

中国气象局生态气象观测站网建设思考

■ 吴东丽

围绕全国重要生态系统保护和修复重大工程建设气象保障服务需求，中国气象局拟建立天、空、地一体化生态气象观测站网，实现各部门共建共享，尽快提升我国生态气象保障服务能力，推进生态气象科学研究水平和国际影响力。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.05.016

随着社会、经济的快速发展和人口的不断增加，人类面临的生态环境问题日益突出，如耕地减少且质量下降、水土流失和荒漠化加剧、流域生态失衡、森林覆被率低、湿地萎缩、草地退化、城市污染、海洋生物资源退化、酸雨增加、沙尘暴和地质灾害频发、生物多样性下降等。特别是以气候变暖为标志的全球环境变化，进一步加剧了人类面临的生态环境危机。为确保人类经济社会的可持续发展，改善人类社会面临的生态环境问题，生态与环境保护、修复和改善的任务更加繁重。这对现有气象观测网站及其服务的内容、范围和服务提出了新的要求。正是在这一背景下，生态气象观测、研究与业务服务应运而生。

近年来，国际上已经开展了与生态系统有关的许多观测，建立了诸如全球气候观测系统(GCOS)、全球海洋观测系统(GOOS)、全球陆地观测系统(GTOS)及国际长期生态学研究网络(ILTER)，还制定了国际生物学计划(IBP)、生物多样性计划(DIVERSITAS)、全球陆地计划(GLP)、欧亚地球科学伙伴计划(NEESPI)等，开展了国际生物气象研究(BIO-METEOROLOGY)、陆地生态系统与大气过程集成研究(iLEAPS)等。随着这些观测项目和计划的推进，许多国家相继建立了生态系统监测与研究网络，结合项目和计划的实施，逐步加深对全球及区域生态问题的认识。同时，生态气象工作更加重视生态变化对天气气候的影响研究，通过对生态系统下垫面状况的观测并引入气候系统模式，进一步认识下垫面状况对气候系统模式的影响，以提高天气气候预测预报准确率。在国内，陆地生态系统观测已经开展多年。中国科学院建立了中国生态系统研究网络(CERN)，共有36个生态试验站，分布在全国主要生态系统类型代表区域；林业部门建立了中国森林生态系统研究网络(CFERN)；国家环保总局、水利部、

农业部、国家海洋局、国土资源部等部门也根据业务服务需求，建立了各自的监测站网，并制定了相应的观测规范。

中国气象局根据业务、科研发展需要，建立了地面、高空气象观测体系，并在原有的农业气象服务业务基础上，以遥感为主要手段，开展了包括农业、灾害、资源、生态、环境等多个领域的监测与评估服务；同时，生态气象观测逐步得到重视和加强，相关的观测规范、标准和指标体系也逐步建立，生态气象观测业务逐步形成。依托生态气象观测体系，开展了基于国家安全和可持续发展的中国气候与环境演变科学评估、气候变化国家评估、中国西部气候生态环境演变分析与评估、中国西部生态系统综合评估项目(MAWEC)等，在生态气象领域取得了诸多原创性成果，有力地推动了生态气象观测和研究工作与国家战略和区域需求的全面接轨。

2017年以来，围绕党中央、国务院关于生态文明建设方面的系列重大决策，中国气象局先后出台了《“十三五”生态文明建设气象保障规划》和《关于加强生态文明建设气象保障服务工作的意见》，编制了《生态文明建设气象保障服务工程项目可行性研究报告》和《重点生态功能区生态修复工程气象服务能力建设实施方案》，相关建设内容已经列入国家发展与改革委员会《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2019—2035年)》和自然资源部《重点生态功能区生态修复工程实施方案(2019—2021年)》。通过强化顶层设计，近两年中国气象局生态气象业务能力迅速增强，建立了生态气象地面自动观测示范站和基于卫星，特别是国产风云卫星(FY)的长序列可比遥感资料序列，发展了植被生态质量监测评价、重大气象灾害影响评估、生态文明绩效考核气象条件贡献率评价、气候生产潜力评估、气候生态宜居评估等

收稿日期：2022年3月1日；修回日期：2022年8月29日

作者：吴东丽，Email: wudongli666@126.com

技术方法、指标和业务产品，初步形成了以陆地植被生态质量为主、聚焦重点区域生态问题、提升气象保障服务能力的生态气象监测评估业务体系，并在国家层面发布年度《全国生态气象公报》，每年为国家发改委提供下一年度天气气候及其对生态安全影响预估报告，定期为国家林草局、农业农村部等提供草地生态气象动态监测预测服务产品，31个省（区、市）气象部门也制作发布《生态气象公报与遥感年报》，为各级政府和有关部门开展重大生态保护和修复工程提供气象服务支撑。

2021年是“十四五”的开局之年。为进一步深入贯彻习近平总书记对气象工作的重要指示精神，全面贯彻党的十九大精神和党中央、国务院关于推进生态文明建设的重大战略部署，中国气象局生态气象观测体系建设应坚持人与自然和谐共生的原则，聚焦全国重要生态系统保护和修复重大工程建设气象保障服务需求，加强对气象部门生态气象观测站网布局的指导，推动全国生态气象观测站网建设，提升生态文明建设气象保障服务能力。

生态气象观测的总体目标应围绕国家推进生态文明建设、解决突出生态环境问题对气象观测基础资料和服务的迫切需求，按照气象业务技术体制重点改革的意见要求，针对薄弱环节和突出问题，强化顶层设计和核心技术攻关，坚持集约、协同、特色、高效发展的需求，建立面向需求、国省协同、点面结合的生态气象业务服务体系，科学谋划布局，形成发展方向相对集中和稳定、结构更加优化、专业特色更加鲜明、行业优势更加突出的总体业务体系，为“十四五”全面提升生态文明建设气象保障服务能力奠定基础。

“十四五”期间，生态气象观测体系建设的重点是：依托气象综合监测网络、多源卫星遥感等监测手段，重点完善现有气象综合观测站网，按照“一站多用、一网多能，整合资源、适当新建，统筹布局、分区施策”的原则，在中国“两屏三带”国家重点生态功能区、生态保护红线、自然保护地等重点区域，针对各类生态系统以及气候变化敏感区的观测需求，建立以气候观象台和大气本底站为核心，以基准气候站和卫星遥感校验站为骨干，以基本气象站、应用气象观测站和其他气象观测站为辅助，形成天、空、地一体化生态气象综合立体观测体系。各区域协调推进生态气象观测站网建设，不断完善站网布局，增强生态气象综合观测能力，构建布局合理、定位准确、层次分明、设备先进、功能完备的生态气象观测站网，实现对重点生态功能区、生态保护红线、自然保护地、

国家公园、国家禁止开发区、农产品主产区、重点开发区和优化开发区等重点区域的定位、实时、连续观测，为国家战略实施和生态文明建设提供有力支撑。

1 生态气象观测站网设计

生态气象观测站网的设计拟包括地面多要素观测站网、空基观测与遥感调查、天基观测与卫星遥感监测3个部分。

1.1 地面多要素观测站网

以提升重点生态功能区的植被气象环境和土壤水分自动连续观测能力为目标，依据站址已建性、站点多用性、数据连续性和人员技术性原则，充分发挥气象部门现有观测站网优势。以现有的国家气候观象台、全国农业气象观测站作为地面观测站网的主体，在重点生态环境恢复治理区补充新建生态气象观测站；按照重点生态功能区加密观测、站点功能改造升级等原则，组建青藏高原、黄河重点生态区、长江重点生态区、东北森林带、北方防沙带、南方丘陵山地带、海岸带、自然保护区、国家公园和粮食主产区等重点生态功能区为节点的生态气象自动观测网，根据各区域生态保护和修复的需求具体确定观测内容，包括根据不同下垫面类型和实际服务需求，部署不同的梯度通量观测、辐射观测、植被生态气象自动观测、大气成分和卫星校验地面观测等设备，形成生态气象观测站、应用气象观测站和若干野外观测点的分级观测体系，生态气象观测站兼顾自动观测和人工观测两种手段，应用气象观测站和野外观测点以自动化观测为基本手段。全部站网布局中，兼顾青藏高原重点区域和山地、湿地、森林、农田、草原、湖泊、荒漠、城市等类型。

在青藏高原生态屏障区，加强青藏高原冰川冻土、陆-气过程观测，建成由气候观象台、大气本底站、基准气候站、卫星遥感校验站、基本气象站、国家气象观测站、农业气象观测站、应用气象观测站和其他气象观测站组成的综合观测系统，开展典型生态系统的基础气象、植被、土壤、物候、通量等监测，初步形成覆盖全区域的梯度通量观测网，建立与气象观测资料相匹配的长序列、高精度、可对比的通量、植被、土壤等观测资料，为完善高原生态气象模型、开展高原生态气象监测评估和预警预报提供基础资料和验证数据，在深入认识气候变化背景下高原生态系统的响应机制方面发挥基础性和决定性作用。

在重点生态功能区，布设区域土壤水分观测设备，实现区域土壤水分的定位观测。通过安装的自动土壤水分观测仪，实现土壤环境（0~100 cm范围内

共8层土壤体积含水量、相对湿度、重量含水量、有效水分贮存量及地温)的自动观测。充分发挥土壤水分观测设备无污染、连续、被动、非接触式原位测量和区域代表性强的特点,填补点测量法和遥感测量法之间的尺度空缺,并为遥感反演土壤含水量提供匹配像元尺度的地面验证。土壤水分观测设备可固定或移动测量,能在野外长时间连续自动测量;对土壤盐度、体积密度、质地和表面粗糙度不敏感,可穿透植被和冰雪覆盖,可测量固态水,拓展测量雪深及生物量。掌握土壤水分变化规律对重点生态功能区内的干旱监测、农业生产、生态环境监测预测服务具有重要的意义。

在黄河重点生态区(含黄土高原生态屏障)和长江重点生态区(含川滇生态屏障),建成由气候观象台、大气本底站、基准气候站、卫星遥感校验站、基本气象站、国家气象观测站、农业气象观测站、应用气象观测站和其他气象观测站组成的综合观测系统,增加陆-气通量(能量、水、碳、动量、臭氧)、碳水同位素、物候等观测要素,重点开展黄河、长江中下游典型生态系统的气象、物候动态、土壤理化性质监测。完善物候遥感识别方法,对物候现象采用统一的观测标准和数据管理模式进行处理,将物候观测与相关自动气象记录仪的观测数据结合起来,通过物候动态观测和土壤理化性质监测分析,更精准地把握气候变化对生物物候影响的方式和程度,并为区域碳收支精确评估、作物生长模型的构建以及作物灾损评估提供基础数据和支撑。

在东北森林带和北方防沙带加强植被-大气相互作用动态过程观测,建成气候观象台、大气本底站、基准气候站、卫星遥感校验站、基本气象站、国家气象观测站、应用气象观测站和其他气象观测站组成的观测系统,开展典型生态系统碳水通量、植被长势、温湿垂直廓线等观测要素监测,开展气象灾害、气候变化对典型生态系统能量流动和物质循环过程的监测。利用生态气象自动观测设备,实现长序列、多样性、大范围植被生态气象环境数据的自动化观测,为植被长势的定量化自动观测、植被生态气象灾害预警、生态模型的构建、气候模式的改进和提高提供基础资料和验证数据。

在南方丘陵山地带和海岸带生态区建成由气候观象台、大气本底站、基准气候站、卫星遥感校验站、基本气象站、国家气象观测站、应用气象观测站和其他气象观测站组成的综合观测系统。在具有垂直气候带的山脉布设梯度气候监测系统,开展常规气象要素、植被环境、碳通量等地面监测,通过安装的小

气候自动观测仪,实现气象环境(降水、空气温湿度、风向、风速、气压、总辐射、紫外辐射和冠层红外温度)的自动观测;通过涡度相关法进行通量观测,包括碳交换量、感热通量、潜热通量,为分析生长季生态系统的能量消耗与气象要素、土壤、生物之间的关系提供基础数据。

在生物多样性保护功能区重点开展气温、降水、植被覆盖度、群落调查、生产力等植被气象环境要素监测;在水源涵养功能区重点开展植被、降水、地表径流、蒸发量等要素监测;在地质灾害易发山区,针对滑坡、崩塌、泥石流等灾害,结合地质灾害发育特征,利用卫星、无人机、天气雷达等技术,开展地质灾害气象条件自动监测。

在粮食主产区改建增加植被生态气象自动观测设备。植被生态气象自动观测设备可以实现农田生态系统气象环境要素观测、耕作制度观测、作物种植面积观测、主要作物生育期动态观测、主要作物叶面积与生物量动态观测、主要作物收获期植株性状观测、作物产量观测等,并加强作物品质、农田养分、面源污染等方面的生态气象观测。通过布设植被生态气象观测仪,进一步提高植被生态气象观测能力,获取的植被生长资料对及时掌握植被生长状况、科学评估气象因子对生态环境影响以及提高卫星遥感应用的解译精度与验证能力具有重要意义。在开展基本农田生态气象条件观测的基础上,同时开展针对阶段性重点任务和关键科学问题的观测研究,为区域的粮食稳产高产提供技术支撑。

1.2 空基观测与遥感调查

充分发挥重点区域人工影响天气作业飞机在生态气象观测中的作用,通过适当的仪器加装,补齐重点生态区飞机机载遥感能力短板,配合建设高性能无人机探测,试点进行机载遥感探测与下投探空,获取生态气象观测资料、陆面参数资料、大气垂直观测数据和人工影响天气作业条件判据等探测资料,开展遥感精度校验、模型参数验证、人工影响天气作业及重大工程建设和重大灾害影响的遥感调查。

1) 人工影响天气作业飞机遥感探测

在已建成的西北区域国家级人工影响天气作业飞机上加改装机载W波段云雷达、激光雷达、机载微波辐射计、气溶胶采样分析设备、扫描电迁移率粒径谱仪(SEMS)、气溶胶加湿迁移差分分析仪(HTDMA)等设备,同时增配红外高分辨率高精度机载数字航空摄影测量系统,加强三江源、祁连山等重点生态保障区资源环境及其上空大气、云和降水等人工增雨雪过

程参数和植被、土壤、水体的遥感监测能力。依托人工影响天气作业飞机指挥系统,完善遥感探测飞行设计、指挥、监控平台以及资料处理分发和评估系统。

2) 气象行业无人机观测

在华北、东北、西南、西北和青藏高原等生态区域内分别设置观测站,主要用于关键生态区典型生态系统的常规监测和灾害应急监测,提升气象行业无人机的遥感观测能力,充分利用其高分辨率影像的优点,形成观测范围10万 km²以上重点生态区域观测的下投探空、机载遥感探测能力。购置具有1000 m及以上高度巡航飞行能力,航程100 km以上,载重30 kg以上的中型无人机和部分小型无人机,配置多光谱相机遥感观测系统、红外相机、激光雷达三维成像系统、高光谱地物仪以及下投探空系统,进行每旬定期、定点持续监测和遥感调查。优化基于无人机的重点生态功能区的植被生态、遥感监测手段、观测流程和观测要素,加强大气圈、水圈、生物圈、岩石圈、冰冻圈的多圈层综合监测,为开展生态保护修复、水源涵养、土壤保持、荒漠化治理、生物多样性保护等气象影响监测评估提供数据支撑,为制定适宜的生态保护策略提供决策依据。

1.3 天基观测与卫星遥感监测

在重点生态功能区,建立国省两级生态气象观测和遥感监测技术研发实验室、生态气象遥感产品地基校验中心、生态气象观测计量检定实验室以及生态气象观测和生态气象遥感监测服务产品平台。建立长序列生态气象遥感要素数据集和生态气象遥感产品验证应用体系,提升遥感数据获取与服务以及生态气象遥感监测服务能力。建立健全生态气象观测质量管理体系和标准化体系。开展森林、草地、湿地、农田、沙漠、半荒漠等生态气象产品星地检验和关键地表生态状况的遥感反演,进行地面反射率、双向反射率、辐射、地表温度、地表湿度、叶面积指数、植被指数等生态参数的星地同步观测。建立空基生态气象观测站网,实现地表生态气象参数的模型构建及验证。

2 生态气象观测运行保障

观测运行保障主要包括生态气象观测技术研发实验室、生态气象遥感产品地基校验中心和生态气象观测运行保障三个方面。

1) 生态气象观测技术研发实验室

建立国家级和省级生态气象观测技术研发实验室,国家级实验室开展生态气象观测站网布局设计,实施典型生态气象的调研与分析,研发中试生态气象观测新设备,标校生态气象观测设备,制定观测规

范、数据标准格式、技术标准,编制设备安装、维护手册,改进和完善有关生态气象设备。在有生态代表性的综合生态气象观测站建立省级生态气象观测技术研发实验室,接受国家级技术指导,开展区域生态气象观测设备标校以及生态气象观测新设备对比观测试验。

2) 生态气象遥感产品地基校验中心

建立国家级和省级生态气象遥感产品地基校验中心。国家级校验中心研建生态气象遥感产品真实性检验的完整技术流程体系,发展和完善真实性检验过程中的空间优化采样、尺度上推、检验策略等关键计算方法,通过星机地同步试验研制多尺度配套观测数据集,编制遥感产品真实性检验标准与技术体系,构建遥感产品地基真实性检验网,开展核心观测场的多模式联网观测试验,初步形成全国卫星遥感产品真实性检验网的原型体系和运行机制,创建国家级生态气象卫星遥感产品地基校验业务。省级校验中心开展区域核心观测场的多模式联网观测试验,发展优化区域遥感产品检验过程中的空间优化采样、尺度上推、检验策略等关键计算方法,创建区域生态气象卫星遥感产品地基校验业务。

3) 生态气象观测运行保障

在现有综合气象观测保障系统的基础上,开发具有生态气象观测网运行监控功能的软件,改善原有运行监控硬件设备;建设生态气象地面观测设备计量检定实验室;建立国家级生态气象观测仪器测试主系统和省级生态气象观测仪器维修维护分系统;建立生态气象设备观测运行规范和突发状况的标准处理流程,充分保障生态气象自动化观测设备可靠稳定运行。

3 展望

围绕全国重要生态系统保护和修复重大工程建设气象保障服务需求,中国气象局拟建立天、空、地一体化生态气象观测站网,实现各部门共建共享,尽快提升我国生态气象保障服务能力,推进生态气象科学研究水平和国际影响力。

1) 共建生态气象观测站网提升生态气象保障服务能力

生态气象观测站网布局规划建设获取的生态气象综合监测信息,有助于深入理解生态系统与气候变化之间的复杂关系,可为生态环境保护与修复、生态资源科学开发利用提供决策所需的数据支撑,有利于生态环境的保护修复和资源合理开发利用,并可通过建成现代化生态气象保障服务体系,实现气象与国家生态安全、生态保护和修复、生态环境治理、生态经济

(下转133页)

展的大趋势，不断评估市场与技术，以寻找参与这些社会发展趋势的新技术与解决方案。近10年，维萨拉公司的研发和市场重心逐步发生变化，主动向气候变化、生命科学行业、可再生能源行业、信息服务行业等新兴领域拓展，以“数据即服务、软件即服务”理念丰富数字解决方案产品，通过超前的市场预判，提前蓄力，推动企业向数字化转型，实现数据业务快速增长。

产业数字化是指在新一代数字科技支撑和引领下，以数据为关键要素，以价值释放为核心，以数据赋能为主线，对产业链上下游的全要素数字化升级、转型和再造的过程。在云计算、物联网、大数据等数

字化技术蓬勃发展的今天，越来越多的企业开始向数字化转型。根据中国信息通信研究院统计，2021年我国产业数字化规模达到37.18万亿元，占GDP比重提升至32.5%，未来随着新型基础设施建设的加快，云计算、大数据、人工智能等技术创新和融合应用的进一步发展，数字经济将成为经济高质量发展的新动能。

致谢：感谢维萨拉（北京）测量技术有限公司为本文提供的帮助。

（作者单位：王柏林、白海，中国华云气象科技集团有限公司；陈冬冬，中国气象局气象探测中心；王彦朝，河北省沧州市气象局；张小锋，中国气象局气象发展与规划院）

（上接114页）

发展的深度融合，使生态气象服务成为生态文明战略和建设美丽中国的重要支撑。同时，生态气象观测站网的布局设计也可为重点生态功能区等提供精细化生态气象服务，有效降低重大灾害对脆弱和敏感生态系统的不良影响。

2) 生态气象观测站网服务于多部门协作改善人类生活环境

以防灾减灾和应对气候变化为抓手，以保障生态安全和绿色发展为核心，充分发挥天气气候监测预报预警在生态保护和修复中的先导作用，在中国气象局、生态环境部、自然资源部、应急减灾部、农业农

村部、中国科学院等部门已有的气象和生态环境监测站网基础上，充分整合现有资源，推动部门间相关生态保护监测站网的共建共享。通过多部门共建共享和开放合作，全面提升生态气象灾害防御和生态保护修复、大气污染防治、适应气候变化等领域的监测、预报、预测、预警、影响评估、应急处置、决策支撑、管理评价等能力，更好地融入国家生态文化体系、生态经济体系、目标责任体系、生态文明制度体系和生态安全体系，全面提升保障生态文明建设的气象服务水平，为建设美丽中国、创造良好生产生活环境、维护生态安全和推进绿色发展做出更大的贡献。

深入阅读

毕宝贵, 2007. 中国生态与农业气象业务技术进展. 北京: 气象出版社.
崔洋, 王鹏祥, 常倬林, 等, 2019. ECN、US-LTER和CNERN网络发展现状、比较与思考. 干旱区资源与环境, 33(2): 98-104.
陈怀亮, 2008. 国内外生态气象现状及其发展趋势. 气象与环境科学, 31(1): 75-79.
陈鹏飞, 朱玉洁, 周勇, 等, 2016. 浅析新形势下我国生态气象发展. 环境与可持续发展, 43(3):145-148.
谷树忠, 胡咏君, 周洪, 2013. 生态文明建设的科学内涵与基本路径资源科学, 35(1): 2-13. 郭慧, 王兵, 牛香, 2015. 基于GIS的湖北省森林生态系统定位观测研究网络规划. 生态学报, 35(20): 6829-6837.
孟莹, 刘俊国, 王佳, 等, 2018. 面向生态文明的生态系统服务——2017年第九届国际生态系统服务大会述评. 生态学报, 38(11): 4088-4095.
荣月静, 严岩, 王辰星, 等, 2020. 基于生态系统服务供需的雄安新区生态网络构建与优化. 生态学报, (20): 1-10.
王云, 2016. 气象在生态文明建设中的作用研究. 环境与发展, 28(4):88-92.
王志瑞, 王济, 蔡雄飞, 2013. 国内外生态系统观测站建设进展. 环境保护前沿, 3(5):129-134.
杨扬, 罗贤, 李荣平, 2016. 气象要素对植物物候影响及其驱动机制研究进展. 气象与环境学报, 32(5): 154-159.
于贵瑞, 2013. 中国生态系统研究网络(CERN), 自然生态系统保护, 生态文明建设. 中国科学院院刊, (2): 275-283.

中国气象局, 2005. 生态气象观测规范. 北京: 气象出版社.
中国气象局, 2017. 2017年全国气象局长会议工作报告. 北京: 中国气象局.
中国气象局发展研究中心, 2017. 《全国气象发展“十三五”规划》辅导读本. 北京: 气象出版社: 1-190.
郑国光, 2015. 高度重视气候安全 大力推进生态文明建设. 中国应急管理, (5):9-14.
Fath B D, Asmus H, Asmus R, et al, 2019. Ecological network analysis metrics: the need for an entire ecosystem approach in management and policy. Ocean and Coastal Management, 174: 1-14.
Honghua L U, Youli L I, Feng N, et al, 2007. The roles of ecosystem observation and research network in earth system science. Progress in Geography, 26(1): 1-16.
Vaughan H, Bydges T, French A, et al, 2001. Monitoring long-term ecological changes through the Ecological Monitoring and Assessment Network: Science-based and policy relevant. Environmental Monitoring and Assessment, 67(1-2): 3-28.
Wang L J, Zheng H, Wen Z, et al, 2019. Ecosystem service synergies/trade-offs informing the supply-demand match of ecosystem services: framework and application. Ecosystem Services, 37: 100939.

（作者单位：中国气象局气象探测中心）