

基于控制单元的襄河流域容量总量控制及水质达标对策

包琳琳, 吴楠*

(安徽省环境科学研究院, 合肥 230071)

摘要: 采用乡镇行政区划与流域管理相结合的方式, 对襄河流域控制单元进行了划分, 调查了单元内各污染源污染指标的排放入河情况。根据控制断面的水质目标, 计算了各控制区近 10 年最枯月平均流量下的水环境容量, 进而确定各控制单元污染物的削减任务量和具体减排措施。结果表明, 流域主要污染源为城镇生活、畜禽养殖和种植业, 首要污染物为氨氮、总磷 (Total phosphorus, TP) 和化学需氧量 (Chemical oxygen demand, COD_{cr})。基于襄河流域 3 个控制区, 9 个控制单元的划分方案, 各控制单元排污入河量均较大幅度的超过了其水环境容量。近期削减任务量较高为下游 C 段控制区的襄河镇、六镇镇和十字镇等 3 个控制单元, 为保证襄河入滁河控制断面水质达标, 其 COD_{cr} 、氨氮和总磷的削减比例要分别达到 54.6%、82.9% 和 85.7%。

关键词: 控制单元; 水环境容量; 容量总量控制; 达标方案; 襄河流域

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)06-1084-09

Pollutant total amount control technique based on environmental capacity and countermeasure proposal to achieve water quality objectives in control unit of Xianghe river basin

BAO Linlin, WU Nan

(Anhui Academy of Environmental Science, Hefei 230071)

Abstract: This study divided control units for Xianghe river basin by combining the county administrative boundary and watershed management. The pollutant discharge amount from multiple sources into the river in each control unit was investigated. The water environmental capacities of each control watershed were calculated under the hydrological condition that average flow of dried-up month at the last 10 years according to the water quality target of control sections. The pollutant reduction amount and emission reduction measures have been pointed out definitely based on control units. The results indicate that the primary pollution sources of Xianghe river basin are urban life source, livestock and poultry source, agricultural source. The dominant pollutants are ammonia nitrogen (NH_3-N), total phosphorus (TP) and chemical oxygen demand (COD_{cr}). Pollution discharge into the river of each control units greatly exceeds its water environment capacity based on the division of 3 control watersheds and 9 control units. 3 control units that Xianghe town, Liuzhen town and Shizi town in the C section control watershed have higher reduction planning of pollutant in the near future. To achieve the water quality target of river cross section that Xianghe into the Chuhe river Estuarine, reduction rate of COD_{cr} , NH_3-N and TP need to reach 54.6%, 82.9% and 85.7%, respectively.

Key words: control units; water environmental capacities; capacity total content control; achieve water quality objectives plan; Xianghe river basin

欧美国家水环境治理长期实践的成功经验表明, 水质改善的关键是将污染物排放量控制在河湖水体功能发挥所允许的范围之内, 即“水质目标管理”。目前, 多数发达国家均以“水质目标管理”作

为水环境管理的基本政策, 如美国的《清洁水法》与最大日负荷量管理 (TMDL) 是按照水体功能确定环境容量, 并依据环境容量控制流域污染负荷量^[1-3]; 欧洲的《欧盟水框架指令》是以水生态目标

收稿日期: 2017-05-02

基金项目: 安徽省省级环境保护科研项目 (2016-11) 资助。

作者简介: 包琳琳, 工程师。E-mail: 245067506@qq.com

* 通信作者: 吴楠, 博士, 高级工程师。E-mail: wunan0223@163.com

和与其关联的流域污染联合控制为核心^[4-5]。河流水质目标管理的主要任务是核定环境容量, 评估污染物入湖通量, 确定流域污染物限排量并提出合理的管控措施。中国在流域水污染控制方面缺乏流域尺度的系统科学研究, 水质目标管理的技术基础不足, 多年来一直停留在设定排放目标的总量控制水平上, 普遍存在流域污染控制总量与水质改善目标脱节、区域限排量与水环境容量不衔接等问题^[6]。近年来, 我国水环境有关的研究机构、学者和管理部门均非常关注水质目标管理的理论与技术发展, 集中在水环境监控、水质基准、总量控制、污染物削减、环境经济政策和相关水质模拟模型的应用等方面^[7-13]。通过有关规划和政策的影响, 有效的推动了我国水环境管理的技术基础由目标总量控制向基于流域控制单元水质目标的容量总量控制技术的转变。

容量总量控制是把控制单元允许排放的污染物总量控制在受纳水体设定环境功能所确定的水质标准范围内, 通过水环境容量计算方法直接确定水体纳污总量^[14]。控制单元是具有经济管辖权和较为完整的社会、人口、环境和资源等相关资料的客观实体, 是进行水污染控制和管理的的基本单元^[15]。划分控制单元的主要目的是使复杂的流域水环境问题分解到各控制单元内^[16], 使得具体的流域水环境管理措施和政策能够有效实施和落实, 从而实现流域水环境质量改善^[17]。

襄河流域近 30 年经济快速发展和人口增长, 污染因素不断增多, 襄河干流(黄栗树水库以下段)现状水质总体处于Ⅳ~劣Ⅴ类(执行《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》^[18]Ⅲ类)。“十一五”以来, 虽然全椒县采取了产业结构调整、污染源治理、达标排放及加强环境监督管理等多方面的措施, 但是水质改善的总体效果不甚明显。2015 年 4 月国务院印发的《水污染防治行动计划》(以下简称“水十条”)^[19]明确提出对全国重点流域实施分流域、分区域、分阶段科学治理的要求。同时要求“强化环境质量目标管理。明确各类水体水质保护目标, 逐一排查达标状况。未达到水质目标要求的地区要制定达标方案”。因此, 迫切需要有效地划分襄河流域水污染治理单元(控制单元), 进而针对不同单元的水污染问题, 精细化、差异化地制定水污染防治策略。

由于受国家体制、空间尺度和管理方式等诸多要素的影响, 致使对控制单元的内涵、划分目的、指标体系和结果验证等方面的认识不同, 行业内还没有统一的控制单元划分方法^[20-22]。根据不同的管

理模式和划分依据, 目前国内外控制单元的划分主要有基于水文单元^[20,23-24]、水生态区^[25-27,14-15]和行政区^[28-30]的 3 种划分方法^[16]。为了有效明确流域水环境管理责任主体, 方便把目标和任务分配落实, 控制单元划分需要将行政区与流域进行有效衔接^[31]。本研究即采用行政区与流域相结合的方式, 划分了影响襄河控制断面水质的污染控制单元。根据单元内各类污染源排放情况以及水环境现状, 研究污染物的输移过程, 构建了“控制断面—控制河段—控制流域—控制单元”的水陆响应关系; 根据《全国水环境容量核定技术指南》^[32], 采用一维模型计算襄河流域各控制区的水环境容量(水体纳污容量), 确定在控制断面水质连续达标的条件下各控制单元污染物的削减量, 制定水质达标方案, 为襄河全流域开展污染源控制与污染物减排提供技术支撑。

1 研究区概况

襄河发源于滁州市南谯区章广镇江淮分水岭部山麓, 向东南贯穿全椒县境内入滁河, 总长度为 74.1 km。流域介于 32°0'N~32°19'N, 117°55'E~118°22'E, 流域面积 807.1 km²。源头建有大(Ⅱ)型黄栗树水库, 控制面积 262.0 km², 黄栗树水库以下, 东南向流经全椒县石沛、六镇和襄河等镇, 其间穿越 312 国道、宁西铁路, 横跨县城区, 于十字镇汉河西流入滁河。襄河左岸支流有沛河、新龙河, 右岸有赵店河、东王河汇入。流域地貌特征自源头向下游依次分为山区、丘陵区和圩区, 年径流深分别为 378.35、324.30 和 270.25 mm。流域多年平均降雨量为 1 081 mm, 蒸发量为 1 108 mm, 气温 14.0~15.6℃, 湿度 75%, 日照时数 2 174 h。主要植被类型为水田、落叶阔叶林、常绿阔叶灌木林、针阔混交林和旱地等。流域内土壤类型以水稻土居多, 其次为黄棕壤、石灰岩土以及黄褐土。

襄河承担了饮用水源、工业用水、农业用水及排污受纳水体的功能。根据《安徽省水环境功能区划》^[33], 黄栗树水库坝上为源头保护区, 水质执行《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》^[18]Ⅱ类水标准, 坝下至入滁河口为开发利用区, 执行Ⅲ类水标准。襄河流域工业废水、城乡生活污水、畜禽养殖污染以及农业面源污染的影响日益严重, 2016 年 3 月 24—26 日, 通过对襄河干流和 4 条一级支流的水质现状监测和评价, 黄栗树水库坝上为Ⅲ类水, 坝下襄河干流和一级支流总体为Ⅳ—劣Ⅴ类水, 整个流域已无水环境容量。依据各项指标的超标率和超标倍数, 确定襄河流域的首要污染物为: 氨氮、

总磷和化学需氧量 (COD_{cr})。目前急需将污染物排放总量进行合理有效地控制,从而达到襄河流域水环境功能区划要求。

2 研究方法

2.1 控制单元划分方法

为充分体现流域水环境管理与水资源自然汇水规律、水体污染汇水特征和行政区管理的有效衔接,控制单元的划分需遵循流域全覆盖原则、行政区完整性原则、水系完整性原则和以水定陆原则等^[16-17,20,29],采用行政区与汇水单元相结合的控制单元划分方法。首先,基于数字高程模型 (DEM) 数据,采用 ArcGIS Hydrology 水文分析工具,使用襄河已有水系作为汇流线的办法,使提取的集水区的形状更符合实际水系特征,结合水文资料和水资源分区数据,以襄河入滁河口为汇流点,生成研究流域集水区范围。其次,通过叠加控制断面位置、已有水系图、排污数据、社会经济和土地利用等数据,将满足控制单元划分基本原则的区域初步划分为一个汇水单元 (控制流域)。在此基础上,结合管理经验、实地验证等,经相关专家进行论证,并与流域水环境管理部门进行对接,根据专家和相关管理部门意见,对汇水单元 (控制流域) 做出调整、完善,在优先考虑汇水范围内水系完整性的前提下,建立能够体现现阶段污染源排放与水体水质的输入响应关系的汇水单元 (控制流域)。然后,将汇水单元 (控制流域) 与流域内乡镇行政区划数据通过叠加分析生成控制单元,控制单元边界完全与其所包含的乡镇边界重叠。最后,对生成的控制单元进行校核调整,剔除汇水单元 (控制流域) 内部分面积极小,分布偏远的乡镇。至此得到的控制单元划分结果需要与地方对接、专家论证,如果满足流域水生态环境管理目标,则作为最终划分结果,否则还需要进一步校核调整。调整的主要依据为各乡镇的排污去向以及汇水情况,需要结合具体乡镇的污染源分布、镇区位置、土地利用状况等综合因素确定汇水情况,并将其反馈至识别汇水单元过程中,使得最终划分的控制单元更趋合理。

2.2 污染源排放现状调查

按污染源类型,分为工业污染源、城镇生活源、农村生活源、畜禽养殖源、种植业源和城市径流共 6 类。分析调查各控制单元氨氮、总磷和 COD_{cr} (chemical oxygen demand) 3 项首要污染物的排放量和入河量。

基于 2015 年全椒县和南谯区的环境统计资

料^[34-35],定位各控制单元内工业企业排污口的位置,累加计算各控制单元工业污染源 COD_{cr} 和氨氮的年排放量 (忽略总磷排放)。

城镇生活污水污染源依据《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》^[36]中三区第 4 类滁州市对应值,城镇居民城镇生活污水排放量 150 L·人⁻¹·d⁻¹,按照生活污水经过化粪池处理后产生量核算,其中 COD_{cr} 为 55 g·人⁻¹·d⁻¹,氨氮为 7.3 g·人⁻¹·d⁻¹,总磷为 0.63 g·人⁻¹·d⁻¹。控制单元内城镇人口数量根据《全椒县统计年鉴 (2015)》^[37]和《南谯区统计年鉴 (2015)》^[38]涉及乡镇 (仅统计镇区范围处于相应控制单元边界内部的,经查看有石沛镇、十字镇、襄河镇、六镇镇和腰铺镇 5 个镇) 的常住城镇人口进行计算 (假设常住城镇人口全部集中在镇区范围)。襄河流域内仅建有 1 座城市生活污水处理厂 (全椒县城镇污水处理厂),出水排入襄河干流,日处理污水规模 2.5 万 t·d⁻¹,收水范围为全椒县襄河镇城镇人口废水排放量的 60%,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB18918-2002)》^[39]的一级 B 标准。

农村生活污水污染源依据《安徽省行业用水定额 (DB34/T 679-2014)》^[40],全椒县和南谯区农村生活污水排放量 80 L·人⁻¹·d⁻¹,污染物排放量按照 COD_{cr} 为 16.4 g·人⁻¹·d⁻¹,氨氮为 4.0 g·人⁻¹·d⁻¹,总磷为 0.44 g·人⁻¹·d⁻¹ 计算。控制单元内农业人口数量根据《全椒县统计年鉴 (2015)》^[37]和《南谯区统计年鉴 (2015)》^[38]涉及乡镇的常住农业人口与该控制单元面积占相应镇域面积比例的乘积进行计算 (假设农业人口在镇域空间上均匀分布)。

全椒县和南谯区畜禽养殖业基本以传统养殖方式为主,规模化程度很低,干粪多数堆肥还田利用,尿液和冲洗废水中的污染物基本未经处理,随地表径流进入水体,按非点源污染进行测算。根据全椒县和南谯区农委提供的资料,经过实地调查确认,确定各控制单元内的养殖企业或场 (户) 的养殖种类,存栏规模和粪污处理方式。首先,将各控制单元内畜禽养殖种类按照《畜禽养殖业污染物排放标准 (GB18596-2001)》^[41],换算成猪当量。再根据《第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册》^[42],单位猪当量产污 COD_{cr} 50 g·头⁻¹·d⁻¹,氨氮 10 g·头⁻¹·d⁻¹,总磷 3 g·头⁻¹·d⁻¹。约 60% 的畜禽养殖废物回收利用,按污染物产生量的 40% 计算排放量。

种植业污染源依据《第一次全国污染源普查农业污染源肥料流失系数手册》^[43],农田的 COD_{cr} 排

放系数为 $10 \text{ kg} \cdot \text{亩}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, 氨氮 $2 \text{ kg} \cdot \text{亩}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, 总磷 $0.12 \text{ kg} \cdot \text{亩}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 。考虑到全椒县及周边降水等气候因素, 污染物面源流失强度相对较大, 故修正系数取 0.6。各控制单元耕地面积根据 2014 年末全椒县和南谯区土地利用现状数据 (比例尺为 1:1 万), 筛选其中地类名称为水田、水浇地、旱地、果园、茶园和其他园地等地类, 叠加控制单元边界后经 GIS 统计得到。

城市径流污染源依据《全国水环境容量核定技术指南》^[32], 对县城区城市径流排污系数采用年降雨径流事件平均浓度参考值: 淮河以南区域——综合径流系数 0.5, 浓度值 $\text{COD}_{\text{cr}} 32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 氨氮 $1.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总磷 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。再结合多年平均降水量和县城区面积计算县城区所在的控制单元 (襄河镇) 城市径流污染排放总量。县城区面积根据 2014 年末全椒县土地利用现状数据 (比例尺为 1:1 万) 筛选地类后经 GIS 统计得到。

襄河流域工业污染源和城镇生活源排污口均设在河岸, 污水直排入河, 入河系数取 1.0。农村生活源为非点源, 排污较为分散, 径流过程截留较多, 故入河系数取 0.5; 畜禽养殖源虽为非点源, 但通过实地调查发现多数养殖场沿河沟布设, 综合考虑入河系数取 0.70; 种植业源无固定的“排污口”, 径流过程涉及的截留因子多, 入河系数取 0.20。城市径流源入河过程主要经过硬化地表, 入河系数取 1.0。

2.3 水环境容量模型及参数率定

本研究涉及的水环境容量特指水体环境在一定规划设计条件下可以控制和分配的最大允许纳污量^[44], 即在给定的水域范围、水质目标、水文条件和排污口位置及排放方式前提下, 该水域所能容纳的污染物最大量, 随条件变化而变化。

目前, 水环境容量的计算方法主要分确定性方法和不确定性方法两大类。(1) 确定性方法以机理性水质模型为主要工具, 主要包括解析公式法^[45-47]、模型试错法^[48-50]和模拟优化法^[51-54], 不确定性因素通过限制性条件引入, 表达对安全及控制风险的要

求, 计算结果为定值。(2) 不确定性方法从不确定性角度分析与计算某种可信度水平下的水环境容量或容量的取值范围, 其中以确定性模型为基础的水质随机过程方法、随机微分方程模型法和灰色 (参数) 水质规划法, 由于区间取值对分配的限制和数学处理的复杂性等原因, 应用并不广泛^[55]。

根据本研究需求, 采用确定性方法中的解析公式法。按照污染物降解机理, 水环境容量 $W (\text{kg} \cdot \text{d}^{-1})$ 可划分为稀释容量 $W_{\text{稀释}}$ 和自净容量 $W_{\text{自净}}$ 两部分, 即:

$$W = W_{\text{稀释}} + W_{\text{自净}} \quad (1)$$

稀释容量是指在给定水域的来水污染物浓度低于出水水质目标时, 依靠稀释作用达到水质目标所能承纳的污染物质; 自净容量是指由于沉降、生化、吸附等物理、化学和生物作用, 给定水域达到水质目标所能自净的污染物质。

$$W_{\text{稀释}} = 86.4 \times (C - C_s) \times Q_s \quad (2)$$

式中: C 为控制断面执行的水质标准 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); Q_s 为河段的流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); C_s 为河段的背景浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。

根据《全国水环境容量核定技术指南》^[32], 结合襄河水文特征, 选用一维水环境容量模型计算襄河各控制流域自净环境容量。河流一维水环境模型由河段和节点两部分组成, 节点指河流排污口、取水口和干支流汇合口等造成河道流量发生突变的点, 水量与污染物在节点前后满足物质平衡规律 (忽略混合过程中物质变化的化学和生物影响)。河段指河流被节点分成的若干段, 每个河段内污染物的自净规律符合一阶反应规律。

$$W_{\text{自净}} = C_z \times Q_s \quad (3)$$

$$C_z = C_0 \times e^{\left[\frac{-kx}{864000u} \right]} \quad (4)$$

式中: C_0 为边界水质浓度值 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), k 水质综合衰减系数 (d^{-1}); x 为河段长度 (m); u 为流速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

表 1 污染指标综合衰减系数

Table 1 Attenuation coefficients of pollutant indexes

指标 Index	COD_{cr}	氨氮 Ammonia nitrogen	TP	d^{-1}
河流 Rivers	0.08	0.09	0.03	
湖泊 (水库) Lake (Reservoir)	0.005	0.007	0.003	

由于襄河流域无常规水文监测站点, 本研究利用近 10 年降雨量, 结合地形参数、土地利用、土壤类型和土壤侵蚀等数据的测算近 10 年最枯月平均流

量, 作为环境容量计算的设计水文条件。根据连续 3 天对襄河控制断面水文、水质的监测结果, 采用试错法对模型参数进行率定, 得到 3 种主要污染物综

合衰减系数 k (参见表 1)。

3 结果与分析

3.1 控制单元划分方案

划分襄河流域的控制单元首先需要识别汇水单元(控制流域),而其关键前提是控制断面的选取,控制断面一般能真实、全面地反映流域水污染分布特征及变化规律,其选取需要综合考虑流域水文特征、污染源分布、水功能区划和社会经济状况等诸多因素。文献[17, 26, 30]对控制断面的选取技术进行了探讨,本文不再赘述。本研究选取了襄河干

流上的黄栗树水库(襄河入水库)、塘张村(石沛镇与六镇镇交界)和三汊河(襄河入滁河口)3个控制断面,由此生成相应的3个互不嵌套、互不叠加的汇水单元(控制流域)。

采用叠加分析方法,遵循上文行政区与汇水单元相结合生成控制单元的原则,将汇水单元(控制流域)与乡镇区划进行叠加分析,得到每个汇水单元(控制流域)所包含的乡镇。进一步将这些乡镇的行政区划进行合并,得到以乡镇行政区划为边界的控制单元范围。襄河流域共划分为3个控制区、9个控制单元(见表2和图1)。

表 2 襄河流域控制单元划分方案

Table 2 Zoning scheme of control units in Xianghe river basin

控制断面 Control sections	控制流域 Control watersheds	控制单元 Control units	所属县区 Counties	面积/km ² Area	水功能区划 Water function zonings	
					一级 First level	二级 Second level
黄栗树水库(襄河入水库) Huangshushu reservoirs (Xianghe river in reservoirs)	A 段控制区	章广镇控制单元	南谯区	62.3	保护区	河流源头保护区
塘张村(石沛镇与六镇镇交界) Tangzhang village (junction of Shipai town and Liuzhen town)	B 段控制区	施集镇控制单元	南谯区	105.5	开发利用区	农业用水区
		马厂镇控制单元	全椒县	15.3		
		石沛镇控制单元	全椒县	177.4		
		六镇镇控制单元	全椒县	141.8		
三汊河(襄河入滁河口) Sancha river (Xianghe river in Chuhe river)	C 段控制区	襄河镇控制单元	全椒县	125.4		
		十字镇控制单元	全椒县	132.1		
		武岗镇控制单元	全椒县	17.1		
		腰铺镇控制单元	南谯区	19.4		

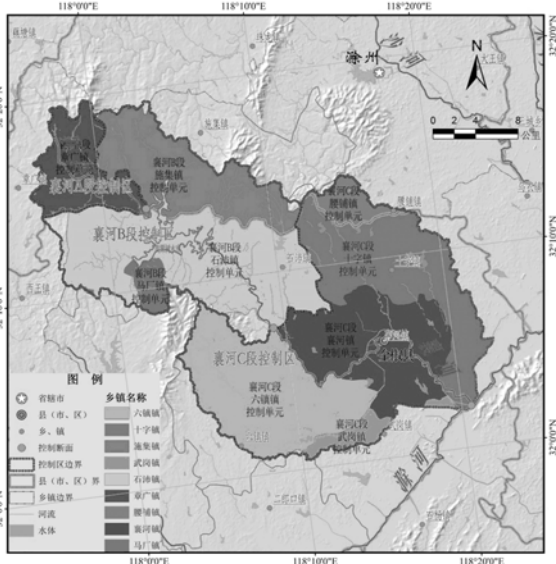


图 1 襄河流域控制单元划分

Figure 1 Zoning scheme of control units in Xianghe river basin

3.2 主要污染物入河量

采用上述对各类污染源的水环境污染排放量

的调查方法和系数,开展了流域污染源调查。分别按污染源类型和控制单元统计了2015年入河污染物排放量和排放比例,具体结果见表3和表4。

由于全椒县城老城区多数仍采用雨污合流模式,部分区域因管道老化等原因造成污水未能完全收集、处理,存在城市雨污管网混接问题,乡镇镇区污水管网收集率低;畜禽养殖市场波动大,企业或养殖户的环境治理设施缺乏,畜禽尿液和冲洗废水直排现象普遍;耕地氮肥施用强度大(约为549 kg·hm⁻²),有机肥施用比例低,农业面源污染突出等原因,襄河流域主要污染源为城镇生活、畜禽养殖和种植业。其中,襄河流域入河COD_{cr}主要来自城镇生活源,占COD_{cr}入河总量的26.1%,其次为畜禽养殖源和种植业源,分别占24.5%和19.9%;入河氨氮主要来自畜禽养殖源,占入河总量的30.1%,其次是种植业源和城镇生活源,分别占24.4%和24.0%。入河总磷主要来自畜禽养殖源,占入河总量的62.3%。

从各控制单元主要污染物入河量看(表4),襄

河流域自上往下污染负荷总量逐渐增加, 污染物入河量主要集中在下游“C 段控制区”内的襄河镇、六镇镇和十字镇 3 个控制单元。扣除控制单元面积因

素后, 污染物入河排放强度也是上述 3 个控制单元居高, 成为襄河流域水环境整治、控制断面达标的重点控制单元。

表 3 2015 年襄河流域各污染源主要污染物入河量

Table 3 Pollutant from multiple sources into the river in Xianghe river basin in the year of 2015

污染源类型 Pollutant source type	COD _{cr} /t·a ⁻¹ Chemical Oxygen demand	占比/% Proportion	氨氮/t·a ⁻¹ Ammonia nitrogen	占比/% Proportion	总磷/t·a ⁻¹ Total phosphorus	占比/% Proportion
工业污染源 Industrial source	717.6	17.1	21.0	3.1	—	—
城镇生活源 Urban life source	1 091.8	26.1	163.9	24.0	13.4	13.5
农村生活源 Rural life source	518.1	12.4	126.4	18.5	13.9	14.1
畜禽养殖源 Livestock and poultry source	1 027.3	24.5	205.5	30.1	61.6	62.3
种植业源 Agricultural source	832.9	19.9	166.6	24.4	10.0	10.1
城市径流 Urban runoff source	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合计 Total	4 188.2	100.0	683.3	100.0	98.9	100.0

表 4 2015 年襄河流域各控制单元主要污染物入河量

Table 4 Pollutant into the river based on control units in Xianghe river basin in the year of 2015

控制流域 Control watershed	控制单元 Control unit	COD _{cr} /t·a ⁻¹	占比/% Proportion	COD _{cr} 排放强度/t·km ⁻² Emission intensity of COD _{cr}
A 段控制区 Segment A	章广镇	191.0	4.6	3.1
	石沛镇	365.2	8.7	2.1
B 段控制区 Segment B	马厂镇	48.1	1.1	3.1
	施集镇	253.3	6.0	2.4
	六镇镇	760.9	18.2	5.4
	襄河镇	1 814.2	43.3	14.5
C 段控制区 Segment C	十字镇	653.5	15.6	4.9
	武岗镇	59.6	1.4	3.5
	腰铺镇	42.4	1.0	2.2
合计 Total		4 188.2	100	5.3

氨氮/t·a ⁻¹ Ammonia Nitrogen	占比/% Proportion	氨氮排放强度/t·km ⁻² Emission intensity of NH ₃ -N	总磷/t·a ⁻¹ Total Phosphorus	占比/% Proportion	总磷排放强度/t·km ⁻² Emission intensity of TP
35.6	5.2	57.1	6.3	6.4	10.1
73.3	10.7	41.3	10.1	10.2	5.7
9.6	1.4	62.7	1.7	1.7	11.1
47.8	7.0	45.3	6.6	6.7	6.3
153.2	22.4	108.0	30.9	31.2	21.8
245.4	35.9	195.7	25.1	25.4	20.0
102.0	14.9	77.2	16.8	17.0	12.7
9.0	1.3	52.6	0.8	0.8	4.7
7.3	1.1	37.6	0.6	0.6	3.1
683.3	100	85.8	98.9	100	12.4

表 5 襄河流域各控制单元水环境容量和削减量

Table 5 The environmental capacity of water and pollutant reductions based on control units in Xianghe river basin

控制流域 Control watershed	控制单元 Control units	纳污能力 Water environmental capacity/t·a ⁻¹			削减量 Reduction/t·a ⁻¹		
		COD _{cr}	氨氮 Ammonia nitrogen	总磷 TP	COD _{cr}	氨氮 Ammonia nitrogen	总磷 TP
A 段控制区 Segment A	章广镇	187.6	11.4	1.2	3.4	24.2	5.1
	石沛镇				122.1	57.5	5.5
B 段控制区 Segment B	马厂镇	443.8	28.2	8.3	16.1	7.5	0.9
	施集镇				84.7	37.5	3.6
	六镇镇				415.4	127.0	26.5
C 段控制区 Segment C	襄河镇				990.4	203.4	21.5
	十字镇	1 512.4	88.5	10.5	356.8	84.5	14.4
	武岗镇				32.5	7.5	0.7
	腰铺镇				23.1	6.1	0.5
合计 Total		2 143.8	128.1	20.0	2 044.4	555.1	78.9

3.3 水环境容量核定及控制单元减排量

按照上述水环境容量模型,采用近 10 年最枯月平均流量作为水文条件,结合控制断面的水质达标要求,对襄河流域分 3 段控制区计算其纳污能力(水环境容量),结果见表 5,由表 5 可知纳污能力(水环境容量)同样也是呈现出自上往下逐渐增加的规律,扣除控制区面积因素,COD_{cr}和氨氮的“纳污强度”在 A 段和 C 段控制区较强,B 段控制区较弱;总磷的“纳污强度”则是 B 段和 C 段控制区较强,A 段较弱。

结合流域规划、上下游关系、水质评价和污染源调查结果和混合区范围等因素,进行纳污能力(水环境容量)合理性分析,分析可利用的水环境容量,应结合水环境功能区水质评价和污染源调查分析,建立污染源与水质目标之间的输入响应关系,进行参数的校核和反馈调整,核定控制单元内允许纳污量。本次计算得到 2020 年 COD_{cr}的环境容量为 2 143.8 t,实际 2015 年入河量为 4 188.2 t,氨氮的环境容量为 128.1 t,实际入河量为 683.3 t,总磷的环境容量为 20.0 t,实际入河量为 98.9 t,3 项指标的实际入河量均超过水环境容量。由襄河干流三汊河监测断面(襄河入滁河口)自 2013 年 1 月至 2015 年 12 月的 18 次水质监测数据来看,COD_{cr}总体为 V 类,氨氮总体为劣 V 类,总磷为 IV 类,均大大超过 III 类水质标准。由此可知,襄河水环境容量、污染物入河量与水质现状基本吻合,说明本次水环境容量的计算基本合理。

为了确保襄河干流在 2020 年达到 III 类水质标准,对控制单元要实施污染物减排。根据各控制单元主要污染物入河量占相应控制区总量的比例,对

各控制区的纳污能力进行控制单元上的分配。各控制单元主要污染物入河量超过纳污能力的部分,就是削减任务量(见表 5)。C 段控制区的襄河镇、六镇镇和十字镇等 3 个控制单元主要污染物的削减任务量最大,COD_{cr}、氨氮和总磷的削减比例分别达到 54.6%、82.9%和 85.7%。

4 对策措施

近期(2017 年底前)将重点组织实施工业集聚区污水集中处置、城镇生活污水治理及配套管网建设、畜禽养殖污染治理及废弃物资源化利用、种植业面源污染防治和河道生态修复 5 大类工程,共 28 个工程项目,总投资约 28.29 亿元。如以上工程项目按计划完成,可以基本满足污染物总量削减目标,预计使襄河水质按期达到 III 类水水质标准要求。具体任务包括:

(1) 针对 C 段控制区襄河镇控制单元内的 6 个工业园区或产业集聚区,建设 3 个污水处理厂对其产生的工业废水进行处理。扩充全椒县污水处理厂收水范围并进行尾水提标改造工程,积极推进全椒县污水处理厂二期主体工程及管网建设。对老旧县城区、城乡结合部污水排放系统进行全面梳理,开展雨污管网改造、污水截留工程。实施全椒县老垃圾填埋场的封场整治工程。该项预计削减 COD_{cr} 1 156.23 t·a⁻¹,氨氮 120.18 t·a⁻¹,总磷 8.03 t·a⁻¹。

(2) 全面实施襄河流域乡镇镇区污水处理工程建设,其中 C 段控制区的六镇镇和十字镇镇区生活污水处理需要达到《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)》^[39]一级 A 标准。按“雨污分流”的要求完善镇区配套收水管网(特别是入户支管网)

建设, 提高污水收集率和污水处理设施的运行负荷率。建立稳定有效的长效保障机制, 确保已建污水处理站的运行效益。该项预计削减 COD_{Cr} 459.30 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$, 氨氮 88.54 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$, 总磷 6.82 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

(3) 限期关闭或拆除流域“禁养区”内的 16 家畜禽养殖场或养殖专业户。对流域内 44 家规模化畜禽养殖企业限期要求建设废水处理设施, 实施粪便综合利用工程。对 28 家非规模化畜禽养殖场建设沼气净化工程, 推广“猪—沼—鱼(果、菜)”的生态养殖模式。建设 20 个生猪和 10 个家禽标准化养殖场(小区), 整合 C 段控制区约 80% 的家庭散养户。该项预计削减 COD_{Cr} 146.51 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$, 氨氮 227.79 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$, 总磷 70.43 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

(4) 在襄河全流域推广测土配方施肥、精准施肥、生物防治病虫害等先进适用农业生产技术, 组织推广使用高效、低毒和低残留农药, 制定农药包装废弃物回收处理办法。在 C 段控制区大力推广“以地定畜、种养结合”模式, 提高农作物有机肥的施用比例。在水稻种植区推广水稻节水灌溉技术。

(5) 对襄河流域内水质较差的赵店河、新龙河 2 条支流实行河道综合整治工程。主要包括控源截污、垃圾清理、清淤疏浚、生态修复等。

5 讨论

本研究存在如下局限, 有待进一步完善:

(1) 本研究采用乡镇行政区与控制流域叠加分析方式确定控制单元的边界, 方法相对简单, 但由于行政边界与流域边界不完全匹配的原因, 结果存在部分控制单元边界分离的现象。考虑到控制单元污染源调查和后期环境管理的可操作性, 将控制流域界限按照涉及乡镇做了适当的归并和调整, 同时对控制流域内面积小的偏远乡镇斑块进行剔除。这在一定程度上影响了控制单元边界的准确度, 进而降低了环境容量和减排量的核算精度。

(2) 进行控制单元污染物排放量的调查, 由于一些控制单元仅占乡(镇)域的部分, 在农村生活污水和种植业污染量测算时, 仅能对全乡镇的统计数据按照相应的面积比例进行折算。另污染源入河系数的设定带有一定的主观性, 应结合径流小区实测数据进行必要的率定。

参考文献:

- [1] 美国国家环境保护局. 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.
- [2] ALAMEDDINE I, QIAN S S, RECKHOW K H. A Bayesian change point-threshold model to examine the

effect of TMDL implementation on the flow-nitrogen concentration relationship in the Neuse River basin[J]. *Water Res*, 2011, 45(1): 51-62.

- [3] BULLEIT K. Achieving sustainable development: a review of the environmental balancing act in two key clean water act regulatory programs [J]. *Environ Sci Policy*, 2000, 3: 15-20.
- [4] SIGEL K, KLAUER B, PAHL-WOSTL C. Conceptualising uncertainty in environmental decision-making: The example of the EU water framework directive[J]. *Ecol Econ*, 2010, 69(3): 502-510.
- [5] GRAUPNER B J, BENTHAUS F C, BURGER S, et al. Implications of EU-Water framework directive for the east German postmining landscape Lausitz: Coping with a sparse knowledge of the underground[J]. *Limnologica*, 2005, 35(3): 199-205.
- [6] 李恒鹏, 陈伟民, 杨桂山, 等. 基于湖库水质目标的流域氮、磷减排与分区管理——以天目湖沙河水库为例[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(6): 785-798.
- [7] 中国环境科学研究院. 水质基准的理论与方法学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [8] 孟伟, 张远, 张楠, 等. 流域水生态功能分区与质量目标管理技术研究的若干问题[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(7): 1345-1351.
- [9] 秦耀民, 胥彦玲, 李怀恩. 基于 SWAT 模型的黑河流域不同土地利用情景的非点源污染研究[J]. *环境科学学报*, 2009, 29(2): 440-448.
- [10] 冯夏清, 章光新, 尹雄锐. 基于 SWAT 模型的乌裕尔河流域气候变化的水文响应[J]. *地理科学进展*, 2010, 29(7): 827-832.
- [11] 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.
- [12] 薛亦峰, 王晓燕, 王立峰, 等. 基于 HSPF 模型的大阁河流域径流量模拟[J]. *资源科学与技术*, 2009, 32(10): 103-107.
- [13] 马晓宇, 朱元励, 梅琨, 等. SWMM 模型应用于城市住宅区非点源污染负荷模拟计算[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(1): 95-102.
- [14] 孟伟, 张楠, 张远, 等. 流域水质目标管理技术研究 IV: 控制单元的总量控制技术[J]. *环境科学研究*, 2007, 20(4): 1-7.
- [15] 孟伟. 流域水污染物总量控制技术与示范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008: 20-25.
- [16] 金陶陶. 流域水污染防治控制单元划分研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [17] 王俭, 韩婧男, 王蕾, 等. 基于水生态功能分区的辽河流域控制单元划分[J]. *气象与环境学报*, 2013, 29(3): 107-111.
- [18] 国家环境保护总局科技标准司. 地表水环境质量标准: GB 3838-2002 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [19] 国务院. 水污染防治行动计划(国发(2015)17号)[Z]. 2015-04-02.
- [20] USEPA. Handbook for developing watershed plans to restore and protect our waters [EB/OL]. [2016-03-08].

- http://www.epa.gov/owow/nps/watershed_handbook.
- [21] 谢蓉蓉, 逢勇, 王晓, 等. 基于太湖流域跨界断面的跨界水环境综合管理及控制单元划分研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2015, 31(1): 103-109.
- [22] 王金南, 吴文俊, 蒋洪强, 等. 中国流域水污染控制分区方法与应用[J]. 水科学进展, 2013, 24(4): 1-8.
- [23] 王东, 王雅竹, 谢阳村, 等. 面向流域水环境管理的控制单元划分技术与应用[J]. 应用基础与工程科学学报, 2012, 20(9): 924-926.
- [24] PATIL A, DENG Z Q. Bayesian approach to estimating margin of safety for total maximum daily load development[J]. J Environ Manage, 2011, 92(3): 910-918.
- [25] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 293-300.
- [26] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 辽河流域水生态分区研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 911-918.
- [27] 雷坤, 孟伟, 乔飞, 等. 控制单元水质目标管理技术及应用案例研究[J]. 中国工程科学, 2013, 15(3): 62-69.
- [28] XIE Y C. Exploration on the technologies of control unit classification and goal-setting of total pollutant emission control[C]//International Conference on Bioinformatics & Biomedical Engineering. Wuhan: IEEE Xplore, 2011: 1-5.
- [29] 谢阳村, 王东, 赵康平. 利用控制单元识别松花江流域水污染防治重点[J]. 环境保护科学, 2012, 38(5): 18-21.
- [30] 徐敏, 谢阳村, 王东, 等. 流域水污染防治“十二五”规划分区方法与实践[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(12): 74-77.
- [31] 邓富亮, 金陶陶, 马乐宽, 等. 面向“十三五”流域水环境管理的控制单元划分方法[J]. 水科学进展, 2016, 27(6): 909-917.
- [32] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[R]. 北京: 中国环境规划院, 2003.
- [33] 安徽省环境保护厅. 安徽省水环境功能区划[R]. 合肥: 安徽省环境科学研究院, 2014.
- [34] 全椒县环境保护局. 2015 年全椒县环境统计年鉴[R]. 2015.
- [35] 南谯区环境保护局. 2015 年南谯区环境统计年鉴[R]. 2015.
- [36] 国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室. 第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册[R]. 2008.
- [37] 全椒县统计局. 全椒县统计年鉴 2015[R]. 滁州: 滁州市统计局, 2015.
- [38] 南谯区统计局. 南谯区统计年鉴 2015[R]. 滁州: 南谯区, 2015.
- [39] 环境保护部科技标准司. 城镇污水处理厂污染物排放标准:GB18918-2002 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
- [40] 安徽省质量技术监督局. 安徽省行业用水定额:DB34/T 679-2014 [S]. 合肥: 安徽省水利厅, 2014.
- [41] 国家环境保护总局科技标准司. 畜禽养殖业污染物排放标准:GB18596-2001 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
- [42] 国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室. 第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册[R]. 2009.
- [43] 国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室. 第一次全国污染源普查农业污染源肥料流失系数手册[R]. 2009.
- [44] 张永良. 水环境容量基本概念的发展[J]. 环境科学研究, 1992, 5(3): 59-61.
- [45] 中华人民共和国水利部. 水域纳污能力计算规程:GB/T 25173-2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [46] 胡锋平, 侯娟, 罗健文, 等. 赣江南昌段污染负荷及水环境容量分析[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(12): 192-205.
- [47] LI Y X, QIU R Z, YANG Z F, et al. Parameter determination to calculate water environmental capacity in Zhangweinan Canal Sub-basin in China[J]. J Environ Sci, 2010, 22(6): 904-907.
- [48] 黄真理, 李玉梁, 李锦秀, 等. 三峡水库水环境容量计算[J]. 水利学报, 2004, 3(3): 7-14.
- [49] 栗苏文, 李红艳, 夏建新, 等. 基于 Delft3D 模型的大鹏湾水环境容量分析[J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 91-95.
- [50] ZHANG R B, QIAN X, YUAN X C, et al. Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using QUAL2K for water environmental management[J]. Inter J Env Res Pub Hea, 2012, 9(12): 4504-4521.
- [51] 林高松, 李适宇, 江峰. 考虑污染源强随机变化的感潮河流环境容量优化[J]. 水科学进展, 2006, 17(3): 317-322.
- [52] DENG Y X, ZHENG B H, FU G, et al. Study on the total water pollutant load allocation in the Changjiang(Yangtze River) Estuary and adjacent seawater area[J]. Estuar Coast Shelf S, 2010, 86(3): 331-336.
- [53] HAN H Y, LI K Q, WANG X L, et al. Environmental capacity of nitrogen and phosphorus pollutions in Jiaozhou Bay, China: Modeling and assessing[J]. Mar Pollut Bull, 2011, 63(5): 262-266.
- [54] 诸葛亦斯, 彭文启, 杜强, 等. 太子河闸坝河段水环境容量研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011, 9(1): 29-34.
- [55] 张永良, 刘培哲. 水环境容量综合手册[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.