

# 科技支撑水环境治理作用机制研究

吴兆丹<sup>1,2,3</sup>, 王晓霞<sup>1</sup>, 吴兆磊<sup>4</sup>, 华钰<sup>1</sup>

- (1. 河海大学企业管理学院, 江苏 常州 213022;
- 江苏省“世界水谷”与水生态文明协同创新中心, 江苏 南京 211100;
- 河海大学“一带一路”非洲研究中心, 江苏 常州 213022;
- 华北水利水电大学电力学院, 河南 郑州 450000)

**摘要:**从科技支撑水环境治理的需求、条件与路径三方面,对科技支撑作用机制展开系统分析。结果表明:水环境治理需要科技从基础理论与认知、关键技术方法、系统解决方案三方面予以支撑;该支撑作用的发挥,所应具备的前提条件是发展生态科技,同时还应满足企业规模、知识、制度、文化等方面的内在条件,以及市场、社会文化、科研、金融、政策与法律等方面外在条件;科技通过硬实力层面的改进水安全保障技术和监测技术,以及软实力层面的夯实制度基础、推进治理工作、加强宣传教育等路径,发挥其对水环境治理的支撑作用。

**关键词:**科技;水环境治理;生态科技;作用机制;水生态文明

**中图分类号:**TV213.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1003-9511(2019)04-0042-06

水环境治理是水生态文明建设的重要组成部分。当前我国已进入“十三五”的最后攻坚阶段,科技创新是“十三五”核心发展理念,对水环境治理具有重要支撑作用。2017年水利部印发《关于实施创新驱动发展战略,加强水利科技创新若干意见的通知》,指出要进一步推动科技与水利生产实践紧密结合,推进产学研用结合,加快科技成果应用。2018年水利部印发《加快推进新时代水利现代化的指导意见的通知》,指出要以全面深化改革和推动科技进步为动力,推进水治理体系和能力现代化。那么,水环境治理需要科技从哪些方面予以支撑,水环境治理中科技支撑作用的发挥需要怎样的条件,科技是通过哪些路径来支撑水环境治理的,笔者将从需求、条件与路径三方面,探讨科技支撑水环境治理的作用机制,为在水环境治理实践中充分发挥科技支撑作用提供参考。

## 1 文献综述

关于科技对水环境治理作用的研究大致可分为两类,一类是针对具体某项水环境治理技术的

分析,另一类则关注科技整体对水环境治理作用的分析。

国内外该领域研究以第一类居多,且主要聚焦于水环境治理关键技术方法。此类研究的技术理论成熟度较高,应用效果也较为直观。Burezq等<sup>[1]</sup>论证了浅层地下水污染处理中,芦苇属植物水体修复技术的有效性;Athresh等<sup>[2]</sup>提出了一种GSHP开环控制系统,以较低的成本为水环境治理提供相对高效可靠的供热系统;Jabeen等<sup>[3]</sup>论证了微生物燃料电池技术在水污染治理中的适用性;Gopinath等<sup>[4]</sup>提出了水污染表面处理的策略,讨论了降解有机污染物的各种介质与方法;刘晔等<sup>[5]</sup>从光学检测与电化学检测两个方面,对纳米材料技术在水环境重金属检测中的应用予以综述并提出展望;嵇晓燕等<sup>[6]</sup>构建了包括运行管理平台、数据管理中心以及技术规范的国家网流域水环境质量监测技术体系;胡榕<sup>[7]</sup>阐述了城市水环境治理中生物修复技术;卜久贺等<sup>[8]</sup>研发出景观式新型微纳米增氧生物浮岛技术,为河湖富营养化治理提供数据参考和技术支撑。

国内外有关科技整体对水环境治理作用的分析

**基金项目:**国家自然科学基金(41401634);中央高校基本科研业务费专项资金(2017B19014,2018B31014);江苏省政策引导类软科学研究资助项目(BR2018010)

**作者简介:**吴兆丹(1988—),女,副教授,博士,主要从事资源经济及管理研究。E-mail:wuzhaodan@hhu.edu.cn

主要为定性研究,侧重理论构建与阐述,对相关决策部门的战略制定具有一定指导意义。Bismuth 等<sup>[9]</sup>指出目前国家层面水治理逻辑应从传统的以技术为中心的逻辑转变为政策—技术联动逻辑;Colosimo 等<sup>[10]</sup>结合科学、技术和水政策,指出水资源管理科学和技术领域进展对政策制定的重要性;黄娟<sup>[11]</sup>讨论了科技对水污染防治的作用;庞洪涛等<sup>[12]</sup>在探究流域治理 PPP 模式中,强调了技术集成对于水环境治理的重要性;左其亭<sup>[13]</sup>、张建云等<sup>[14]</sup>、吴兆丹等<sup>[15]</sup>、高波<sup>[16]</sup>等有关科技对水生态文明建设作用的阐述中,也均涉及了科技对水环境治理的作用。

综上,分析某项具体技术对水环境治理作用的研究相对成熟且应用效果较为直观,但该类研究忽略了科学在水环境治理中的重要理论支撑作用及技术集成的合力效果。目前虽然有研究涉及科技整体对水环境治理作用的研究,但该类研究没有深入分析水环境治理对科技的具体需求,以及该支撑作用发挥需要满足的条件,且该类研究往往忽略了科技通过提升软实力(如制度改进)来支撑水环境治理的作用路径,使研究的全面性、客观性受到一定的影响。

实际上,一方面,科学发展与技术相辅相成,共同支撑水环境治理。因此,将科技作为整体概念,分析其对水环境治理的作用,有利于提高研究的全面性与客观性,为区域有关科技支撑水环境治理的战略决策提供参考。另一方面,水环境治理需要科技的多方面支撑,且该支撑作用发挥需具备一定条件,科技除改进技术外,也可通过完善制度等来支撑水环境治理。因此,为充分发挥科技对水环境治理的支撑作用,有必要梳理水环境治理对科技支撑作用的具体需求、支撑作用发挥的条件,并结合软实力提升来分析该支撑作用路径,以把握水环境治理中科技发展的方向,提高支撑作用发挥的效率。

## 2 科技与水环境治理的科学内涵

### 2.1 科技

一般而言,对科技的内涵有两种界定,一种是将科技拆分为科学与技术,突出两者之间的定义差异。如普赖斯<sup>[17]</sup>认为就形式而言,科学是对规律的一种概括和发明过程,其主要产品是知识;技术是人类文明的产物、对象、化学、程序,即买入和卖出的事情。另一种是将科学作为一个整体概念,弱化两者定义上的区别而抓住其共通性,认为科技的本质是发现或发明事物之间的联系,使各种物质通过这种联系组成特定的系统来实现特定的功能。实际上,自 20

世纪 80 年代以来,各领域高科技不断兴起,使科学与技术发展日益融合,两者之间的界限越来越模糊,将科技作为整体概念更符合发展趋势,故本文将采用后者对科技的定义。

### 2.2 水环境治理

在自然的维度上,水环境是指自然界中水的形成、分布和转化所处空间的环境。在“自然—社会”二元水循环维度上,结合水环境的社会属性,水环境指围绕人群空间及可直接或间接影响人类生活和发展的水体。当前,人与自然协调发展愈显重要,故本文将采用后一种概念。水环境治理是指各相关主体通过工程性与非工程性措施对水环境进行建设,使水环境符合人类社会发展需求,并与水资源、水生态相适应,最终实现水生态系统的自我更替、自我完善的良性演化,形成良好稳固的人水关系。一般而言,水环境治理包括饮用水源地综合整治、工业水污染综合整治、城市生活污水处理、生活垃圾无害化处理处置、农村污染整治、河流全面整治等。

### 2.3 科技与水环境治理的关联

科技是水环境治理必不可少的工具与支撑动力。科技的整体概念强调科学与技术的融合利用,并催生出了诸如纳米技术、植物修复技术等兼具科学性与实用性的新技术。在工程措施与非工程措施中运用这些技术治理水环境,可有力推动水环境与水资源、水生态相适应,形成良好稳固的人水关系,支撑水环境治理以良好态势发展。

## 3 科技支撑水环境治理的作用机制

如前所述,对科技支撑水环境治理的作用机制分析,将从支撑作用的需求、条件及路径三方面展开。首先,水环境治理对科技支撑作用的需求可划分为知识型、技术型和管理型需求,即水环境治理需要科技从基础理论与认知、关键技术方法与系统解决方案等三方面予以支撑。其次,在水环境治理中要发挥科技支撑作用,则需首先保证发展生态科技,同时还要满足水环境治理产品或服务生产商的规模、知识、制度及文化等方面内在条件,以及市场、社会文化、科研、金融政策与法律等方面的外在条件。最后,科技主要通过提高水环境治理硬实力及软实力两条路径,来实现对水环境治理的支撑作用。其中提高水环境治理硬实力即改进技术,主要包括改善安全保障技术、改进监测技术;提高水环境治理软实力即提升管理水平,主要包括夯实制度基础、推进治理工作并加强宣传教育。科技支撑水环境治理的作用机制可归纳如图 1 所示。

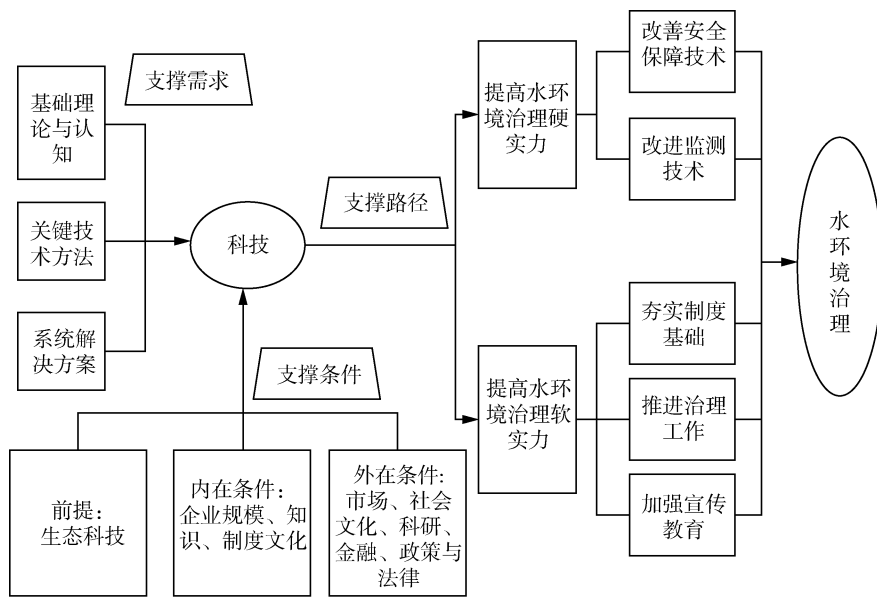


图1 科技支撑水环境治理的作用机制

## 4 科技支撑水环境治理的需求

### 4.1 基础理论与认知支撑作用需求

有关水环境治理的基础理论与认知,是开展水环境治理实践的基础。而水环境的社会属性不容忽视,在水环境治理中要兼顾环境的生态影响与社会影响。结合社会属性,水环境治理需要以下4个层面的基础理论与认知支撑。

**a. 水环境治理的科学内涵与路径。**水环境治理工作的推进,要求明确水环境治理的科学内涵与路径。在水环境治理中,需要合理界定水环境治理的科学内涵,科学认识社会发展对水环境治理的新要求,以水环境治理推进水资源的可持续利用,进而促进经济社会和谐发展,形成良性循环的人水生态系统。此外,还要结合国家和各地区水情明确治理路径,形成科学的水环境治理理论体系。

**b. 水环境演变的机理与规律。**党的十九大报告指出,“人与自然是生命共同体,人类必须尊重自然、顺应自然、保护自然”。因此,水环境治理应在科学认知水环境演变机理与规律的基础上进行。应结合经济社会发展水平所对应的用水规律,探究水环境演变的机理与规律,为水环境治理实现人水共治奠定基础。

**c. 相关科学研究的突破。**水环境治理中,实用技术的开发需要相关基础科学理论研究的创新与突破。如纳米修复技术的开发以纳米科学相关理论研究为基础,光催化技术则基于相关化学理论研究。因此,水环境治理活动的有效开展,依赖于相关科学研究的突破,从而为新技术、新方法的产生提供理论

基础。

**d. 水环境治理与其他相关工作及学科之间的关系。**按照十九大精神,政府要将水环境治理融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设中,理清水环境治理工作与其他相关工作之间的关系。同时,水环境治理为交叉学科范畴,涉及环境、生态、水资源、水利、法律、管理、美学、工程等多种学科。因此,水环境治理工作的开展,要以科学认识水环境治理与其他相关工作及学科之间的关系为基础,注重多部门、多学科之间的联动。

### 4.2 关键技术方法支撑作用需求

水环境治理对关键技术方法的支撑作用需求,主要体现在对以下三方面内容的依赖。

**a. 水环境友好型技术。**水环境治理需要水环境友好型技术作为支撑,例如生态护岸技术、雨水径流促渗技术、生物多样性调控技术等。水环境治理涉及的主要技术及其作用如表1所示。

**b. 水环境治理技术统筹。**水环境治理不仅仅是河湖等水域的治理过程,更是多层次的、针对水环境及其相关因子的整体调整过程。一个成熟的水域环境治理模块不仅应包括水质净化、污染削减、生态修复,还应包括养护堤岸、生态置业(植物引种、动物引入等)、景观复建等重要环节。因此,在水环境治理中,需要将各项具体技术以行之有效的方式统筹,以充分发挥技术合力的作用。

**c. 水环境治理的技术标准体系。**水环境治理需要技术标准体系的支撑,如需要水土保持工程施工监理规范、生态清洁小流域建设技术导则等,为水环境治理提供明确的目标导向和操作指南,提高水

环境治理工作的效率。

表1 水环境治理主要技术及其作用

技术名称	作用
复合生态滤床技术	净化水资源
生态护坡护岸技术	增加抗洪能力,防止水土流失
阿科蔓复合生态技术	修复湖泊污染等
光催化技术	净化水资源
雨水径流促渗技术	减少面源污染负荷,削减地表径流
人工增氧技术、生物多样性调控技术	增加河道生物多样性,加快生态修复
生物膜净化技术	净化河道水体,分解有机物
水生植物修复技术	降解污染物
底泥生物氧化技术、疏浚清淤技术、淤泥干化技术	提高河道自净能力,净化黑臭水体
CSO 污染控制技术	治理面源污染
超磁分离水体净化技术	治理点源污染
生态缓冲带与生态植草沟技术	防止面源污染,美化水环境景观

### 4.3 系统解决方案支撑作用需求

在水环境治理中,需要以基础理论与认知、关键技术方法为基础,制定基于当地水情的水环境治理系统解决方案,指导实际治理工作的开展。水环境治理系统解决方案按空间格局的不同,可分为国家层面水环境治理方案、区域层面水环境治理方案、社会用水单元层面的水环境治理方案。其中,国家层面的水环境治理方案强调水环境治理的区域联动性与长期战略性,这就要求方案从全局角度切入,以战略高度进行统筹规划;区域层面的水环境治理方案强调对区域水环境的差异性研究以及各区域特殊性的把握,从而需要对各区域进行具体的水质评估,因地制宜地制定方案;社会用水单元层面的水环境治理方案则强调用水单元自身的具体情况,从而需要根据其用水、排水特点来寻找对策。

依据技术提供与使用的主体不同,水环境治理系统解决方案也可分为对高新技术企业的细分激励方案、对终端使用者(如使用净水设施的工业企业)的补贴方案等。针对企业与终端使用者的方案需要将企业管理、公共管理相关理论与水环境治理实践相结合,联动多学科研究与实践,促进相关方案的形成。此外,水环境治理的系统解决方案不仅要重视污染后治理,更要重视防患于未然,在此前提下促进技术与水环境治理实践的结合,最大化利用生态科技,充分发挥科技对水环境治理的支撑作用。

## 5 科技支撑水环境治理的条件

### 5.1 科技支撑的前提

科技是一把双刃剑,科技与水环境的关系体现在两个方面:其一,落后的科学技术水平是水环境污染的重要成因。例如,在农村,农业若采用相对落后

的漫灌方式,则易引发水土流失等一系列危害水环境的后续问题;在城市,废物废水处理技术的落后,会导致水体污染。要治理水环境,必须从水环境问题的源头出发,将预防与整治放在同等重要的位置。其二,水环境治理必须依靠生态科技。近年来,随着社会的发展与进步,人们对可能破坏水环境的传统科技创新道路进行了深入反思,并提出了积极发展生态科技的可持续发展道路,以既满足人类需要,又兼顾资源节约、环境保护为目标。因此,发展生态科技,在提高经济效益的同时减少对水环境的破坏,将对水环境的破坏程度控制在自然生态系统的良性循环系统范围内,实现人与自然的和谐相处,是水环境治理中发挥科技支撑作用的前提条件。

### 5.2 科技支撑的内在条件

企业是科技支撑水环境治理内生动力的主体。科技支撑水环境治理的内在条件主要体现在水环境治理产品或服务生产商的规模、知识、制度及文化等四方面水平。

**a. 企业规模水平。**一方面,水环境治理产品或服务的生产企业通过加大技术投入扩大所提供产品或服务的供给规模,以纵向规模效益换取更高的超额利润。另一方面,需求拉动规模横向扩大,水环境治理相关的企业加大研发投入,开发新品类的产品服务以占领市场。水环境治理领域内的企业双向规模发展,加快科技成果转化,是科技支撑水环境治理的内在条件之一。

**b. 企业知识水平。**生产可能性曲线表明,其他条件不变时,企业的知识与技术的进步将带来生产可能性边界的外移。知识的积累意味着管理能力的提高、内部交易费用的下降,以及盈利空间的上升。为保证科技对水环境治理的支撑作用,水环境治理产品或服务的生产商需注重生产与管理方面技术知识的积累发展,提高生产与组织效率,实现企业的长足发展。

**c. 企业制度水平。**企业内部制度包括组织体系、运营体系与管理制度等,完备规范的制度为企业实现跨越式发展提供坚实的基础。通过科学设置水环境治理相关企业的组织结构,规范设立企业各项行政章程、奖惩制度与管理条例,充分调动员工的积极性,在合理的前提下、合理的范围内使人力资源效用最大化,是水环境治理中发挥科技支撑作用的重要条件之一。

**d. 企业文化水平。**水环境治理产品或服务的生产企业文化中最重要的是企业家精神,一个具有强烈社会责任感、敏锐市场眼光与强大号召力的领导者是企业文化最生动的符号。营造积极向上、支

持创新、鼓励创造的企业文化氛围,塑造积极背负水环境治理责任的企业形象,使企业获得消费者的高度认可,是水环境治理中发挥科技支撑作用的必备条件。

### 5.3 支撑的外在条件

科技支撑水环境治理的外在条件主要包括市场、社会文化、科研、金融政策与法律 5 个方面。

**a. 市场引导。**市场的需求导向是企业开展生产的最重要动力来源。随着水环境问题的日益严峻,人们对水环境友好、水资源保护型产品的需求不断扩大;政府购买水环境治理服务、产品的需求也日益增多。这些需求直接刺激企业加大科研投入,扩大相关产品的生产,为水环境治理提供必要的设施服务。此外,企业为适应激烈的市场竞争,也会不断扩大研发投入以推进技术的创新与发展,促进水环境治理中科技支撑作用的发挥。

**b. 社会文化渗透。**当前全球经济发展理念正由粗放式发展不断转向注重环境保护的绿色协调发展,社会达成的水环境保护共识以及对企业水环境治理行为的认同,将激励企业主动承担其社会责任,加大水环境治理相关技术的开发与成果转化力度,实现企业经济与社会效益的统一,从而推动水环境治理领域科技的发展。

**c. 科研强化。**当前水环境治理作为环境保护重要课题,吸引了大批高校人才对其相关技术领域方面进行研究探索。而政府对产学研用协同的鼓励政策,也促进了企业对高校及科研院所人才、转化科研成果的吸收。这些可进一步强化水环境治理中科技的支撑作用。

**d. 金融保障。**对环境保护企业与高科技企业研发工作提供金融扶持政策,如较宽松的融资条件、政府专项支持政策等,可为企业研发生产提供更坚实的资金保障,为水环境治理中发挥科技支撑作用奠定物质基础。

**e. 政策与法律支持。**政策与法律环境是企业面临的最基本的企业外部环境。税收优惠、政府采购支持、国家资本投入等政策支持,对缓解企业压力具有重要作用。而知识产权保护、市场公平竞争保障以及科研成果转换等方面的法律支撑,将有利于促进企业大力发展科技,调动企业研发水友好型产品的积极性并降低风险,从而推动水环境治理。

## 6 科技支撑水环境治理的作用路径

科技对水环境治理的支撑作用路径如图 2 所示。在水环境治理的研究与实践中的过程中不断产生新问题,为了解决相关问题需要不断投入物质与人力资本进行科学技术研究,实现知识增长与人力资本的积累。继而人们不断实现知识的活化与应用,体现为水环境治理的技术进步、管理提升,即硬实力和软实力的提高。这两方面力量共同促进水环境的有效治理。

### 6.1 提高水环境治理硬实力

**a. 改善水环境安全保障技术。**科技发展通过提升水环境安全保障技术水平来支撑水环境治理,其作用路径可分为两类。一类是提高直接作用于现实水环境问题的硬核技术水平。上文表 1 所示的即为此类技术,该类技术涉及的领域广且针对性强。例如“三峡水库水污染控制研究”提出的总量控制、水污染控制指标与技术等方面的优化,可为库区水质安全提供一定技术保障;“BST 非点源污染控制技术”填补了中国非点源污染追踪方面的空白;截污控污技术为改善水环境提供了直接的技术依托。另一类是改进水环境治理中的软核技术,如研究水系水容量负荷、水系健康度评价体系、区域间水系联动等,为水环境修复提供诸如何时干预、如何干预等方面基础信息。

**b. 改进水环境监测技术。**科技通过提升水环境监测技术,以实现水环境治理的支撑。具体包括完善水环境监测网络,拓宽监测内容与方式,把原先单纯的理化检测拓展为包含内容更多的综合检测,监测方式由单一的人工检测拓宽为遥感监测、远程监测等方式相结合的水质监测等,以加强对水环境治理的支撑作用。

### 6.2 提高水环境治理软实力

**a. 夯实水环境治理的制度基础。**基础科学、应用技术方法的发展可有力推进水环境治理监管、激励、问责等制度的顶层设计,从而支撑水环境治理工作。例如,水体评估体系构建,能帮助明确污染物指标与各主体责任,便于政府制定并落实功能区限制纳污制度,进行水功能区限制纳污红线管理;比较水环境治理的投入与产出,评价水环境治理效果,也可为政府制定提高水环境治理效果的相关制度奠定

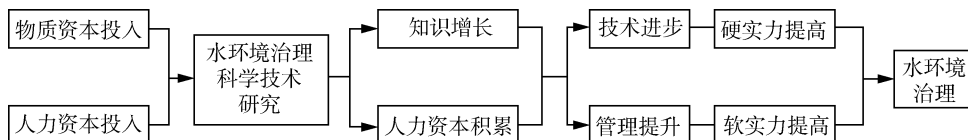


图 2 科技支撑水环境治理的作用路径

基础。

**b.** 推进水环境治理工作。科技发展有利于推进水环境治理工作,从而发挥对水环境治理的支撑作用。水资源治理相关理论的完善,以及水环境治理规划专题研究与水环境治理综合管理研究,有助于提高水环境治理规划的科学性与合理性,以及政府部门、公众、企业之间的协调性,使水环境治理的深度与广度都得到质的飞跃,并为将水环境保护和治理等纳入政府考核体系奠定基础。

**c.** 加强宣传教育工作。一方面,科学精神是开展水环境治理的重要精神支撑,科技的发展带来科学精神的传播,从而促进人们树立水环境保护意识,减少水环境治理中的认知偏差,推进水环境治理工作。另一方面,日益发展的传媒技术与科学化的沟通方式相结合,便于水环境治理最新动态的传播与渗入,提升民众认知和积极性,提高水环境治理的公众参与度。

## 7 结语

本文从水环境治理对科技支撑作用的需求、发挥科技对水环境治理支撑作用的条件、科技支撑水环境治理的作用路径等方面较为系统地探讨了该支撑作用机制,得出结论如下:

**a.** 水环境治理需要科技从基础理论与认知、关键技术方法、系统解决方案等方面予以支撑。

**b.** 科技对水环境治理的支撑作用发挥,所应具备的前提条件是发展生态科技,同时还应满足企业规模、知识、制度、文化等方面的内在条件,以及市场、社会文化、科研、金融、政策与法律等外在条件。

**c.** 科技通过提高水环境治理的硬实力和软实力这两条路径来实现对水环境治理的支撑作用。其中提高水环境治理硬实力主要包括改善安全保障技术及检测技术,提高软实力主要包括夯实制度基础、推进治理工作及加强宣传教育。

在以后的进一步研究中,可基于本文所构建作用机制,收集区域相关数据,量化分析区域水环境治理对科技支撑作用的需求大小及主要需求类别,区域发挥科技对水环境支撑作用的条件满足程度及主要薄弱环节,区域科技对水环境治理的支撑作用大小及主要影响因素,结合区域间比较、时间趋势分析等,有针对性地挖掘区域提升该支撑作用的有效途径。

## 参考文献:

[ 1 ] BUREZQ H, ALIEWI A. Using phytoremediation by decaying leaves and roots of reed ( *Phragmites australis* )

plant uptake to treat polluted shallow groundwater in Kuwait [ J ]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25 ( 34 ): 34570-34582.

[ 2 ] ATHRESH P A, AMIN A H, PARKER K. The design and evaluation of an open loop ground source heat pump operating in an ochre-rich coal mine water environment [ J ]. *International Journal of Coal Geology*, 2016, 164: 69-76.

[ 3 ] JABEEN G, FAROOQ R. Microbial fuel cells and their applications for cost effective water pollution remediation [ J ]. *The National Academy of Sciences*, 2017, 87 ( 3 ): 625-635.

[ 4 ] GOPINATH A, KADIRVELU K. Strategies to design modified activated carbon fibers for the decontamination of water and air [ J ]. *Environmental Chemistry Letters*, 2018, 16(4): 11373-1168.

[ 5 ] 刘晔,胡敬芳,李玥琪,等. 纳米材料技术在水环境重金属检测中的应用与发展 [ J ]. *传感器世界*, 2017, 23 ( 12 ): 7-15.

[ 6 ] 嵇晓燕,孙宗光,刘允,等. 基于事权上收的国家网流域水环境质量监测技术体系构建 [ J ]. *环境保护*, 2017, 45 ( 24 ): 30-33.

[ 7 ] 胡榕. 城市水环境治理生物修复技术 [ J ]. *智能城市*, 2018, 4(17): 119-120.

[ 8 ] 卜久贺,梁红丽,王楠,等. 一种景观式新型微纳米增氧生物浮岛技术在水环境治理中的应用 [ J ]. *华北水利水电大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(4): 16-22.

[ 9 ] BISMUTH C, HANSJÜRGENS B, YAARI I. *Society-Water-Technology: Water Resources Development and Management* [ M ]. Cham: Springer, 2016.

[ 10 ] COLOSIMO M F, KIMH. Incorporating innovative water management science and technology into water management policy [ J ]. *Energy, Ecology and Environment*, 2016 ( 1 ): 45-53.

[ 11 ] 黄娟. 科技创新与绿色发展的关系:兼论中国特色绿色科技创新之路 [ J ]. *新疆师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2017, 38(2): 33-41.

[ 12 ] 庞洪涛,薛晓飞,翟丹丹,等. 流域水环境综合治理 PPP 模式探究 [ J ]. *环境与可持续发展*, 2017, 42(1): 77-80.

[ 13 ] 左其亭. 水生态文明建设几个关键问题探讨 [ J ]. *中国水利*, 2013(4): 1-3, 6

[ 14 ] 张建业,王小军. 关于水生态文明建设的认识和思考 [ J ]. *中国水利*, 2014(7): 1-4.

[ 15 ] 吴兆丹,王张琪,赵敏. 科技创新支撑水生态文明建设的的作用机制研究 [ J ]. *水利经济*, 2015, 33 ( 6 ): 40-44, 81.

[ 16 ] 高波. 科技创新驱动水生态文明建设战略 [ J ]. *中国水利*, 2013(15): 6-8, 19.

[ 17 ] 普赖斯 D. 科学的科学 [ J ]. *科学学与科学技术管理*, 1983(11): 39-46.

(收稿日期:2018-12-20 编辑:陈玉国)