DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.04.021

TMDL管理模式用于农村小流域水环境治理

刘田欣[1]， 周晓平[2]， 薛树红[2]， 叶 勇[1]， 张维纳[2]， 马凌超[1]，
王 淦[1]

（1. 安徽泛湖生态科技股份有限公司，安徽 合肥 230088；2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司，陕西 西安 710065）

摘 要： 为了改善巢湖水质，选取巢湖流域典型农村小流域——石茨河流域作为研究对象，在对该流域进行水文和水污染分析的基础上，构建HSPF流域模型对其负荷和水质进行计算，根据确立的污染分配原则对负荷进行削减，以满足考核断面水质达标要求，并计算得到石茨河流域最大日负荷总量(TMDL)，同时提出流域水质管理建议。结果表明，石茨河干流各水质指标(COD、NH_3-N与TP)均超出考核标准(地表水Ⅲ类标准)；流域污染源中点源除明确排口管控外，还需重点关注镇区难以收集的散排点源，面源需重点关注集镇、村庄、工业用地与稻田等地块单元。经计算，在满足石茨河考核断面水质达到地表水Ⅲ类标准时，COD、NH_3-N与TP允许排放的污染物量分别为1 196.31、30.25、2.43 kg/d；同时，从空间和时间角度提出分区和分阶段管理模式，以实现水质稳定达标。

关键词： 农村水环境； 管理模式； 最大日负荷总量； 允许排放量； HSPF流域模型； 流域管理

中图分类号： TU992 **文献标识码：** B **文章编号：** 1000-4602(2024)04-0123-09

Application of TMDL Management Mode in Water Environment Treatment of Rural Watersheds

LIU Tian-xin[1], ZHOU Xiao-ping[2], XUE Shu-hong[2], YE Yong[1], ZHANG Wei-na[2], MA Ling-chao[1], WANG Gan[1]

(1. *Anhui PLAKeco Ecological Sci. & Tech. Co. Ltd.*, *Hefei* 230088, *China*; 2. *PowerChina Northwest Engineering Corporation Limited*, *Xi'an* 710065, *China*)

Abstract: In order to improve the water quality of Chaohu Lake, Shici River basin, a typical rural watershed in Chaohu Lake basin, was selected as the research object. Based on the analysis of hydrology and water pollution in the basin, a HSPF basin model was established to calculate its load and water quality. The total maximum daily load (TMDL) of the Shici River basin was reduced according to the principle of pollutant distribution, so as to meet the water quality standard of the assessment section. Basing on the TMDL, suggestions on water quality management of rural watersheds were put forward. The results showed that the water quality indicators COD, NH_3-N, and TP in the main stream of the Shici River exceeded level Ⅲ in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). In addition to clear discharge control, point pollution sources of the basin should also focus on scattered point

通信作者：刘田欣 E-mail：liutianxin0703@163.com

sources that are difficult to collect in towns, while non-point sources should focus on the land uses of town, village, industry and agriculture. According to the calculation, the allowable pollutant discharge of COD, NH_3-N and TP were 1 196.31 kg/d, 30.25 kg/d and 2.43 kg/d, respectively, for the water quality of Shici River assessment section to meet the level Ⅲ standard stably. Meanwhile the zoning and stage management mode from the perspective of time and space is proposed to achieve the stable water quality.

Key words: rural water environment; management mode; TMDL; permissible discharge; HSPF basin model; watershed management

巢湖是全国五大淡水湖之一，近年来受地形、降水、江湖关系和人类活动等影响，巢湖流域水旱灾害、水质污染、岸线崩塌、河道淤积、水系萎缩、湿地消失、生态退化等问题较为突出，是全国水污染重点防治的湖泊之一。汇入巢湖的河流有33条，各河道水质情况对巢湖水环境状况有着直接且重要的影响。由于河道污染时空分布不均，且大部分河流流经区域为农业农村区，因此削减入湖污染物，加强沿湖农村小流域的水质管理，是改善巢湖水质的重要任务之一。由于巢湖流域水体交换频繁，河道之间存在相互影响、相互作用，导致该地区水质管理难度大，单纯的浓度控制和点源控制难以使水质达标。因此，建立有效的水质管理模式是河网地区水质改善的关键环节。最大日负荷总量（Total Maximum Daily Loads，TMDL）水质管理模式是一种比较成功的水质管理模式，已在美国各地广泛开展应用，为改善水环境质量作出了重要贡献[1-2]。TMDL研究往往以流域为单元，以模型为工具，由于巢湖地区农村小流域受非点源污染影响较大，因此选择HSPF（Hydrologic Simulate Program-FORTRAN）模型，该模型集水文、水力、水质模拟于一体，能对透水地面、不透水地面及河流水库的水文和水质过程进行模拟，对流域非点源污染的模拟效果尤其突出[3-4]。

选取巢湖流域农村小流域——石茨河流域为研究对象，基于HSPF模型开展流域COD、NH_3-N与TP允许排放量研究，并基于TMDL提出该流域水质管理对策，以期为环境管理部门进行水污染控制和流域水环境管理提供依据。

1　研究区域概况

1.1　流域概况

石茨河为巢湖南岸支流，南北流向。上游为干流与武山支渠交口处以南，中游为干流与武山支渠交口以北至支流南大圩排洪沟入口处，下游为支流南大圩排洪沟入口以北至巢湖入口处。区域位置图和水系分布见图1。流域面积约32.47 km^2，干流长约7 km。流域属于亚热带湿润季风气候区，气候温和湿润，降雨多集中在夏季。多年平均降水量1 032 mm，最大年降雨量1 450 mm，最小年降雨量630 mm，汛期（6月—9月）降水量一般占全年的60%。流域地势西南高东北低，地面高程为1.7~221.9 m。上游东侧与西南侧主要为山区和林地，坡度较大；中游为丘陵区过渡带和槐林镇建成区；下游为圩区，坡度平缓。

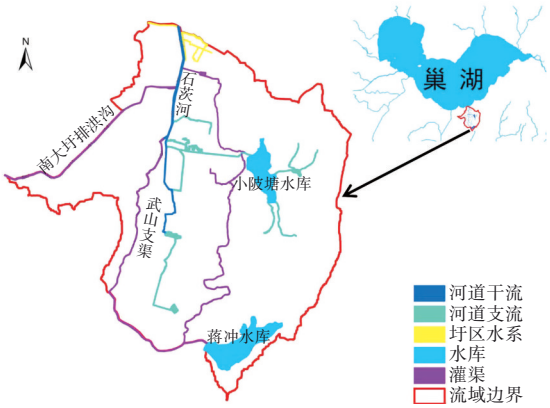


图1　石茨河流域地理位置及水系分布

Fig.1　Geographical location and water system distribution of Shici River basin

基于《土地利用现状分类》（GB/T 21010—2017）中土地利用类型定义及模型需求，对石茨河流域土地利用类型进行分类，共划分为12种，分别为稻田、藕塘、旱地、园地、林地、草地、裸地、工业用地、集镇、村庄、交通用地和水域。各土地利用类型具体分布见图2。流域范围内上游为低山区与农业区，土地利用类型以林地与稻田为主；中间过渡区，以居民聚集区与农田为主，土地利用类型主要为集镇、村庄与稻田；下游为圩区，主要土地利用类型为

稻田。

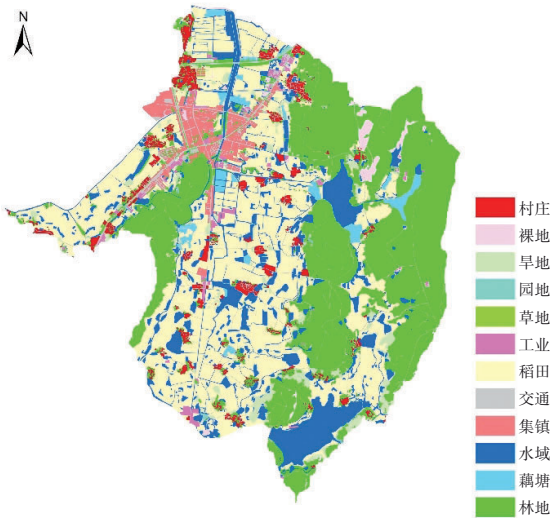


图2　石茨河流域土地利用划分

Fig.2　Landuse division of Shici River basin

1.2　产汇流路径分析

为系统梳理流域产汇流传输关系和污染物输移路径,根据DEM和高清影像数据,借助ArcGIS工具分析石茨河自然汇流过程,并通过踏勘调研验证核实,将石茨河流域划分为41个子汇水区,并梳理出陆域-水体之间的拓扑联系。

2　研究方法

2.1　TMDL管理模式

TMDL定义为在水体水质满足水质标准的基础上,水体能够容纳的某污染物的最大日负荷量,定义公式如下:

$$TMDL = \Sigma WLA + \Sigma LA + MOS \quad (1)$$

式中:WLA为点源允许排放的污染负荷量;LA为非点源允许排放的污染负荷量;MOS为安全余量。

TMDL管理模式根据一个流域的水环境现状和自净能力,考虑社会经济发展水平,科学合理地提出不同时期的水环境目标,依据目标计算出研究范围所允许的各类污染物的最大排放量,通过对污染源治理能力的经济与技术可行性分析和排污控制方案优选,将各总量指标分配至各区域内的点源和非点源,进一步提出有效的工程或非工程措施实现负荷削减,从而实现阶段性水环境目标的一种水环境管理理念[5]。本研究是在对石茨河河道、沿河点源与重点非点源水质监测成果进行分析、得出污染源类型及地理位置的基础上,建立石茨河流域模型,定量计算出点源与非点源的现状负荷量及TMDL值,进而依据TMDL结果提出石茨河流域水环境管理建议。

2.2　HSPF流域模型

采用HSPF流域模型。HSPF模型是由美国国家环境保护局开发,用于较大流域范围内的水文水质过程的连续模拟[6]。HSPF模型是集水量和水质连续模拟为一体的模型。它以气象数据、土地利用状态、土壤特点和植被覆盖情况作为基本输入资料,模拟流域内的水、颗粒物及其他物质随时间的变化情况。通过HSPF模型可以了解从地表经过不同土壤层到地下水的传输状况,模拟河道内水量及水质的变化,计算各土地利用地块入河负荷量。

3　流域水环境现状问题分析

3.1　河道水体现状水质分析

为了解石茨河流域污染特征、锁定污染区域,在河道上游至下游设置了H1~H6共6个河道监测点位,监测点位设置原则见表1,具体位置见图3。

表1　河道监测点位设置原则

Tab.1　Principles for setting up river monitoring points

监测点位	设置原则
H1	监测干流流经上游农业区水质
H2	监测武山支渠入干流前水质
H3	监测河道干流流经镇区上游水质
H4	监测河道干流流经镇区下游水质
H5	监测南大圩避洪沟入干流前水质
H6	监测河道入湖口处水质

图3　石茨河河道考核断面及监测点位分布

Fig.3　Assessment section and monitoring point distribution of Shici River

2021 年 4 月—6 月对这 6 个点位的水质分别进行晴天及雨天密集采样监测，以 COD、NH_3-N 和 TP 为主要评价指标，监测结果如表 2 所示。

表 2　各监测点位晴雨天水质指标浓度范围

Tab.2　Concentration range of water quality indicators on sunny and rainy days at monitoring points

mg·L^{-1}

晴雨天	监测点位	COD	NH_3-N	TP
晴天	H1	27~35	0.77~1.71	0.21~0.52
	H2	30~38	0.56~0.99	0.23~0.43
	H3	26~32	0.69~2.29	0.15~0.49
	H4	24~31	0.61~2.77	0.21~0.33
	H5	29~42	3.63~7.14	0.44~0.64
	H6	24~32	0.67~1.99	0.18~0.47
雨天	H1	28~38	1.31~1.96	0.21~0.33
	H2	27~37	0.59~1.20	0.15~0.26
	H3	27~38	0.70~2.44	0.15~0.26
	H4	29~37	0.81~3.13	0.21~0.27
	H5	36~53	4.44~16.00	0.44~1.47
	H6	23~31	0.54~0.96	0.18~0.26

根据降雨情况将这批监测数据按照晴天及雨天分别分析。晴天数据显示：COD 在各点位变化不大，水质为地表水Ⅳ~Ⅴ类。NH_3-N 与 TP 变化趋势类似，H1~H4 点位水质较为稳定，变化幅度不大，NH_3-N 为地表水Ⅲ~劣Ⅴ类，TP 为地表水Ⅳ~劣Ⅴ类，而在 H5 即南大圩避洪沟段浓度出现陡增，可以看出南大圩避洪沟接收的农村散排污水与镇区点源污染对石茨河的水质影响较大。在 H6 入湖点处各水质指标监测值明显下降，可以看出石茨河下游会受到巢湖顶托影响。雨天数据显示各点位的污染指标浓度变化趋势与晴天一致，但浓度值略高于晴天监测值，且 NH_3-N 在 H4 存在部分数据较大现象，可能与镇区段降雨期间合流制溢流污染（CSO_s）排口出水浓度较高有关。各指标在 H5 浓度明显增大，说明南大圩避洪沟接收的农业非点源与镇区非点源污染对石茨河水质影响较大。

3.2　污染源评估与分析

通过对石茨河流域建设项目工程污染源调查报告内容及数据进行整理分析，得出石茨河流域主要污染源，包括点源与面源（见图 4）。点源包括城镇生活源、农村生活源与工业区污染源等晴天通过管网入河的污染源，面源包括农业面源、农村面源与城镇面源等通过降雨径流入河的污染源。该区域污染源分布不均，城镇地表径流、城镇生活污染主要集中在槐林镇镇区，农村生活污染、农田地表径流主要分布在石茨河上游农业区及下游圩区，工业企业主要分布在镇区。依据实地调研及污染源分析，对流域内的典型点源与面源进行了监测，监测点位分布如图 4 所示。

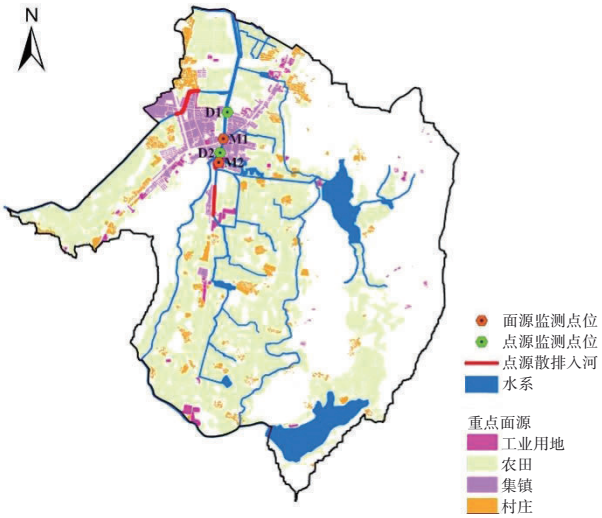


图 4　流域污染源及监测点位分布

Fig.4　Distribution of pollution sources and monitoring points in the basin

污染源监测点位设置情况如表 3 所示。

表 3　污染源监测点位设置情况

Tab.3　Description of monitoring points for pollution sources

监测类型	点位	说明
点源	D1	石茨河沿岸排口，且晴天有出流
	D2	石茨河沿岸排口，且晴天有出流
面源	M1	槐林镇镇区合流制溢流出口
	M2	工业厂区雨水出口

3.2.1　点源

经调研发现，槐林镇镇区段存在两个晴天有出流的点源排口，并在 2021 年 6 月晴天对这两个排口 D1、D2 进行连续性监测。从监测获得的流量与水质数据来看，这两个排口对石茨河水质影响不大。但是从现场调研来看，槐林镇属于正快速发展的镇区，除了沿河直排污水点源和 CSOs 排口，还包括沿河岸边的散排点源，这些点源具有很明显的特征，即排口较多、间断性排水、难以收集采样监测等。

3.2.2　非点源

石茨河流域各种污染源中占比较大的还有非点源污染，由于石茨河河道雨天镇区段污染严重，

通过对雨天合流制溢流管网排水水质进行分析以了解非点源对石茨河水质的影响十分必要。为了解非点源对石茨河流域水质的影响，选取了2个监测点M1（镇区面源）与M2（工业企业面源），在2021年6月的两场降雨中对雨水管道进行了采样监测，监测结果如表4所示。可以看出，降雨量较小时，槐林镇镇区合流制溢流管网排水对石茨河河道的水质影响较大。

表4　非点源监测点位监测结果

Tab.4　Monitoring results of non-point source monitoring points

监测点位	降雨量/(mm·d^{-1})	COD/(mg·L^{-1})	NH_3-N/(mg·L^{-1})	TP/(mg·L^{-1})
M1	19	204~850	14.00~23.3	1.09~1.64
	47.5	38~199	4.02~6.91	0.51~0.63
M2	19	15~18	0.40~0.53	0.10~0.12
	47.5	20~30	0.29~0.46	0.14~0.26

4　模型建立及最大日负荷值计算

4.1　水环境目标的确定

按照石茨河出口考核断面2020年、2030年水质目标考核要求，达到《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）的Ⅲ类水质标准，考核指标为COD、NH_3-N和TP。考核位置距巢湖约1 km。

4.2　流域模型建立

模型中需先输入背景数据（子流域特征、水文响应单元的确定、河道形状和河道的上下游关系等）与驱动数据（点源污染时间序列输入、降雨时间序列输入文件）搭建初步框架。模型率定以2021年河道监测数据为主，包括水位、水温、DO以及其他水质指标率定。其中，以模拟-实测对比曲线图为参考，水位、水温和DO率定模拟和监测之间的偏差约10%，COD、NH_3-N、TP率定模拟和监测之间的平均偏差约20%，模型验证以2018年—2020年河长制数据为主，与模型率定偏差值基本相符。总量控制制定时间选取2018年1月1日—2020年12月31日，模型结果输出频率按每日输出水质浓度，按年均值输出负荷质量。

4.3　流域现状负荷计算

基于模型对流域现状的模拟情况，计算得出流域内各点源与非点源的现状年平均负荷量见表5。按照地表Ⅲ类水考核标准，根据年平均超标天数占比评估出COD、NH_3-N和TP指标年平均超标率分别为60.77%、91.70%和99.64%。

表5　石茨河流域现状年平均负荷量

Tab.5　Current pollutant load of Shici River basin

t·a^{-1}

项目	COD	NH_3-N	TP
点源	104.76	17.06	1.09
非点源	678.30	7.86	1.97
总计	783.06	24.92	3.06

其中，点源负荷与各土地利用地块非点源负荷占比如图5所示。

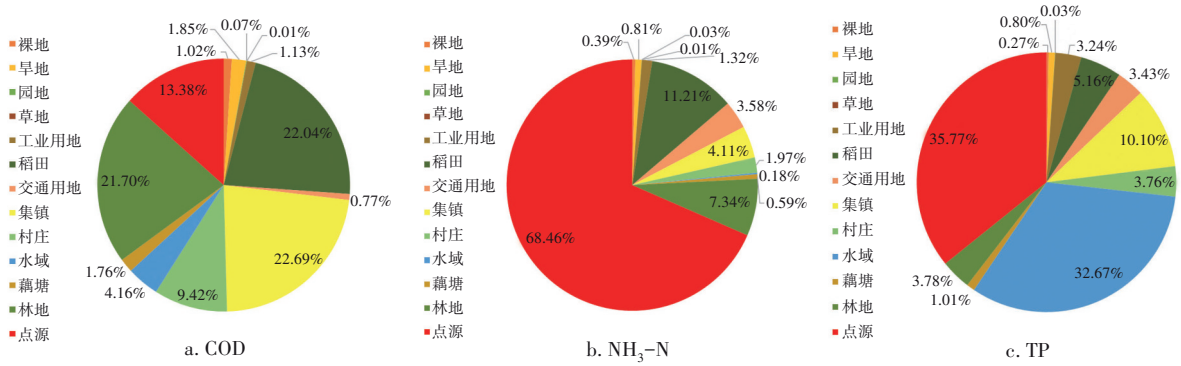


图5　现状负荷中点源与不同土地利用类型非点源负荷占比

Fig.5　Proportion of point source and non-point source load of different landuse in current pollutant load

可以看出，COD负荷中占比较大的为集镇、稻田、林地，这三种土地利用类型非点源入河负荷占总负荷的66.43%，而点源占比仅为13.38%；NH_3-N负荷中占比最大的为点源，达68.46%；TP负荷中占比较大的为点源与水域，点源占比35.77%，水域占32.67%。

4.4　污染物负荷削减

4.4.1　污染物分配原则

在分配原则上以污染源对水体受损贡献程度为主导，污染源负荷削减的优先级为：优先管控点

源执行《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》(DB 34—2710—2016)排放标准;其次考虑非点源污染削减,即根据负荷和源强大小,按照“谁污染重,削减谁”的原则对各非点源类型负荷进行削减,以满足水质达标。

4.4.2　负荷削减量计算

在总量控制方案实施的过程中,有效控制污染源的负荷排放量是关键。依据上述分配原则,结合各污染源现状污染排放特征,将COD、NH_3-N与TP待削减负荷量分解至现状点源、非点源,以实现考核断面水质达标。在考核断面水质达标的基础上,流域内入河允许排放总量是一定的,但存在多种污染源负荷分配方案,使得各污染源削减比例也存在多种组合。

根据污染物分配原则,得到各指标点源与非点源负荷削减量及总削减率如表6所示。

表6　污染物负荷年平均削减量与削减率

Tab.6　Annual average reduction and reduction rate of pollutant load

项目	COD		NH_3-N		TP	
	削减量/($t\cdot a^{-1}$)	削减率/%	削减量/($t\cdot a^{-1}$)	削减率/%	削减量/($t\cdot a^{-1}$)	削减率/%
点源	13.65	13.02	13.87	81.29	0.80	73.54
非点源	367.01	54.11	0.00	0.00	1.42	72.52
总计	380.66	48.61	13.87	55.65	2.23	72.89
注:　负荷削减率=负荷削减量/现状负荷量×100%。						

在削减过程中,发现根据现行点源排放标准对NH_3-N进行削减后,将非点源负荷100%进行削减都无法实现考核断面水质达标,因此,建议将石茨河流域内现有调查点源排放标准提高至NH_3-N≤1.5 mg/L。COD、TP在点源削减后,COD还需重点关注集镇、稻田的非点源负荷,TP还需重点关注水域、集镇的非点源负荷。

4.5　最大日负荷总量计算

为确保水质达标,在制定流域总量控制计划时需包括安全余量,以作为关于非点源负荷和点源负荷分配与水质之间缺失的联系性信息。国内外相关资料说明,安全余量可以是隐式的(即在分析过程中融入总量控制中的保守假设),也可以是显式的(即在总量控制中预留一定的负荷),本研究选择显式。目前较为普遍的是选取TMDL的5%~10%[7-8]作为安全余量,本研究选取10%作为安全余量。

以石茨河水环境目标为基准,通过模型不断迭代计算,在满足考核断面水质达标的前提下,流域内的点源和非点源各自允许排放的污染物量如表7所示。

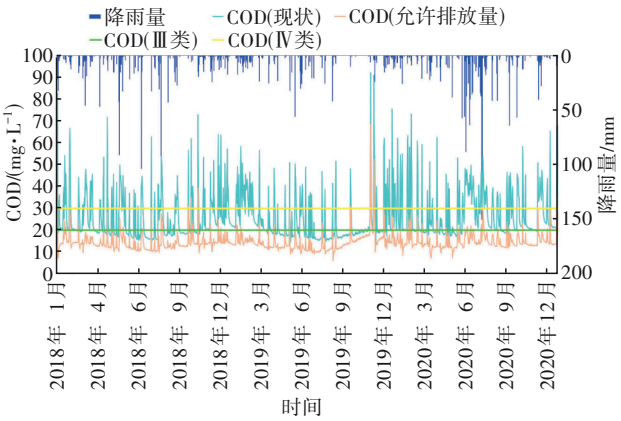
表7　各水质指标TMDL值计算结果

Tab.7　Calculation results of TMDL value of each water quality index　　$kg\cdot d^{-1}$

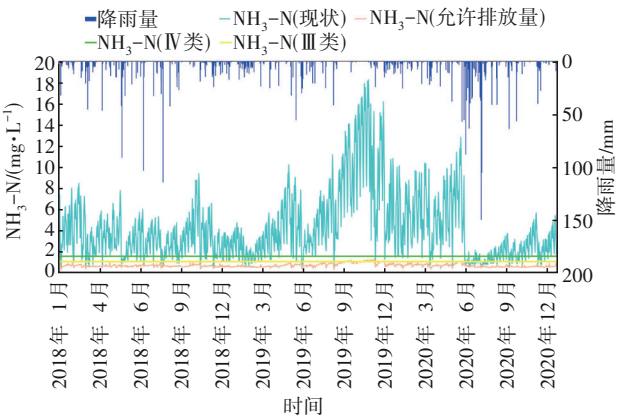
控制指标	TMDL	点源允许排放	非点源允许排放量	安全余量
COD	1 196.31	249.62	852.16	94.53
NH_3-N	30.25	8.74	21.51	0
TP	2.43	0.79	1.48	0.16

其中,点源排放NH_3-N指标建议由现有排放标准(2 mg/L)提升至1.5 mg/L。

经过负荷总量控制后,模型模拟2018年—2020年石茨河考核断面水质指标COD、NH_3-N与TP浓度变化情况如图6所示。由图6可见,COD、NH_3-N和TP指标均可达到石茨河考核水环境目标。



a. COD



b. NH_3-N

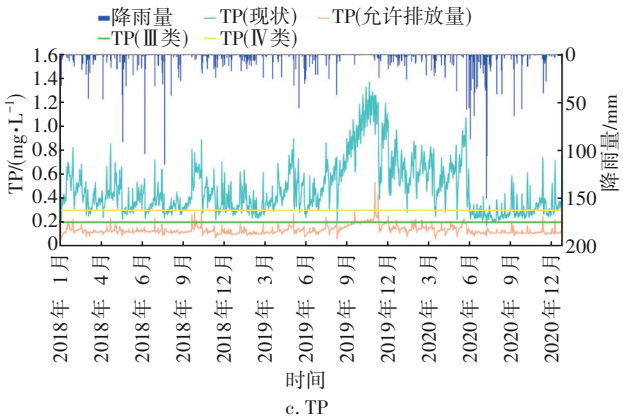


图6　2018年—2020年水质现状与总量控制后浓度变化模拟情况

Fig.6　Status quo of water quality indicators and simulation of concentration change after reduction in 2018–2020

5　基于TMDL的流域管理建议

5.1　总量控制分区管理模式

为满足TMDL流域管理模式的实施,便于有针对性地制定各区污染物总量控制计划和污染物削减方案,基于流域内陆域水文特征、河道水体受损情况、污染源分布和贡献程度及行政区划等因素,可将石茨河流域划分为A~G共7个总量控制单元,并识别划定三级重点管控区域,不同的总量控制单元具有各自污染特征,其中Ⅰ级管控区为污染严重区域,在进行区域总量控制管理时应列为首要管控单元。

具体分区分布见图7,分区依据见表8。

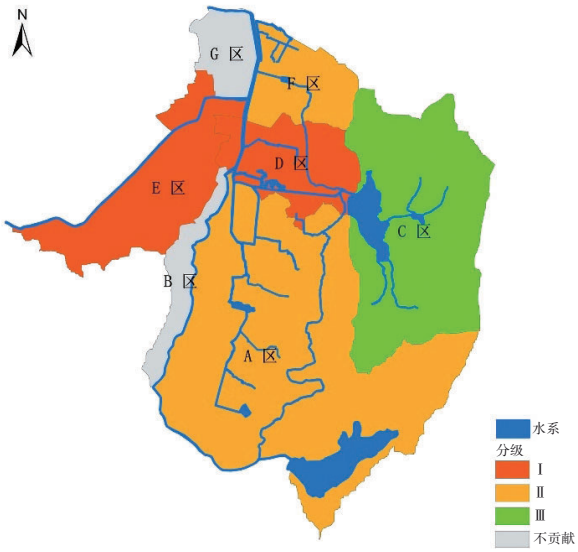


图7　总量控制单元划定和重点管控区域识别

Fig.7　Total amount control unit delimitation and key control area identification

表8　总量控制单元划分及分级依据

Tab.8　Total amount control unit division and grading basis

分区编号	分区依据	重点污染源	水体水质及受损原因	重点区域排序
A区	槐林镇上游农业区,汇水入石茨河上游	农田(施肥),农村面源,农村污水散排	地表水Ⅳ~劣Ⅴ类。受到农业施肥,农业面源尾水以及生活污染的影响	Ⅱ
B区	武山支渠拦截武山东侧山区汇水,转输到流域外,不进入石茨河			
C区	槐林镇东侧山区,汇水入小坡塘水库,主要为山区汇水	山区林地,分散村庄,分散农业区		Ⅲ
D区	槐林镇镇区,汇水入石茨河干流	镇区面源,点源直排,管网错接漏接,农田(施肥)	地表水Ⅳ~劣Ⅴ类。受到槐林镇镇区段生活区、工业区与农业施肥影响	Ⅰ
E区	槐林镇镇区,汇水入南大圩排洪沟	工业区点源,农村污水散排,管网错接漏接,农田(施肥)	地表水Ⅳ~劣Ⅴ类。受到农业施肥,农业面源尾水,工业区点源直排以及生活污染的影响	Ⅰ
F区	石茨河下游圩区,退水汇入石茨河干流	农田(施肥),农村面源,农村污水散排	地表水Ⅲ~劣Ⅴ类。受到农业施肥,农业面源尾水以及生活污染的影响,巢湖顶托	Ⅱ
G区	圩区退水直接汇入巢湖,对石茨河流域无贡献			

5.2　污染源分阶段治理模式

从污染物排放的空间复杂性、污染负荷的强度、管控的难易度、治理的可操作性等方面综合考虑,按照优先治理点源,其次治理非点源的原则,分析在通过不同阶段不同污染对象治理后,水质的变化特征情况。以石茨河水质指标TP为例,考虑到非点源对考核断面水质达标的贡献率,即需要削减的TP非点源负荷占总TP负荷削减量的比例为63.91%,因此,在满足水质达标的基础上,除点源执行现行排放标准外,还需结合工程措施和管理措施

加强对非点源污染物产生、过程、末端的梯级管控和治理。表9列出了经过模型计算，针对不同治理对象采取措施需要削减的TP负荷在总削减负荷的占比，各阶段治理后与现状浓度和负荷的变化对比见图8。

表9　针对不同治理对象的削减TP负荷措施的贡献率对比

Tab.9　Comparison of contribution rate of TP load reduction measures for different treatment objects

编号	治理对象	削减贡献率/%	执行标准
①	治理南大圩点源	34.92	巢湖地标Ⅰ类
②	治理石茨河干流点源	1.18	巢湖地标Ⅰ类
③	治理重点非点源：集镇、村庄、工业用地、交通用地等	18.39	
④	治理其他非点源：水域、稻田、旱地等	45.51	

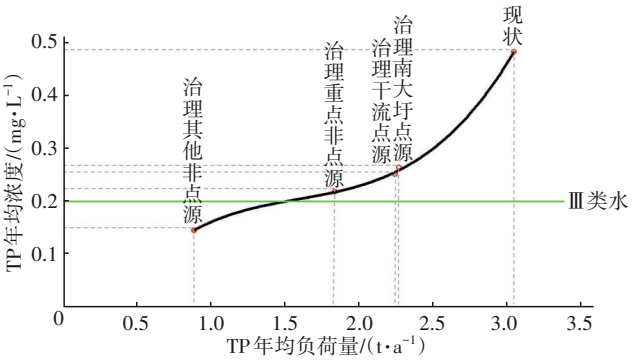


图8　各阶段措施实施后TP负荷与浓度变化情况

Fig.8　Changes of TP load and concentration after the implementation of measures at each stage

结合石茨河流域总量控制分区针对不同治理对象，对流域内污染物削减提出以下措施建议：① 南大圩范围需加强农村生活污水收集处理能力，严防偷排散排；② 石茨河干流中下游槐林镇镇区范围需加强对排口的管控能力，防止生活污水或工业废水直排入河；③ 工业厂区加强内部雨水管理，加强厂区内废水收集和出水稳定达标；镇区要完善管网，雨污分流，对初期雨水进行收集调蓄处理，就近利用自然湿地系统或建造人工湿地，同时加强散排点源的收集或就近处理；对于农村散户，综合污水资源化利用、污水统一管网收集、构建河岸缓冲带等措施，防止生活污水直接入河；④ 旱地、园地、稻田等农业用地需减控施肥，调整种植结构，充分利用自然沟塘渠的自然净化能力减少污染，圩区需加强泵站调控，强化圩区内部污染物滞蓄净化；裸地增加植被覆盖，增强土壤有机质抗蚀力；流域内水体（沟塘渠等）需加强定期管理，如定期清淤、强化曝气等。

6　结论

①　基于监测数据分析发现，石茨河上游至下游水质都较差，各指标水质状况均为地表水Ⅳ~劣Ⅴ类，支流南大圩排洪沟水质尤其差，各水质指标均为地表水劣Ⅴ类，需要重点关注该流域的污染源。点源需要关注难以收集的散排点源，面源需要关注集镇（槐林镇镇区和南大圩排洪沟沿岸镇区）、村庄、工业用地、稻田等土地利用类型。

②　基于HSPF流域模型对2018年—2020年石茨河水质的模拟，依据现状污染负荷与水环境目标进行污染物削减分配计算，得出COD、NH_3-N与TP的TMDL值分别为1 196.31、30.25、2.43 kg/d。需要注意的是，对于点源NH_3-N指标的削减需要严于现有排放标准（≤2 mg/L），建议执行NH_3-N≤1.5 mg/L，才能保证考核断面稳定达标。

③　基于TMDL对石茨河流域污染源进行管理，就空间管理而言，可以依据总量控制分区对流域重点污染区域进行分区分级管理，治理优先级可参考D区、E区>A区、F区>C区；就污染源治理顺序而言，可根据点源位置及不同土地利用类型分别对污染源进行治理，点源可先治理对石茨河水质贡献较大的南大圩点源，再治理石茨河干流点源，面源可先管理较易管控的集镇、村庄、工业用地、交通用地等土地利用类型，再对流域内水域、稻田、旱地等土地利用类型进行管理。

④　在巢湖流域入湖农村小流域水环境治理工程中，在对流域产汇流分析及流域水环境现状问题识别的基础上建立流域模型，计算TMDL值，依据计算得到的点源与非点源允许排放量对流域污染源实施精准管控，可满足石茨河考核断面的水质达标要求。

参考文献：

[1] MARTIN E L, HANS W P, BENJAMIN L P. Evaluation of progress in achieving TMDL mandated nitrogen reductions in the Neuse River basin, North Carolina [J]. Environmental Management, 2012, 49: 253-266.

[2] BENHAM B L, BRANNAN K M, YAGOW G, *et al*. Development of bacteria and benthic total maximum daily loads: a case study, Linville Creek, Virginia[J]. Journal of Environmental Quality, 2005, 34(5): 1860-1872.

[3] 梅立永, 赵智杰, 黄钱,等. 小流域非点源污染模拟与仿真研究——以HSPF模型在西丽水库流域应用为例[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 64-70.
MEI Liyong, ZHAO Zhijie, HUANG Qian, *et al*. Non-point sources pollution modeling in watershed scale: case study of Xili Reservoir (Shenzhen) with HSPF [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(1): 64-70 (in Chinese).

[4] 邢可霞, 郭怀成, 孙延枫,等. 基于HSPF模型的滇池流域非点源污染模拟[J]. 中国环境科学, 2004, 24(2): 229-232.
XING Kexia, GUO Huaicheng, SUN Yanfeng, *et al*. Simulation of non-point source pollution in Lake Dianchi basin based on HSPF model[J]. China Environmental Science, 2004, 24(2): 229-232 (in Chinese).

[5] 美国环境保护局. 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.
USEPA. TMDL Model Evaluation and Research Needs [M]. Beijing: China Environmental Press, 2012 (in Chinese).

[6] BICKNELL B R, IMHOFF J C, KITTLE J L, *et al*. Hydrological Simulation Program-Fortran. User's Manual for Release 11 [M]. USA: Environmental Research Laboratory Office of Research and Development, USEPA, 1996: 755.

[7] 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, 111.
KE Qiang, ZHAO Jing, WANG Shaoping, *et al*. Application of total maximum daily load (TMDL) in control of agricultural non-point source pollution and its developmental trend[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2009, 25(1): 85-91, 111 (in Chinese).

[8] 方晓波, 张建英, 陈英旭,等. 基于纳污量的流域水环境管理模式——以金华江流域义乌段为例[J]. 环境科学学报, 2008, 28(12):2614-2621.
FANG Xiaobo, ZHANG Jianying, CHEN Yingxu, *et al*. Environmental water management of a river watershed based on assimilative capacity-Yiwu segment of Jinhua River watershed as a case study[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(12): 2614-2621 (in Chinese).

作者简介:刘田欣(1996-),女,安徽合肥人,硕士,助理工程师,主要研究方向为水环境模型模拟与流域TMDL管理。

E-mail:liutianxin0703@163.com

收稿日期:2023-04-20

修回日期:2023-07-12

(编辑:衣春敏)

贯彻执行《中华人民共和国水土保持法》