

编者按 清洁的水资源和完善的环境基础设施,深刻影响全人类的生存与发展。当前,如何帮助发展中国家在水与环境领域开展全方位的能力建设,解决经济社会发展过程中面临的水资源危机与环境治理瓶颈,既是联合国 2030 年可持续发展目标的核心内容,也是构建人类命运共同体的重要路径。具体地,各发展中国家所处的经济发展阶段、及其在水安全保障与环境治理技术与管理能力等方面存在不同程度的差异,使得他们在落实联合国可持续发展目标时频受挑战。为使广大读者了解当前发展中国家的水安全问题和应对策略,《环境工程学报》编辑部策划组织了“一带一路水安全挑战与对策”专题。该专题围绕斯里兰卡、伊朗、孟加拉、缅甸、肯尼亚等“一带一路”沿线典型发展中国家的水安全保障需求,以中国科学院-发展中国家科学院水与环境卓越中心自 2013 年成立至今在水科技国际合作方面的实践和思考为线索,分析和总结“一带一路”沿线发展中国家在提升水质安全保障、实现水资源永续利用过程中遇到的核心难点问题,探讨解决问题的关键对策和系列方案,以期深化“一带一路”倡议下水科技合作提供参考。本专题由 6 篇文章组成,并特邀中国科学院-发展中国家科学院水与环境卓越中心团队骨干共同撰文,阐述了全球新格局下我国开展水科技国际合作的背景、模式与未来方向(代序言),以飨读者。



文章栏目:“一带一路”水安全挑战与对策专题

DOI 10.12030/j.cjee.202005179

中图分类号 X52

文献标识码 A

王旭,靳炜,刘娟,等.全球新格局下中国开展水科技国际合作的背景、模式与未来展望[J].环境工程学报,2020,14(8):2066-2074.

WANG Xu, JIN Wei, LIU Juan, et al. International cooperation background, patterns and future prospects in the field of water science and technology in the face of emerging globalization paradigm[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(8): 2066-2074.

全球新格局下中国开展水科技国际合作的背景、模式与未来展望

王旭^{1,2},靳炜¹,刘娟¹,严岩¹,魏源送¹,杨敏^{1,3,*}

1.中国科学院生态环境研究中心,中国科学院-发展中国家科学院水与环境卓越中心,北京 100085

2.中国科学院生态环境研究中心,环境水质学国家重点实验室,北京 100085

3.中国科学院生态环境研究中心,中国科学院饮用水科学与技术重点实验室,北京 100085

第一作者:王旭(1985—),男,博士,副研究员。研究方向:污水处理与资源化。E-mail: xuwang@rcees.ac.cn

*通信作者:杨敏(1964—),男,博士,研究员。研究方向:水污染控制技术与原理。E-mail: yangmin@rcees.ac.cn

摘要 清洁的水资源,是关乎全人类生存与可持续发展的关键性资源。帮助发展中国家尤其是“一带一路”沿线欠发达国家和地区在水与环境保护领域开展能力建设,解决区域发展不平等性,是联合国面向 2030 年清洁饮水和环境卫生可持续发展目标的重要内涵。目前,“一带一路”沿线各发展中国家和地区所处的发展阶段及不同国家和地区在水与环境治理技术和管理水平等方面存在不同程度的差异,使得清洁饮水和环境卫生可持续发展目标在落实过程中面临诸多挑战。以中国科学院-发展中国家科学院水与环境卓越中心成立至今在水科技国际合作方面的实践探索为例,分析总结国际合作背景、落实进程与所得成效,探讨未来进一步优化水科技国际合作模式的若干关键要点,为深化“一带一路”倡议下水科技国际合作提供科学建议,以满足增进人类福祉和保护地

收稿日期:2020-05-28;录用日期:2020-06-01

基金项目:中国科学院-发展中国家科学院优秀中心支持计划(29HT2013005);国家自然科学基金资助项目(51922013);北京市高层次创新创业人才支持计划资助项目(2017000021223ZK07)

球环境的重大需求。

关键词 水资源；水处理；卫生设施；一带一路；发展中国家；国际合作

清洁的水资源，是保障经济社会和自然系统健康可持续发展的关键资源，也是构建人类命运共同体的重要基石。在 2015 年的联合国可持续发展峰会上，联合国将“为所有人口提供清洁饮水和环境卫生并对其进行可持续管理”列入面向 2030 年的可持续发展目标 (Sustainable Development Goals)，以期通过国际合作，促进科技创新，为实现全人类获得清洁饮水和环境卫生的可持续发展目标 (Goal 6, Clean Water and Sanitation) 构建行之有效的实施路径和解决方案^[1]。其中，帮助发展中国家尤其是“一带一路”沿线欠发达国家和地区在水与环境领域开展能力建设，解决全球治理的不平等问题，是联合国清洁饮水和环境卫生可持续发展目标的重要内涵，也是落实这项目标的核心难点。

中国科学院-发展中国家科学院水与环境卓越中心 (CAS-TWAS Centre of Excellence for Water and Environment，以下简称“水与环境卓越中心”)，是中国科学院和发展中国家科学院联合择优支持的 5 个卓越中心之一^[2]。自 2013 年依托中国科学院生态环境研究中心设立至今，水与环境卓越中心在发展中国家普遍关注的水与环境领域开展人才培养、合作研究和战略咨询，并围绕“一带一路”倡议开展系统性、实质性的国际科技合作，促进发展中国家在水安全保障的创新能力建设，为其提升水安全保障能力、解决清洁饮水和环境卫生的国计民生难题提供独特的中国式方案，打开了水科技全球合作的新局面。

目前，“一带一路”沿线各发展中国家和地区所处的发展阶段、不同国家和地区在水与环境治理技术和管理水平等方面均存在不同程度的差异，使得清洁饮水和环境卫生可持续发展目标在落实过程中仍面临诸多挑战^[3]。因此，在距离联合国 2030 年可持续发展目标达成的不到 10 年内，亟需在总结既往经验的基础上，开展水科技国际合作的基本理论与实践模式研究，为水与环境卓越中心乃至全国相关企事业单位深化“一带一路”倡议下水科技国际合作提供科学建议，以满足增进全人类福祉和保护地球环境的重大需求。

本文以水与环境卓越中心设立至今在国际科技合作方面的实践探索为案例，在分析总结国际合作背景、落实进程与所得成效的基础上，探讨未来进一步优化水科技国际合作模式的若干关键点，为增进“一带一路”沿线国家民众获得感、提升沿线国家水科技创新能力、推进全球可持续发展目标进程及促进中国水务技术和产业更好地服务国际社会等方面提供成功经验与科学范式。

1 新形势下水科技国际合作的背景

发展中国家水安全的重大共性需求和挑战，西方国家发展水科技援助和国际合作时缺乏针对性，以及中国日益强大的水务技术和产业，为水与环境卓越中心探索全球新格局下的水科技国际合作创造了重要机遇。

水安全不仅是资源安全的重要组成部分，也关系国家的粮食安全、能源安全和生态安全等问题，是国家安全的基础性保障^[4]。然而，在全球气候变化影响愈演愈烈的背景下，全球仍有 11×10^8 人缺乏足够的生活用水， 26×10^8 人无法保证用水卫生；到 2050 年，缺少饮用水的人口将可能达到 2×10^9 之多^[5]。例如，在水资源紧缺的中东、中亚等敏感地区，水安全问题已经引发社会危机和政治危机，直接影响区域安全和稳定^[6]。随着社会经济和城市化的快速发展，“一带一路”沿线发展中国家普遍存在的饮水安全保障、水污染防治与水生态保护、洪涝灾害、水资源综合管理等问题日益突出。主要表现在以下 5 个方面：1) 基本环境卫生服务缺乏，水环境监测与水质检测能力不足，砷、氟、硬度、硝酸盐、病原微生物等饮用水源水质污染严重^[7]，以氟斑牙、砷中毒、霍

乱、痢疾、伤寒为代表的水源性疾病,以及不明原因慢性肾病、蓝色婴儿症等地方性疾病突出^[8-9]; 2) 供排水基础设施条件差,自来水管网覆盖率和污水处理率低,与人口规模和城市化发展不匹配的问题已显现^[10]; 3) 气候变化驱动的洪旱灾害及城市内涝等极端事件频发,但即有抗灾能力普遍不强^[11-12]; 4) 水资源开发和利用缺乏科学规划,水资源短缺、水资源利用率低等问题极为严峻^[13]; 5) 水科技研发及产业化水平低,涉水管理体制不健全,专业人才储备缺乏,未能满足日益增长的水安全保障需求^[14]。因此,发展中国家尤其是“一带一路”沿线国家实现联合国2030年清洁饮水和环境卫生可持续发展目标正面临重大挑战。

因缺乏必要的资金、技术、人才和产业基础,“一带一路”沿线发展中国家依靠自身力量实现清洁饮水和环境卫生可持续发展目标的难度极大。寻求发达国家的资金援助并与之建立科技合作关系是发展中国家解决问题的常规思路。近10年,西方发达国家在积极向发展中国家提供资金和技术援助,以帮助解决水污染控制与水资源管理等问题,但收效甚微^[15]。一个重要原因在于,发达国家开展的对外援助和科技合作只是复制自身既有技术并组织工程实施,未全面考虑援助和合作对发展中国家经济增长、环境保护与民生改善的影响,忽略了发展中国家在水污染防治、水质安全保障与水资源综合管理等方面的自身能力建设。另外,在传统国际援助体系中,发达国家以战略型援助为主,目的在于维护自身在全球的战略利益;援助施受双方的地位不平等,发达国家始终处于主导地位,受援国的主事权并未受到应有的重视和尊重^[16]。在开展援助和科技合作时,发达国家通常复制自身的成熟技术,并未针对受援国的实际情况构建适宜技术模式,导致工程项目经常性出现运行维护成本过高等水土不服的问题,严重影响国际援助和科技合作的最终成效^[17-18]。因此,突破发达国家开展援助和科技合作长期沿用的传统模式,重构真正适宜于发展中国家增强自身水科技创新能力的国际合作新范式,是帮助其实现清洁饮水和环境卫生可持续发展目标的关键。

改革开放40年来,中国利用有限的水资源支撑了全球最大规模的工业化与城镇化进程,在水污染控制方面也积累了独到的经验,水科技创新及应用取得了长足进步。2018年,全国地表水1935个水质断面(点位)中,I类到III类水质断面(点位)占比71.0%;按水源地数量统计,同年871个在用集中式生活饮用水水源地中,达标水源地比例为90.9%^[19];全国城市供水总量超过 $6 \times 10^{10} \text{ m}^3$,用水普及率高达98.36%,全国县城供水普及率也达到了93%以上,全国城市污水处理量近 $5 \times 10^{10} \text{ m}^3$,污水处理率达到95.49%,县城污水处理率也超过了91%^[20]。特别是近10年,中国水科技创新步伐明显提速,仅国家水体污染控制与治理科技重大专项投入就达百亿元级^[21]。全国已形成一支颇具能力的水领域科技人才队伍。为解决水资源、水环境、水生态的问题,我国部署和实施了国家自然科学基金、国家高技术研究发展计划(863计划)、国家重点基础研究发展计划(973计划)、国家科技重大专项、产业化研发项目、国家重点研发计划等国家级科研计划,涵盖了基础研究、技术创新、材料研制、装备开发、管理策略、监管平台、标准规范、应用示范等全系列内容,亦涉及流域水环境治理和生态修复、城市水环境质量改善、污水处理与再生利用、饮用水全流程安全保障、水质监测预警、水资源综合管理等诸多方面,并取得了大量理论、技术和应用成果,解决了中国诸多水污染治理难题,形成了从基础研究、技术研究、政策管理到工程应用的全链条创新体系^[22-25]。水科技的创新促进了环保产业的迅速发展。一批以策划重大工程和改善区域水环境质量为核心业务的央企和国企,以及以水务技术产品和服务为拳头业务的民营高新企业在发展中崛起,为中国水安全保障的提升发挥了关键性作用^[26]。可见,我国现在有能力将水环境治理实践中产生的技术产品和独到经验推广到“一带一路”沿线发展中国家,支持发展中国家改善水生态环境质量和民生状况,推进可持续发展目标进程。因此,我国亟需从“有能力做到”到“真正实现”探索出一条不同于发达国家的国际援助与合作路径。

作为水与环境卓越中心的依托单位,中国科学院生态环境研究中心是我国第一个全国性生态

环境领域综合研究机构。水与环境卓越中心成立至今，积极推进与政府有关部门、高校和企业的合作，大力实施国际化发展方略；长期致力于水质安全保障领域的基础研究、技术开发和工程应用；在水源污染控制与水质保障技术、饮用水高效净化与安全输配技术、污水处理与资源化技术、流域水环境治理与修复等方面取得了系列创新成果，多项成果在国内外成功应用转化；形成了一支创新能力强、具有国际科技合作经验的高水平研究队伍，初步建成了世界一流的生态环境科学研究平台。7年来，围绕国家“一带一路”倡议和中国科学院率先行动计划，水与环境卓越中心瞄准发展中国家水安全的重大共性需求和核心挑战，以造福当地民众、帮助发展中国家培养人才和提升水安全保障能力、促进我国水务产业走出去为目标，秉持“亲诚惠容，坚持共商共建共享”原则，突破西方国家在国际科技援助方面长期推行的传统模式，借助国家在水环境治理领域形成的科技创新合力，在与“一带一路”沿线国家开展水科技合作的过程中逐渐摸索和形成了以“人才培养—技术示范—平台构建”为路径的国际合作发展新模式，并提升水务企业在科技合作网络中的角色地位，在精准把脉发展中国家水安全问题的基础上以“一国一策”为方略高效推动科技合作，迄今在切实解决发展中国家水安全问题、提升当地民众获得感等方面已初见成效。

2 水科技国际合作的新模式探索

完善以能力提升为核心的人才队伍建设，形成以专家组调研为先导的技术示范，推动以改善民生为目标的联合平台建设，是水与环境卓越中心在和发展中国家开展科技合作过程中探索并建立的总方略。

7年来，水与环境卓越中心在实践中逐渐探索出以“人才培养—技术示范—平台构建”为实施路径的科技国际合作模式，积极帮助“一带一路”沿线发展中国家提升水安全保障的自主发展能力，对增进当地民众获得感发挥了积极作用，得到了国际社会的广泛关注和高度肯定。

在人才培育方面，水与环境卓越中心针对“一带一路”沿线发展中国家存在水务人才紧缺的共性矛盾，积极开发了一系列内容丰富、专业有效的技能和管理培训课程，以支持和完善发展中国家的水务人才队伍建设。7年来，以“发展中国家水与卫生培训班”为品牌代表的培训项目受到了沿线国家地方政府和参训学员一致赞誉。他们表示从培训中切实学到了先进水处理技术、水治理经验及水管理理念，学成归国后可将其运用于提升当地的水安全保障。在开展水与卫生培训的过程中，有来自中国相关学科领域资深科学家、高级工程师及国家生态环境部、住房与城乡建设部、国家卫生健康委员会、商务部等政府官员和水务企业骨干百余人加入到了培训项目的特邀讲师队伍，增强了水与环境卓越中心在相关领域的知识经验的传播能力。此外，水与环境卓越中心还牵头组织多学科跨机构专家到柬埔寨、斯里兰卡、伊朗、尼泊尔、孟加拉等国进行技术指导和专业培训。例如，为伊朗国家环保部专业人员开展二恶英监测技术培训；针对斯里兰卡不明原因慢性肾病(CKDu)追因和饮水安全保障的需求，联合北京大学第一医院、北京市疾病预防控制中心等专业机构，分别对斯里兰卡30名肾内科医护技人员和20名基层公共卫生管理人员进行了专业医疗护理和流行病学培训。除了积极地开展人才能力建设，水与环境卓越中心还注重与沿线国家在高等教育方面建立长久合作伙伴关系，帮其提升水与环境领域科教水平，为水务行业储备未来人才。水与环境卓越中心已先后与伊朗德黑兰大学、伊朗桂兰大学、孟加拉工程技术大学、泰国亚洲理工学院等高等院校在环境科学、环境工程、环境管理、化学等多学科领域签署合作谅解备忘录。通过中国政府奖学金、中国科学院-发展中国家科学院卓越中心院长奖学金计划、中国科学院国际人才计划等奖学金资助渠道，水与环境卓越中心已经择优支持超过30名博士生、博士后和青年教师进入中国科学院攻读博士学位或开展学术交流访问。来华人员学成归国后，多数就职当地一流大学或研究机构，成为水与环境卓越中心对外深化科技合作的重要人力资源。

培育人才队伍是发展中国家增强自身应对水安全问题能力的重要基础,而以专家调研为先导的技术示范,则为实现发展中国家水环境质量提升与水安全保障提供了具体的实践范式。水与环境卓越中心成立迄今,联合了水质学、地质学、医学、生命科学等学科领域国内专家与水务企业代表等百余人次,通过实地调研、人员采访、水质监测等形式,对柬埔寨、缅甸、斯里兰卡、孟加拉、尼泊尔、伊朗、卢旺达、肯尼亚等8个“一带一路”沿线国家的水资源现状、水污染态势、供排水基础设施条件等方面进行了深入调查和分析,编制了包括《斯里兰卡贾夫纳半岛水资源调查分析报告》、《孟加拉饮用水处理现状调研报告》、《发展中国家水与卫生报告》等在内多部第一手调研报告,总字数多达10余万,为形成沿线国家水污染防治与水质提升方案设计提供了关键数据。例如,自20世纪90年代中期以来,斯里兰卡长期面临不明原因慢性肾病和饮用水安全问题,并一直寻求国际合作和救援。一些发达国家和国际组织曾帮助斯里兰卡研究过这一问题,但始终没有明确不明原因慢性肾病的病因。自2015年以来,为帮助斯里兰卡解决这一问题,水与环境卓越中心组织多学科专家组围绕不明原因慢性肾病追因、预防、控制和饮用水安全保障关键技术开展深入调研,形成了系统的解决方案,为斯里兰卡不明原因肾病总统指导委员会提供了有力的科技支撑。在水与环境卓越中心的协助下,有多家中国水务企业在斯里兰卡CKDu病区建设了地下水源饮用水处理技术示范工程,其中包括导向型电渗析地下水除硬脱氟脱硝饮用水处理装置(300 t·d⁻¹)、纳滤饮用水站(20 t·d⁻¹)和高氟高硬度地下水处理装置(40 t·d⁻¹)。斯里兰卡国家供排水委员的水质监测结果表明,设备出水的水质均优于斯里兰卡饮用水水质标准。工程为当地4 000余名村民和1 300余名小学生提供了安全可口的饮用水,改善了当地居民的用水体验。此外,水与环境卓越中心联合水务企业开发了适用于斯里兰卡的雨水饮用水化技术与设备,并在斯里兰卡北中央省CKDu病区阿努拉德普勒和西北省普特拉姆地区的公共场所(如庙宇、学校、农业技术推广站等)完成了20余套雨水收集与净化利用设备的安装与调试。设备运行稳定,惠及当地民众。

同时,水与环境卓越中心积极探索与“一带一路”沿线发展中国家建立长效合作机制,以期全面解决当地水安全问题而改善民众生活质量。迄今,水与环境卓越中心已与斯里兰卡、伊朗、柬埔寨、孟加拉、尼泊尔等多个沿线发展国家开展了多次部、所级合作研讨会,双方政府官员、科研人员、行业专家和企业代表出席会议,正式签署合作备忘录10余份,已与数十个沿线国家达成合作共识,旨在积极探索以水环境为核心的多个潜在科技合作领域。近年来,水与环境卓越中心通过与发展中国家政府部门和科研院所联合建设了包括“中国-斯里兰卡水技术与示范联合中心”、“中国-柬埔寨水与环境联合实验室”、“中国-伊朗水与环境联合研究中心”在内一批研究中心和实验室,为当地高层次科技人才培养打造强有力的工作平台;并配备先进的实验仪器和设备,派遣国内科研骨干进行设备仪器操作及实验数据分析培训等科研能力建设,强化了发展中国家科研人员综合业务能力。在此基础上,水与环境卓越中心邀请中国水务企业参与国际科技合作,共同完成技术工程实施,弥补发展中国家水务产业薄弱的短板。2016年,在水与环境卓越中心的倡议下,包括力合科技、京润科技、联池水务、泰宁科创等在内的数十家水务高新企业成立了“一带一路”环境科技与产业联盟,为提升中国水务企业在科技国际合作中的角色地位创造了新机遇。随后,水与环境卓越中心携手力合科技捐建了柬埔寨第一座水质在线自动监测站,为柬埔寨的水环境监测体系构建奠定了重要的基础。可以看到,以改善当地民生为驱动力,构建基于联合科研平台的长效合作机制,发挥中国水务企业的技术转化与推广能力,是水与环境卓越中心与发展中国家得以开展有效合作的另一重要因素。

3 未来展望

在未来,水与环境卓越中心将延续“人才培养—技术示范—平台构建”的总方略,在顶层设

计、有序发展、强化能力、因地制宜、数据驱动、开放共享和扩大合作7个方面与发展中国家深化科技合作，为构建人类命运共同体提供成效更显著、惠及面更广的水安全保障方案。

1) 顶层设计。7年来，水与环境卓越中心已在斯里兰卡、柬埔寨、伊朗、尼泊尔、孟加拉和缅甸等“一带一路”沿线发展中国家开展了落到实处的人才培养、工程示范与联合平台建设，对沿线国家的基本国情、民俗习惯以及水与环境卫生条件有了较为系统全面的认识。未来，水与环境卓越中心应针对发展中国家面临的共性挑战凝练重大科学问题，从科学、技术、工程和政策多维度提出全球大科学合作研究计划；形成一系列具有国际影响力、成效可持续、可载入史册的水科技国际合作成果；在解决发展中国家水安全问题的同时，也培养出一批具有创新能力和国际视野的当地科技人才。这对聚集全球智慧解决“一带一路”沿线国家的水资源、水环境和水生态问题，提升当地民众获得感与生活质量，推进联合国清洁饮水和环境卫生可持续发展目标的实施进程均具有深远的意义。

2) 有序发展。尽管水与环境卓越中心已在发展中国家取得了一批具有显示度的科技合作成果，但以水质科学、环境工程学等相关学科为知识基础的研究人员、工程师和管理者通常不熟悉对外援助和国际合作的基本规则与理论体系。这使得他们在开展具体工作的过程中经常出现摸着石头过河、有力无处使的情况，从而在某种程度上影响了对外援助与合作的成效。未来，应提高中国水环境专业人才的对外援助与国际合作理论水平，培养出一批既懂水科学又擅长科技外交的综合型人才。此外，还应及时总结与斯里兰卡、柬埔寨等国家在水环境领域合作的成功经验，开展科技国际合作的普适性模式研究，探索合作成效评估体系的构建。同时，应扩大合作成果的传播力度，提高成果传播的时效性，丰富成果传播的多元化，发现和树立科技合作中的优秀典型，增强科技成果的国际影响力。总的来说，未来通过强化水科技国际合作的“决策—执行—评估—传播”全链条构建与完善，有望推动水与环境卓越中心在国际科技合作方面的持续发展。

3) 强化能力。一直以来，以能力建设为核心落实发展中国家的人才培养，是水与环境卓越中心开展科技合作的起点和特色，并逐渐形成以“发展中国家水与卫生培训班”为品牌的培训项目，培养出一批来自40余个发展中国家的优秀学员。他们学成回国后在当地水安全保障中发挥着重要作用。联合国人居署长期致力于全球欠发达国家和地区的人居环境改善与基础设施服务提高的能力建设。水与环境卓越中心与联合国人居署已签署合作谅解备忘录。未来双方将在人才培养等方面优势互补、强强联合，进一步帮助“一带一路”沿线发展中国家强化自身的水安全保障能力建设。水与环境卓越中心还将进一步完善培训体系：建立培训班管理机制，实现对培训学员“申报—择优—反馈—回访”全链条数据信息管理，为培训成效评估、课程优化与学员管理提供数据支持；形成学员联络机制，增进毕业学员之间及其与水与环境卓越中心的交流，发挥毕业学员的带头作用，为“一带一路”沿线国家繁荣发展贡献力量；设立水科技外交大使奖，表彰活跃于水科技传播的优秀学员，发挥积极的外交效应和影响力。

4) 因地制宜。坚持以改善民生为导向，是水与环境卓越中心在“一带一路”沿线发展中国家开展水环境领域科技合作的宗旨。近些年来，水与环境卓越中心针对孟加拉、斯里兰卡、伊朗等多个“一带一路”沿线发展中国家的饮用水安全问题，积极推进技术分享与示范工程建设，因地制宜推进当地水与卫生基础设施建设，为当地饮水安全提供了强有力保障，有效改善了民生状况。孟加拉国是世界上饮用水砷污染最严重的国家，每年近3000万人口面临地下水砷超标问题，如何经济高效实现饮用水中砷去除是孟加拉在保障饮用水安全方面面临的巨大挑战。水与环境卓越中心积极响应孟加拉国地方政府与城乡发展部的技术求助，在完成对孟加拉水源砷污染、饮用水处理现状的调研报告基础上，积极推进饮用水除砷援外项目，开发同步去除三价砷和五价砷的新型高效除砷材料及一体化处理装置。为解决孟加拉国饮用水砷污染难题提供了适宜技术路径。为落

实联合国提出的2030年“为所有人提供清洁饮水和环境卫生并实现其可持续管理”的目标，水与环境卓越中心还应探索惠及面更广的水安全保障技术与工程。具体地，可通过小额资金投入，将经过科学评估和验证的高科技含量、低成本投入的技术和装备在发展中国家进行应用示范，进一步提升我国援外合作的能力、水平和效率，更好地服务于当地水质提升与民生保障。

5) 数据驱动。完整的城市水系统由地表水、地下水、雨水及供排水设施等多个自然和人工水单元组成，体系庞大、过程复杂、单元间相互联系紧密，以及受人类活动影响显著是现代城市水系统的主要特征。随着社会经济发展与城市化加速，发展中国家在饮用水安全保障、水污染防治与水生态保护、洪涝灾害、水资源综合管理方面的问题日益突出。另一方面，传统水系统工程以取水、供水和排水为独立目标，缺乏从整体联动的角度去优化、管理甚至重构满足城市可持续发展的水系统范式。近年来，随着大数据、机器学习和人工智能等数据驱动技术的飞跃式发展，为水系统优化设计与集成管理带来了新机遇。在这种形势下，水与环境卓越中心应结合依托单位在相关研究方向的新成果，率先在“一带一路”沿线发展中国家探索数据驱动水环境治理的新方法，建立对恒河、湄公河和尼罗河等重要国际流域的水质在线监测、离线分析及模拟评估技术，形成沿线重点流域的水质信息大数据平台，提供精准水情信息、助力科学治理，服务沿线发展中国家水系统优化设计与集成管理的重大需求，为保障区域水安全提供有力支撑。

6) 开放共享。经过7年实践探索，水与环境卓越中心以开放包容、不带任何附加条件的科技援助合作赢得了广大发展中国家的好评。为扩大已取得工作成果的积极效应，水与环境卓越中心未来还应进一步建立和完善在经验、数据、技术和标准等方面的开放共享机制，让国内外更多智慧资源注入到水环境领域的国际援助与科技合作当中。具体地，可通过探索有效的方法工具、共享途径、数据格式、信息转化方式、技术支持形式等数据共享与互通互联机制，提供开放的大数据信息平台，服务更广泛的科技合作领域；同时，积极分享中国在水质检测和监测方面的标准构建、能力考核及平台建设经验，为发展中国家水环境治理与水质改善提供借鉴；可公开部分非涉密的调研报告和白皮书，让更多科学家和研究机构了解“一带一路”沿线国家水情信息，群策群力，发挥集体智慧。

7) 扩大合作。水与环境卓越中心在“一带一路”水科技合作过程中不断探索国际合作的生态模式，逐渐培育出以解决发展中国家水安全问题为目标，以水与环境卓越中心为桥梁，以政府部门、非政府组织、水务企业、投资机构等多元成员深度融合的水创新合作网络，为中国与“一带一路”沿线国家在水科技合作及区域可持续发展等方面提供有力的政策、经济、科技、人才和技术保障，为全球水环境治理及联合国可持续发展目标推进提供了科学范式。未来，水与环境卓越中心还应完善水创新合作网络，充分挖掘和发挥网络中各方有效资源的作用，以解决国际科技合作中涉及的工程运营、资产管理、服务管理等问题和能力短板；与此同时，帮助发展中国家开拓援助资金的来源渠道，促成建立与中国政府投资、金融资本和民间资本合作的对接机制，形成资本运行合力，理顺与发展中国家在开展科技合作全过程和各环节中的供需关系与关键矛盾，以帮助发展中国家尽早实现水环境领域的产业化发展。

4 结语

改革开放以来、尤其是最近10年，中国水环境治理技术得到了蓬勃发展。中国庞大的环保市场成就了一批水环境监测、饮用水处理、污水治理与资源化等领域的高新科技企业与优秀技术产品，积累了非常丰富的水安全保障经验，这是任何西方发达国家所不可比拟的发展和进步。当今，在发展中国家社会经济开始发展、国际地位逐渐提升的全球新格局下，如何帮助发展中国家尤其是“一带一路”沿线国家解决制约其经济发展的水安全重大挑战，突破西方国家对外援助与合

作的传统模式, 重构真正适宜于发展中国家提升水环境质量、改善民生条件的科技援助与合作新范式, 以尽快推进联合国提出的2030年“为所有人口提供清洁饮水和环境卫生并实现其可持续管理”的目标进程, 这是以中国科学院-发展中国家科学院水与环境卓越中心为代表的中国力量应尽的责任和义务, 也是落实人类命运共同体构建与生态文明建设伟大目标的最佳实践平台。

参 考 文 献

- [1] United Nations. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development[R]. New York: United Nations, 2015.
- [2] 中国科学院-发展中国家科学院卓越中心简介[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(Z2): 96-97.
- [3] 肖峰, 马晓敏, 杨敏. 一带一路水务科技合作机遇与挑战[J]. 智库理论与实践, 2016, 1(6): 52-59.
- [4] LARSEN T A, HOFFMANN S, LUTHI C, et al. Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world[J]. *Science*, 2018, 352(6288): 928-933.
- [5] United Nations. Sustainable development goal 6: Synthesis report on water and sanitation 2018[R]. New York: United Nations, 2018.
- [6] WEINTHAL E, SOWERS J. The water-energy nexus in the middle east: Infrastructure, development, and conflict[J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2020(1): e1437.
- [7] CHOWDHURY S, MAZUMDERM A J, AL-ATTAS O, et al. Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 569: 476-488.
- [8] WIMALAWANSA S J. The role of ions, heavy metals, fluoride, and agrochemicals: Critical evaluation of potential aetiological factors of chronic kidney disease of multifactorial origin (Ckdmfo/Ckdu) and recommendations for its eradication[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2016, 38(3): 639-678.
- [9] ARGOS M, KALRA T, RATHOUZ P J, et al. Arsenic exposure from drinking water, and all-cause and Chronic-disease mortalities in Bangladesh (heals): A prospective cohort study[J]. *Lancet*, 2010, 376(9737): 252-258.
- [10] United Nations Children's Fund (UNICEF), World Health Organization (WHO). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities[R]. New York: UNICEF, WHO, 2019.
- [11] MUJUMDAR P P. Climate change: A growing challenge for water management in developing countries[J]. *Water Resources Management*, 2013, 27(4): 953-954.
- [12] PENNY D, ZACHRESON C, FLETCHER R, et al. The demise of angkor: Systemic vulnerability of urban infrastructure to climatic variations[J]. *Science Advances*, 2018, 4(10): eaau4029.
- [13] 左其亭, 郝林钢, 刘建华, 等. “一带一路”分区水资源特征及水安全保障体系框架[J]. *水资源保护*, 2018, 34(4): 16-21.
- [14] WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme). The United Nations world water development report 2019: Leaving no one behind[R]. Paris: UNESCO, 2019.
- [15] CHA S, MANKADI P M, ELHAG M S, et al. Trends of improved water and sanitation coverage around the globe between 1990 and 2010: Inequality among countries and performance of official development assistance[J]. *Global Health Action*, 2017, 10(1): 13.
- [16] 张海冰. 发展引导型援助: 中国对非洲援助模式研究[M]. 上海: 上海人民出版社, 2012.
- [17] MOYO D. Dead aid: Why aid is not working and how there is a better way for Africa[M]. New York: Farrar, Straus and

Giroux, 2009.

- [18] 刘晴, 王伊欢. 从效果悖论看西方援助评估体系的内在矛盾[J]. 求索, 2018(3): 88-96.
- [19] 中华人民共和国生态环境部. 2018中国生态环境状况公报[R]. 2018.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2018年城乡建设统计年鉴[R]. 2018.
- [21] 仇保兴. 水专项面临的新形势与新任务[J]. 城市发展研究, 2013, 20(4): 1-9.
- [22] 潘念涛, 潘涛, 孙长虹, 等. 基于文献计量分析“水专项”的学术成就及研究热点[J]. 给水排水, 2014, 50(S1): 69-74.
- [23] 周斌. 国家重点研发计划“水资源高效开发利用”重点专项解析[J]. 水科学进展, 2017, 28(3): 472-478.
- [24] 曲久辉. 对未来中国饮用水水质主要问题的思考[J]. 给水排水, 2011, 47(4): 1-3.
- [25] 曲久辉, 赵进才, 任南琪, 等. 城市污水再生与循环利用的关键基础科学问题[J]. 中国基础科学, 2017, 19(1): 6-12.
- [26] 任赞. 我国环保产业发展研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.

(本文编辑: 金曙光)

International cooperation background, patterns and future prospects in the field of water science and technology in the face of emerging globalization paradigm

WANG Xu^{1,2}, JIN Wei¹, LIU Juan¹, YAN Yan¹, WEI Yuansong¹, YANG Min^{1,3,*}

1. CAS-TWAS Centre of Excellence for Water and Environment, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3. Key Laboratory of Drinking Water Science and Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

*Corresponding author, E-mail: yangmin@rcees.ac.cn

Abstract Restoring and ensuring clean water resources are vital to human well-being and survival. In this context, how to assist developing countries, especially less developed nations and territories along the Belt and Road with their capability building for water and environmental protection, and thereby reducing regional inequality in socio-economic development, have become the important connotation of the Sustainable Development Goal 6, Clean Water and Sanitation, under Agenda 2030 of the United Nations. Nonetheless, it remains challenging to achieve progress at large because varying countries and territories along the Belt and Road are undergoing distinct stages of socio-economic development, accompanied with insufficiencies and differences in water and environmental governances. Therefore, this article at first analyzes and summarizes current international cooperation background, practices, and achievements in the field of water science and technology, building upon experience derived from 7-years practices of CAS-TWAS Centre of Excellence for Water and Environment. Subsequently, the present work highlights and discusses a host of key points to be optimized further in future efforts on international scientific and technological cooperation of water and environmental protection. Overall, this article provides information beneficial for establishing and strengthening the Belt and Road scientific and technological cooperation in the water and environmental field, with the ultimate goal of satisfying ever-growing demands of humans while maintaining the Earth's ecosystems.

Keywords water resource; water treatment; sanitation; the Belt and Road; developing country; international cooperation