

DOI: 10.5846/stxb202005011077

赵玲玲, 夏军, 杨芳, 杨龙, 徐飞. 粤港澳大湾区水生态修复及展望. 生态学报, 2021, 41(12): 5054-5065.

Zhao L L, Xia J, Yang F, Yang L, Xu F. Current situation, framework, problems and prospect of water ecological restoration in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(12): 5054-5065.

粤港澳大湾区水生态修复及展望

赵玲玲^{1,2}, 夏 军², 杨 芳³, 杨 龙¹, 徐 飞^{1,*}

1 广东省科学院广州地理研究所 广东省遥感与地理信息系统应用重点实验室/广东省地理空间信息技术与应用公共实验室, 广州 510070

2 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101

3 珠江水利委员会珠江水利科学研究院 水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室, 广州 510611

摘要:水是生态系统物质循环和能量流动的重要纽带,水生态系统修复在区域生态系统修复中起到关键作用。粤港澳大湾区剧烈人类活动对江河湖库生态系统造成破坏和干扰,江河湖库污染严重,水生物减少,导致流域水生态服务功能退化甚至丧失;从生态修复科学内涵出发,判断湾区水生态系统健康状况已处于非生物控制跃迁阈值之下;针对该形势,从工程建设、水环境治理、空间规划和管理机制四个方面,梳理湾区近期开展的与水生态修复相关的水生态文明建设、水污染防治行动计划、水生态空间划定和推进河长制等工作,并对其中用到的技术、指标和制度进行条理;然后以茅洲河流域综合治理和广东万里碧道作为水生态修复的点、面代表,从水生态修复的整体目标、采用的技术措施、效果评价的指标体系和管理制度方法等方面分析当前的工作现状;总结湾区现状水生态修复工作,认为湾区水生态系统的非生物修复阶段基本结束;基于生态系统修复理论结合湾区江河湖库生态系统特点,提出适合湾区的水生态修复框架,讨论水生态系统修复面临的问题和未来工作的展望,为大湾区水生态修复提供直接依据。

关键词:水生态修复;水生态环境;水生态文明;粤港澳大湾区

Current situation, framework, problems and prospect of water ecological restoration in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

ZHAO Lingling^{1,2}, XIA Jun², YANG Fang³, YANG Long¹, XU Fei¹

1 Key Lab of Guangdong for Utilization of Remote Sensing and Geographical Information System, Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application, Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China

2 Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 Ministry of Water Resources, Key Laboratory of the Pearl River Estuarine Dynamics and Associated Process Regulation, Guangzhou 510611, China

Abstract: Water is an important link of material circulation and energy flow in ecosystem, and water ecosystem restoration plays a key role in regional ecosystem restoration. The severe human activities in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay area cause damage and interference to the river, lake and reservoir ecosystems, which causes serious pollution and reduction of aquatic organisms, leading to degradation or even loss of water ecological service function in the basin. Based on the scientific connotation of ecological restoration, it is judged that the health status of water ecosystem in the bay area has been under the threshold of non-biological control transition. In view of this situation, from the perspective of engineering construction, water environment treatment, spatial planning and management mechanism, this paper combs the recent works of water ecological civilization construction, water pollution prevention and control action plan, water ecological space

基金项目:水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室开放研究基金资助课题([2018]KJ08);广东省科学院发展专项资金项目(2020GDASYL-20200401001, 2019GDASYL-0104003, 2020GDASYL-20200301003)

收稿日期:2020-05-01; 修订日期:2020-12-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pinghuyu@outlook.com

delimitation and river management system related to water ecological restoration in the bay area, and organizes the technologies, indicators and systems used in them; then, it takes the comprehensive treatment of Maozhou River Basin and Wanlibidao in Guangdong Province as the water ecological restoration. based on the theory of ecosystem restoration and combining with the river, lake and reservoir ecosystem in Greater Bay Area, this paper puts forward a water ecosystem restoration framework suitable for the bay area, discusses the problems faced by water ecosystem restoration and prospects for future work, so as to provide a direct basis for water ecosystem restoration in the bay area.

Key Words: water ecological restoration; water ecological environment; water ecological civilization; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

水是流域生态系统的重要驱动力和制约因素,流域水文过程影响生态系统结构与功能,同时生物过程也对水循环要素产生作用^[1-3]。粤港澳大湾区是国家发展战略,主要区域珠三角 9 市是我国三大城市群之一,区域经济快速发展,人口持续增加,水资源需求量不断增长,社会经济活动高度发展,在剧烈的人类活动作用下,区域河流水质污染问题突出,如广州前航道、西航道、后航道、黄埔水道、佛山水道、顺德水道、西南涌、大石水道、白坭河、前山河、平洲水道、石岐河、天沙河、高明河、潭江和流溪河街口以下河段以 V—劣 V 类为主;受河湖底泥、航运和水体养殖等内源污染,入河排污口未经处理或处理不彻底直排、乱排,及集水区垃圾污染进入河道形成黑臭水体^[4-5]。严重的水体污染和生态环境破坏导致水生态系统功能退化,水生生物多样性面临严峻挑战,鱼类种类和数量明显下降,一些重要的经济和名贵鱼类资源如唇鱼、桂华鲮、倒刺鲃等已由盛而衰,濒临灭绝;中华鲟、鲟鱼等珍稀鱼类自 20 世纪 70 年代以来在北江已基本绝迹,湾区水生态系统服务功能退化甚至丧失^[6-7]。

生态恢复是帮助退化、受损或毁坏的生态系统恢复的过程,是一种旨在启动及加快对生态系统健康、完整性及可持续性进行恢复的主动行为^[8-10]。简单条件下,生态恢复包括去除明确的干扰并让生态系统进行自发的修复;在比较复杂情况下,生态恢复需要引入当地的乡土种,尽可能除去有害的、入侵性的外来种或控制其发展。总的来说,生态恢复着眼于重启或加快这种自然恢复过程,从而使生态系统重回原来的固有轨迹^[11-14]。生态系统或者区域生态环境的修复则是一项昂贵又非常耗费时间的工作。在实践中恢复有修复、重建、改进和替代四种策略,生态修复根据土地利用计划,将受干扰和破坏的土地恢复到具有生产力的状态,确保该土地保持稳定的生产状态,不在造成环境恶化,并与周围环境的景观保持一致^[15-16]。生态修复强调对生态系统过程、生产力和服务功能的修复,而生态恢复的目的则是重建之前存在的生物物种组成和群落结构的完整性^[17-18]。

水生态系统修复是指基于系统生态学、恢复生态学、生态水工学、景观生态学、化学、物理学等基本原理,以自然恢复为主,辅以人工措施,使遭遇破坏的水生态系统结构、功能与景观恢复到人们所期望的人水和谐的参照水平或状态;水生态系统修复实质是在人的干预下的水生态系统朝着原有良性循环方向的回归,其核心是重建水生态系统平衡^[19-21]。

根据受损生态系统修复模型(图 1),对生物物种和功能受损不大的水生态系统,移除干扰可依赖自然恢复;对于生态系统受损超越了受生物或者非生物因子控制的不可逆阈值,水生态系统恢复需要分步完成,需要在人工和自然双重作用下跨越被生物和非生物控制的跃迁阈值^[22-23]。珠三角由于剧烈人类活动干预,水污染严重,近 40% 的河长水质在 IV 和劣 V 类,导致水生生物减少或消失,水生态系统功能退化严重,其功能水平低于非生物控制跃迁阈值,需要进行恢复物理环境的改造。

针对该形势,本文从工程建设、水环境治理、空间规划和管理机制四个方面,梳理湾区近期开展的与水生态修复相关的水生态文明建设、水污染防治行动计划、水生态空间划定和推进河长制等工作,并对其中用到的技术、指标和制度进行梳理;然后以深圳茅洲河流域综合治理和广东万里碧道作为水生态修复的点、面代表,从水生态修复的整体目标、采用的技术措施、评价指标体系和管理制度等方面分析当前的工作现状;总结湾区

水生态修复现状;提出适合湾区的水生态修复框架,探讨湾区水生态系统修复面临的问题并展望未来。

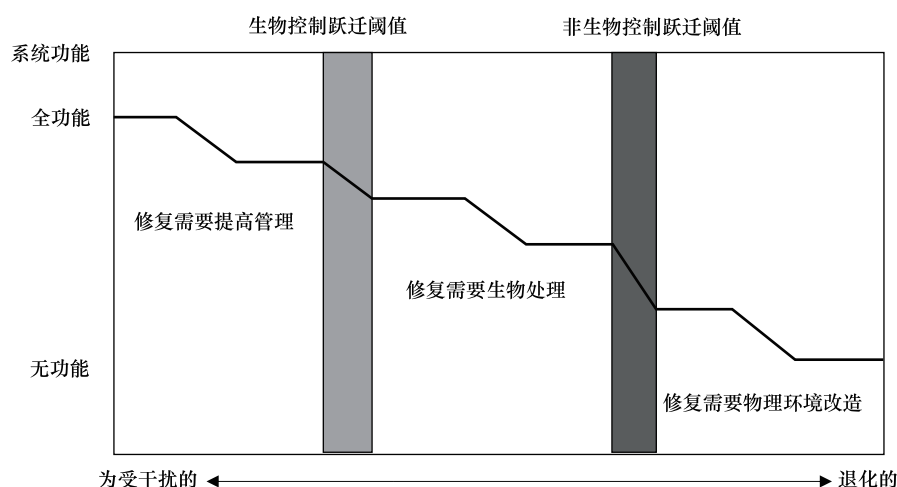


图1 受损严重的生态系统修复模型^[24]

Fig.1 Severely damaged ecosystem rehabilitation model

1 湾区水生态修复相关实践梳理

根据生态文明建设意见水利部提出把生态文明理念融入到水资源开发、利用、治理、配置、节约、保护的各方面,全面推进水生态文明建设。水生态文明是指人类遵循人水和谐理念,以实现水资源可持续利用,支撑经济社会和谐发展,保障生态系统良性循环为主体的人水和谐文化伦理形态^[25];城市水生态文明是水生态文明建设的重点和关键,2014年和2015年选择两批105个基础条件较好、代表性和典型性较强的城市,根据自身地貌和河流特点开展试点,将河湖生态修复列为建设重要内容;粤港澳大湾区有广州、珠海、东莞和惠州四个试点城市。各城市根据湾区特点,从水管理、水安全、水环境、水生态和水文化五个方面构建了湾区城市水生态文明考核指标体系(表1)。指标体系中水管理、水安全、水环境和水文化方面的指标在湾区基本适用,但由于湾区处于平原网河区,河网密布,人类活动影响剧烈,指标体系中的水生态指标不适合湾区情况,例如河流生态基流满足程度指标,考核河流选择是按河流的流域面积大于100 km²进行,然而湾区城市河流多为过境河流,且地势平坦,集水面积难以划分,应采用河流的生态功能遴选考核对象;另外河流纵向连通性指数,该指标指100 km河长中阻隔河流连通的人工建筑物数量,湾区为了防洪防潮和控制污染物运动,建造大量水闸泵站,所以该指标没有考虑湾区该情况,建议选用一定敏感时期河流的流速来考核其连通性;另外的水域空间率指标,指水域面积占总面积的比例,然而在珠三角由于自然条件历史上形成基塘系统农业格局,鱼塘占水域较大比例,然而鱼塘生态功能与其他水域差别较大,不宜由同一指标考核。

围绕城市水生态文明建设的目标,湾区实施了一系列与水生态系统修复相关的措施,(1)开展河湖水系连通建设,改善了河流(湖泊或水库)的连通性,促进了水体流动性,提高了水资源和水环境的承载力;(2)实施“珠江三角洲河涌整治与修复规划”、“南粤水更清行动计划”和城市黑臭水体治理。提出珠三角各市河涌整治的总体要求,以界河及跨地市河涌的整治修复为突破口,以泄洪整治和水环境修复为重点,建立功能完整、健康的河涌水系,达到泄洪顺畅、排涝安全、水质清洁、生态健康、景观优美“五位一体”的总体目标,实现安全、水清、岸绿、景美^[26-28];(3)保护河湖水域岸线,开展水生态空间管控;水生态空间范围划定与功能定位包括明确水域、岸线及水源涵养、水土保持等陆域涉水生态空间范围,明确水生态空间的主导功能定位,水域岸线等水流产权确权划界等,并针对不同功能范围制定相应管控指标体系^[29-33]。(4)在管理方面,实行最严格水资源管理制度考核,全面推行河长制。全面建立省、市、县、乡四级河长体系;开通“智慧河长”开放平台,

接受群众监督,构建责任明确、协调有序、监管严格、保护有力的河湖管理保护机制^[34-35]。(5)开展河湖生态健康评价和水生态修复;湾区根据《河湖生态保护与修复规划导则》、《河湖健康评估导则》和《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》^[26]进行了九大河流的健康评估并启动了“万里碧道”综合修复工程,对湾区河湖生态修复工作中的主要技术进行梳理(表 2),同时针对当前一些流域区域生活生产生态用水矛盾突出、河湖生态功能下降等问题,明确湾区主要河流生态流量保障目标,不断改善河湖生态环境目标^[36-37]。

表 1 粤港澳大湾区水生态文明建设评价指标分类^[38]

评价内容 Evaluating content	评价指标 Evaluating indicator	指标定义 Index definition
水管理 Water management	1) 取水许可实施率/%	具有取水许可证的取水量与总取水量的百分比
	2) 计划用水实施率/%	列入年度取水计划的实际取水量占年总取水量的百分比
	3) 自备水源取水计量率	自备水源用水户计量设施取水量占自备水源取水总量的百分比
	4) 水功能区水质达标率/%	水质达标水功能区数量和水质功能区总数的比例
	5) 用水总量控制达标情况	是否实现了上级政府下达的 用水总量控制目标,以上级政府考核结果为依据
	6) 生活节水器具普及率/%	公共设施和居民生活使用节水器具的数量比例
	7) 万元工业增加值用水量/m ³	地区评价年每生产 1 万元工业增加值的用水量
	8) 水生态文明建设重视度/%	代表政府部门对水生态文明建设的重视程度
	9) 公共供水管网漏损率/%	公共供水企业产水总量与收费水量之差占产水总量比例
	10) 水资源监控能力指数/%	取水计量率、水功能区水质监测率、入河排污口监测率 3 项指标平均值
水安全 Water security	11) 城镇防洪排涝标准达标率/%	城镇防洪堤达标率和城镇排涝达标率平均值
	12) 城镇供水保证率/%	相关规划明确排涝任务与目标的城镇区域中排涝达标面积与区域总面积的比值
	13) 洪涝灾害损失率/%	受灾区域各类财产或农作物的损失值和灾前值或正常值之比
	14) 集中式饮用水水源地安全保障达标率/%	区域内集中式饮用水水源地安全保障达标个数占总个数比例
水文化 Water culture	15) 水生态文明建设公众认知度/%	水生态文明宣传教育活动直接参与人次与水文化传承载体参观人次之和与区域常住人口的比值
	16) 水生态环境质量公众满意度/%	对水生态环境质量状况感到满意的受访者比例
	17) 水文化传承载体数量/个	具有文化传承功能的物质载体数量
水环境 Water environment	18) 水质优良度/%	达到或优于 GB3838 的Ⅲ类水质标准的河流长度占评价总河长的比例
	19) 城镇污水处理率/%	评价年城镇集中处理的污水量占城镇污水总量的百分比
	20) 工业用水重复利用率/%	评价年工业用水重复利用量占工业总用水的百分比
	21) 水功能区限制纳污控制率/%	入河排污量在其纳污能力范围之内水功能区个数占区域水功能区总数的比例
水生态 Water ecology	22) 河流生态基流满足度/%	区域主要河流典型断面生态基流满足率的平均值
	23) 河流纵向连通性指数/(个/100 km)	每 100 河长中阻隔河流连通的人工建筑物数量
	24) 新建河流生态护岸比例/%	全部新建的人工建设护岸中生态护岸长度所占比例
	25) 水域空间率/%	水体护堤之内或者最高水位线以下的面积占区域总面积比例

表 2 中的修复技术是针对湾区河道自然和污染特点设计和选择,均在湾区水生态系统修复中应用和实践,湾区主要城镇大部分处于珠江河口网河区域,大多数河道受径潮共同作用,在水动力方面,水流在径潮力共同作用下,呈现来回往复流的水动力特征;同时,在水体水质方面,网河区水体含盐度普遍偏高。表中所列生态修复技术,均考虑了珠三角网河区河道特有的水动力及盐度特征,在珠三角区域水生态修复工作中得到了广泛应用。网河区域联围筑闸现象普遍,水动力控导技术可充分利用感潮河道的动力特征,显著提高水体置换率,改善水动力状况,解决内外水体交换不畅,往复流中段水动力弱的问题。好氧反硝化脱氮技术中采用

的菌种,具备比国内外同类型技术中耐盐度和脱氮率更高的菌种,能更好地适用于盐度较高的水体;菌种撒播技术可利用感潮河道往复流的流态特征,双向播撒菌种,并可加速菌种从生物膜上脱落,增大菌种沿水流扩散的范围,附着于底泥表面形成表层生物膜,抑制底泥释放。

表 2 粤港澳大湾区水生态修复常用技术^[38]

技术 Technology	技术原理 Technical principle	关键技术 Key technology	湾区应用案例 Bay area application cases
水力控导技术 Hydraulic control and guidance technology	人为干预河流的自然水动力过程,结合现有水系特点,通过工程措施和调度运行方式,控制水流,修复被扭曲、破坏的河流水动力过程,营造特定的水流环境,促进河流水质改善与生态修复	水系连通、 闸坝联调、 水力造流	广东小流域综合整治和水系连通工程 佛山芳村区调水工程 广州番禺湖工程 中山岷江河生态水力调控工程 东莞东江与水库联网水源工程
好氧反硝化脱氮技术 Aerobic denitrification nitrogen removal technology	在有氧条件下,利用好氧反硝化酶进行反硝化作用,生物脱氮高效稳定	异氧硝化、 反硝化作用	佛山窦明涌生态修复工程 茅洲河综合治理工程 东莞松山湖北部污水处理工程
沉厢式生物处理技术 Chamber type biological treatment technology	专门针对珠江三角洲感潮河网区缓流水体污染严重和难以治理,而开发研究的一种新型水体污染直接净化或原位生物处理系统	原位布局、 高效载体固定化微生物 技术、 曝气增氧	珠三角河涌综合整治工程
浮岛式生物处理技术 Floating island biological treatment technology	在生物浮岛的基础上,加载高效生物载体和附加曝气系统,以及高效载体固定化高效微生物技术	水生植物的选择与配置、 生物载体的选择与配置、 微曝气对高效降解菌种的驯化	东莞东湖生态修复工程 东莞华阳湖湿地公园 东莞同沙水库污水处理工程
多廊道生态过滤技术 Multi corridor ecological filtration technology	通过分区挂膜、微曝气技术和填料布局调整,从微环境上有利于培养目标功能菌,采用好氧反硝化菌作为反硝化区生物膜的优势菌群,保证在微好氧条件下进行脱氮;通过多廊道和滤墙嵌接,拼接硝化段和反硝化段廊道长度,灵活调节工艺条件,满足不同进水水质和停留时间要求	分区挂膜、 微曝气技术、 多廊道、 滤墙嵌接	东莞东湖生态修复工程 广州海珠湖人工湿地工程
菌种繁殖撒播技术 Propagation and spreading technology of bacteria	摆动载体单元,使菌落脱落扩散,附着于底泥表面形成生化处理层,强化微生物生态系统的净化功能,缓解黑臭现象	曝气单元、 微生物单元、 驱动装置	珠三角河涌综合整治工程

2 粤港澳大湾区水生态修复的典型案例

2.1 粤港澳大湾区岭南魅力碧道网

湾区“三江汇流,八门入海”河涌交错,水网相连,有大小河道 324 条,城市河涌 12259 条,河道总长度约为 3.14 万 km,河网密度居世界四大湾区之首,珠三角水网自古以来都是重要的水陆运输通道。大量城镇沿水分布,水系 2 km 范围内集中了珠三角地区 83% 的建设用地,人水关系密切,水生态系统功能退化,需要系统修复提升其功能,碧道是“山水林田湖草”系统理念在湾区的具体实施的典型案例。(1) 以水为纽带,统筹全域,系统治理理念的体现;碧道是以水为纽带,以河湖库及河口海岸带为载体,统筹生态,安全,文化、景观和休闲功能建立的复合型廊道^[37]。把水安全作为重要的基础,保障防洪防潮排涝、碧道设施和人民安全。以水生态自然恢复为主,人工修复为辅,防止破坏性建设行为,以流域为单元,统筹干支流、上下游、左右岸,统筹城镇与乡村、陆域与水域,系统治理。(2) 构建生态-生活-生产复合廊道,实现人地关系和谐发展;以安全为前提,依托河湖水域及堤防,形成江河安澜的行洪通道,并提供充足的水资源;以生态保护与修复为核心,以河道管理范

围为主体,依托岸边带及周边陆域绿地、农田、山林等形成的生态廊道,构成水道与开发活动区域之间的防护与缓冲;以滨水游径为载体,串联城乡邻水街区和居民点的生活空间、景区和乡野的休闲空间,配套服务空间形成休闲漫道;带动河湖水域周边产业发展形成生活活力滨水经济带,最终形成“三道一带”总体目标^[37](图2)。

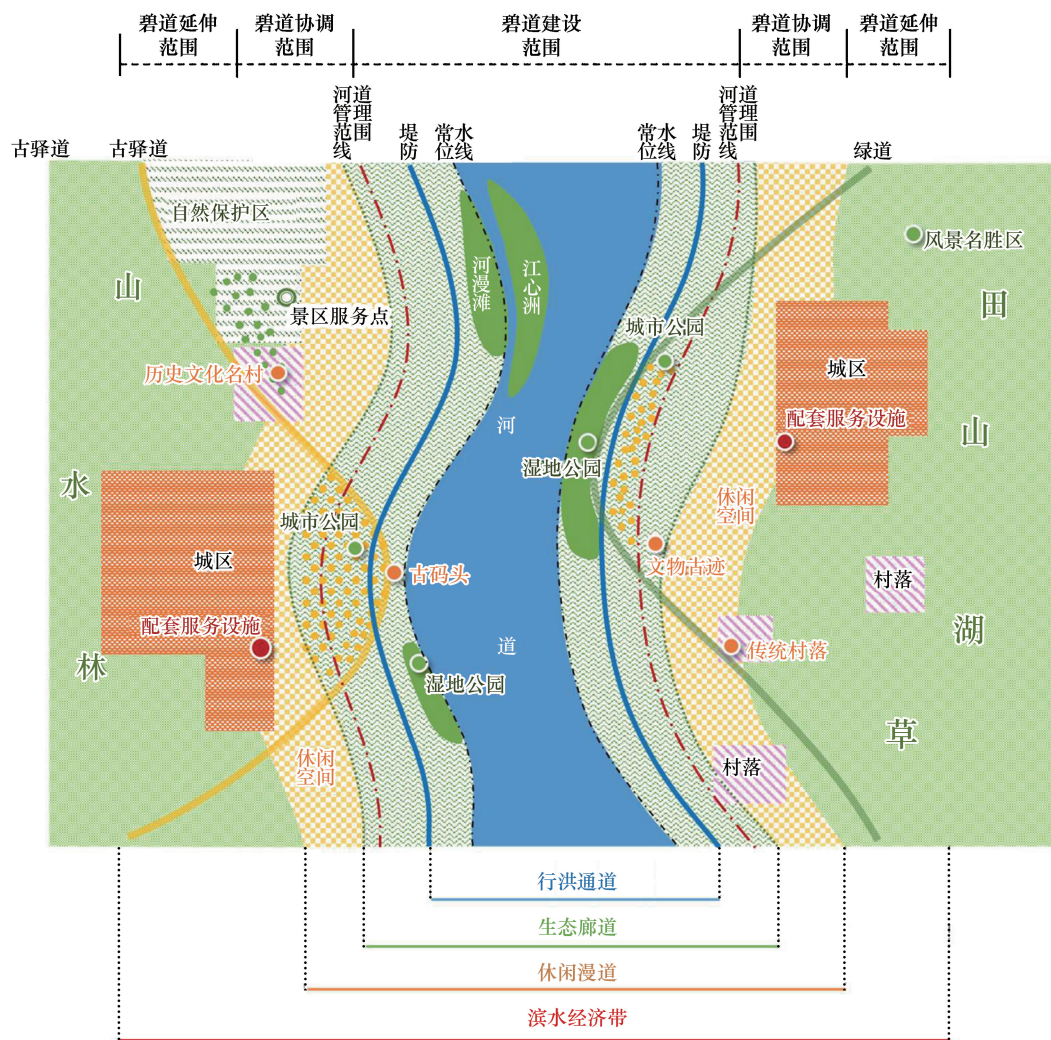


图2 碧道“三道一带”总体建设空间范围示意图^[39]

Fig.2 Schematic diagram of overall construction space scope of “three roads and one belt” of Bidao

(3) 提出分类型,按功能的管控指标体系;碧道按河道所处的位置,分为都市型、城镇型、乡野型和自然生态型四种类型(图3)。结合河流水系、周边城乡建设及功能特点,各类型碧道建设任务总量和重点有所区别,各有轻重。提出不同河段的10个指标,生态流量保障率、都市型、城镇型碧道防洪达标率、河湖管理范围划定完成率、水功能区水质达标率、县级以上集中式饮用水源水质达到或优于Ⅲ类比例、生态岸线比例、单条特色重点段的最小长度、碧道两侧2 km范围内特色资源的连通度、都市型、城镇型碧道独立游径的连续贯通率和碧道沿线地带体质升级规划方案完成率。(4) 依湾区特点和功能分区,提出系统修复措施;在北部水源区,加强水土保持,提升水源涵养能力,加强饮用水水源地保护,推进中小河流治理;在河网区加强水资源调配、水污染治理、城市内涝治理和河堤险工段治理,硬质堤岸生态化改造;在河口区突出生态维育和水岸经济带功能,加强生态保育。将碧道建设和生态保护与修复相结合,沿珠江三角洲主干河流建设连通山海的生态廊道,串联城乡,是城市内部的水系、绿地同城市外围河湖、森林、耕地形成完整的生态网络(图4,表3)。(5) 碧道管



图 3 碧道分类示意图^[39]

Fig.3 Schematic diagram of Bidao classification

理是水生态文明管理体系在湾区的综合体现;实施运行管理制度方面,按照“省统筹指导,市县建设为主”的原则,建立由省全面推进河长制工作领导小组统一组织、省直有关部门和各地市共同参与的碧道规划建设实施机构;省河长制办公室负责统筹协调和督促指导各地开展万里碧道的规划、建设与管理,将碧道建设与河长制工作考核结合,建立碧道巡查机制,碧道的管理维护责任主体为各县级以上人民政府。

表 3 特色廊道名称及水系构成一览表

Table 3 List of names of characteristic corridors and water system composition		
序号 Number	特色廊道 Characteristic corridor	水系构成 Water system composition
1	珠江活力都会碧道	山海段:平洲水道-珠江前后航道-狮子洋;广佛段:东平水道-潭州水道-沙湾水道;流溪段:流溪河
2	深圳现代都市示范碧道	茅洲河-大沙河-深圳河-龙岗河/坪山河
3	环湾国际水岸碧道	珠江三角洲河口湾区
4	湾区田园水乡碧道	东岸段:增江-东江北干流/东江南支流;西江段:西江干流(思贤滘以南)-磨刀门水道
5	潭江侨乡碧道	潭江-江门水道-天沙河

湾区碧道工程属于区域尺度上的水生态系统修复,是在当前河流综合整治工作的基础上对河流生态系统综合评价的基础上开展的,针对存在的问题在不同的尺度上采用适宜的修复技术,目标在于实现河道的复合廊道功能,建立区域人水和谐的指标体系进行考核,在管理方面以河长制为基础,当地管理部门为主体进行。

2.2 茅洲河流域综合治理工程

茅洲河流域综合治理是湾区碧道系统的典型局部,茅洲河位于深圳市西北部,流经深圳市光明区、宝安区和东莞市长安镇,全河长 41.61 km,下游 11.7 km 为与东莞市的界河。全流域面积 388.2 km²,属珠江口水系,整个水系集雨面积 1 km²及以上的河流共计 59 条。河流严重污染,茅洲河流域的干流水质劣于地表水 V 类,水体黑臭,水生态系统功能丧失;同时存在洪、潮、涝的水安全问题;横跨 2 市 3 地,属地管辖部门多。

茅洲河流域问题具有湾区城市小流域综合治理的典型性。流域内承载人口数量多,建成区建筑密度大,中小型企业数量多,分布散,具有湾区社会经济高度发展的特点;同时茅洲河上游涵养水源,中游河网纵横,下游属于河口感潮河段,具有珠三角河网的典型结构,茅洲河河流相对短小,生态基流匮乏;茅洲河是跨界河流,管理涉及关系复杂,具有水生态修复管理方面的典型性。

茅洲河流域水生态系统功能水平低于非生物控制跃迁阈值之下,其生态系统修复需要物理环境的改善,



图 4 珠三角碧道特色空间格局^[39]

Fig.4 The special spatial pattern of Bidao in the Pearl River Delta

前期茅洲河流域已实施的治理工程(截污减排,扩容增效,连通管道等)多为改善物理环境解除外部干扰,其创新的跨行政区管理模式很好的为系统治理提供支持;目前茅洲河水环境已得到改善,从流域水生态系统功能水平看将进入下个阶段的生物修复,逐步实现碧道的多功能复合廊道作用。

(1)建立跨行政区的创新管理模式。茅洲河水环境治理方案从全流域的高度进行统筹。提出了一个平台、一个目标、一个系统、一个项目的“四个一”的创新治理模式,实现治理的全流域跨行政区统筹。“一个平台”即全流域领导的高规格联动工作平台,协调解决茅洲河流域两市三地需衔接和决策的事项;“一个目标”即深莞两市围绕一个治理目标,以保护水资源、保障水安全、提升水环境、修复水生态、彰显水文化为原则,解决水问题;“一个系统”即深莞两市联合编制流域治理方案;“一个项目”即以茅洲河流域综合整治作为一个整体项目^[40-41]。通过“河长制”将责任落实到茅洲河全流域层面,建立省、市、区三级的“总河长”、“河长”和“涌长”体系,全面负责统筹推进河流整治,对辖区内的水环境质量达标负第一责任人责任。各级“河长”确定一个联系部门,协助其履行职责,将责任细化到具体部门和个人。“四个一”包括:一河一档“基础工程则摸清河流底数;“一河一策”先导工程则针对每条河的本底条件,逐一制定治理策略;“一河一建”网络工程是以河流为单元,建设点、线、面、体、质的网络工程,把征地拆迁、河道综合整治、雨污分流管网建设、排污口整治、河道清淤、水质提升、分散式污水处理、生态补水等 8 类建设任务变成具体项目;“一河一管”保障工程就是强化水环境监督管理;“一河一景”生态工程,则是坚持治水与治城相结合、治污与造景相协调,依托丰富的地形地貌和“山湖河海”资源,在城市风貌塑造中凸显“依山、环湖、畔河、滨海”内涵,推动产水相联、城水相融、人水相亲,着力打造“水清、流畅、岸固、景美”生态景观水网^[42]。

(2)流域统筹,系统治理,解除外部干扰;针对现状污染物大量入河、污水处理设施已满负荷运行的现状。



图5 茅洲河水系

Fig.5 Maozhou river system

满足削减污染总量需求,首先需要充分挖掘、提升污水处理能力。在污水处理能力提成基础上,提出六大技术系统,开展六类治理工程(图6):防洪防涝与水质提升监测系统、污水截排管控系统、污泥处理再生利用系统、工程活水增净驱动系统、生态美化循环促进系统和水环境治理管理信息云平台系统^[40]。通过分散与集中处理相结合实现水环境优良;通过洪、潮、涝共治实现水安全保障;通过多水源活水保质实现水资源优化配置;通过底泥清淤、引配水等多元手段实现水生态修复;通过挖掘南粤文化和茅洲河滨河工业元素提升水文化;通过产业创新升级、滨水景观营造和城市有机更新发展水经济。将茅洲河流域建设成水环境治理、水生态修复的标杆区、人水和谐共生的生态型现代滨水城区。

茅洲河综合治理工程是生态修复在河流典型生态系统尺度上的一个具体应用,其水生态系统功能已严重退化,处于非生物控制功能水平阶段,根据该现状,制定移除物理干扰,恢复水环境为第一阶段目标,通过12项具体措施对水环境进行提升。项目考核指标体系也与该阶段的物理干扰移除工程相关,管理方面创新的提出四个一的管理模式,解决了跨界河流综合治理的难题。

3 粤港澳大湾区水生态修复框架

大湾区地处三角洲平原河网河口区,人口密集,社会经济活动剧烈;湾区河湖库水系在不同尺度上发挥着不同的作用,受到不同的影响。在生态系统尺度上,江河湖库作为一个典型生态系统其结构、功能受损和修复受生态水文过程机理调控;水是流域生态系统物质循环和能量流动的动力和载体,山水林田湖草是一个有机体,水生态系统修复需在流域尺度下进行,确定修复目标、生态控制敏感点和关键段、整体和局部关系;在区域生态系统尺度,关注人与自然生态系统的关系,减小干扰,促进人与自然和谐发展。

(1) 系统评价湾区不同尺度水生态系统健康状况,识别区域水生态系统面临主要干扰,确定现状受干扰

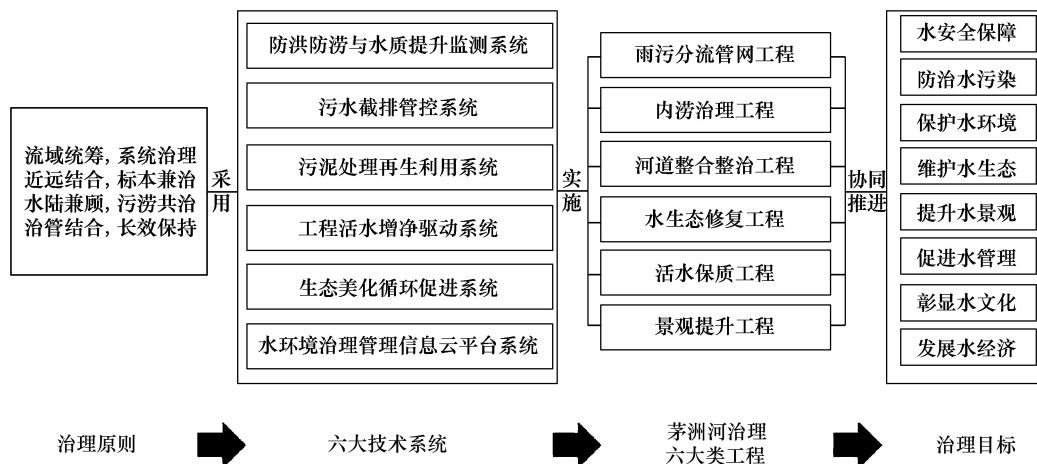


图 6 茅洲河流域整体治理思路

Fig.6 Thoughts on the overall management of Maozhou River Basin

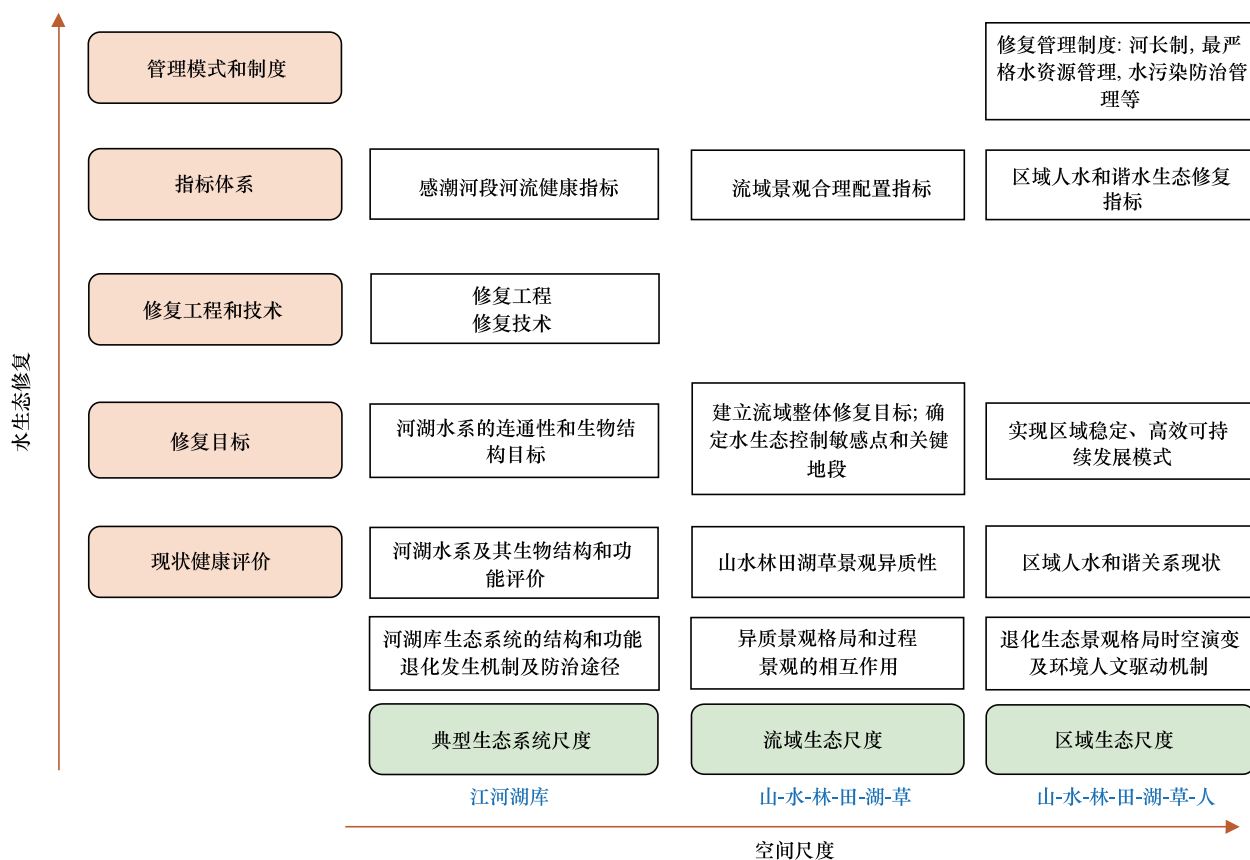


图 7 粤港澳大湾区水生态修复框架

Fig.7 The framework of water ecological restoration in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

水生态系统所处的退化阶段;根据水流级别、生态功能、及其在生态水文过程中的作用,确定水生态系统重要(敏感)部位和关键节点,建立水生态系统整体和局部的关系;

(2)确定生态修复的整体目标,基于当前受损水生态系统所处的阶段,根据未来社会经济发展需求,确定具有岭南水乡特色的参照水生态系统;建立不同阶段具体修复目标;

(3) 选择修复措施技术;根据湾区平原河网区水动力和强调控的特点,按照水生态系统结构和功能退化机制,确定所处的阶段和需要修复的位置,根据自然修复为主,人工干预为辅的原则,选取修复的工程技术措施和非工程措施。

(4) 修复效果的指标选取;根据湾区水热资源丰富,人类活动剧烈的特点,以修复参照水生态系统为目标,确定不同尺度下适宜湾区特点的河流健康指标、流域景观合理配置指标和区域人水和谐指标。

(5) 建立区域水生态系统修复管理模式和制度,如河长制、最严格水资源管理制度和水污染防治管理办法等,为区域水生态系统可持续发展提供保障。

4 结论与建议

4.1 结论

(1) 湾区水生态系统受到严重干扰,面临退化。湾区属于平原河网区,水动力条件天然不足,同时近年快速社会经济发展和城镇化进程,以及传统农业和畜牧养殖高效集约化生产模式的转变,大量废污水排向或汇入自然水体,导致湖库的内源污染和内河涌污染;水功能区达标率低,丧失水功能的劣五类河长近 40%,水生态系统典型生物减少甚至消失,生物多样性面临挑战。

(2) 湾区从工程、水环境治理、空间管控和管理制度方面进行了大量的工作,包括在水生态文明建设框架下开展的各类河道综合工程,河湖水系连通工程等;在水污染防治行动计划下开展的南粤水更清行动和黑臭水体治理等水环境提升措施;在空间规划中进行水生态空间管控的相关研究;近年将水生态系统修复推到新高度,河长制解决了各项措施制度在流域和行政区落实时边界不清的难题;

(3) 依据生态修复理论,湾区水生态系统受到强烈干扰而退化,处于非生物控制跃迁阈值之下,所以当前进行的直接和间接的修复多数为解除或减轻外界干扰,营造生态系统需要的物理环境的改造,处于非生物修复阶段。

4.2 建议

4.2.1 问题

(1) 当前修复措施零敲散打,从不同专业角度出发,导致专业碎片化。在建已建的大截排系统、分散处理设施、雨污分流管网、河道原位治理等一系列相关工程分别从各自专业角度提出建设任务及目标,难以与整体目标有效对接。头疼医头脚疼医脚的碎片化治理问题亟需调整。而山水林田湖草是一个有机整体,需要一个整体目标,根据不同生态系统及其面临的主要问题,进行敏感要素及关键过程的识别,在系统的布局下进行各个环节的逐步修复,最终实现退化生态系统功能的恢复。

(2) 流域水系划片治理,导致治理措施空间破碎化,衔接困难。各项目之间存在治理边界责任划分不清,建设时间序列无法匹配,造成片区之间的衔接问题。造成诸如片区管网边界高程不统一而无法衔接、建成污水干管由于泵站未完成而无法通水、支流下游清淤截污完成而上游整治未动工等现象时有发生;同一片区又有不同部门在水生态系统修复中交错,同一片区形成不同的治理措施,难以在功能上衔接形成修复合力。

(3) 缺乏修复后评估机制,目前开展修复工程多处于消除干扰阶段,该阶段进展的效果如何?何时进入下一个生物修复阶段?这些问题缺乏系统的评估。

4.2.2 展望

(1) 当前水生态系统修复第一个阶段除去非生物干扰作用已接近尾声;在对第一阶段水生态系统修复评价的基础上,进入生物修复阶段,根据恢复生态学理论,受损生态系统恢复主要是恢复生态系统的结构和功能,且一般生态系统结构恢复后,生态系统的功能会逐步和部分恢复,并进入靠生态系统自我调节能力和自组织能力的自修复阶段。所以在该阶段水生态系统结构恢复是重点。需要构筑物质循环和能量输流动顺畅的河湖水系连通空间结构,开展基于生态位的生物种群结构和营养结构的调查分析。

(2) 针对珠江河口网河特点,构建基于水生态系统、流域生态系统和区域生态系统多尺度的修复框架湾

区主要城镇大部分处于珠江河口网河区域,大多数河道受径潮共同作用,水动力方面,水流呈现来回往复流的水动力特征;水质方面,网河区水体含盐度普遍偏高。在江河湖库典型生态系统尺度上,要基于湾区水动力条件和水质情况选择适合的修复技术途径和工程措施;在景观生态系统尺度上,运用异质景观格局和过程理论,根据湾区丘陵山区屏障带河流、平原水网区高调控性河流和河口滨海湿地景观格局,确定整体目标和关键部位;在区域生态系统尺度上针对热带亚热带水网区特点构建人水和谐可持续发展管理策略。

(3)将生态补偿、生态服务功能价值和生态修复措施相结合,形成水生态修复中的退出机制。

参考文献 (References):

- [1] 夏军, 张永勇, 穆兴民, 左其亭, 周宇建, 赵广举. 中国生态水文学发展趋势与重点方向. 地理学报, 2020, 75(3): 445-457.
- [2] Zhang L M, Li S G. Scientific frontier on human activities and ecosystem changes. Journal of Resources and Ecology, 2010, 1(3): 201-201.
- [3] Rodriguez-Iturbe I. Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. Water Resources Research, 2000, 36(1): 3-9.
- [4] 肖荣波. 珠三角区域城市化过程及其生态环境效应. 北京: 科学出版社, 2017.
- [5] 陈文龙, 杨芳, 胡晓张, 崔树彬. 珠三角城镇水生态修复理论与技术实践. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [6] 李胜兰. 粤港澳大湾区的意义、优势、挑战与制度创新. 探求, 2018, (2): 14-16.
- [7] 赵俊, 陈湘舜, 蓝昭军, 李强, 卿小芳, 陈龙秀等. 广东北江鱼类资源现状评估中国鱼类学会 2008 学术研讨会论文摘要汇编中国海洋湖沼学会会议论文集. 南昌: 中国鱼类学会 2008 年学术研讨会, 2008.
- [8] 雷舒砚. 主体功能区协调发展研究[D]. 南充: 西华师范大学, 2018.
- [9] 中国生态学会. 中国生态学科 40 年发展回顾. 北京: 科学出版社, 2020.
- [10] 孙然好, 魏琳沅, 张海萍, 陈利顶. 河流生态系统健康研究现状与展望——基于文献计量研究. 生态学报, 2020, 40(10): 3526-3536.
- [11] 任海, 刘庆, 李凌浩, 刘占锋. 恢复生态学导论(第三版). 北京: 科学出版社, 2019.
- [12] 陈刚, 王琳, 王晋, 王浩程. 基于景观生态格局的水生态韧性空间构建. 人民黄河, 2020, 42(5): 87-90, 96-96.
- [13] 吴钢, 赵萌, 王辰星. 山水林田湖草生态保护修复的理论支撑体系研究. 生态学报, 2019, 39(23): 8685-8691.
- [14] 彭建, 吕丹娜, 张甜, 刘前媛, 林坚. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知. 生态学报, 2019, 39(23): 8755-8762.
- [15] 罗明, 于恩逸, 周妍, 应凌霄, 王军, 吴钢. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略. 生态学报, 2019, 39(23): 8692-8701.
- [16] 王晓玉, 冯喆, 吴克宁, 林倩. 基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护与修复. 生态学报, 2019, 39(23): 8725-8732.
- [17] 付战勇, 马一丁, 罗明, 陆兆华. 生态保护与修复理论和技术国外研究进展. 生态学报, 2019, 39(23): 9008-9021.
- [18] 徐菲, 王永刚, 张楠, 孙长虹. 河流生态修复相关研究进展. 生态环境学报, 2014, 23(3): 515-520.
- [19] 匡跃辉. 水生态系统及其保护修复. 中国国土资源经济, 2015, (8): 17-21.
- [20] 张饮江, 金晶, 董悦, 等. 退化滨水景观带植物群落生态修复技术研究进展. 生态环境学报, 2012, 21(7): 1366-1374.
- [21] 范英英, 刘永, 郭怀成, 毛国柱. 基于景观生态学的湖区沟渠保护研究. 应用生态学报, 2005, 16(3): 481-485.
- [22] 吴晓东, 潘继征, 李文朝, 黄峰, 赵海光. 溇湖东岸生态修复试验区的水质净化效果. 生态与农村环境学报, 2013, 29(3): 284-289.
- [23] 于鲁冀, 吕晓燕, 宋思远, 梁静, 王小青. 河流水生态修复阈值界定指标体系初步构建. 生态环境学报, 2013, 22(1): 170-175.
- [24] Whiseman S G. Repairing damaged wildland: A process oriented, landscape-scale approach. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1999.
- [25] 左其亭. 水生态文明建设几个关键问题探讨. 中国水利, 2013, (4): 1-3, 6-6.
- [26] 周晴, 赵玲玲, 吴康敏, 李苑君. 粤港澳大湾区传统农业洪潮适应开发模式与生态文明经验. 热带地理, 2019, 39(5): 701-710.
- [27] 黄非, 陈红彦, 李弘扬, 慕何青. “一带一路”倡议背景下的粤港澳大湾区协同发展——第一届粤港澳“一带一路”倡议论坛: 强化大湾区优势互补(2017)会议综述. 华南理工大学学报: 社会科学版, 2018, 20(1): 21-29.
- [28] 刘勇, 粤水轩. 广东省珠江三角洲河涌整治与修复规划. 中国水利, 2013, (6): 78.
- [29] 杨晴, 王晓红, 张建永, 赵伟. 水生态空间管控规划的探索. 中国水利, 2017, (3): 6-9.
- [30] 杨晴, 张梦然, 赵伟, 张建永, 王晓红, 翟媛. 水生态空间功能与管控分类. 中国水利, 2017, (12): 3-7, 21-21.
- [31] 杨晴, 赵伟, 张建永, 王晓红. 水生态空间管控指标体系构建. 中国水利, 2017, (9): 1-5.
- [32] 李爱花, 郦建强. 空间规划体系变革与水利规划的空间性设计. 水利规划与设计, 2017, (12): 1-4.
- [33] 刘伟, 杨晴, 张梦然, 赵伟, 翟媛. 构建以流域为基础的水生态空间管控体系研究. 中国水利, 2018, (5): 27-31.
- [34] 刘鹏娟, 聂丹伟. 大数据视野下粤港澳大湾区城际出行模式解析//创新驱动与智慧发展——2018 年中国城市交通规划年会论文集. 青岛: 中国城市规划学会城市交通规划学术委员会, 中国城市规划设计研究院城市交通专业研究院, 2018.
- [35] 陈育如. 水体生态系统的生物修复研究. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 166-168.
- [36] 钟烨, 郭彤彤, 刘沛. 基于大数据的湾区旅游功能外溢趋向研究——以粤港澳大湾区为例//共享与品质——2018 中国城市交通规划年会论文集(05 城市规划新技术应用). 杭州: 中国城市规划学会, 杭州市人民政府, 2018.
- [37] 吴兆春. 粤港澳大湾区中广州的城市功能定位研究. 社科纵横, 2018, 33(5): 53-58.
- [38] 董延军. 城市水生态文明建设模式探索与实践. 北京: 中国环境出版集团, 2018.
- [39] 广东省人民政府. 广东万里碧道总体规划(2020-2035 年). 广州: 广东省人民政府, 2020.
- [40] 吴青见. 以推进河长制为契机推进云南水环境治理与水生态修复. 水利发展研究, 2018, 18(2): 51-54.
- [41] 方木欢. 粤港澳大湾区港澳青年创业的政策机制与优化路径. 青年探索, 2019, (5): 84-91.
- [42] 胡祖华. 恩施市实行“河长制”推进水生态文明建设的探索与实践. 中国经贸导刊, 2016, (35): 80-82.