

科技创新助力中国生态环境质量全面改善

蒋洪强¹, 卢亚灵^{1,2}

1. 生态环境部环境规划院国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室, 北京 100012

2. 生态环境部环境规划院企业绿色治理研究中心, 北京 100012

摘要 生态环境科技是中国生态环境保护发生历史性、转折性、全局性变化, 生态环境质量发生根本性改善的重要支撑。回顾了生态环境科技发展历程, 以及不同阶段生态环境科技的特点; 总结了党的十八大以来中国在生态环境保护与修复、环境污染治理、环境科技基础能力建设和绿色工程创新等生态环境科技领域的研究进展及成效; 指出了当前中国生态环境科技发展面临的挑战; 提出了加强基础理论和技术创新, 加强“卡脖子”重点领域和关键环节技术研发, 对整体性和区域性生态环境问题联防联控, 提升生态环境科技的基础支撑作用, 加强信息、生物、分子等多领域新技术的融合研究与应用等建议。

关键词 生态环境; 污染防治; 科技创新; 科技治污

生态环境科技是国家科技创新体系的重要组成部分, 是推动解决生态环境问题的利器。党和国家高度重视生态文明建设与生态环境保护, 在生态环境科技创新方面提出一系列方针政策、做出诸多重大决策, 支撑中国生态环境保护发生历史性、转折性、全局性变化^[1]。到 2020 年, 全国地级及以上城市细颗粒物(PM_{2.5})年均质量浓度达到 33 μg/m³, 空气质量优良天数比例达到 87%, 全国地表水 I—III 类水质断面比例为 83.4%, 相比 2010 年中国生态环境质量得到全面改善; 中国科学院西北生态环

境资源研究院的研究表明, 2000—2019 年中国西北地区植被覆盖整体呈增长趋势的面积占 55.77%^[2]; 单位国内生产总值(GDP)二氧化碳排放较 2005 年下降 48.4%, 提前超额完成了《哥本哈根协议》中国碳排放下降 40%~45% 的目标。习近平总书记在全国科技创新大会上指出, 生态文明发展面临日益严峻的环境污染, 需要依靠更多更好的科技创新建设天蓝、地绿、水清的美丽中国。党的十九届五中全会提出了到 2035 年基本实现社会主义现代化、中国科技实力得到大幅提升、进入创新型

收稿日期: 2022-08-31; 修回日期: 2022-09-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFC1807500, 2021YFC1809004)

作者简介: 蒋洪强, 研究员, 研究方向为环境规划与模拟技术, 电子信箱: jianghq@caep.org.cn

引用格式: 蒋洪强, 卢亚灵. 科技创新助力中国生态环境质量全面改善[J]. 科技导报, 2022, 40(19): 53-60; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.

2022.19.006

国家行列的远景目标。建设美丽中国,需要科技创新。未来,中国要继续坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路,需要更多地运用科技手段精准、科学治污,这对生态环境科技创新提出了更高要求^[3]。

1 中国生态环境科技发展的进程

1960—1970年,发达国家环境污染问题突出,产生了生态与环境相结合的综合学科。在1980年后,交叉集成研究已经成为生态环境科技的主要研究模式。进入21世纪,受整体观、系统观和可持续发展观的影响,生态环境科技研究重点逐步向跨尺度、跨圈层的复杂问题拓展,面向可持续发展目标,解决困扰人类发展关键问题的一系列交叉研究计划和联合行动得以确立,标志着生态环境研究进入了地球系统研究的新阶段^[4]。在这个阶段,以生态环境科技创新较为发达的美国、日本等为典型代表^[5]。

与世界其他发达国家相比,中国生态环境科技研究起步较晚。新中国成立以后的前20年,虽然国家已经开始关注“三废”危害,但还没有正式的针对环境污染和生态保护的科学研究机构,没有明确的环境保护政策和目标。1972年官厅水库污染事件发生后,中国成立了“官厅水库水源保护领导小组”,对官厅水库污染源、污染物与人体健康的对应关系进行了综合调查和研究,开启了中国生态环境科技的发展历程^[6]。随着中国在不同阶段生态环境保护工作的重点不同,生态环境科技也经历了从萌芽到深入、从简单到复杂、从单一到系统的发展历程。

1972—1978年,中国生态环境科技主要处于以工业“三废”排放治理为主的起步阶段。1973年,召开了第一次全国环境保护会议,提出“要把保护环境、消除污染作为科学实验的一个重要内容”,标志着中国环保科技的起步。1974年国务院成立了环境保护领导小组,各地也纷纷成立环境研究机构和监测机构。该时期的研究工作主要集中在城市工业“三废”的处理^[7],发布了中国第一部环境标

准,即《工业“三废”排放试行标准》。1978年,中国召开了第一次全国环保科研工作会议,制定了全国环境科学技术规划,将环境科学作为自然科学的一个重要组成部分,首次纳入了国家科学技术长远规划^[6]。1978年11月,中国决定在风沙危害和水土流失严重的西北、华北、东北地区启动三北防护林体系工程,以改善生态环境质量。

1979—1992年,中国生态环境科技主要以城市环境容量、总量和工业二氧化硫(SO₂)、化学需氧量(COD)等污染物容量总量研究和末端污染防治为主。1983年国家把环保科技工作首次纳入国家科技攻关计划,环境背景值及环境容量研究等3项课题列入“七五”国家重点科技攻关项目^[6],为中国酸雨控制、大气光化学污染控制、污染物总量控制等制定提供了重要科技支撑。该时期发布了中国第一批涵盖了大气、城市区域环境噪声、海水水质、地面水环境质量等方面的环境质量标准、污水综合排放标准、行业的污染物排放标准及地方标准,初步形成了中国环境标准管理体系。以上工作为中国环境保护目标责任制、城市环境综合整治定量考核、限期控制、集中治理、排污许可证制度、环境影响评价制度、“三同时”制度、排污收费制度等8项环境管理制度的建立提供了重要科技支持。

1992—2012年,中国生态环境科技主要以流域、湖泊、区域的污染治理和可持续发展为主。1992年联合国召开了“环境与发展大会”,同年中国即宣布实施可持续发展战略,加强生态建设与保护研究工作,并加强全球环境问题的国际合作。在该阶段中国污染防治逐步从末端治理向全过程控制转变、从点源治理向流域区域综合治理转变。围绕水污染、大气污染、有害废物和城市垃圾治理技术等重点关键治理技术,开展了科技攻关研究。“八五”至“十五”期间,依托“973计划”等启动了湖泊富营养化、持久性有机污染物环境安全、典型地区土壤与大气环境质量变化等重大基础研究。“九五”时期,中国启动了“三湖”(巢湖、滇池和太湖)、“三河”(淮河、海河和辽河流域)、“两区”(酸雨控制区和二氧化硫控制区)和“一市一海”(北京市、渤海)的污染防治,这也是中国历史上首次对重点湖泊、

河流以及地区进行污染治理。在生态保护方面,2002年中国启动京津风沙源治理工程,建设范围包括北京、天津、河北、山西和内蒙古的75个县(旗、市),目标是解决京津及周边地区风沙危害问题。2006年,《国家科学与技术中长期发展规划纲要(2006—2020年)》发布,首次将“环境”列入重点领域及优先主题。“十五”至“十二五”期间,组织实施了“重大环境问题对策与关键支撑技术研究”“水污染控制与治理科技重大专项”(简称“水专项”)、区域环境质量演变和污染控制等多个科技攻关,获得了一大批基础研究和关键技术成果^[8]。“十二五”时期,中国发布《重金属污染综合防治“十二五”规划》,湘江流域等也实施了重金属污染治理工程,开展重金属污染治理。这段时期,中国形成了新的环保标准体系并发布了一系列标准,提高了重点区域流域环境污染控制能力,发布的生态环境科技发展相关文件见表1所示。

党的十八大以来,习近平总书记高度重视生态文明建设与环保工作,中国生态环境保护从认识到实践发生了历史性、转折性、全局性变化。中国生态环境科技也得到了全面深化发展,建立了科学治污、精准治污、依法治污的科技支撑体系,科技创新水平不断提升。这个阶段,在持续推进“水专项”的同时,国家在水、大气、土壤、固废、生态、海洋环境

表1 中国生态环境科技发展相关文件

发布时间	文件名称
2001	《国家环境科技发展“十五”计划纲要》
2006	《国家科学与技术中长期发展规划纲要(2006—2020年)》(环境领域)
2006	《国家环境保护“十一五”科技发展规划》
2011	《国家环境保护“十二五”科技发展规划》
2016	《国家环境保护“十三五”科技发展规划纲要》
2017	《“十三五”环境领域科技创新专项规划》
2021	《百城千县万名专家生态环境科技帮扶行动计划》

等领域,以及京津冀、长三角、珠三角、成渝和长江、黄河等区域和流域布局了若干重大专项和重点研发专项,取得了一批基础理论和核心技术成果。中国生态环境科技从起跑、跟跑发展到并跑,生态环境科技水平与发达国家的整体差距明显缩短,已跻身国际先进行列,部分技术已达到国际领先水平,有效支撑了国家生态文明建设和绿色发展战略,也为全球环境治理提供了重要成功范例。特别是在大气环境治理领域,中国研发了污染预警预报、雾霾和臭氧复合污染成因机制、多污染物协同控制、大气污染健康影响评估等关键技术,实施“驻点跟踪研究”,为空气质量的整体改善提供了重要科技支撑,其代表性的生态环境科技工程见表2。

表2 中国代表性的生态环境科技工程

开始时间	工程名称
1972年	关于官厅水库目前污染情况的调查
1978年	三北防护林体系工程
1986年	国家“七五”科技攻关环境保护项目
1990年	湖泊富营养化治理重大基础研究
1997年	“973计划”资源环境和气候变化领域项目
2001年	“33211”重大污染治理工程
2001年	六大生态林业重点工程
2001年	“863计划”资源环境技术领域项目
2001年	国家“十五”科技攻关项目“重大环境问题对策与关键支撑技术研究”
2006年	国家“十一五”科技支撑计划项目人居环境研究等课题
2007年	水体污染控制与治理科技重大专项
2016年	国家自然科学基金“中国大气复合污染的成因、健康影响与应对机制”联合重大研究计划
2017年	大气重污染成因与治理攻关项目
2017年	典型脆弱生态修复与保护研究重点专项
2019年	长江生态环境保护修复联合研究
2020年	国家自然科学基金“中国大气复合污染的成因与应对机制的基础研究”重大研究计划

2 中国生态环境科技创新取得的成效

改革开放以来,特别是党的十八大以来,中国生态环境科技在生态环境保护与修复、环境污染治理、生态环境工程技术示范和环境科技基础能力建设等方面均取得较大发展^[8]。

1) 在生态环境保护与修复领域,中国启动了“地球大数据科学工程”“全球生态环境遥感监测”“生态系统研究网络”研究计划等一系列计划工程和“自然资本核算和生态系统服务估价”等项目,从学科整体发展的角度出发,不断巩固生态保护与修复的研究基础,为生态保护与修复研究提供近实时、全球尺度、精细化的数据支撑。研发“卫星遥感—无人机—移动监管系统”立体化监管技术,对长江经济带、秦岭区域共120处国家级自然保护区保护与管理状况进行评估。开展了荒漠化防治、水土流失治理、石漠化治理、退化草地修复、生物多样性保护、生态安全保障等技术研发,建立了珍稀濒危动物及极小种群植物物种保护、自然遗产地生态保护与管理、区域生态安全评估与预警等关键技术,揭示了区域生态格局与功能演变机理及驱动机制,为有效的生态保护与修复提供技术支撑。目前,中国初步划定全国生态保护红线面积320.3万km²,占陆域面积的1/3;已建立各级各类自然保护地1.18万处,约占陆域国土面积的18%;正式设立三江源、大熊猫、东北虎豹等第一批国家公园,涵盖近30%的陆域国家重点保护野生动植物种类;红树林面积由2011年3000hm²增加到2021年4200hm²;中国荒漠化、沙化、石漠化土地面积以年均2424、1980、3860km²的速度持续缩减。

2) 在环境污染治理领域,坚持面向生态环境科技前沿,聚焦影响环境质量关键科学问题,加强基础科学研究,在重污染天气成因定量化和精准预报、天地一体化水环境监控预警、水气污染物控制、大宗工业固体废物资源化利用等方面实现一批关键技术突破。大气污染治理方面,国家设立“大气重污染成因与治理攻关项目”,建立了国内最大的区域天地空综合立体观测网^[9],对大气重污染定量化、精细化解析技术等进行了深入研究,大气污染

迁移转化规律研究等获得多项新成果^[10-12],电除尘、脱硫脱硝等工艺技术水平已经达到或接近国际先进水平,电力、钢铁、有色、化工等污染源控制一体化集成技术取得一定突破,京津冀等重点区域颗粒物污染控制取得显著成效。水污染治理方面,依托“水专项”,在重点行业水污染全过程控制、城镇水污染控制与水环境综合整治、流域面源污染治理与水体生态修复、天地一体化水环境监控预警和新型水环境污染物的监测和识别、水环境生态修复应用等领域形成成套技术,水环境质量得到整体改善。固体废物资源化处置技术与管理机制不断创新,实现了大宗固废建材化利用、生活垃圾焚烧发电、重金属固废处置、废杂金属清洁再生处理等方面的关键技术取得突破,带动固废循环利用产业发展。目前,中国空气质量发生了历史性的变化,PM_{2.5}全国的平均质量浓度从2015年的46μg/m³降到了2021年的30μg/m³;2021年优良天数比率达到了87.5%,比2015年增长了6.3个百分点。近10年中国I—III类优良水体断面比例提升了23.3个百分点,达到了84.9%,已经接近发达国家水平。

3) 在生态环境工程技术领域,研发了国际一流的以燃煤发电污染物超低排放技术、先进燃煤发电技术和现代煤化工技术为代表的煤炭清洁高效转化与利用技术;深水油气、致密气、页岩气、致密油、煤层气的勘探开发技术取得重大进展;核能产业创新能力进一步加强,掌握了第三代核电技术的大部分核心关键技术;风电、光伏发电等一批可再生能源技术与产业发展迅速。在固体废物资源化工程技术方面,已经形成了“领跑”“并跑”“跟跑”并存、比例相当的基本格局,建成了充填开采、无尾矿库、无废石场的近零排放示范矿山,复杂低品位多金属资源选冶技术取得进步。

4) 在生态环境科技基础能力领域,围绕生态环境保护重点任务,中国加快生态环境保护科技创新平台建设,“十二五”以来组织实施一批国家环境保护重点实验室、工程技术中心、科技创新平台建设,生态环境保护领域科技基础条件和保障能力得到加强。强化野外观测和试验基地能力建设,加强

卫星遥感地面验证观测能力、大气环境地基验证观测站、水质水量综合地面监测试验站、生态遥感验证与地面观测能力体系建设。加大生态环境领域的科技投入,启动实施了大气污染成因与控制技术研究等一批重点专项;创新科研组织实施机制,在京津冀及周边地区、长江经济带、汾渭平原等区域流域创建了“一市一策”驻点跟踪研究工作机制;环境标准基准体系建设逐步完善,现已发布国家生态环境标准 2000 多项;全力推进以生态环境科技成果转化为核心的技术服务体系建设,开发并启动运行国家生态环境科技成果转化综合服务平台。在环境科学前沿探索、推动学科发展等方面发挥了主导作用,为推动科技进步、提升自主创新能力提供了重要支撑,为支撑打好污染防治攻坚战与推进生态文明建设等发挥了重大作用。

3 当前中国生态环境科技面临的挑战

中国生态环境科技创新已经取得长足进步,有效支持了中国生态文明建设、污染防治攻坚战和各项行动计划的实施,为中国生态环境质量取得历史性、转折性、全局性的改善提供了有力科技支撑,但与中国新时期的生态环境战略要求相比,仍面临诸多挑战。

1) 基础研究和理论技术创新不强。由于中国生态环境保护工作起步较晚,基础理论在环境污染治理科技创新中的先导作用不足,部分环保科研工作疲于应对当前的环境管理工作需求,对新生与复杂环境问题及其成因、机理和机制缺乏适度超前预判研究;对环境基准、环境生物学、毒理健康、生态效应等基础缺乏系统和深入研究,对大气复合污染、地下水污染、土壤污染、电子废物污染、放射性废物污染、光污染等新型和复杂环境问题的成因、机理和机制研究不足。生态环境的原发性理论和技术较少,核心技术创新不足,很多核心关键技术、设备、材料仍然依靠国外引进^[13];对生态环境系统中的一些机理和影响问题认识仍然不足,尚未能充分识别工农业生产、大型水利工程建设、资源与能源开发、城市化过程、国际贸易等人类活动和大型

工程对环境的影响机理。

2) 研究的整体性和系统性不足。虽然中国形成了水、大气、土壤、生态、固废等多学科共存的局面,但是各学科发展不平衡,部分学科影响力相对较弱,有些研究领域出现重叠和碎片化现象。面对区域多要素复合污染治理和山水林田湖草系统保护,需要整合多要素开展整体性和系统性研究。此外,中国各单位生态环境科技研发的基础设施和能力建设较分散,缺少整体规划,部分科研项目立项、实施和管理存在条块分割、交叉重复现象难以发挥团队整体作用,设施共用共享效能发挥不高,亟需统一规划各单位基础能力建设,明确定位和重点领域等,统筹生态环境管理战略转型需要,增强基础能力建设的系统性和完整性。

3) 生态环境科技与信息化技术融合力度不够。互联网、物联网、环保专网、电子政务网等生态环境信息化基础建设还不强,高精尖的系统平台、计算中心、数据中心等建设还存在较大的差距。生态环境信息化技术还不先进,大数据、模型算法、人工智能、边缘计算、高性能计算等数字化智能化技术总体上还处于较低水平,对生态环境科技和主体业务支撑不够,为污染防治攻坚战提供的“精准、科学”核心支持力度不够。对生态环境信息化的科技研究应用不足,生态环境时空资源信息的获取、整合、共享以及数据开发应用和服务能力还不强。

4) 重点领域和关键环节“卡脖子”技术亟待突破。在“双碳”和能源利用领域,新能源开发利用、煤炭等传统能源高效清洁利用、非常规油气开发、核电技术的安全高效、碳捕集与碳存储等技术还需要进一步攻关。燃煤发电超低排放、整体煤气化燃料电池发电技术、节能与新能源汽车、燃料电池和大规模储能等技术的研发与产业化进程亟待加强。资源综合利用技术与先进国家相比,存在较大差距,矿产资源总回收率和共伴生矿产资源综合利用率平均仅为约 30% 和 35%,尾矿利用率不到 10%,金属废弃物利用率仅为世界平均水平的 1/3~1/2。重污染行业清洁生产与节能减排关键共性技术、源头减排清洁生产技术,氮氧化物、挥发性有机物、机动车尾气净化、特殊污染物处理等技术及设备研发,

需要进一步加强。

5) 对生态环境管理的支撑和引领有待加强。目前中国生态环境科技投入与发达国家仍有较大差距,以环境工程科技为例,中国平均研发水平指数仅为24.4。竞争性投入比例过大,缺乏对公益性科研机构、重点实验室的长期稳定支持,不利于科研工作的系统性和延续性开展,不利于生态环境科技人才的培养,不利于高水平生态环境科技成果产出。生态环境科技成果转化推广水平还较低,科研到管理的“最后一公里”问题仍未得到有效解决,缺乏重大的生态环境科技创新产品,与全面支撑环境管理综合决策的需求存在较大差距。新领域、新项目技术储备缺乏,生态环境和生物安全风险防范、信息综合服务、电磁环境监管等领域的管理支撑能力亟待进一步提升,对环保产业的带动作用需进一步加强。

4 中国生态环境科技创新未来展望

新时期中国生态环境科技创新要坚持以习近平生态文明思想为指导,牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,立足全国科技创新大会和生态文明建设要求,面向世界科技前沿,服务国家战略,以解决损害人民群众健康的生态环境问题为导向,以改善生态环境质量为目标,以重大科技项目和工程为依托,系统提升生态环保科技创新能力,为实现“双碳”目标和美丽中国目标提供强有力的科技支撑。

1) 持续加强基础理论和技术创新研究。加强生态环境问题前瞻性研究和基础理论创新,探索气候变化和人类活动扰动下的地球环境系统科学理论,揭示污染物形成、迁移、转化规律,为人与自然和谐共生、建设宜居地球环境提供基础理论。开展新形势下细颗粒物和臭氧复合污染的化学和传输机制,流域水环境、水生态退化成因及修复机制,土壤及地下水污染成因与污染过程解析,危险废物代谢转化过程中的微结构调控机理,近岸海域氮磷营养盐变化机制及关键生物过程等研究,为切实改善生态环境质量提供科学基础。研究区域生态安全

格局形成机理和演变机制,关键生态系统和珍稀濒危物种对区域环境变化的响应与适应机制,生物多样性分布格局及维持演化机理、典型外来物种入侵机制等,预测未来区域生态安全格局发展变化趋势,提出区域生态产业布局、生态安全格局设计的技术途径和调控机制。围绕环境健康风险防范,开展新污染物毒性测试、危害机理、计算毒理、暴露预测、环境归趋、追踪溯源、监测检测以及对健康影响等研究。

2) 加强“卡脖子”重点领域和关键环节技术研发。研究分析亟待突破的生态环境领域关键技术,强力组织科技攻关,有效突破大气、水、土壤污染防治三大战役重大关键核心技术以及生态保护修复、固体废物和化学品污染防治、土壤污染防治、区域可持续环境风险防控等关键核心技术^[14];研发重污染行业难降解有毒有机物过程减排技术、化工行业污水及污泥处理等关键技术;研发多种污染物协同控制的关键技术和设备。在“双碳”背景下,加强二氧化碳减排、碳捕集和封存技术,风能、太阳能、氢能、生物质能、海洋能、地热、核能等绿色能源开发利用关键技术研发,特别是实现环流器2号核聚变、小型核动力堆的研发和市场化应用;加强能源结构转变、清洁能源应用等多个领域的颠覆性的技术创新研究,从而带动生态环保产业的发展。

3) 开展对整体性、共同性、区域性生态环境的协同治理攻关。加强对生态环境科技研究的整体性和系统性设计,深化对生态环境演变规律、机理和相互作用、相互耦合、相互影响的系统认识,构建以生态环境质量目标为核心的科学性、系统性、协同性生态环境科技体系。以改善生态环境质量为目标,从生态环境的系统性、复合性和流域区域关联性出发,开展生态环境完整性的调查评估与成因诊断,明确影响区域流域生态环境完整性的关键因素,进行山水林田湖草沙一体化保护和系统治理,实现区域性、整体性生态环境综合治理良好局面。加强人与自然和谐共生等科学技术系统研究,统筹水、大气、土壤、气候、生态等要素协同研究,统筹气候、环境、资源、生态、经济社会等领域协同研究,统筹推进人类社会可持续发展。

4) 加强信息、生物、分子等多领域新技术的融合研究与应用。当今时代,生态环境科技更加注重各新技术的相互融合,推动经济社会与环境协调发展。要系统谋划中国生态环保信息如何加强科技创新、提升科技能力的战略思路与目标。要加强分子技术、生物技术、新材料技术、信息技术等在生态环保领域的融合研发,突破一批生态环境质量改善关键治理技术和管理技术,促进生态环境质量监控、预警和环境风险防控技术的创新发展。对标国际国内先进,从国家层面、区域层面系统布局新型科技含量高的生态环境信息基础设施,加快第五代移动通信、物联网、区块链、大数据、人工智能等研发建设,建立空、天、地、海、水一体化的高度发达的生态环境监测网络和信息网络,实现对各生态环境要素的长期连续观测、监测及信息数据的传输、储存。加强生态环境大数据资源的规划和平台建设,深化大数据资源的挖掘治理与应用。针对生态环境信息化领域出现的新技术、新业态,研发模型算法、人工智能、深度学习等技术,不断研究完善相关法规、标准、制度和政策,确保行业的安全、健康和有序发展。

5) 提升生态环境科技对环境管理的支撑作用。深化管理需求分析,围绕生态环境突出问题,充分发挥环保科技的基础性、前瞻性和引领性作用,加强对环境问题的超前预判和对科技前沿发展的把握,开展有针对性的科技攻关。突破污染控制和生态保护的瓶颈技术,加强生态环境和生物安全风险防范、新型污染物防治、电磁环境监管等新兴领域的能力建设,加强应对气候变化、“双碳”管理与政策仿真等国家重大需求的研究与能力建设。深化国家重点实验室、工程技术中心、生态环境观测站、国家生态环境科技成果转化综合服务平台的建设,促进科研资源的合理配置与共享开放。改革科技管理体制机制,创新重大生态环保科研项目的组织模式,有效发挥区域流域驻点城市“一市一策”工作机制,加大生态环保科技人才队伍建设,推动科技成果转化,有效解决科研到管理的“最后一公

里”问题。

参考文献 (References)

- [1] 高敬, 王立彬, 史卫燕. 党的十八大以来我国生态环境保护成就综述[N]. 新华网, 2018-05-18(1).
- [2] 尹振良, 冯起, 王凌阁, 等. 2000—2019年中国西北地区植被覆盖变化及其影响因子[J]. 中国沙漠, 2022, 42(4): 11-21.
- [3] 张维. 十年间我国生态环境保护发生历史性转折性全局性变化[N]. 法治日报, 2022-06-17(6).
- [4] 曲建升, 张志强, 李延梅, 等. 生态环境领域国际科技发展趋势分析[R]. 兰州: 中国科学院国家科学图书馆, 2009: 1-2.
- [5] 么新, 熊天煜, 郭文婷, 等. 中国生态环境科技创新体系建设研究[J]. 中国环境管理, 2020, 12(6): 13-20.
- [6] 环境保护部科技标准司. 我国环保科技发展历程[J]. 环境保护, 2009(19): 22-26.
- [7] 张显青, 孔繁德. 试论中国环境保护的历程和发展趋势[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2002(2): 1-3.
- [8] 李海生, 李鸣晓, 邹天森, 等. 持续创新, 打造我国生态环境科技2.0[J]. 环境科学研究, 2021, 34(9): 2035-2043.
- [9] 孙婷婷, 项衍, 罗宇涵, 等. 基于综合立体观测网的京津冀地区污染过程分析[J]. 环境科学研究, 2021, 34(1): 20-27.
- [10] Meng F, Zhang Y, Kang J, et al. Trends in secondary inorganic aerosol pollution in China and its responses to emission controls of precursors in wintertime[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2022, 22: 6291-6308.
- [11] Sun M, Zhou Y, Wang Y, et al. Heterogeneous reaction of peroxyacetyl nitrate on real-world PM_{2.5} aerosols: Kinetics, influencing factors, and atmospheric implications[J]. Environmental Science and Technology, 2022, 56: 9325-9334.
- [12] Wen Z, Wang R, Li Q, et al. Spatiotemporal variations of nitrogen and phosphorus deposition across China[J]. Science of the Total Environment, 2022, 830: 154740.
- [13] 李海生. 加强生态环境科技创新 助力打好污染防治攻坚战[J]. 环境保护, 2019, 47: 15-19.
- [14] 李海生. 增强环保科技创新能力 支撑环境管理决策: 需求·挑战·对策[J]. 环境科学研究, 2018, 31(2): 201-205.

Progress and achievements in China's ecological environment science and technology

JIANG Hongqiang¹, LU Yaling^{1,2}

1. State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China
2. The Center of Enterprise Green Governance, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China

Abstract Eco-environmental science and technology is the basis for ecological environment protection, it is leading China to a historic turning point in the overall change and fundamental improvement of ecological environment. Based on a review of the development of ecological and environmental science and technology, this paper summarizes the characteristics of ecological and environmental researches at different stages, and great research progress made in China since the 18th National Congress of the CPC in ecological environmental protection and restoration, environmental pollution control, basic capacity building in environmental science and technology, innovation in green engineering, etc. After listing out the current deficiencies of ecological environmental science and technology, the paper makes proposals in five aspects: intensifying the basic theory and technological innovation; reinforcing the bottleneck area and crucial segment research; strengthening research in joint prevention, control and comprehensive improvement of overall and regional ecological and environmental problems; enhancing the basic supporting role of ecological and environmental science and technology; strengthening the integration research and application of new technologies in information, biology, molecular and other fields.

Keywords ecological environment; pollution prevention; technological innovation; scientific and technological pollution control



(责任编辑 徐丽娇)