

人工如何影响天气

□ 李集明



2025年全国气象工作会议强调,要健全工作体制机制,强化人工影响天气能力建设。早在1956年,毛泽东就曾指出:“人造雨是非常重要的,希望气象工作者多努力。”六十多年来,尤其是党的十八大以来,我国在人工影响天气技术领域取得重要进展,人工影响天气已成为科学开发空中云水资源,服务国家、造福百姓的一项民生工程。那么,人工影响天气是如何实现的呢?

人工影响天气原理与手段

人工影响天气是为预防或减轻气象灾害,开发利用空中云水资源,在合适的气象条件下,通过飞机、高炮、火箭和地面燃烧器等装备,向大气云层中适量播撒催化剂,使云物理结构和云的发展过程发生变化,从而达到天气向人们所希望的方向变化的效果,引导云层朝着人们所希望的方向演变,最终实现增雨抗旱、防雷减灾或消雾保航等目的的工程性措施。

以人工增雨为例,降水的形成过程就是在云层中水汽凝结成水滴,大大小小的水滴不断碰撞合并,最终在重力作用下落至地面。因此,形成降水需要同时满足三个关键条件:一是丰富的云中水汽;二是气流上升运动,这个条件可以使云中的水汽达到过饱和状态,是水汽变为水滴液化过程的基础;三是充足的凝结核,也就是使水汽凝结成水滴的“种子”。其中,云层厚度达到2公里以上是标志水汽充沛的重要自然基础,可为形成降水提供必要的“原料仓库”。在这个自然基础条件下,人工增雨通过科技手段向云中播撒催化剂,也就是凝结核(或冰核),相当于向云层快速播种,促进雨滴(或冰晶)的形成,达到“卤水点豆腐”的效果。另外,云层中水汽液化为水滴,释放的热能会使云体升温,如同给云层安装“热力发动机”,进一步强化气流上升。当这三个条件形成良性互动时,云层就像被按下“启动键”,开启降水过程。

我国人工影响天气技术进展

我国人工影响天气作业以人工增雨和人工防雹为主,还包括人工消云减雨、人工消雾、人工防霜冻等。一次成功的人工影响天气作业,作业前要精准把握云层状态、天气条件,科学计算时机、选用合适的装备。作业期间要实时精准指挥,作业后进行效果效益评估验证,并保证全程作业的安全。为达成这些目标,科技工作者在聚焦空中云水资源测算评估、数值天气预报模型优化、空地实时跟踪指挥、效果效益评估验证、新型装备创新研发等方面不断探索,成效显著。

掌握空中云水资源,是人工影响天气的基础。根据大气水平衡原理,聚焦空中云凝雨,科技工作者提出了云水资源的概念及其评估理论,建立了云水资源定量评估方法,得出我国空中云水资源开发潜力每年大约有2500亿—3800亿吨。利用飞机、雷达等云降水观测资料分析和数值模拟方法,得到了我国不同区域、不同季节、典型云系的物理特征和时空分布特征。在面对我国西部地区生态保护 and 修复、重大水利工程水源增蓄涵养、华北水资源管理等重大人工影响天气工程规划和作业布局时,就可以提供科学决策参考。近年来,根据地理条件、气候背景、研究方向差异而建立的人工影响天气试验示范基地,持续开展外场科学试验,积累了大量珍贵数据,为人工影响天气技术进步提供了有力支撑。

数值预报的软实力,是作业成功的先决条件。现代天气预报的核心竞争力是数值预报的能力,通过研究云雾中的物理过程,不断优化数值预报模型,提升云降水数值模拟的精度,从而更加精准掌握云层状态和天气条件。例如,我国自主研发、已投入业务应用的云降水显式预报系统,将全国云降水精细预报分辨率由10公里提升到3公里,再到1公里。现在,百米级分辨率的基于应用场景的轻量级一体化专业模式预报系统也已开展业务试用,可提供57种人工影响天气作业

条件预报和催化模拟产品,这是精准预报作业区域、作业时机、作业强度的重要依据。

安全高效的硬装备,是作业成功的坚实保障。目前,投入业务应用的播撒催化剂的作业装备有飞机、火箭、高炮和地面燃烧器。自2013年起,中国气象局基于国产新舟60飞机研发了大型增雨飞机,以提高播撒能力和效率。该飞机具备多种云系催化功能,地面指挥可通过卫星通信系统实时监测云层结构并与机上人员沟通,即时调整播撒策略。单次作业可覆盖9000平方公里区域,最长续航达6小时。结合其他中小型专用飞机,我国已形成集高空探测、精准催化和实时指挥于一体的空中立体作业能力。针对复杂地形作业需求,无人机技术在山区、林区等特殊场景提供灵活解决方案。核心特种探测设备领域实现国产化突破,自主研发的云粒子成像仪达到国际先进水平,新型高炮和火箭系统也实现自动化控制,大幅提升了作业精度与安全性。构建的物联感知和智能管控安全防线,确保弹药全生命周期实时安全监控和管理。同时研制新型冷暖云催化剂,提高催化剂成核率和催化效能。

实时精准的指挥部,是作业成功的智能中枢。每一次的人工影响天气作业,都需要精确的指挥调度和高效的协同配合。指挥员需要实时了解作业区域的天气变化、装备状态、人员动态,以及各作业点的情况。实时监测作业对象、数据收发自如、决策指挥高效、作业行动迅速是打赢战斗的关键。例如,面向云监测需求研发的风云卫星云监测反演产品,对云顶高度、温度、冷区厚度、云光学厚度、云粒子有效半径等指标进行识别,现在已经实现分钟级云图动态监测,指挥中心能够据此精准定位最佳作业点。运用气象大数据和AI技术建设的全国人工影响天气综合业务“天工”平台,采用集约化、组件化、可视化、轻量化、高迭代的技术路线,全面支持作业展望、计划、预案、方案、指挥、评估、安全七段式人工影响天气实时业务。平台已投入业务试运行,可以在国家级和省级两级部署、支持国省市县和作业点五级应用的精准实时指挥,实现作业全流程的智能化管

差异场景的评估法,是评估作业

效果的利器。人工影响天气作业效果效益评估是世界性的难题。我国提出了面向差异化应用场景的作业效果评估解决方案。针对常态化人工影响天气作业,研发历史相似、直观对比和数值模拟等快速、定量效果检验方法;针对典型作业过程,构建基于物理检验、数值模拟检验和AI技术的多元集合评估方法,以及催化宏微观物理响应的智能识别算法,科学、准确评估作业效果;针对长时序作业,在综合评估作业效果的基础上,结合生态、水文、环境等服务需求,通过建立特征指标和评价模型,综合评估长期人工影响天气作业带来的经济、社会和生态效益。

这些技术进步不仅显著提升了灾害防御能力,还为农业生产保障、生态环境保护及重大活动气象服务提供了重要支撑。

实践成效和未来展望

2025年入春后,气象部门针对我国西北、华北地区的春耕春播及森林草原防火关键期,充分利用最新技术,在3月开展首次多部门联合“春雨”行动,该行动跨越西北、华北10省(区、市),多机型联合进行增雨(雪)作业,新型人工影响天气装备与科研成果为作业力量统筹、空域安全保障等提供支撑。3月12日至15日抓住有利天气,调配飞机作业30架次(含大中型无人机3架)、开展地面作业267次,初步测算单次人工增水作业累计增加降水3100万吨,跨区域作业降水约占增水量的20%。15日下午北京普降“桃花雪”,这是上一年度入冬以来首都城区首次有效降雪,缓解了冬春旱情,对农业春耕春播、降低森林火险等级、净化城市空气等发挥了作用。

人工影响天气科技是建设气象强国的重要组成部分,目标是到2035年达到世界先进水平。为此,需强化科技支撑,推进业务系统现代化,完善安全监管体系,健全人才培养机制。特别是充分发挥科技创新实现“化云为雨”的关键作用,通过融合数值模式、人工智能等前沿技术,建设大型科学装置,开展国际大科学计划,培养顶尖技术团队,推动我国从人工影响天气大国向全球领跑者升级。

(作者系中国气象局人工影响天气中心党委书记、主任)

(上接1版)同时,面对世界各国围绕农业科技制高点的激烈竞争,我国要培养出在全球农业领域能够“掰手腕”的一流人才、创造出更多具有国际竞争力的农业科技成果,也迫切需要构建多元融会、资源共享、优势互补的协同创新体系。坚持以高质量发展需求为导向、以农业关键核心技术攻关为引领、以高水平科技人才和高能级创新平台为支撑,切实强化各级各类农业科技创新机构的主责主业和使命担当,以高效能协同创新支撑引领我国农业科技加快实现高水平自立自强。

强化农业高校的知识创新功能和原始创新能力。坚持以立德树人为根本、以强农兴农为己任,夯实农林学科专业主体地位,聚焦农业生物育种、人工智能等新兴领域和战略急需,优化调整学科专业布局,建立健全以国家重大战略和科技创新需求为牵引的卓越农林人才培养模式,有组织开展基础前沿研究和关键技术创新,加快建设一批中国特

色世界一流农业大学,成为支撑引领高水平农业科技自立自强的“源头活水”。

强化中央级农业科研院所的核心技术创新功能和攻关能力。围绕世界农业科技前沿和国家重大战略需求,切实发挥农业领域国家实验室、全国重点实验室等高能级创新平台的支撑引领作用,面向国内外大力汇聚更多战略科学家、一流科技领军人才和创新团队,加快建设一批中国特色世界一流的农业科研机构,聚焦农业领域的全局性、战略性、前瞻性重大科学问题和关键技术难题,按区域分批次打造农业领域有组织科研的集聚地、前沿交叉研究的创新港、体制机制改革的试验田。

强化地方农业科研院所服务区域发展的应用创新功能和支撑引领能力。聚焦区域经济社会发展对农业科技创新的内在需求,持续优化整合省市县各级农业科技资源和创新要素,打造与区域农业农村科技需求精准对接的高水平科技人才队伍,全力投身应用研究、集成创新、试验示范和技术培训等工作,协力解决区域性特色农业发展和乡村振兴中的重要科技问题。

强化农业科技企业的研发功能和自主创新能力。遵循现代农业产业发展的内在规律,加速推进农业创新链、产业链、资金链和人才链的深度融合,注重发挥各级农业高新区、科技创新园的孵化平台作用,加快培育壮大一批具有强大研发实力和创新潜质的科技领军企业,培养造就一大批农业生产经营领域的产业体系专家、高技能人才,指导带领成千上万扎根乡村振兴主战场的“土专家”“田秀才”“乡创客”等“头雁”人才,高效完成农业科研、实验开发、推广应用“三级跳”,统筹解决农业科技成果进入农户、落地见效的“最后一公里”难题。

有效破解制约我国高水平农业科技自立自强的关键难题

习近平总书记强调,农业科技创新要着力提升创新体系整体效能,解决好各自为战、低水平重复、转化率不高等突出问题。当前,我国已建成从中央到地方较为完备的农业科技创新体系,形成以农业高校、农业科研院所、农业科技企业等为主体的战略科技力量,为加快农业农村现代化建设作出卓越贡献。但面对农业国际竞争和农业强国建设带来的机遇挑战,我国农业原始创新能力还相对薄弱,有些关键核心技术仍受制于人,迫切需要聚焦制约农业科技自立自强的瓶颈短板问题,持续强化农业科技力量和创新资源优化整合,着力推动农业科技创新体系化、建制化、协同化发展,加快形成竞争优势、赢得战略主动、走在世界前列。

着力破解各自为战、系统性不够、协同性较差等短板制约。重点针对创新主体单打独斗、单兵作战以及各主体之间立门户、筑壁垒、分圈子等问题,通过央地协同、企科联合、产学研结合等路径,采取竞争择优、定向委托、“揭榜挂帅”、“赛马制”等形式,打好促进各类农业创新主体的大交叉、大融合、大汇聚的“组合拳”,统筹构建高效能农业科技协同创新的组织体系、运行机制和政策环境,着力解决我国现代农业发展中的复杂性系统性难题。

(作者单位:北京市科学技术研究院)

着力破解低水平重复、标准不高、能力不强等短板制约。重点针对生物育种创新较弱、农业资源利用率较低、高端农业装备差距较大等突出问题,紧密围绕世界农业科技前沿新兴领域以及我国粮食安全、生态文明、乡村振兴、人民健康和开放发展等重大战略需求,聚焦制约我国农业科技自立自强的新品种培育、投入品创制、农业装备研发等重点领域和关键环节,系统谋划和统筹部署农业科技创新链,着力打造前瞻性、区域性、原创性农业领域战略科技力量,切实强化各级各类农业科技创新主体承担重要任务、破解重点难题、产出重大成果的能力,加快提升我国农业科技新体系的竞争优势、发展活力和整体效能。

着力破解成果转化效率不高、与产业发展脱节等短板制约。重点针对农业科技创新中长期存在的拿来主义、简单嫁接、重试验轻转化等突出问题,坚持走产学研用紧密结合的道路,健全公益性 and 经营性相结合的农业科技推广体系,完善科技特派员、专家大院、科技小院等农业科技示范培训模式,推动农业科技创新活跃区与现代农业主产区深度合作,构建从国家到地方的各级农业科技成果转化中心、转化中心、交易中心,着力促进农业科技创新链与现代产业创新链深度融合,更好服务乡村振兴主战场。

主动参与和深度融入全球农业科技创新网络

加强国际科技合作是适应新一轮世界科技革命的内在要求,是推进经济全球化的重要内容。习近平总书记强调,世界各国更加需要加强科技开放合作,通过科技创新共同探索解决重要全球性问题的途径和方法;以全球视野谋划和推动创新;积极融入全球创新网络,深度参与全球科技治理。农业科技作为我国科技对外合作不可或缺的组成部分,必须切实增强国内国际两个市场两种资源的联动效应,以更高站位、更宽视野、更深层次探索农业教育科技人才对外合作新机制新模式,为服务“一带一路”建设和构建人类命运共同体提供强劲动力。

建立健全农业科技对外合作机制。持续深化与世界涉农领域高水平大学、科研机构、科技企业的实质性合作,积极搭建农业特色鲜明的高水平国际联合实验室、国际技术转移中心等科技合作平台,面向全球大力引进“高精尖缺”国际一流人才和创新团队,牵头实施农作物基因资源阐释、农业生物安全、区域农业可持续发展等领域的国际大科学计划和重大科学工程,促进国际间农业科技资源的互补共享和农业创新要素的优化整合,协力解决全球农业科技领域面临的共同挑战和关键难题,以更加务实高效的农业科技合作成果造福各国人民。

深度参与全球农业科技治理。主导成立一批高层次农业科技合作组织,健全双边农业科技对话机制,加强与联合国粮农组织、国际农业研究磋商组织等国际组织的协作,积极参与全球农业科技规则制定、创新议程设置、重要论坛组织、国际事务协调等活动,推动农业科研、示范推广、技术培训等方面全链条合作,着力提升我国农业科技对外合作的话语权、主导力、贡献度,努力成为更多农业科技领域全球治理的推动者、组织者和引领者。

积极投身“一带一路”建设。探索建立农业高校、农业科研机构、涉农企业等方面共建共享的合作新机制,打造一批农业科技对外合作的典型经验和成功模式。积极响应中国—中亚峰会倡议,聚焦中亚开展旱区农业合作,打造一批海外农业科技示范园,高标准建设上合组织农业技术交流培训示范基地,成为助力构建周边命运共同体重要平台。深入实施“中国—东盟农业绿色发展行动”倡议,面向东南亚深入开展农业科技合作,形成一批区域特色突出的农业科技合作成果。拓展全球南方合作新领域,进一步加大中非农业科技合作力度,着力推动非洲农业绿色减贫和现代化发展;围绕大豆育种及大农业产业技术创新等重点领域,持续加强与拉美地区的农业科技务实合作。

(作者系西北农林科技大学党委书记)



充分发挥科技智库的作用

□ 周京艳

科技智库作为科技创新与公共政策之间的桥梁,在科技体制机制改革中扮演着至关重要的角色。党的二十届三中全会要求,构建支持全面创新体制机制,并对深化科技体制改革作出系统部署。习近平总书记强调,要加快建立科技咨询支撑行政决策的科技决策机制,加强科技决策咨询系统,建设高水平科技智库,并要求中国科学院、中国工程院“发挥好国家高端科技智库功能”。面对新一轮科技革命和产业变革的深入发展,如何充分发挥科技智库的作用,推动科技治理体系和治理能力现代化,已成为深化科技体制机制改革的关键一环。

当前,我国科技发展面临着科技创新与产业创新融合程度不够深、科技安全风险日益严峻、国际科技交流合作有待突破等问题,亟须通过进一步深化科技体制机制改革,破解科技发展难题。科技智库从科技规律出发前瞻思考世界科技发展走势,开展科学评估,进行预测预判,对科技创新与社会发展面临的重大问题提出前瞻性、建设性的建议,为科技决策提供创新性解决方案,在服务党和政府决策方面发挥了重要作用。

近年来,我国科技智库蓬勃发展,不仅在数量上取得突破,还涌现了一批高质量研究成果,有效支撑了党和政府的科技决策。但是,科技智库在科技体制机制改革中的作用有待进一步发挥。科技智库应进一步明确定位使命、发展理念,聚焦科技创新发展面临的堵点、难点、卡点,创新研究方法、研究模式,开展针对性、前瞻性、储备性研究,以提升科技智

库参与决策的广度和深度,推动科技治理体系和治理能力现代化。

瞄准世界科技前沿,发现科技发展新动向、揭示科技发展新趋势。一是加强新一轮科技革命和产业变革的趋势和动向研判,把握科学发现、技术发明等创新活动的新特点,深入分析新一轮科技革命和产业变革下科技创新范式的演变趋势。二是坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康,从科技创新与经济发展、国家需求、人民健康结合的高度和角度来思考科技发展。三是采用地平线扫描、技术预见、技术预警等前瞻预测方法研究科技发展趋势,识别颠覆性技术、前沿技术等关键技术释放的微弱信号,发现科技新动向,开辟科技新赛道。四是坚持数据驱动的智库建设范式,为科技决策者提供基于数据和事实的有效分析,促进科技决策的科学化。

坚持问题导向,为解决真问题提供真方案。近年来,我国科技发展虽然取得了显著进步,但基础研究有待提升、原始创新能力不足、科技成果转化率低等问题仍然存在。智库研究不仅要论证已有政策的正确性,更重要的是发现问题、分析问题、解决问题,为决策者提供具有替代性的解决方案。因此,科技智库要根据科技发展规律与动向,找出现行科技体制中存在的真问题,为解决真问题出真招。一是深入开展科技计划管理制度与政策研究,找准制约基础研究的政策点,为优化基础研究布局、加强有组织基础研究、完善基础研究投入机制等提供对策建议。二是深入开展中

央财政科技经费分配和管理使用机制研究,评估财政科研项目“包干制”的实施效果及存在的问题,为优化“包干制”提供对策建议。三是深入开展科技成果转化机制研究,研究发达国家和地区比较成熟的科技成果转化措施,通过国内外比较,找出我国科技成果转化中存在的 key 问题,为科技成果转化机制改革提供对策建议。

盯紧科技安全,精准识别技术风险与政策风险,为科技政策实施保驾护航。科技是一把“双刃剑”,既能成为发展利器、造福于民,也可能成为风险的源头、危害于民。例如,随着生物技术的快速发展和广泛应用,生物技术滥用风险加大,生物安全形势日益严峻。同时,科技的飞速发展也会导致固有风险跟不上形势,政策风险不可避免。因此,科技智库要紧盯科技安全,构建科技安全风险监测预警体系,为科技政策实施提供预警。一是全面搜集科技信息与科技情报,监测重点领域、重点行业,及时发现可能的技术风险,并提出应对方案。二是根据科技创新的新动向、新趋势,客观、谨慎评价已有政策,及时发现可能存在的政策漏洞及可能阻碍科技发展的措施,并尽快采取行动弥补这些漏洞。三是科学评估科技政策相关利益主体的职责,追踪科技政策效果,确保科技政策正常实施。

开展科技交流合作,讲好中国科技故事。当今世界,科技开放合作是大趋势,扩大国际科技交流合作也是科技体制机制改革的重要任务之一。中国特色新型智库具有公共外交职能。科技智库作为中国特色新型智库

体系的重要组成部分,是开展国际科技交流合作的重要力量。因此,科技智库要积极开展国际科技交流合作,做国际科技交流合作的开拓者。一是构建国际科技智库交流与服务网络,拓宽国际科技交流渠道。在开放合作的全球趋势下,世界知名的科技智库均在努力搭建国际交流与服务网络。我国科技智库应该跟上这一发展趋势,通过人才交流、项目合作、举办国际论坛等多种方式搭建科技交流与合作网络。二是帮助企业走出去,为企业对接全球创新资源寻找机会。企业是科技创新的主体,企业走出去才能更好地实现科技资源的全球配置。科技智库要在双、多边政府间科技合作框架下,协助企业建设海外研发和创新中心,推动科技企业与海外高校、科研院所合作。三是推动国际科技组织建设。国际科技组织是联系全球创新资源的重要纽带,也是拓展国际科技交流合作的重要抓手。科技智库要积极参与国际科技组织建设,如开展国际科技组织建设相关研究,为我国科技组织建设提供对策建议;通过搭建科技交流与合作网络,协助我国科技工作者加入国际科技组织、在国际科技组织任职等。四是做好科技政策宣传,讲好中国科技故事。当前国际社会仍有不少国家对中国发展与科技进步持“狼来了”的态度,“中国威胁论”从未停歇。对此,科技智库要做好政策宣传、讲好中国科技故事,当好中国科技理念、科技成就的传播者,为中国科技发展营造良好的国际舆论环境。

(作者单位:北京市科学技术研究院)