

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发展。

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、山西东部 |
| 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。

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。

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

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.
 Vérémes 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

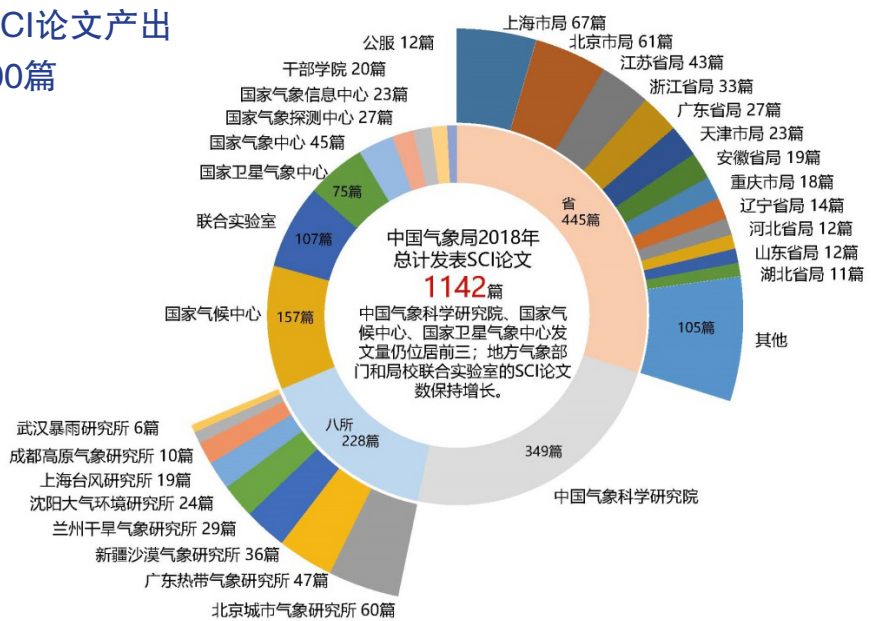


图1 中国气象局系统2018年发表SCI论文的机构分布

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。