

推动新时代生态环境科研范式变革 助力人与自然和谐共生的现代化建设

李海生

科技创新是美丽中国建设的有力支撑。习近平总书记在全国生态环境保护大会上强调要加强科技支撑，推进绿色低碳科技自立自强，实施生态环境科技创新重大行动。我们要坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，立足新发展阶段，主动探索中国特色生态环境科技的创新之路，加快推动新时代生态环境科研范式变革，加强战略科技力量建设，为实现人与自然和谐共生现代化提供有力科技支撑。

一、生态环境科研的三种范式

“范式”这一概念最初是由美国著名科学哲学家托马斯·库恩在其著作《科学革命的结构》中提出，是科学共同体共同接受的一组

假说、理论、准则和方法的总体，由此达成科学家的一致信念。伴随着整个现代科学革命的进程，根据科学需求、研究对象、研究方法、科研模式及组织方式不同，科研范式也在不断转换和更替。

放眼全球，当今世界已进入大科学时代，科技与经济社会深度融合发展，基础研究组织化程度越来越高，多学科交叉融合不断深化，数字化技术日新月异，有力驱动了科研范式的变革。当前，各国都在加强科学研究的资源投入和组织保障，实施有目标、有组织、大规模的科技发展规划，通过建设“大设施”、打造“大团队”，产出“大成果”。

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视生态文明建设和科技创新工

作，生态环境科技迎来了新的春天，取得了重大进展。随着美丽中国建设的全面推进，生态环境科技将迈入新的时代，成为引领我国绿色高质量发展的新引擎，这对生态环境科研范式提出了更高的要求。初步梳理可看到，我国生态环境科研范式主要有下面三种。

（一）“自由探索式”科研范式

自由探索式科研是一切科研创新活动的前提和基础，多在环境问题出现的初期，聚焦问题的识别及其成因机理、迁移规律、转化定律等开展研究工作，如国家自然科学基金项目，多不设研究主题，鼓励科技人员根据科学发展的规律和趋势，结合国家目标和社会重大需求，依据自身的科研基础和兴趣自由选题。自由探索式科研以开放、灵活的科研组织方式，实现“从0到1”的原创性、引领性突破，为人类认识生态环境不断拓展新视野。

比如，由于人类活动的影响，氮、磷等营养物质大量排入水体并不断积累，引起部分藻类和水生生物过度繁殖，造成湖泊、海湾及水库等水体富营养化，严重危害人类赖以生存的生态环境。我国环境科技人员通过研究水体富营养化产生机理及演变规律，为水体富营养化防治、维护生态平衡提供重要思路。

（二）“组织计划式”科研范式

组织计划式科研相较于自由探索式科研，更有目标、有侧重，主要围绕生态环境问题开展“基础研究-关键技术-成果转化”的全链条研究，如我国先后实施的国家科技攻关计划、科技支撑计划、863计划、973计划、重

点研发计划等，这些组织计划式科研以计划任务带动科学研究，聚焦多个单一领域（如环境容量、区域和流域污染防治、固体废物处理处置、脆弱地区生态环境恢复、酸雨污染防治等），开展一系列有组织、有规模的研究，为生态环境管理政策和制度的制定奠定了重要基础。

比如，我国自“六五”“七五”开始，组织开展了大气环境容量、水环境容量、土壤环境容量的研究，相关成果为主要城市区域、流域环境规划和污染防治提供了基础方法，也为我国环境管理思路逐步从浓度控制转变为总量控制奠定了理论基础。

（三）“系统协同式”科研范式

解决系统性复杂生态环境问题成为当前生态环境科学发展的主要目标。与过去相比，生态环境科技创新的复杂性大幅提升，“单打独斗”和“包打天下”的科研组织模式无法适应现阶段生态环境科技创新的需求。集聚众多科研人员、投入大量资金、利用立体化设施开展的“系统协同式”科研活动，越来越得到学术界、产业界、决策者的共识，并取得很好的环境治理效果，这种统筹布局的方式也更适合打造生态环境领域的国家战略科技力量。

比如，生态环境部组建了国家大气污染防治攻关联合中心，组织环境科学、地学、气象学、化学、卫生学、经济学等多个学科295家优势科研单位，近3000名不同专业领域的科研人员，以支撑科学管理和精准治理为导向，聚焦区域治理关键科技问题，开展“1+X”跨

学科跨领域“百团大战”，打破了长期以来科研资源分散局面和数据信息壁垒。

随着区域空间性、流域累积性的跨领域、复合型生态环境问题的不断出现，导致了原有学科方向对应的研究内容、方法和范畴等方面逐渐发生改变，形成生态环境科学研究的多层次、多尺度、动态化的基本特征，有力地驱动了生态环境科研范式的变革。总体来看，我国生态环境科研范式，正在从适合研究单一变化的线性范式向研究复杂系统的系统范式转变，越来越多地呈现整体性、融合性和数智化趋势。

(1) 在整体性方面，通过综合运用系统工程、协同学等理论方法，统筹考虑环境要素的复杂性、生态系统的完整性、自然地理单元的连续性、经济社会发展的可持续性，推动整体性解决生态环境问题；

(2) 在融合性方面，打破“坛坛罐罐”，顺应新时期多科学交叉、多成果集成、多部门协作等融合创新趋势，实现解决环境复杂巨系统问题的颠覆性、突破性效果；

(3) 在数智化方面，借助人工智能等数字技术，提高科研活动中共性工具的效率和精度，将现代数字技术与生态治理有效结合，赋能绿色低碳高质量发展。

二、新时代新征程呼唤生态环境科研范式变革

新时代新征程生态环境科技肩负两大重要

使命，一个是全面支撑深入打好污染防治攻坚战、全面推进美丽中国建设，另一个是支撑推动绿色低碳高质量发展。这既是使命，也是生态环境科技面临的巨大挑战，迫切需要扭转过去科研团队“各自为战”、科研与应用“两张皮”、科技创新落后于治理需求的局面，加快推动生态环境科研范式变革，从整体性、融合性、数智化多维度拓展科研合作边界，点燃科技创新“引擎”，保驾护航高水平保护、高质量发展。

(一) 解决区域累积性生态环境问题的硬性需要

随着生态环境保护工作的深入推进，我国生态环境质量得到明显改善，但生态环境状况依然没有得到根本扭转，还面临诸多难啃的“硬骨头”。城市空气质量总体仍未摆脱“气象影响型”的问题依然严峻；水环境、水生态、水资源三水统筹尚处于起步阶段；农业农村面源污染尚未得到有效治理。这些生态环境问题都具有明显的外溢性，往往呈现区域性、累积性和复合型的污染特点，其治理是一项庞大的系统工程。如改善大气环境质量，我们既要大幅降低 $PM_{2.5}$ 浓度（目前我国平均水平总体上是欧美的 3 倍左右），又要解决京津冀、长三角等地区夏季臭氧污染高发的问题，同时还面临约 1/3 的城市空气质量不达标压力。科技在支撑复杂环境问题治理的边际效益越来越小，难以适应新形势下解决区域累积性生态环境问题的硬性需求，迫切要求变革生态环境科研范式，转变过去“小而散”的科研模式，

整合多学科力量，从环境问题的整体性、系统性出发，集中攻克区域环境治理中的关键问题，以科技创新支撑引领生态环境保护新进步。

（二）推动绿色低碳高质量发展的攻坚需要

党的二十大报告指出，我国十四亿多人口整体迈进现代化社会，规模超过现有发达国家人口的总和，艰巨性和复杂性前所未有。建设人与自然和谐共生的现代化是实现中国式现代化的本质要求，在这个进程中我们面临着统筹调整产业结构、治理污染、保护生态、应对气候变化等新任务新要求。我国仍是发展中国家，尚处于工业化、城镇化进程中，以重化工为主的产业结构、以煤炭为主的能源结构没有根本改变。其中，能耗强度是世界平均水平的1.5倍，特别是“胡焕庸线”以东的43%国土上，单位国土面积消耗的煤炭是全球平均水平的十几倍，并且我国从碳达峰到碳中和只有30年时间。因此，根本改善生态环境、实现碳达峰碳中和，建成美丽中国的任务极其繁重。破解这一重大难题根本出路在科技创新，关键要变革过去生态环境科研“就环境论环境”的旧范式，强化“环境-经济-社会-能源”复杂巨系统观念，把生态环境保护放在经济社会发展的大局中加以研究，以科技创新一体推进降碳、减污、扩绿、增长。

（三）顺应绿色智慧的数字生态文明建设的现实需要

当今时代，数字技术、数字经济是世界科

技革命和产业变革的先机，是新一轮国际竞争的重点领域，推动数字生态文明建设是加快建设数字中国的迫切需求。在生态环境领域，大数据、云计算、人工智能等数字技术的引入给我们装上了“千里眼”“顺风耳”“智慧脑”，极大地提升精准发现问题、主动预警风险、科学决策施策的能力和水平。在贵州，借助“互联网+遥感”技术，实时监测全省矿山地质环境治理情况；在福建，依托生态环境大数据云平台，实时监测海漂垃圾，精准研判空气质量。然而，当前生态环境领域数字技术的应用仍处于初级阶段，多源异构的“数据孤岛”问题仍然存在，环境、能源、气象、水利、自然资源等领域沉淀了海量的基础数据，数出多门、对流困难，阻碍了数据采集、适配、整合、管理、重构、挖掘与共享，亟待打破“数据烟囱”“信息孤岛”，以数字化智慧平台为载体推动生态环境科研范式向数智化变革，促进人人之间、人机之间的大融合、大协同，以科技创新激发和释放数字技术在人与自然和谐共生现代化建设中的巨大潜能。

三、以科研范式变革助力人与自然和谐共生的现代化建设

当前，部分地区多项环境质量指标时有反复，环境质量改善“由量变到质变”的拐点还未出现，传统污染还没根本解决的情况下，新污染物治理也迫在眉睫。面对生态环境复杂巨系统，面向美丽中国建设和“双碳”目标，

以更高站位、更宽视野、更大力度来谋划和推进新征程生态环境保护工作，要求我们变革原有生态环境科研范式，着力推进国家实验室、基础研究、组织模式、保障机制等改革任务，解决生态环境领域科技“谁来干、干什么、怎么干、持续干”等问题。要增强科技创新生态系统的鲁棒性、包容性、可持续性，加强生态环境领域科技能力建设，加速产出解决问题的科技创新成果，为人与自然和谐共生的现代化作出基础性、原创性、引领性的科学贡献。

（一）创建生态环境国家实验室，体现国家意志、国家战略

国家实验室是体现国家意志、实现国家使命、代表国家水平的新型科研机构，是国家核心战略科技力量。20 世纪上半期至今，西方发达国家竞相创新“国家队”，仅美国就建成 100 余个国家实验室，为其科技创新提供了强大动力。因此，组建生态环境领域国家实验室是以科研范式转变提升基础研究和应用研究能力、突破“卡脖子”技术的核心举措。要以国家实验室建设为抓手，凸显国家意志，解决国家重大需求，加大大科学装置、工程研究中心、技术创新中心、野外科学观测台站等国家级、省部级科研平台建设整合力度，与区域性、专业性国家重点实验室在研发上形成协同合力，打造利于开展有组织科研的立体化平台矩阵。同时，要顺应数字生态文明建设需求，统筹环境、能源、气象、水文、地理、经济、社会等多方数据，搭建生态环境科学数据中

心，实现生态环境数据互联互通、资源共享，更好发挥数据作为新型生产要素的基础性、战略性作用，为推进国家治理体系和治理能力现代化提供有力支撑。

（二）聚焦基础研究，促进重点领域学科交叉融合

新世纪以来，相较西方发达国家，因所处发展阶段、产业结构、能源结构等不同，我国更加关注常规污染物治理。随着我国经济社会迈入高质量发展阶段，生态环境治理进入“深水区”。要适应科研范式变革的整体性、融合性特征，打破原有大气、水、土壤、固废、生态等“单要素”“单介质”科研边界，推进跨学科、跨领域、跨介质交叉融合科研，开展应对气候变化、新污染物治理、环境与健康、环境基准标准等生态环境重点领域的基础研究。深入探究碳、氮等元素在地球生物圈、水圈、大气圈、岩石圈中的循环周转过程及其对全球气候变化的影响，研究“气候-生态环境-政策-社会经济”动力学模式，研发具有前沿颠覆性的低碳、零碳、负碳技术；聚焦新污染物生态和健康风险全生命周期阻控的关键科学问题，厘清基于构效关系与毒性基团的高风险化学品关键致毒机理，突破新污染物生态和健康风险评价、深度处理等关键技术；建立健全大气、水、土壤等环境介质的基准标准，为科学治污、精准治污奠定坚实基础。

（三）健全科技攻关组织模式，探索完善生态环境领域科技攻关的新型举国体制机制

一段时间以来，因权责主体缺乏配合、法

律法规重叠冲突、措施手段“信息孤岛”等客观现象存在，生态环境保护科技呈现“片段化”的特征，不少地方陷入“头痛医头、脚痛医脚”的困境，常常导致“治理反复、反复治理”。科学技术是打破这一困境的利器，要深入推进“1+X”组织模式，构建“政府主导-科技驱动-多元协同”的多层级组织体系。其中，在国家决策层，推动跨部门联动，形成高位推动、统筹部署、协同推进的工作机制。在中间科技层，健全“国家队抓总、多学科交叉、多部门融合”的科技攻关模式，提升污染防治关键核心技术供给能力。在地方治理层，健全“边研究、边产出、边应用、边反馈、边完善”的工作机制，开展“一市一策”驻点跟踪研究和技术指导，提出针对性、科学性、操作性强的生态环境综合解决方案。由此，可打破组织、学科、地域、技术、信息“五大壁垒”，将科技创新体系紧密嵌入管理和治理，打造科研创新接力的“第三棒”，实现“基础科研-专项技术-集成应用（技术集成、区域实践）-决策支撑”的接力闭环，推动区域污染治理范式从“片段化、切块式”向“协同式、整体性”的转变。

（四）强化保障机制，激发科技创新内生动力

科研人才梯队建设不足、研究经费来源单一且不持续、考核评价制度不完善等问题是制约科技创新活力的重要因素。要统筹各领域资

源，汇聚各方力量，打好人才、资金、考评的“组合拳”。加强人才队伍建设，培养多学科多领域复合型科技人才、生态环境科技领域青年科技人才、科技领军人才及战略科学家，积极引进、整合国内外高端人才，加快培育国家战略科技力量。加大对国家战略科技力量开展基础研究的稳定性投入，建立让科研人员能围绕一个方向“甘坐十年冷板凳”的科技经费支撑机制，探索“科技+产业”的多元资金保障机制，建立服务科技创新的组织、管理、产品等金融体系，引导产业资本、政府性基金等积极参与重大生态环境科技创新全过程中，推动科技成果价值发现、价值共创、价值实现。构建从基础研究到成果转化全链条的多元激励与考核评价机制，充分考虑基础研究、应用研究和技术服务的差异性，建立分类、分级、量化的绩效考核机制，推动科技创新从重成果数量、重研究过程向重解决问题、重实际应用转变；建立“能上能下、有进有出”的人才选拔和调整机制，注重用考核“量出真人才”，培育“人人都是奋斗者”的竞争环境；健全容错机制，鼓励自由探索、大胆假设、认真求证，为科研人员营造潜心研究的良好氛围。

作者：中国环境科学研究院党委书记、院长

编号:1673-288X(2023)05-0028-06

DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202305028