

栾敬帅. 城市内河入河污染物定量控制策略探讨[J]. 净水技术, 2024, 43(3):159-165,180.

LUAN J S. Discussion on quantitative control strategy for urban river pollutants [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(3):159-165,180.

城市内河入河污染物定量控制策略探讨

栾敬帅*

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司,上海 200092)

摘要 城市内河水环境与城市居民生活幸福指数息息相关。在幸福美丽河湖的背景下,水环境治理的目标已由消除黑臭水体提高至全方位水质保障,提升水体的水质稳定性成为新时代河湖治理面临的挑战之一。文章以南方某入江一级支流约 17.0 km 长的城市区间段为研究对象,以 5 条汇入的主要城市内河流域为边界划分控制单元,分析 2020 年研究河段化学需氧量、氨氮和总磷 3 个指标的全年时空变化特征,确定超标次数较多的氨氮为主要水质控制指标,在排水管网分析的基础上,发现主要污染源为雨天城市面源污染。在雨水径流实际水质监测数据的指导下,根据各控制单元内雨污混接比例,分解各单元污染贡献比,采用容量控制方法,以控制断面水质达标为目标计算水环境容量,反推最大允许排污量并计算分配各控制单元的污染物削减率。经计算,在对各控制单元内的存在雨污混接区域的雨水按照年径流总量控制率 76% 标准进行控制后,可满足研究区间河道水质稳定在地表Ⅲ类水的需求,为系统化治理措施的规模确定提供量化指导。

关键词 城镇水环境 综合治理 面源污染 水环境容量 海绵城市 系统调蓄

中图分类号: TU992 **文献标识码**: A **文章编号**: 1009-0177(2024)03-0159-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.03.019

Discussion on Quantitative Control Strategy for Urban River Pollutants

LUAN Jingshuai*

(Shanghai Municipal Engineering Design and Research Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract The environmental quality of urban river water is closely related to the life satisfaction of urban residents. In terms of creating happy rivers and lakes, the aim of water environment management is transitioning from removal of black and odorous waters to comprehensive safeguarding of stable water quality of rivers and lakes. This paper researched a 17.0 km primary tributary of the Yangtze River in urban zone of southern China, which has 5 main urban rivers flowing into it. After analyzing surface water quality monitoring data of 2020, ammonia nitrogen was determined as control index, which exceeded control limit frequently. Based on drainage system analysis, urban non-point source pollution was found to be the main contribution. The pollution contribution ration of 5 urban river catchment was calculated using actual stormwater monitoring data, and the maximum allowable pollution load was determined based on water environmental capacity in terms of water quality goal. The conclusion was 76% of annual stormwater runoff had to be collected and controlled, in order to eliminate enough non-point source pollution and keep the river water quality stabilizing in surface water class III standard.

Keywords urban water environment comprehensive management non-point source pollution water environmental capacity sponge city storage system

自 2015 年《水污染防治行动计划》(简称《计

划》)印发以来,全国各地“十三五”期间在《城市黑臭水体整治工作指南》和《城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》的指导下,进行了一系列黑臭水体治理工作,治理方案通常在目标污染总量控制的指导下制定^[1],即通过物探、调查等手段发现所有污染直排点,分阶段制定污染总量削减计划,采取污水直排口整治、污水处理厂提标扩建、河道底泥疏浚等措

[收稿日期] 2023-06-07

[基金项目] 上海市“科技创新行动计划”社会发展领域项目(17DZ1202600);上海市青年科技英才扬帆计划(21YF1443900);上海城投(集团)有限公司科技创新计划(CTKY-ZDXM-2022-003)

[通信作者] 栾敬帅(1990—),男,硕士,主要从事给排水设计工作,E-mail:luanjingshuai@smedi.com。

施,效果立竿见影。至 2020 年底,全国地级及以上城市 2 914 个黑臭水体消除比例达到 98.2%,超额达成《计划》工作目标。

党的十九届五中全会将“生态文明建设实现新进步”作为“十四五”时期经济社会发展主要目标之一,牢固树立“两山”理念,全国多地围绕“十四五”时期水生态环境质量进一步提升做出规划,例如江苏省“十四五水利发展规划”提出“聚力打造幸福河湖”;浙江省“水生态环境保护十四五规划”提出“推动美丽河湖迭代升级”。在黑臭水体治理阶段,污染总量控制目标法指导下的治理方案较少关注到河道水环境容量的时空变化特征^[2],部分地区已治理河道也不可避免地出现水质不稳定或雨季河道反黑反臭的现象。新时期水生态环境质量全面提升的目标下,大量城市内河以地表水Ⅲ类或Ⅳ类为控制和考核目标,河道水质进一步提升和稳定也将成为新的挑战,水环境治理工作需由目标总量控制向容量总量控制转变^[3],即从水环境质量要求出发,根据水环境容量反推允许排污量,优化分配污染负荷削减目标。

为探索以河道水质稳定达标为目标的水环境治理方案制定方法,本文以相关项目经验为基础,以容量总量控制法为指导,以海绵城市建设理念为根本,注重系统方案顶层设计^[4],就入河污染物定量控制策略进行探讨,以期城市水环境综合治理提供参考。

1 现状分析

1.1 研究区域概况

本文以南方某入江一级支流 Q 河为研究对象,选取断面 A 和断面 B 之间的河段为研究区间,断面 A 位于上游,为国考断面,断面 B 位于入江口,为省考断面,两断面水质考核目标均为地表Ⅲ类水。研究区间河段总长约为 17.0 km,共有 5 条主要城市内河汇入,各内河的流域范围划分如图 1 的单元 1~5 所示,各单元的流域面积如表 1 所示。

1.2 河道水质情况分析

水环境综合治理以河道水质达标为目的,因此,在进行现状分析时应以河道的收水范围作为分析单元,流域单元划分应综合行政区划、河道等级、河道连通情况等因素进行。

1.2.1 干流水质分析

断面 A 与断面 B 的流量如表 2 所示,2020 年 1 月—12 月的化学需氧量、氨氮和总磷 3 种污染物浓度月均值逐月变化如图 2 所示。断面 A 全年 3 种污

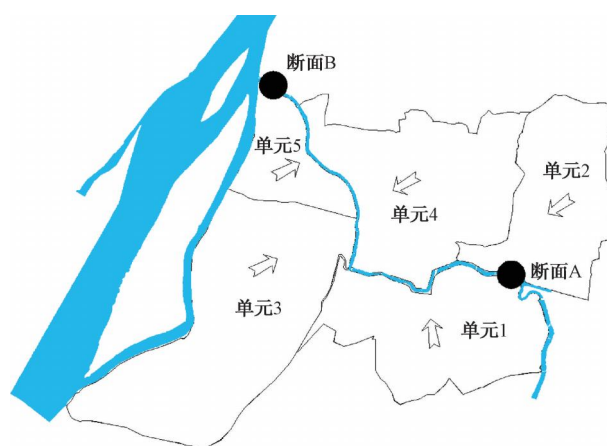


图 1 研究区域河道平面位置

Fig. 1 River Layout in Study Area

表 1 5 条城市内河流域面积统计

Tab. 1 Statistics on Drainage Area of Five Urban Rivers

名称	单元 1	单元 2	单元 3	单元 4	单元 5
流域面积/km ²	27.4	23.1	44.7	32.7	10.4
排水体制	雨污分流为主,合流制或存在混接面积占比约为 10%				
下垫面特征	城区,开发基本完成,控规绿地面积占比约为 15%				

表 2 断面 A 和 B 流量 (单位:m³/s)

Tab. 2 River Flow of Cross Section A and B (Unit: m³/s)

名称	枯水期	平水期	丰水期
断面 A	13.2	20.0	26.9
断面 B	20.9	29.1	38.9

染物浓度均未超出地表Ⅲ类水标准,断面 B 氨氮在 7 月和 12 月分别超出地表Ⅲ类水标准约 50% 和 75%,其余 2 种污染物均达到地表Ⅲ类水标准。

1.2.2 内河水质分析

选取氨氮浓度作为代表性分析指标,以地表水Ⅲ类为考核标准,对 2020 年全年断面 A 与断面 B 之间汇入的 5 条城市内河河道水质变化情况进行统计如下,可以发现 7 月 5 条城市内河氨氮浓度均为全年峰值(图 3)。

1.2.3 干流与内河水质变化关联性分析

经过以上对 Q 河干流断面和城市内河的水质分析,发现断面 B 的氨氮浓度在 7 月出现严重超标时,其上游汇入的城市内河的氨氮也基本处于全年峰值,二者水质变化趋势类似,说明断面 B 的水质变化与城市内河水质变化关联性较强,断面 B 的水质达标需将城市内河的水质提升作为重点。

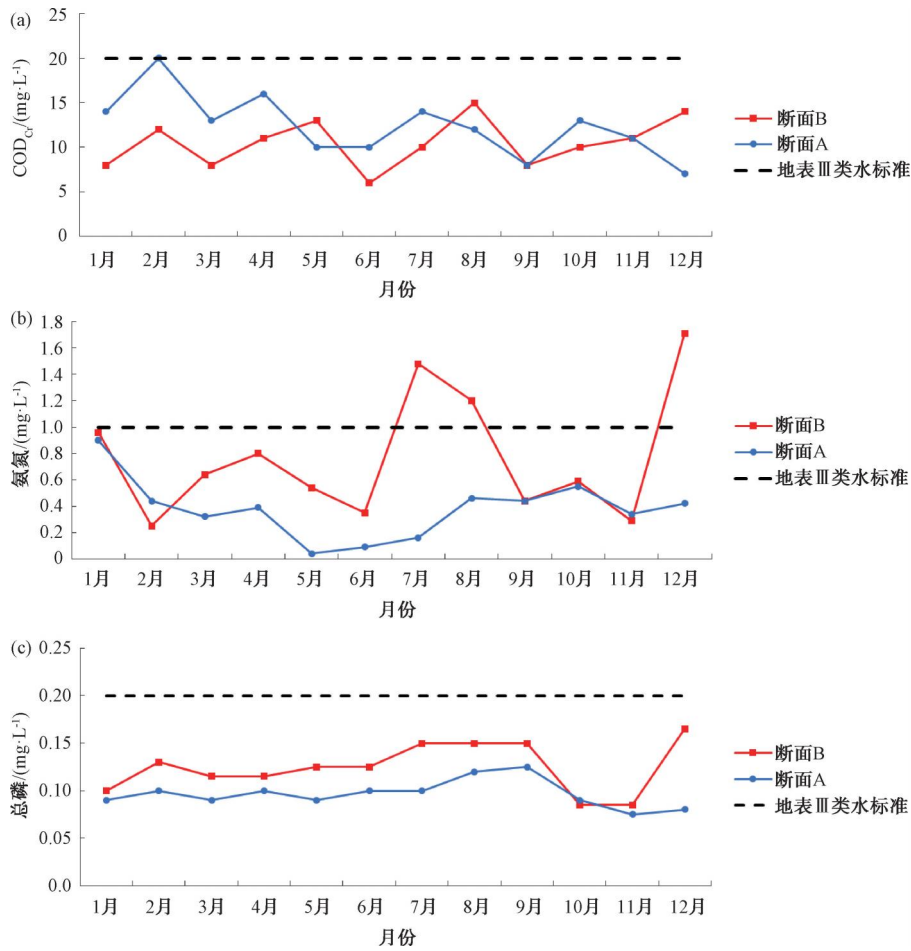


图2 2020年1月—12月断面A和B 3种污染物浓度月均值变化

Fig. 2 Monthly Concentration Variation of Three Typical Pollutants for Cross Section A and B in 2020

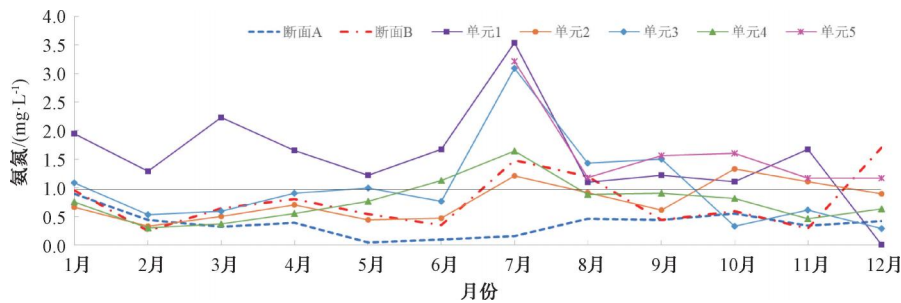


图3 典型片区2020年1月—12月河道氨氮水质指标变化

Fig. 3 Changes of Ammonia Nitrogen Water Quality Indices in River Channels in Typical Areas during January to December 2020

1.3 污染源解析

上述城市内河的水质表现为旱季相对较好,雨季超标严重,该现象基本表明河道污染主要来自岸上雨天面源污染输入,排水系统应作为重点分析对象。

1.3.1 雨水、污水系统分析

研究范围内规划排水体制为雨污分流制,原合

流制区域近年来也基本完成雨污分流改造。从改造效果来看,流域内雨、污水管网之间存在较多的混接,为避免旱天污水下河,部分沿河雨水排口处设置有截流设施和截流管道。以城市内河4为例,单元4范围内现状共有69处雨水排口截流设施,对应的服务范围面积约为13 km²,约占单元4总面积的43%,旱天截流水量约为9.9万 m³/d,约占单元4

旱天总污水量的 19%。

经调研各流域单元内污水转输泵站后,发现污水转输泵站的设计规模为对应污水分区的规划旱天污水量,旱天由雨水排口截流设施截流的污水量可顺利通过污水泵站转输至污水厂。在雨天,除个别实际运行水量未达设计规模的污水泵站外,其余污水泵站在正常运行工况下,几乎无能力转输截流污水量,导致雨水排口处截流设施失效,大量由雨污混接点进入雨水管网的污水随雨水溢流排入河道。

1.3.2 污染源分类

研究范围内旱天无污水直排现象,且无污水处理厂、净水站等尾水排口,并且研究范围属于主城区,无基本农田或养殖业,因此,无农业面源和点源污染输入,入河污染物主要由城市面源和内源污染构成。结合以上对研究范围内排水系统分析,根据污染强度的不同,城市面源污染又可分为无雨污错接区域的面源污染和存在雨污错接区域的面源污染。

1.4 污染物贡献比例分析

1.4.1 计算方法

断面 B 的污染由各城市内河流域的城市面源污染和内源污染贡献,因此各城市内河流域对断面 B 的污染贡献可通过式(1)计算。

$$C_{Ri} = \frac{P_{1NP-i} + P_{2NP-i} + P_{1-i}}{\sum_i (P_{1NP-i} + P_{2NP-i} + P_{1-i})} \quad (1)$$

其中: C_{Ri} ——城市内河 i 对断面 B 的污染贡献;

P_{1NP-i} ——城市内河 i 的雨污混接区域月面源污染总量,kg/月;

P_{2NP-i} ——城市内河 i 的雨污分流区域月面源污染总量,kg/月;

P_{1-i} ——城市内河 i 的月内源污染总量,kg/月。

城市内河 i 流域内各类污染物占流域内污染总量的比值可通过式(2)~式(4)计算。

$$R_{1i} = \frac{P_{1NP-i}}{\sum_i (P_{NP-i} + P_{1-i})} \quad (2)$$

$$R_{2i} = \frac{P_{2NP-i}}{\sum_i (P_{NP-i} + P_{1-i})} \quad (3)$$

$$R_{3i} = \frac{P_{NP-i} + P_{1-i}}{\sum_i (P_{NP-i} + P_{1-i})} \quad (4)$$

其中: P_{NP-i} ——城市内河 i 的月面源污染总量,kg/月;

R_{1i} ——城市内河 i 的雨污混接区域月面源污染占总污染量的比例;

R_{2i} ——城市内河 i 的雨污分流区域月面源污染占总污染量的比例;

R_{3i} ——城市内河 i 的月内源污染占总污染量的比例。

城市面源污染可通过雨水径流量及雨水径流浓度计算,如式(5)。

$$P_{NP} = 0.01 \times A \times \psi \times F \times C \quad (5)$$

其中: P_{NP} ——月面源污染总量,kg/月;

A ——排水分区面积,km²;

ψ ——综合径流系数;

F ——月度降雨量,mm/月;

C ——雨水径流污染浓度,mg/L。

内源污染通过底泥量和底泥污染释放强度计算,如式(6)。

$$P_1 = M \times S \div 12 \quad (6)$$

其中: P_1 ——月内源污染总量,kg/月;

M ——河道底泥总量,kg;

S ——底泥污染释放强度,kg/(m³·a)。

1.4.2 指标取值

经实际监测结果发现,该片区完全分流的雨水排口和雨污混接溢流排口均无明显初期效应,因此城市面源污染物总量测算按照“次降雨径流平均浓度(event mean concentration, EMC)”进行测算。完全分流区域雨水径流污染 EMC 值依据服务范围内下垫面类型占比和不同下垫面雨水出流水质浓度^[5-6]进行加权,并结合部分排口实际监测结果确定取值;雨污混接区域雨水径流污染 EMC 值依据国内城市研究成果^[7]、服务范围内雨污分流已改造比例和部分排口实际监测结果确定取值。内源污染主要来源为河道底泥,底泥污染释放强度以相关研究结果均值确定。各类雨水径流 EMC 取值如表 3 所示。

1.4.3 计算结果

综上,研究范围内入河污染物主要为城市面源

和内源污染,现状各城市内河流域单元内雨污混接面积比例越高,该流域对断面 B 的污染物贡献比例

越高,5 个流域单元的污染物贡献比例计算结果如表 4 所示。

表 3 雨水径流污染 EMC 取值与底泥污染释放强度

Tab. 3 EMC of Rainfall Runoff Pollution and Intensity of Sediment Pollution Release

污染物来源		COD _{Cr}	氨氮
完全分流区域不同	屋面	60 mg/L	4.6 mg/L
下垫面出流雨水	路面与铺装	120 mg/L	3.0 mg/L
	绿地	33 mg/L	1.4 mg/L
雨污混接区域雨水径流		130 mg/L	15.0 mg/L
底泥污染释放强度		1 kg/(m ³ ·a)	0.003 6 kg/(m ³ ·a)

表 4 典型片区污染物贡献比例(以氨氮计)

Tab. 4 Contribution of Typical Urban River Pollutants (Measured in Ammonia Nitrogen)

流域名称	污染物总量/t	污染贡献 C _{Ri}	流域内污染物占比				内源污染总量/t	内源污染 R _{3i}
			城市面源(雨污混接)总量/t	城市面源(雨污混接)R _{1i}	城市面源(完全分流)总量/t	城市面源(完全分流)R _{2i}		
单元 1	189.1	27.00%	101.2	53.50%	78.5	41.50%	9.5	5.00%
单元 2	88.5	12.60%	36.4	41.14%	47.7	53.86%	4.4	5.00%
单元 3	132.5	18.90%	27.4	20.65%	98.5	74.35%	6.6	5.00%
单元 4	247.7	35.30%	196.7	79.42%	38.6	15.58%	12.4	5.00%
单元 5	43.5	6.20%	21.1	48.40%	20.3	46.60%	2.2	5.00%

2 入河污染物定量控制测算

美国环保局于 1972 年《清洁水法》中提出 TMDL(Total Maximum Daily Loads)计划,即在满足水质标准的条件下,水体能够接受的某种污染物的最大日负荷量。该计划的目标之一就是可将可分配的污染负荷分配到各个污染源(包括点源和非点源),同时要考虑安全临界值和季节性变化,从而采取适当的污染控制措施来保证目标水体达到相应的水质标准。

借鉴 TMDL 理念,以两个考核断面或行政区界为边界,可将河道的某个区间划为一个相对的封闭系统。下游断面的允许最大污染物通量与上游断面输入污染物通量的差值,并考虑叠加一定的自然降解作用,即为该封闭系统的最大允许污染物排放量。河道流量分为枯水月、平水月和丰水月流量,按照水文站多年监测数据进行取值,计算如式(7)。

$$P_A = 2\ 592 \times Q \times C - Q_U \times C_U \quad (7)$$

其中:P_A——研究河道断面最大允许污染物通量,kg/月;

Q——研究河道断面流量,m³/s;

C——研究河道断面最大允许污染物质量浓度,mg/L;

Q_U——上游断面流量,m³/s;

C_U——上游河道断面污染物质量浓度,mg/L。

断面 A 至断面 B 全年每月最大允许污染物净增量与实际污染物净增量如图 4 所示,7 月和 12 月超标百分比分别约为 28%和 43%,即断面 A 和断面 B 区间内总入河污染物削减率应分别达到 28%和 43%。

根据不同流域单元的污染贡献比例和污染物来源占比情况,以区间最高削减率为目标,可针对不同污染物来源制定相应削减率,以达到削减断面 B 污染物总量的目的,各城市内河对断面 B 的污染贡献削减比例可通过式(8)计算。

$$\sum C_{R'i} = C_{R1} \times R_1 + C_{R2} \times R_2 + \dots + C_{Ri} \times R_i \quad (8)$$

其中:C_{R'i}——城市内河 i 削减的污染贡献;

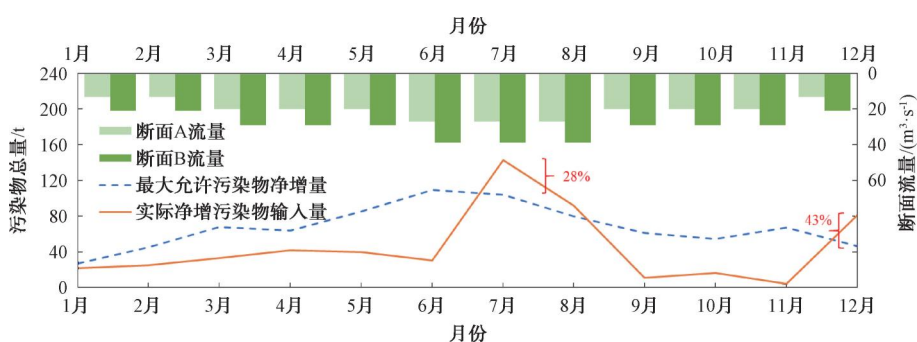


图4 最大允许污染物净增量与实际污染物净增量逐月变化(以氨氮计)

Fig. 4 Maximum Allowable and Practical Net Increase of Pollutants (Measured in Ammonia Nitrogen)

R_i ——城市内河 i 流域内污染物总体削减率。

其中,城市内河 i 流域内污染物总体削减率计算如式(9)。

$$R_i = R_{1i} \times D_{1i} + R_{2i} \times D_{2i} + R_{3i} \times D_{3i} \quad (9)$$

其中: D_{1i} ——城市内河 i 流域内雨污混接区域面源污染的削减率;

D_{2i} ——城市内河 i 流域内雨污分流区域面源污染的削减率;

D_{3i} ——城市内河 i 流域内内源污染的削减率。

雨污混接区域雨水径流污染 EMC 相对完全分流区域雨水 EMC 更高且面积占比较高,因此,可将控制雨污混接区域雨水径流污染放在首位,以期获得更高的治理效益。

如上述典型片区短期内雨污混接范围面源污染物削减率为 76%,完全分流服务范围内暂不做强制控制要求。经计算,分别对 5 条城市内河流域内雨污混接范围面源污染进行削减后,可将对断面 B 的总污染贡献削减 43.97%,高于最大月超标量 43%,即该控制策略可行(表 5)。

表 5 典型片区入河污染物控制策略(以氨氮计)

Tab. 5 Control Strategy of Typical Urban River Pollutants (Measured in Ammonia Nitrogen)

流域名称	污染贡献 C_{Ri}	城市面源(雨污混接)		城市面源(完全分流)		内源污染		流域内总体削减率 R_i	削减的污染贡献 C_{Ri}'
		占比 R_{1i}	削减率 D_{1i}	占比 R_{2i}	削减率 D_{2i}	占比 R_{3i}	削减率 D_{3i}		
单元 1	27.00%	53.50%	76.00%	41.50%	0.00	5.00%	50.00%	43%	11.64%
单元 2	12.60%	41.14%	76.00%	53.86%	0.00	5.00%	50.00%	34%	4.26%
单元 3	18.90%	20.65%	76.00%	74.35%	0.00	5.00%	50.00%	18%	3.44%
单元 4	35.30%	79.42%	76.00%	15.58%	0.00	5.00%	50.00%	63%	22.19%
单元 5	6.20%	48.40%	76.00%	46.60%	0.00	5.00%	50.00%	39%	2.44%

3 治理措施

3.1 控制雨量目标计算

面源污染工程措施通常以雨水径流总量控制率作为设计标准,因此需将污染物削减率转化为需控制的降雨量。相关研究^[8-9]表明,面源污染主要来源包括地表径流、旱流污水和管道沉积物,不同地区的研究结果中三者的贡献比例存在差异,主要因为不同地区的下垫面组成、雨污混接比例和排水管道管养水平等边界条件存在差异。根据实际监测结果分析,在综合了雨污混接率和管网疏通水平的影响下,研究范围内完全分流的雨水排口和雨污混接溢

流排口均无明显初期效应,因此,污染物目标削减率可直接转换为雨水目标年径流总量控制率,进而得到需控制的降雨量。

3.2 体系构建

在面源污染控制体系中,污染控制所需控制的雨量由源头低影响开发、过程截流与系统调蓄和末端处理 3 个环节共同消纳。

《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》中将我国大陆地区大致分为 5 个区,并给出了各区年径流总量控制率的范围值。水环境综合治理应与源头海绵城市改造相结合,并依据各城

市、行政区的海绵城市规划和城市建设现状、以雨水汇水分区为单元、遵循实事求是的原则进行近远期的源头可改造比例评估,即可得出源头低影响开发可控制的雨量。

经源头控制后,仍需控制的雨水量采用过程截流与系统调蓄措施补足。截流通常在较短时间内完成,特点为时间短流量大,而现状污水泵站和管网输送能力通常按照分流制污水系统标准设计,因此需对现状污水泵站和管网的输送能力进行全面评估,按需扩建现有污水管网或新建截流管道,补足截流能力。调蓄设施的设置采用“分散为主、集中为辅”的原则。从项目经验来看,老城区、主城区通常分散式调蓄设施的选址难度较大,而集中调蓄需配套建设大口径转输管道,此时线性调蓄具有一定的优势。

《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)提出污水系统的雨季设计流量概念,污水系统应充分考虑污水处理设施的韧性,具备接纳合流制截流污水和分流制截流初期雨水的能力^[10]。雨后调蓄系统的放空时间直接影响末端处理规模,通常调蓄池建议放空时间为12~48 h。调蓄池放空时间的长短直接影响调蓄池的利用率^[11],在雨季尤为明显,不同地区可通过多年降雨数据统计结果结合城市经济水平确定。

4 结论与建议

(1)本文以城市内河断面水质达标为目标,以污染物控制为出发点,以内河流域为分析单元,经对现状河道水质情况进行分析和污染物来源占比进行分解,确定总体污染物削减目标和雨水年径流总量控制率。

(2)面源污染控制体系应由源头低影响开发、过程截流与系统调蓄、末端处理构成。

(3)本文根据城市内河河道流量、河道本底水质、降雨量和入河污染物浓度等有限基础数据,借鉴TMDL理念,以相关项目为例定量计算不同污染源的削减比例,进而制定系统化治理措施。计算过程和系统化理念可为其他城市水环境治理方案制定提供参考和借鉴。

(4)为提高计算过程的准确性和针对性,建议该类项目前期应进行一定周期的水量水质检测工作,或相关部门在必要点位增设在线监测仪表以获得高质量连续数据。

参考文献

- [1] 马乐宽,赵康平,赵越,等. 湖库型水体总氮总量控制目标的区域分配研究[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(3): 54-57.
MA L K, ZHAO K P, ZHAO Y, et al. An approach for pollution load allocation of TN within a basin characterized by lakes or reservoirs[J]. Environmental Pollution & Control, 2015, 37(3): 54-57.
- [2] 吴舜泽,徐敏,马乐宽,等. 重点流域“十三五”规划落实“水十条”的思路与重点[J]. 环境保护, 2015, 43(18): 14-17.
WU S Z, XU M, MA L K, et al. Progress of the “13th Five-year Plan” for key river basin implementing the action plan for prevention and control of water pollution[J]. Environmental Protection, 2015, 43(18): 14-17.
- [3] 李屹. 目标与容量控制相结合的海河干流水质适应性管控技术研究[D]. 天津:天津大学, 2019.
LI Y. Study on water quality adaptive control technology of haihe river main stream combined with target and capacity control[D]. Tianjin: Tianjin University, 2019.
- [4] 张辰. 基于海绵城市建设理念的排水工程设计[J]. 给水排水, 2019, 55(6): 1-5.
ZHANG C. Drainage engineering design based on the concept of sponge city construction[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 55(6): 1-5.
- [5] 曹宏宇,黄申斌,李娟英,等. 上海临港新城初期地表径流污染特性与初期效应研究[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(6): 66-71.
CAO H Y, HUANG S B, LI J Y, et al. Research on pollution characteristics and initial effect of surface runoff in Lingang new city of Shanghai[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011, 22(6): 66-71.
- [6] 颜子俊,刘焕强,孙海罗,等. 温州市不同功能区地表径流污染特征研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(s1): 203-208.
YAN Z J, LIU H Q, SUN H L, et al. Study on the polluted characteristics of the surface runoff in the different functional districts of Wenzhou[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(s1): 203-208.
- [7] 杨默远,潘兴瑶,刘洪禄,等. 基于文献数据再分析的中国城市面源污染规律研究[J]. 生态环境学报, 2020, 29(8): 1634-1644.
YANG M Y, PAN X Y, LIU H L. Urban non-point pollution characteristics in China: A meta-analysis[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(8): 1634-1644.
- [8] 戴梅红,李田,张伟. 合流制排水系统雨天溢流污染CMB法源解析[J]. 环境科学, 2013, 34(11): 4226-4230.

(下转第180页)

- discharge standard of rural sewage [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2022, 58(s1): 113-118.
- [3] 高健磊, 翁伟, 闫怡新, 等. 改良 CASS 城镇污水厂处理高比例工业废水的运行 [J]. *工业水处理*, 2021, 41(3): 125-128.
- GAO J L, WENG W, YAN Y X, et al. Operation of municipal wastewater treatment plant with improved CASS process for high proportion of industrial wastewater [J]. *Industrial Water Treatment*, 2021, 41(3): 125-128.
- [4] 陈民东, 庄贵, 田川川, 等. 胶州市农村环境连片整治项目污水管网设计探讨 [J]. *市政技术*, 2021, 39(8): 138-142.
- CHEN M D, ZHUANG G, TIAN C C, et al. Discussion on sewage network design of rural environment contiguous improvement projects in Jiaozhou [J]. *Municipal Engineering Technology*, 2021, 39(8): 138-142.
- [5] 王忠敏, 孙国亮, 朱四琛, 等. 皖南某乡镇污水处理工程项目设计案例 [J]. *净水技术*, 2019, 38(11): 36-41.
- WANG Z M, SUN G L, ZHU S C, et al. Engineering design case of wastewater treatment project of a rural township in southern Anhui [J]. *Water Purification Technology*, 2019, 38(11): 36-41.
- [6] 刘堰杨, 唐启亮. 成都市乡镇污水处理厂进水水质特征分析 [J]. *净水技术*, 2023, 42(10): 76-86.
- LIU Y Y, TANG Q L. Characteristics of influent wastewater quality in township WWTPs in Chengdu City [J]. *Water Purification Technology*, 2023, 42(10): 76-86.
- [7] 王晓莲, 彭永臻. A²/O 法污水生物脱氮除磷处理技术与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- WANG X L, PENG Y Z. Sewage biological denitrification and phosphorus removal technology and application in A²O process [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [8] 王磊. 反硝化滤池+臭氧活性炭在高标准城镇污水处理厂原位提标改造中的应用 [J]. *净水技术*, 2023, 42(7): 160-167, 182.
- WANG L. Application of denitrification filter and ozone activated carbon in in-situ upgrading of high-standard urban WWTP [J]. *Water Purification Technology*, 2023, 42(7): 160-167, 182.
- [9] 邵辉煌, 李艺, 郭玉梅, 等. A²/O 工艺污水处理厂生物除磷研究 [J]. *给水排水*, 2015, 51(11): 131-134.
- SHAO H H, LI Y, GUO Y M, et al. Study on biological phosphorus removal in sewage treatment plant of A²O process [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2015, 51(11): 131-134.
- [10] 李海琳, 王舜和, 梁晓彤. 海南某工业园区污水厂准Ⅲ类水工艺设计 [J]. *环境工程*, 2023, 41(s2): 57-59.
- LI H L, WANG S H, LIANG X T. Design of class III water process scheme for a sewage treatment plant in an industrial park in Hainan [J]. *Environmental Engineering*, 2023, 41(s2): 57-59.
- [11] 马娟, 彭永臻, 王丽, 等. 反硝化除磷技术及其影响因素分析 [J]. *工业水处理*, 2009, 29(4): 4-8.
- MA J, PENG Y Z, WANG L, et al. Analysis of denitrification-dephosphorization technology and its influential factors [J]. *Industrial Water Treatment*, 2009, 29(4): 4-8.
- [12] 刘巨波. 污水处理厂臭氧处理系统的设计要点 [J]. *中国给水排水*, 2020, 36(10): 13-18.
- LIU J B. Design key points of ozone treatment system in WWTPs [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(10): 13-18.

(上接第 165 页)

- DAI M H, LI T, ZHANG W. Pollutant source apportionment of combined sewer overflows using chemical mass balance method [J]. *Environmental Science*, 2013, 34(11): 4226-4230.
- [9] 房金秀, 谢文霞, 朱玉玺, 等. 合流制面源污染传输过程与污染源解析 [J]. *环境科学*, 2019, 40(6): 2705-2714.
- FANG J X, XIE W X, ZHU Y X, et al. Pollutant transport analysis and source apportionment of the entire non-point source pollution process in combined sewer systems [J]. *Environmental Science*, 2019, 40(6): 2705-2714.
- [10] 张辰, 李春鞠, 陈嫣. 《室外排水设计标准》(GB 50014—2021) 十问十答 [J]. *给水排水*, 2022, 58(1): 13-18.
- ZHANG C, LI C J, CHEN Y. Ten questions and answers for standard for design of outdoor wastewater engineering (GB 50014—2021) [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2022, 58(1): 13-18.
- [11] 卢小艳, 李田, 董鲁燕. 基于管网水力模型的雨水调蓄池运行效率评估 [J]. *中国给水排水*, 2012, 28(17): 44-48.
- LU X Y, LI T, DONG L Y. Performance efficiency of detention tank based on hydraulic model for drainage system [J]. *China Water & Wastewater Engineering*, 2012, 28(17): 44-48.