

• 聚焦国家重点研发计划 •

DOI: 10.15961/j.jsuese.201900060

鄱阳湖五河及湖区生态水利综合治理关键技术及示范

杨文俊^{1,2}, 刘同宦^{1,2*}, 栾华龙^{1,2}, 程冬兵^{1,2}, 许新发³

(1. 长江水利委员会长江科学院, 湖北 武汉 430010; 2. 水利部江湖治理与防洪重点实验室, 湖北 武汉 430010;
3. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029)

摘要:受气候变化和人类活动的共同影响, 中国河湖水资源、水环境与水生态问题交织重叠。作为中国最大的淡水湖泊, 近年来鄱阳湖及其五河出现水量减少、水土流失、岸线萎缩、水生生态劣化等突出问题, 目前的研究水平和关键技术无法满足新时期生态优先、绿色高质量发展的要求。如何将资源、生态、环境等约束融入水利工程规划、建设与运行, 厘清水利工程对河湖生态环境的影响以及在这种影响下生态系统的演变趋势, 提出减缓其影响的技术措施; 如何在水资源开发利用过程中, 既能满足人类社会需求, 又能兼顾水生态系统健康需求, 是当前生态水利理论体系研究及关键技术研发的前沿和热点问题, 也是推动国家生态文明建设和落实长江大保护的必然要求。围绕上述问题, 提出以“应用基础-关键技术-工程示范-监测评价”为主线的研究目标: 1) 辨析鄱阳湖五河及湖区生态水利特征因子及其对开发利用的响应机制; 2) 研发面向岸上、水陆交错带与水体的生态水利综合治理技术体系; 3) 提出生态水利综合治理技术及规划设计方案并进行工程示范; 4) 构建河湖生态水利建设模式与监测评价体系。通过开展多学科交叉、点面结合、理论与实践统一的研究, 拟揭示河湖生态水利特征因子的相互作用互馈机制, 提出耦合工程、资源、环境与生态的监测评价指标体系, 实现理论创新; 研发红壤丘陵旱坡地农业节水控污保土系列关键技术和受损水生生态的水利工程辅助修复关键技术, 实现技术创新; 提出规划导则、设计指南、治理技术、监测指标、评估方法、建设模式等全链条布局的河湖生态水利综合治理系统解决方案, 实现集成创新。
关键词:生态水利; 河湖生态环境; 监测评价体系; 鄱阳湖五河及湖区

中图分类号: TV212; X524

文献标志码: A

文章编号: 2096-3246(2019)02-0001-12

Key Techniques and Demonstration of Comprehensive Control of Ecological Water Conservancy in the Poyang Lake Region and Its Five Major Tributaries

YANG Wenjun^{1,2}, LIU Tonghuan^{1,2*}, LUAN Hualong^{1,2}, CHENG Dongbing^{1,2}, XU Xinfa³

(1. Changjiang River Scientific Research Inst. of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China; 2. Key Lab. of River Regulation and Flood Control of Ministry of Water Resources, Wuhan 430010, China; 3. Jiangxi Provincial Research Inst. of Water Sci., Nanchang 330029, China)

Abstract: Under the combined impacts of climate change and human activities, water resources, environment and ecological problems of China's rivers and lakes interweave and overlap. As the largest freshwater lake in China, the Poyang Lake region and its five major tributaries are facing serious problems, including the reduction of water quantity, soil erosion, shoreline shrinkage and deterioration of aquatic habitat, whereas the current research level and key technologies cannot meet the requirements of ecological priority and green high-quality development. How to integrate resources, ecology, environment and other constraints into water conservancy project planning, construction and operation, clarify the impact of water conservancy projects on the ecological environment of rivers and lakes and the evolution trend of ecosystems under this influence, put forward technical measures to mitigate their effects, and meet the needs of human society and health to water ecosystem, are the forefront and hot issues of current ecological water conservancy theory system research and key technology research and development, but also the inevitable requirements of promoting the construction of national ecological civilization and the implementation of the Yangtze River protection. Aiming at the above problems, the characteristic factors of ecological water conservancy in the Poyang Lake region and its five major tributaries and its re-

收稿日期: 2019-01-16

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFC0407600)

作者简介: 杨文俊(1966—), 男, 教授级高级工程师, 博士。研究方向: 水环境与生态水利。E-mail: yangwj@mail.crsri.cn

* 通信联系人 E-mail: liuth@mail.crsri.cn

网络出版时间: 2019-03-12 15:44:00

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1773.TB.20190311.1610.001.html>

<http://jsuese.ijournals.cn>

<http://jsuese.scu.edu.cn>

sponse mechanism to the development and utilization were distinguished and analyzed; the technical system of integrated ecological water conservancy for the land, bank and water was studied and developed; the integrated management technology and planning design scheme of ecological water conservancy were put forward and engineering demonstration was carried out, and the construction mode and monitoring and evaluation system of river and lake ecological water conservancy were constructed. Through the research of multi-disciplinary intersection, point combination, theory and practice, the interreaction mechanism of the characteristic factors of ecological water conservancy in rivers and lakes was revealed, and the monitoring and evaluation index system of coupling engineering, resources, environment and ecology was put forward to realize the theoretical innovation; a series of key technologies for agricultural water-saving pollution control and soil protection in red soil hilly and dry slopes and key technologies for hydraulic engineering assisted repair of damaged aquatic habitats were developed to realize technological innovation; solutions for comprehensive controlling system of river and lake ecological water conservancy were proposed, including planning guidelines, design guidelines, governance techniques, monitoring indicators, evaluation methods and construction models, to achieve integrated innovation.

Key words: ecological water conservancy; ecological environment of rivers and lakes; monitoring and evaluation system; Poyang Lake region and its five major tributaries

鄱阳湖是中国最大的淡水湖泊,世界重要湿地,承纳赣江、抚河、信江、饶河、修水等五大河(以下简称“五河”)之来水,五河及湖区是长江水系及其生态系统的重要组成部分和关键支点,以占长江9%的流域面积,向长江输送15.5%的水量,是长江重要的调蓄湖泊水系,在调节气候、控制土壤侵蚀、调蓄洪水、降解污染物、维护生态环境及生物多样性等方面具有十分重要的作用^[1-2]。鄱阳湖因其特殊的地理位置、独特的水系结构、季节性的河湖相交替,形成了极其复杂和有代表性的江河湖泊复合型湿地生态系统^[3],鄱阳湖流域在江西境内的面积占江西国土面积的94%^[4],是区域经济与生态环境的“命脉”,在长江经济带建设中占有重要地位^[5]。

近年来,由于鄱阳湖五河及湖区水、土、沙等资源开发与保护不协调和不平衡,导致水量减少、水土流失、河湖岸线萎缩、水生生境劣化等突出问题,严重威胁鄱阳湖水系及长江生态安全^[6-9]。面对交织重叠的河湖水资源、水环境与水生态问题,治理思路从传统的工程水利和资源水利向秉承生态优先理念的生态水利转变,已成为水利行业发展的必然趋势。目前,鄱阳湖五河及湖区生态水利主要关注鸟类及湿地保护、生物多样性监测、江湖关系与调控、防洪与水资源配置等,这些研究侧重单一环节、单项措施和单要素评价,对多目标需求下的生态水利综合治理研究和实践较为匮乏。如何以水利工程为载体,将资源、生态、环境等约束融入水利工程规划、建设与运行,使水利工程既能满足人类社会需求,又能兼顾水生态系统健康需求,是当前生态水利研究的前沿和热点问题。江西省已被纳入首批国家生态文明试验区,开展鄱阳湖五河及湖区生态水利综合治理,是将水资源优势变成地方经济社会发展的比较优势和后发优势,促进长江经济带建设与国家生态文明建设有机融合和落实长江大保护的必然要求。

1 国内外研究现状及趋势

1.1 生态水利内涵及规划设计理念

国外对生态水利的研究始于20世纪70年代,结合具体工程开展水文情势与生态过程耦合、河道治理对水环境改善、水利工程对水生物的影响等方面的分析研究,提出了生态水利的内涵^[10]。尤其随着现代生态学的发展,人们进一步认识到水利工程需符合生态学的原理,即不应把河流湖泊从自然生态系统中割裂开来工程建设。中国对生态水利理论体系的研究起步较晚。1999年,刘昌明^[11]提出应把生态水利和环境水利结合起来研究水资源供需平衡;2003年,董哲仁^[12]以工程力学和生态学为理论基础,以人与自然和谐共处为指导思想,首次构建了生态水工学的理论框架,实现水利工程兼顾人的需求及健全的河湖生态系统;2003年,孙宗凤^[13]首次系统提出了生态水利的理论基础和实践意义,构筑了由生态水利规划、生态水利设计、生态水利管理和生态水利建设组成的生态水利研究框架。基于上述观点,许多学者开展了系统和深入的研究,提出生态水文学、生态水力学、水利工程的生态环境效应作为生态水利的理论基础^[14-15],以及水生态系统修复、生态需水、生态调度、水系连通等4个方面的实践应用^[16-19]。现有研究主要聚焦防洪安全下的江湖关系、农业需求下的水土保持、工程胁迫下的生态效应等方面,而水利工程生态环境效应的理论基础较薄弱,对水文情势与生态过程的响应关系认识不足,亟待进一步研究特征因子的作用机理,丰富和发展生态水利理论体系。

随着生态水利内涵和理论体系研究的深入,生态水利工程规划设计理念逐步形成。随着河流生态治理工程在欧洲一些国家陆续得到成功实践,20世纪以来,欧美、日本等国纷纷大规模拆除以前人工在河床上铺设的硬质材料,河湖生态治理已成为国际大趋势。中国生态水利工程规划与设计正从单一的

考虑防洪、供水功能向考虑水安全保障、水环境改善、水生态修复等功能进行转变^[20],目前尚无成熟的规划、标准和技术指南。

1.2 河湖生态水利综合治理关键技术

1) 红壤坡地水土资源调控

20世纪60年代初期,国外就开展了农业水土资源调控方面的研究工作,基于农业生态学、多层次模型、作物生长模型等理论技术,提出了诸多成熟的农业水资源以及土地资源高效调控技术^[21-23]。伴随着农业水土资源调控逐渐成为研究热点,自21世纪初期以来,中国也重点开展了西北、东北地区的农业水土资源配置以及调控技术研究^[24],并提出了诸多优化配置模型、关键技术以及调控模式^[25]。然而,基于水资源和土地资源的内在联系和相互依存的关系,在水土资源调控耦合效应与水土资源优化配置调控方面的研究还较为薄弱^[26],特别是针对中国南方红壤区开展的水土资源调控研究更为鲜见。红壤坡地广泛分布于鄱阳湖流域,研发鄱阳湖五河及湖区红壤坡地水土资源调控关键技术是河湖生态水利的重要内容。

2) 生态岸坡及滨水带治理

20世纪60年代开始,欧美等发达国家就已意识到河流生态环境面临的诸多问题,积极开展河道生态修复相关研究和实践^[27],治理思路经历了由传统的水工材料和技术转向自然、生态的“软工程”治理模式,如德国、瑞士等国于20世纪80年代提出“亲近自然河流”概念和“自然型护岸”技术^[28],日本提出“多自然型河流”整治技术^[29],荷兰提出“建设遵循自然”的治理理念^[30],美国提出“自然河道设计”技术,并出版了河岸治理手册^[31-32]。国外学者研究城市化对河流的生态影响,研发基于多目标的各种修复技术^[33],并成功应用于大型河流的生态修复工作,取得了良好的生态环境效益。国内对河道生态治理的研究起步较晚,早期研究多注重河流生态系统的单个功能,如基于景观生态学的河岸带植被特征和功能研究。近年来,随着研究的深入以及河道生态治理与保护引起社会各界的重视,相关研究工作由起初的理论探讨整治框架阶段向具体的修复方法手段和技术转变,提出生态护岸技术^[34],尤其对于城市河道综合治理,形成滨水廊道生态化、景观化的设计思路。

3) 水质提升与生态修复

国外发达国家,如北美、西欧,污水管道和处理系统普及率都在90%以上,污水处理厂采用除磷、氮等营养物的处理工艺和污水回收再利用等措施,因此,地表水体污染负荷低,水污染治理压力小;其生态修复多尊重水生态系统自然规律,多采用人工引

导,自然恢复。国内已由“唯效率”的水污染治理观念转向生态修复的理念,一方面多侧重单项技术研发,且长效性较差,缺乏源头阻控和水质改善整装成套技术;另一方面多侧重于河湖沿岸景观提升,生态系统完整性、净污性和稳定性有待突破^[35]。各级政府在完善了防洪、治涝、灌溉、供水、发电、水土保持等流域治理与水资源开发利用工程的同时,开展了河湖水功能区划、水质监测网络体系构建、排污总量控制等方案的制定与实施。然而,由于区域污染加重及枯水期水体滞留效应,当前单纯依靠削减污染源难以满足河湖水质提升目标;鄱阳湖采砂严重破坏原生物植被,改变河床底质,破坏底栖生物的生存环境,加速水域荒漠化和底栖生境退化;而多项水利工程建设阻隔了鱼类及其他水生生物的洄游沟通,导致水体生境破碎化,成为影响水生态系统健康的重要因素。

1.3 生态水利监测与评价

国外实施监测与评价的主要目的是减轻水利工程建设对水生态系统产生的影响,满足关键生物物种的生态需求^[36],还开展了河流生态修复后评估准则方面的研究^[37]。国内学者从河流的服务功能、环境功能、防洪功能、开发利用功能和生态功能等方面初步构建了河流健康状况评价体系^[38];针对城市河流生态系统健康评价,提出了包含水量、水质、水生生物、物理结构与河岸带五大要素的指标体系和评价标准^[39]。此外,还陆续开展了一些重要水利工程建设影响的后评价,但目前长历时的耦合水生态环境的系列监测较少,缺少成熟的基于生态水利效果评估的监测方案,尚没有一套科学的、具有代表性的指标体系和评价方法。

2 鄱阳湖五河及湖区生态水利综合治理的关键科学技术问题

2.1 生态水利特征因子及其影响机制不明晰

生态水利涉及生态水文、生态水力、水生态修复、生态需水量、生态调度、水体连通性等多个学科领域。由于影响水生态环境变化的因子众多,以及人们对于水利工程生态环境效应内涵的理解不同,目前尚缺乏对生态水利特征因子的系统认识,而这是河湖生态水利功能区健康状况评估的基础。以鄱阳湖为例,近年来出现了季节性出湖水量增加、入湖水量减少、低枯水位提前且持续时间延长、河海岸线萎缩、水体污染、水生生境破坏退化等突出问题。因此,通过研究鄱阳湖五河及湖区水-土-沙-污染物-底栖生物等生态水利特征因子对水利工程与水、土、沙等资源开发利用的响应机制,综合考虑鄱阳湖五河及湖区枯水情势、水土流失、泥沙通量、河道形态、面源

污染、水生生态等,耦合工程、资源、环境与生态的生态水利监测指标体系及其阈值,揭示鄱阳湖生态健康关键胁迫因子及其成因,阐明不同生态水利功能区的治理需求是本研究首先要解决的关键科学问题。

2.2 河湖生态水利综合治理技术待提升

面对河湖水系水-土-沙-污染物-底栖生物等多种要素不协调导致的水生态环境问题,如何在空间上形成覆盖全要素的成套技术对生态水利综合治理见实效、可推广至关重要。目前,在关键技术研发方面尚缺少将陆域和水域作为整体考虑的综合治理体系,水土资源调控技术措施功能单一,河道治理多为单因子治理技术,多目标耦合优化较为薄弱。本研究拟以鄱阳湖五河及湖区岸上、水陆交错带与水体的生态治理需求为导向,研发治土净水的红壤丘陵早坡地水土资源调控、绿色安全的河湖生态岸坡及滨水带综合治理、生态改善的河湖水质提升与生境修复等关键技术,涵盖红壤丘陵早坡地泥沙梯级阻控、红壤丘陵早坡地雨水资源聚散调控与净污、红壤丘陵早坡地耕作保育、河湖生态防洪堤岸、精准干扰钉螺孳生的水利血防、河湖岸坡雨污分离净化、低水头仿生态鱼道、采砂退化底栖生境修复、河湖水体原位净化、河湖底泥污染控制等10余项单项技术,全面提升河湖生态水利综合治理能力,形成整装成套的生态水利技术体系。

2.3 河湖生态水利建设模式及立体化监测评价体系未建立

对水利工程进行效果评估是水利工程研究领域的核心问题,也是水利规划的重要组成部分。由于人们对于水利工程生态环境效应内涵的理解不同,加之影响水生态环境变化的因子很多,目前国内外在水利工程效果评价指标体系、评价标准和评价尺度方面尚无统一的规范。因此,运用遥感、近地观测、原位监测、在线实时观测以及定点巡测等手段,开展鄱阳湖典型生态水利工程的多尺度、多要素协同监测,实现生态水利综合治理效应分析的多源数据融合与挖掘,以及面向水资源、水生态、水环境保护等多种需求的差异化工程效应评价,建立生态水利工程立体化综合监测技术体系与规范是项目的关键技术问题之一。以生态水利工程综合治理现状为基本背景,基于多需求下的协同监测体系,提出适用于鄱阳湖及其类似河湖生态水利评估指标体系和生态水利建设模式是本研究拟解决的关键科学问题之一。

3 研究思路与技术路线

3.1 研究思路

针对本研究拟解决的关键科学技术问题,以服

务生态水利为中心,围绕“应用基础-关键技术-工程示范-监测评价”为主线,从辨析鄱阳湖五河及湖区生态水利特征因子入手,研发岸上、水陆交错带及水体等不同生态水利功能区综合治理关键技术,在此基础上,凝练生态水利综合治理技术体系,依托典型工程进行工程示范,最后,通过构建河湖生态水利监测评价体系,评价生态水利综合治理效应,以此优化生态水利规划设计。

基于上述思路,拟从6个方面开展研究,课题1是凝练科学问题和关键技术的基础,生态特征因子影响机制的研究为课题2、3、4研发不同生态水利功能区关键技术奠定理论基础,为课题6构建生态水利评价方法和指标体系提供理论支撑;课题2、3、4是关键技术突破点,分别呼应课题1提出的岸上、水陆交错带和水体的治理需求,为课题5凝练生态水利综合治理技术体系,编制综合治理技术指南和规划设计导则,以及工程示范提供技术支撑;课题5是技术成果的集中体现并落地,集成课题2、3、4研发的关键技术,综合传统技术,结合五河、湖区及周边中小河流的特点及战略定位,凝练开发成套的生态水利综合治理技术,编制综合治理技术指南和规划设计导则,并依托典型工程进行示范;课题6是重要创新理论成果出口,综合了课题1生态水利特征因子和课题5生态水利示范工程监测成果,优化生态水利规划设计,提出类似河湖生态水利建设模式,为河湖生态水利建设科学依据。研究思路及课题间逻辑关系如图1所示。

3.2 技术路线

通过多学科交叉融合、点面结合、理论与实践统一,采用野外调查、遥感监测、定位观测、数值模拟、试验示范等方法,以支撑生态水利为中心,围绕“应用基础-关键技术-工程示范-监测评价”为主线,在“面上”辨析鄱阳湖五河及湖区生态水利特征因子,阐明当前在岸上、水陆交错带及水体不同生态水利功能区的治理需求。在“点上”,以生态水利具体问题为导向,研发红壤丘陵早坡地水土资源调控、精准干扰钉螺孳生的水利血防、采砂区退化底栖生境的人工礁石修复、低水头仿生态过鱼通道等关键技术。在“理论”上,揭示生态水利特征因子对水沙等资源开发利用的响应机制,构建生态水利监测评价方法和指标体系,形成生态水利综合治理技术体系,提出河湖生态水利建设模式,在“实践上”,选择4个代表性湖区、河道、临湖城市,提出不同类型河道综合治理技术方案并进行工程示范。本研究的技术路线见图2。

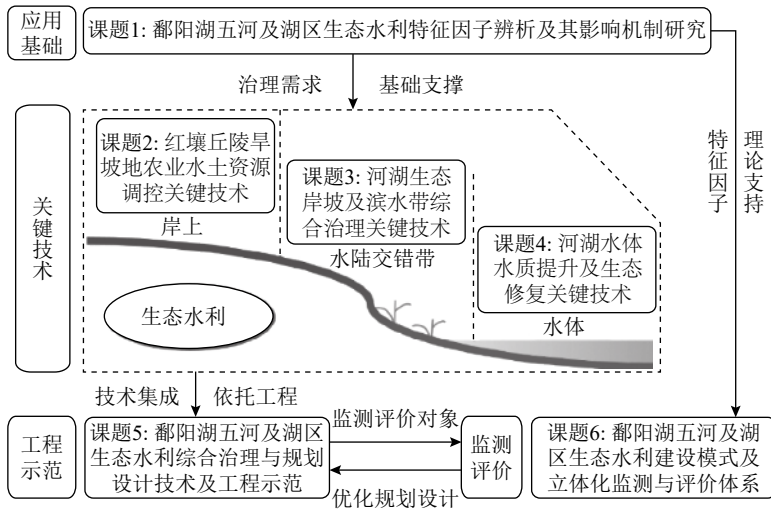


图1 项目研究思路及课题间逻辑关系框图

Fig. 1 Research ideas of the project and the diagram of the logical relationship between the subjects

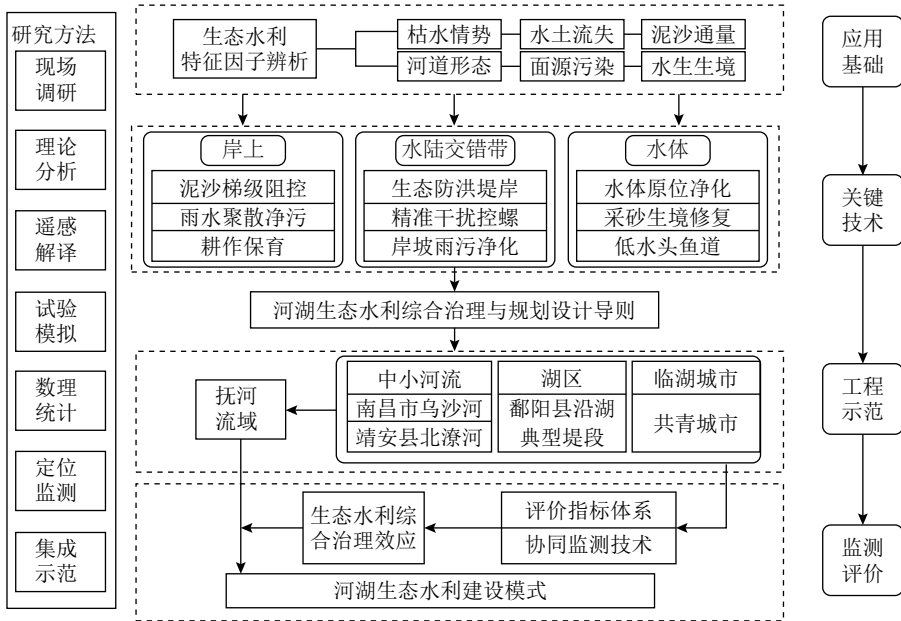


图2 项目技术路线

Fig. 2 Technology roadmap of the project

4 研究内容

4.1 鄱阳湖五河及湖区生态水利特征因子辨析及其影响机制研究

1) 研究目标

辨析适用于鄱阳湖五河及湖区生态水利要素, 查找鄱阳湖流域水循环规律及其变异原因, 分析基于江湖关系的河湖关系变化对五河尾闾及湖区枯水情势的影响, 阐释五河及湖区岸上水土流失规律与面源污染耦合机制, 弄清多因素影响下五河及湖区水陆交错带泥沙通量时空分异规律及河道形态调整规律, 揭示五河及湖区水体的水文、水环境及水生态

现状及变化趋势, 阐明当前在岸上、水陆交错带及水体等不同生态水利功能区存在的治理需求。

2) 研究方法

拟采用现场调研考察与资料收集相结合, 识别影响鄱阳湖生态水利健康的主要因素, 辨析拟建和在建水利工程与其关联的生态水利要素的相关关系; 充分运用五河控制性水库的调控能力, 研究水库的生态调度技术, 提出减缓湖区及尾闾低枯水位生态环境影响的措施; 以遥感调查与现场复核为主要手段, 研究五河及湖区水土流失现状及时空分异规律, 识别关键驱动因子; 采用人工试验与现场观测, 研究红壤坡耕地水土流失机制, 揭示水土流失与面

源污染耦合机理;揭示多因素影响下五河及湖区泥沙通量时空分异规律,阐明五河及湖区河道形态调整规律;利用现有资料,结合现场实地考察及采样分析,研究五河及湖区的水文、水环境及水生态现状及变化趋势。

3) 研究内容

① 五河及湖区生态水利要素辨析

基于生态水利概念,辨识适用于鄱阳湖流域的生态水利要素。系统研究人类系统的变化及干扰下,鄱阳湖五河及湖区社会变革过程、水利工程建设历程、水资源开发利用及水文、水动力、水生态、陆生生态、湖岸带物理形态等要素的现状。通过构建鄱阳湖生态健康评估技术体系,分析评价鄱阳湖健康状况,识别影响鄱阳湖健康的主要因素,辨析已建和计划建设水利工程与其影响的生态水利要素的相关关系。

② 基于江湖关系的河湖关系变化对五河尾间及湖区枯水情势的影响

鄱阳湖区枯水情势变化及影响主要涉及鄱阳湖枯水情势变化特点、影响因素和变化趋势。通过实测资料分析近年来鄱阳湖区及五河尾间控制站枯水情势变化特点,并在分析三峡控制性水库调度运用、长江干流湖口以上流域及鄱阳湖水系降雨径流变化、长江与鄱阳湖冲淤变化,以及鄱阳湖流域用水量增加等因素对鄱阳湖区及五河尾间水情影响等已有成果的基础上,研究鄱阳湖五河控制性水库调度方式对尾间及湖区水文情势的影响,分析五河控制性水库采取调整下泄过程等调度措施缓解尾间及鄱阳湖区水情变化影响的可行性。

③ 红壤坡地水土流失规律及面源污染耦合机理

基于遥感数据和区域水土流失调查数据,利用遥感反演和异源观测数据融合的水土流失动态评价方法,分析五河及湖区红壤坡地土地利用、植被覆盖变化情况,研究区域内水土流失现状及时空分异规律,识别关键驱动因子。采用人工试验和定位观测,研究红壤坡耕地水土流失发生机制,弄清面源污染物组成,剖析水土流失与面源污染的耦合机理,分析水土流失与面源污染的关键影响因素,阐明红壤坡耕地水土流失与面源污染的发生过程。

④ 泥沙通量及河道形态调整规律研究

收集鄱阳湖五河及湖区降雨、径流、泥沙、河道地形、遥感影像、水利工程建设、水土保持工程、采砂及现场观测等资料,建立鄱阳湖五河及湖区泥沙通量变化特征数据库,揭示多因素影响下鄱阳湖五河及湖区泥沙通量时空分异规律,预测鄱阳湖五河及湖区泥沙通量变化趋势;辨析河道形态调整的关键

驱动因子,阐明五河及湖区河道形态调整规律。

⑤ 湖区典型水生生态演替规律研究

利用鄱阳湖五河及湖区的常规水质监测数据及文献资料,结合现场实地考察及采样分析,研究五河及湖区的水文、水环境及水生态现状及变化趋势。在水位变化研究的基础上,分析鄱阳湖水环境生态系统对其在物理、化学及生物等方面的响应特征,如:湖区面积、污染物迁移转化规律、浮游及底栖生物的时空分布等。从自然和人为因素出发,探究五河及湖区水环境生态演化的驱动因素并预测其未来变化,为鄱阳湖水生态修复提供科学依据。

4.2 红壤丘陵旱坡地农业水土资源调控关键技术

1) 研究目标

从空间立体阻控泥沙角度出发,研发红壤丘陵旱坡地泥沙梯级阻控关键技术;从蓄积雨水、优化坡面水系、水肥一体化精准灌溉角度出发,研发红壤丘陵旱坡地雨水资源聚散调控与净污关键技术;从水土资源调控与耕作制度优化的角度出发,研发红壤丘陵旱坡地耕作保育关键技术;构建“调控水土-优化生态-保障生产”于一体的治土净水技术体系,并建立技术应用试验点,以改善岸上生态环境,减少对水体、水利工程的承载和负面影响,并为鄱阳湖红壤丘陵旱坡地农业的合理开发和高效利用提供技术支撑。

2) 研究方法

基于水量平衡以及土壤保育原理,拟采用室内模拟、定位监测、控制试验以及空间分析等研究手段,开展多尺度的红壤旱坡地降雨、径流、侵蚀产沙、雨水集蓄以及土壤改良等要素的动态监测与分析,并综合运用数理统计以及模型模拟等方法,研发红壤丘陵旱坡地泥沙梯级阻控、雨水资源聚散调控与净污以及耕作保育关键技术,最终构建“调控水土-优化生态-保障生产”于一体的多维治土净水农业生态技术体系。

3) 研究内容

① 红壤丘陵旱坡地泥沙梯级阻控关键技术

利用现有实验条件,采用试验观测模拟等方式,开展不同坡地农业泥沙输出规律研究;根据上述研究成果,结合鄱阳湖红壤丘陵区不同区位坡地农业产业结构特色,按照原位截留、过程控制的思路,研发丘陵山地农业生态整地关键技术、平原岗地农业空间优化配置技术等组成的径流泥沙空间梯级阻控关键技术,从而实现鄱阳湖红壤丘陵区不同区位旱坡地农业泥沙梯级阻控。

② 红壤丘陵旱坡地雨水资源聚散调控与净污关键技术

针对当前红壤丘陵区降雨时空分布不均导致的旱坡地农业水系径流排蓄和污染等问题,研发生态路渠导流蓄积技术、水肥一体化精准灌溉控污技术等,在对各项技术进行系统分析的基础上,从径流源头收集—过程叠加储存—综合利用3个环节入手,搭建集雨水拦截、蓄存、净化和利用于一体的坡地雨水资源聚散调控与净污关键技术体系,从而提高季节性抗旱能力,减少肥料流失,提高水分、肥料利用率,从源头减少面源污染,实现坡地农业开发的清洁生产。

③红壤丘陵旱坡地耕作保育关键技术

结合当前红壤丘陵旱坡地不同农业开发以及农事活动周期,通过调整坡地农业耕种布局,优化坡面微地貌形态,研发旱坡地农业开发初期坡面保土保墒关键技术;通过优化旱坡地农业作物种植格局和轮作方式,研发旱坡地农业过程坡面调水控沙关键技术;采取生物敷盖以及微生物土壤改良措施,研发旱坡地农业休耕期土壤增肥保墒关键技术,增强旱坡地农业防洪减灾能力。

④净水洁土技术集成与应用

以鄱阳湖红壤丘陵旱坡地泥沙阻控、雨水资源优化利用为目标,科学配置不同耕种制度下的水土资源调控技术,实现科学耕种制度下的红壤丘陵旱坡地泥沙梯级阻控,雨水资源聚散调控与净污的集成互馈提升机制,形成“泥沙阻控—雨水资源利用—时空对位配置”的农业水土资源调控技术体系,并建立精品技术应用试验示范点。

4.3 河湖生态岸坡及滨水带综合治理关键技术

1) 研究目标

在保证岸坡稳定安全的前提下提出不同类型河道兼具生物连通性的生态防洪堤岸模式;研发兼顾洲滩生态环境保护需求的生态化水利血防技术,实现钉螺孳生的精准防控;提出生态净污缓冲带清水产流成套关键技术,评价其污染拦截与径流净化效应;基于水陆交错带的功能分区对上述关键技术进行集成耦合,形成河湖生态岸坡及滨水带综合治理关键技术体系。

2) 研究方法

拟采用自主研发的计算软件RSS模拟确定最佳布置方案,通过现场调查已建护岸工程中植被群落的生物多样性,揭示不同布置方案的植被效应;采用实地调查洲滩地形及钉螺生境,分析钉螺生命周期关键阶段对生态环境因子的特异性需求,结合单因子室内试验提出精准干扰的生态化水利血防措施;通过室内试验遴选缓冲带构建的工程材料、水生植被及二者的优化配置模式,研发多孔砌块与可更换

净污器耦合技术;最后,通过现场调查研究不同功能分区的生态环境问题,集成生态防洪堤岸、生态化水利血防及生态净污缓冲带清水产流等关键技术,对鄱阳湖五河及湖区典型岸坡及滨水带开展应用试验。

3) 研究内容

①生态防洪堤岸关键技术

研究不同滨水堤岸纵横断面形态对河道过流能力的影响,确定高水位下满足河道防洪安全的最佳断面形态方案;研究植被水流的水动力特性,揭示植被对水流运动特性的影响机制,提出适合湖区耐淹、耐旱植被类型的优选方案;研究不同滨水堤岸生态护坡方案的植被效应,考虑护坡型式、护坡上植被构建等因子的影响,提出不同区域堤岸迎水面、背水面、堤顶分区植被生态连通方案;结合各区域的植被生态连通和植被类型,提出兼顾防洪与生态连通功能的生态堤岸模式。

②精准干扰钉螺孳生的水利血防关键技术

针对鄱阳湖五河及湖区洲滩的钉螺密集孳生带,研究新水沙形势下洲滩密螺带生境特征及演变过程和规律,辨析影响钉螺孳生的水位、水淹周期、植被、土壤含水量等主要生态因子;针对钉螺交配、产卵、孵化、发育等生命周期中的关键阶段,确定影响不同生命阶段的决定性因子及其阈值,阐明钉螺种群繁衍特异性需求;在此基础上,提出调控钉螺孳生的精准干扰措施,研发兼顾洲滩生态环境保护需求的水利血防技术。

③岸坡雨污分离净化关键技术

研发常水位线以上自然缓坡生态净污缓冲带构建技术,研究缓冲带构建材料的抗冲刷性、透水性、污染拦截效应和植物生长适宜度等特性,遴选缓冲带构建的工程材料、水生植被并优化二者的配置模式。研发常水位线以下水生植物群落带构建技术,遴选优化植物种类、种植密度、组合方式与管护策略。研发多孔砌块与可更换净污器耦合技术,优化集成常水位线上线下的缓冲带构建技术,提出清水产流成套关键技术,评价其污染拦截与径流净化效应。

④典型河湖生态岸坡及滨水带综合治理技术集成及应用

阐明五河及湖区典型岸坡及滨水带的水文特征、地貌形态及周边城镇的布局,研究不同区域内、年际变化特征及功能需求的空间差异,提出水陆交错带3维空间分区方案;辨析不同分区的生态环境问题,结合生态防洪堤岸、生态化水利血防及生态净污缓冲带清水产流等关键技术,考虑区域间的交叉过渡,在河湖区域进行生态岸坡及滨水带纵横向技术集成,提出不同区域相协调的总体布局方案,选取

赣江、抚河尾闾、乌沙河等典型河段开展应用试验,形成集“防洪性、生态性、景观性和亲水性”的生态岸坡及滨水带综合治理关键技术体系。

4.4 河湖水体水质提升及生态修复关键技术

1) 研究目标

建立纳米光催化/土著功能微生物复合新型净污材料制备方法,研发基于环境新材料的水体原位净化关键技术,构建“物理截留钝化-化学催化消减-生物降解去除”协同的水体污染高效净化体系;探明研究区底泥内源污染特征及释放规律,针对研究区重污染水域,研发兼具污染物释放阻遏与微生态系统构建的底泥内源污染控制关键技术;研发采砂区退化底栖生境恢复重建的关键技术,提出能适宜鄱阳湖五湖河段的低水头仿生态过鱼通道结构型式,为鄱阳湖五河及湖区“稳定性、净污性、生态性”水生生态系统的建设提供关键技术支撑。

2) 研究方法

拟采用现场观测与采样监测相结合,分析底泥中营养盐、重金属及有机污染物的含量及主要组分,为水体原位净化和底泥内源污染控制技术研发提供基础数据。室内研究方面,利用自主研发的环形水槽模拟动水情况下环境新材料对污染物的去除性能、材料表面生物成膜特征、悬浮颗粒物对典型污染物的吸附解析过程等。在底栖生境修复方面,选择典型采砂区域,通过现场采样和室内分析,根据其受影响程度与恢复难易程度,提出与水文泥沙和底栖生物习性相适应的采砂区退化底栖生境修复模式;针对底栖生境破坏严重的区域,通过底栖生境数学模型,研究人工礁石对采砂区底质环境和沙坑水文泥沙条件的影响。对于防生态鱼道,通过物理模型及数值分析,最终提出一套能适宜鄱阳湖五河典型河段的仿生态鱼道结构型式。

3) 研究内容

① 基于环境新材料的水体原位净化关键技术

系统分析鄱阳湖五河及湖区的水文水动力特征、气候特征、污染特征及水环境演变规律,合成或筛选具有净污潜力高效性、环境友好无害性的纳米光催化材料或土著功能微生物,研发具有大比表面积、强透水性能、高降解效率的新型净污材料。分析新型净污材料对研究区水体典型污染物的去除效率及影响因素,研究材料表面生物膜成膜效率、水生植物根系固着强度及材料-生物联合净污性能,探明材料的最佳适用条件、结构稳定状况及性能耐久程度。明确净污材料与水生植物组合配置,研发适合研究区水体不同断面条件的分层悬浮式、光催化-微生物耦合式等水体原位净化关键技术,构建“物理截留钝

化-化学催化消减-生物降解去除”协同净化体系,并开展核心关键技术的应用试验。

② 重污染区底泥内源污染控制关键技术

在探明研究区底泥典型污染物的时空分布特征、掌握重污染区精确位置和污染特征的基础上,揭示洪枯季重污染区域底泥污染物释放量、释放速率及其在水体-悬浮颗粒物-底泥-孔隙水之间的分配规律。搭建孔隙水电动导排试验装置,研究孔隙水及其污染物定向迁移、自动收集、高效储存和集中排放等效果,评价电极间距、电压梯度、通电模式等对孔隙水和污染物脱除的影响,优化孔隙水电动导排的工艺技术参数。研发新型抗冲式河床基底生态毯、功能微生物复合菌群固定化等关键技术,营造以新型河床基底生态毯为核心的底栖生物生长繁殖平台,构建兼具控污和微生境营造的底泥内源污染控制系统。

③ 采砂区退化底栖生境修复关键技术

开展采砂区退化底栖生境分类,因地制宜提出与水文泥沙和底栖生物习性相适应的采砂区退化底栖生境修复模式。研发采砂区退化底栖生境的人工礁石修复技术,模拟人工礁石对采砂区底质环境和沙坑水文泥沙条件的影响,优化人工礁石材料、构型和投放位置。在人工鱼礁投放区域选择合适点位引种水生植物、底栖动物等水生生物群落,通过监测水生生物群落的恢复状况分析人工礁石营造与改善底栖生境的综合效应。筛选水生植物与底栖动物物种,探索沉水植物种植方法和底栖动物引种优化方法,分析采砂区人工鱼礁与水生生物联合修复技术的可行性,加速采砂区退化底栖生境自然恢复进程。

④ 低水头仿生态过鱼通道关键技术研究

基于鄱阳湖五河的水网分布及水流特性、河段主要鱼类及特有鱼类的生理特性,提出该河段鱼类对水流流态、流场结构的要求,引入传统鱼道结构型式和自然河道形态及生境等要素,构建水流条件与自然水体环境相似的生态友好型仿生态过鱼通道,并对其水力特性进行研究,评价其适应性及过鱼效果,优化其体型,最终提出能适宜鄱阳湖五河典型河段的仿生态过鱼通道结构型式,建立鱼类及其他水生生物上下游沟通的良好通道。

4.5 鄱阳湖五河及湖区生态水利综合治理与规划设计技术及工程示范

1) 研究目标

基于水生态安全格局,综合考虑防洪、用水、水环境改善等需求,针对鄱阳湖五河、湖区及周边中小河流特点,构建生态水利综合治理优化模式,编制生态水利规划设计导则及技术指南,提出典型区域生

态水利综合治理技术方案并进行示范。

2) 研究方法

拟通过现场调查,从多层面、多角度调查鄱阳湖五河、湖区及周边中小河流的典型水生态环境特征和所面临问题;基于地貌多样性、生物群落多样性、动态稳定且可以自我调节的生态水利综合治理理念,针对性地收集、分析生态水利综合治理技术和规划模式,制定相关生态水利综合治理技术指南、规划设计导则和方案;基于复合生态系统理论,整合流域水源涵养区生态恢复、山地缓坡区水生态防治、湖库水生态环境治理、中小河流和临湖城市生态水利综合治理等方面的关键技术,形成典型流域系统的生态水利综合治理技术协同解决方案。

3) 研究内容

①鄱阳湖五河、湖区及周边中小河流生态水利规划设计技术方案研究

在鄱阳湖五河及湖区陆域、水陆交错带和水域的生态水利综合治理关键技术研究基础上,针对五河、湖区及周边中小河流特点,结合代表性流域、河道、滨湖临水空间典型治理方案,综合考虑变化条件下的新要求、新理念、新技术,研究提出鄱阳湖五河、湖区及周边中小河流生态水利规划方案,编制相关规划设计导则和技术指南。

②中小河流生态水利综合治理技术方案及典型工程示范

以平原城市、山区型中小河流为研究对象,研究平原城市穿城河流低影响开发措施,结合雨洪管控、水质水量调控及水景观提升等提出技术方案。研究山区型中小河流生态自然型治理措施,在顺应河流自然特点、维护河流自然形态并适度采取生态技术措施基础上,提出技术方案。选择南昌市乌沙河、靖安县的北潦河为主要研究对象并进行典型工程示范。

③湖区及临湖城市临水空间生态水利综合治理技术方案及典型工程示范

以鄱阳湖区及临湖城市临水空间(近岸水域、湿地、岸线、堤防)生态综合治理与保护为研究对象,突出水利血防、湿地保护与修复、水污染防治、适应性生态堤防等治理技术,提出生态化综合治理技术方案。选择共青城市临湖空间和鄱阳县沿湖典型堤段为主要研究对象并进行典型工程示范。

④典型流域生态水利综合治理技术协同解决方案

以鄱阳湖五河之一的抚河流域为研究对象,集成陆域、水陆交错带、水体生态水利关键技术,综合考虑“行洪安全、供水安全、生态安全”,面向流域可

持续发展及“水清、岸绿、河畅、景美”绿色生态要求,基于流域尺度系统构建水生态安全空间格局、水生态长廊、中小河流生态带及湿地生态修复区,提出典型流域生态水利综合治理技术协同解决方案。

4.6 鄱阳湖五河及湖区生态水利建设模式及立体化监测与评价体系

1) 研究目标

梳理生态水利的内涵与外延,从防洪减灾、水资源保障、水生态保护、生态水利工程、水管理服务、生态水利发展保障方面构建具有各单项指标的生态水利的评价指标体系;基于遥感、近地观测、原位监测、在线实时观测以及定点巡测等方法,提出鄱阳湖区及临湖城市立体化监测布局方案;开展鄱阳湖典型生态水利工程的多尺度、多要素、天地空(立体化)一体化综合监测,建立以浮游生物、湿地植物与底栖动物为核心的生态水利工程多要素综合监测技术体系与规范;采用定量与定性相结合的综合评价方法,开展鄱阳湖典型生态水利综合治理工程的成效评估,优化生态水利规划设计,形成适用于鄱阳湖五河及湖区的生态水利建设模式,为类似河湖生态水利建设提供参考。

2) 研究方法

拟采用多元线性回归、层次分析法、偏最小二乘法、遗传算法、支持向量机和神经网络等方法建立生态水利综合治理监测的评价方法体系;基于遥感、近地、原位等定点连续观测手段和方法,科学制定水资源、水生态、水环境及生态水利综合治理工程立体化监测布局方案;基于鄱阳湖多要素立体综合监测体系获取的数据,采用服务于生态水利综合治理效应分析的多源数据融合与挖掘技术,研究适用于水资源、水生态、水环境保护等多种需求的差异化工程效应评价方法,以示范工程为对象,开展鄱阳湖典型生态水利综合治理工程的效应评估,优化生态水利规划设计,提出河湖生态水利建设模式。

3) 研究内容

①生态水利评价方法与指标体系构建

明确生态水利的内涵与外延,从防洪减灾、水资源保障、水生态保护、生态水利工程、水管理服务、生态水位和生态需水量方面构建具有各单项指标的生态水利监测方法与评价指标体系,采用多元线性回归、层次分析法、偏最小二乘法、遗传算法、支持向量机和神经网络等方法建立生态水利评价方法体系,量化不同类型治理工程的标志性效应指标及其阈值,对新时期生态水利的内涵进行总结和提升,筛选出生态水利工程的最佳综合评价方法,构建完整科学的生态水利工程评价指标体系。

②鄱阳湖典型生态水利工程的监测技术体系构建

根据构建的生态水利工程评价指标体系,以无线传感器网络为纽带,通过高效集成示范试验区内密集分布的异构传感器,开展水资源、水环境、水生态观测,建立鄱阳湖典型生态水利工程示范区的多要素、多尺度、天地空协同监测体系;通过对典型生态水利工程的系统监测工作,全面提升鄱阳湖典型生态水利工程的综合观测能力和观测自动化水平,开展生态水利综合治理工程立体化监测布局的科学性、合理性与代表性研究,为生态水利综合治理监测和评价提供技术支撑与数据保障。

③鄱阳湖区及临湖城市立体化监测布局方案

以生态水利指标体系为依托,系统梳理各指标体系监测布局规范及要求,结合指标属性的时空格局,科学论证生态水利监测方法合理性和代表性,系统构建生态水利监测布局方法;以示范工程(或示范工程所在区域)中鄱阳湖区及临湖城市为研究对象,通过遥感、近地、原位定点等连续观测手段和方法,科学制定水资源、水生态、水环境及生态水利综合治理工程立体化监测布局方案,为生态水利综合治理监测评价提供支撑。

④生态水利综合治理效应评估与河湖生态水利建设模式

以鄱阳湖区与五河的生态水利工程综合治理现状为基本背景,研究示范生态水利综合治理工程对重要河段、水功能规划区、生物栖息地等敏感水域生态环境的潜在影响;基于鄱阳湖生态水利工程的多要素立体综合监测体系获取的多源、多维和多尺度数据,采用服务于生态水利综合治理效应分析的多源数据融合与挖掘技术,研究适用于水资源、水生态、水环境保护等多种需求的差异化工程效应评价方法,在此基础上开展鄱阳湖典型生态水利综合治理工程的效应评估,提出鄱阳湖五河及湖区的生态水利建设模式,为鄱阳湖及类似湖区生态水利建设提供参考。

5 结论与展望

随着中国生态文明建设的深入推进,研究和发 展生态水利理论体系和关键技术已成为当前水利行业发展的热点和趋势。鄱阳湖五河及湖区是中国河湖生态系统的典型代表,近年来水资源、水环境、水生态问题频发,开展生态水利综合治理成为地方经济社会发展以及落实长江大保护的必然需求。因此,围绕当前河湖生态水利特征因子对水、土、沙等资源开发利用的响应机制不明晰、水土资源调控耦合优

化较为薄弱、工程的生态环境影响及减缓技术亟待突破、生态水利立体化监测评价体系未建立等关键科学和技术问题,开展多学科联合攻关,揭示河湖生态水利特征因子的互作互馈机制,研发岸上、水陆交错带、水体全方位布局的生态水利关键技术,提出生态水利综合治理技术体系及规划设计方案并进行示范,构建河湖生态水利监测评价体系及河湖生态水利建设模式,为类似河湖生态水利建设提供科技支撑。

在生态文明建设、长江经济带建设等重大需求下,本研究是落实国家“五位一体”总体布局的具体实践,预期成果将直接服务生态鄱阳湖流域建设,为政府管理部门决策提供科技支撑,为编制流域保护治理规划(方案)、有效落实“河湖长制”提供科学依据,也为其他类似河湖区域生态水利建设提供示范参考,具有重要的现实意义和显著的生态效益。

参考文献:

- [1] Fang Chunming, Cao Wenhong, Mao Jixin, et al. Relationship between Poyang Lake and Yangtze River and influence of Three Georges Reservoir[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(2): 175-181. [方春明, 曹文洪, 毛继新, 等. 鄱阳湖与长江关系及三峡蓄水的影响[J]. 水利学报, 2012, 43(2): 175-181.]
- [2] 谭国良, 郭生练, 王俊. 鄱阳湖生态经济区水文水资源演变规律研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [3] 王晓鸿, 樊哲文, 崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统评估[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] Hu Zhenpeng. Theory, method and its application on the ecological rehabilitation in the Poyang Lake Basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(3): 259. [胡振鹏. 鄱阳湖流域生态修复的理论、方法及其应用[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(3): 259.]
- [5] Wang Lijing, Zheng Binghui, Wang Shengrui, et al. Thoughts on environmental protection in Dongting Lake and Poyang Lake under the background of the construction of Yangtze River economic belt[J]. Environmental Protection, 2017, 45(15): 27-31. [王丽婧, 郑丙辉, 王圣瑞, 等. 长江经济带建设背景下“两湖”生态环境保护的问题与对策[J]. 环境保护, 2017, 45(15): 27-31.]
- [6] Min Qian, Tan Guoliang, Jin Yewen. Main issues and regulation measures of Poyang Lake ecosystem[J]. China Water Resources, 2009(11): 44-47. [闵骞, 谭国良, 金叶文. 鄱阳湖生态系统主要问题与调控对策[J]. 中国水利, 2009(11): 44-47.]
- [7] Xu Jijun, Chen Jin. Study on the impact of Three Gorges Reservoir on Poyang Lake and some proposals[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013(7): 757-763. [许继军, 陈进. 三峡水库运行对鄱阳湖影响及对策研究[J]. 水利学报, 2013(7): 757-763.]

- [8] Peng Wei,Huo Junjun,Xu Jijun.Characteristics of incoming runoff variation of Poyang Lake in dry season[J].Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2016,33(3):19-22.[彭薇,霍军军,许继军.鄱阳湖枯水期入湖径流变化特征分析[J].长江科学院院报,2016,33(3):19-22.]
- [9] Liu Chenglin,Tan Yinjing,Lin Liansheng,et al.The wetland water level process and habitat of migratory birds in Lake Poyang[J].Journal of Lake Sciences,2011,23(1):129-135.[刘成林,谭胤静,林联盛,等.鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响[J].湖泊科学,2011,23(1):129-135.]
- [10] Zalewski Maciej.Ecohydrology—The scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources[J].*Ecological Engineering*,2000,16(1):1-8.
- [11] Liu Changming.Analysis of water supply and demand in the 21st Century in China:Research on ecological water conservancy[J].China Water Resources,1999(10):18-20.[刘昌明.中国21世纪水供需分析:生态水利研究[J].中国水利,1999(10):18-20.]
- [12] Dong Zheren.Theoretical framework for eco-hydraulics[J].Journal of Hydraulic Engineering,2003,34(1):3-8.[董哲仁.生态水工学的理论框架[J].水利学报,2003,34(1):3-8.]
- [13] Sun Zongfeng.Theory and practice of ecological water conservancy[J].*Water Resources and Hydropower Engineering*,2003(4):53-55.[孙宗凤.生态水利的理论与实践[J].水利水电技术,2003(4):53-55.]
- [14] Huang Yilong,Fu Bojie,Chen Liding.Advances in eco-hydrological process research[J].Water Resources and Hydropower Engineering,2003,23(3):580-587.[黄奕龙,傅伯杰,陈利顶.生态水文过程研究进展[J].生态学报,2003,23(3):580-587.]
- [15] Shang Shuli,Gu Zhenghua,Cao Xiaomeng.Review of research on ecological and environmental effects of water conservancy projects[J].Advances in Science and Technology of Water Resources,2014,34(1):14-19.[尚淑丽,顾正华,曹晓萌.水利工程生态环境效应研究综述[J].水利水电科技进展,2014,34(1):14-19.]
- [16] Cui Ying,Zhang Qiang,Chen Xiaohong,et al.Advances in the theories and calculation methods of ecological water requirement[J].Journal of Lake Sciences,2010,22(4):465-480.[崔瑛,张强,陈晓宏,等.生态需水理论与方法研究进展[J].湖泊科学,2010,22(4):465-480.]
- [17] Lu Chunxia,Liu Ming,Cao Xuezhong,et al.Ecological effect of water conservancy and ecological regulation in China[J].Resources Science,2011,33(8):1418-1421.[鲁春霞,刘铭,曹学章,等.中国水利工程的生态效应与生态调度研究[J].资源科学,2011,33(8):1418-1421.]
- [18] Li Zongli,Li Yuanyuan,Wang Zhonggen,et al.Research on interconnected river system network:Conceptual framework[J].Journal of Natural Resources,2011,26(3):513-522.[李宗礼,李原园,王中根,等.河湖水系连通研究:概念框架[J].自然资源学报,2011,26(3):513-522.]
- [19] Jiang Cuiling,Wang Jun.Recent advances of ecological water conservancy in China[J].Advances in Science and Technology of Water Resources,2015(5):168-175.[姜翠玲,王俊.我国生态水利研究进展[J].水利水电科技进展,2015(5):168-175.]
- [20] Dong Zheren.On the design principles of eco-hydraulic engineering[J].*Journal of Hydraulic Engineering*,2004,35(10):1-6.[董哲仁.试论生态水利工程的基本设计原则[J].水利学报,2004,35(10):1-6.]
- [21] Gorantiwar S D,Smout I K.Model for performance based land area and water allocation within irrigation schemes[J].Irrigation & Drainage Systems,2006,20(4):345-360.
- [22] Chen Meiyong,Zheng Rongbao,Wang Chaohui.Review on optimal allocation of land resources[J].*Tropical Geography*,2009,29(5):466-471.[陈梅英,郑荣宝,王朝晖.土地资源优化配置研究进展与展望[J].热带地理,2009,29(5):466-471.]
- [23] Kucukmehmetoglu M,Guldman J M.Multiobjective allocation of transboundary water resources:Case of the Euphrates and Tigris[J].Journal of Water Resources Planning & Management,2010,136(1):95-105.
- [24] Luo Qiyong,Tang Huajun,Jiang Wenlai.Strategies of high efficient and sustainable allocation of water and land resources for agricultural purposes[J].*Resources Science*,2001,23(2):42-45.[罗其友,唐华俊,姜文来.农业水土资源高效持续配置战略[J].资源科学,2001,23(2):42-45.]
- [25] Geng Yanhui,Min Qingwen.Discussion on optimal allocation of land and water resources in Northwestern China[J].*Research of Soil and Water Conservation*,2004,11(3):100-102.[耿艳辉,闵庆文.西北地区水土资源优化配置问题探讨[J].水土保持研究,2004,11(3):100-102.]
- [26] Wang Qiumei,Fu Qiang,Sun Nan,et al.Analysis on the present state and problem of optimal allocation of regional soil and water resources[J].Journal of Water Resources and Water Engineering,2010,21(2):68-71.[王秋梅,付强,孙楠,等.区域水土资源优化配置的研究现状及存在问题分析[J].水资源与水工程学报,2010,21(2):68-71.]
- [27] Chen Xingru.Progress of river restoration research at home and abroad[J].Journal of Hydroecology,2011,32(5):122-128.[陈兴茹.国内外河流生态修复相关研究进展[J].水生态学杂志,2011,32(5):122-128.]
- [28] Pearce D W.Blueprint for a green economy[M].London: Earthscan,1989.
- [29] 日本财团法人河流整治中心.多自然型河流建设的施工方法及要点[Z].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [30] de Vriend H J,van Koningsveld M.Building with Nature:

Thinking,acting and interacting differently[M].Dordrecht, the Netherlands:Ecoshape,2012.

- [31] U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station.The WES stream investigation and streambank stabilization handbook[R].Vicksburg:U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station,1997.
- [32] U. S. Army Corps of Engineer.Hydraulic design of stream restoration project[R].Washington D. C.:U. S. Army Corps of Engineer,2001.
- [33] Nijland H J,Cals M J R,de Vries J M,et al.River restoration in Europe:Practical approaches.Conference on river restoration[M].RIZA Lelystad:Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment,2001.
- [34] 姚仕明,岳红艳,何广水,等.长江中游河道崩岸机理与综合治理技术[M].北京:科学出版社,2016.
- [35] Yang Luyu,Wang Lin,Wang Baozhen.Technical strategy on water resources pollution control[J].*Water and Wastewater Engineering*,2001,27(1):94-101.[杨鲁豫,王琳,王宝贞.我国水资源污染治理的技术策略[J].*给水排水*,2001,27(1):94-101.]
- [36] Plafkin J L,Barbour M T,Porter K D,et al.Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers:Benthic macroinvertebrates and fish[M].Washington D. C.:Environmental Protection Agency, Office of Water,1989.
- [37] Mathiaskondolf G.Five elements for effective evaluation of stream restoration[J].*Restoration Ecology*,2010,3(2):133-136.
- [38] Geng Leihua,Liu Heng,Zhong Huaping,et al.Indicators and

criteria for evaluation of healthy rivers[J].*Journal of Hydraulic Engineering*,2006,37(3):3-8.[耿雷华,刘恒,钟华平,等.健康河流的评价指标和评价标准[J].*水利学报*,2006,37(3):3-8.]

- [39] Zhao Yanwei,Yang Zhifeng.Preliminary study on assessment of urban river ecosystem health[J].*Advances in Water Sciences*,2005,16(3):38-44.[赵彦伟,杨志峰.城市河流生态系统健康评价初探[J].*水科学进展*,2005,16(3):38-44.]



杨文俊,博士,教授级高级工程师(技术二级),博士生导师,长江科学院副总工程师,享受国务院政府特殊津贴,新世纪百千万人才工程国家级人选、水利部“5151人才工程”首批部级人选,中国水利学会水利量测技术专业委员会副主任委员、中国疏浚协会生态环境专委会副主任委员,中

国大坝工程学会水库泥沙处理与资源利用专委会副主任委员等。主要从事水力学及河流动力学、水环境与生态水利等研究,先后主持“十一五”科技支撑项目课题、“十三五”国家重点研发计划项目、国家自然科学基金重大科学仪器研制项目、国家自然科学基金面上项目、水利部公益性行业专项、湖北省自然科学基金创新群体项目等,出版专著4部,授权发明专利15项、实用新型专利8项,发表学术论文110余篇。先后获国家科技进步一等奖1项、二等奖2项,省部级科技进步特等奖和一等奖共6项、二等奖2项,湖北省自然科学二等奖1项。

(编辑 张琼)

引用格式:Yang Wenjun,Liu Tonghuan,Luan Hualong,et al.Key techniques and demonstration of comprehensive control of ecological water conservancy in the Poyang Lake region and its five major tributaries[J].*Advanced Engineering Sciences*,2019,51(2):1-12.[杨文俊,刘同宦,栾华龙,等.鄱阳湖五河及湖区生态水利综合治理关键技术及示范[J].*工程科学与技术*,2019,51(2):1-12.]