

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.06.08

引用格式: 肖春蕾,郭艺璇,薛皓.密西西比河流域监测、修复管理经验对我国流域生态保护修复的启示[J].中国地质调查,2021,8(6): 87-95. (Xiao C L,Guo Y X,Xue H. Implications of the Mississippi River watershed monitoring and restoration for the watershed ecological protection and restoration in China[J]. Geological Survey of China,2021,8(6): 87-95.)

密西西比河流域监测、修复管理经验 对我国流域生态保护修复的启示

肖春蕾,郭艺璇,薛皓
(中国自然资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘要:美国流域保护修复的研究与实践开始较早,并在密西西比河的修复与治理上取得了良好成效,对我国流域生态保护修复工作具有一定借鉴意义。介绍了密西西比河的管理模式,并对美国在密西西比河开展的具有代表性的长期生态监测及修复管理工作进行了总结,总结了对我国流域生态保护修复工作的7点启示:①建立和完善流域生态系统监测与评价指标体系;②建立流域综合监测网络,进行全流域持续监测;③建设流域生态信息平台,加强数据共享;④以流域为单元开展生态状况调查和评估;⑤建立和完善监测、评估、规划、实施循环体系;⑥提升对流域生态系统的科学认知;⑦加强流域协调治理,创新我国流域生态保护修复管理体系。旨在为我国广泛开展流域保护修复工作提供一个覆盖河源头至河口的流域监测与修复管理案例。

关键词:密西西比河;流域协同治理;资源监测;生态保护修复;河流生态系统;生态地质调查

中图分类号: X171; X83 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2021)06-0087-09

0 引言

党的十八大以来,我国高度重视生态修复工作,十八大报告提出要加大生态系统保护力度,实施重大生态修复工程,十九大报告中更是将生态文明建设提升为千年大计。习近平总书记对流域生态环境保护修复工作高度重视,亲自谋划部署了黄河流域生态保护和高质量发展的国家战略,并在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上对黄河流域生态保护和高质量发展提出“表象在黄河,根子在流域”的科学论断,为我国流域综合治理指明了发展方向^[1-2]。

我国流域生态保护修复起步较晚,目前还处于尝试探索阶段,但我国大部分河流都存在不同程度的生态退化问题,甚至出现干枯断流情况,亟需保护修复。美国对流域生态保护修复的研究与实践开始相对较早。密西西比河作为美国的母亲河,曾

因工业发展、城市化建设以及航运开发等原因,遭受过度开发,导致生态环境遭到严重破坏,但为保护修复密西西比河生态系统,联邦和流域各州积极参与,在密西西比河及其支流上开展了一系列的生态监测以及修复管理工作,取得了良好的修复成效。本文以密西西比河为研究对象,总结了其具有代表性的、长期性的合作监测和修复管理工作,旨在对我国流域生态保护修复带来启示,为流域生态保护修复工作提供参考。

1 密西西比河流域概况

密西西比河是北美最长的河流,发源于美国明尼苏达州西北部的艾塔斯卡湖,向南流经中央大平原,最终注入墨西哥湾。其支流众多,干流和支流交织在一起覆盖了美国约40%的国土面积。美国对密西西比河的开发始于18世纪,因其当时开发重点是商业航运以及防洪功能,美国政府在流域内

收稿日期: 2021-08-29; 修订日期: 2021-11-12。
基金项目: 中国地质调查局“生态地质调查工程(编号: 0703)”“全国地球关键带遥感地质调查(编号: DD20190536)”项目联合资助。
第一作者简介: 肖春蕾(1987—),女,高级工程师,主要从事生态地质与国土空间生态保护修复领域的调查研究工作。
Email: xiaocl@radi.ac.cn。

实施了一系列的航运和防洪工程,使密西西比河流域生态环境受到了严重影响与破坏。此外,由于在过去 200 a 内农业为密西西比河流域的主要土地利用方式,密西西比河的营养物质和化学物质含量也较高。到 20 世纪后期,密西西比河的生态问题已经十分严峻,因此美国针对破坏严重的密西西比河制定和开展了一系列具体、细致的生态保护修复工作^[3]。

2 密西西比河流域的监测与修复管理

密西西比河流域的治理主要由流域管理机构负责,即流域委员会模式^[4]。1879 年,国会立法授权密西西比河委员会成立,成立之初是为了管理洪水风险并将其建成一个可靠的“商业大动脉”,现在已经发展成为一个综合治理机构,负责防洪、航海和环境以及提供政策建议等方面的综合治理工作^[5]。密西西比河的治理工作由密西西比河委员会负责,美国陆军工程兵团负责具体实施。在河流生态修复方面,美国陆军工程兵团与政府、非政府机构之间开展了广泛合作,在密西西比河上游系统开展了一系列具有开创性意义的监测与修复工作,同时与密西西比河主要支流所在州合作开展了生境监测、生态修复等工作。但在河流源头以及下游开展的专门针对生态修复的工作相对较少,多为航运和洪水管理相关的项目。此外,参与密西西比河治理的还有许多相关协调机构,例如密西西比河源头理事会、密西西比河下游保护委员会等。除流域管理机构和协调机构外,为高效解决墨西哥湾的富营养化问题,还成立了专门的工作组——缺氧工作组。流域管理机构、协调机构、工作组与联邦政府、州政府以及非政府机构之间的紧密合作、协调治理保证了生态保护修复工作的有效实施,是密西西比河保护修复工作取得良好成效的重要原因。由于密西西比河支流众多且规模较大,本文未对其支流的监测与修复管理工作进行一一梳理,而是主要选取并总结了密西西比河源头、上下游以及最终到墨西哥湾开展的具有开创性意义和代表性的项目或计划,旨在提供一个覆盖河源头到河口的流域监测与修复管理案例,为我国流域生态保护修复工作提供参考。

2.1 源头的监测与修复管理

密西西比河始于明尼苏达州北部的艾塔斯卡

湖,由于河源头区域的主要土地使用类型为森林和湿地,只有少量的开发用地和农业用地,所以河源头的整体状况较好。因此,河源头的工作重点是保护水源头以及监控土地开发和土地用途变化对河源头水质的影响^[6]。

为管理河源头区域的土地使用状况,对密西西比河源头进行严密保护,河源头区域的地方政府联合实施了限制密西西比走廊区域土地使用的综合计划。综合计划由 8 个县组成的联合权力理事会——密西西比河源头理事会负责实施。综合计划规定了区划监管机构以及允许使用和开发的范围,通过一致的标准和管理目标将 8 个县联合起来对密西西比走廊进行共同管理。

综合计划将密西西比河走廊河流分为 3 类,分别是风景河流、野生河流以及河源湖,如表 1 所示,并标明了与走廊各河段对应的种类。此外,密西西比河源头理事会规定在河流或湖两侧建立约 150 m (针对风景河流)或约 300 m (针对野生河流或源头湖)的走廊来对不同种类河流进行严格管理。最终,通过对河流生态系统进行严格保护使密西西比河约前 750 km 都受到了保护^[8]。

表 1 密西西比河源头走廊河流分类^[7]

Tab. 1 Classification of the Mississippi River headwater corridor^[7]

种类	定义
风景河流	指走廊中河岸线相对没有被开发的河流,具有重要的自然、历史、文化、科学和娱乐资源。进入河流及河岸线受到一定限制
野生河流	指走廊中通常无法进入的区域,通常被认为是偏远的,有独特而重要的自然、文化、历史、科学和娱乐价值
河源湖	指定的 9 个密西西比河河源湖

密西西比河源头理事会还开展了全面的河流监测计划。通过对 9 项理化指标(溶解氧、粪大肠菌群、pH 值、碳生化需氧量、温度、导电性、总磷、硝酸盐、浊度)以及 1 项生物指标(大型底栖无脊椎动物)^[9]进行长期监测,记录了水质随季节和水体使用变化的波动和趋势,从而评估河流系统的健康状况。

除上述措施外,密西西比河源头理事会还开展了密西西比河源头生境走廊项目来建立和扩展连续的生境综合体,并对每个流域进行风险级别分类和风险源识别等,以支撑对河源头的保护与修复管理工作。

2.2 上游的监测与修复管理

密西西比河上游系统作为一个充满活力的大型河流生态系统,覆盖了从明尼苏达州明尼阿波利斯至伊利诺伊州开罗的俄亥俄河汇合处之间的天然洪泛区。密西西比河上游系统不仅有重要的商业航运意义,每年还会吸引大量的游客到位于这里的国家野生动物和鱼类保护区参加各种水上活动,并且有超过 3 000 万当地居民依靠河水作为公共和工业供应^[10]。商业航运、娱乐活动、鱼类和野生动植物的蓬勃发展,对密西西比河上游生态系统产生了巨大的影响与压力。对此,美国在密西西比河上游系统开展了一系列监测与修复管理活动。

2.2.1 密西西比河上游恢复计划

密西西比河上游恢复计划(原名环境管理计划)是美国首个大型河流系统综合性环境监测和恢复计划,1986 年由水资源开发法授权,对密西西比河上游系统进行恢复^[11]。计划包含的 2 个主要元素为系统研究与监测和生境恢复,这 2 个元素分别通过长期资源监测计划和生境重建与改进项目进行。

密西西比河上游恢复计划由美国陆军工程兵团负责,并与美国地质调查局、美国鱼类及野生动物管理局、美国国家环境保护局、美国农业部自然资源保护局以及密西西比河上游的 5 个州合作实施。广泛与联邦和州政府、非政府机构以及公众之间建立合作关系,是密西西比河上游恢复计划的独特之处,也是取得修复成果的重要因素。总的来说,密西西比河上游恢复计划为具有重要商业航运意义的生态系统——密西西比河上游系统的生态保护修复做出了重大贡献。

2.2.1.1 长期资源监测计划

长期资源监测计划被定义为集监测、应用研究和管理评估于一体的多用途计划,旨在实现以下目标:①更好地了解密西西比河上游系统的生态状况及资源问题;②监测资源变化;③开发替代方案以更好地管理密西西比河上游系统;④对监测信息提供适当的管理^[12]。

长期资源监测计划的主要工作是从 6 个能体现上游系统环境梯度的约 50 ~ 100 km 的河段内,通过随机抽样和标准化检测,收集 4 种主要生态成分数据,包括鱼类、水质、水生植被和水生大型无脊椎动物^[12]。此外,长期资源监测计划还收集了相关的土地覆盖、水文和测深数据。迄今为止,密西

比河上游恢复计划已经利用长期资源监测数据发布了 2 份有关河流生态健康状况的状态和趋势报告。根据 2008 年密西西比河上游系统状态和趋势报告,监测计划所采用的指标类别和具体监测指标如表 2 所示。

表 2 长期资源监测计划所采用的
指标分类和具体监测指标^[12]

Tab.2 Indicator categories and specific indicators
used in the Long Term Resources
Monitoring Program^[12]

指标分类	指标
水文指标	年流量
	季节性水位升高
水质指标	总氮
	总磷
	叶绿素 a
	总悬浮固体
	溶解氧
	合适的冬季生境(即回水区适合翻车鱼的冬季生境)
沉降指标	水深多样性(蓄水区)
	回水区中的净沉降率
土地覆盖指标	洪泛区森林覆盖
	新生植被覆盖
	堤后方的河漫滩区域
水生植物指标	水下水生植物
大型无脊椎动物 指标	蜉蝣
	指甲蛤
鱼类指标	蓝鳃太阳鱼
	斑真鲷
	加拿大梭鲈
	小口牛胭脂鱼
	饲料鱼指数
	物种丰富度
	非原生鱼类
	休闲娱乐性的原生鱼类
	商业可捕捞鱼类

状态和趋势报告指出监测数据表明大多数指标都保持相对稳定,密西西比河上游系统存在健康梯度,北部相对健康,南部河段较不健康^[12]。报告还建议进一步研究和分析指标的有效性,特别是鱼类指标的有效性,以及选择使用一些可以识别变化过程的替代指标(例如生长率这类可以预示丰度变化的指标)来替代变化速度缓慢、高度可变或有滞后效果需要许多年才能显示其基本趋势的现有指标^[12]。

长期资源监测计划数据库是世界上大型河流系统最全面的数据库之一,其丰富的数据能有效支持指标的量化评价,揭示河流生态系统的实际健康

状况和变化趋势。此外,长期的监测数据还有助于提高对河流生态系统内在机制以及生境恢复项目所产生影响的认识。

2.2.1.2 生境重建与改进项目

生境重建与改进项目也是密西西比河上游恢复计划的组成部分,旨在通过改变洪泛区结构、水文特征等来修复改善生境。生境重建与改进项目使用了各种各样的技术以便因地制宜地解决问题,包括实施疏浚工程、修建堤防、改变侧渠、修复多样化的洪泛区森林等^[13]。尽管密西西比河上游系统十分复杂,但是恢复计划使生境重建与改进项目获得了良好的成效与进展。自 1986 年以来,生境重建与改进项目已经改善了超过 429 km² (约 106000 英亩)的鱼类和野生动植物生境^[14],且平均成本仅为每英亩2 900 美元^[15]。

密西西比河上游恢复计划解决了密西西比河生态系统面临的长期压力,避免了生态系统的加速退化。之后,密西西比河上游恢复计划将按照 2015—2025 战略计划,继续进行科学的长期资源监测和调查以及生境恢复,从而持续对密西西比河进行修复管理。

2.2.1.3 生境需求评估

为评估密西西比河上游生态系统现状、预测未来状况以及确定监测重点,补充实施了生境需求评估。生境需求评估的实施主要依赖于收集的长期监测数据。首次生境需求评估已于 2000 年由美国陆军工程兵团、美国鱼类及野生动物管理局、美国地质调查局等多个部门联合完成,评估结果显示河流调节、沉积物、洪泛区开发是影响密西西比河上游系统生境的主要压力源^[16]。

由于密西西比河上游恢复计划逐渐加强了对于提高密西西比河健康和复原力的关注^[17],第二次生境需求评估基于支持生态系统复原力的 5 个基本特征(水力学和水文、生物地球化学、地形学、生境、生物区系)和 4 个方面(连通性、多样性和冗余、控制变量、缓慢过程)对上游系统的生境需求进行了评估,评估结果显示虽然河流需要不同程度的恢复,但是其生态潜力仍然很高。

2.2.2 河岸线管理计划

为平衡河岸线使用,美国陆军工程兵团于 1989 年实施了河岸线管理计划,将其管理的河岸分为 4 种用途类别,如表 3 所示。通过对所管辖河岸线进行统一的保护规划和开发利用,可确保在提高河岸

线利用效率的同时,塑造自然健康的河岸线。

表 3 河岸线分类^[18]
Tab.3 Classification of shorelines^[18]

河岸线分类	定义
有限的开发区	唯一可以发布新许可证以授权专有私人使用的分类
公共娱乐区	由政府机构、商业特许经营者或非营利性组织管理的河岸线
禁止进入区	为保护公众安全或政府设施安全而划定的河岸线区域
受保护的河岸线区域	指定的为保持或恢复美学、鱼类和野生动物、文化或其他环境价值的河岸线地区,还用来保护不稳定的河岸线免受侵蚀。除了当前已经存在的使用授权外,受保护的河岸线地区不允许个人使用

2.2.3 土地使用分配计划

针对共同管理的沿河联邦土地,美国鱼类及野生动物管理局和美国陆军工程兵团于 1983 年共同制定了密西西比河上游土地使用分配计划。根据土地使用分配计划,土地的使用种类分为项目运营、密集娱乐使用、低密集娱乐使用、野生动物管理、自然区,并规定自然区主要是保存和保护科学、生态和风景资源以及重要的考古和历史遗迹及受威胁和濒危物种栖息地,且此类区域内限制或禁止公共活动^[19]。通过对沿岸土地使用进行管理,旨在维持河流系统航运功能的同时,确保鱼类和野生动物生境以及娱乐用途之间保持平衡。

2.2.4 航行与生态系统可持续发展计划

为保证密西西比河上游系统经济和生态环境的可持续发展,解决上游系统可能会出现交通延误问题,并修复由 9 英尺(即 2.74 m)河道项目所造成的生态系统结构和功能变化问题,美国陆军工程兵团对改进航运功能和修复河流生态系统的可行性进行了广泛调查。通过调查,确定了航运改善和生态修复的项目位置及顺序,并将在 50 a 内逐步实施,以确保减少商业交通延误的同时,保护和修复生态环境。

2.3 下游的监测与修复管理

2.3.1 修复美国最伟大的河流计划

修复美国最伟大的河流计划始于 2006 年,其目的是改善密西西比河下游生境并修复洪泛区的水文和连通性^[20]。通过此计划,密西西比河下游委员会与美国陆军工程兵团等 5 个机构合作开展了一系列的生境修复活动,包括修复和改善河道、下游造林工程、亚洲鲤鱼管理与控制等。迄今为

止,下游委员会已经在密西西比河下游的修复和管理上取得了一定成效,并表明在未来将加强与政府部门、非政府机构、航运业等各方的合作来改善生境和减少或避免生境损失。

2.3.2 相关监测工作

相较于上游,密西西比河下游的相关监测数据比较缺乏。部分原因是由于密苏里河和俄亥俄河的流入导致下游泥沙含量和流量远远超过上游,因此监测难度更大^[21]。除此之外,由于下游各州对同一河段的指定用途不同且各州间工作缺乏协调,所以监测程度差异很大,数据相对缺乏^[22]。

相较于其他机构和部门,美国地质调查局对下游的监测工作处于相对领先的地位。最初,美国地质调查局运营的国家河流质量评估网络在密西西比河流域设置了26个监测站,但在密西西比河下游只有4个站点,其中2个监测站运行了实时连续监测仪表^[22]。但是由于监测力度和监测站数量的不断下降,最终在1991年被取消。同年还开展了国家水质评估,但未能对包括密西西比河在内的大型河流提供覆盖完整空间范围的评估^[21]。最终国家河流质量评估网络和国家水质评估于2013年合并形成了国家水质网络,并在密西西比河下游流域内5个地点进行了水质和沉积物监测数据收集。

2.4 路易斯安那州海岸地区的监测与修复管理

为应对路易斯安那州海岸和密西西比河三角洲的土地流失危机,美国在路易斯安那州整个沿海地区开展了一系列保护和修复项目,例如实施沉积物转移、水文恢复、淡水分流、障壁岛和岬角修复、海岸线保护等^[23]。

路易斯安那州还设置了海岸参考监测系统来监测不同空间尺度修复工作的有效性。海岸参考监测系统包含了覆盖整个路易斯安那州海岸的390个监测站,在 1 km^2 和 200 m^2 两个尺度上进行监测。在 1 km^2 的尺度上,高分辨率航空摄影被用于计算土地和水的比率来揭示土地变化趋势;在 200 m^2 的尺度上,使用标准化的方法收集现场数据^[24]。海岸参考监测系统收集的数据包括水位、盐度、沉积物堆积、地面高程变化、植被的组成和丰度、土地与水的比例以及土壤特性^[24]。收集到的数据经固定程序处理后被存储到海岸信息管理系统数据库,用于评估修复项目以及整个路易斯安那州海岸的状况。

2.5 墨西哥湾的监测与修复管理

为解决墨西哥湾的富营养化问题,缺氧工作组

在2001年发布了海湾缺氧行动计划,其主要目的是控制流域的氮排放,并规定每5 a更新一次缺氧行动计划来评估已经采取的行动并确定未来工作重点。修订版的海湾缺氧行动计划于2008年发布,要求组成缺氧工作组的各州继续合作,制定全面的针对密西西比/阿查法拉亚河流域地表水以及墨西哥湾的减排计划,并且表明允许每个州灵活制定、调整和实施自己的战略措施。

缺氧工作组每年夏天会对墨西哥湾缺氧区的范围进行测量,目的是通过持续监测来准确评估缺氧区对来自密西西比/阿查法拉亚河流域营养物质的响应。根据2016年联邦策略,缺氧工作组接下来的工作重点是将长期监测网络制度化并支持各州实施州营养物质减少策略^[25]。

除此之外,2012年缺氧工作组成立了由美国地质调查局牵头的密西西比河流域监测协作组织,以整合长期监测和径流记录数据来评估在降低营养物质方面的进展。自2000年以来,来自参与州的48个机构已收集了超过67万份营养物质数据^[26]。为更好地评估在减少营养物方面取得的进展,密西西比河流域监测协作组织还通过由美国地质调查局、环境保护局和国家水质检测委员会赞助的合作服务网站——水质门户网站提供其所收集的数据。

除缺氧工作组实施了监测外,美国农业部农业研究局与自然资源保护局也进行合作,在密西西比/阿查法拉亚河流域内的小流域中进行了农田边缘监测和河流监测,以评估农业径流情况以及用来减少沉积物和养分流失的养护措施的有效性^[22]。

3 对我国流域生态保护修复的启示

与密西西比河流域相比,我国大多数流域人口密度大且城市化程度不同,因此在借鉴学习密西西比河流域生态保护修复经验时,还应结合我国国情区别借鉴,探索适合我国流域生态保护修复的模式和机制。

3.1 建立和完善流域生态系统监测与评价指标体系

美国在开展密西西比河监测工作时,特别是在长期资源监测计划中,根据流域实际情况建立了具有针对性的指标体系,从而获取了能够有效识别生境状况和变化趋势的基础数据。目前,我国流域生态修复工作还处于尝试探索阶段,尚未建立起科学有效的生态系统监测与评价指标体系。从我国基

本国情及流域特点出发,制定和完善流域生态系统监测和评价指标体系,从生态学角度出发,借鉴包括密西西比河在内的其他国家流域生态修复监测与评价体系,综合考虑包括生境、理化、水生生物和土地覆被等指标,从单一理化指标监测向综合的流域生态系统监测与评价转变,具有重要意义。值得注意的是,河流生态系统中有的过程具有缓慢性、较高变化性或时间滞后效应,因此需要选择能揭示变化过程的有效指标^[12]。另外,评价和判断修复工作成功与否,应建立一套能够定义预期生态系统状况的数值或者条件集合,即目标范围^[12],并且随着对流域生态系统的逐渐了解,不断精细化和量化各项指标的目标范围。

利用流域生态系统监测指标体系对水文、水质、水生态环境、生物群落多样性以及土地覆盖等进行监测,并对监测数据进行分析评价,不仅能够获取有效的流域生态状况信息,并且长期的监测数据对于了解河流生态系统的内在机制也十分必要,特别是在自然和人为干扰下河流生态系统的内在变化机制和规律。基于监测数据才能准确判断和识别流域存在的问题、发展趋势和机会,因此应依据河流实际情况,合理设定修复目标,进行修复规划,充分利用其自我修复能力,并辅以恰当的修复措施,以逐步恢复河流的生态环境功能和社会服务功能。

3.2 建立流域综合监测网络,进行全流域持续监测

河流生态系统本身是一个动态且具有开放性的系统,河流与其周边环境不断相互作用,并且从上游到下游具有自然变化的纵向模式,支流之间、子流域之间也存在巨大差异。另外,由于人口的不断增长,不同河段的河岸使用程度及使用方式的不同,也对河流生态系统产生了不同的影响。因此,监测网络应扩展至流域范围,以获取覆盖全流域的、更丰富的监测数据,提高对复杂流域生态系统及修复需求的认知和识别。

长期监测除了可以记录正常的波动和变化趋势外,还有助于提升对河流生态系统内在机制的认知,并且有利于预测河流生态系统对未来修复措施的响应。特别是对于在年上和年际间会出现实质性变化的大型河流,10 a 的监测数据是获得长期有效动态刻画的基础^[12]。因此,应逐步建立像密西西比河长期资源监测计划一样集监测、应用研究和管理评估为一体的多用途计划,进行覆盖全流

域的长期综合监测,以提升流域修复管理的有效性。

3.3 建设流域生态信息平台,加强数据共享

在密西西比河的修复工作中不少流域管理机构通过信息共享平台将收集到的相关数据进行整合使其信息化、系统化,为密西西比河的监测和修复管理提供了强有力的支撑。我国也应充分利用互联网,建设和完善流域生态环境信息共享平台,推动跨行政区和跨部门的信息资源共享,提升流域修复管理效率和成效,整合政府、科研单位以及公众等多方数据,为我国流域生态保护修复提供数据支撑。

3.4 以流域为单元开展生态状况调查和评估

建立流域尺度的生态系统状况调查和评估机制,摸清我国河流生态系统当前的健康状况与需求。密西西比河的生境需求评估综合评估了流域生态系统的健康状况,准确识别了流域的修复需求,进而依据事实数据实施了监测和修复工作。我国在此方面开展的工作相对较少,并且随着我国人口的不断增长和城市化进程的推进,人类对河流生态系统产生的干扰和破坏越来越大。因此,我国流域生态修复亟需建立流域尺度的调查和评估机制,对流域内的每个河段进行系统评估,特别是河流源头和生态脆弱区,以识别最紧迫的修复需求,改善河流生态系统的总体状况。

3.5 建立和完善监测、评估、规划、实施循环体系

从美国在密西西比河上游系统开展的长期资源监测,到流域健康状况和需求评估以及流域内航道与生态可持续发展的调查评估,再到土地利用及河岸线使用规划和生境修复项目的实施,形成了一个相对完整、环环相扣的监测、评估、规划、实施循环体系。持续的监测可以为流域生态系统状况评估提供丰富的基础数据,从而进行基于事实数据的有效评估;评估则帮助识别了流域生态系统的健康状况和需求,进而根据实际评估结果形成更加平衡合理的流域规划来指导保护修复工作的实施。特别是近年来人口的不断增长和城市化进程的推进对我国河流生态系统产生的干扰和破坏越来越大,因此基于实际情况定制流域规划并实施修复行动至关重要。最后,监测又会通过事实数据反映出流域规划和保护修复工作的实施成效。为提高我国流域保护修复成效,应尽快建立和完善监测、评估、规划、实施循环体系,形成基于事实数据的良性循环体系。

3.6 提升对流域生态系统的科学认知

我国过去的河流生态保护修复常常侧重于某一河段或某一问题,忽略了流域的整体性和连通性。部分原因是我国在流域生态修复方面的研究起步较晚,侧重于研究生态工程技术,而忽视了生态学过程方面的研究^[27]。对生态系统缺乏科学的认知,将某一河段或问题从整个流域中割裂出来进行治理。随着对河流生态系统人为干扰的不断增多,我国亟需加强对河流生态过程及河流对人类干扰响应机制的研究,认识流域生态系统内在机制和发展规律,从而充分利用其自我修复能力,使用低影响或基于自然的解决方案,减少或避免人工干预。除此之外,应加强多学科综合性研究,例如生物学、社会学、水文学等学科的融合研究,推动我国流域生态保护与修复管理的不断提升与创新。

在具体的监测与保护修复工作中,由于流域面积大和气候地貌条件的不同,不同河段通常会呈现不同的水文特征,所以不同河段监测与保护修复重点也应有所区别。密西西比河上游系统周边娱乐休闲、农业等人类活动丰富,对河流生态系统具有直接干扰,造成了水质恶化、生境破坏及美学价值降低等一系列问题,并且上游系统河流状况会对下游生态系统产生直接影响,因此美国陆军工程兵团在上游系统实施了细致、全面的监测与保护工作,同时进行了修复工作来修复生境,阻止生态系统加速退化。密西西比河下游则呈现与上游系统不同的水文特征,下游泥沙浑浊,流量远远超过上游系统,因此在进行监测的基础上,实施了广泛的修复工作以保障河流连通性,恢复其生态功能。由此,我国在流域监测与保护修复工作中,应在秉持流域生态系统完整性思想的同时,结合河段水文情势、河流地形以及河道特征等,对不同河段实施具有针对性的监测与保护工作,因地制宜地实施修复措施。

3.7 加强流域协调治理,创新我国流域生态保护修复管理体系

密西西比河的流域委员会模式使流域各州享有更平等的参与投票权,更能调动各州及公众的积极性,联邦政府在这方面则没什么机会发挥作用^[4]。虽然密西西比河的流域委员会模式也具有一定的局限性,但其在密西西比河上游取得的修复成效一定程度上凸显了流域协调治理的重要性和有效性。由于河流跨度通常较大,我国河流一般按照行政区进行管辖,再加上部门之间缺乏信息共享

和沟通等原因,流域管理通常呈现碎片化的特点。以行政区为单位的治理割裂了河流系统的完整性和连通性,破坏了其生态和水文特征。

由于行政区或部门间协作机制不健全,且不同行政区对生态保护修复的认知存在差别,导致流域系统化管理难、生态保护修复成效低。针对我国流域管理体系中的问题,应打破分割管理状况,创建跨行政区的流域协调管理体系,全流域统筹规划。明确流域主管部门或设立流域管理机构,如流域管理局、水利委员会,切实强化流域的统一管理和监测工作,避免不同部门、地方间权责不清导致的管理不力或重复监测造成的资源浪费。鼓励多元主体参与,强化流域协同治理,积极成立相关工作小组,推进生态保护修复工作。

4 结论与展望

密西西比河流域治理为我国流域保护修复提供了一个具有参考价值的案例。通过梳理美国在密西西比河流域开展的监测、修复管理工作,本文总结了7条具有借鉴意义的启示:①从我国基本国情和流域特点出发,建立和完善流域生态系统监测与评价指标体系;②建立流域综合监测网络,进行全流域持续监测;③建设流域生态信息平台,加强数据共享,为我国流域生态保护修复提供高质量数据支撑;④以流域为单元开展生态状况调查和评估,提升河流生态系统总体状况;⑤建立和完善监测、评估、规划、实施循环体系,形成基于事实数据的良性循环体系,提升修复成效;⑥提升对流域生态系统的科学认知,推动我国流域生态保护与修复管理工作水平不断提升;⑦加强流域协调治理,创新我国流域生态保护修复管理体系。

在借鉴密西西比河保护修复的成功经验时,应注意结合我国国情及流域特征,解决与完善我国流域生态保护修复工作中存在的问题与不足。相信以流域为单位协调治理,依据国情区别借鉴国外流域保护修复经验,一定可以建立起适合我国国情的流域生态保护修复模式和机制,从根源上解决我国河流生态退化的问题。

参考文献(References):

- [1] 徐黎. 为什么说黄河的问题表象在黄河根子在流域? [N]. 学习时报, 2020-01-22(3).

- Xu L. Why the surface – level problem is the Yellow River but the actual deep – rooted issue is watershed? [N]. Study Times, 2020 – 01 – 22(3).
- [2] 山西省人民政府. 林武: 在推进黄河流域生态保护和高质量发展中率先蹚出转型发展新路[EB/OL]. (2020 – 09 – 19) [2021 – 05 – 01]. http://www.shanxi.gov.cn/yw/zwhd/202009/t20200919_857553.shtml.
- The People's Government of Shanxi Province. Linwu: Taking the lead in finding a new way of transformation and development in promoting ecological conservation and high – quality development of the Yellow River Basin[EB/OL]. (2020 – 09 – 19) [2021 – 05 – 01]. http://www.shanxi.gov.cn/yw/zwhd/202009/t20200919_857553.shtml.
- [3] 李瑞娟, 徐欣. 长江保护可借鉴密西西比河治理经验[N]. 中国环境报, 2016 – 08 – 30(3).
- Li R J, Xu X. The protection of the Yangtze River can learn from the management experience of the Mississippi River[N]. China Environment New, 2016 – 08 – 30(3).
- [4] 罗志高, 杨继瑞. 流域生态环境协同治理国际经验及其镜鉴[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2019, 33(10): 27 – 34.
- Luo Z G, Yang J R. International experiences of crossborder watersheds' synergetic governance and their enlightments to China[J]. J Chongqing Univ Technol (Soc Sci), 2019, 33(10): 27 – 34.
- [5] United States Army Corps of Engineers. Mississippi River Commission History[EB/OL]. (2013 – 07 – 17) [2021 – 05 – 01]. <https://www.mvs.usace.army.mil/Media/Fact-Sheets/Fact-Sheet-Article-View/Article/491918/mississippi-river-commission-history/>.
- [6] Minnesota Pollution Control Agency. Mississippi Headwaters Watershed[EB/OL]. [2021 – 05 – 01]. <https://mpca.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=891bc9119caa42a89caf85483943dc43>.
- [7] Mississippi Headwaters Board. Comprehensive Plan[R]. Brainerd; Mississippi Headwaters Board, 2019: 1 – 90.
- [8] Mississippi Headwaters Board. About MHB – History[EB/OL]. [2021 – 05 – 01]. <https://www.mississippiheadwaters.org/history.asp>.
- [9] Mississippi River Headwaters Board. Protection Efforts[EB/OL]. [2021 – 05 – 01]. <https://www.mississippiheadwaters.org/scientificStudies.asp>.
- [10] Upper Midwest Environmental Sciences Center. About the Upper Mississippi River System[EB/OL]. [2021 – 05 – 01]. https://www.umesc.usgs.gov/umesc_about/about_umrs.html#.
- [11] United States Army Corps of Engineers. Upper Mississippi River Restoration Program[EB/OL]. [2021 – 05 – 01]. <https://www.mvr.usace.army.mil/Missions/Environmental-Stewardship/Upper-Mississippi-River-Restoration/>.
- [12] Johnson B L, Hagerty H K. Status and Trends of Selected Resources in the Upper Mississippi River System[R]. La Crosse: U. S. Geological Survey, 2008: 1 – 120.
- [13] United States Army Corps of Engineers. Upper Mississippi River Restoration Program; 2016 Report to Congress[R]. Rock Island: United States Army Corps of Engineers, 2016: 1 – 118.
- [14] United States Army Corps of Engineers. About the Upper Mississippi River Restoration Program[EB/OL]. [2021 – 05 – 01]. <https://www.mvr.usace.army.mil/Missions/Environmental-Stewardship/Upper-Mississippi-River-Restoration/About-Us/>.
- [15] Baker S L, Clark S J, Fellman R C, et al. Environment Design Handbook[M]. 2nd ed. Rock Island: United States Army Corps of Engineers, 2012: 1 – 534.
- [16] United States Geological Survey. The Upper Mississippi River Restoration (UMRR) Program, Long Term Resource Monitoring (LTRM)[EB/OL]. [2021 – 05 – 01]. <https://usgs.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=261453998dc844099bdb48d203deb736>.
- [17] McCain K, Schmucker S, De Jager N R. Habitat Needs Assessment – II for the Upper Mississippi River Restoration Program: Linking Science to Management Perspectives[R]. Rock Island: U. S. Army Corps of Engineers, 2018: 1 – 140.
- [18] United States Army Corps of Engineers. Shoreline Management Plan; Mississippi River Nine – Foot Channel Navigation Project Pools 11 – 22[R]. Rock Island: United States Army Corps of Engineers, 1989: 1 – 29.
- [19] United States Army Corps of Engineers. Upper Mississippi River Land Use Allocation Plan[R]. Saint Paul: United States Army Corps of Engineers, 2011: 1 – 80.
- [20] Lower Mississippi River Conservation Committee. Restoring America's Greatest River: A Habitat Restoration Plan for the Lower Mississippi River[R]. Vicksburg: Lower Mississippi River Conservation Committee, 2015: 1 – 28.
- [21] National Research Council. Mississippi River Water Quality and the Clean Water Act: Progress, Challenges, and Opportunities[M]. Washington: National Academies Press, 2008: 1 – 239.
- [22] Davis P. Summary of Available Water Quality Assessments of the Lower Mississippi River[R]. Tupelo: Lower Mississippi River Conservation Committee, 2014: 1 – 14.
- [23] Coastal Protection and Restoration Authority of Louisiana. Louisiana's Comprehensive Master Plan for a Sustainable Coast[R]. Baton Rouge: Coastal Protection and Restoration Authority of Louisiana, 2012: 1 – 167.
- [24] Steyer G D. Coastal Reference Monitoring System (CRMS): United States Geological Survey Fact Sheet[R]. Baton Rouge: USGS National Wetlands Research Center, 2010: 1 – 4.
- [25] Mississippi River/Gulf of Mexico Hypoxia Task Force. Looking forward: The Strategy of the Federal Members of the Hypoxia Task Force[R]. Washington: United States Environmental Protection Agency, 2016: 1 – 33.
- [26] Mississippi River/Gulf of Mexico Watershed Nutrient Task Force. 2017 Report to Congress[R]. Washington: United States Environ-

mental Protection Agency,2017:1 – 121.

[27] 王文君,黄道明. 国内外河流生态修复研究进展[J]. 水生态学杂志,2012,33(4):142 – 146.

Wang W J,Huang D M. Research progress of river restoration research at home and abroad[J]. J Hydroecol,2012,33(4):142 – 146.

Implications of the Mississippi River watershed monitoring and restoration for the watershed ecological protection and restoration in China

XIAO Chunlei, GUO Yixuan, XUE Hao
(China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The research and practice of watershed protection and restoration started early in America, and have achieved a good outcome in the restoring and managing of the Mississippi River, which has significant implications for watershed ecological protection and restoration in China. The management approaches of the Mississippi River were introduced in this paper and the long – term monitoring and restoration work of the Mississippi River was summarized. Besides, seven implications for the future work of watershed ecological protection and restoration in China were put forward. ① Indicator system of watershed ecosystem monitoring and evaluation should be established and refined; ② Watershed – wide monitoring networks should be established and long – term continuous monitoring of the whole river should be conducted; ③ A watershed ecological information platform should be built to improve data sharing; ④ The watershed – scale investigations and assessments of ecological conditions should be conducted; ⑤ A cycle system of monitoring, evaluation, planning and implementation should be established; ⑥ The scientific understanding of watershed ecosystem should be improved; ⑦ The collaborative watershed governance should be strengthened to develop an innovative management system of watershed protection and restoration. This research aims to provide a reference example of the watershed monitoring and restoration that covers from the headwater to estuary for the extensively launched watershed protection and restoration work in China.

Keywords: the Mississippi River; collaborative watershed governance; resource monitoring; ecological protection and restoration; river ecosystem; ecogeological survey

(责任编辑: 刘丹)