

DOI:10.13232/j.cnki.jnju.2022.02.007

## 基于水质目标管理的水功能区调整实践

陈俊颖<sup>1,2</sup>, 张亚辉<sup>3</sup>, 杨吉强<sup>4</sup>, 王燕鹏<sup>5</sup>, 安树青<sup>4</sup>, 阮晓红<sup>1,2\*</sup>

(1. 南京大学表生地球化学教育部重点实验室, 南京, 210093; 2. 南京大学地球科学与工程学院水科学系, 南京, 210093;  
3. 中国环境科学研究院环境分析测试技术中心, 北京, 100012; 4. 南京大学生命科学院湿地生态中心, 南京, 210093;  
5. 郑州大学综合设计研究院有限公司, 郑州, 450012)

**摘要:** 水质目标管理是以保障水体物理、化学及生物的完整性为目标的流域水环境管理模式, 将其融入我国现行的水功能区管理, 对水生态系统及人类健康安全具有重要意义。从水质目标管理角度剖析了我国现行水功能区管理存在的两大不足, 主要表现为在目标设定上, 缺乏生态系统连通度、种群规模及种群结构、生物完整性指数等物理完整性及生物完整性目标; 在功能设定上, 排污控制区的设置忽视了生物安全性要求。以保障水体的完整性为流域管理的核心目标, 提出了水功能区调整及其目标体系构建的技术方法。首先, 在功能设定上取消排污控制区, 结合排污控制区对应的水生态功能、压力状况及实际用水需求, 进行功能调整。其次, 根据水功能区功能需求、水生态系统安全性需求、生境物理完整性需求, 提出水功能区保护目标的指标体系。并对淮河流域的主要支流沙颍河流域进行了功能调整实践, 对颍河登封-禹州段进行了调整可行性和目标可达性验证, 可为我国水功能区管理提供新思路。

**关键词:** 水功能区调整, 水质目标管理, 水质安全, 目标体系, 沙颍河流域

中图分类号: X52

文献标志码: A

## Adjustment of water function zone adjustment based on water-quality target management

Chen Junying<sup>1,2</sup>, Zhang Yahui<sup>3</sup>, Yang Jiqiang<sup>4</sup>, Wang Yanpeng<sup>5</sup>, An Shuqing<sup>4</sup>, Ruan Xiaohong<sup>1,2\*</sup>

(1. MOE Key Laboratory of Surface Geochemistry, Nanjing University, Nanjing, 2100093, China; 2. Department of Hydro Sciences, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 2100093, China; 3. Environmental Testing and Laboratory of CRAES, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012, China; 4. Wetland Ecology Center, School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing, 2100093, China; 5. Zhengzhou University Comprehensive Design and Research Institute Co. LTD, Zhengzhou, 450012, China)

**Abstract:** Water quality target management (WQTM) is a water environment management mode that ensures the physical, chemical and biological integrity of the watershed. It is critical to integrate the WQTM into China's contemporary water function zone (WFZ) management to promote the wellbeing of the aquatic ecosystem and public health. This paper analyzes two shortcomings of current WFZ management in China from the perspective of WQTM. The first shortcoming is a lack of objectives regarding the physical integrity of the aquatic ecosystem, such as setting goals in ecosystem connectivity, population size, population structure, and biological integrity index. Another shortcoming lies in the functional setting of the water zone, where the arrangement of the effluent control zone ignores biosafety requirements. This study takes integrity as the goal for watershed management and proposes a technical method for water function zone adjustment and target system construction. First of all, the effluent control zone should be cancelled, where the function of the water zone should be adjusted

基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07602003)

收稿日期: 2021-05-26

\* 通讯联系人, E-mail: ruanxh@nju.edu.cn

according to the water ecological function, pressure status, and actual water demand. Secondly, according to the functional needs of WFZ, the security needs of the aquatic ecosystem, and the physical integrity needs of habitat, an index system of WFZ protection objectives will be proposed. The practice of water function zone adjustment and target system construction was applied in the Shaying River Basin (SRB), a major tributary of the Huaihe River Basin. The feasibility of the functional adjustment and the achievement of the integrity goal in the Dengfeng-Yuzhou section of the Yinghe River were verified. The practice sheds light on the management of WFZ in China.

**Key words:** water function zone adjustment, water quality target management, water quality safety, goal system, Shaying River Basin

水功能区划是实现我国水资源可持续开发利用和保护的重要基础<sup>[1]</sup>。近年来,随着我国社会经济的快速发展、产业结构的调整和水资源开发利用条件的变化,部分水域出现了现状功能同发展及保护需求不相适应的问题<sup>[2]</sup>。同时,人们也逐渐认识到保护水资源更应关注水生态系统的安全与健康<sup>[3]</sup>。因此,完善水功能区划对于水生态系统及其水资源的保护具有重要意义。

近年来,以恢复水体物理、化学和生物完整性为目标的流域水质目标管理研究与实践,为流域水生态系统保护提供了理论与技术的支撑。以美国为例,1972年《清洁水法》<sup>[4]</sup>规定水体的功能分为公共用水,休闲娱乐,农业,工业,航运,鱼类、贝类、野生生物的保护和其他共七大类,针对不同的功能需求,提出有针对性的考核指标。其中,以保护水生生物为功能的水体,其目标体系为生物指标、生境指标、水和沉积物的毒性指标及物理和化学指标等<sup>[5]</sup>;以满足娱乐需求为功能的水体,目标体系增加了大肠杆菌等细菌指标<sup>[5]</sup>;以满足公共供水需求为功能的水体,目标体系包括重金属、有机物等化学指数和细菌类指标<sup>[5]</sup>。流域水质目标管理大大改善了水生态系统的水体生境、水环境质量,水生生物物种也有了大量恢复<sup>[6]</sup>。

2000年以来,我国开启了水功能区划及管理的全面实践,同时在长江<sup>[7]</sup>、黄河<sup>[8]</sup>、淮河<sup>[9]</sup>、太湖<sup>[10]</sup>等七大流域进行了水功能区划分,实施了水功能区纳污红线管理,为全国水资源保护发挥了重要作用。经过20年的流域水功能区管理实践,也逐渐发现水功能区的管理目标、用途等还有待完善,相关学者也开展了大量的研究。刘晨<sup>[11]</sup>认为水功能区管理未从水资源的综合利用、可持续发展的角度来确定水域的主要功能用途;徐树媛

等<sup>[12]</sup>认为水功能区管理未设置相应的水量满足目标;阳平坚等<sup>[13]</sup>认为水功能区管理割裂了水体生态系统的完整性、未形成水体与陆域的统筹管理。随着对流域水生态健康状况的关注日益增强,彭文启<sup>[14]</sup>提出了从水文水资源、河湖物理形态、水质、水生生物及河湖社会服务功能这五个方面,开展河湖健康评估,并提出了评估指标体系及评估方法。2018年国务院机构改革,水功能区管理由水利部移交到生态环境部,作为水域管理基本单元。因此,从水质安全、水生态系统健康的需求出发,完善水功能区划、系统地开展水功能区水质目标管理的研究是非常必要的。

基于流域水质目标管理的基本理念,综合大量的文献成果,分析了我国现行水功能区划存在的问题,提出了调整原则、技术路径及方法,并在淮河流域的一级子流域—沙颍河流域进行了实践,以期能为我国水功能区划管理提供新的思路。

## 1 水功能区管理现状与存在的问题

**1.1 水功能区管理现状** 为满足水资源开发利用和节约保护的需求,我国于2000年开启了水功能区划分的全面实践阶段。2002年3月,水利部编制了《中国水功能区划》<sup>[15]</sup>,明晰了水功能区的内涵、指导思想、划分原则依据及工作程序;2002年10月,修订了《中华人民共和国水法》<sup>[16]</sup>,进一步明确和巩固了水功能区的法律地位;2003年颁布了《水功能区管理办法》<sup>[17]</sup>,明确了对水功能区的具体管理规定。2010年11月,《水功能区划分标准(GB/T 50594-2010)》<sup>[18]</sup>正式颁布实施,进一步规范了水功能区划分技术要求、程序和方法。为全面贯彻最严格的水资源管理制度,做好

水资源开发利用与保护、水污染防治和水环境综合治理,2011年国务院批复了水利部会同国家发改委、生态环境部拟定的《全国重要江河湖泊水功能区划(2011—2030)》<sup>[19]</sup>,在依法核定水域纳污容量、提出限排总量意见、入河排污口和省界缓冲区监管、水资源保护规划等方面发挥了重要作用<sup>[20]</sup>。2017年12月,水利部在对2003年《水功能区管理办法》<sup>[17]</sup>进行修订的基础上,出台了《水功能区监督管理办法》<sup>[21]</sup>,强化了水功能区的功能定位和监督管理,明确了流域与区域分级管理要求以及水功能区四类一级区和七类二级区的不同管理要求,也增加了基于全面推进生态文明建设目的<sup>[22]</sup>的水功能区修订与调整相关原则等,进一步丰富和完善了水功能区监督管理制度。水功能区划的制定,满足了水资源保护严峻形势的迫切需要,确定了不同水域的功能定位,实现了水域的分类管理和保护,促进了社会经济发展与水资源承载能力相适应<sup>[19]</sup>。

2001年和2002年环保部门先后颁布了《水环境功能区划分技术导则》<sup>[23]</sup>和《中国地表水环境功能区划》<sup>[24]</sup>,从水环境保护的角度,分析与水体水质相关的功能,将我国水体分为自然保护区、饮用水水源保护区、渔业用水区、工业用水区、农业用水区、景观娱乐用水区、混合区和过渡区共八个类型。2003年国家环保总局完成了全国水环境功能区划,同时根据流域对应的自然汇水区,结合行政区域边界,进行了水污染控制单元的划分,将水域的污染问题分解为单元问题来处理,为实现水环境功能区污染排放总量控制奠定了基础。

余向勇等<sup>[25]</sup>认为水环境功能区划的目的侧重于对水环境保护的污染控制,水功能区则是水资源管理的基本单元。2018年,国务院机构改革,水功能区由水利部移交给生态环境部管理,与水环境功能区划的控制单元全面对接,构建全国统一的水生态环境管理区划体系,标志着我国水功能区管理进入了一个新的阶段,实现了管理的统一和功能与目标的统一。

## 1.2 存在的问题

**1.2.1 功能设定不合理** 在水功能区划体系设计初期,我国水污染问题十分突出,为了缓解生产、生活的污水排放压力,在《中国水功能区

划》<sup>[19]</sup>七类二级区划中设置了排污控制区,定义为“集中接纳生活、生产废污水且接纳的废污水对水环境无重大不利影响的区域”。

虽然《水功能区监督管理办法》<sup>[21]</sup>规定,在排污控制区排放废污水,不得影响下游水功能区水质<sup>[21]</sup>,由于未设置水质目标,实际的排污控制区长期接纳高强度排污,造成排污控制区的管理处于“半放任”状态,导致水质严重恶化。以淮河流域沙颍河子流域为例,区内全国重要江河湖泊水功能区60个,其中排污控制区15个,占水功能区的25%。水质监测数据显示,颍河登封排污控制区水质常年为劣V类。

排污控制区的高强度排污,导致水质恶化、水生生物无法生存,不能进行栖息、产卵育幼等活动,它割裂了水生态系统的连通性。因此,排污控制区的设置与水质安全、水生态系统健康的目标相违背。

**1.2.2 目标体系不全面** 我国水功能区的目标管理主要是根据功能要求,执行《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[26]</sup>所规定的水质指标的分类目标值,与水功能区功能相对应的唯一“水质”指标,不能够体现对水生态系统保护的全面要求。例如,鱼科数目、浮游动物密度、浮游植物密度、底栖生物多样性等生物指标,流量过程维持时间、天然底质、植被覆盖度等生境指标,都是保障水生态系统健康的重要指标<sup>[27-31]</sup>。以淮河流域河道流量过程及其生态流量满足度为例,全流域修建闸坝一万一千多座,总库容30300 Mm<sup>3</sup>,占年平均径流量的51%<sup>[32]</sup>。相关监测数据表明,2014—2016年,沙颍河流域化行闸生态流量满足度仅为18.8%,关闸断流造成了严重的水生环境缺损。

目前,我国水环境质量标准大多参考或借鉴世界卫生组织、美国等发达国家或组织的基准/标准<sup>[33]</sup>,缺乏本土依据。例如,我国执行的水质标准中镉(六价)、砷、硒、铅等17种优先控制污染物的标准限值与世界卫生组织规定的水质标准限值相同;六氯苯、镉、二(2-乙基己基)己二酸酯等八种优先控制污染物的标准限值与美国国家饮用水标准值相同<sup>[34]</sup>。而相关研究发现,有一半以上的水环境污染物质在不同国家/地区的水生生物物种敏感度方面存在显著差异,这一差异可能会导致

同一污染物质的不同国家水质基准值差别超过百倍<sup>[35]</sup>。同时,地理环境特征、地域背景等对水质基准/标准也会产生差异性影响。

## 2 调整原则依据与技术方法

**2.1 调整原则及依据** 根据《中国水功能区划》<sup>[15]</sup>《水功能区划分标准(GB/T 50594-2010)》<sup>[18]</sup>和《全国重要江河湖泊水功能区划》<sup>[19]</sup>及其水质目标管理需求,设定水功能区调整原则及其功能、目标调整依据。

水功能区调整遵循四项原则:(1)问题导向原则。水功能区的调整应以现状水功能区存在的问题为导向,结合水资源条件、水生态压力状态及其实际用水需求,以加强水功能区保护和监管为前提,科学合理确定调整范围和方案。(2)生态优先原则。牢固树立“生态优先、绿色发展”理念,综合考虑水功能区功能和水生态系统保护需求,以高标准要求确定水质目标,增设相应的水生生物对污染物质的耐受阈值目标和生态需水量等生境维持目标。(3)系统优化原则。应强化流域水资源的系统优化与保护,兼顾上下游、左右岸、地区间不同特点及协调关系,利用系统分析规划的科学方法,统筹考虑流域水资源-水环境-水生态的保护需求。(4)可持续发展原则。应根据水生态系统的自然承载能力,结合经济社会发展趋势、水资源开发利用、生态环境保护的要求,为合理开发利用水资源留有余地,保护赖以生存的水域生态环境。

功能和目标调整依据具体见表 1<sup>[36]</sup>。增加了水体生物指标和生境指标。

### 2.2 技术方法

#### (1)功能调整技术方法

对于新增主导功能的水功能区,应按照《水功能区划分标准(GB/T 50594-2010)》<sup>[26]</sup>确定水功能区主导功能、长度或面积范围,并与上下游水功能区相衔接。

对确有必要调整主导功能的水功能区,应分析水环境与水生态变化趋势,论证其维持原主导功能的可能性,合理核定其主导功能以及长度或面积范围。调整流程如图 1 所示。

#### (2)目标调整技术方法

进行水质目标调整的,应根据水质安全的目标,

分析近五至十年水质变化趋势及其变化成因,合理确定其水质目标。首先,对于水质安全性保护,通过综合得分方法对流域内检测到的污染物进行打分,筛选出重点优控污染物;从流域敏感物种、重点保护物种、代表性物种和经济鱼种中筛选出保护物种;对重点优控污染物进行保护物种急、慢性毒性试验,得到针对本流域重点优控污染物的控制目标。

对于生物、生境保护,设立鱼类、底栖动物完整性指标(B-IBI)和生态需水量目标。其中,底栖动物完整性评级标准如表 2 所示<sup>[37]</sup>。生态需水量目标采用年内展布计算法<sup>[38]</sup>计算,步骤如下:

①根据水文断面长时间序列的天然月均径流资料,分别计算多年年均径流量 $\bar{Q}$ 和最小年均径流量 $\bar{Q}_{\min}$ ,计算公式分别如下:

$$\bar{Q} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \bar{q}_i; \bar{q}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (1)$$

$$\bar{Q}_{\min} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} q_{\min}(i); q_{\min}(i) = \min q_{ij}, \quad j=1,2,\dots,n \quad (2)$$

其中, $\bar{q}_i$ 为第*i*个月的多年月均径流量,单位 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $q_{\min}(i)$ 为第*i*个月的多年最小月均径流量,单位 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $q_{ij}$ 为第*j*年第*i*个月的月均径流量,单位 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ; *n*为统计年数。

②利用多年年均径流量 $\bar{Q}$ 和最小年均径流量 $\bar{Q}_{\min}$ 计算同期均值比 $\eta$ ,即:

$$\eta = \bar{Q}_{\min} / \bar{Q} \quad (3)$$

③结合多年月均径流量的年内过程,计算各月的河道基本生态需水量 $Q_i$ ,即:

$$Q_i = \bar{q}_i \times \eta \quad (4)$$

#### (3)合理性论证技术方法

按照《水域纳污能力计算规程(GB/T25173-2010)》<sup>[39]</sup>核定水域及其上下游水功能区的纳污能力和限制排污总量,论证水质目标调整的合理性。

利用河流纳污能力一维模型计算调整后的水功能区纳污能力,计算式如下<sup>[39]</sup>:

$$C_x = C_0 e^{-k \frac{x}{u}} \quad (5)$$

$$M = (C_s - C_x) \times (Q + Q_p) \quad (6)$$

其中, $C_0$ 为初始断面污染物浓度,单位 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $C_x$ 为流经*x*距离后的污染物浓度,单位 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $C_s$ 为水质目标浓度,单位 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; *k*为污染物综合衰减

表1 水功能区划区条件  
Table 1 Conditions of dividing WFZ

功能区名称	划区条件	水质执行标准
保护区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 重要河流的源头河段;</li> <li>2. 国家级、省级自然保护区用水水域或具有典型生态保护意义的自然生态所在水域;</li> <li>3. 跨流域、跨省的大型调水工程水源地, 主要指已建(包括规划水平年建成)调水工程的水源地;</li> <li>4. 省内重要的集中式饮用水水源地。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 根据需要分别执行《地表水水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[36]</sup> I、II类水质标准;</li> <li>2. 当由于自然、地质原因不满足 I类或 II类水质标准时, 应维持现状水质;</li> <li>3. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
保留区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 受人类活动影响较少, 水资源开发利用程度较低的水域;</li> <li>2. 目前不具备开发条件的水域;</li> <li>3. 考虑到可持续发展的需要, 为今后的发展预留的水资源区。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不低于《地表水水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[36]</sup> III类水质标准;</li> <li>2. 按现状水质类别控制;</li> <li>3. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
缓冲区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 跨省、自治区、直辖市行政区域河流、湖泊的边界附近水域;</li> <li>2. 省级边界河流、湖泊的边界附近水域;</li> <li>3. 用水矛盾突出的地区之间水域。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 按实际需要执行相关水质标准;</li> <li>2. 按现状控制;</li> <li>3. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
饮用水源区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已有生活用水取水口分布较集中的水域;</li> <li>2. 具有取水条件、在规划水平年内城市发展需设置取水口的水域;</li> <li>3. 每个用水户取水量符合有关水行政主管部门实施的取水许可制度规定的取水限额。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 执行《地表水水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[36]</sup> II、III类水质标准;</li> <li>2. 经省级人民政府批准的饮用水源一级保护区执行 II类标准;</li> <li>3. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
工业用水区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 现工矿企业生产用水集中取水水域;</li> <li>2. 根据工业布局, 在规划水平年内需设置工矿企业生产取水点;</li> <li>3. 每个用水户取水量符合有关水行政主管部门实施的取水许可制度规定的取水限额。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 执行《地表水水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[36]</sup> IV类水质标准;</li> <li>2. 不低于现状水质类别;</li> <li>3. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
农业用水区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已有农业灌溉用水取水点的水域;</li> <li>2. 根据规划水平年内农业灌溉发展, 需要设置农业灌溉集中取水点, 且具有取水条件的水域;</li> <li>3. 每个用水户取水量符合有关水行政主管部门实施的取水许可制度规定的取水限额。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 执行《地表水水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[36]</sup> V类水质标准;</li> <li>2. 按《农田灌溉水质标准(GB5084)》确定;</li> <li>3. 不低于现状水质类别;</li> <li>4. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
渔业用水区	<p>主要经济鱼类的产卵、索饵、洄游通道, 历史悠久或新辟人工放养和保护的水域, 水文条件良好、水交换畅通、有合适的地形和底质的水域。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 执行《地表水水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[36]</sup> II、III类水质标准;</li> <li>2. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
景观娱乐用水区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有度假、娱乐、运动等用途的水域;</li> <li>2. 有省级以上知名度的水上运动场;</li> <li>3. 省级以上风景名胜区内所涉及的水域。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 执行《地表水水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[36]</sup> III、IV类水质标准;</li> <li>2. 不低于现状水质类别;</li> <li>3. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
过渡区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 下游用水要求高于上游水质状况;</li> <li>2. 有双向水流的水域, 且水质要求不同的相邻功能区之间。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以满足出流断面所邻功能区水质要求选用相应的控制标准;</li> <li>2. 生物指标、生境指标。</li> </ol>
排污控制区	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 接纳废水中污染物为可稀释降解的;</li> <li>2. 水域的稀释自净能力较强, 水文、生态特性适宜于作为排污区;</li> <li>3. 对其他用水不致造成危害的。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 按出流断面水质达到相邻功能区的水质要求选择相应的水质控制标准;</li> <li>2. 生物指标、生境指标。</li> </ol>

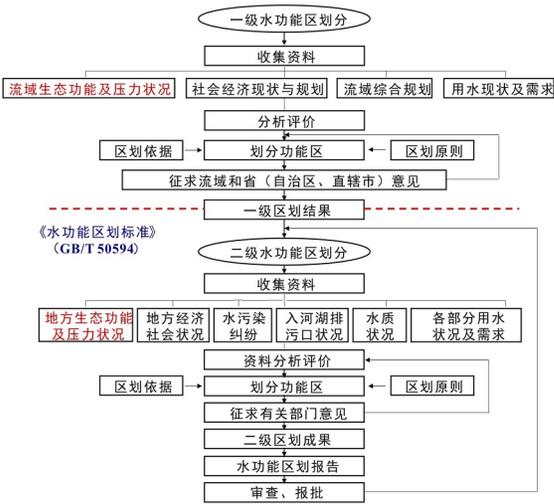


图 1 水功能区功能调整流程

Fig. 1 Function adjustment process of WFZ

表 2 B-IBI 分级标准

Table 2 Classification criteria of B-IBI

参数名称	理想状态	健康	亚健康	不健康	病态
B-IBI	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

系数,单位  $s^{-1}$ ;  $x$  为沿河段的纵向距离,单位  $m$ ;  $u$  为设计流量(90% 水文保证率)下河道断面的平均流速,单位  $m \cdot s^{-1}$ ;  $M$  为水域纳污能力,单位  $g \cdot s^{-1}$ ;  $Q$  为初始断面入流流量,单位  $m^3 \cdot s^{-1}$ ;  $Q_p$  为废污水排放量,单位  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

### 3 调整案例

#### 3.1 研究区域水功能区现状及其功能调整

沙颍河流域是淮河流域最大的子流域,流经河南、安徽两省. 根据《全国重要江河湖泊水功能区划(2011—2030 年)》<sup>[19]</sup>,沙颍河流域共有重点水功能区 60 个. 其中,一级区 7 个(保护区 3 个,保留区 1 个,缓冲区 3 个),二级区 53 个(饮用水源区 6 个、农业用水区 19 个、工业用水区 1 个、渔业用水区 2 个、农业渔业用水区 2 个、景观娱乐用水区 4 个、排污控制区 15 个、过渡区 4 个). 水功能区分布见图 2.

沙颍河流域生态系统特征分为山地溪流、山地森林溪流和平原农田河流三类,生境功能有水源涵养和生境干扰承载. 在功能分区的基础上,选取人口密度、城镇化率和单位 GDP 耗水量,对

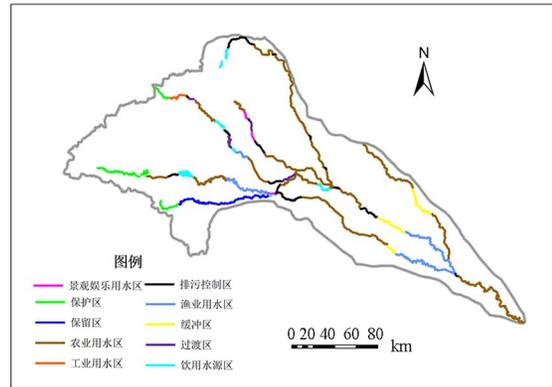


图 2 沙颍河流域重要江河湖泊水功能区图

Fig. 2 WFZ of major rivers and lakes in SRB

其进行聚类分级,划分水生态压力分区. 水源涵养区下又分为低压力区和中压力区,生境干扰承载区下又分为低压力区、中压力区和高压压力区. 流域内 15 个排污控制区中,一个位于山地溪流水源涵养区,九个位于平原农田河流生境干扰承载高压压力区,三个位于平原农田河流生境干扰承载中压力区,两个位于平原农田河流生境干扰承载低压力区. 具体如图 3 所示.

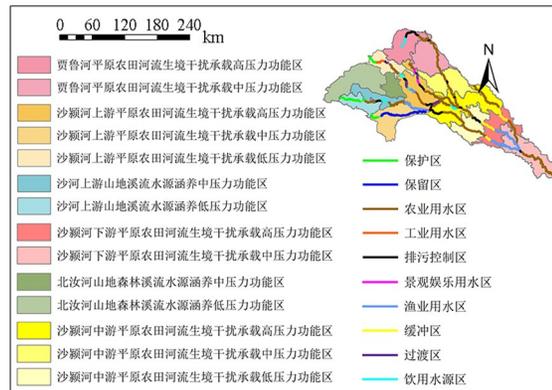


图 3 沙颍河流域水生态功能及压力分区图

Fig. 3 Water ecological function and pressure zone in SRB

按照调整原则与调整依据,将贾鲁河郑州排污控制区等五个排污控制区调整为景观娱乐用水区,贾鲁河中牟排污控制区等八个排污控制区调整为农业用水区,颍河登封排污控制区变更为过渡区,清颍河许昌排污控制区高楼陈村以上段调整为景观娱乐用水区、高楼陈村以下段调整为农业用水区(表 3). 调整后的水功能区分布见图 4.

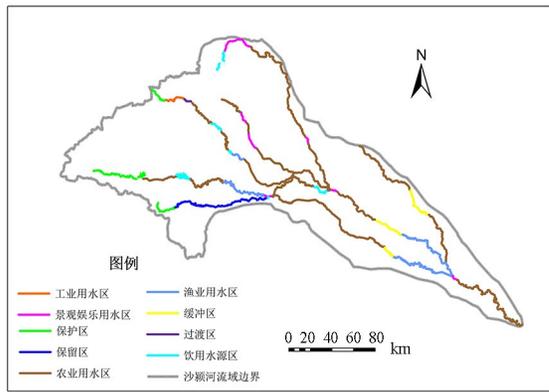


图4 功能变更后沙颍河流域水功能区分布图

Fig. 4 Distribution of WFZ after functional changing in SRB

### 3.2 调整水功能区目标体系构建

#### (1) 化学完整性指标与目标

根据水功能区功能及其水质安全性需求,确定原排污控制区调整后的水质目标,具体见表3.

根据研究区域重点优控污染物镉、氨氮、硝基苯和苯并(a)芘<sup>[40]</sup>对保护物种的急、慢性毒性试验,本流域重点优控污染物及其控制目标见表4,执行Ⅱ级标准.由于氨氮毒性受到水体温度和

pH的影响较大,因此依据不同季节计算沙颍河流域氨氮水质基准.

#### (2) 物理完整性指标与目标

根据年内展布计算法,设定研究区域重要控制断面生态需水量,计算结果见表5.

#### (3) 生物完整性指标与目标

根据水生态功能分区,研究区域鱼类保护物种统计和底栖动物完整性(B-IBI)目标见表6.

### 3.3 可行性分析 选择颍河登封-禹州段为例进行水功能区调整可行性分析.

该段有颍河登封工业用水区、颍河登封排污控制区、颍河登封过渡区、颍河白沙水库景观娱乐用水区、颍河禹州农业用水区和颍河禹州饮用水源区,总长度为82.6 km.

调整方案:将颍河登封排污控制区调整为过渡区,水质目标Ⅱ为类;颍河登封过渡区水质目标提升为Ⅱ类,与上游调整后的过渡区合并;划出部分颍河禹州农业用水区为过渡区.具体信息见表7.

表3 水功能区水质目标

Table 3 Water quality target of WFZ

序号	原二级功能区名称	调整后功能区	现状水质	下游水功能区水质目标	水质目标
1	沙河鲁山排污控制区	农业用水区	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
2	沙河郾城排污控制区	农业用水区	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ
3	颍河登封排污控制区	过渡区	劣Ⅴ	Ⅱ	Ⅱ
4	颍河禹州排污控制区	农业用水区	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ
5	颍河郾城排污控制区	农业用水区	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
6	清漯河长葛排污控制区	景观娱乐用水区	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
7	清漯河许昌排污控制区	景观娱乐用水区 农业用水区	Ⅳ	Ⅳ Ⅳ	Ⅳ Ⅳ
8	贾鲁河郑州排污控制区	景观娱乐用水区	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ
9	贾鲁河中牟排污控制区	农业用水区	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ
10	贾鲁河扶沟排污控制区	景观娱乐用水区	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ
11	贾鲁河西华排污控制区	农业用水区	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ
12	汾泉河漯河排污控制区	农业用水区	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
13	颍河周口排污控制区	景观娱乐用水区	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
14	颍河项城、沈丘排污控制区	农业用水区	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
15	颍河阜阳排污控制区	景观娱乐用水区	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ

表 4 研究区重点优控污染物控制目标

Table 4 Target of key priority pollutant in SRB

等级	镉(mg·L <sup>-1</sup> )	氨氮(mg·L <sup>-1</sup> )	硝基苯(mg·L <sup>-1</sup> )	苯并(a)芘(mg·L <sup>-1</sup> )	表征意义
I 级	0.015	/	0.007	4.41×10 <sup>-4</sup>	95%物种存活率
II 级	0.061	/	0.009	4.70×10 <sup>-4</sup>	85%物种存活率
III 级	0.213	/	0.014	6.02×10 <sup>-4</sup>	70%物种存活率
IV 级	0.884	/	0.027	9.56×10 <sup>-4</sup>	50%物种存活率
夏季	/	0.33	/	/	/
非夏季	/	0.54	/	/	/

“/”指无控制目标值。

表 5 研究区生态流量目标(单位:m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>)

Table 5 Ecological Flow Target in SRB (unit: m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>)

断面	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
周口	10.97	10.97	10.97	30.37	30.37	30.37	30.37	30.37	30.37	10.97	10.97	10.97	20.67
界首	5.19	5.19	5.19	6.51	8.01	19.15	25.12	24.60	19.15	11.76	6.26	5.19	11.78

表 6 研究区水功能区保护物种及底栖动物完整性目标

Table 6 Protected species and B-IBI of WFZ in SRB

序号	功能区名称	鱼类保护物种	B-IBI目标
1	沙河鲁山排污控制区	长吻鮠	>60
2	沙河郾城排污控制区	黄颡鱼	>60
3	颍河登封排污控制区	黄颡鱼	>60
4	颍河禹州排污控制区	暗色沙塘鳢	>60
5	颍河郾城排污控制区	暗色沙塘鳢	>60
6	清颍河长葛排污控制区	暗色沙塘鳢	>60
7	清颍河许昌排污控制区	暗色沙塘鳢	>60
8	贾鲁河郑州排污控制区	暗色沙塘鳢	>60
9	贾鲁河中牟排污控制区	大银鱼	>60
10	贾鲁河扶沟排污控制区	鳊	>60
11	贾鲁河西华排污控制区	黄颡鱼	>60
12	汾泉河漯河排污控制区	黄颡鱼	>60
13	颍河周口排污控制区	黄颡鱼	>60
14	颍河项城、沈丘排污控制区	鳊	>60
15	颍河阜阳排污控制区	大银鱼	>60

标,在现有排污状况下,原来的颍河登封工业用水区、调整后的颍河登封过渡区接纳的COD和NH<sub>3</sub>-N负荷需要进行大幅度削减.其中,颍河登封工业用水区需削减COD 347.94 t·a<sup>-1</sup>、NH<sub>3</sub>-N 68.09 t·a<sup>-1</sup>,削减比例分别为79.07%和93.10%;颍河登封过渡区需削减COD 36.47 t·a<sup>-1</sup>、NH<sub>3</sub>-N 11.36 t·a<sup>-1</sup>,削减比例分别为72.00%和94.43%.

### 4 结论

从水质目标管理的角度,剖析我国现行水功能区设置与管理存在的不足,重点提出了取缔水功能区二级区划的排污控制区,构建了“水生态功能分区及压力分区-水质演化及水质目标需求-完整性目标指标构建”的水功能区调整技术路径.综合水质安全和水生态生境健康的目标要求,根据淮河流域沙颍河子流域现状水功能区功能分析,综合考虑水生态功能分区及其用水需求,开展了15个排污控制区功能与目标的调整实践,增加生物安全、生境健康的水体物理与生物完整性指标,并进行了可行性和目标可达性分析.

采用水域纳污能力一维模型,计算调整后的水功能区纳污能力,具体见表8.

由表可知,兼顾上、下游水功能区的水质达

表7 颍河登封-禹州段水功能区调整前后基本情况

Table 7 Basic information of WFZ of Yinghe Dengfeng-Yuzhou section

编号	原二级水功能区	调整后二级水功能区	原水质目标	调整后水质目标	现状水质	长度(km)
1	颍河登封工业用水区	颍河登封工业用水区	Ⅲ	Ⅲ	劣V	16.6
2	原颍河登封排污控制区	过渡区	*	Ⅱ	劣V	18
	颍河登封过渡区	颍河登封过渡区	Ⅲ	Ⅱ	劣V	15.7
3	颍河白沙水库景观娱乐用水区	颍河白沙水库景观娱乐用水区	Ⅱ	Ⅱ	劣V	/
4	颍河禹州农业用水区	颍河禹州农业用水区	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	3.8
5	—	颍河禹州过渡区(增设)	—	Ⅱ	Ⅲ	18.8
6	颍河禹州饮用水源区	颍河禹州饮用水源区	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	9.7

表8 调整前后水功能区纳污能力及2018年现状排污量(单位:t·a<sup>-1</sup>)Table 8 Pollutant-holding capacity before and after adjustment & current discharge capacity in 2018 (unit:t·a<sup>-1</sup>)

水功能区名称	调整前纳污能力		调整后纳污能力		现状排污量	
	COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N
颍河登封工业用水区	92.12	5.05	92.12	5.05	440.06	73.14
颍河登封排污控制区(原)	67.02	3.33	14.18	0.67	25.17	4.33
颍河登封过渡区	1.38	0.02			25.48	7.7
颍河白沙水库景观娱乐用水区	821.25	100.19	821.25	100.19	4.54	0.39
颍河禹州农业用水区	119	6	103.57	1.81	0	0
颍河禹州过渡区(增设)	—	—	42.88	1.2	—	—
颍河禹州饮用水源区	0	0	0	0	0	0
合计	1100.77	114.59	1074	108.92	495.25	85.56

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国水利部. 水功能区划技术大纲. 北京: 中华人民共和国水利部, 2000. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China; Technical outline of water functional zoning. Technical Report. Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Beijing, 2000.)
- [2] 田英, 张悦. 水功能区调整工作浅析. 东北水利水电, 2016, 34(6): 38—39. (Tian Y, Zhang Y. An analysis of the adjustment of the water functional zone. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2016, 34(6): 38—39.)
- [3] 彭文启. 新时期水生态系统保护与修复的新思路. 中国水利, 2019(17): 25—30. (Peng W Q. New route for the protection and restoration of aquatic ecosystem in the new period. China Water Resources, 2019(17): 5—30.)
- [4] USEPA. Clean Water Act. <http://www.epa.gov/regulations/laws/cwa.html>.
- [5] USEPA. Consolidated Assessment and Listing Methodology. <https://www.epa.gov/waterdata/consolidated-assessment-and-listing-methodology-calm>.
- [6] Downing J A, Polasky S, Olmstead S M, et al. Protecting local water quality has global benefits. Nature Communications, 2021, 12(1), doi: 10.1038/s41467-021-22836-3.
- [7] 袁弘任, 罗小勇. 长江片水功能区划分方法与实践. 人民长江, 2001(7): 13—15. (Yuan H R, Luo X Y. The method and practice of water function demarcation of the Yangtze River. Yangtze River, 2001(7): 13—15.)
- [8] 李祥龙, 彭勃, 封克俭, 等. 黄河流域水功能区划及其特点. 人民黄河, 2004(4): 24—25. (Li X L, Peng B, Feng K J, et al. The water function zoning and

- characteristics of The Yellow River Basin. Yellow River, 2004(4): 24—25. )
- [9] 杜鹏程. 淮河流域(片)水功能区划和管理措施. 治淮, 2004(4): 22—24. (Du P C. Huaihe River Basin water functional zoning and management measures. Huaihe River Harness, 2004(4): 22—24. )
- [10] 尤珍. 太湖流域着力推进水功能区管理. 中国水利报, 2007(3): 1. (You Z. Taihu Lake basin efforts to promote water function zone management. China Water Resources News, 2007(3): 1.)
- [11] 刘晨. 关于水功能区管理的若干思考. 中国水利, 2004(4): 19—20, 16. (Liu C. Thoughts on water function region management. China Water Resources, 2004(4): 19—20, 16.)
- [12] 徐树媛, 张永波. 关于对水功能区划工作中若干问题的思考. 山西科技, 2006(3): 61—62. (Xu S Y, Zhang Y B. Thinking on the problems in the function compartment of water. Shanxi Science and Technology, 2006(3): 61—62. )
- [13] 阳平坚, 郭怀成, 周丰, 等. 水功能区划的问题识别及相应对策. 中国环境科学, 2007(3): 419—422. (Yang P J, Guo H C, Zhou F, et al. Identification of problems of water function zoning and corresponding countermeasures. China Environmental Science, 2007(3): 419—422.)
- [14] 彭文启. 河湖健康评估指标、标准与方法研究. 中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(5): 394—404, 416. (Peng W Q. Research on river and lake health assessment indicators, standards and methods. Journal of China Institute of Water Resources and Hydro-power Research, 2018, 16(5): 394—404, 416. )
- [15] 中华人民共和国水利部. 中国水功能区划. 北京: 中华人民共和国水利部, 2002. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China: Water functional zoning in China. Government Report. Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Beijing, 2002.)
- [16] 人大公报. 关于《中华人民共和国水法(修订草案)》的说明. [http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/2002-10/18/content\\_5300890.htm](http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/2002-10/18/content_5300890.htm).
- [17] 中华人民共和国水利部. 水功能区管理办法. 北京: 中华人民共和国水利部, 2003. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Water functional zone management methods. Government Report. Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Beijing, 2003.)
- [18] 中华人民共和国国家标准. 水功能区划分标准. GB/T 50594-2010. (State Standard of the People's Republic of China. Standard for water function zoning. GB/T 50594-2010. )
- [19] 中华人民共和国水利部. 《全国重要江河湖泊水功能区划》专题. [http://www.mwr.gov.cn/ztpd/2012ztbd/qgzylhpsgnqh/qwjd/201202/t20120207\\_313547.html](http://www.mwr.gov.cn/ztpd/2012ztbd/qgzylhpsgnqh/qwjd/201202/t20120207_313547.html).
- [20] 彭文启. 《全国重要江河湖泊水功能区划》的重大意义. 中国水利, 2012(7): 34—37. (Peng W Q. Water function zoning of national key rivers and lakes and its importance. China Water Resources, 2012(7): 34—37.)
- [21] 中华人民共和国水利部. 水功能区监督管理办法. 北京: 中华人民共和国水利部, 2017. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Methods of water function area supervision and administration. Government Report. Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Beijing, 2017.)
- [22] 中华人民共和国水利部. 水利部关于印发《水功能区监督管理办法》的通知. [http://www.mwr.gov.cn/zw/tzgg/tzgs/201703/t20170313\\_880726.html](http://www.mwr.gov.cn/zw/tzgg/tzgs/201703/t20170313_880726.html).
- [23] 国家环境保护总局环境规划院. 水环境功能区划分技术导则. 北京: 国家环境保护总局, 2001. (Environmental Planning Institute of the State Environmental Protection Administration. Technical guidelines for the Partition of Functional Sections of Surface Water. Government Report. State Environmental Protection Administration, Beijing, 2001.)
- [24] 国家环境保护总局. 中国地表水环境功能区划. 北京: 国家环境保护总局, 2002. (State Environmental Protection Administration. Functional zoning of surface water environment in China. Government Report. State Environmental Protection Administration, Beijing, 2002.)
- [25] 余向勇, 吴舜泽, 邦得雷德, 等. 基于路径系统的水环境功能区与水功能区综合区划研究—以海河流域为例//中国环境科学学会 2009 年学术年会论文集, 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 656—659. (Yu X Y, Wu Y Z, Bonderide, et al. A study on the comprehensive zoning of water environment function and water function based on path system: Taking Haihe river basin as an example//Collection of

- papers at the 2009 annual conference of the chinese academy of environmental sciences (v. I). Beijing, China:Beihang University Press,2009:656—659.)
- [26] 程绪水.关于进一步推进水功能区管理工作的思考.中国水利,2012(7):46—47,51.(Cheng X S. Studies on water function zone management. China Water Resources,2012(7):46—47,51.)
- [27] Paudel S, Koprowski J L, Thakuri U, et al. Ecological responses to flow variation inform river dolphin conservation. Scientific Reports, 2020, 10(1). DOI:10.1038/s41598-020-79532-3.
- [28] 徐宗学,顾晓昀,左德鹏.从水生态系统健康到河湖健康评价研究.中国防汛抗旱,2018,28(8):17—24,29.(Xu Z X,Gu X Y,Zuo D P. Studies on the health assessments: From aquatic ecosystems to rivers/lakes. China Flood & Drought Management,2018,28(8):17—24,29.)
- [29] Clarke R T, Wright J F, Furse M T. RIVPACS models for predicting the expected macroinvertebrate fauna and assessing the ecological quality of rivers. Ecological Modelling, 2003, 3(160):219—233.
- [30] Sudaryanti S, Trihadiningrum Y, Hart B T. Assessment of the biological health of the Brantas River, East Java, Indonesia using the Australian River Assessment System (AUSRIVAS) methodology. Aquatic Ecology, 2001, 2(35):135—146.
- [31] Kallisa G, Butlerb D. The EU water framework directive measures and implications. Water Policy, 2001, 2(3):125—142.
- [32] 张永勇,夏军,翟晓燕.闸坝的水文水环境效应及其量化方法探讨.地理科学进展,2013,32(1):105—113.(Zhang Y J,Xia J,Zhai X Y. The hydrologic-environmental effects of dams and sluices and the assessment frameworks. Progress in Geography, 2013, 32(1):105—113.)
- [33] 孟伟,刘征涛,张楠,等.流域水质目标管理技术研究(II):水环境基准、标准与总量控制.环境科学研究,2008(1):1—8.(Meng W, Liu Z T, Zhang N, et al. The Study on Technique of Basin Water Quality Target Management ( II): Water environmental criteria, standard and total amount control. Research of Environmental Sciences, 2008(1):1—8.)
- [34] 李会仙,吴丰昌,陈艳卿,等.我国水质标准与国外水质标准/基准的对比分析.中国给水排水,2012,28(8):15—18.(Li H X, Wu F C, Chen Y Q, et al. Comparative analysis on chinese water quality standards and foreign water quality standards/criteria. China Water & Wastewater, 2012, 28(8):15—18.)
- [35] Wang T Y, Zhou Y Q, Bi C C. Determination of water environment standards based on water quality criteria in China: limitations and feasibilities. Journal of Environmental Sciences, 2017, 7(57):127—136.
- [36] 中华人民共和国行业标准.地表水水环境质量标准. GB3838-2002. (State Standard of the People's Republic of China. Water environmental quality standard for surface water. GB3838-2002.)
- [37] 中华人民共和国行业标准.河湖健康评估技术导则. SL/T793-2020. (State Standard of the People's Republic of China. Technical guidelines for river and lake health assessment. SL/T793-2020.)
- [38] 潘扎荣,阮晓红.淮河流域河道内生生态需水保障程度时空特征解析.水利学报,2015,46(3):280—290.(Pan Z R, Ruan X H. Spatio-temporal analysis of satisfactory degree of ecological water demand in Huaihe river basin. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(3):280—290.)
- [39] 中华人民共和国国家标准.水域纳污能力计算规程. GB/T 25173-2010. (Professional Standard of the People's Republic of China. Calculation procedures of computation on permissible pollution bearing capacity of water bodies. GB/T 25173-2010.)
- [40] 丁婷婷.沙颍河流域典型污染物的水生生物基准推导及生态风险评估.硕士学位论文.合肥:安徽建筑大学,2019.(Ding T T. Study on Water Quality Criterion and Ecological Risk Assessment of Typical Contaminants in Shaying River Basin. Master Dissertation. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2019.)

(责任编辑 杨 贞)