

国家气候观象台建设的发展历程与几点思考

■ 徐安伦 李建

从目前建设的24个观象台分布来看,青藏高原与天山冰川水文观测区、敦煌沙漠陆面过程观测区和海洋综合观测区3个关键区没有建设观象台,这24个观象台组成的网络仍不能完全覆盖我国气候系统关键观测区。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.05.024

气候的形成是气候系统5个圈层(大气圈、水圈、岩石圈、冰冻圈和生物圈)相互作用的结果。要了解认识和气候、气候变化及其驱动因子,预测未来气候变化,必须将气候系统作为一个整体进行研究,而且首先应对气候系统各圈层及其之间的相互作用和反馈过程进行综合观测,特别是能量收支、水循环和碳循环过程。1992年,世界气象组织(WMO)、联合国教科文组织(UNESCO)的政府间海洋学委员会(IOC)、国际科学联盟理事会(ICSU)、联合国环境规划署(UNEP)共同发起并建立了全球气候观测系统(GCOS)。GCOS能够很好地获取气候相关问题的陆地、海洋和大气的综合观测信息并提供给用户,在IPCC评估报告以及气候相关研究和决策方面起到了重要的支撑作用。例如,GCOS发布的地球系统热储量评估报告指出,地球能量失衡不仅持续而且呈加速变化趋势,2010—2018年地球系统失衡热增量大约是1971—2018年的2倍。2002年,中国气候大会审议通过《中国气候观测系统计划》。2005年,GCOS-CHINA组织专家完成《中国气候观测系统实施方案》,规划了地基、空基、天基一体化的气候系统综合观测网,完善和建立一个满足气候和气候变化预测与服务需求的中国气候观测系统(CCOS),同时中国气象局首次提出建设国家气候观象台的目标。2006年,中国气象局启动国家气候观象台的试点建设,并于2018年在全国推广,建设10多年来取得了显著成效,为国家和地区应对气候变化、有效利用气候资源、服务生态文明建设、服务经济社会发展等都发挥着重要作用。本文主要对国家气候观象台的发展脉络进行了梳理,回顾了国家气候观象台的发展历程,以大理国家气候观象台为例,系统总结了10多年的试点建设成果,并

围绕站网设计、观测项目、资料应用、模式建立等方面提出了一些建议,为国家气候观象台的高质量可持续发展提供支撑。

1 全国国家气候观象台的发展历程

1.1 试点站建设阶段(2005—2017年)

2003—2004年,中国气象局牵头组织开展《中国气象事业发展战略研究》,指出了我国气象事业发展还存在综合观测能力不能满足实际需求、气象业务技术体制不完善等问题,提出了21世纪头20年要实现“建立一体化气象观测体系,构建气候系统观测平台”等四个战略目标,要开展“建设气象综合观测与信息工程”等八大重点项目。2005年,中国气象局在制定业务技术体制改革气象综合观测体系方案时,首次提出了要构建国家气候观象台、国家气象观测站、区域气象观测站(简称“三站”)以及形成国家气候监测网、国家天气观测网、国家专业气象观测网、区域气象观测网(简称“四网”)的站网布局调整,要从单一的大气圈层观测向气候系统各圈层及其相互作用的综合观测转变,以满足我国气候系统模式发展、气候预测预估、气候与气候变化应对等方面的需求。2006年,中国气象局监测网络司、中国气象科学研究院联合编制了《国家气候观象台观测系统功能设计》和《国家气候观象台试点建设实施方案》,完成了国家气候观象台建设实施的顶层设计。本着先试点、再逐步推开的原则,根据观测目标、下垫面代表性以及基础条件(如气候代表性好、观测资料历史序列完整、观测场地等基础条件成熟),中国气象局在不同气候关键区选取了5个观象台(内蒙古锡林浩特、甘肃张掖、安徽寿县、云南大理、广东电白)作为试

收稿日期:2021年1月4日;修回日期:2021年8月4日

第一作者:徐安伦(1981—),Email:xualun@126.com

通信作者:李建(1979—),Email:lij@cma.gov.cn

资助信息:中国气象科学研究院基本科研业务费重点项目(2020Z006);云南省气象局科研项目(YZ201910)

点站并启动建设,为国家气候观象台在全国布点、观测项目确定、场地和仪器布局、基础设施改造、观测环境保护提供样板和积累经验。2008年,中国气象局完成了5个试点观象台的中期评估。2011年,重点梳理和总结了锡林浩特和大理2个观象台在观测项目、观测规范、业务流程、规章制度、软件系统、资料分析应用等方面取得的成果。2017年,中国气象局出台的《综合气象观测业务发展规划(2016—2020年)》文件中,明确提出了要大力推进国家气候观象台建设的要求。

1.2 全国推广建设阶段(2018年至今)

2018年5月,中国气象局印发《气象观测站分类及命名规则》文件中,将气候观象台和大气本底站作为一个独立站类(综合观测站)命名,规定了气候观象台是对气候系统多圈层及其相互作用开展长期、连续、立体和综合观测,并承担气候系统资料分析及研究评估服务的地面气象站。2018年11月,中国气象局印发了《国家气候观象台建设指导意见》(以下简称《指导意见》),从总体要求、功能定位、布局设计、申报遴选、观测任务、组织管理、保障措施等方面对观象台建设进行了规范和指导,进一步加强了国家气候观象台建设的统筹规划和顶层设计。《指导意见》规划了十三五期间要在各气候系统关键观测区至少完成1个气候观象台遴选及相应能力建设,以及十四五期间要建成一批运行稳定、观测项目齐全、规范标准统一、数据质量达标的国家气候观象台的目标,提出了观象台一站(综合观测站)三平台(科学研究、开放合作、人才培养平台)的功能定位,明确了观象台主要承担7项基本观测任务(地面基准气候观测、高空观测、近地面/海面通量观测、基准辐射观测、地基遥感廓线观测、生态系统观测、大气成分观测)和5项拓展观测任务(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)。2019年1月,中国气象局组织专家评估和遴选,根据优先在我国气候系统16个关键观测区建设观象台的原则,在原来5个试点的基础上增选了19个观象台(图1),开始在全国范围内推广建设。24个观象台公布实施建设以来,中国气象局进一步强化顶层设计,完善管理和运行体制机制,稳步推进观象台的基础设施、研究型业务、气候系统多圈层观测能力等工作。观象台的功能定位逐步完善、更加准确,从2018年提出的“一站三平台”调整为“一站四平台”(增加了生态与气候服务平台功能);运行管理更加科学、高效,建立了“国家级指

导、省级管理、属地保障、团队运行”的前瞻性管理模式;建设目标更加明确、合理,成立了国家级和省级观象台科学指导委员会,并按照“一台一方向”“一台一方案”的发展思路,指导各地观象台凝练科学问题并编制印发2020—2025年建设发展方案。



图1 中国气象局24个国家气候观象台分布^①

2 大理国家气候观象台的发展现状

2.1 台站历史沿革

大理国家气候观象台依托大理市气象局而建。1939年成立中央气象局大理测候所,其成立公函是著名地理学家、气象学家竺可桢院士签发(图2a),1939年12月取得了首份地面观测月报表(图2b)。1950年成立大理气象站。1954年体制划归地方管理,改称大理县人民政府气象站。1984年体制改归中国气象局管理,更名为大理市气象站。1990年更名为大理市气象局。2006年成为中国气象局首批5个试点观象台之一。2018和2019年先后成功申报中国气象局大理山地气象野外科学试验基地、大理国家综合气象观测专项试验外场,是全国唯一一个学科方向为山地气象的野外基地。2019年经专家评估和择优遴选,列入中国气象局24个国家气候观象台名单。至今已积累了80多年的地面观测资料,2020年荣获中国百年气象站(七十五年)称号。大理国家气候观象台经过10多年的试点建设,围绕国家气候观象台“一站四平台”的功能定位,建成了一批先进的气象探测设备,实施了一系列的科研项目和外场观测试验,积累了大量宝贵的基本气候观测资料,搭建了研究型业务开放式创新平台,取得了一批原创性的研究成果,培养了一支优秀的青年人才队伍,在支撑气象业务系统建设、科技研发等方面发挥了积极的作用。

^① 叶珊杉. 探秘24个国家气候观象台的诞生前后. 中国气象局, 2019, <https://mp.weixin.qq.com/s/111xut9fOUPFxScvNi9xTw>.

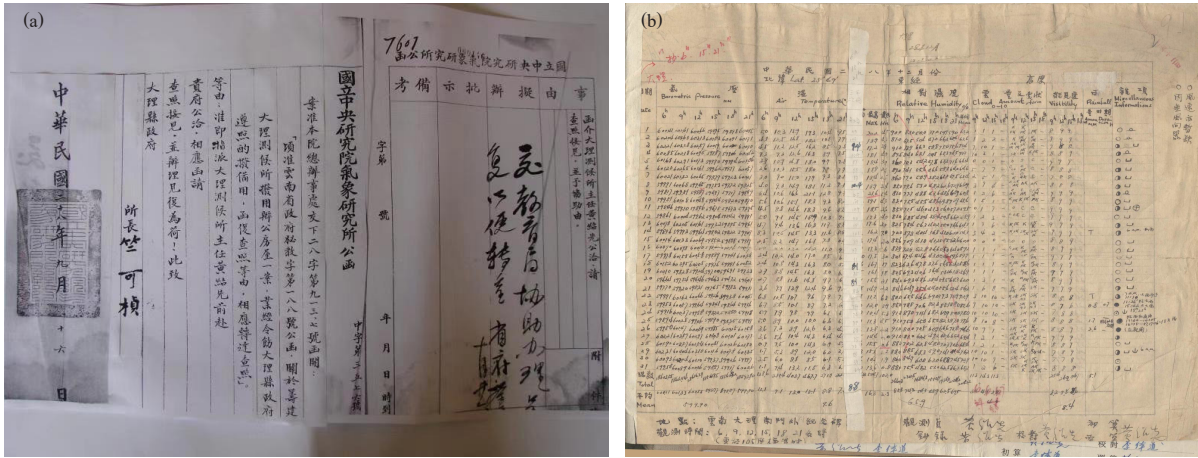


图2 中央气象局大理测候所成立公函 (a) 和首份地面观测月报表 (b)

2.2 “一站四平台”建设现状

2.2.1 气候系统多圈层综合观测站

大理苍山洱海位于青藏高原东南延伸区，属于我国西南水汽输送通道的关键区和青藏高原大气热源加热的敏感区(图3)，同时也是南亚和东亚季风的交汇区以及各类数值模式模拟和卫星遥感反演的难点地区。此区域所处地理位置独特、地形地貌复杂，其观测资料可代表3种尺度地形影响的结果，大尺度地形是青藏高原复杂地形，中等尺度是横断山脉南北向山地和狭长谷底地形，小尺度是苍山洱海局地复杂地形。因此，大理苍山洱海区域是开展气候系统多圈层陆/湖一气相互作用以及复杂山地气象综合观测和科学研究的天然场所。

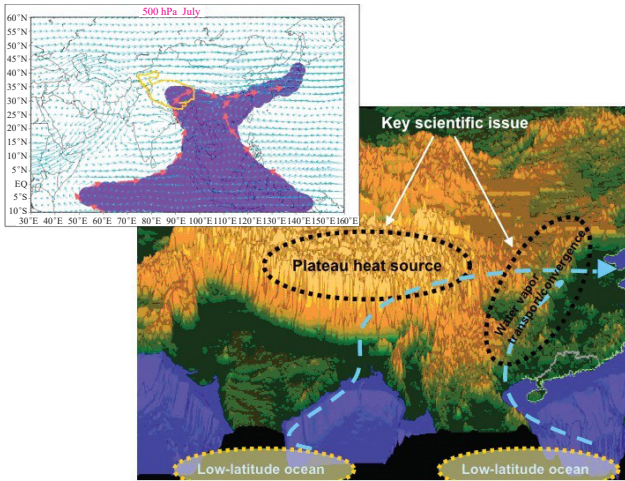


图3 青藏高原及其周边地区、邻近海洋的地形分布以及区域内的关键科学问题

目前，大理国家气候观象台以苍山洱海为青藏高原东南延伸区中小尺度复杂地形的典型代表，采用一台多点的布局，除长期稳定的基准气候和农业气象观测外，在洱海东岸、苍山山顶及其东西两侧不同海拔

高度建成典型山地气象剖面观测系统(观测要素包括气温、相对湿度、气压、风速风向、降水量、土壤湿度、土壤水分和辐射四分量)，在洱海北部、中部和南部近岸水域建成3套水上平台生态气象观测系统(观测要素包括气温、相对湿度、气压、风速风向、降水量、日照时数、光合有效辐射、辐射四分量、三维风速、超声虚温、 H_2O 和 CO_2 密度、动量、感热和潜热通量、 CO_2 和 CH_4 通量、水位、水温廓线、流速流向等，如图4所示)，环洱海周边布设17套六要素(气温、相对湿度、风速风向、气压、降水量)自动站，在苍山洱海东南区域建成多普勒天气雷达，在大理国家气候观象台观测试验场建成边界层风(温)廓线雷达、20 m边界层铁塔通量观测系统、地基GPS水汽监测系统、地面基准辐射站、双波长(红外波和微波)闪烁仪、闪电定位仪、大气电场仪、单点和区域尺度土壤水分自动观测系统等先进探测设备，组成了一个复杂地形环境下的山地气象综合观测体系(图5)，覆盖了从地面、水面到高空大气物理参数的立体、三维监测，能够获取长时间序列、千米级分辨率的山地气象资料。

2.2.2 科学研究平台

大理国家气候观象台作为观测基地和研究平台，助力中日气象灾害合作研究JICA项目(2006—2009年，该项目建设的边界层观测塔、风廓线仪和水面观测站分布如图6所示)、西南地区非绝热加热敏感区综合观测试验(2010—2013年)、青藏高原东缘对流云和水汽观测试验(2012年)、第三次青藏高原大气科学试验(2014年至今)、国家重点研发计划“面向强降水短临预报的模式评估和订正方法研究”(2018—2021年)、第二次青藏高原综合科学考察(2019年至今)等国家级科研项目和科学试验取得重要研究成果。此外，作

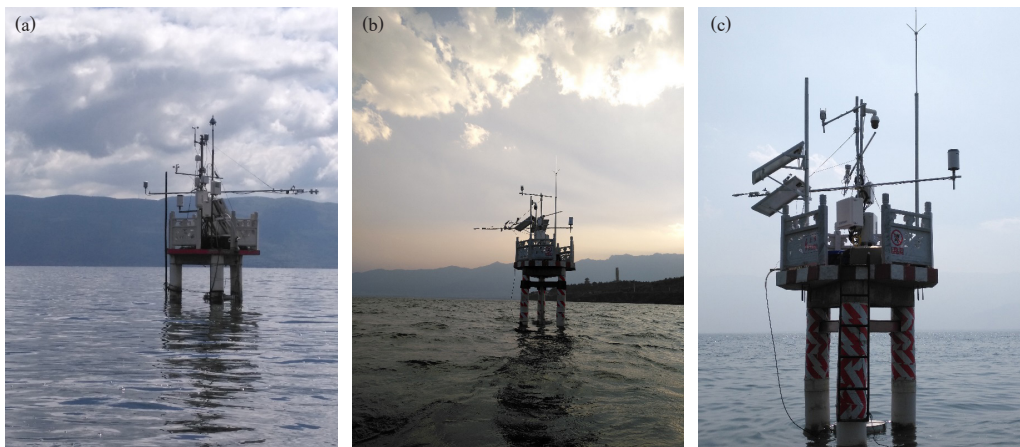


图4 洱海上水平台生态气象观测系统实物图

(a) 银桥南磻溪点, 代表洱海中部水域; (b) 海东向阳点, 代表洱海南部水域; (c) 挖色康廊点, 代表洱海北部水域

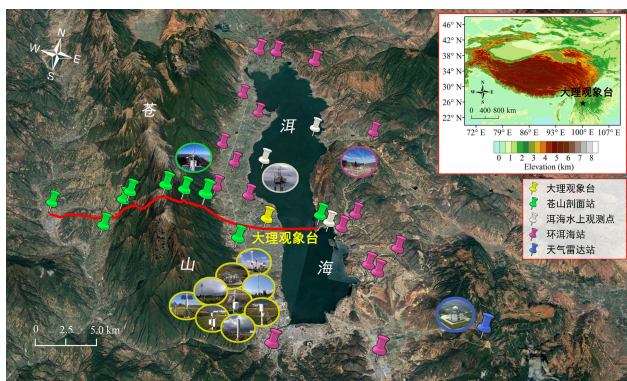


图5 大理国家气候观象台综合气象观测网

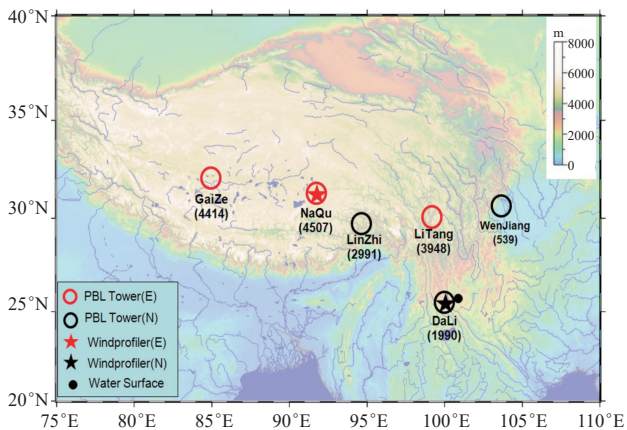


图6 中日气象灾害合作研究JICA项目建设的风廓线仪、边界层观测系统和水面观测站点分布

为研究型业务试点和科技创新平台, 将为中国气象局横断山区(低纬高原)灾害性天气研究中心解决复杂地形影响下云南天气预报的难点问题提供重要的科技支撑。

经过十多年的持续探索和发展, 大理国家气候观象台组建了学术委员会, 并梳理了清晰的研究思路

和主攻方向, 主要聚焦山地气象生态环境核心业务面临的科学问题以及围绕洱海保护治理气象保障服务需求开展观测试验和研究。目前主要有四个观测研究方向: 一是针对大理所代表的地形地貌特点(复杂地形、水体), 围绕复杂山地对大气影响的关键科学问题, 开展复杂地形区气象要素高时空分辨率监测及精细化特征研究, 揭示复杂山地天气气候变化规律及其形成机理。二是围绕青藏高原大气热源敏感区的核心科学问题, 开展非绝热加热监测及其对周边天气气候的影响研究, 揭示青藏高原东南延伸区地气相互作用过程及其对周边天气气候的影响。三是针对云南低纬高原地理位置特点, 围绕季风水汽输送关键区的核心科学问题, 开展西南季风水汽输送关键区水汽监测及其变化特征研究, 揭示水汽变化和水分循环对区域及下游地区的影响。四是针对大理及周边的陆地生态系统, 围绕生态文明建设气象保障服务需求, 开展区域生态气象监测及服务, 研究适合高原湖泊生态环境监测技术, 为生态文明建设气象保障服务提供技术支持。截止到2021年4月, 共发表学术论文76篇, 其中以大理国家气候观象台为第一署名单位发表50篇(SCI收录1篇, 中文核心27篇), 出版专著2部, 参编国家标准1项, 获得3项软件著作权, 许多成果在观测、预报、服务中得到了推广应用。

2.2.3 生态与气候服务平台

建设生态文明, 关系人民福祉, 关乎民族未来。2015年1月, 习近平总书记到大理考察时, 强调生态环境保护是一个长期任务, 要久久为功, 一定要把洱海保护好, 希望水更干净清澈, 让“苍山不墨千秋画、洱海无弦万古琴”的自然美景永驻人间。从2009—2020年连续12年的洱海水水质类别逐月变化趋

势来看(图7)^①,洱海水质在Ⅱ~Ⅲ类之间波动,干季(1—4月,次年11—12月)主要为Ⅱ类水质,雨季(5—10月)转为Ⅲ类水质,这表明洱海水环境变化受气候条件影响显著。洱海保护治理是系统性、综合性的复杂工程,需要大量的气象监测资料及其相关研究成果作为基础支撑。为满足这一重大服务需求,大理国家气候观象台2008年、2020年先后建设3套洱海水上平台生态气象观测系统,组成辐射洱海南、中、北部以及东、西岸的气象和水环境综合观测网,同时开展气象条件对洱海水环境的影响等研究型业务工作。

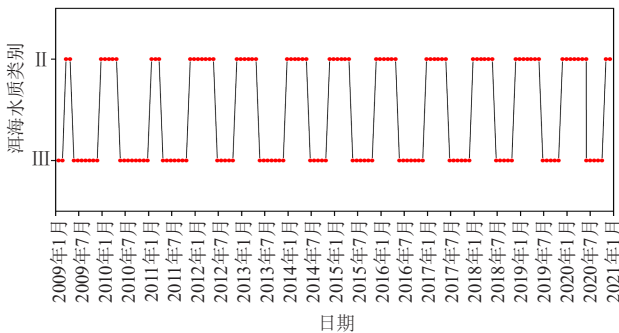


图7 2009—2020年洱海水质类别的逐月变化

2.2.4 开放合作平台

从2006年建台开始,大理国家气候观象台始终秉持“立足云南、面向全国、跻身世界,带领跨越式发展”的发展理念,以开放的姿态,敞开的胸怀,加强合作交流。据不完全统计,先后有200多位省内外气象部门的各级领导到大理就观象台的功能设计、科学问题、管理体制、观测项目、合作研究、人才培养、发展思路、研究型业务等进行深入交流和探讨,100多位国内外著名专家学者到大理调研指导并开展学术交流。面向国家和地方的重大需求,始终秉持“开放共享、联合共建、协同创新”的思想,充分发挥资源优势,与中国气象科学研究院、中国科学院大气物理研究所等机构合作开展了联合观测试验,共享观测资料,并在相关领域联合开展攻关研究、成果转化应用、人才培养等工作。目前,与世界气象组织南京区域培训中心、南京信息工程大学、成都信息工程大学、云南大学、大理农林职业技术学院等共建实习基地。

2.2.5 人才培养平台

打造一支精英团队是大理国家气候观象台建设的重中之重。建台初期就通过“输血”和“换血”两种方式,提高业务人员的综合素质,学历层次从原来的最高学历本科到现在的硕士4人,职称层次从原来的最高职称工程师到现在的副高级工程师3人,地方编

制从原来没有到现在的2人。随着观象台的建设和发展,通过项目合作、专家带动、自身努力,不断提升业务人员的综合能力和水平,获得全国气象工作先进单位等荣誉称号,多人在中国气象局、云南省气象局业务竞赛以及科技论文评选中获奖,涌现出了青年气象英才、全国优秀青年气象科技工作者、全国气象行业技术能手、云南省三八红旗手、云南省五一巾帼标兵等一批优秀青年人才。同时,联合中国气象科学研究院、云南省气象科学研究所、云南省气象台等单位组建了相对稳定、充满活力的科研创新团队,就复杂山地气象相关的科学问题合作开展野外观测和科学研究。

3 全国国家气候观象台的建设思考

3.1 整合现有资源,优化站网的空间和要素布局

国家气候观象台是地面观测层次中级别最高、实力最强的综合观测站,其重要性不言而喻。从目前建设的24个观象台分布(表1)来看,青藏高原与天山冰川水文观测区、敦煌沙漠陆面过程观测区和海洋综合观测区3个关键区没有建设观象台,南海海气综合观测区建设的观象台最多(5个),其次是洞庭、鄱阳两湖平原湖河综合观测区(3个),青藏高原大气水分循环与生态环境综合观测区等4个关键区有2个,其余关键观测区均建设1个。总体而言,这24个观象台组成的网络仍不能完全覆盖我国气候系统关键观测区。在观象台站网设计方面,建议综合考虑观象台分布现状、区域代表性,整合现有资源,避免与大气本底站(表1)所在位置重复建设,优化站网的空间布局,在一些空白观测区增加观象台的建设。建议统筹协调各省、自治区、直辖市的资源,充分发挥区域优势,在省级气象部门所辖区内至少建设1个观象台,可考虑在新疆、青海、藏北、贵州、重庆、湖北、陕西、山西、吉林等地适当增加观象台的布点,更全面地覆盖我国气候系统关键区。

现有观象台在后续发展中,要深入评估所代表气候区域的监测状况,包括各类已有站点对气候系统的监测情况,重点关注亟需补充的观测项目,以期尽可能地全面掌握各圈层状况及不同圈层间的物质和能量交换信息。

3.2 规范观测项目,提升观测能力

基本气候变量是一种物理、化学、生物变量,或者是一组对地球气候有重要贡献的变量。从全国各地气候观象台的观测现状来看,仪器设备、观测项目、数据产品、质量控制等基本根据各地需求而开展或者依托科研项目而建设,没有统一标准,不利于资料共

^① 云南省生态环境厅. 九大高原湖泊水质监测月报. <http://sthjt.yn.gov.cn/hjzl/9dgyhpsjjcyb/>.

表1 我国气候系统关键观测区建设的气候观象台和大气本底站

序号	气候系统关键观测区	已建气候观象台	已建大气本底站
1	青藏高原大气水分循环与生态环境综合观测区	2个(日喀则、墨脱国家气候观象台)	
2	青藏高原与天山冰川水文观测区		1个(阿克达拉大气本底站)
3	锡林郭勒草原观测区	1个(锡林浩特国家气候观象台)	
4	敦煌沙漠陆面过程观测区		
5	东北森林与松嫩平原生态综合观测区	1个(五营国家气候观象台)	1个(龙凤山大气本底站)
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	1个(大理国家气候观象台)	1个(香格里拉大气本底站)
7	黄淮农田生态综合观测区	2个(寿县、安阳国家气候观象台)	
8	洞庭、鄱阳两湖平原河湖综合观测区	3个(武夷山、南昌、岳阳国家气候观象台)	1个(金沙大气本底站)
9	青海瓦里关大气本底和三江源生态观测区	2个(张掖、威武国家气候观象台)	1个(瓦里关大气本底站)
10	首都经济圈环境综合观测区	1个(饶阳国家气候观象台)	1个(上甸子大气本底站)
11	长江三角洲经济圈环境综合观测区	1个(金坛国家气候观象台)	1个(临安大气本底站)
12	珠江三角洲经济圈环境综合观测区	1个(深圳国家气候观象台)	
13	四川盆地环境综合观测区	1个(温江国家气候观象台)	
14	环渤海陆—海—气综合观测区	2个(盘锦、长岛国家气候观象台)	
15	南海海气综合观测区	5个(电白、北海、三亚、西沙、南沙国家气候观象台)	
16	海洋综合观测区		
17	河套生态综合观测区	1个(呼和浩特国家气候观象台)	

享和推广应用,也不利于充分发挥观测项目的建设效益。国家气候观象台的观测项目,可参考GCOS指定的54个基本气候变量(表2)来开展,实现对气候系统乃至地球系统的长期、连续、立体、稳定、规范的综合观测,满足国家和地区的重大战略需求(如国家实现“碳达峰”“碳中和”目标等),同时与国际上建设的GCOS接轨。建议制定观象台相关业务流程和标准,规范观测项目、设备型号、安装维护、运行监控、数据格式、质量控制、信息传输等内容,构建统一的设备监控以及数据存储、管理、共享平台,形成稳定运行的观测业务,实时输出标准化的观测产品,真正提升气候系统多圈层的综合观测业务能力和水平。

表2 全球气候观测系统规定的基本气候变量

领域	基本气候变量
大气	地面 降水、气压、辐射收支、温度、水汽、风速风向
	高空 地球辐射收支、闪电、温度、水汽、风速风向
	大气成分 气溶胶、CO ₂ 、CH ₄ 和其他温室气体、云、臭氧、气溶胶和臭氧的前体物
陆地	水圈 地下水、湖泊、河流流量
	冰雪圈 冰川、冰盖和冰架、冻土、积雪
	生物圈 地上生物量、反照率、陆面蒸发、火灾、吸收光合有效辐射吸收比例、土地覆盖、陆地表面温度、叶面积指数、土壤碳、土壤湿度
	人类圈 人为温室气体通量、人为用水
海洋	物理 海面热通量、海冰、海平面、海况、表层海流、海洋表层盐度、海面应力、海洋表层温度、次表层海流、海洋次表层盐度、海洋次表层温度
	生物地球化学 无机碳、N ₂ O、营养物、海色、氧、瞬变示踪物
	生物 海洋栖息地、浮游生物

3.3 提高数据质量,强化数据应用

观测数据的质量直接影响到分析结论的可信度。

国家气候观象台开展的许多观测都是通过非常规手段来进行,需要积累观测经验,加强数据处理技术和质量控制方法研究,逐步完善设备安装、日常维护、数据采集、质量控制等全程规范化的观测业务,不断提高观测数据质量,同时强化观测数据的分析应用,充分发挥仪器设备的建设效益。

3.4 建立统一的观象台数值模拟系统

以大理国家气候观象台为例,该观象台聚焦复杂地形影响问题,将外场观测与数值模式紧密结合,利用公里级观测支撑百米级模拟,实现了大理区域的大涡模型构建,提出了大理苍山洱海区域大气流场概念模型图(图8),初步揭示了大理“风花雪月”中“风”的形成机理。考虑到当前各地观象台的实际情况,建议依托国家级科研单位,组织多方力量,为观象台建立局地高分辨率数值模拟系统,实现观测与模拟间的良性互动。观象台数值模拟系统应包含不同复杂程度

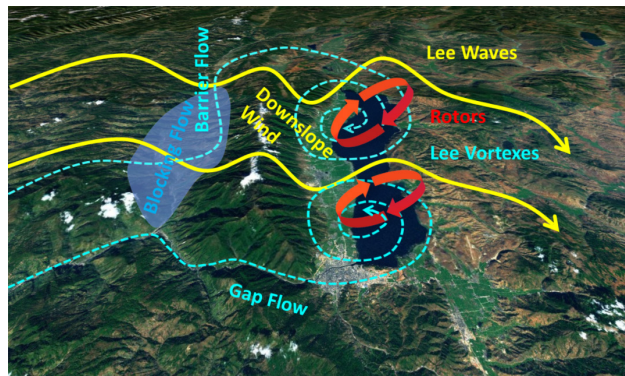


图8 大理苍山洱海区域流场概念模型示意图

的数值模式，从仅考虑关键过程的简化模式到完备的包含主要地球系统过程的复杂模式，真正把观象台打造成迈入地球系统科学的先锋。

3.5 强化区域关联，构建观象台网络

逐步形成观象台网络，将单独台站的发展方式转变为区域协同发展，推进观象台整体业务流程的规范化建设，在保持和进一步突出各地观象台特色的

同时，发挥观象台整体网络对地球系统科学的促进作用。

3.6 强调问题导向，强化科研属性

瞄准所在区域天气气候业务中的难点问题，面对业务难题时，观象台应更强调对问题的科学理解，针对性设计观测试验，开展科学研究，为所在区域的科研工作提供精耕细作的示范和标杆，实现以点带面。

深入阅读

陈冬冬, 郭建侠, 林立铮, 等, 2019. 我国气候观象台的现状与发展思考. 气象科技进展, 9(4): 62-66.

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.

丁一汇, 2010. 气候变化. 北京: 气象出版社.

官莉, 谭桂荣, 2007. 中国气象局业务技术体制改革简介. 气象教育与科技, 30(2): 1-4.

秦大河, 孙鸿烈, 苏枢, 等, 2005. 2005—2020年中国气象事业发展战略. 地球科学进展, 20(3): 268-274.

施晓晖, 2014. 青藏高原东缘对流云和水汽观测试验简介. 气象科技进展, 4(5): 48-52.

王绍武, 2011. 从“气候”到“全球气候系统”概念的发展. 气象科技进展, 1(3): 28-30.

徐安伦, 李建, 孙绩华, 等, 2013. 青藏高原东南缘大理地区近地层微气象特征及能量交换分析. 高原气象, 32(1): 9-22.

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.

薛海乐, 2021. 复杂地形对大理地区风场的影响研究—兼论观测、理论和数值模拟配合解答科学问题. 气象科技进展, 11(1): 4-6, 72.

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.

杨志彪, 何菊, 杨晓武, 等, 2019. 气象观测站分类及命名规则. 北京: 气象出版社.

叶珊珊, 杨晓武, 2019. 24个国家气候观象台名单公布. 中国气象报, 2019-02-15[1].

张宏伟, 2018. 我国在气候系统关键区建设国家气候观象台. 中国气象报, 2018-11-12[1].

张人禾, 2006. 气候观测系统及其相关的关键问题. 应用气象学报, 17(6): 705-710.

张人禾, 徐祥德, 2008. 中国气候观测系统. 北京: 气象出版社.

Bojinski S, Verstraete M, Peterson T C, et al, 2014. The concept of essential climate variables in support of climate research,

applications, and policy. Bulletin of the American Meteorological Society, 95(9): 1431-1443.

Houghton J, Townshend J, Dawson K, et al, 2012. The GCOS at 20 years: the origin, achievement and future development of the Global Climate Observing System. Weather, 67(9): 227-235.

von Schuckmann K, Cheng L J, Palmer M D, et al, 2020. Heat stored in the Earth system: where does the energy go? Earth System Science Data, 12: 2013-2041.

Xu A L, Li J, 2020. An overview of the integrated meteorological observations in complex terrain region at Dali National Climate Observatory, China. Atmosphere, 11: 279.

Xu X D, Zhang R H, Koike T, et al, 2008. A new integrated observational system over the Tibetan Plateau. Bulletin of the American Meteorological Society, 89(10): 1492-1496.

Xue H L, Li J, Qian T T, et al, 2020. A 100-m-scale modeling study of a gale event on the lee side of a long narrow mountain. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 59(1): 23-45.

Zhao P, Li Y Q, Guo X L, et al, 2019. The Tibetan Plateau surface-atmosphere coupling system and its weather and climate effects: The Third Tibetan Plateau Atmospheric Science Experiment. Journal of Meteorological Research, 33: 375-399.

Zhao P, Xu X D, Chen F, et al, 2018. The third atmospheric scientific experiment for understanding the earth-atmosphere coupled system over the Tibetan Plateau and its effects. Bulletin of the American Meteorological Society, 99(4): 757-776.

Zhang R H, Koike T, Xu X D, et al, 2012. A China-Japan cooperative JICA atmospheric observing network over the Tibetan Plateau (JICA/Tibet Project): an overview. Journal of the Meteorological Society of Japan, 90C: 1-16.

(作者单位: 徐安伦, 大理国家气候观象台、中国气象局大理山地气象野外科学试验基地; 李建, 中国气象科学研究院、中国气象局大理山地气象野外科学试验基地)

(from back cover)

107 Ji Xiang, Chen Xi, Zhang Jianlei, Huang Bin, Li Yingchong/ Research and Practice of Standard System of Meteorological Instruments and Observation Methods

111 Wu Dongli/ Reflections on the Construction of CMA Eco-meteorological Observation Station Network

115 Zhu Linling, Guo Jianguang, Zhang Jianlei, Li Yingchong, Dun Jinping, Lü Jingtian, Yu Chao, Zhao Mingxian, Ye Qian/ Quality Supervision and Inspection of Space Weather Service Based on PDCA Cycle

120 Yang Xiaowu, Lin Xuejiao, Zhang Nan, Shi Lijuan, Pei Chong/ The Latest Development of the World Meteorological Organization (WMO) Global Integrated Observing System (WIGOS)

127 Wang Bolin, Bai Hai, Chen Dongdong, Wang Yanchao, Zhang Xiaofeng/ Development of Vaisala Finland and Its Enlightenment

164 Xu Anlun, Li Jian/ Development Course and New Considerations on the Establishment of National Climate Observatories in China

171 Cheng Lei, Zhang Yong, Wang Zhe, Zhang Kuo, Zhou Qing/ Analysis and Inspiration on the Methods Used in Meteorological

Strategy Research

Reading

177 Yu Dan, Tang Wei/ Interview of Participating Teams in 2022 Jiangsu Meteorological AI Algorithm Challenge: Opportunities and Challenges of Mass Innovation Mechanism for Meteorological Young Talents

180 Zhong Qi/ Unique Contest Mechanism in AI Field Empowers Smart Meteorology

Inside Back Cover Jia Pengqun, Zhang Meng/ Review on Toward the “Perfect” Weather Warning: Another Kind of Perfection Counts More

History

181 Chen Yiling, Li Changjun, Liu Zhaohui, Zhou Xiaotian, Zhou Yuling/ Exploration of Jinan Climate Observation Station in Shandong Province during the Period of the Republic of China