

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2020171

邸琰茗,汪丽丽,韩建立,等.水生态建设与管理技术研究进展[J].中国防汛抗旱,2021,31(8):26-31.DI Yanming, WANG Lili, HAN Jianli, et al. Research progress of water ecological construction and management technology[J]. China Flood & Drought Management, 2021, 31(8):26-31. (in Chinese)

水生态建设与管理技术研究进展

邸琰茗 汪丽丽 韩建立 单斯维 刘宇同

(北京市北运河管理处,北京101100)

摘要:梳理了在全国水生态文明建设背景下,国内外关于水生态建设与管理技术的研究进展及存在的问题,总结基于城市水生态空间分区下的监测体系和评价方法,进一步分析水生态功能分区后河流、湖泊和水库的管理及修复技术,并探索提出针对水质、水量、生态环境不同的后期修复方向,形成集生态分区-监测评价-修复改善于一体的水体生态管理模式,为城市河湖水系的治理及流域管理提供参考,可有效促进水生态文明进入建设管理的新阶段。

关键词:生态建设;水生态空间;水生态评价;管理技术

中图分类号:X522;Q178.1

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2021)08-26-06

0 引言

随着生态文明建设的持续推进,保护和修复自然生态系统、优化水生态空间格局工作显得更加迫切。水生态空间作为国土空间管控的重要组成和基础保障,是优化国土空间开发格局的重要支撑,同时也是生态文明建设的重要抓手。

2013年,水利部出台了《关于加快推进水生态文明建设的意见》和印发了《关于开展全国水生态文明建设试点工作的通知》,分两批启动105个水生态文明建设试点;2017年党的十九大指出“建设生态文明是关系中华民族永续发展的千年大计”,凸显了生态文明建设在社会主义建设事业中的重要地位;2018年5月全国生态环境保护大会上,习近平总书记再次强调“建设生态文明关系中华民族永续发展的千年大计”^[1]。本文梳理全国水生态文明建设背景下,水生态建设的国内外研究进展,总结基于城市水生态空间分区下的监测体系和评价方法,进一步分析水

生态功能分区后河流、湖泊和水库的管理及修复技术,探索提出针对水质、水量、生态环境不同的后期修复方向,形成集生态分区-监测评价-修复改善于一体的水体生态管理模式,为城市河湖水系的治理及流域管理提供参考,用于指导现阶段生态文明的建设工作。

1 国内外水生态建设研究进展及存在问题

1.1 点源、面源研究进展及存在问题

国外点源、面源污染治理主要从源头控制、中途控制和终端控制等工程性措施入手,重点集中在加强对点源污染的控制,并配合非工程性管理措施指导,形成最佳管理措施(Best Management Practices, BMP),有效治理城市降雨径流面源污染导致的河流、湖泊污染。中国的城市面源污染研究基本处于起步阶段,多集中在下垫面污染负荷的监测层面,而在城市污水点源方面主要通过传统的物理、化学等工艺进行污水处理,例如膜处理工艺、生物曝气工艺等,生态及非工程管理措施较少。在面源污染的模式计

收稿日期:2020-06-19

第一作者信息:邸琰茗,女,工程师,E-mail:diyanming123@sina.com。

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07102-002-004)。

算方面,国外对面源污染物的排出负荷量计算有较好的研究,但国内在对面源污染随着河流迁移转化至目标水域(如湖泊、水库等功能水体)的过程解析研究较少。

目前点源、面源研究存在的问题是:随着城市化进程加快,与之对应的市政基础设施落后,临时污水处理设施规模有限,存在排水管道雨污分离不彻底、管线混接问题等,导致河流部分排水口水质不达标,污水偷排、直排现象仍有存在。每年汛期,来自城市路面、屋面的雨水径流给城市河湖带来面源污染,造成巨大的污染物冲击负荷。一般由城市地表径流带来的污染物占城市面源的90%,其中化学需氧量(COD)占面源污染总量的98%。河道COD、总氮(TN)、总磷(TP)超标问题也较为严重,河道污泥淤积量大,污染物处理不及时,导致水体自净能力较差,也会造成河道水质的污染。畜禽养殖方面,对畜禽粪污的处理和资源化利用整体上缺乏有效的技术体系和管理模式。

1.2 水资源生态用水研究进展及存在问题

美国及其他国家在20世纪70年代的地方法案中规定了河道内用水、河流基流、各类湿地等生态环境用水量标准。20世纪初,澳大利亚通过政府出资的方式从流域水权所有者手中购买水作为生态用水,以此解决水生态环境问题。20世纪80年代,日本将大部分地区处理后的再生水作为城市河道的景观生态用水,以此来保证恢复原有的生态系统。20世纪80年代末,我国基于水资源及绿洲建设问题提出了生态用水的概念,90年代初将生态用水作为环境脆弱地区规划中需要考虑的用水类型,90年代后主要围绕河流生态用水景观效应、生态用水现状评价、生态用水分配等方面开展研究,在加强水资源合理配置的同时,通过外流域调水来保障流域生态用水,特别是生态用水的景观效益方面,很多城市都建成了一系列再生水景观示范工程,在有效改善城市环境、恢复城市河道生态方面取得了良好的成效。国外研究中主要强调了河流廊道植被以及河道内以鱼类为主的水生动植物生息繁衍的用水需求,而我国的生态用水研究是在巨大的人口压力导致生态环境健康状况恶化的背景下提出来的,因此,国内外对于生态用水概念的内涵与外延有较大差异。

尽管生态用水为水资源的合理配置提供了基础,整体上多数城市水资源紧张的状况在一定程度上得到有效缓

解,基本满足了人民生活需求,但水资源“紧平衡”状态未得到根本改变;有些城市由于水环境容量较小,城市水污染物排放量超过水环境容量,大部分可利用水资源都被用于生活生产,水资源配置仍有不足;除此之外,针对我国北方地区城市季节性河道的断流现象,也会造成生态用水严重不足。整体上我国生态用水的理论体系还不完善,计算方法仍然需要考虑众多环境因子及大量的原始数据,计算过程较烦琐且缺乏生态合理性分析,因此无法准确推断研究成果的实际价值,在评价过程中生态用水对生态系统稳定性的影响、生态用水满足程度及生态用水波动性对生态系统的影响等均未涉及,加深了相关问题的解决难度。

1.3 水生态监测评价研究进展及存在问题

20世纪70-90年代,美国从单一的生态修复功能过渡到流域尺度的整体生态恢复,主要从维护水体物理、化学和生物的完整性角度出发提出水环境保护的目标;英国主要采取对河流生态环境进行监测和调查的方式了解水生态状况;澳大利亚开展了河流健康计划,以此来监测和评价河流生态状况。我国于2010年出台了《河流健康评估指标、标准与方法V1.0》,用于指导全国河流健康评价试点工作;2013年正式开始河流健康评价工作,主要依据是中国环境保护部颁布的《流域生态健康评价评估技术指南(试行)》,前期集中在我国南方地区开展了国内部分河流及水库的生态评价工作^[2];除此之外,我国各地区已形成《山区河流生态监测技术导则》《湖泊调查技术规程》《城市污水再生水利用尽管用水水质》等技术规范文件,主要针对不同水生态空间的水生态健康状况进行监测与评价。

由于河流评价指标体系的构建受限制于评价对象的地理特征、气候条件、经济发展状况和社会需求等条件,很多城市河流缺乏长期观测的历史数据,评价工作受到一定的限制,各地方目前并无统一标准和方法;水环境监测系统不健全,尚不明晰各水域空间分布、面积、主要生态特征及生物栖息地状况,缺乏对水污染情况的动态分析和预报预警,导致水生态的健康评价和管理技术的研究工作开展较少;而生态治理是一项庞大且复杂的系统工程,生态建设与管理宏观目标需求各不相同,生态建设和管理目标的不清晰也是制约水生态发展的一大重要因素^[2-6]。

2 水生态功能分区及调查评价

2.1 水生态功能分区

水生态空间是行洪、蓄滞洪等涉及的区域范围和涵养水源的陆域空间,为生态水文过程支撑起到保障水安全、维持水生态系统健康稳定的作用,主要包括河流、湖泊、水库等^[7-8]。国外水生态功能分区研究经历了以区域特征指标进行生态分区到生态功能分区指标体系的探索,再到确定生态保护和恢复目标为依据的生态分区,后期主要集中在生态整合及通过流域尺度管理达到生态良好,并依据流域内地表水体所属的生态区域,通过不同方法对各个生态区域内的水体进行类别划分^[9-11]。我国水生态分区研究早期以自然区划的方法进行功能分区,再过渡到陆地生态区划阶段,后依据河流生态学中的格局与尺度理论,建立了流域水生态分区的指标体系与分区方法,先后制定了多个与水环境管理相关的功能区划。目前水利部为满足水资源合理开发和有效保护的需求,于2002年根据人类对水功能需求和水质等划分水域,用于指导水体环境的评价与管理^[12-13]。国外对水生态功能分区主要强调生态系统的自然属性,以资源的管理及保护为主,而国内则强调其人为属性及管理以及将水上区划与陆上影响区建立关联,形成更全面的区分体系。因此,水生态分区在管理应用中存在的问题主要包括:国内外水生态分区概念和指标体系受到多方因素影响,尚未统一;数据获取的科学性、可比性、可靠性也没有统一的方法验证,难以解释连续景观中区划边界是否可行的问题;在实际工作中区分方法的准确性上仍然受主观因素影响,对分区体系的要求和标准应该进一步提升^[14]。

2.2 水生态系统健康评价方法

水生态系统健康评价方法总体上分为模糊评价法、指示物种法和指标体系法。模糊评价法主要通过模糊数学关系合成计算的原理,确定指标权重矢量,但受主观性影响,其公式及计算过程烦琐复杂,主要应用于河流水质各个指标的内在联系研究,可采用不同的模糊数学评价对断面水质进行比较。指示物种法主要评价河流生态系统健康状况,是根据对环境中特定污染物质敏感的生物种类的存在或缺失来指示其所在水体或河段污染状况的方法,该法简单易操作,但不能明确对河流生态系统健康指示作用的强

弱;指示物种法最初以河流鱼类为指示物种,后期逐渐过渡到大型无脊椎动物和藻类等生物类群,在我国前期的生态评价工作中也有广泛的研究。现阶段综合物理、化学、生物、水文、栖息地的指标体系法,将能够表征河流生态状况的各个指标相互联系、相互制约,具有综合性、全面性和易量化的特点,成为当前河湖水系生态系统健康评价的常用方法,主要应用在受人类活动影响较大的城市水生态健康评估方面^[15-17]。

2.3 水生态系统评价体系构建

水生态系统评价研究中,基于流域特征提出了水生态系统综合评价指标,根据河流、湖泊和水库不同管理定位,明确生态健康评价的目标,加强实际工作中的可操作性。不同评价指标选取时,应基于前期调查监测的基础,充分考虑长期进化形成的和区域环境相适应的生物群落组成、结构和功能,水文年内和年际变化会引起河流及河岸形态功能变化,人类活动对河湖滨岸状态、河湖联通状况、天然湿地保存情况等影响,依据河流生态系统的生物完整性、水文完整性、结构完整性选定评价指标,这些指标之间相互影响和依存,主要包括生态环境指标、水环境指标、生物指标和人与水和谐度指标四大类别。河流健康指数体系构建时,应形成目标层、准则层和指标层3个层次,目标层即河流健康综合指数,并依据具体的水生态特征进行二级、三级指标筛选及归类。河流生态功能构建时,要考虑河流健康评价指标体系应能够综合反映一个地区的生态状况,最终是以其对人类社会资源性和经济性服务的满足程度、稳定性和可持续性作为衡量标准,河流健康评价的目标应是该指标体系的终点,再次对指标体系中不同指标进行完善和梳理,最终形成完整的河流生态评价指标体系^[18]。

3 水生态空间修复技术

不同水生态空间的功能定位不同,开展生态修复的建设与管控目标也不同,因此,在前期相关监测及评价工作的基础上,进一步总结不同水生态空间河流、湖泊、水库的生态修复技术,探索提出不同水生态空间下针对水质、水量、生态环境层面的修复方向,可有序推进水生态空间管理工作。

3.1 河流生态修复技术

河流生态修复技术主要以水生植物修复、河床底质修

复、生态护岸修复、岸滨带生态修复等技术为主。水生植物修复中常用的植物修复品种包括芦苇、菖蒲、香蒲、金鱼藻等,该类植被对人工湿地及城市河道中的污染物有显著的去除效果,可以提高水体的透明度和观赏功能。河床底质修复中主要是在水量较少或者断流的河道,为构建河流生物栖息地,人工构建深潭和浅滩河床,在硬质河床上零星布设易于水生动植物栖息的种植槽、人工鱼礁,并深挖河床,采用设置木桩、堆积石块等方式来构建多孔隙河道空间,整体提升河床的生态功能。生态护岸修复根据自然条件和材料来源做成多种形式的生态护岸,一方面利用植物根系的作用防止水土流失,同时可以达到景观效果,相关研究表明,生态护岸对氮、磷的去除效果能够达到50%以上。岸滨带生态修复主要对岸滨平台的外肩采用防腐松木围成种植槽,零星点缀水生美人蕉、鸢尾等耐洪水冲击的挺水植物,吸引水鸟栖息,同时也提升了景观效果,多用于再生水补水影响下的非常规河道^[19-23]。

3.2 湖泊生态修复技术

湖泊修复技术主要针对湖泊中水体富营养化进行技术修复,包括物理修复、化学修复、生物修复。物理修复主要是对污染湖泊底质的修复,通过原位水体修复技术和河道疏浚技术,其中原位水体修复技术主要包括调水冲污、底泥覆盖、底泥固化等,现阶段原位水体修复技术仅有少量的试验探索或工程实践;河道疏浚技术可以快速、有效地去除水体污染源,被广泛应用于河流水污染治理的工程实践,以此来达到改善湖泊污染底质的目的,但在处理过程中也应注意由于湖泊底泥释放造成的二次污染的问题。化学修复主要是向湖泊中投放除藻剂、除磷剂等化学药剂,加快藻类及污染物的沉降,但会面临除藻剂本身在一定条件下发生化学反应对水体造成污染的问题。生物修复技术将多学科应用于受损水体的生态系统修复中,可提高水体本身的自我净化、恢复能力。对各类水生植物的污染物的去除效果进行研究后表明,湖泊中沉水植物和挺水植物均能够有效去除水中氮、磷等污染物浓度,并降低其他污染物的浓度;当水生植物在湖泊生态系统中稳定之后,选择适当的季节投放螺、蚌、鱼等水生动物,不同鱼类如麦穗鱼、泥鳅等群落分布及物种结构均能反映出水体的受污染程度,可进一步通过食物链及生态系统优化的方式达到对湖泊的生态修复;除此之外,表面流人工湿地系统

对村庄生活污水的处理效率较高,表面流湿地内沉水植物的栽培、水生动物的构建,对重铬酸钾法测定化学需氧量(COD_{cr})、生化需氧量(BOD₅)、总悬浮固体(TSS)、铵态氮(NH₄⁺-N)、TN去除率均达到90%以上,这些技术均在湖泊生态修复中取得了良好的应用于推广^[24-26]。

3.3 水库生态修复技术

消减内源污染或控制外源污染是富营养化水库治理及水库生态管理的重点任务,其中外源治理主要分为前置库技术,植物缓冲带技术和生态沟渠技术,库内治理主要围绕生物浮床、生物膜技术、生物操纵技术等技术展开。目前我国已建成运行的前置库技术对TN、TP年均消减率分别是30%左右,其削减营养盐的作用机理与人工湿地相同;植物缓冲带技术是通过构建水库岸边向岸坡延伸的植物缓冲带,降低地表径流流速从而消减污染负荷,试验表明,植物缓冲带对地表径流中的污染物浓度消减率较高。生态沟渠技术相对于其他工程技术投资较少,是农业非点源污染源头管控的最佳管理措施,对TN、TP的消减率分别可达到50%左右^[27-28]。除此之外,生物膜技术、生物浮床、生物操纵技术均是基于生态学原理,用生物-生态方法消减水库内源污染的技术。

4 不同水生态空间后期修复方向

(1)河流生态修复方面,建议结合水土保持、植物消减等措施建设植被缓冲带,进行面源污染物防控,重点通过开展城乡接合部的截污、治污工程,考虑全年及不同时期进行水质达标评价;生态需水量维持要确定目标生态环境需水量全年值,水量调控应制定科学生态补水方案,优先采用再生水为水源;河流生态环境恢复以形成自然蜿蜒,深潭、浅滩、急流和缓流交替出现为主,恢复河床平面与断面形态多样性,采用自然块石、木桩、植物等多样化本土材料修复水陆交错带,宜通过河床修复技术、水生植物修复、缓冲带构建等措施净化水体,在原硬化护坡、挡墙表面进行生态改造。

(2)湖泊生态修复方面,浅水湖泊水质改善外源控制应加强湖泊周边排口整治,建设植被缓冲带实施面源污染物消减,进行生态型清淤,定期消减内源污染;浅水湖泊水深宜控制在0.5~2.0 m,根据沉水植物不同生长期需求,分时段进行调控,优先采用再生水为水源满足城市河湖景观

需求;生态环境修复方面,宜营造起伏多样的微地形,构建以沉水植物恢复为主的湿地生态系统,适当投放水生及底栖动物,创造适宜水生动物栖息繁衍的多形态、多孔隙自然水域岸带。

(3)水库生态修复方面,水库生态环境修复中建议通过外源控制、内源消减方式改善湖泊水质,外源治理主要分为前置库技术,植物缓冲带技术和生态沟渠技术,库内治理主要围绕生物-生态方法展开;水库生态水位宜控制在正常蓄水位对应库容80%以上,对不能满足生态需水量的水库,优先考虑上游河道水力调控;水位变幅区宜构建沉水-挺水-湿生植物岸带,保留或恢复原有大片滩地,库区宜保留或营造库中岛,为库区底部及库中岛边缘营造多种微地形,为不同类型鸟类、鱼类提供稳定且多样的栖息地场所。

综上,在水生态空间后期的修复中,应集中于多种生态因子的景观功能及生态环境优化,结合水动力调控作用下对生态影响的研究,形成一套最佳管理措施适用于不同水空间分区下的生态修复模式,特别是在针对湖泊生态修复中,相对于微生物对生态环境的安全隐患影响,水生动植物和人工湿地技术,建设成本低,操作运行简单,是未来湖泊修复的方向和趋势;随着人类活动干扰的强度增大和来源多样化,考虑多方面因素、整合多种尺度的生态评价方法,将会是未来城市河流生态健康研究及评价的发展趋势;除此之外,将河流生态修复主要技术广泛应用于抗洪、堤防建设、两级河道建设等方面,使得流域整体功能恢复最大化,实现真正意义上的生态修复^[29]。

5 结 论

(1)现阶段在城市水生态建设中仍然存在水体受污染、水资源短缺、生态监测评价体系不完善问题,开展基于水生态功能分区下的水体生态健康评价工作十分必要。

(2)水生态空间管理及修复,建议针对河流、湖泊、水库的不同水生态功能分区,同时围绕水质、水量、水生态不同层面进行,并在后期加以推广和应用。

(3)随着水生态监测数据的积累,河流生态系统评价的完善性和科学性将不断提高,形成集生态分区-监测评价-修复改善于一体的水体生态管理模式,可有效促进基于流域环境质量和河流生态健康的水生态文明建设新阶段。

参考文献

- [1] 王贺. 水生态文明试点城市建设效果综合评估指标的确定及其量化方法研究[J]. 水利规划与设计, 2019(6): 72-74, 78.
- [2] 廖可阳. 城市河湖水生态问题分析与应对措施[J]. 中国水利, 2019(12): 13-15.
- [3] 马东春, 唐摇影, 王凤春, 等. 河长制下北京水生态环境保护管理路径研究[J]. 中国水利, 2019(20): 11-16.
- [4] 王永刚, 刘桂中, 孙长虹. 北京市水环境保护问题与形势研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(9): 4-7.
- [5] 韩相奎, 刘学. 平原区流域非点源污染研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2014, 32(2): 52-55.
- [6] 贾宝全, 张志强, 张红旗, 等. 生态环境用水研究现状、问题分析与基本构架探索[J]. 生态学报, 2002(10): 1734-1740.
- [7] 杨晴, 赵伟, 张建永, 等. 水生态空间管控指标体系构建[J]. 中国水利, 2017(9): 1-5.
- [8] 高永年, 高俊峰. 太湖流域水生态功能分区[J]. 地理研究, 2010, 29(1): 111-117.
- [9] 孙小银, 周启星. 中国水生态分区初探[J]. 环境科学学报, 2010, 30(2): 415-423.
- [10] Mackey B G, Berry S L, Brown T. Reconciling approaches to biogeographical regionalization: a systematic and generic framework examined with a case study of the Australian continent[J]. Journal of Biogeography, 2008, 35(2): 1365-2699.
- [11] Moog O, Kloiber A S. Does the ecoregion approach support the typological demands of the EU Water Framework Directive?[J]. Hydrobiologia, 2004, 516: 21-331.
- [12] 中华人民共和国水利部. 中国水功能区划(试行)[R]. 2002.
- [13] 李艳梅, 曾文炉, 周启星. 水生态功能分区的研究进展[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 3101-3108.
- [14] 田育红, 任飞鹏, 熊兴, 等. 国内外水生态分区研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(1): 316-319.
- [15] 李少华. 闸坝工程对河流生态系统影响机制分析[J]. 水资源开发与管理, 2020(1): 34-38.
- [16] 何建波, 李欲如, 毛江枫, 等. 河流生态系统健康评价方法研究进展[J]. 环境科技, 2018, 31(6): 71-75.
- [17] 陈奕, 许有鹏. 河流水质评价中模糊数学评价法的应用与比较[J]. 四川环境, 2009, 28(1): 94-98.

- [18]罗火钱,李轶博,刘华斌.河流健康评价体系研究综述[J].水利科技, 2019(1):14-20.
- [19]王玮,丁怡,王宇晖,等.湿地植物在人工湿地脱氮中的应用及研究进展[J].水处理技术, 2014, 40(3): 22-26.
- [20]赵银军,丁爱中.河流地貌多样性内涵、分类及其主要修复内容[J].水电能源科学, 2014, 32(3): 167-170.
- [21]关春曼,张桂荣,赵波,等.城市河流生态修复研究进展与护岸新技术[J].人民黄河, 2014, 36(10): 77-80.
- [22]Lowrance R, Altier L S, Williams R G, et al. REMM : the Riparian Ecosystem Management Model[J].Journal of Soil & Water Conservation, 2000, 55(1):27-34.
- [23]赵广琦,崔心红,张群,等.河岸带植被重建的生态修复技术及应用[J].园林科技, 2010(2):23-29,33.
- [24]王敏,唐景春,王斐.常见水生植物对富营养化和重金属复合污染水体的修复效果研究[J].水资源与水工程学报, 2013, 24(2):50-56.
- [25]卢晓明,金承翔,黄民生,等.底栖软体动物净化富营养化河水实验研究[J].环境科学与技术, 2007, 30(7):7-9.
- [26]Dong Y, Wilinski P R, Dzakpasu M, et al. Impact of hydraulic loading rate and season on water contaminant reductions within integrated constructed wetlands[J]. Wetlands, 2011, 31(3):499-509.
- [27]陈志笃,王立志.复合前置库技术对水体净化效果[J].生态环境学报, 2013, 22(9):1588-1593.
- [28]何元庆,魏建兵,胡远安,等.珠三角典型稻田生态沟渠型人工湿地的非点源污染削减功能[J].生态学杂志, 2012, 31(2):394-398.
- [29]刘欢,杨少荣,王小明.基于河流生态系统健康的生态修复技术研究进展[J].水生态学杂志, 2019, 40(2):1-6.

Research progress of water ecological construction and management technology

DI Yanming, WANG Lili, HAN Jianli, SHAN Siwei, LIU Yutong

(Beijing Management Division of North Grand Canal, Beijing 101100)

Abstract: Under the background of water ecological civilization construction, this paper reviews the research progress and issues of water ecological construction in China and abroad summarizes the monitoring system and evaluation method based on the urban water ecological spatial division; analyzed the management and restoration technology of rivers, lakes and reservoirs; and proposed different restoration directions according to different water quality, water quantity and ecological environment, Furthermore, it forms the ecological management mode including ecological division, monitoring evaluation and restoration, which providing reference for urban river system management. It also effectively promote the construction of water ecological civilization.

Keywords: ecological construction; water ecological space; water ecological evaluation; management technology

责任编辑 马 啸