

中国科学院水污染研究现状与展望*

周 桔 庄绪亮 杨 萍

(中国科学院资源环境科学与技术局 北京 100864)

摘要 水污染研究是我国控制水体污染和改善环境质量的重要保障。本文从基础理论、监测预警、治理修复三方面介绍了中科院水污染研究的现状,特别是近年来在湖泊富营养化控制、河流综合整治、城市水环境保护、饮用水保障技术等方面取得的研究进展,并对今后中科院水污染防治研究工作进行了分析和展望。

关键词 中国科学院,水环境,水污染

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2009.05.006

我国水环境污染状况不容乐观,水污染控制任务艰巨,依靠科技进步、实施科技创新是控制我国水体污染和保护水环境质量的重要保障。我国自“六五”以来,在湖泊、河流、城市水污染控制与饮用水安全保障等方面开展了广泛的研究,并取得了一定的成果。主要流域常规环境监测体系已初步形成,湖泊富营养化控制与生态修复、河流水环境综合整治、城市水环境保护、饮用水保障技术等方面研究取得了一定的进展,特别是在“三河”(淮河、海河、辽河)、“三湖”(太湖、巢湖、滇池)、三峡库区等重点流域治理的研究工作有了明显的进步。但由于我国水污染的复杂性和长期性等多方面原因,科技支撑存在较大的差距,如对水环境特征、污染过程与机理缺乏系统深入研究、环境监测预警的新技术新方法研发能力不足、水体净化与生态修复技术研究刚刚起步、高效的水污染控制技术与设备集成创新不够、系统的

流域水环境管理技术体系尚未形成等,水体污染研究工作尚需进一步加强。

中科院长期以来重视水污染防治研究工作,生态环境中心、南京地湖所、南京土壤所、水生所、广州地化所等经过多年的研究积累,已成为我国水污染研究的重要力量。拥有湖泊与环境、环境水质学、环境化学与生态毒理学、淡水生态与生物技术、有机地球化学等一批国家重点实验室和环境光学等国家工程实验室,建设了太湖站、东湖站等从事水体污染监测与恢复研究的野外生态站和开展区域环境污染研究的“珠江三角洲环境污染与控制研究中心”等研究单元,形成了水体污染防治研究的重要平台,同时培养造就了一批长期服务于国家水污染研究的人才和创新团队,在基础理论研究、科学监测与预警、治理修复等方面产生了一定影响的研究成果。

1 基础理论研究

水体污染发生机制、污染物迁移转化过程与环境效应等机理研究,是水环境保护、

* 本文涉及的水污染不包括近海海洋污染状况
修改稿收到日期:2009年8月28日

水体污染控制与治理的基础。基于综合学科优势和长期研究积累,中科院一直以来是水污染基础理论研究的主要力量。

1.1 湖泊富营养化研究

湖泊富营养化是人类社会活动对湖泊影响导致的湖泊自然演变过程的浓缩。开展我国浅水湖泊富营养化的特征、生态演化过程与发生机制研究,认识湖泊富营养化与生态系统退化机理,对探索我国湖泊富营养化的有效控制技术,开展规模化工程治理具有重要意义。

南京地湖所、水生所等通过多年对浅水湖泊的物理、化学、生物和沉积环境的系统研究,深入研究了太湖等流域生源要素循环驱动机制及其失衡机理,分析了蓝藻水华的生消动力学、水生植被的生态系统功能和富营养化导致水生植物消亡的原理,提出了蓝藻生长形成水华的4阶段理论,基于多年治理实践,总结出了湖泊治理要先控源截污、后生态恢复的战略路线,并在太湖、滇池等湖泊治理中贯彻和实施,为我国湖泊大规模治理提供了有力的理论指导,奠定了我院在湖泊科学理论和治理实践方面的引领地位。

1.2 流域/区域水体污染研究

在海河流域,生态环境研究中心等以流域复合污染的形成过程-转移转化-生态响应-控制修复为主线,深入开展了河流污染特征与水环境质量演变机制、复合污染的动力学过程与生态健康效应以及饮用水安全评价研究。广州地化所等对东江流域有机氯农药、多环芳烃、多氯联苯及多溴联苯醚等典型持久性有机污染物(POPs)分布特征、来源、输入途径及污染历史等进行了系统的研究。沈阳应用生态所、东北地理所等对松辽水系工业复合污染所致环境质量演变规律、复合污染毒理过程、水体生态修复原理等进行了系统的研究,为松辽水系污染治理和区域可持续发展提供了科学依据。地理

所等对淮河流域的洪水问题、闸坝影响等特征开展了大量的研究工作,分析了淮河流域水环境恶化的根本原因,科学评估了闸坝等水工程活动对河流污染造成的影响。

1.3 面源污染研究

南京土壤所开展了太湖流域不同来源污染物通量研究,建立了营养盐通量及负荷的估算模型,全面分析了主要污染物排放通量和入湖通量,总结了太湖河网区面源综合治理模式,为湖泊面源控制积累了一系列理论与技术成果。同时,南京土壤所组织CERN有关农田生态站等系统开展了我国主要农田氮磷钾营养元素、土壤含水层硝酸盐等污染物的迁移、转化规律等研究。

2 监测预警

我国水环境污染呈现流域性、区域性、污染物种类多样性等特点,传统监测方法难以满足现代水体污染现场快速实时监测预警的要求,亟待建立覆盖全过程的多尺度、多信息的科学监测管理体系。

2.1 湖泊富营养化监测

在太湖流域,南京地湖所、水生所、遥感所、微系统所等发挥多学科交叉和综合优势,研发集成生化、光电、传感器、网络 and 空间信息技术,建立集卫星遥感、近地面高光

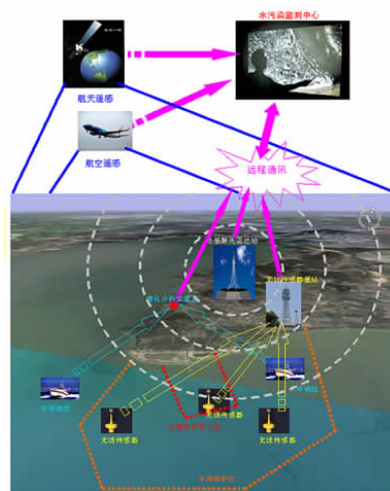


图1 太湖蓝藻立体监测系

谱监测、地基激光雷达与水质在线监测为一体的立体监控平台,实时监测分析相关指标,结合湖泊水动力学模型、藻类生长、输移和扩散模型,对蓝藻水华的发生、爆发进行科学监测和预警。为保障富营养化湖泊的供水安全提供了有力的技术支撑,提升了我国湖泊水质安全保障应急技术水平和自主创新能力。

2.2 三峡库区环境监测

中科院在三峡库区开展了长期的监测研究,早在1984年就主持了三峡工程前期重大科研项目“长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究”等国家任务,形成了《长江三峡工程对生态与环境影响的论证报告》等系列研究报告,提出的三峡工程对生态与环境的影响、移民环境容量制约因素等重要结论,为最大限度地减小工程不利影响提供了决策依据。2002年,依托遥感所成立了“三峡工程生态与环境监测系统信息管理中心”,建设了“长江三峡工程生态与环境监测信息系统”。水生所等开展了库湾及主要入库支流水环境与水华监测工作,对三峡库区及相关区域的水质、污染源、面源污染等环境指标进行了系统的监测和分析,获取了大量的实测数据。

2.3 面源污染监测

依托中科院常熟站、鹰潭站、栾城站等野外生态站的长期定位监测和联网研究,南京土壤所、南京地湖所在太湖河网区、滇池入湖河口,石家庄农业资源中心在白洋淀流域上游等开展了河道、农田等区域的营养盐通量监测,取得了一系列的区域农田生态环境数据,为流域面源污染治理研究提供了重要支撑。

2.4 水环境监控与预警设备

安徽光机所、长春应化所、大连化物所等在水环境质量、水污染源、饮用水源等自动在线监测技术与设备研发上取得了一批

研究成果。如安徽光机所基于高灵敏光谱监测技术,研发了分类测量水体中多种混合污染物的三维荧光成像仪等应用于巢湖、淮河流域等水体污染监测。生态环境中心研发的“多类水源化学品污染综合监控和预警水质在线生物安全预警系统”,通过生态变化信号来判断水质的污染状况,汶川抗震期间成功应用于成都市区自来水水源水质监测与预警,中央电视台对该项最新科技成果的应用进行了报道。

3 污染控制与生态修复

3.1 湖泊水体污染治理

在太湖流域,南京地湖所、水生所、南京土壤所等研发了消浪、控藻、改造底质、水生植被恢复、湖滨湿地修复等治理技术,创造性地提出的一系列技术集成和配套的水质改善成套技术,如消浪与水质净化相结合的生态消浪技术、物理与化学及生物相结合的组合控藻技术以及基于仿生原理的非生物净化技术等,并施之于工程示范,取得良好的效果,建立了太湖梅梁湾水源地水质净化示范工程,面积达7平方公里,是我国迄今为止实施的湖泊生态修复及水质净化最大规模的水质改善示范工程。

控制面源污染,是防治湖泊富营养化的重要途径。南京土壤所等在太湖典型河网区开展了面源污染控制研究,研发集成了生活污水、化肥农药等污染控制技术、面源污染控制的前置库技术、沟渠河网的水质净化技术和河口水生态修复技术等,建立了面积20平方公里的示范工程,形成河网区面源污染控制的技术集成方案。

在滇池流域,水生所、南京地湖所、南京土壤所等针对滇池大规模的蓝藻水华问题,开展了生物控藻、机械除藻、湖岸生态修复、蓝藻检测和脱毒、湖泊生态系统管理、城郊面源污染控制、入湖河口水质净化等技术研发,建立了多项示范工程。

巢湖作为我国五大淡水湖之一,是国家富营养化治理的重点湖泊,南京地湖所在“七五”期间就主持了国家攻关课题“巢湖富营养化研究”,主编了《巢湖——富营养化研究》专著,其成果至今仍被公认为在巢湖研究中具有里程碑价值的重要文献。近年来,南京地湖所、水生所等开展了巢湖生物地球化学过程研究和蓝藻水华研究,提出了巢湖富营养化的控制与治理方案。

在三峡库区,水生所等开展了生物抑藻等治理工作,武汉植物园、植物所、成都山地所等开展了三峡库区消落带生态恢复与综合整治技术研究,筛选了多种适宜消落区生长的植物,建成消落区试验示范基地。

3.2 河流复合污染控制

生态环境中心等在海河流域开展了长期的河流污染背景调查、控制与修复、多水源综合利用、流域治理工程空间格局评估等技术研究与示范。在辽河流域,沈阳应用生态所等分析了辽河流域中长期污染防治与生态建设问题,编制了辽河流域生态建设总体规划并被政府采用,建成了多个典型区域生态环境改善、重点行业污染治理工程示范。在松花江流域,东北地理所、生态环境中心等系统研究松花江污染特征和水环境容量的基础上,开展了流域水质、水源地保护与污染控制工作。在淮河流域,地理所等针对淮河闸坝多、河流水污染事件多发、防洪矛盾等问题,在综合分析沿河排污环境特征、科学评估闸坝等水工程活动对流域水体污染影响的基础上,提出了通过水工程管理和污染控制的流域污染综合修复途径。

3.3 城市水污染控制

城市面源污染是我国水环境质量恶化的重要原因之一,由城市面源污染引起的水环境问题已严重制约了城市的可持续发展。

通过承担“十五”“863”水专项等国家科

研任务,生态环境中心、水生所等研发了城市水体面源污染控制技术和管理措施集成系统,以及以复合垂直流人工湿地技术为代表的一系列适用于城市水环境修复的生态工程技术,形成了城市水环境综合整治的技术及管理体系,建立了汉阳面源污染控制、武汉月湖水体修复等多处示范工程,相关研究成果在武汉、上海、天津、北京等城市得到广泛应用,建设了北京奥林匹克森林公园人工湿地工程,为奥运环境保护提供了重要的科技支撑。

3.4 饮用水安全保障

饮用水水源地保护是确保饮用水安全的重要前提条件。生态环境中心等针对水源地保护与水质改善,建立了生态型水源构建的科学方法和技术模式,在植物群落配置、生物滤床构造、生物协同作用技术等方面取得突破,为水源地水质改善与生态保护提供科技保障。建设了容量 50 万 m^3 的天津滨海新区多水源综合利用工程和占地 1 800 多亩的嘉兴市石臼漾水厂水源地治理工程等示范。

饮用水水质净化技术是饮用水安全保障体系的核心。生态环境中心对高级化学氧化、高效吸附、电化学等技术进行单元和集成创新,形成了集成多项单元关键技术和末端水质多级保障新工艺的饮用水水质安全风险末端控制系统,开发出小区优质饮用水深度净化的核心技术和成套设备,在北京、深圳和天津等地进行大量的工程示范应用。建立了奥运小区饮用水系统示范工程,使奥运村及场馆饮用水达到直饮标准,保障了北京奥运饮用水安全。

3.5 污水处理技术

在工业污水处理技术研发上,生态环境中心针对污水处理和回用中存在的难题,研发了污水处理与回用的协同技术系统,在北京、大庆、宁夏、胜利油田等 10 多项工程实



中国科学院



图2 农村分散型污水处理

践中应用;化学所、生态环境中心等研发了光催化降解技术等高浓度难降解有机废水集成处理工艺技术及设备,在山东建成染料废水处理示范工程。过程工程所研发了铬盐清洁生产、焦化废水强化处理、冶金废水中氨氮回收等技术,并建立了示范工程。沈阳应用生态所稠油污水处理、成都生物所、微生物所等在废水微生物菌剂处理技术、成都有机所等在重金属废水以及焦化废水处理等方面均有深厚的技术积累,建立了相应的工程应用示范。

在生活污水处理技术研究上,生态环境中心针对我国中小城镇分散型污水处理率低等问题,研发出一系列适合中小城镇污水处理与回用的技术与设备系统,建设了多个小区中水回用工程。广州地化所针对分散点源污水处理,研究开发了地下湿地与高负荷地下渗滤污水处理技术,并建立了稳定运行3年的示范工程。南京土壤所、研究生院等研发了集成真空洁厕、水解酸化、人工湿地等技术的分散型生活污水处理系统,在常熟等地区建设了示范工程。

在污水处理材料技术研究上,长春应化所开展了高性能膜材料及分离膜的研究工作,研究制备了系列反渗透复合膜功能单体和具有自主知识产权的中试连续复合制膜的高新技术。上海应用物理所研发的新型膜

-生物反应器,将高效膜分离技术与传统活性污泥法相结合,成功应用于量大面广的有机生活污水处理。生态环境中心研发的新型超滤、板式膜生物反应器及水回用的等配套技术,在化工、食品、医药等行业推广应用,如“超滤法处理、回用印钞擦版废液”技术广泛应用于成都、西安、北京等印钞厂。在目前应用范围最广泛,使用量最大的水处理化学药剂——絮凝剂的研发与产业化上,无论在无机高分子絮凝剂基础应用理论,还是在生产技术实践方面,生态环境中心在国内外始终处于主导地位,开建我国絮凝剂现代产业化技术,创建现代产业基地多个,生产规模居世界之首。

在重大环境污染事件应急技术研究上,生态环境中心、成都生物所等承担了“十一五”“863”计划重大项目等国家任务,开展了重大环境污染事件的特征污染物实验室检测与快速处理技术研究,尤其针对典型液态有机污染物的爆炸或泄漏方式及其污染阶段,研发高效阻断、快速削减和安全处理关键技术,构建技术集成系统和信息库,形成了多级处理处置应急技术系统。在2008年11月发生的河南省商丘市大沙河砷污染事件中,生态环境中心快速反应,自主研发技术在大沙河砷污染治理上成功应用,得到了地方政府和环保部的高度评价。

4 展望

我国水体污染呈复杂性、长期性、结构性的特点,在管理层面上涉及环境保护部、住房与城乡建设部、水利部、农业部等多个部门。在“十一五”末及今后一段时期,中科院应加强以下几个方面的工作,进一步为我国水体污染控制与治理提供重要科技支撑。

4.1 强化基础理论研究,夯实水体污染研究的基础,体现中科院的特色与优势

水体污染控制与治理在根本上依赖于

基础理论研究的不断进步。在基础理论研究上,中科院具有较强的优势和不可推卸的责任,南京地湖所、水生所、生态环境中心等在水体污染基础理论研究上有着长期的研究储备,如湖泊及其流域内物质能量交换和湖泊水文物理现象时空变化规律与机理等物理过程的物理湖泊学研究,蓝藻爆发和水华形成机理以及其代谢衍生物等水体污染物的生物学研究, POPs 等环境化学污染物的环境过程机制及生态效应研究,流域复合污染过程与控制研究等。针对水污染的关键科学问题,开展系统性的和多学科交叉的基础理论研究,是发展突破性的水体污染控制技术和治理措施的基础和重要途径。

4.2 前瞻性部署新的研究方向,发展新型污染防治技术

随着我国经济的快速发展, POPs、内分泌干扰物等新型污染物不断出现,工业和生活污染排放的多种有害物质形成的复合污染已经形成。水体污染从湖泊、河流等地表水体向土壤水、地下水等延伸,目前我国浅层地下水资源污染已较为普遍,并正在向深层地下水污染发展。同时环境污染物对人类健康影响日益严重,如何有效地预防和减少环境污染物的健康危害迫在眉睫。面向新的科技需求,非常有必要前瞻性地部署新型环境污染物研究、地下水污染控制研究、环境污染物健康效应研究等新的研究方向,开展深入系统的研究,为水污染控制提供全面的科技支撑。

现有水污染控制技术大多是在传统理论框架下的改进和组合,在成本、效率等方面难以满足我国水质危机高效控制的国家需求。开展基于化学、物理、环境、生态等多学科的应用基础研究和应用研究,研发污染水体光-电分解等污染治理前沿技术(绿色技术)、痕量污染物分析技术以及矿产、化工等重点污染物排放行业的清洁生产技术等,

是我国水污染防治技术发展创新的重要方向。

4.3 开展集成研究,争取重大成果产出

发挥中科院多学科交叉综合优势,结合前期的研究基础,在重点湖泊、河流以及城市群等区域开展基础理论-技术-示范工程的集成研究,争取产出重大成果。如在太湖流域,充分发挥中科院在蓝藻水华爆发机制、营养盐转化等基础研究积累,利用实时在线、高密度和高灵敏度的监测平台,深化水华发生机制研究,结合多年治理实践,研发有效的富营养化控制技术体系。在京津冀城市群区域,结合水专项、院重大项目的组织实施,深入开展流域复合污染过程与控制的集成研究,系统研究流域水环境质量演变机理与流域过程驱动机制,研发水污染负荷削减关键技术并进行应用与示范,建立适合我国的流域复合污染控制关键技术体系与对策。针对新型有毒有害物质污染日趋严重问题,集成生态环境中心、广州地化所等在 POPs 分析监测、迁移转化、源解析等方面的研究成果,结合流域尺度污染物环境过程机制和控制技术研究,提出以原创性技术为基础、支撑流域水环境质量保护的 POPs 污染控制技术与措施与对策。

4.4 加强人才队伍和平台建设,为长期的可持续发展奠定基础

通过“千人计划”、“百人计划”、“杰出青年基金”、“创新群体”等多种方式,引进和培养水污染研究领域中青年科技骨干,形成以年青人才为主体的创新团队。特别是培育和引进水体污染研究领域的学科带头人和领军人才,推出国家层面的战略专家,发挥顶层设计作用。

在平台建设方面,加强流域尺度环境与生态研究、污染环境修复研究,推动中科院环境生物技术、污染生态与环境技术等院重点实验室建设,以及土壤环境污染过程与修



中国科学院

复、湿地生态与环境等国家重点实验室建设。构建以院、国家重点实验室和国家实验室等为支撑的研究平台,以野外生态站网络等为支撑的科学监测平台,以及以非法人研究单元、国家工程实验室等为支撑的技术研发平台,为中科院水污染研究的长期稳定发展奠定基础。

4.5 与部委、地方政府建立广泛联系,创造良好的外部条件

通过共建研究单元、共用科技人才资源、开展合作项目研究、高层座谈交流等方式,与其他部门建立经常性沟通协调机制,为中科院水污染研究创造良好的外部条件。2008年1月,中科院与环保部联合召开了“环保科技合作座谈会”,双方就环境监测、污染控制等重点领域合作进行了讨论,为中科院承担“十一五”水专项、环境小卫星等重大科技任务创造了条件。2008年11月,中科院与住房和城乡建设部联合成立了“农村污水处理技术北方研究中心”,该中心为住房和城乡建设部批准成立的非法人机构,依托中科院生态环境中心,面向建设部门在

城乡区域污水处理的科技需求,体现了中科院与行业部门的优势结合,对于加强中科院在农村污水处理研究工作,推动我国农村水环境污染研究具有实际意义。

水污染治理具有很强的行业特征和区域特点,中科院通过与环保部、住房和城乡建设部等部委的交流合作,充分了解行业科技需求,针对性地集成研发相应的水污染控制技术,提高技术的经济性、适用性和有效性,促进了中科院科技创新。同时也有利于行业部门充分了解中科院的工作,在国家任务的组织实施中充分考虑中科院的研究力量,在解决国家重大需求中彰显中科院的科技支撑作用。

主要参考文献

- 1 黄铁青,庄绪亮,牛栋等. 中国科学院环境科技发展回顾(1).环境科学学报,2006, 26(4):529-543.
- 2 殷福才,张之源. 巢湖富营养化研究进展,湖泊科学,2003, 15(4): 377-384.
- 3 水科学研究中的若干基础前沿问题.香山科学会议第334次学术讨论会,2008.

Actualities and Perspectives of Water Pollution Research in CAS

Zhou Ju Zhuang Xuliang Yang Ping

(Bureau of Science and Technology for Resources and Environment, CAS 100864 Beijing)

Water pollution research in the Chinese Academy of Sciences is the important guarantee in the national water pollution control and the improvement of environment quality. The research progresses obtained by the Chinese Academy of Sciences in the actualities of the water pollution research, especially in the fields of lake eutrophication control, river comprehensive improvement, urban water environment protection, drinking water safety guarantee technology, and so on, are introduced from the three aspects: basic theory research, monitoring and warning, and control and restoration.. Finally, prospects for the future work on water pollution research in the Chinese Academy of Sciences are given.

Keywords Chinese Academy of Sciences, water environment, water pollution

周桔男,中科院资源环境科学与技术局副研究员,博士。1974年出生于湖南,主要从事环境生物学研究和环境科学科研管理。E-mail:zhouju@cashq.ac.cn