

环巢湖地区沙河流域污染负荷总量控制及削减措施

谢三桃¹, 朱慧雯¹, 叶勇², 朱璇睿¹, 李然¹, 汪可欣¹

(1. 安徽省水利水电勘测设计研究总院有限公司, 安徽 合肥 230088;

2. 安徽泛湖生态科技股份有限公司, 安徽 合肥 230601)

摘要: 针对巢湖污染负荷总量控制的问题, 以巢湖二级子流域沙河流域为研究对象, 基于对沙河流域水文特征、河道水质受损情况、污染源分布及源强评估分析, 建立了陆域污染物负荷与水质定量响应关系, 识别了流域重点控制区域, 通过水文模拟模型(HSPF)模拟了流域污染负荷总量控制目标值, 并制定了污染负荷削减分配方案。结果表明: 在工业点源污染、生产区径流污染、村镇生活污水处理严格执行巢湖流域地方排放标准, 镇区截污纳管率提高到80%, 村镇坑塘治理率达到85%以上等削减措施情景下, 各管控区域出口断面水质可达到目标水质考核要求。

关键词: 污染负荷总量控制; 水污染防治; 水文模拟模型; 沙河流域

中图分类号: X321

文献标志码: A

文章编号: 1004-6933(2024)01-0127-08

Total pollution load control and reduction measures in the Shahe River Basin around Chaohu Lake//XIE Santao¹, ZHU Huiluan¹, YE Yong², ZHU Xuanrui¹, LI Ran¹, WANG Kexin¹ (1. Anhui Survey & Design Institute of Water Resources & Hydropower Co., Ltd., Hefei 230088, China; 2. Anhui PLAKeco Ecological Science and Technology Co., Ltd., Hefei 230601, China)

Abstract: Aiming at the problem of total pollution load control in Chaohu Lake, the Shahe River Basin, the second sub-basin of Chaohu Lake, was taken as the research object. Based on the evaluation and analysis of the hydrological characteristics, water quality damage, the distribution and intensity of pollution sources, the quantitative response relationship between land pollutant load and water quality was established. Identify key control areas in the watershed, simulate the target value of total pollution load control in the watershed through the hydrological simulation program fortran (HSPF), and develop pollution load reduction and allocation plan. The results show that under the reduction measures such as, strict implementation of Chaohu Lake Basin discharge standards for industrial point source pollution, runoff pollution in production area and domestic sewage treatment in villages and towns, increase of township sewage interception and sewerage rate to 80%, and increase of village and township pond treatment rate to 85% or above, the water quality at the outlet of each control area can meet the target assessment requirements.

Key words: total pollution load control; water pollution prevention and control; hydrological simulation program fortran; Shahe River Basin

巢湖为我国第五大淡水湖和全国水污染重点防治的“三河三湖”之一, 是长江下游重要生态湿地和维护长江生态安全的重要屏障^[1-2]。巢湖流域面积1.35万km², 约占安徽省总面积的9.3%, 涉及合肥、芜湖、马鞍山、六安、安庆5市共17个县(市、区)。其中合肥市辖巢湖流域面积6975km², 占巢湖流域面积的51.7%, GDP从2000年的369.16亿元, 上升到2020年的10045.72亿元, 增长约27倍。流域城镇化尤其是合肥市区快速发展对巢湖水环境造成巨大压力, 加强巢湖治理与保护对于城湖共生至关重要^[3]。2011年巢湖行政区划调

整后, 合肥市全面启动了环巢湖地区生态保护与修复工程建设, 按照“治湖先治河, 治河先治污, 治污先治源”的总体思路, 先后投入约400亿元资金, 陆续开展了一至六期工程建设^[4-5]。此后, 在流域经济总量和城镇人口高速增长的压力下, 巢湖水环境恶化趋势得到有效遏制, 湖区水质由V类转为IV类, 但成效很不稳固, 尤其对流域污染源时空分布解析不够精准, 污染负荷削减及总量分配缺乏有效的技术和管理手段。因此开展典型流域污染负荷总量控制及分配研究, 对巢湖综合治理具有重要指导作用^[6-8]。

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017X07603-005)

作者简介: 谢三桃(1978—), 男, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事河湖水环境治理与水生态修复研究。E-mail: 416946371@qq.com

推行污染物总量控制对于流域水环境治理至关重要且成效显著^[9-10]。迄今为止,美国所有州都已对受损水体实施了染物总量控制计划,通过审批的项目已超过 50 000 个。我国自“八五”以来不断探索污染物总量控制模式,先后提出水环境容量控制、COD 和 NH₃-N 目标总量控制及排污许可证等管理计划^[11-13],其主要是解决点源排放量与环境目标之间的定量关系,但对非点源污染的研究尚不够深入,存在源负荷与水质响应关系不明确、源负荷总量分配不合理等问题^[14]。且由于缺乏长系列水文、水质数据和系统性、精细化流域污染源调查数据支撑,染物总量控制计划在流域水环境治理中难以推行。

巢湖流域河流众多,入湖河流共 39 条,每个子流域都是一个完整的水文循环单元,也是资源供求、人与自然、发展与水环境保护的矛盾冲突集合体^[15-16]。在子流域尺度开展总量控制计划管理,阐明流域水环境治理“减什么、减哪里、减多少、怎么减、如何管”等核心问题,是巢湖水环境治理关键举措^[3]。沙河是巢湖二级支流,流域呈低山丘陵与圩垸相连的地形地貌特征,产业结构以村镇生活和农业生产为主,并分布有规模化畜禽养殖和磷矿等工矿企业,是典型的农村污染型流域,其流域特征和污染类型在环巢湖地区具有一定代表性和典型性。本文以沙河流域为研究对象,通过收集整理流域内水文、水质及污染源等基础资料,分级构建及识别流域重点控制区域,建立陆域污染源负荷与水体水质定量响应关系,构建流域染物总量控制模型,定量计算在水质目标前提下的流域允许排放负荷,制定沙河流域污染物总量分配方案,提出各控制区域水环境治理量化削减措施建议,以期为巢湖流域水环境管理提供技术支撑。

1 研究区概况与研究数据

1.1 研究区概况

沙河是南淝河汇入巢湖的最后一支支流,流域面积为 51.45 km²,干流河道全长 23.3 km。上中游地形起伏变化明显,比降大,坡降幅度高达 60 m 左右,下游圩区地势较为平坦,高程变化不明显,河道平均比降为 2.6‰,沿河拦水堰(坝)28 处,5 座小型水库,沙河流域地理位置及水系分布见图 1。流域涉及行政区域有桥头集镇、撮镇镇等,覆盖 13 个行政村,2019 年常住人口共 36 874 人,其中农村人口占 55.5%,居民人均可支配收入 1.8 万元。沙河流域属于典型农村流域,农用地类型主要有旱地、水田、果园、水产养殖鱼塘等 4 种,占土地总面积的 45%。受地形地貌及自然资源分布影响,流域内产

业及人口分布差异较大。上游迎春水库汇水范围内建有 1 座规模化养殖场,中上游以磷石膏堆场和生产农业肥料工矿企业为主,人口主要分布在中游的桥头集、复兴及长乐社区,中下游以规模化农业种植、樱桃园等为主。沙河流域土地利用类型见图 2。



图 1 沙河流域地理位置及水系分布
Fig.1 Location and dstrbution map of water system of the Shahe River Basin

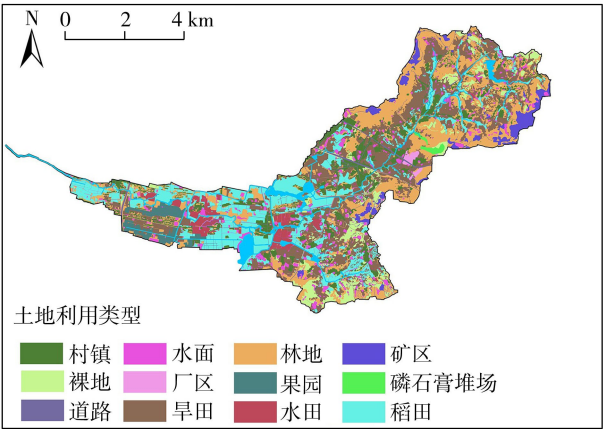


图 2 沙河流域土地利用类型
Fig.2 Land use types in the Shahe River Basin

1.2 数据来源及处理

- a. 水质数据。沙河各断面 2018—2020 年逐月水质监测数据由肥东县环保部门提供。为准确率定流域水质模型相关参数,项目组于 2018 年 6 月至 2019 年 6 月采用自动在线监测设备进行监测,共 6 个监测断面,主要分布于沙河重点污染源下游,具体位置见图 3,监测频次为 1 次/d,主要监测指标为水温、流量、化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP),样品分析方法参照《废水监测分析方法》进行。
- b. 设计水文条件。由于研究区内无水文站点,采用附近塘西水文站为参证站,根据该站 1958—2020 年雨量数据,采用 P-Ⅲ曲线拟合确定近 2010—2020 年径流保证率和年型,并采用 2018—2020 年实测数据进行验证。由于沙河内闸坝较多,河流受

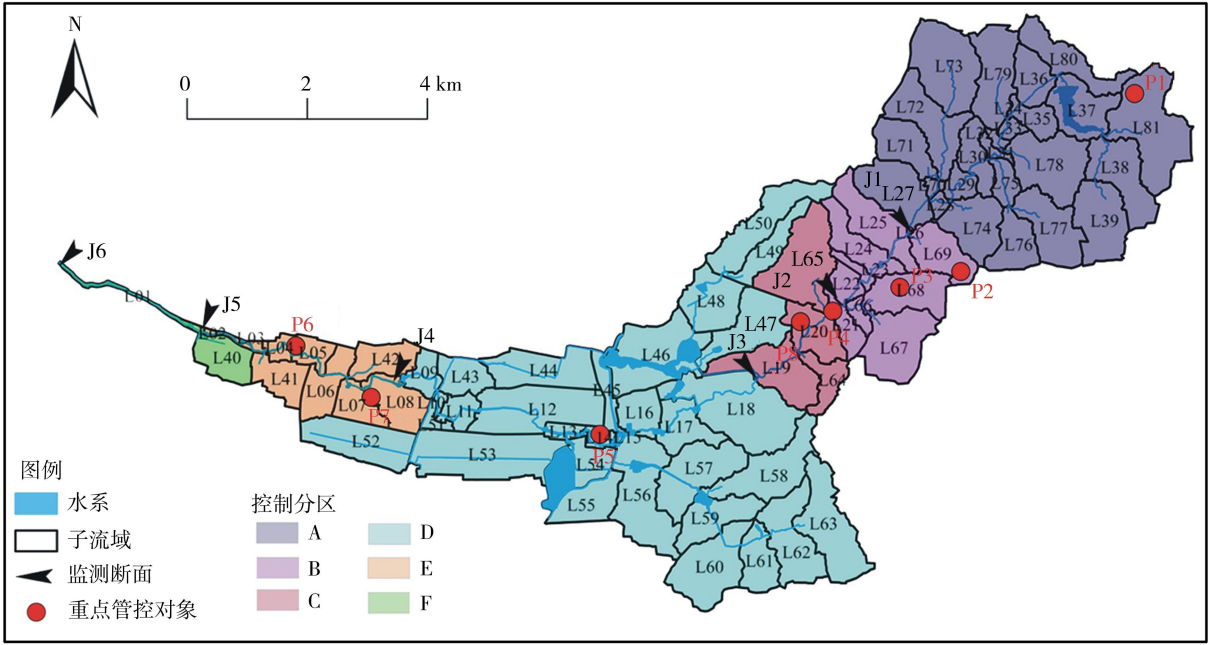


图3 沙河流域污染总量管控区域及子单元划分

Fig.3 Total pollution control area and subunit division of the Shahe River Basin

人为影响较大,径流与降雨保证率和年型不一致,考虑到径流量决定河流水环境容量,本文以流量保证率作为模型计算依据。

c. 污染源调查数据。参照《环巢湖地区污染源调查、监测与分析技术导则》(由合肥市环巢湖生态示范区建设领导小组办公室监制发布),依据沙河流域水系分布、地形地貌及污染源分布特点等,进行子单元划分,从点源、非点源及内源3个方面进行分类、分片调查。项目组于2018年6月开始,通过收集资料、填报数据、现场查勘及污染监测等方式,历时一年对沙河流域污染源进行了系统调查。污染物入河系数参照《第一次全国污染源普查产排污系数手册》选取、污水处理厂排水排污系数按照DB 34/2710—2016《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》(以下简称“巢湖地标”)确定。

2 研究方法

a. 水质目标确定。《合肥市水功能区划(2013—2030年)》对沙河流域水功能区的水质类别要求为到2020年水质管理目标达到Ⅳ类,依据该要求,沙河出口水质应基本达到Ⅳ类标准。考虑到区域经济社会高质量发展与巢湖污染总量控制等需求,本文拟定沙河出口考核断面水质目标为Ⅲ类。以一年中每月采样1次,全年12次监测数据只允许最大超标2次作为水质达标评价基准,即以16.67%(即2/12)作为考核基准来评估考核断面水质浓度是否达标或超标。

b. 子流域及管控单元划分。依据现场勘查和地形高程、河网水系等将沙河流域共划分81个子流域,每个子流域平均面积控制在1 km²以内(图3)。为科学划定水体受损目标责任主体,明确各级河长制及考核断面的管控区域和管控位置。基于沙河流域水文特征、河道水体受损情况、污染源分布和贡献程度评估分析、行政单元划分等统筹考虑,结合沙河流域DEM数据(精度为5 m),将流域划分成A、B、C、D、E、F6个总量控制分区。并对各子流域单元汇水方向和汇流路径进行拓扑关系梳理(图4),依据污染源分布及污染特征,识别3级重点管控区域,即优先级分别为Ⅰ级(B区)、Ⅱ级(C、D、E区)、Ⅲ级(A、F区)等,具体见表1。

c. 总量控制计算模型。结合沙河流域特征,在制定沙河流域总量控制计划时,选用水文模拟模型(hydrological simulation program fortran, HSPF)作为模型工具。HSPF为美国环境保护署常用的流域模型,包含对流域内陆域水文、河道水力、泥沙、水质、水生态的完整模拟能力,由水平衡、温度、DO、BOD、营养盐、浮游生物、泥沙等模块组成,通过识别流域内土地利用类型、输入不同典型年降雨数据,模拟降雨驱动下入河污染负荷量,并可建立污染负荷与河道水质响应关系。HSPF模型具体操作步骤包括:①确定模型输入数据类型和精度。包括地形高程(精度为5 m左右)、高清影像(精度为0.5 m左右)、土地利用类型、河道断面测绘(每200 m测绘1个)、气象数据(逐小时)、点源排口(选取工作日和非工作日逐小时监测)、面源(不同降雨条件下按降雨

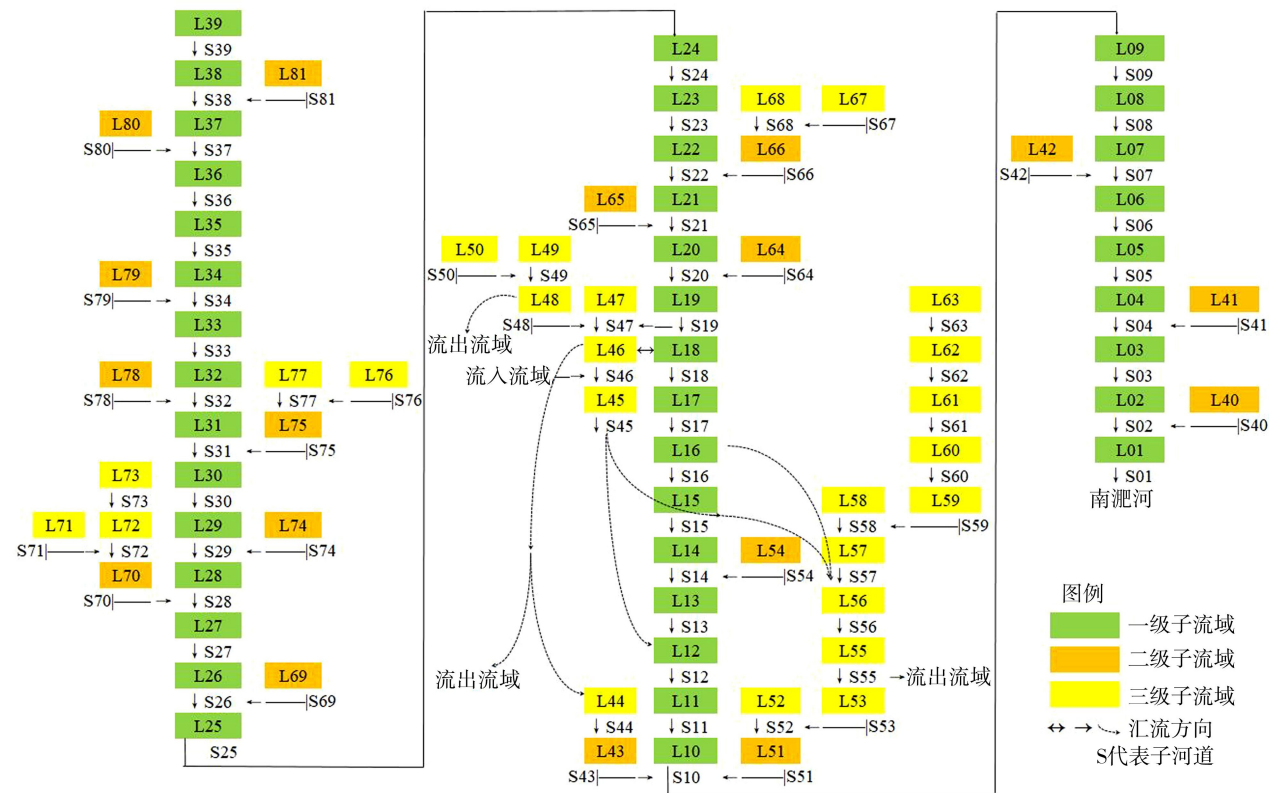


图 4 沙河流域各管控区域产汇流拓扑关系

Fig. 4 Topological relationship of runoff generation and confluence in each controlled area of the Shahe River Basin

表 1 沙河流域污染重点控制分识别说明

Table 1 Identification of key pollution control areas in the Shahe River Basin

控制分区	重点污染源	水体水质状况表征	水体受损原因	管控等级
A 区	鑫顺养殖场、沙河沿岸村庄、农田区域	Ⅲ ~ V 类, 重点指标为 COD	受鑫顺养殖场及农田尾水影响	Ⅲ
B 区	红四方磷石膏堆场、红四方厂区、红四方废水站等	Ⅳ ~ 劣 V 类, 重点指标为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP	受红四方废水站排口、磷石膏堆场非点源污染影响	I
C 区	桥头集镇区点源、雨水非点源等	Ⅲ ~ V 类, 重点指标为 COD	受桥头集镇区生活源影响	Ⅱ
D 区	复兴社区沿河岸边聚集区、农田种植等	Ⅳ ~ V 类, 重点指标为 COD、TP	受农田非点源污染及潜在污染源影响	Ⅱ
E 区	长乐社区沿河岸边聚集区、农田种植等, 尤其是樱桃园规模化种植	Ⅲ ~ V 类, 重点指标为 COD	受沿岸聚集区及农田非点源污染影响	Ⅱ
F 区	农田等	Ⅲ ~ V 类, 重点指标为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP	受下游污染水体顶托影响	Ⅲ

前后以 10 min 至逐小时不同频次监测) 等。②利用 2018 年河道监测数据进行模型率定, 包括流量、水位、水温、DO 以及其他水质指标, 水位、水温和 DO 模拟值和监测值之间的平均偏差约 10%, COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 模拟值和监测值之间的平均偏差约 20%; 利用 2019—2020 年河长制和在线设备监测数据进行模型验证, 结果与模型率定偏差值基本相符。③削减措施评估是对所要实施的工程或管理措施进行模型概化表达, 主要建立在对流域现状污染负荷估算和设计参数的前提下, 依据总量控制目标, 确定不同区域点源与面源削减比例, 模拟预测不同措施对考核断面水质的影响变化。

d. 总量控制计划方法。总量控制的关键是建立陆域污染源负荷与水质定量响应关系, 制定污染

负荷总量控制目标, 合理确定污染负荷削减分配方案^[17-19]。污染负荷分配的方法众多, 如等比例分配法、等量分配法、总处理费用最小分配法等^[20], 但其分配原则需要根据措施可实施性、经济性、效果性、污染排放责任主体公平性和污染贡献程度等因素来确定。根据沙河流域每个总量控制单元不同的污染特征和责任主体, 污染源负荷削减分配以污染源对水体受损贡献程度为主导, 点源制定严格的排放许可, 非点源根据负荷和源强大小执行“谁污染贡献大削减谁”的原则。

3 污染负荷总量控制及分配

3.1 现状水环境评估

依据沙河河长制 2018—2020 年全断面水质监

测数据并结合项目组验证监测数据分析,沙河水质总体呈现Ⅳ~劣Ⅴ类向Ⅲ和Ⅴ类转好的趋势。其中COD、NH₃-N基本达到Ⅲ~Ⅳ类标准,竹塘桥断面波动明显;TP质量浓度全年均值为0.5 mg/L,最大超标倍数为3.15倍,是主要污染因子。根据污染源识别与调查发现,流域内点源主要以沿岸城镇生活污水直排、畜禽养殖污染排口、工业废水站尾水排口及城镇污水厂尾水排口等为主,非点源主要以中上游红四方磷石膏堆场、生产区及城镇地表径流污染以及中下游规模化种植业、农村生活污染等为主。

3.2 污染负荷分析

基于沙河流域 HSPF 模型,得到沙河流域2020年COD污染负荷入河总量为655.21 t/a,其中点源为17.19 t/a,非点源为638.02 t/a;NH₃-N污染负荷入河总量为9.05 t/a,其中点源为1.53 t/a,非点源为7.52 t/a;TP污染负荷入河总量为10.57 t/a,其中点源为0.48 t/a,非点源为10.09 t/a。根据入河排污口分布情况及面源产汇流基本规律,各管控区域入河污染负荷统计及源强见表2。

图5为沙河流域不同污染物源强空间分布,源强系数即单位时间单位面积负荷量。由图5可见,A区污染负荷主要来源于鑫顺养殖场点源,B区TP污染负荷主要以红四方磷石膏堆场及厂区的面源为主,C、D、E区点源主要以桥头集、复兴和长乐社区生活源为主,面源主要以农业种植为主。分析源

表2 沙河流域各管控区域入河污染负荷量

Table 2 Pollution load of each controlled area entering the Shahe River Basin

管控区域	COD 入河 负荷量/(t/a)	NH ₃ -N 入河 负荷量/(t/a)	TP 入河 负荷量/(t/a)
A 区	143.62	1.342	1.116
B 区	76.81	2.595	6.073
C 区	78.09	0.764	0.515
D 区	296.91	3.352	2.390
E 区	56.08	0.937	0.443
F 区	3.71	0.060	0.030

强可以看出,非点源中COD源强系数由大到小为:村镇、水田、红四方厂区、水面等,TP源强系数由大到小为:红四方厂区、磷石膏堆场、村镇、水田、水面等,NH₃-N源强系数由大到小为:红四方厂区、水田、村镇等。

3.3 污染负荷与水质响应关系分析

利用沙河流域 HSPF 模型,输入降雨、径流及污染物迁移转化进行模拟,结果表明,按照地表水Ⅲ类水质目标考核,出口考核断面COD、NH₃-N、TP超标率分别为67.43%、9.03%、96.62%,如图6所示。超标原因主要与村镇生活、红四方厂区、磷石膏堆场及农业退水等污染有关。

3.4 污染负荷总量计算与分配

3.4.1 污染物最大日负荷总量计算

污染物最大日负荷总量由流域内点源允许排放

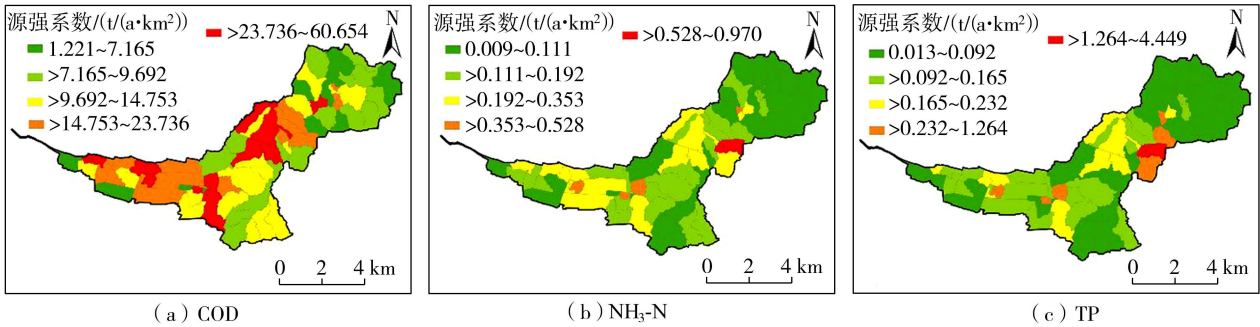


图5 沙河流域不同污染源源强空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of different pollution source intensity in the Shahe River Basin

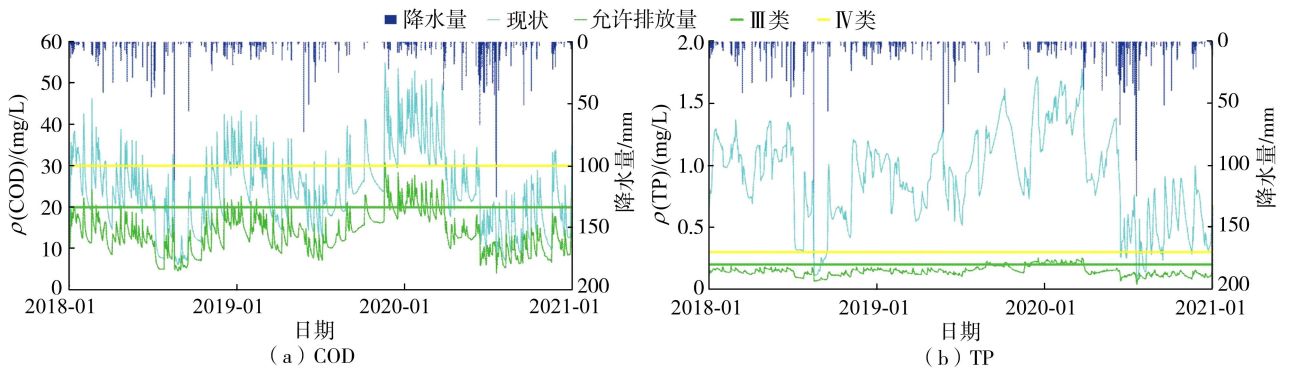


图6 沙河出口考核断面水质与陆域污染源负荷响应关系

Fig. 6 Relationship between water quality and load response of land pollution sources at assessment section of the Shahe River

量、非点源允许排放量及安全余量组成^[21-22]。国内外相关研究表明,安全余量可在模型计算时通过隐式参数融入总量控制中,亦可在总量控制中预留一定安全临界值,一般取水体最大纳污量的 5% ~ 10%^[23-24]。考虑沙河流域污染源以农业非点源为主的特点,本文选取 10% 作为安全余量。基于考核断面水质为Ⅲ类目标,借助 HSPF 模型,在典型水文年份(2018—2020 年)条件下,对沙河流域陆域水文、污染物迁移传输以及河道内迁移转化过程进行定量表达,计算得出沙河流域污染物的最大日负荷总量, COD、NH₃-N、TP 分别为 1 080. 63、22. 04、3. 88 kg/d,具体见表 3。

表 3 沙河流域污染物最大日污染负荷总量

Table 3 Maximum daily pollution load of pollutants in the Shahe River Basin			
类型	污染负荷量/(kg/d)		
	COD	NH ₃ -N	TP
点源	41. 82	1. 43	0. 33
非点源	934. 93	20. 61	3. 19
安全余量	103. 88	0. 00	0. 36
最大日负荷	1 080. 63	22. 04	3. 88

3.4.2 污染源负荷削减分配方案

根据对流域现状水环境评估及污染负荷分析,通过模型定量模拟,NH₃-N 质量浓度已经达到Ⅲ类标准,本文在污染源削减分配中仅对 NH₃-N 指标执行点源排放标准,非点源暂不做考虑。COD 主要削减 A ~ E 区村镇生活污染源,同时加强对各管控区域的水产养殖、稻田及旱地等农业面源污染防治。TP 主要削减红四方厂区和磷石膏堆场污染负荷,加强对桥头集、复兴及长乐社区生活污染源削减。在执行地表水Ⅲ类考核标准下,COD 和 TP 均需不同程度削减,COD 点源需从 17. 19 t/a 削减至 15. 26 t/a,非点源需从 638. 02 t/a 削减至 341. 25 t/a,总削减量占比 45. 59%;TP 削减尤为明显,点源需从 0. 48 t/a 削减至 0. 12 t/a,非点源需从 10. 09 t/a 削减至 1. 17 t/a,总削减量占比 87. 81%;NH₃-N 指标主要对点源执行排放标准,点源需从 1. 53 t/a 削减至 0. 52 t/a,总削减率达 65. 85%。各管控区域污染源削减分配情况具体见表 4。

按照上述污染源削减分配方案,通过 HSPF 模型模拟 2018 年 1 月至 2020 年 12 月流域降雨-产流、产污过程,以水质考核出口断面表征陆域污染源时空变化及对水体水质的影响情况,各指标现状和允许排放量下污染指标变化情况表明,沙河出口考核断面水质 COD、NH₃-N、TP 指标超标率分别为 9. 40%、4. 74%、12. 86%,均低于 16. 67% 的考核基准。

表 4 沙河流域各控制分区污染负荷削减量
Table 4 Reduction of pollution load in various controlled areas of the Shahe River Basin

控制分区	COD 削减量/(t/a)	NH ₃ -N 削减量/(t/a)	TP 削减量/(t/a)
A 区	63. 44	0	0. 858
B 区	32. 29	0. 763	5. 677
C 区	38. 75	0	0. 407
D 区	136. 71	0	1. 965
E 区	25. 89	0. 241	0. 350
F 区	1. 63	0	0. 023

4 污染物削减措施

4.1 点源污染负荷削减措施

点源污染负荷削减重点关注规模化畜禽养殖废水、沿河村镇生活污水直排及红四方工业废水站排口等。根据巢湖流域规模化畜禽养殖区划定相关政策,将 A 区鑫顺养殖场进行搬迁,对遗留的纳污坑塘采用生态化处理。提标改造 B 区红四方工业废水处理站工艺,严格执行巢湖地标排放标准。完善 C、E 区桥头集镇区与长乐社区管网系统,做好雨污分流,提高截污纳管率(不低于 80%)。结合乡村振兴建设,扩建桥头集镇污水处理厂规模,对长乐社区污水处理厂进行提标改造,从源头上减少点源污染负荷的产生。

4.2 非点源污染负荷削减措施

非点源污染具有分布面广、随机性大且污染成分复杂等特点。沙河流域需重点关注磷石膏堆场和红四方厂区、集镇区域地表径流、农村生活及农业生产等非点源污染。对于 B 区磷石膏堆场和红四方厂区高磷非点源污染,建议采用清洁生产和循环利用工艺,引进资源回收和综合利用新技术,加强磷石膏堆场防渗、防雨淋等防护措施,做好红四方厂区雨污分流,从源头上控制污染物产生和排放量;对于 C、E 区桥头集与长集镇区初期雨水径流污染,可利用镇区自然的沟塘洼地,构建生态沟和初雨调蓄净化塘系统,就地拦截削减非点源污染物;对于 C、D、E、F 区农田、果园及水产养殖等农业非点源污染,应根据土地利用规划及测土配方技术,优化调整农业种植结构,减控化肥农药施用量,积极推行“源头控制-过程拦截-末端净化-灌溉回用”现代农业灌溉减排模式,构建农田沟塘渠系统或人工湿地等最佳流域管理措施,减少农田退水污染排放。

4.3 削减措施效果预测分析

根据沙河流域污染负荷总量控制及削减分配方案,按照巢湖地标,改扩建桥头集和长乐污水处理厂,对沿河排污口、红四方厂区和磷石膏堆场废水进行专项整治,拆除鑫顺养殖场;按照表流湿地建设要求(出水达地表水Ⅳ标准),对镇区坑塘和农田沟塘

进行系统治理,坑塘治理率不低于 85%,并对桃园种植区农业退水进行专项整治。基于以上削减措施进行模型表达和预测分析,各管控区域出口断面 COD、NH₃-N 及 TP 水质指标均能达到地表水Ⅲ类标准。

5 讨 论

5.1 污染源调查与模型分析成果差异

污染源调查分析方法是参照《全国污染源普查条例》有关规定,根据流域生活源、工业源及农业源等不同污染源类型的产排污当量和系数,统计计算入河污染负荷总量。HSPF 模型是从时间和空间上解析陆域水文变化特征、陆域污染物传输特征以及污染物在水体中的迁移转化特征,进而计算不同类型污染负荷、河道水质浓度等,并建立陆域污染源负荷与水体水质之间的定量响应关系。两者对于生活源与工业源污染负荷统计计算差别不大,但对于农业源污染负荷计算存在较大差异,前者是利用经验系数法估算得出,后者利用降雨驱动模拟产汇流过程计算得出,较为切合沙河流域实际,结果更合理。

5.2 HSPF 模型参数率定建议

沙河流域 HSPF 模型率定是以 2018 年河道和地块单元监测数据为主,模型验证采用的是 2019—2020 年河长制和在线设备监测数据。在参数率定及验证过程中,由于水文数据采用的是参证站数据,水质数据采用自动监测数据,受外部环境干扰,非点源入河污染负荷与水质响应关系存在一定偏差。建议在实操过程中注意:①不同来源的监测数据需要建立统一的质量保证计划;②流域治理是一个系统性工程,应建立长期的监测计划体系,包括对所实施工程措施和管理措施的全生命周期监测,充分掌握流域内水质变化规律及影响水质变化的因果;③除水质监测外,还应加强流域内水文相关监测,包括河道水位、流量等监测;④加强流域内陆域上不同非点源在不同降雨条件下的产流产污监测。

5.3 污染负荷总量分配方案与削减措施的可行性

污染负荷总量分配方案建立在沙河流域 HSPF 模型的基础上,分区识别主要污染源,建立陆域污染负荷与水域水质定量响应关系,制定总量分配方案,分区分类提出相应的削减措施。根据上述分析,沙河流域的红四方磷石膏堆场径流污染与中下游农业非点源污染是总量分配及治理重点对象。在实际操作过程中,污染重的企业是地方的纳税大户,按照“谁污染贡献大削减谁”的原则,往往存在利益博弈的问题,需要依靠国家相关政策法规,合理制定总量控制分配方案。目前,红四方磷石膏堆场正在按照

中央环保督查要求以及提出的总量分配方案进行专项整治。农业非点源污染防治是沙河流域综合治理的重点,其削减措施应以政府政策导向为主,工程措施为辅。积极推行土地流转,优化调整农业种植结构,减少化肥农药的施用量,并结合“小田变大田”调整,利用田间沟塘渠构建起农田湿地系统,是巢湖流域农村地区河道水环境治理的方向。

6 结 语

本文基于污染负荷总量控制理论体系,从确定流域水环境目标及解译流域特征出发,划分了总量控制单元并识别了重点污染管控区域,建立了污染源负荷与水体水质定量响应关系,通过 HSPF 模型计算最大日污染负荷总量,提出了污染源负荷分配方案,制定了污染物总量控制计划路径,为巢湖流域水环境治理提供了一套系统的、科学的治理思路和方法体系。本文借助数学模型工具,结合设计参数等资料,可预测分析在不同水文条件下,工程措施和管理措施在实施后对考核断面水质的影响,以逐步实现流域水环境目标。数学模型对措施预测评估是建立在对工程措施全过程监测基础上的,结合实测水文水质数据,通过不断迭代优化、完善模型,从而实现对流域的科学管控。流域污染负荷总量控制方法需要长系列水文、水质监测及污染源调查等数据支撑,为实现精准治污,建议地方政府定期组织开展流域污染源调查、监测与分析,建立流域水环境数据库。在制定污染负荷总量分配方案时,应充分征求地方政府及相关企业意见,并根据流域特点进行经济效益分析,制定适合流域的管理措施并付诸实施,是巢湖流域制定和实施流域污染负荷总量控制计划必须考虑的关键问题之一。

参考文献:

[1] 谢三桃,朱慧雯,唐晓先,等. 巢湖流域山水林田湖草生态保护和修复[J]. 水资源保护,2023,39(2):252-258. (XIE Santao, ZHU Huiluan, TANG Xiaoxian, et al. Ecological protection and restoration of mountain-river-forest-farmland-lake-grassland system in the Chaohu Lake Basin[J]. Water Resources Protection, 2023, 39(2): 252-258. (in Chinese))

[2] 谢三桃,朱青. 巢湖“一湖一策”技术思路及实施途径[J]. 中国水利,2017,9(20):9-12. (XIE Santao, ZHU Qing. Technical thinking and implementation of “one lake, one policy” in Chaohu Lake[J]. China Water Resources, 2017,9(20):9-12. (in Chinese))

[3] 张笛,田鑫,吴师. 南淝河污染通量解析与治理[J]. 水资源保护,2020,36(5):99-103. (ZHANG Di, TIAN

- Xin, WU Shi. Analysis of pollution flux in the Nanfeihe River and its treatment[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(5): 99-103. (in Chinese))
- [4] 高斌友, 仰礼信, 宋超. 巢湖治理与保护总体策略和创新实践[J]. 生物学杂志, 2016, 33(2): 1-7. (GAO Binyou, YANG Lixin, SONG Chao. Overall strategy and innovation practice of Chaohu Lake governance and protection[J]. Journal of Biology, 2016, 33(2): 1-7. (in Chinese))
- [5] 朱青, 唐红兵. 创新湖泊治理与保护思路加快巢湖治理与保护进程[J]. 水资源保护, 2013, 29(4): 54-55. (ZHU Qing, TANG Hongbing. Innovation of lake management and protection strategies and acceleration of Chaohu Lake management and protection progress[J]. Water Resources Protection, 2013, 29(4): 54-55. (in Chinese))
- [6] 夏文博, 朱青. 基于“城湖共生、绿色发展”理念的巢湖治理与保护策略研究[J]. 中国防汛抗旱, 2018, 12(28): 30-32. (XIA Wenbo, ZHU Qing. Research on Chaohu Lake governance and protection strategy based on the concept of "city lake symbiosis and green development" [J]. China Flood & Drought Management, 2018, 12(28): 30-32. (in Chinese))
- [7] 朱喜, 胡明明, 朱金华, 等. 巢湖水环境综合治理思路 and 措施[J]. 水资源保护, 2016, 32(1): 120-124. (ZHU Xi, HU Mingming, ZHU Jinhua, et al. Thoughts and measures of water environment comprehensive management in Chaohu Lake[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(1): 120-124. (in Chinese))
- [8] 周婷, 汪炎, 邹俊, 等. 基于 PCA 和 SVM 的遥感影像水体提取方法及验证[J]. 水资源保护, 2023, 39(2): 180-189. (ZHOU Ting, WANG Yan, ZOU Jun, et al. PCA and SVM-based algorithm of water area extraction from remote sensing images and its verification [J]. Water Resources Protection, 2023, 39(2): 180-189. (in Chinese))
- [9] 王东, 王玉秋, 巩莹, 等. 美国 TMDL 计划与典型案例实施[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [10] 左其亭, 庞莹莹. 基于和谐论的水污染物总量控制问题研究[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(3): 1-5. (ZUO Qiting, PANG Yingying. Total amount control problem of water pollutants based on harmony theory [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(3): 1-5. (in Chinese))
- [11] 孟伟, 张楠, 张远, 等. 流域水质目标管理技术研究(I): 控制单元的总量控制技术[J]. 环境科学研究, 2007(4): 1-8. (MENG Wei, ZHANG Nan, ZHANG Yuan, et al. Research on target management technology of watershed water quality (I): total amount control technology of control unit [J]. Research of Environmental Sciences, 2007(4): 1-8. (in Chinese))
- [12] 柯强, 赵静, 王少平, 等. 最大日负荷总量(TMDL)技术在农业面源污染控制与管理中的应用与发展趋势[J]. 生态与农村环境学报. 2009, 25(1): 85-91. (KE Qiang, ZHAO Jing, WANG Shaoping, et al. Application and development trend of maximum daily load (TMDL) technology in agricultural non-point source pollution control and management [J]. Journal of Ecology and Rural Environment 2009, 25(1): 85-91. (in Chinese))
- [13] 邢乃春, 陈捍华. TMDL 计划的背景、发展进程及组成框架[J]. 水利科技与经济, 2005, 11(9): 534-537. (XING Naichun, CHEN Hanhua. Background, development process and composition framework of TMDL plan [J]. Science, Technology and Economy of Water Conservancy, 2005, 11(9): 534-537. (in Chinese))
- [14] 杨龙, 王晓燕, 孟庆义. 美国 TMDL 计划的研究现状及其发展趋势[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(9): 72-76. (YANG Long, WANG Xiaoyan, MENG Qingyi. Research status and development trend of TMDL program in the United States [J]. Environmental Science and Technology, 2008, 31(9): 72-76. (in Chinese))
- [15] 边博, 夏明芳, 王志良, 等. 太湖流域重污染区主要水污染物总量控制[J]. 湖泊科学, 2012, 24(3): 327-333. (BIAN Bo, XIA Mingfang, WANG Zhiliang, et al. Total amount control of main water pollutants in seriously polluted area of Taihu Basin [J]. Journal of Lake Sciences, 2012, 24(3): 327-333. (in Chinese))
- [16] 张云宁, 杨琳, 欧阳红祥, 等. 基于面源污染和碳排放的长江经济带农业绿色生产效率提升路径[J]. 水利经济, 2022, 40(3): 24-33. (ZHANG Yunning, YANG Lin, OUYANG Hongxiang, et al. Improvement paths for green production efficiency of agriculture in Yangtze River Economic Belt based on non-point source pollution and carbon emission [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2022, 40(3): 24-33. (in Chinese))
- [17] 吴玲玲. 基于水质目标管理的颍河 TMDL 计划研究[D]. 南京: 南京大学地球科学与工程学院, 2018.
- [18] 许卓, 刘剑, 朱光灿. 典型水环境综合整治案例分析与启示[J]. 环境科技, 2008, 21(增刊2): 71-74. (XU Zhuo, LIU Jian, ZHU Guangcan. Analysis and enlightenment of typical water environment comprehensive improvement cases [J]. Environmental Science and Technology, 2008, 21(Sup2): 71-74. (in Chinese))
- [19] 徐宗学, 徐华山, 吴晓猛. 流域 TMDL 计划中的关键技术[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(1): 8-13. (XU Zongxue, XU Huashan, WU Xiaomeng. Key technologies in basin TMDL plan [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(1): 8-13 (in Chinese))

(下转第 141 页)

river[J]. River Research and Applications,2019,35(6):725-735.

[11] ZHANG H, ZHU C, MO K, et al. Dam cascade alters taxonomic composition of benthic macroinvertebrate community in upper Yangtze River[J]. River Research and Applications,2021,37(8):1070-1079.

[12] CALAPEZ A R,SERRA S R,RIVAES R,et al. Influence of river regulation and instream habitat on invertebrate assemblage structure and function[J]. Science of the Total Environment,2021,794:148696.

[13] SOFI M S,HAMID A,BHAT S U,et al. Biotic alteration of benthic macroinvertebrate communities based on multispatial-scale environmental variables in a regulated river system of Kashmir Himalaya [J]. Ecological Engineering,2022,177:106560.

[14] 阿膺兰,胡鹏,曾庆慧,等. 基于底栖动物响应特征的洮儿河生态流量目标适应性分析[J]. 水资源保护,2023,39(3):253-260. (A Yinglan,HU Peng,ZENG Qinghui,et al. Adaptability analysis of ecological flow based on response characteristics of benthos in Taor River [J]. Water Resources Protection, 2023, 39 (3): 253-260. (in Chinese))

[15] YANG Z, HE S, FENG T, et al. Spatial variation in the community structure and response of benthic macroinvertebrates to multiple environmental factors in mountain rivers [J]. Journal of Environmental Management,2023, 341:118027.

[16] 焦庆东,杨庆媛,冯应斌,等. 基于 Pearson 分层聚类的重庆市土地利用分区研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31 (6): 173-178. (JIAO Qingdong, YANG Qingyuan, FENG Yingbin, et al. Research on land-use division of Chongqing based on Pearson hierarchical clustering [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2009, 31 (6): 173-178. (in Chinese))

[17] 潘保柱,王兆印,余国安. 长江源和黄河源的大型底栖动物群落特征研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(3):369-374. (PAN Baozhu, WANG Zhaoyin, YU Guoan. Assemblage characteristics of macrozoobenthos in the source region of the Yangtze River and the source region of the Yellow River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2012,21(3):369-374. (in Chinese))

[18] ROGER G N S,SAMUEL F M,DONALD-L'OR N M,et al. Characterization by benthic macroinvertebrates and some environmental factors of streams in the East Cameroon region[J]. World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences,2022,11(1):5-17.

[19] VARADINOVA E, SAKELARIEVA L, PARK J, et al. Characterisation of macroinvertebrate communities in Maritsa River (South Bulgaria): relation to different environmental factors and ecological status assessment [J]. Diversity,2022,14(10):833.

[20] DOU Q, DU X, CONG Y, et al. Influence of environmental variables on macroinvertebrate community structure in Lianhuan Lake[J]. Ecology and Evolution,2022,12(2):e8553.

[21] STEWART N A, SCHRIEVER T A. Local environmental conditions influence species replacement in Great Lakes interdunal wetland macroinvertebrate communities [J]. Freshwater Biology,2023,68(1):46-60.

[22] VAGHEEI H, LAINI A, VEZZA P, et al. Ecohydrologic modeling using nitrate, ammonium, phosphorus, and macroinvertebrates as aquatic ecosystem health indicators of Albaida Valley (Spain) [J]. Journal of Hydrology: Regional Studies,2022,42:101155.

(收稿日期:2023-03-20 编辑:王芳)

+++++

(上接第 134 页)

[20] 谢三桃,杨富宝. 巢湖流域磨墩水库流域水环境污染源调查及防治对策[J]. 水利规划与设计,2019(4):30-36. (XIE Santao, YANG Fubao. The investigation and preventions countermeasures of water environment for Modun Reservoir basin in Chaohu Basin [J]. Water Resources Planning and Design, 2019 (4): 30-36. (in Chinese))

[21] 王羽辉,谢三桃,骆克斌,等. 现代农业灌溉减排模式的建立与应用[J]. 水资源保护,2016,32(1):161-166. (WANG Yuhui, XIE Santao, LUO Kebin, et al. Establishment and application of modern agricultural reduction irrigation model [J]. Water Resources Protection,2016,32(1):161-166. (in Chinese))

[22] 吴若静,谢三桃. 多塘系统在巢湖山丘面源污染控制中的应用[J]. 水利规划与设计,2016(3):18-21. (WU Ruojing, XIE Santao. Application of multi pond system in non-point source pollution control in Chaohu Hilly Area [J]. Water Resources Planning and Design, 2016 (3): 18-21. (in Chinese))

[23] 张婷,高雅,李建柱,等. 流域非点源氮磷污染负荷分布模拟[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2021, 49 (1): 42-49. (ZHANG Ting, GAO Ya, LI Jianzhu, et al. Distribution simulation of non point source nitrogen and phosphorus pollution load in watershed [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2021, 49 (1): 42-49. (in Chinese))

[24] 陈丽娜,韩龙喜,谈俊益,等. 基于多断面水质达标的河网区点面源污染负荷优化分配模型[J]. 水资源保护, 2021, 37 (6): 128-134. (CHEN Lina, HAN Longxi, TAN Junyi, et al. Optimal allocation model of point and non-point pollution loads in river network based on water quality standard of multiple control sections [J]. Water Resources Protection, 2021, 37 (6): 128-134. (in Chinese))

(收稿日期:2023-03-08 编辑:王芳)