台试点站观测项目

气候观象台	气候系统关键观测区	基本条件	观测内容	合作单位
锡林浩特	锡林郭勒草原观测区	占地15000亩（租用），下垫面自然草原	探空*、地面观测*、农气*、卫星辐射校正场*、基准辐射、大气成分、通量、边界层梯度、牧业观测	内蒙古气候中心
大理	川滇区域水分循环过程及其高原边缘带生态综合生态观测区	占地35亩	地面观测*、基准辐射、风廓线、通量、边界层梯度	云南省气象科学研究所
电白	南海海气观测区	北山观测站（25亩）、海上平台和100m塔（洋面）300亩	地面观测*、海气通量、海表边界层梯度、海洋环境	广州热带海洋气象研究所
寿县	黄淮海农田生态综合观测区	300亩，下垫面农田	地面观测*、通量、边界层梯度、农气	安徽省气象科学研究所
张掖	敦煌沙漠陆面过程观测区	1000亩，戈壁沙地	地面观测*、探空*、GNSS/Met*（通量、边界层梯度停止运行）	拟与兰州干旱气象研究所建立合作关系

注：标*的观测项目为业务观测项目；1亩=666.6 m²。

气候观象台新的观测任务和新的观测结果是气象学科和气象业务前进强有力的推动。气候观象台地面常规观测业务都基于国家基准气候站的业务序列，同时还参与多个观测试验和科学研究项目。当前五个气候观象台中，锡林浩特已建设完成基准辐射观测，即将开展GRUAN建设，同时也注重草原生态气象观测研究方向，在草原生态监测评估、草原蒸散和水分平衡研究等方面具有一定研究能力和项目基础。电白气候观象台的海洋综合观测系统建设较完备，建立了全国首个海洋气象科学综合试验基地（茂名博贺海洋气象科学试验基地），实现了从海洋环境到中低空大气要素的立体、连续、全天候的观测，已成为我国南

海海洋气象重要的科学试验基地。寿县结合当地气候特征和下垫面特征，开展了包括地面气象观测、大气环境观测、农业气象观测、人工影响天气服务、近地面通量观测等多项业务和科研工作，同时联合科研院所和高校开展多类地基遥感观测设备外场试验。大理气候观象台除了开展地面气象常规观测外，还开展了近地层通量观测、边界层风（温）廓线雷达观测、洱海水面上自动观测系统、点苍山—洱海剖面典型山地气象观测系统、基准辐射观测等多种观测，覆盖了从湖面、地面至高空大气物理参数的立体观测。经过十余年的探索和试点，我国在气候观象台建设方面积累了许多宝贵经验，对改进天气、气候模式和边界层、云

物理过程参数化方案等起着重要作用，同时也对影响我国的天气系统和灾害性天气有了更深入的了解。从我国气候观象台的发展看，气候观象台是业务和科研的融合，丰富的观测产品和高水准的观测业务带动了气象科研工作的开展。

2017年中国气象局提出要大力推进气候观象台建设，以帮助解决数值模式发展中面临的相关物理问题为目标，在气候观象台设计和开展针对性的观测试验。

随着近年来气候观象台在国家生态文明建设、气候变化、天气气候业务发展、大气科学研究以及与WMO业务交流和合作的需求越来越旺盛，需要在我国气候代表性突出、具有一定观测和合作基础的地区建立一批气候观象台。

2 气候观象台发展探索

根据我国近年来在综合气象观测业务的发展规划和相关决策部署，我国气候观象台发展应以应对气候变化为出发点，结合服务新时代生态文明建设等需

求，坚持“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念，紧跟国际科技前沿，统筹部门内外资源，创新发展机制和管理方式，大力提升气候系统多圈层观测业务能力，充分发挥气象部门在应对气候变化工作中的基础性支撑作用。

2.1 气候观象台站址布局设计

气候观象台布局应根据不同气候带下垫面代表性、气候系统不同圈层相互作用等特征，在不同气候类型的一些关键区域，特别是对气候系统各圈层相互作用、能量和物质交换比较敏感的关键区域，择优选取观测基础较好、符合气候观象台建设发展要求的站点，建设气候观象台。2008年由张人禾院士和徐祥德院士主编完成的《中国气候观测系统》中曾对我国气候系统观测关键区进行了详细的划分和说明。书中结合我国气候资源特征以及待解决的几个关键技术问题，将我国划分为16个气候系统关键观测区，各关键观测区名称以及所辖区域在表2中给出。

在布局设计中，应坚持集约化和一站多址、一站

表2 气候观测关键区及所辖区域

序号	气候观测关键区	所辖区域
1	青藏高原大气水分循环与生态环境综合观测区	西藏中东部与南部、青海西南部、四川西部
2	青藏高原与天山冰川水文观测区	青藏高原冰川主体区、新疆中部（天山山脉）
3	锡林郭勒草原观测区	内蒙古中部（锡林郭勒草原）
4	敦煌沙漠陆面过程观测区	甘肃敦煌、新疆哈密
5	东北森林与松嫩平原生态综合观测区	黑龙江、吉林、内蒙古东部、辽宁北部
6	川滇区域水分循环过程及其高原边缘带生态综合观测区	四川西南部、云南西部、西藏东部
7	黄淮农田生态综合观测区	山东西部、河北南部、山西中南部、陕西东部、河南中北部
8	洞庭、鄱阳两湖平原湖河综合观测区	江西中北部、湖南中北部、湖北南部、福建西北部
9	青海瓦里关大气本底和三江源生态观测区	青海东部、甘肃甘南、四川西北部
10	首都经济圈环境综合观测区	京津冀、山西北部
11	长江三角洲经济圈环境综合观测区	长三角地区（上海市、江苏省、浙江省、安徽省相应区域）
12	珠江三角洲经济圈环境综合观测区	珠三角地区（广东省中南部）
13	四川盆地环境综合观测区	四川盆地（四川中东部、重庆大部）
14	环渤海陆-海-气综合观测区	环渤海地区（京津冀、山东半岛、辽东半岛及山东、辽宁环渤海地区）
15	南海海气综合观测区	海南、雷州半岛、广西东南部
16	海洋综合观测区	黄海、东海、南海区域

多用设计思路，发挥地基、空基和天基相结合的综合优势，充分利用现有国家基准气候站、国家基本气象站、国家气象观测站、应用气象观测站、高空气象观测站、科学试验基地以及外部门野外试验站等已具备的基础观测条件，择优遴选。以站址的气候区域代表性、未来发展的可持续性和探测环境等为重点选择条件，兼顾已有观测资料序列的连续性、现有资源和外部门资源的有效利用等。

2.2 气候观象台观测任务的设计

我国幅员辽阔、气候区域特征显著，气候观象台的观测任务可分为基本观测任务和拓展观测任务。根据当前气象事业发展和领域需求特点，基本观测任务包括地面基准气候观测、高空观测、近地层（海面）通量观测、基准辐射观测、地基遥感廓线观测、生态系统监测、大气成分观测等。下面分别对各类气象观测的意义和部分观测内容进行说明。

地面基准气候观测是气候观象台最基本的观测任务。开展高精度地面基准气候观测,为气象观测业务和科研累积地面大气核心变量的长序列观测数据,同时为周边观测校验和卫星观测校验等提供数据支撑。

高空观测数据是廓线观测的重要基础数据。开展高空观测,为有关业务和科研累积高空大气核心变量的长序列观测数据,同时为地基遥感、卫星和其他观测校验提供数据支撑。

近地层(海面)通量是陆气、海气相互作用的重要指标。开展通量观测,定量测量气候系统各圈层之间的物质和能量交换,获取不同代表性下垫面近地层动力、热力结构及多圈层相互作用过程的综合信息,实现对各圈层相互作用的客观定量描述,为气候模式参数化方案的建立、检验、校正提供科学依据。

基准辐射观测是按照国际地面辐射观测网的标准开展的高精度近地层辐射全分量观测。开展基准辐射观测,提供地表辐射通量的连续、长期和频繁采样的测量,为校正星载仪器、估算地表辐射收支和通过大气的辐射等提供数据,为监测地表辐射通量的区域趋势、开发清洁可再生能源等提供支撑。

地基遥感廓线观测是获取近地层和边界层高时空分辨率的连续大气变量垂直廓线的主要手段。开展地基遥感廓线观测,提供边界层大气结构和状态监测信息,为模式发展、灾害性天气监测及机理研究等提供基础数据,同时为卫星观测校验提供支持。

生态系统监测是对气候系统中与生态相关的因子和变量进行观测评估。开展生态系统监测,围绕区域生态文明建设需求和生态系统监测重点任务,开展山、水、林、田、湖、草、沙、海、城、气等生态系统监测,积累长序列生态系统监测资料,为生态系统相关机理研究和持续改善方法研究等提供数据支撑。

大气成分观测是全球气候观测系统中大气领域的重要观测任务。开展大气成分基本变量观测,积累长序列观测数据,为有关数值模式发展、机理研究及大气环境监测等提供数据支撑。

气候观象台可拓展观测任务包括冰川冻土积雪观测、海洋观测、生物圈观测、水文观测、气候资源观测等。气候观象台在承担基本观测任务外,应根据其区域特点、功能定位和业务科研需求等确定拓展观测任务。

冰川观测主要包括冰川表面能量平衡,冰川物质平衡,冰川水文(包括水位、流量、泥沙、降水量、蒸发等),冰川尺寸(面积、厚度),冰川物理特性(温度、运动)、冰面积雪等项目的观测。冻土观测主要包括冻土温度、活动层温度、活动层土壤湿度、

冻土温室气体排放、土壤热流等项目的观测。积雪观测包括雪型、雪深、粒度、密度、硬度、含水量、温度等项目的观测。在有条件的气候观象台开展冰川冻土积雪观测。

海洋观测主要利用近海陆基、海基等自动探测设备,开展水、土、生、碳以及近海海域水质、赤潮、浒苔等生态要素综合监测,包括常规气象要素、海雾、海洋动力、海洋化学、生物多样性、海气通量等。在有条件的气候观象台开展海洋观测。

生物圈观测主要开展动植物的观测,包括植物物候、叶绿素、覆盖率、叶面积指数、植物光合参数、植物营养成分、生产力、林间腐殖层厚度、森林群落结构,动物种类和分布、种群数量和密度、栖居生境类型及质量、出生率和死亡率等。在有条件的气候观象台开展生物圈观测。

水文观测主要开展地表径流和地下水的各项观测,包括水位、径流量、水质、泥沙、降水、水温、冰清、比降、地下水水位变化、蒸发、积雪(深度和水当量)、气温、枯水日期、丰水日期、洪水等。在有条件的气候观象台开展水文观测。

气候资源观测包括风能、太阳能等气候资源的观测。以风能观测为例,观测项目包括风速、风向、气温及气压等。利用铁塔安装风速、风向传感器,开展当地风能资源观测。

2.2 气候观象台运行保障措施

气候观象台作为业务和科研性质的单位,应兼具业务观测站和开放实验室的功能和特点。在人员配置上,气候观象台应按照工作任务和实际需求,合理设置气候观象台的业务、科研、管理岗位,配齐配强气候观象台专职人员队伍,确保气候观象台业务、科研等正常开展,充分发挥观测资料效益。在稳定运行上,需要结合观象台的特点开展监督和考核,对气候观象台的设备运行、业务管理、服务产品等方面给予指导和考核,以确保气候观象台能长期、有效地开展工作。在持续发展上,气候观象台应按照“共建、共管、共享”的发展理念,充分发挥气候观象台优势,吸引相关部委、科研机构和国内外高校,通过合作建立开放实验室和科学委员会等机制,以客座研究、项目合作和设立开放基金等多种方式,共建共管观测设备,共享观测资料及基础设施,以项目合作促进观象台业务能力发展和科技人才培养。

3 小结

本文概述了气候观象台建设的重要性,并指出在当前加大生态文明建设的形势下,加快我国气候观象

台建设的时机已经成熟。气候观象台布局应结合我国16个气候系统关键观测区的划分,充分发挥气候观象台在气候监测以及多圈层相互作用研究方面的价值,解决观测关键技术难题。

深入阅读

- 程建刚, 2017. 大理国家气候观象台建台十年. 气象科技进展, 7(5):7.
- 黄荣辉, 2001. 大气科学发展的回顾与展望. 地球科学进展, (5): 643-657.
- 宋连春, 李伟, 2008. 综合气象观测系统的发展, 气象, 34(3): 3-8.
- 徐安伦, 李建, 2017. 大理国家气候观象台综合气象观测和研究. 气象科技进展, 7(5):8-14.
- 杨桂荣, 2017. 大理国家气候观象台发展之路. 气象科技进展, 7(5):6.
- 张大林, 2005. 大气科学的世纪进展与未来展望. 气象学报, (5): 812-824.
- 张人禾, 徐祥德, 2008. 中国气候观测系统. 北京: 气象出版社.
- Borger C, Schneider M, Ertl B, et al, 2017. Evaluation of MUSICA MetOp/IASI tropospheric water vapour profiles by theoretical

结合世界气象组织对观测系统的需求, 同时根据我国地形和气候区划特征, 归纳了我国气候观象台应开展7类基本观测业务, 同时结合气候观象台地域和气候特征选择性的开展5类拓展观测。

- error assessments and comparisons to GRUAN Vaisala RS92 measurements. Atmos Meas Tech Discuss, doi:10.5194/amt-2017-374.
- Calbet X, Peinado-Galan N, Pilar Ripodas, et al, 2017. Consistency between GRUAN sondes, LBLRTM and IASI. Atmos Meas Tech, 10(6): 2323-2335, doi:10.5194/amt-10-2323-2017.
- Vérèmes H, Payen G, Keckhut P, et al, 2017. A Raman lidar at Maïdo Observatory (Reunion Island) to measure water vapor in the troposphere and lower stratosphere: calibration and validation. Atmos Meas Tech Discuss, doi:10.5194/amt-2017-32.
- von Rohden C, Naebert T, Sommer M, et al, 2017. Temperaturmessung in der Atmosphäre mit Radiosonden. Technisches Messen, 84(12): 804-813.

(作者单位: 陈冬冬、郭建侠、张明, 中国气象局气象探测中心; 林立铮, 福建省大气探测技术保障中心; 高瑞泉, 深圳市气象局; 王建凯, 中国气象局综合观测司; 宋树礼, 山东省气象局)

中国气象局2018年SCI论文产出 首次突破1000篇

本刊

基于中国气象局图书馆和本刊共同研制的《气象科学论文文献计量统计年度报告(2019年)》, 2018年, 中国气象局系统共发表SCI论文1142篇(SCI数据库中所有学科), 较上一年的945篇有约20%的较大增长幅度, 这是自2014年来, 连续第5年保持了增长态势。中国气象局系统内几乎所有机构都贡献了研究论文(见图1), 其中省级部门增长幅度接近28%, 是最重要的论文增加来源。

2018年有11个国家的气象主管机构发表了100篇及以上SCI论文, 中国气象局位列第二位。美国NOAA(1992篇)位列第一, 加拿大环

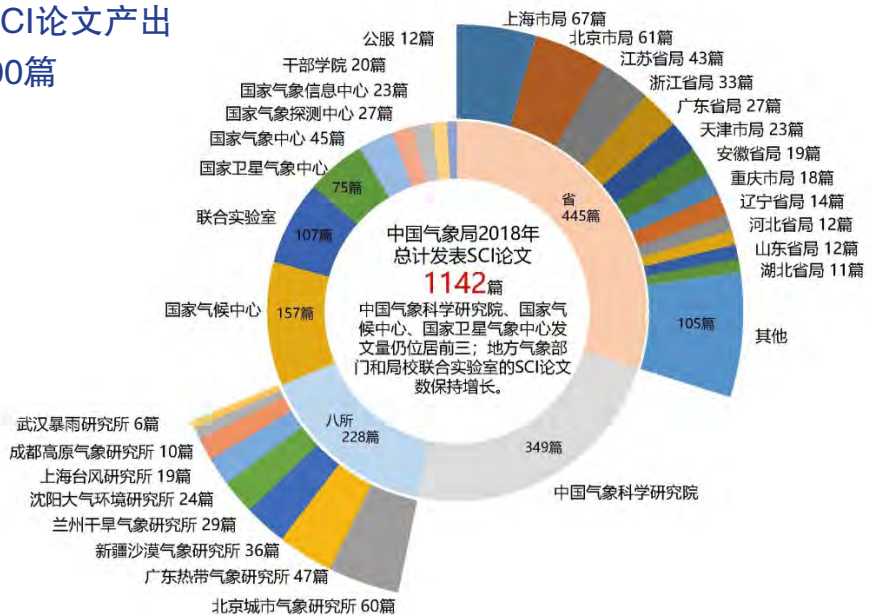


图1 中国气象局系统2018年发表SCI论文的机构分布

境与气候变化部(716篇)、英国气象局(413篇)和法国气象局(196篇)分列第三至第五位。

气象档案事业70年回顾与展望

■ 兰平

现国家和省级气象档案馆保存有我国近代气象台站的原始气象观测记录档案、技术规范、气象史料和不同时期出版物等近5万余册，这些档案印证了我国气象发展历史。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.011

我国的气象档案事业起源很早，气象档案的形成也很复杂、曲折。17—18世纪随着中西方文化交流及商贸往来，西方传教士陆续来到中国，带来了西方科学和文化，近代气象观测仪器和观测方法开始传入我国，传教士在我国多地相继建立了气象观测站，近代气象观测记录档案由此产生。19世纪中叶开始，中西方的文化和科学交流十分广泛，涉及天文、气象、地磁等领域，气象观测合作也有所增加。最具代表性的事件是20世纪初期中国和瑞典联合组成的“中瑞联合西北考察”。考察队于1927年5月组建，一直到1932年4月考察结束，前后持续了5年，行程遍及我国西北大部分地区，期间获取了大量的西北地区地理信息和气象资料，这在现藏的《气象月刊》档案中都有记录。这一时期，西方国家在我国沿海建立了70多个海关气象观测站，这些台站观测记录时间长达30年以上，积累了大量的历史气象资料，保存资料之完整，在近代我国气象观测史上是少有的。中国气象局气象档案馆收集了62个站13000余卷的海关气象月总簿，这是当时气象观测形成的原始记录档案，最早始于1879年，至今已有一百多年的历史。但是由于年代久远，各种条件所限，很多近代的珍贵气象档案未能留存。据普查，现国家和省级气象档案馆保存有我国近代气象台站的原始气象观测记录档案、技术规范、气象史料和不同时期出版物等近5万余册，这些档案印证了我国气象发展历史，为我国气象档案事业建立和发展积累了宝贵财富。

1 气象档案事业建立与发展

1949年10月1日中华人民共和国成立，我国的气象事业从此进入一个崭新的发展时代，气象档案工作也随着全国气象观测体系和管理体制的逐步完善渐入

正轨。

1.1 逐步完善了档案管理体制建设

新中国成立初期，百废待兴，我国气象事业处于全面接收和建设阶段。当时，解放区气象观测站只有101个，设备缺少、人员匮乏，全国各地的气象业务和体制急需恢复和建设。为此，各大军区成立了气象处，气象业务由部队管理，同时负责档案的收集、存档管理、整编出版及服务。这时期，相继接管了国民党驻宁、沪空军和“中国航空公司”等气象机构，以及上海气象台、南京气象站、杭州气象台，恢复和重建232个气象台站，收集了很多气象档案。为尽快恢复气象业务，编制了《气象通讯》（东北军区）、《气象观测暂行规范（地面部分）》《高空风观测简要》等技术规范。1950年4月，军委气象局与中国科学院地球物理研究所开始共同组建联合资料室，气象事业开始转向民用，军民气象融合是这时期的特点，也为全面恢复新中国的经济建设打下了基础。1953年8月，气象部门转为地方建制后，开始建立中央气象局、省（市、区）气象局、县气象站4级气象档案资料管理体制。2000年起，为了适应气象事业发展，在全国气象行业开展了档案体制改革，从原来的4级管理体制，改为国家和省2级制，体现了科学分工、安全管理、集约高效的原则。

1.2 档案资源建设成就斐然

经过70年的不断探索和努力，全国气象档案资源建设取得了长足发展，档案基础设施和存档环境基本达到了国家标准，规范化的气象档案管理业务流程已经建立，实现了气象档案从形成到鉴定整理，从归档到保管利用全生命周期的科学化管理。

1950年，气象档案保管设施大多是接收国民党时

收稿日期：2019年3月11日；修回日期：2019年5月16日

期的档案室，设备简陋，保管条件很差。如今，覆盖全国的气象档案馆初具规模，国家级和省级共建有32个气象档案馆。其中，4个国家一级档案馆和24个国家二级档案馆，档案库房面积达22007.5 m²。另外，全国还建有28个气象档案馆分馆（灾难备份中心），分馆档案库房面积3248.9 m²。全国90%以上档案馆的库房环境达到了《中华人民共和国行业标准档案馆建筑设计规范》（JGJ25—2010）“八防”要求，为永久与安全保管好我国气象事业发展的历史印证打下了良好的基础。

经过70年的发展和建设，逐步形成了规范化的气象档案管理业务流程。1987年，国家气象局重新修订了“气象科技档案分类法”，气象档案的种类从建国初期的气象业务和文书两类，发展到目前的气象科技管理、气象记录、气象业务技术和服务、气象科学研究等8大类。档案载体也由传统的纸质发展为以纸质、缩微胶片、硬盘、光盘等多种载体并存的时代。目前，我国8大类纸质气象档案总量达500万册，信息化资料（光盘、磁带、硬盘）已达900 TB，并以每年2 PB数量增长。改革开放后，气象档案管理业务流程现代化程度不断提高，档案从收集、分类、编目、统计到提供利用全部由档案管理系统实现。数字化、多媒体、网络技术得到广泛应用，档案管理已经实现档案信息的数字化存储和网络化利用，国家级和省级数字气象档案馆试点建设已经开展，利用信息化、网络化的档案管理平台，解决了气象档案全业务流程智能化管理。国家级和部分省级气象档案馆已经开始采用射频识别技术（Radio Frequency Identification, RFID）对档案实体进行管理，实现了气象档案的编目、定位、安全保密存放与利用全程智能追踪。

1.3 档案事业管理走上了法制化、制度化、标准化轨道

法制化、制度化、标准化是气象档案事业发展的生命线。1996年7月5日国家颁布了《中华人民共和国档案法》，之后于1999年6月7日又发布了《中华人民共和国档案法实施办法》，成为我国档案工作的法律依据。长期以来，中国气象局先后制定一系列的管理制度和业务标准规范，包括《气象记录档案管理规定》《气象工作档案归档管理规定》《磁性载体气象资料归档管理办法》《气象档案馆突发事件应急预案》等档案管理制度，编制的《气象数据集核心元数据标准》《气象台历史沿革数据文件格式标准》《气象资料分类编码和命名标准》《气象档案（文献）缩微技术标准》等，已经在全国气象档案业务中广泛应

用。2018年，中国气象局组织制定了《珍贵气象档案分级鉴定办法》《珍贵气象档案管理办法》也将在2019年颁布实施。这些法规和标准为气象档案事业发展提供基本保障。

1.4 气象档案数字化，夯实了档案资源建设基础

我国气象档案馆藏内容十分丰富，但是长期以来受各种因素所限，只注重了收集保管，没有重视开发利用，致使很多珍贵的历史气象档案处于封闭状态。经统计，全国馆藏纸质档案约39821万页，这些档案长期躺在库房里被“冷藏”起来。为开发利用这些宝贵的资源，2007年在全国范围内启动了历史气象档案数字化业务，经过十几年的建设和积累，数字化成果初见成效（表1）。同时，构建了“全国历史气象记录档案管理和在线查询系统”，实现了档案分类整理、目录建设、档案鉴定分级、档案保护、数字化、数据集建设、开发利用等的系统化管理，气象档案数字化成果已经上线服务，在气候变化研究、档案馆指南、气象史志、气候标准、气象科普方面得到了广泛应用。“冷藏”了多年的历史气象档案发挥了宝贵作用。

表1 全国纸质气象档案数字化情况统计

档案年代	档案数量	扫描数量	占比	信息提取	占比
1951年前	456万页	278.5万页	61.1%	12万页	2.6%
1951年后	39265万页	16492万页	41.9%	5.3万页	0.013%

2015年中国气象局正式向社会公布《基本气象资料和产品共享目录》并依托国家科技资源共享平台，开通了气象数据网，气象数据开始越来越方便地走进普通人的生活。自2015年上线以来，累计用户数突破20万，访问量超过1.7亿人次，数据订单量突破百万，在23家国家科技资源共享平台中排名第一。共享的气象数据已惠及2000余家科研教育机构和近600家企业，给企业带来的直接或间接效益超过12亿元。10年前，用户要想获取长序列气象要素是一件十分头痛的事。如今，通过科学的整编处理与深入的挖掘分析，先后研制了全国60个重点城市长序列气温数据集（1841—1957年）、全国60个重点城市长序列降水数据集（1841—1957年）、中国地面气温0.5°×0.5°格点场数据集（V1.0）、中国地面降水量0.5°×0.5°格点场数据集（V1.0）、中国国家级地面气象站逐小时降水数据集（V1.0）等一系列时间久、序列长、质量高、代表性强的气候数据序列数据集产品，在揭示全球气候变暖成因与百年变迁规律、还原重点历史事件的天气过程、促进跨行业大数据融合应用等方面发挥了重要作用。近5年来，全国档案资源平均每年服务

量2万余册次,服务部门三千余家,支持各类科研项目2200余项,为2008年奥运会、2009和2015年阅兵典礼、2010年世博会、2019年世园会等国家重大活动,以及预报预测、防灾减灾、军事保障活动提供了重要的参考依据,发挥了重要的支撑保障作用。长期束缚气象档案开发利用的瓶颈被突破。

2 气象档案工作面临的问题与对策

2.1 信息化档案的管理和利用问题

20世纪初,我国气象档案的形成都是通过人工记录,档案载体主要以纸质为主。1985年,中国气象局引进了M-360计算机,记录信息采用8英寸软盘驱动器存储和1/2英寸磁带机读取。随着气象业务拓展,1994年又引进SUN670和HP L1000服务器,1/2英寸磁带机被淘汰。不到10年,大量的馆藏磁带资料需要通过SUN670服务器转储到光盘上,不可避免地增添了人力、物力成本。信息化档案不再具有特定的字迹,任何人都可以改变字体,随意传输,传统的字迹鉴定技术已经无法分辨信息化档案的原始性,档案的“凭证属性”受到冲击。2018年,中国气象局气象档案馆收集归档的各类信息化资料存量已达10 PB,而上述问题给信息化气象档案的管理和利用带来了极大的挑战。

2.2 珍贵气象档案资源没有得到有效的保护

我国各级气象档案馆存档着大量纸质载体的珍贵气象档案资料,其中大部分来自民国政府所属的“中央气象局”、气象研究所等机构。这些珍贵气象资料主要以纸质载体为主。由于年代久远,保管条件有限,很多档案已经出现不同程度的破损,90%以上的珍贵气象档案没有信息化。2018年,中国气象局在全国范围内组织了一次“全国气象档案馆基本情况普查”,统计发现我国现存的1951年以前的各类气象档案5万余册,分藏在中国气象局、上海、四川、江苏、甘肃、重庆、黑龙江、辽宁等省级气象档案馆。由于年代久远,馆藏珍贵档案残破率已达20%。为加强全国珍贵气象档案的管理与保护,中国气象局已经成立了珍贵气象档案管理与保护专项技术小组,开始制订珍贵气象档案相关技术规范和标准,组织实施试点省珍贵气象档案的保护,以点带面,向全国推广。

2.3 气象档案管理人才匮乏

目前全国省级以上气象部门从事档案业务人员共

151人,其中50人是兼职,档案业务人员平均年龄44.5岁,51~60岁共60人,占比40%,复合型档案专业人才寥寥无几。

3 新时期气象档案工作发展思路

随着气象事业现代化发展,尤其是在《全国气象发展“十三五”规划》中,提出了加快气象事业协调发展,建设“智慧气象”的发展目标。“改革、创新、开放、共享”已经成为气象事业的发展理念,也为今后的气象档案工作明确了方向。

3.1 挖掘潜力,加快全国气象档案数字化建设

我国32个气象档案馆馆藏纸质档案共约39825.9万页,其中已完成扫描约16492.4万页,占总量的41.4%,历史资料录入/提取约2187.4万页,只占总量的5.5%,大量珍贵档案记录信息没有得到充分的开发利用。为了充分挖掘珍贵气象档案资源,更好地为用户提供服务,需要尽快组织技术力量,加大投入,加快全国气象档案数字化建设。

3.2 着眼未来,开展数字气象档案馆建设

数字档案馆是目前国内外档案管理现代化建设的主要趋势,它不仅是馆藏档案的数字化,也不只是停留在整个档案工作业务流程的信息化,而是代表了网络环境下档案信息资源整体处理模式。2017年12月26日,中国气象局印发了《气象信息化发展规划(2018—2020年)》,规划中把气象数字档案馆(室)建设列入档案信息化建设整体目标。2018年,全国数字气象档案馆试点建设启动。

可以期待,全国气象档案事业通过现代化建设,必将站上一个新的台阶。在中华人民共和国成立70周年之际,全国气象档案工作者将以改革创新的精神,积极探索新形势下气象档案业务的新思路、新途径、新方式,推动气象档案工作不断适应经济社会发展需要。

深入阅读

兰平, 2007. 独具特色的气象档案资料服务. 中国档案, (10): 44-45.
 兰平, 臧海佳, 2006. 采用OCR技术实现档案数字化的几点思考. 档案学通讯, (3): 127-128.
 刘品高, 刘家清, 向德龙, 等, 2009. 省级数字气象档案馆建设试点研究. 档案时空, (12): 18-20.
 吴增祥, 2007. 中国近代气象台站. 北京: 气象出版社.

(作者单位: 中国气象局气象档案馆)

科普类期刊版式设计探索——以《气象知识》为例

■ 李平

近40年的时间里,《气象知识》从季刊、32页、小16开、黑白印刷发展到今天的双月刊、80页、大16开、全彩色印刷,反映了期刊传播方式40年的转变过程。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.012

科普类期刊是大众认识自然、了解科学的窗口,目前我国科普期刊有430余种,含哲学、社会科学、自然科学等类别。这些科普期刊在大众教育和提升民族素质等方面起到了很大的推动作用。气象科学是自然科学中最为“亲民”的学科之一:一方面,面对自然大气丰富的现象,百姓容易通过好奇天气气候现象,进而接受更多的科学知识,提升对自然的认知,从而使气象成为科学普及的绿色通道;另一方面,面对造成人员伤亡和物质损失的气象灾害,气象科普期刊的存在,有益于增强气象防灾减灾救灾能力。正是基于此,为了占领气象科普的主阵地,改革开放之初的1981年,《气象知识》正式创刊。该刊由中国气象局主管、中国气象局气象宣传与科普中心和中国气象学会主办,是全国唯一一本普及气象科学知识的彩色科普期刊,经过多年的积累和发展,已成为有一定社会影响力的行业科普杂志。期刊多年来按照“精准定位,精准推广”的期刊运营理念,形成了“一刊三版”的分众化发展模式,将发展目标确定为打造“气象信息员的知识读本,气象科普活动的实用材料,中小学科技实践的辅助资料”。

《气象知识》近40年出版历程,表明了其科普价值,其中灵活运用版式设计的实践,也是该刊过去、现在和实现该刊宗旨的重要手段之一。1997年3月,《气象知识》荣获中共中央宣传部、国家科委、新闻出版署联合颁发的第二届“全国优秀科技期刊二等奖”。2001年《气象知识》杂志被新闻出版署列入中国期刊方阵,被评为全国“双百期刊”。2017年,《气象知识》杂志首次入选了《中小学图书馆馆配期刊》目录。40年来,刊物秉承传播气象知识、弘扬气象文化的宗旨,为提高人们的生活质量及防灾减灾意识,做出独特的贡献。

近40年的时间里,《气象知识》从季刊、32页、小16开、黑白印刷发展到今天的双月刊、80页、大16开、全彩色印刷;从单纯纸媒、铅字排版、胶版印刷到现在的电子杂志,反映了期刊传播方式40年的转变过程。刊物本身也经历了自身的文化蜕变,办刊理念从单纯传授式转变为更适宜现代社会节奏的互动式。办刊者自身也随之走过了一个探求、转变的过程。

1 期刊版式设计风格反映了学科的文化特征

任何成功的期刊必有其独特的文化特征及品味,它是期刊的灵魂。科普期刊的四封及内文版式的设计形式,是体现这种特征及品味的重要方面,是最直接的表征,起到展现预期文化内容的作用。四封及版式设计者在开始设计制作一本期刊前一定要下功夫了解所包装期刊的性质、文化背景、发行对象、办刊人想达到的预期目的,找出自身文化特征,挖掘独特品味,才可能创造出适合你的表现语言。在这方面《中国国家地理》《中国新闻周刊》《时尚》《旅游》《兵器知识》等都是成功的例子。近年来,《气象知识》也在不断挖掘和探索确立自己独特的文化特征。气象学科既有现代气象科学起源于西方的注脚,更有中国古代以“二十四节气”“天人合一”思想等为代表的民族底蕴。气象科普期刊,需要在这两个方面,找寻自己的独特标签。

案例1 对年度国内外相关重大气象事件版面处理(图1),重点关注新闻性和读者的资料收藏,开设的“国内外十大天气气候事件系列报道”所采取的语言是新闻版块叠排,同时强调色彩与内容的呼应。此种设计从阅读感知及阅读习惯能直接将读者带入想查阅的信息中,且便于读者对自己需求的资料进行收集储存。

案例2 历史回忆等传记类文章的版面设计注重历

收稿日期: 2019年6月26日; 修回日期: 2019年7月1日



图1 年度国内外相关重大气象事件版面设计

史的厚重及科学再现，既要重现历史的原貌还要传达科学内容，所以版面设计上要有别于纯人文历史类期刊。例如，2007年连载的《大漠风云——<中国西北科学考查团>科学探险揭密》

科学考查团>科学探险揭密》文章的版式设计，充分表现在史海沟沉的历史叙述语言的基础上加入了具有极强科普性的探险路线图表，并在上下两侧用骆驼队穿越沙漠来暗示科学探险的艰辛。此版面设计很好地诠释了文章的内涵，历史的怀旧及神秘感，更能勾起读者的阅读兴趣（图2）。

案例3 在知识类文章的版面设计上，期刊更多考虑青少年读者群的需求。2007年第5期《气候变化真的在变化吗？》等系列文章的版面设计，注重采用轻松活泼的动漫语言，并加进百科全书式的表达方式，使所传授的知识内容更容易被青少年读者所接受（图3）。

2 文章题目的字体和配图的适宜选择增加内容可读性

好的标题是一篇文章的精髓，它不仅直接反映文



图2 2007年《大漠风云——<中国西北科学考查团>科学探险揭密》版面设计



图3 2007年第5期《气候变化真的在变化吗？》版式设计

章的内容，还可揭示文章的类型，并能一下子抓住读者。好的题图处理能快速赢得“上眼率”，一篇文章标题以什么形式呈现给读者至关重要，所以标题是文字编辑与美术编辑共同合作的发力点，任何一方不负责任都会使标题缺乏感染力，进而减弱文章的分量及魅力。设计者在与作者加强沟通的同时，还必须要掌握与之有关的专业知识。如：方形文字给人以郑重的感觉；扁长形的文字适合叙述人、事、物；竖长形文字轻松，起提示作用；随意形文字带有娱乐性等。文字的形式也是有情感的，选择适当的字形与相匹配的图形及照片设计的题图是影响整个版面结构的主要因素。因此，如何安排标题已经成为版式设计中非常重要的环节。

以2017年科普活动增刊（图4）为例，给出不同文题文字和配图设计效果。



图4 2017年增刊的部分版式设计

当今科技的高速发展，世界变小，人们惊讶信息传播方式的快速更新，也感叹其巨大的信息量带来的丰富快捷，使人们能足不出户便知天下事。各种图片的即时传送能直观地感受各种事件带来的震撼、惊喜、恐惧、忧虑等，图片就成了版面上视感最强的设计元素。因此对图片选题的策划、选用、加工、安排是美术编辑（包括文字编辑）工作中的重中之重。合适的图片安排不光起到美化装饰版面的作用，还可以提升文章的可读性、调控阅读节奏、减缓文字压力，为文章增色，使每篇文章之间形成缓冲带，连贯性的

链接起期刊的整体版式设计。要达到以上目的，对编辑在前期策划及对某些事件的预感性方面提出了更高的要求。

3 色彩应用于版式设计

伴随着期刊进入全彩时代，色彩在期刊包装及内文版式设计上的应用起着至关重要的作用，它不仅起到装饰和丰富版面的作用，更可以预示文章内容的情感类型：庄重、悲切、愤怒、欢快等。同时色块的处理还具有提示阅读功能、导读功能和分割功能，更利于读者检索阅读。如在文章中出现大量的表格还可起到对应功能的归纳作用。亦可在读者长时间阅读时，调整阅读节奏，帮助读者克服长时间阅读带来的生理上的疲劳，增大阅读兴趣。因此作为一个合格的美术编辑要充分掌握各种色彩的基本属性和具有的提示功能，并能够灵活地将其应用于具体版式设计中，方可达到充分表现文章内涵，增加版面的上眼率，提高期刊感染力。

在《气象知识》2019年科普活动增刊中“气候变化会带来什么”一文的版式设计上（图5），用象征的手法暗示人们赖以生存的环境。作者采用了大面积的蓝，水、空气和海洋代表托起了万物生灵共存的生态方舟，用色彩的独特象征语言及感染力，很好地表达了文章的内容。



图5 “气候变化会带来什么”一文版面

4 期刊格式化趋势

什么是格式化？在工业革命，大机器生产之后，产品的格式化功能就成为工业革命的基本特征，流水线生产出来的水龙头都长成一样，虽然丢失了个性，却大大提高了生产速度、大大降低了生产成本以及零部件的互换性。这是人类告别手工作坊，向现代社会发展的必然途径。报纸、期刊版式的格式化并不源自设计形态的改造，而是源自新闻的透明度，报纸和期

刊的特殊功能、传播速度、出版风格（含采写、编辑、印刷等）的选择，以及市场需求的认可。

对于科普类期刊更是有其明显的格式化问题。版面格式化、栏目格式化、编辑和写作手法格式化。格式化带来了极大的便利和好处：基本栏目统一、图案标准统一、标题形态统一、图片运用统一、信息处理方式统一，形成期与期之间没有大变化，版面之间也没有大的变化。形态简单，带来了速度，带来了延续，带来了更高审美品味。

如何面对期刊的格式化问题，从上述情况中得出一结论——格式化是美术编辑的整体构想。经历过格式化编排的人恐怕不得不承认这样一个事实：格式化不是设计，而是设想，是策划。格式化是编辑部所有人都必须关注的事，在某种程度上它决定了一个期刊的风格及品味，所以什么是期刊的格式化，格式化带

来的问题都有哪些，应引起我们的重视。因此，对每一年的期刊出版规划从内容到形式都要反复论证、明确定位，全编辑部统一认识，全体人员要克服个人观念，对已经确定下来的设计形式给以高度支持，才能使期刊上一个大的台阶，才能创造出一本风格现代、特征明显的精品刊物。

深入阅读

任珂, 邵俊年, 杨静, 2014. 气象知识创刊以来的探索发展回顾. 气象科技进展, (6): 89-91.

孙心乙, 2016. 现代书籍版式设计的艺术创新. 出版广角, (6): 52-53.

王江涵, 2009. 浅谈时事新闻专题报道的整合. 新闻实践, (6): 59-60.

张尚玉, 2013. 试论美术类期刊的装帧设计. 北京: 中央民族大学.

(作者单位: 中国气象局宣传与气象科普中心)

(上接55页)

表3 气候变化领域中国顶尖学者研究方向分布
Table 3 Distribution of research directions of top scholars of China

姓名	任职机构	研究方向
姚檀栋	中科院青藏高原所	冰川与环境变化研究
朴世龙	北京大学	全球碳循环, 植被遥感, 生态模型
彭书时	北京大学	生物地球化学循环, 陆地生态系统过程模型, 地球系统模式
陶福禄	中科院地理科学与资源所	农业系统对全球变化的响应和适应研究

表4 入选气候变化领域顶尖学者的海外华人学者
Table 4 Overseas Chinese scholars selected as top scholars in climate change

姓名	任职机构	国家	研究方向
Tong Shilu	昆士兰理工大学	澳大利亚	流行病学, 气候变化健康影响评估
彭长辉	魁北克大学	加拿大	生态模型, 陆地生态系统碳循环
骆亦其	俄克拉荷马大学	美国	植物生理生态学, 生态系统生态学, 生物地球化学循环和生态模型

都具有明显的国际流动特征。

3 结论

我国在气候变化研究领域的顶尖人才数量与美、英、德等国仍有较大差距，这与我国在气候变化领域的科研投入极不相称。目前，我国气候变化领域的顶级学者仅集中在生物地球化学循环、冰冻圈等少数研

究方向上，而在陆地、淡水生态系统及其服务，未来全球气候：基于情景的预估和近期信息，海洋及沿海生态系统及其服务，生物多样性，气候变化风险、脆弱性评估及可持续发展，水和水循环等占据主导地位的研究方向上为空白。这种人才短板会对我国增强应对气候变化的“话语权”形成严重制约。

通过中美文献对比发现，我国在平均篇均被引频次和平均总被引频次这2项指标上有明显差距，而这2项指标通常可以反映出在某一研究领域里，各国学科带头人的学术影响力水平，说明我国气候变化研究领域的学科领军人才在国际上的影响力水平和知名度有待进一步提升。

参考文献

- [1] 曲建升, 肖仙桃, 曾静静. 国际气候变化科学百年研究态势分析. 地球科学进展, 2018, 33(11): 1193-1202.
- [2] 尹志欣, 王宏广. 顶尖科学人才现状及发展趋势研究. 科学学与科学技术管理, 2017, 38(6): 23-30.
- [3] 尹志欣, 朱姝, 由雷. 我国顶尖人才的国际比较与需求研究. 全球科技经济瞭望, 2018, 33(8): 70-76.
- [4] 尹志欣, 谢荣艳. 我国顶尖科技人才现状及特征研究——以汤森路透2015高被引科学家为例. 科技进步与对策, 2017, 34(1): 136-140.
- [5] 高志, 陈兰杰, 张志强. 顶尖科学家的学术影响力变化规律研究进展. 图书情报工作, 2016, 60(6): 135-141.

信息化时代省级及以下气象业务服务体制改革探讨

■ 郑治斌 陈仁芳 李国梁

进入信息化时代以后，所有气象业务服务所形成的信息产品，可以不需要任何层级节点，均可以自动、互动、主动或被动、多向多维连续快速通畅传送，呈现扁平制特征。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.04.013

人类社会正从工业社会迈入信息社会，信息化在企业转型升级、国家创新体系建设以及国际竞争中具有关键作用，是国家综合实力和发展战略的重要依托，引起了全社会各领域的重大变革。

2005年以来，国家级和省级气象业务服务先后经历了业务技术体制改革、气象服务改革、气象信息化、智能网格预报等重大变革，逐步构建了适应现代科学技术和需求的气象业务服务体系，但省级及以下改革则相对滞后，考虑到气象事业改革发展必须适应信息化时代的特征，深入研究信息化时代对省级及以下气象业务服务发展的影响，提高气象服务效率和质量，是信息化时代省级及以下气象业务服务体制改革的关键。

1 信息化时代省级及以下气象业务服务体制不适应性问题

1.1 传统业务服务体制与信息化发展不适应

随着气象业务需求的不断提升以及各种业务服务系统的建设和更新换代，各单位业务服务系统繁多，每个业务服务系统都有独立的数据库，单独部署应用，数据来源不统一，数据存储分散、存储重复、管理困难，数据在准确率、及时率以及完整性方面存在问题，加之基础资料数据标准化、信息化程度不高，基础资料一般通过光驱手工对光盘刻录、备份等操作，难以适应目前大量气象数据光盘存取的需求。数据的总体部署和数据的标准化、数据质量和时效性以及数据处理能力都有待提高。

1.2 层级体制与网络化发展不适应

由国家、省、地和县四级构成的气象业务服务体制，是一种典型的层级制。在非网络化时代，这种体制可以逐级推动、保障组织和机构的顺利运行，在大

量基层组织单位高度分散情况下，能有效地实现组织目标，具有提高组织效率的功能。但是一个层级就是一个相对独立的自主节点，容易造成层层传递、层层节流、层层变样、层层梗阻的问题，降低组织效率。

进入信息化时代以后，所有气象业务服务所形成的信息产品，可以不需要任何层级节点，均可以自动、互动、主动或被动、多向多维连续快速通畅传送，呈现扁平制特征。如气象预报业务，其所需的全部气象观测数据和资料，均可以从采集点传感器直接传送到国家级、省级气象预报平台，或者进入相关系统生成数值预报产品；而由国家级、省级形成的精细化气象预报产品，则可以直接传送到全部使用单位，而且不限于气象业务服务层级，也不限于气象部门内外，中间不再需要任何节点处理。因此，面对两种信息传递方式（表1），如果气象业务仍采用原来的层级业务体制，其存在的固有弊端就会不断显现，而且越来越突出。显然，气象部门传统气象业务服务层级体制所形成的业务服务分工、流程和制度，已经明显不适应信息化时代的要求。

表1 线性层级制与网络扁平制体制特征比较

组织运行/组织类型	线性层级体制	网络扁平体制
层次与幅度	层次多、幅度窄	层次少、幅度宽
层级与等级	层级、等级差别很大	层级差别较小、等级差别较大
权力结构	权力集中、等级明显、呈指令性	权力比较分散、呈多元性
职能结构	职能部门+少直属组织+多层级单位	职能部门+多直属组织+少层级单位
信息沟通	逐级沟通、逐级确认	无级次沟通、无级次确认
通讯方式	电传、电话、邮寄等方式	网络互联互动方式
协调方式	多任务性、指令性协调	多功能性、协商性协调
结构稳定性	结构很稳定、具有顽固性（一般层级调整少）	结构易变、具有较大灵活性（一般同级调整多）
组织适应性	环境适应性弱	环境适应性强

收稿日期：2019年1月21日；修回日期：2019年5月31日

1.3 分级业务服务与智能化发展不适应

传统的省、地、县三级分工的气象业务服务体制，就气象预报而言，就是省级指导、地级制作、县级订正、按分工发布；就气象观测而言，就是县级采集信息、地级中转信息、省级集中信息到国家级。显然，传统的省、地、县三级分工的气象业务服务体制，不能适应气象业务服务智能化发展趋势。如果省、地、县三级分工的气象业务服务体制不改变，气象业务服务智能化发展就可能很难推进。

实现气象信息智能化，一是要消除层级和人为的气象信息流障碍；二是要实现气象信息的主动推送和管理，快速方便气象专业人员和公众的获取和使用；三是要实现气象信息智能化管理与发布，节约管理和运行维护成本。

1.4 分散加工与集约化发展不适应

在传统的省、地、县三级气象业务服务体制下，三级气象业务服务单位都是产品生产和加工单位，也基本按照三级分工为所在辖区提供其气象业务和服务产品。在这种体制下，业务服务产品生产和加工高度分散，气象服务对象均划定在各级行政区域范围内，各级均采用相同资料各自独立进行气象业务服务产品的制作、加工、包装和服务活动，基本形成相同相近信息产品，各级气象业务服务单位之间横向联系较少，各自的资源优势难以互相利用。

信息化时代，为信息服务业集约化发展提供了全部条件和无限前景。气象业务服务产品，有的需要全国统一加工制作，有的适合省级加工制作，有的适合地级加工制作，仅有少量的适合县级加工制作，但通过网络互动可以实现各层级各单位共享共用。因此，如果气象业务服务继续固守层层分散加工、每个单位生产和提供相近或相同产品的体制，就不可能实现集约化、规模化、高效化发展。

1.5 通用产品与专业化发展不适应

在传统的省、地、县三级气象业务服务体制下，地地级之间、县县级之间气象业务服务单位加工形成的大都是通用气象信息产品，即公众气象服务产品，在改革开放初期基本能满足当时人民群众生产生活需要。但是，随着经济社会发展和产业升级，社会生产越来越专业化、规模化和高效化，社会公众需求越来越个性化、多元化，对气象服务的专业化、多样化和实用性提出了新的更高要求。

按照传统层级体制的分工，一是气象服务难以真正地“专”起来，气象服务地域范围被体制分隔，专业产品制作成本高，比较效益低；二是技术力量分

散，开发能力很有限，不可能面对几十个行业开发专业产品；三是受层级体制的影响，层层重复劳动，信息网络优势并没有更有效转化为省级及以下气象业务服务专业化、集约化的优势。

1.6 自建自用与一体化发展不适应

受气象业务服务层级体制的影响，气象部门各个层级都开发许多自建自用的业务服务系统，根据2016年统计，全国省级业务系统约65个（图1）。各层级自设计、自建设和自应用的业务服务系统，往往难以顾及全局的整体协调性、可扩展性和可变更性，从而造成省、地、县级各业务服务单位数据库众多，但跨地区、同级跨部门的数据应用比较困难，基本不符合信息化时代一体化发展要求。

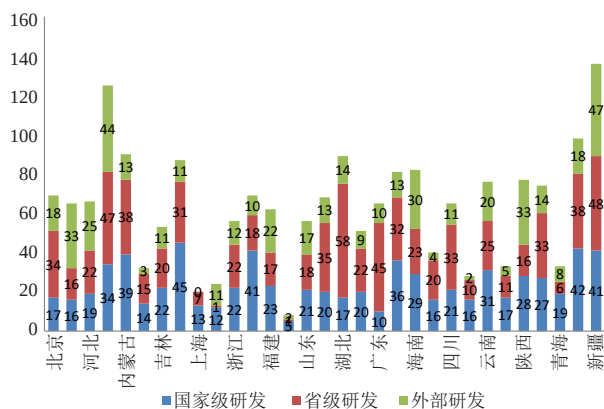


图1 省级使用的业务系统数量图

2 信息化时代省级及以下气象业务服务体制构想

2.1 构建省级气象大数据中心

大数据、云计算技术的运用，为气象信息在互联网时代大规模地整合资源、大幅度提高资源使用效率、降低运营成本、提高服务灵活性和服务效率、改善服务可扩展性、增加创新等方面，提供了可能和条件。气象大数据不仅指储存，而应包括气象大数据充分开发和充分利用，从广义上来看，气象科研、气象预报、气候业务、气象服务等都是气象大数据的应用端，也是气象大数据的再生产端。

新组建的省级气象大数据中心，不应只是气象数据储存中心，也不应只是气象数据节点中转的汇集传输中心，其最重要功能应是省级气象数据研发中心和省级气象数据服务中心。同时，地级相应组建气象大数据支持中心，负责全域范围自动气象观测探测、气象相关信息的采集、系统运行维护与管理，将目前省、地、县三级和县县级分工负责的运行维护与管理体制改变为省、地两级体制。

2.2 推进“四个一体化”体制重组

省、地级业务一体化。省、地级业务主要是指气象观测、气象预报、气象预测、气象信息化业务，一体化是指统一规划、统一标准、统一设计、统一平台、统一流程、统一规程等集约形成一个有机的业务整体，不再出现重复开发的业务系统和信息孤岛，不再出现产品重复加工和重复劳动。

地、县级服务一体化。地、县级服务一体化主要指地、县级气象服务系统、平台、研发、产品、服务、规程等一体化。地县级、县级之间不再重复加工、重复研发相同相近产品，地、县级业务服务体制可由两个层级调整为一个层级，业务服务功能由上下级指导关系，一部分转变为异质互补关系来提供不同的服务。

传播类服务一体化。传播类气象服务，包括电视、电台、电话、短信、报纸、网络和所有新媒体、融媒体等提供的气象服务。气象部门提供的公共传播类气象服务必须做到一体化，即由一个服务机构提供传播类气象服务。

专业类“研产服”一体化。专业类服务主要是指面向行业和专门用户，需要以一定研发为基础而提供的准公共性和经营性气象服务。“研产服”一体化，是指气象科技研究、技术开发、产品和服务一体化，既可以解决气象科研、业务、服务长期脱节的困扰，也可以基本弥补传统专业气象服务针对性不强，用户还需再次进行开发的不足。推行专业类“研产服”一体化，重点在省级和有条件的地级，建立以专业技术人才队伍为核心的团队，持续地研究行业用户和专门用户的内在需求、气象敏感点、核心技术内涵、服务实现的方式、业务服务的标准和规范，为用户提供融入性贴近式服务，真正打造高端的专业气象服务产品。

3 推动信息化时代省级及以下气象业务服务体制改革建议

1) 优化气象业务流程

气象业务流程包括数据采集—传输—存储—分析（预报预测）—加工（气象服务）—分发等过程。未来气象信息化发展，要通过信息业务、预报业务、服务业务的体制机制改革打通“肠梗阻”节点，实现观测、预报、服务业务全流程自动化。

预报业务流程由原来的国家—省—地三级逐级制作站点预报，向国家—省—地三级制作定量、精细化格点预报转变，强化省级气象台在预报中的关键作用。强化地、县级对智能网格预报的应用服务工作，强化灾

害性天气、气象灾害实时监测和临近预警与服务。新布局要求地级预报员由预报型向服务型转型，由常规要素预报向短时临近灾害性天气预报转型，由原来的预报主体作用向应用服务转变，在灾害性天气实时监测和临近预警业务中发挥作用。

2) 调整气象业务服务布局

①按照“两级集约、三级布局”的目标，构建国家—省—地三级业务服务布局，预报业务主要集约到国家和省级。

②省级转变为对国家级订正直接反馈形成最终的“一张网”预报，并提高对下指导能力。加强预报员科研开发能力建设，由业务型预报员向业务加科研型预报员转变。

③地县级从“一张网”中获取数据进行直接服务或加工后再服务，通过订正、修改负责发布责任区域内预报预警。地县级基于精细化预报指导产品，建立本地精细化预报业务产品体系，体现各自优势，发展省地县级差异化业务，并确保最终对外服务数据的一致性。

④尝试取消地级对县级指导预报业务，县级重在利用业务服务平台根据本地特色需要开展气象服务和灾害性天气预警。对省级气候中心业务进行重新规划和定位。

3) 推动气象业务服务管理体制改革

根据气象业务一体化、扁平化来推动气象业务服务管理体制改革，改变过去按照业务流程功能划分的组织架构模式。推动管理方式的转变，向依靠信息化建设和数据分析来管理。应将数据管理融入到数据创建、采集、传输、处理、存储、使用、归档、销毁等各个环节，形成数据质量的闭环管理。

资助信息：中国气象局2018年度气象软科学研究项目（自主项目[2018]03号）

深入阅读

- 郭艳岭, 田志广, 张延宾, 等, 2017. 省市县集约化综合气象业务流程的探索与研究. 南昌: 第七届气象发展论坛暨2017年度气象软科学委员会年会文集.
- 胡爱军, 张洪广, 2015. 从“互联网+”看气象信息化发展. 气象软科学, (1):13-22.
- 姜海如, 杨夏, 2017. 气象信息传播载体效用的比较分析. 气象科技进展, 7(5): 66-68.
- 气象信息化战略研究课题组, 2016. 气象信息化发展战略——研究与探索. 北京: 气象出版社.
- 沈文海, 2013. 对气象信息化的理解和再认识. 气象科技进展, 3(5): 56-62.
- 郑国光, 2015. 以信息化推进气象现代化. 浙江气象, 36(2):1-4.

（作者单位：郑治斌，湖北省气象学会；陈仁芳，湖北省气象局；李国梁，中国气象干部培训学院湖北分院）

高被引论文选编

编辑：侯美亭 张萌

“空基观测”主题

来源数据库：SCI-E和CAJD，检索时段：2017—2019年

基于中国东部行星边界层顶部系留飞艇的新粒子形成的直接测量

—Direct measurement of new particle formation based on tethered airship around the top of the planetary boundary layer in eastern China. *Atmospheric Environment*, 2019, Vol. 209.

新粒子生成（NPF）是大气气溶胶的一个主要来源，并通过贡献多达2/3的大气云凝结核在全球气候中发挥重要作用。近几十年来，人们对近地表NPF的特征和机制进行了大量研究。然而，由于垂直测量的限制，行星边界层（PBL）顶部周围的NPF特征仍不清楚。为此，南京大学的Qi等采用搭载先进粒子仪器的系留飞艇，于2017年12月直接测量中国东部长江三角洲（YRD）PBL正上方和下方的NPF。与实时地面激光雷达观测相结合，成功地测量了PBL顶部上方/下方100 m处的气溶胶粒度分布、气溶胶和气体污染物的化学成分。尽管在飞行期间和在YRD的三个地点没有在PBL内观测到NPF事件，但在PBL之上检测到增长率为3.8 nm/h的NPF事件。PBL上方的高氧化能力、足够的可冷凝蒸汽和低温凝汇有利于NPF的发生。模型模拟和气溶胶化学成分结果表明气相硫在NPF及其随后在高层大气中的生长中的重要作用。

HD (CP) (2) 观测试验 (HOPE) 概述
—The HD(CP)(2) Observational Prototype Experiment (HOPE) - an overview. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, Vol. 17.

HD (CP) 2观测试验（HOPE）是于2013年4—5月在德国Jülich进行的为期2个月的实地大气外场观测

试验，并随后于2013年9月在德国Melpitz举行了一场小型试验，这些试验旨在为评估新的德国二十面体网格非静力大气模式（ICON）提供关键观测数据集，并进一步提供有关陆气边界层交换，云和降水过程的信息，以及受参数化影响的子网格变率和微物理属性。HOPE专注于对流大气边界层中云和降水的起源。德国莱布尼茨对流层研究所的Macke等总结了HOPE试验中的仪器设置及观测示例结果。HOPE-Jülich仪器包括一个无线电探测台，4个多普勒激光雷达，4个拉曼激光雷达（其中3个提供温度，3个提供水汽信息，所有这些都是粒子反向散射数据），1个水汽差分吸收激光雷达，3个云雷达，5个微波辐射计，3个雨雷达，6个天空成像仪，99个辐射强度计和5个太阳光度计，这些仪器在不同地点运行，其中一些是协同运行。HOPE-Melpitz观测试验是将基于地面遥感的气溶胶和云与基于直升机和气球观测的大气柱相结合。HOPE在大约10 km×10 km×10 km的范围内提供了前所未有的气溶胶、云和降水的大气动力学、热力学、微观和物理特性，具有高空间和时间分辨率。HOPE数据将极大地促进对边界层动力学以及云和降水形成的理解。数据集已通过专用数据门户提供。用于模式评估的HOPE数据的首次应用已经显示出观测到的和模式模拟的边界层高度、湍流特征和云覆盖之间的一致性，但是它们也显示了显着的差异，值得从观察和模拟的角度进行进一步研究。

ML-CIRRUS: 使用“高空和远程研究飞机 (HALO)”进行的自然卷

云和轨迹卷云的空中试验——ML-CIRRUS - The airborne experiment on natural cirrus and contrail cirrus with the high-altitude long-range research aircraft HALO. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2017, Vol. 98, No. 2.

中纬度卷云试验（ML-CIRRUS）部署了高空和远程研究飞机（HALO），以获得关于自然卷云和飞机引起的尾迹卷云的成核、生命周期和气候影响的新理解。目前对卷云性质及其变化的直接观测仍然不完整，限制了我们对于云对气候影响的理解。此外，在当前的天气预报模式中，对云层的动力效应和反馈没有得到充分的体现。在这里，德国航空和航天中心的Voigt等介绍了使用德国大气科学界的G-550飞机拍摄ML-CIRRUS的原理、目标和科学亮点。首次将云现场观测与最先进的云探测器、激光雷达和新型的冰残留物、气溶胶、微量气体和辐射仪器相结合。飞机观测的同时，进行了卫星和地面遥感以及数值模拟。2014年春季，HALO在欧洲上空进行了16次飞行，重点研究了由包括温暖输送带在内的锋面系统和其他动力机制（急流、山波和对流）诱导的人为轨迹卷云和中纬度卷云。基于ML-CIRRUS，研究强调了：1）微观物理学的新观测和辐射卷云属性及其变化；2）云预报和卫星产品的验证；3）轨迹可预测性的评估；4）直接观测的航迹卷云及其与自然卷云的区别。ML-CIRRUS提供了一个关于欧洲中纬度人口密集地区卷云的全面数据集，可以增强我们对卷云及其对气候和天气作用的理解。

（以上由侯美亭选编）

毫米波雷达反演层状云液态水路径研究——《高原气象》2018年第36卷第1期

为了从毫米波雷达观测数据准确反演云中液态水路径，姚志刚等利用中国区域飞机探测资料得到

的云粒子谱参数, 基于2008年寿县ARM-AMF地基毫米波云雷达观测, 针对层状云采用不同的云粒子谱参数假定, 由物理迭代法和经验关系法反演云中液态水路径, 并与地基微波辐射计的云水产品进行对比, 开展了基于地基毫米波雷达的层状云液态水路径反演算法的对比分析。结果表明, 反演结果与谱参数的选取以及云的特征密切相关, 但物理迭代法总体上优于传统的经验关系法且前者对谱参数假定的依赖性相对较弱; 基于中国区域的飞机探测资料得到的谱参数能够得到更优的反演结果; 云中可能存在的大粒子是云雷达液态水路径反演高估的可能原因之一。最后, 提出了基于云特征的谱参数选择方案, 显著改进了云中液态水路径的反演结果。

不同资料同化对登陆台风菲特(2013)短时预报的影响研究——《气象》2017年第43卷第9期

为定量评估地面、探空、飞机报、卫星辐射亮温、雷达反射率及径向风等不同观测资料同化对台风预报性能的影响, 陈锋等以2013年严重影响我国的登陆台风菲特为例, 利用WRF模式与GSI-3DVAR同化系统开展观测系统试验(OSE)研究, 探讨了不同类型资料同化对“菲特”(2013)路径、强度、形势场和降水短时预报的相对贡献及可能影响机理。结果表明: 1) 不同类型资料同化对模拟结果贡献程度有明显差别, 其中探空、雷达反射率和飞机报对模拟结果有较大影响, 分别“拒绝”这三种资料后模式模拟的高空各要素均方根误差分别上升约54.8%~62.0%、9.2%~16.5%和6.1%~6.4%。2) 对于不同的台风预报效果评估参数, 各类资料的贡献率大小排序不同。对高空场和台风路径模拟影响较大的是探空和飞机报, 对台风强度模拟影响较大的依次是雷达径向风、反射率、探空和飞机报, 而对降水模拟影响较大的依次是雷达反射

率、探空和飞机报。3) 各类资料对降水模拟的贡献率随时间变化不同。雷达反射率资料对降水的贡献随着模式积分时间明显下降, 而飞机报、探空资料等对降水的贡献在模式积分3 h之后开始出现。4) 资料同化对降水模拟的改进与其对台风路径、水物质及强度模拟改进有关, 因此影响高空场、台风路径和强度较大的雷达反射率、探空和飞机报资料, 也是对降水模拟贡献较大的资料。

激光雷达反演边界层高度方法评估及其在北京的应用——《大气科学》2018年第42卷第2期

边界层高度是影响大气边界层发展和空气污染程度的重要因子, 是环境和气候研究的重要参数。李霞等利用激光雷达对北京地区2011年5月至2012年4月的边界层高度进行探测分析, 采用小波协方差方法反演边界层高度, 评估了该方法的适用性。得到基于小波协方差方法自动判断边界层高度的最优参数组合, 激光雷达与飞机探测结果对比一致性较好; 与探空结果相关系数0.88, 激光雷达反演的边界层高度略偏高。当激光雷达的垂直分辨率为30 m时, 更加适合北京地区的步长和阈值分别为210 m和0.05; 当激光雷达的垂直分辨率为15 m时, 步长和阈值分别为135 m和0.05。分析期间, 不同季节边界层高度日变化有明显的不同, 夏季14:00(北京时)左右达到最高, 较高的边界层高度可维持3~4 h, 平均可达1.30 km; 季较高边界层高度只能维持2 h左右, 平均为1.08 km。有云与无云天气边界层日变化特征以及边界层高度存在显著的差异, 云的存在减少了到达地面的直接辐射, 抑制了湍流的发展, 进一步抑制了边界层的发展; 文章也将激光雷达反演边界层高度结果应用于观测时期边界层高度与地面污染的关系研究中, 统计得到边界层高度与 $PM_{2.5}$ 浓度的相关系数为-0.340。

火箭弹下投探测台风气象参数新技术及初步试验——《科学通报》2017年第62卷第32期

与飞机探测台风的技术路线不同, 中国气象局上海台风研究所联合中国航天科工集团第四研究院, 历时3年完成了一种基于火箭弹的台风下投探测新技术的设计和研制。2015年10月3日23时00分(北京时), 首枚台风探测试验火箭弹在海南省万宁市试射成功, 6 min内即将携带的多枚下投式探空仪“精准”送入200 km之外的强台风“彩虹”内核区域。与车载GPS探空等资料的初步比对分析表明, 实时传回的火箭弹下投探测资料质量可靠。试验的成功, 为快速而精准地获取台风内部(不同区域、同时刻)精细结构特征提供了有效的直接观测手段, 也为实现基于预报的台风目标敏感性观测提供了新途径。

飞机气象探测资料(AMDAR)质量控制与质量分析——《气象》2017年第43卷第5期

江勤等基于NCEP的AMDAR质控方法, 建立了一套业务质量控制系统。选取2014年全球AMDAR资料对系统进行测试, 系统运行稳定, 并根据质控结果统计分析了AMDAR资料各质量类型演变及分布特征。主要结论如下: 1) 2014年全年平均逐小时剔除率为5.79%, 其中重复性报文占主要部分。2) 报文数量和报文质量均表现出明显的日变化特征, 重复性报文在报文数量密集时剔除率增加, 可疑数据和时空不一致性相反。3) 飞机报文质量在各个高度层表现出不同的特征, 质量问题主要出现在近地面层、动力调整高度和飞行状态转换及巡航高度。4) 经纬度阈值变化对重复报文剔除结果影响敏感度最高, 主要反映在中高层, 高度阈值影响表现在中低层。5) 剔除疑误报文后计算的全球平均温度呈现明显正异常, 风速负异常。

(以上由张萌选编)

编辑选编

编辑：张萌 侯美亨

土壤水分蒸发“机制”的起源——

The origin of soil moisture evaporation “regimes”. *Journal of Climate*, 2019, in press.

蒸发在确定夏季陆表温度变化方面起着极其重要的作用。观测表明，蒸发与土壤水分之间的关系通常符合Budyko（1961）的“两机制”框架：即干燥气候下，蒸发受到了可利用土壤水分的限制；湿润气候下，辐射限制了蒸发。因此，基于该框架，湿润和干旱地区的气候模式考虑了蒸发与土壤水分之间关系的不同参数化。美国华盛顿大学的Zeppetello等开发了简单陆气模式（SLAM）作为研究陆气相互作用的工具，特别是针对夏季温度变化。研究使用SLAM，表明蒸发和陆表温度之间的负反馈产生了两种表观蒸发“机制”，并为蒸发冷却异常提供了分析解决方案，证明了土壤湿度扰动的非线性影响。由于水汽压亏缺的温度依赖性，研究发现的反馈，对于湿润和干旱陆表之间的转换如何随着气候变暖而影响温度变化具有重要意义。研究还阐明了陆表水分和辐射扰动对潜热和显热通量以及陆表温度变化的影响。

融雪和生长季中前期降水导致了快速变暖时段亚洲北方针叶林南部的树木生长加快——

Snowmelt and early to mid - growing season water availability augment tree growth during rapid warming in southern Asian boreal forests. *Global Change Biology*, 2019, in press.

东北地区是我国升温最剧烈的地区之一。樟子松是我国东北地区重要的优势树种之一。然而，东北南部的樟子松呈现逐渐衰退的趋

势。研究气候变化下樟子松生长动态及其驱动机制是理解樟子松分布变动以及预测未来森林变动的重要基础。为此，河北农业大学的张先亮等通过树木年轮采样，系统分析了快速变暖背景下樟子松生长动态及其生长过程中水分来源的变化。研究发现，较高的温度在未升温时期（1958—1986年）对樟子松生长是负效应，而在快速升温时期（1987—2014年）是正效应。传统上认为，升温容易造成生理干旱，高温对生长是负效应，而未升温时候，高温减缓了低温限制，对生长具有正效应，但本研究推翻了这种观点。这主要是由于水分条件的限制而引起的。生长季前期的水分供给对于樟子松生长至关重要。在未升温时期，由于生长开始较晚，积雪融水已经蒸发，樟子松生长无法利用积雪融水，而温度升高导致生长季提前，樟子松生长在积雪融水未完全蒸发时期，从而使得樟子松生长可以利用积雪融水。因此，积雪融水在升温阶段成为生长季前期重要的水分来源。这种树木生长过程中生态因子变化的复杂性增大了很多树木生长预测模型的不确定性。

巴西东南部温度趋势的归因分析——

Attribution of detected temperature trends in southeast Brazil. *Geophysical Research Letters*, 2019, in press.

巴西东南部对巴西具有重要的经济意义，极易受到洪水和干旱等极端事件的影响，许多研究将这类事件与气候变化引起的温度升高联系起来。巴西圣保罗大学的Abreu等使用一种新的检测归因方法（Ribes等，2017）、并采用全球耦合模式比较计划第五阶段（CMIP5）的模式模拟，发现这种升温主要是由于温室气体造成。研究估算发现，温室气体对观测到的1955—2004

年的升温趋势（1.1 °C）的贡献为0.95~1.5 °C。同时，自然和非温室气体人为强迫对该时段内温度变化的影响很小。研究进一步使用集成地球系统模式评估了内部变率、观测误差和模式误差对气温变化的影响，发现大多数不确定性来自模式误差。

使用空间功能程序填补卫星图像中的缺失数据并平滑异常数据——

Filling missing data and smoothing altered data in satellite imagery with a spatial functional procedure. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2019, in press.

卫星数据中通常存在异常值和缺失数据，这些往往是由大气状况或传感器电子故障引起的，妨碍了基于遥感数据的正确监测。为了避免遥感数据失真，西班牙Navarra公立大学的Militino等提出了一种称为“空间功能预测”（spatial functional prediction, SFP）的程序。SFP程序包括以下内容：1）汇总遥感数据，以减少丢失数据和/或异常值的数量；2）将图像的时间序列分解为趋势，季节和误差分量；3）定义空间功能数据，并使用普通克里金法预测趋势分量；4）将季节和误差分量加回到预测的趋势。SFP程序的优点在以下案例中说明：在合成图像的模拟研究中引入随机异常值、随机缺失数据以及两者的混合和人为云场景，并使用真实云的日常图像。研究使用这种方法分析了以下两个遥感反演变量：2003—2016年西班牙北部地区的地表温度（LST）和归一化植被指数（NDVI）。使用均方根误差（RMSE）检查了SFP的性能，并与基于薄板样条（TpsP）的预测值进行了比较。研究发现，SFP比TpsP更简单、更快，并且具有更小的RMSE值。

（以上由侯美亨选编）

支撑“未来地球”计划的气候变化科学前沿问题 ——《科学通报》2019年第64卷第19期

工业革命以来，化石燃料燃烧造成全球气候变暖，导致冰川冰盖消融和海平面上升。减少碳排放、减缓气候变化是实现全球可持续发展所必须解决的问题，与此相关的政策和措施，事关全球环境保护和经济发展之间的平衡，需要科学界、决策者、产业界相互沟通、通力协作、共同行动才能实现。“未来地球”计划致力于通过加强自然科学和社会科学的沟通与合作，寻求和推广增强全球可持续发展能力的理念。本期《科学通报》封面图片展示了科学界、决策者和产业界在应对气候变化问题上的闭环式协作关系。科学界估算出温控目标所允许的碳排放空间，设计温室气体减排路径供决策者参考。决策者据此出台能源政策，推动产业界能源转型，促进绿色清洁能源技术开发。产业界向决策者提供碳排放清单，以评估政策的效果。同时，科学界加强科学普及工作，形成良好的社会舆论环境，保证新能源政策的顺利实施，实现碳减排和控制温升的目标。周天军等详细介绍了支撑“未来地球”计划的气候变化科学前沿问题；效存德等就冰冻圈功能及其服务衰退的级联风险、周原冰就全球能源互联网及关键技术、翟盘茂等就气候变化和城市可持续发展、钟爽等就气候变化的健康风险与卫生应对等方面问题进行了详尽阐述。



海洋对于旱半干旱区气候变化的影响 ——《中国科学（地球科学）》2019年第49卷第6期

干旱半干旱区约占全球陆地总面积的41%，由于增温显著、降水稀少，导致生态脆弱、生存环境恶化，对全球气候变化的响应相对敏感。海洋作为地球气候系统的重要调节器，在干旱半干旱区气候变化过程中发挥着至关重要的作用；尤其在现代气候变化，海洋活动对干旱半干旱区气候变率的影响不可忽视。管晓丹等回顾了近百年干旱半干旱地区的气候变化特征，总结了海洋活动对其变化影响的研究进展，重点归纳了太平洋年代际振荡（PDO）、大西洋年代际振荡（AMO）以及El Niño和La Niña等对干旱半干旱地区气候变化的影响；概述了不同海洋振荡因子协同影响干旱半干旱气候变化的机制。研究表明：全球干旱半干旱区在近百年表现出显著的强化增温现象，呈现出明显的年代际干湿变化特征；该变化特征与海洋年代际尺度振荡因子有密切关系，由于海洋振荡因子的不同位相组合显著改变海陆热力差，进而影响西风急流、行星波及阻塞频率，导致干旱半干旱区温度及干湿特征发生改变。随着干旱半干旱地区气候变化的加剧，未来的海洋活动变化对其影响将出现新的特征，这将增加干旱半干旱地区未来气候变化的不确定性，加剧干旱半干旱区对全球气候的影响。

极端天气的数值模式集合预报研究进展 ——《地球科学进展》2019年第34卷第7期

在气候变化背景下，极端天气事件（暴雨、高温热浪和低温冷害等）发生频次有不同程度增加的趋势，由极端事件造成的气象灾害也呈现增多趋势，因此开展极端天气的预报研究尤为重要。高丽等系

统性回顾了极端天气预报的主要方法、数值模式集合天气预报发展现状及其在极端天气预报中的应用情况以及集合概率预报的订正方法研究进展。目前，极端天气的预报以动力数值模式方法为主导，即以集合概率预报信息为主要依据的动力预报方法成为当前国际上极端天气业务预报的主流方法。基于数值模式集合预报的极端天气预报应用和依靠概率预报偏差订正来改进极端预报，是当前该领域研究的重要发展方向。在全面回顾的基础上，围绕如何发展有效方法提升极端事件识别和预报水平，进一步提出未来极端天气集合预报发展的几点建议。

持续性强降水的区域模式动力中期预报研究 ——《气象学报》2019年第77卷第1期

王东海等指出，持续性强降水及其次生灾害给人民的生产和生活造成严重影响，延伸其模式动力预报能力对防灾、减灾具有重要意义。随着对持续性强降水过程形成机理及模式动力中期预报认识的不断提高，以减小模式初始条件误差、边界条件误差以及内场预报误差为目标提出了一系列动力中期预报技术方法，主要包括：针对边界条件提出低通滤波技术方案，改进了5 d以上的环流及降水预报；针对模式预报内场进行谱逼近技术试验，对提前3~7 d的小雨以上量级的降水预报改进明显；针对初始条件进行多尺度混合更新初值技术预报试验，融合全球预报的大尺度场及区域模式预报的中小尺度场进行15 d预报，明显提高了50及100 mm以上的持续性累积降水预报时效。

（以上由张萌选编）

《大数据》
2019年6月

这本创刊时间不长但具有相当影响的科技期刊，本期以“中国人工智能”为主题，专刊刊载了关于非线性系统、电负荷预测等多个领域和该主题下中国学者的研究文章。



《全球海洋观测系统2030年战略》
2019年6月

1991年由联合国教科文组织、世界气象组织、联合国环境署和国际科联共同成立的全球海洋观测系统（GOOS），在成立的前10年致力于支持开展气候研究的海洋观测系统，2012年加入了海洋环境、海洋经济等要素后制定了海洋观测框架，该组织最新推出的这份战略，更是瞄准未来10年海洋观测，谋划更为丰富和针对多种科学问题的海洋观测系统。

《纽约杂志》
2019年5月

这本面向大众的期刊，用封面主题提示读者，包括林火在内的火灾季到来了。封面文章指出，全速燃烧的林火速度是每秒钟1英亩，更快的达到3英亩。每年夏天，加州应对火灾的预算是25亿元，预计到2050年，美国西部森林被大火烧毁的面积将至少翻倍，甚至4倍。



《全球和平指数
2019》
2019年6月

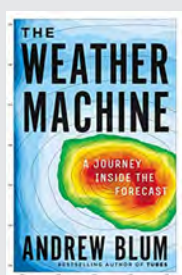
这本自2007年起每年由经济和和平研究所发表的报告，今年首次将气候变化作为因子，纳入对和平的分析中。报告用7个发现，论证了气候变化作为和平与安全的主要副影响。

媒体扫描 贾朋群 编辑

MEDIA SCAN

《可持续发展报告2019》
2019年7月

这份每年更新的系列报告，分3部分对全球可持续发展目标实现状况和机制进行了评述，其中在第一部分里，强调了实现这些目标的6个转变。



《天气机器》
2019年6月

现代天气预报出现百余年以来，已经融入了人们的日常生活。这本由新闻工作者完成的新书，正如副标题所言，用其独特的视角，深入当前强大能力的背后，探讨最近180年以来，人类预报天气能力的进步历程。

《美国科学院院刊》
2019年7月

优化风能生产是本期封面的主题，期刊工程栏目发表了美国学者针对风电场尾迹效应的研究论文，提出了利用尾迹方向控制的方法，使得风场效率提高了7%~13%，针对夜间选定的风向，变率降低了72%。



《地球物理评论》
2019年6月

这本地球科学界最权威的进展评述类期刊，在封面报道中介绍了中外学者针对地震衍生地质灾害链的研究成果。封面图为这一灾害链的形成机理。

Advances in Meteorological Science and Technology (Bimonthly)

Vol.9 No.4, August 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 Xiuqun, 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 Wang Bailin, Yang Jiachun, Guo Xiao/ Study of Meteorological Observation Technology Based on Stratospheric Airship
- 14 Wu Wei, Wu Yanfeng, Shang Liang, Zhang Yao, Duan Shijun, Wang Yadong/ Application of ZigBee Wireless Sensor Network in the TWP3 Wind Profile Radar System
- 18 Zheng Tiantian/ A Review on Economic Impact of Climate Change
- 22 Hu Yuewen, Qin Jie, Pei Xingyun, Niu Diyu, Ji Tingyan/ Analysis of Heavy Fog on Expressways of Guizhou Province in Early Spring of 2017
- 29 Yu Rong/ IPCC Author Team Selection, Author Duty and Organization
- 34 Qu Fang, Xiao Ziniu/ Assessment of the Impact of Climate Change on Human Health
- 48 Jia Pengqun, Zhang Dingyuan, Tian Xiaoyang/ WMO Addressed the UN Security Council on the Threats of Climate Change for the First Time
- 54 Wu Can/ Bibliometric Analyses of Top Scholars in Climate Change Study
- 56 Ren Guoyu, Chu Ziyang/ A Brief Introduction to the U.S. Climate Reference Network

Survey

- 2 Picture/ Number/ Ranking

Forum

- 62 Chen Dongdong, Guo Jianxia, Lin Lizheng, Gao Ruiquan, Zhang Ming, Wang Jiankai, Song Shuli/ Constructions and Developments of China Climatic Station
- 67 Lan Ping/ Retrospect and Prospect of Meteorological Archives Collection in the last 70 Years
- 70 Li Ping/ The Layout Design of *Meteorological Knowledge* as a Popular Science Journal
- 74 Zheng Zhibin, Chen Renfang, Li Guoliang/ Discussion on the Reform of Local Meteorological Operational Service System in the Information Age

Reading

Information

28/47 New Book

79 Selected Papers