

基于北京清河流域水质提升的人河排污口 排放要求确定策略研究*

覃露¹ 叶维丽² 韩旭^{2#} 郭送军¹ 陈荣志³ 张帆⁴

(1.广西大学资源环境与材料学院,广西 南宁 530004;

2.生态环境部环境规划院京津冀区域环境联合研究中心,北京 100012;

3.中国科学院大学资源与环境学院,北京 100049;4.北京市水科学技术研究院,北京 100048)

摘要 为探究基于流域水质目标的人河排污口排放标准与排污许可的实施路径,以北京清河为例,通过入河排污口实地摸排,确定了22个人河排污口和5个河道断面,并于2019年3—10月对27个采样点进行12次水样采集,对水样COD、氨氮、TN和TP进行检测。基于研究河段实测数据,应用MIKE11模型构建流域水动力水质模型,分析3种情景组合的截污纳管方案(方案1)、截污减排方案(方案2)对河段水质的改善效果,以及减排方案在雨期、非雨期对河段水质的污染影响。结果表明:(1)与方案1相比,方案2下研究河段水质状况明显改善,下游出水断面(Q5断面)的COD、氨氮、TN和TP模拟值分别降低49.08%、61.27%、65.80%、63.86%;COD、氨氮、TN和TP排放总量分别削减了541.95、46.13、216.79、8.30 t/a。(2)雨期雨水汇入河段后,各污染物达标情况反而恶化,因此应做好入河排污口的污染管控,科学控制入河排污口雨期污染。

关键词 入河排污口 排放标准 排污许可 MIKE11模型 清河

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2020.09.007

Study on the strategy for determining discharge requirements of sewage intakes based on the improvement of Beijing Qinghe River Basin QIN Lu¹, YE Weili², HAN Xu², GUO Songjun¹, CHEN Rongzhi³, ZHANG Fan⁴. (1. School of Resource, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning Guangxi 530004; 2. Research Center for Beijing-Tianjin-Hebei Regional Environmental Cooperation, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012; 3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 4. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048)

Abstract: In order to explore the implementation path of discharge standard and discharge permission for sewage outlets on rivers based on watershed water quality objectives, taking Qinghe River in Beijing as an example, field inspection and confirmed 22 sewage outlets on rivers and 5 river sections, and 12 water samples were collected from 27 sampling points in March-October 2019 to detect COD, ammonia nitrogen, TN and TP indexes of water samples. Based on the measured data of the researched river section, the MIKE11 model was applied to construct the hydrodynamic and water quality model, then the effect of the three scenarios combined with the sewage interception pipe schemes (scheme 1) and the pollution interception and discharge reduction schemes (scheme 2) on the river water quality was evaluated, as well as the impact of two schemes on the river water quality during the rainy and non-rainy period was analyzed. The results showed that: (1) compared with the results of scheme 1, the water quality of the river in the scheme 2 was significantly reduced, the simulated concentration of various indicators in the downstream water outlet section (Q5) was reduced by 49.08%, 61.27%, 65.80%, 63.86%. The total pollutant discharge were reduced by 541.95, 46.13, 216.79, 8.30 t/a. (2) It was found that the indicators compliance situation became worse after the rainwater flowed into the watershed, therefore, it was necessary to do an effective pollution control in the sewage outlets on river, and scientifically control the rain-period pollution at river sewage outlets.

Keywords: pollution discharge outlets; discharge standard; sewage discharge permission; MIKE11 model; Qinghe River

入河排污口是连通岸上和水里、陆地和海洋的关键环节。2018年国家机构改革将入河排污口设

置管理职责划入生态环境部后,为“受纳水体—排污口—排污通道—排污单位”全链条管控体系的建立

第一作者:覃露,女,1996年生,硕士研究生,研究方向为水污染源防治研究。#通讯作者。

*国家水体污染控制与治理科技重大专项(No.2018ZX07111001)。

提供了条件^[1],也为中国在流域断面汇水单元层面开展基于水质目标的入河排污口排放限值研究提供了基础^[2-3]。通过对入河排污口排放浓度及排放总量限值进行管控,有利于研究最大日负荷总量(TM-DL)制度在中国小流域实施的可行性,探讨在中国实施基于流域水质目标的入河排污口排放标准与排污许可的路径。

中国的水污染物排放标准体系分为国家和地方两级标准体系^[4]。近年来,许多地方积极制定地方流域型排放标准,目前全国已有31个流域制定了地方流域型排放标准。流域型排放标准以流域水质改善需求为依据确定排放标准,通常仅对污染源提出排放浓度限值要求,未直接与入河排污口管理关联^[5-6]。本研究认为,入河排污口是污染源与流域水质联结的节点,流域型排放标准应当以入河排污口为节点实现水质与污染物排放响应。

确定了入河排污口排放标准并不能完全管控入河排污口污染物排放总量,还需要根据入河排污口距离考核断面位置、排放量确定入河排污口排放总量限值,落实于污染源许可排放量,作为约束污染源排放的依据^[7-8]。排污口排污许可证申请与核发技术规范基本上是以行业排放水平为依据核定许可排放量,未考虑与水质衔接。固定源污染排放与流域水质改善需求的衔接,应通过理顺入河排污口与排污单位出厂界排污口关系,落实排污单位执行流域排放标准、“一企一策”的排放管控要求与水功能区的限制排放总量要求的连结,且通过考虑断面水质目标及流域排放标准的排污许可证“2.0版本”予以完善^[9-10]。

本研究以北京清河流域大有庄北里至火沙路河段为例,开展流域的水质目标与排放限值模拟,从而确定基于流域水质目标的研究河段入河排污口排放要求确定策略,包括排放限值要求及排放方式管控。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

清河位于北京北部,发源于西山碧云寺,流经海淀区、朝阳区和昌平区,于顺义区汇入温榆河。流域全长28.69 km,流域面积174.8 km²,年平均降水量约672 mm,全年80%~90%的降水量集中在6—9月。清河是北京北部雨水和污水的主要受纳水体,长期以来直接受纳肖家河、清河等污水处理厂出水补给,基本丧失水生态功能^[11-12]。作为城市重要的景观河道,清河在北京城市发展总体布局上具有重

要战略地位。清河上游经过商业区和居民区,下游经过郊区及待开发区域,主要受人为活动影响。流域污水直排导致水体常年处于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)劣V类,近几年水环境状况虽有所改善,但为保持流域生态系统健康、适应城市发展需要,对流域入河排污口排放要求的管理研究仍十分必要。

1.2 数据来源及分析

对研究河段入河排污口进行实地摸排,确定了4个污水处理厂入河排污口(编号N3、N6、S14、S16);6个生活污染源入河排污口(编号N2、N5、S2、S3、N7、N9);12个其他污染源入河排污口(编号S1、N1、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S11、S15、N10、N11);设计了5个河道断面(编号Q1~Q5),其中上游入水、下游出水断面分别为Q1、Q5。

研究河段采样点水质采样与水量监测同步开展,采样周期为15 d,采样时间为2019年3—10月,采样次数共12次。12次采样中,某些采样点的COD、氨氮、TN和TP超过GB 3838—2002 V类标准(限值分别为40、2.0、2.0、0.4 mg/L),其余指标均满足Ⅳ类标准(限值分别为30、1.5、1.5、0.3 mg/L),为重点关注流域水质污染状况,本研究将讨论指标确定为COD、氨氮、TN和TP。由表1可见,根据GB 3838—2002,27个采样点中,COD平均值有8个采样点符合Ⅲ类标准(限值20 mg/L);氨氮平均值有18个采样点符合Ⅲ类标准(限值1.0 mg/L);TN平均值均不符合V类标准;TP平均值有12个采样点符合Ⅲ类标准(限值0.2 mg/L)。

1.3 研究方法

1.3.1 模型选择

采取流域水动力模型对入河排污口—水质响应关系进行模拟。在流域污染源模拟层面,SWAT、QUAL2K、WASP、WARF和MIKE11等相对成熟的水质模型较常用^[13]。MIKE11模型适用于各时刻河道断面的水位和流量均较稳定的河流,在一维水模拟领域具有很好的模拟效果^[14]。张美英^[15]在浑河流域采用该模型对流域水量水质进行了模拟;熊鸿斌等^[16]在十五里河流域采用该模型对流域水质改善方案进行了模拟。研究河段为城市景观河道,流域稳定性较好,故选用MIKE11模型进行流域入河排污口排放要求确定策略研究。

1.3.2 模型构建

水动力模型的外边界条件包括研究河段上下游边界,雨污水排放口及污水处理厂退水口均概化为

表 1 研究河段采样点各指标实测平均值
Table 1 The measured average value of various indicators of sampling points in the reach

采样点 编号	COD /(mg·L ⁻¹)	氨氮 /(mg·L ⁻¹)	TN /(mg·L ⁻¹)	TP /(mg·L ⁻¹)
Q1	16.00	0.25	9.37	0.16
S1	49.13	4.35	7.00	0.60
N1	17.82	0.30	8.99	0.11
N2	13.83	0.30	9.39	0.11
N3	14.92	2.20	9.88	0.16
S2	46.75	0.86	9.57	0.34
S3	30.67	0.57	8.32	0.23
N5	40.60	0.91	10.07	1.33
S4	36.25	0.55	10.30	0.34
Q2	18.75	0.42	8.39	0.15
S5	37.42	0.63	5.98	0.26
S6	34.11	0.30	2.36	0.11
S7	31.76	1.55	8.10	0.24
N6	17.42	0.45	8.08	0.14
S8	21.00	0.99	7.05	0.11
S9	33.01	0.51	8.73	0.17
S11	33.48	0.42	5.60	0.35
N7	12.66	0.12	3.81	0.04
N9	60.50	1.36	7.40	0.48
S14	24.46	0.48	8.23	0.24
S15	15.85	0.33	6.76	0.12
Q3	23.50	0.74	7.82	0.09
S16	30.58	1.62	12.27	0.40
N10	473.86	44.70	52.20	5.17
Q4	44.67	2.03	10.34	1.12
N11	68.71	5.90	16.34	1.08
Q5	24.76	1.36	9.56	0.30

内边界条件。水质模型中所有的外边界条件、入河排污口和污水处理厂退水口内边界条件采用人工实测数据,雨水排放口内边界水质条件采用潘国庆等^[17]对中国北方典型城市纯雨水、屋面径流、小区路面径流及城市街道径流的经验数据,即 COD、氨氮、TN、TP 分别为 30、1.25、2.5、0.1 mg/L。

1.3.3 参数率定

使用 Q5 断面 2019 年 3—10 月入河排污口及断面实测数据对水动力模型参数率定,研究河段基本糙率采用经验值 0.031。经率定验证后,COD、氨氮、TN 和 TP 的纳什效率系数(NSE)分别为 86.05%、86.32%、60.98%、83.10%,模型拟合效果较好。

2 结果与分析

2.1 模拟情景

2018 年,入河排污口设置管理职责转隶后,国家开始了入河排污口清理整治。根据生态环境部的清理整治要求,城镇污水收集管网覆盖范围内的排污口,其排放污水能被污水集中处理设施有效处理

的均应予以封堵,截污纳管后由集中处理设施进行处理。2019 年,北京开展水环境防治工作,提出入河排污口整治试点,对入河排污口进行封堵处理及严格要求。基于对入河排污口的清理整治要求,研究分 3 个情景对研究河段入河排污口排放要求进行模拟:

(1) 情景 1:截污纳管,将 Q1、Q5 断面之间城镇污水收集管网覆盖范围内的生活源入河排污口进行封堵,生活污染源入河排污口污水通过截污纳管由污水处理厂进行集中处理后排放。分析加强研究河段入河排污口管控后,入河排污口对河段水质的污染影响。

(2) 情景 2:基于研究河段排放目标的排放要求,对研究河段污染物排放量较大的人河排污口各研究指标进行提标改造。目前,研究河段执行 GB 3838—2002 IV 类标准,排入 IV、V 类水体的城镇污水处理厂执行北京《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB11/890—2012)B 标准。Q5 断面基本满足 GB 3838—2002 IV 类标准,但不满足 III 类标准。分析对污水处理厂入河排污口各指标提标改造至 GB 3838—2002 III 类标准后,研究河段能否满足 III 类水质目标。

(3) 情景 3:研究河段为典型的北方缺水型河流,干旱少雨,水资源匮乏,河流闸坝众多,水流缓滞,主要以上游污水及雨期雨水补给为主^[18-19]。该情景通过分雨期和非雨期提出入河排污口排放浓度管控要求,研究降雨对研究河段水质的污染影响。

2.2 模拟方案

为加强入河排污口治理工程建设,对 3 个情景进行组合分析,分析不同的入河排污口管控方案是否能满足研究河段水质目标,以及管控方案实施后研究河段水质的变化情况并提出相关建议。

(1) 方案 1:截污纳管方案。单纯实施情景 1,分析对研究河段城镇污水收集管网覆盖范围内的生活污染源入河排污口进行封堵和截污纳管后,其余入河排污口对河段水质目标影响。

(2) 方案 2:截污减排方案。在方案 1 执行后,研究河段未符合执行标准的情况下,同时实施情景 1+情景 2。在方案 1 的基础上,进一步对研究河段污水处理厂入河排污口提出更严格的排放要求。研究分析截污减排方案对研究河段污染物削减及水质目标达标情况。

(3) 方案 3:基于研究河段特征,考虑雨期的截污纳管及截污减排方案。同时实施情景 1+情景 2

十情景 3, 分别讨论雨期和非雨期情况下, 截污纳管及截污减排方案对研究河段水体的污染影响。

2.3 策略分析

对研究河段入河排污口方案 1、方案 2 模拟后, Q5 断面的 COD、氨氮、TN 和 TP 模拟值变化趋势见图 1。方案 1 模拟后, Q5 断面各指标模拟值与原始模拟值趋势对比无明显变化, 大致满足 GB 3838—2002 IV 类标准, 均未满足 III 类标准。生活污染源入河排污口经截污纳管进入污水处理厂处理, 由于生活污染源入河排污口产生的污染负荷低, 经截污纳管后, Q5 断面各指标浓度无明显变化。由此可知, 对河段污染负荷低的入河排污口进行截污纳管, 对河段水质状况影响不大。

方案 2 模拟后, 研究河段水质状况明显改善, Q5 断面的 COD、氨氮、TN 和 TP 模拟值比方案 1 低, 分别降低 49.08%、61.27%、65.80%、63.86%。除 TN 外, 其余指标基本满足 III 类标准。原始及方案 1 模拟后, 各指标均在 8 月 15 日出现一突变点, 经方案 2 模拟后, 该突变点消失。在原始及方案 1 模拟时, 8 月为汛期, 入河排污口排放水量较其他月

份大, 水体污染负荷随之增大, 由此该月指标浓度模拟值变大, 产生突变点^[20]; 方案 2 模拟时, 生活污染源入河排污口关停, 污水处理厂入河排污口提升至 III 类标准, Q5 断面污染负荷减小, 突变点消失。

Q1 断面、Q5 断面、污水处理厂入河排污口以及生活污染源入河排污口在原始、方案 1 和方案 2 模拟下, 各指标的排放总量见表 2 和表 3。与方案 1 相比, 方案 2 下 Q5 断面 COD、氨氮、TN 和 TP 排放总量分别削减了 541.95、46.13、216.79、8.30 t/a, 入河排污口截污减排对研究河段水质具有明显的污染物削减效果。根据前期调研, 在实际生活中仅通过污水处理厂提标改造而达到研究河段水质目标的做法无法实现, 且不具备经济技术可行性, 应该通过生态手段如人工湿地建设等, 整体降低研究河段污染物浓度以满足河段水质目标^[21]。

由图 2 可知, 方案 1 下, Q5 断面 COD、氨氮和 TP 在雨期、非雨期大部分时间均能满足 GB 3838—2002 IV 类标准; 方案 2 下, 各指标污染浓度均在 III 类标准限值处波动。在相同方案下, 雨期各指标排放浓度高于非雨期, 原因是雨期降雨量增多, 带来更

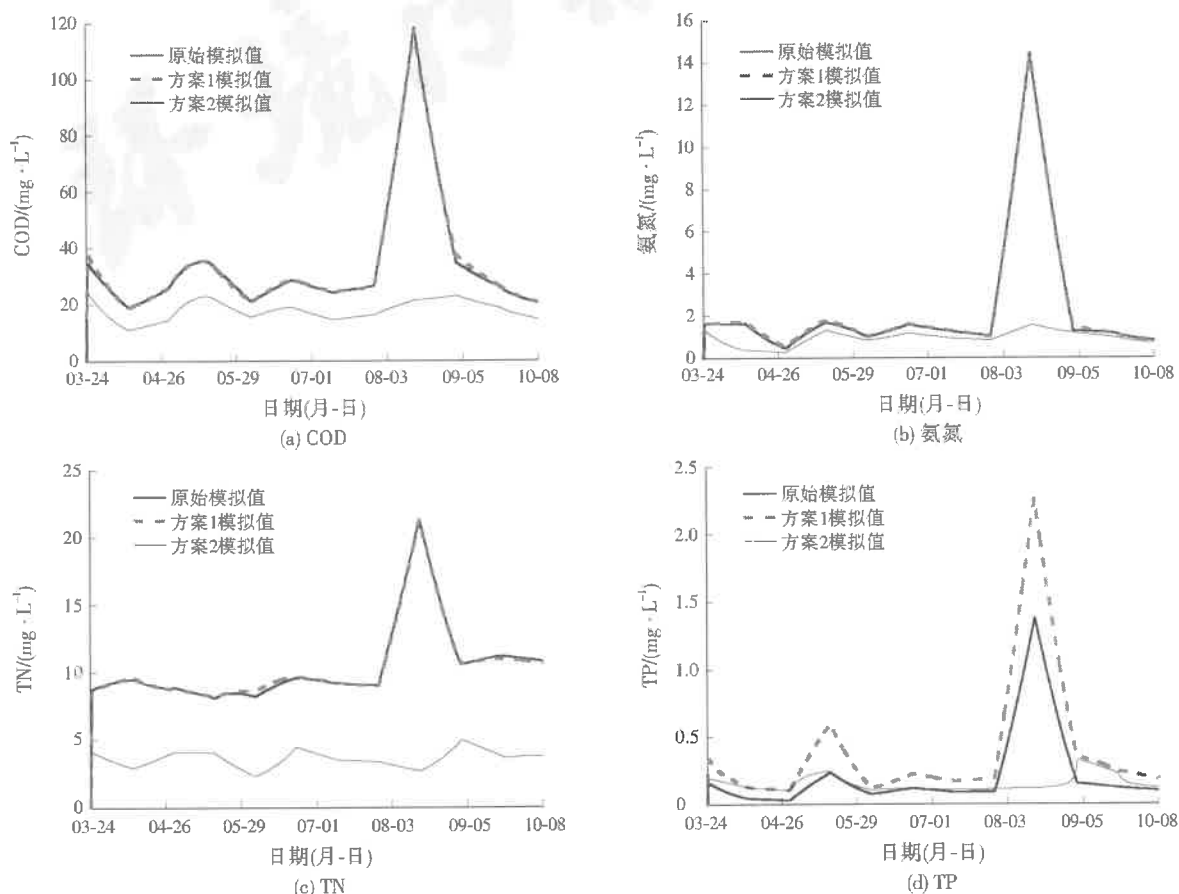


图 1 研究河段治理方案实施后各指标的质量浓度模拟值

Fig.1 Simulated values of mass concentration of various indicators after the implementation of river reach control plan

表 2 断面及污水处理厂入河排污口各指标排放总量
Table 2 Total discharge table of various indicators into the sections and the sewage outlets on river of sewage treatment plants

指标		断面		污水处理厂入河排污口			
		Q1	Q5	N3	N6	S14	S16
原始 $/(t \cdot a^{-1})$	COD	561.90	1 098.92	528.98	640.64	739.85	897.63
	氨氮	8.00	73.93	22.19	29.19	25.12	49.58
	TN	289.57	328.69	293.22	274.11	247.60	299.21
	TP	4.90	12.93	4.65	5.40	6.60	10.07
方案 1 $/(t \cdot a^{-1})$	COD	561.90	1 104.24	544.65	653.46	749.63	904.12
	氨氮	8.00	75.29	26.27	32.59	27.03	51.09
	TN	289.57	329.47	293.61	273.04	246.52	299.61
	TP	4.90	13.00	4.87	5.50	6.70	10.14
方案 2 $/(t \cdot a^{-1})$	COD	561.90	562.29	507.58	535.11	541.73	517.55
	氨氮	8.00	29.16	10.03	17.91	15.25	14.91
	TN	289.57	112.68	229.95	173.63	154.25	106.22
	TP	4.90	4.70	4.01	4.10	4.32	4.24
距离上游断面距离/m		0	24 234	1 811	7 738	15 763	17 694

表 3 生活污染源入河排污口各指标排放总量¹⁾
Table 3 Total discharge table of various indicators into the sewage outlets on river of sources by life pollution

指标		生活污染源入河排污口					
		N2	S2	S3	N5	N7	N9
原始 $/(t \cdot a^{-1})$	COD	542.37	526.20	526.92	528.85	740.61	740.91
	氨氮	10.11	26.60	26.60	26.60	25.74	25.66
	TN	289.93	294.19	294.11	294.11	247.67	247.55
	TP	4.60	4.69	4.70	4.76	6.57	6.58
距离上游断面距离/m		1 256	3 398	3 855	3 960	13 162	15 715

注: ¹⁾ 研究河段生活污染源入河排污口在方案 1、方案 2 下均已封堵。

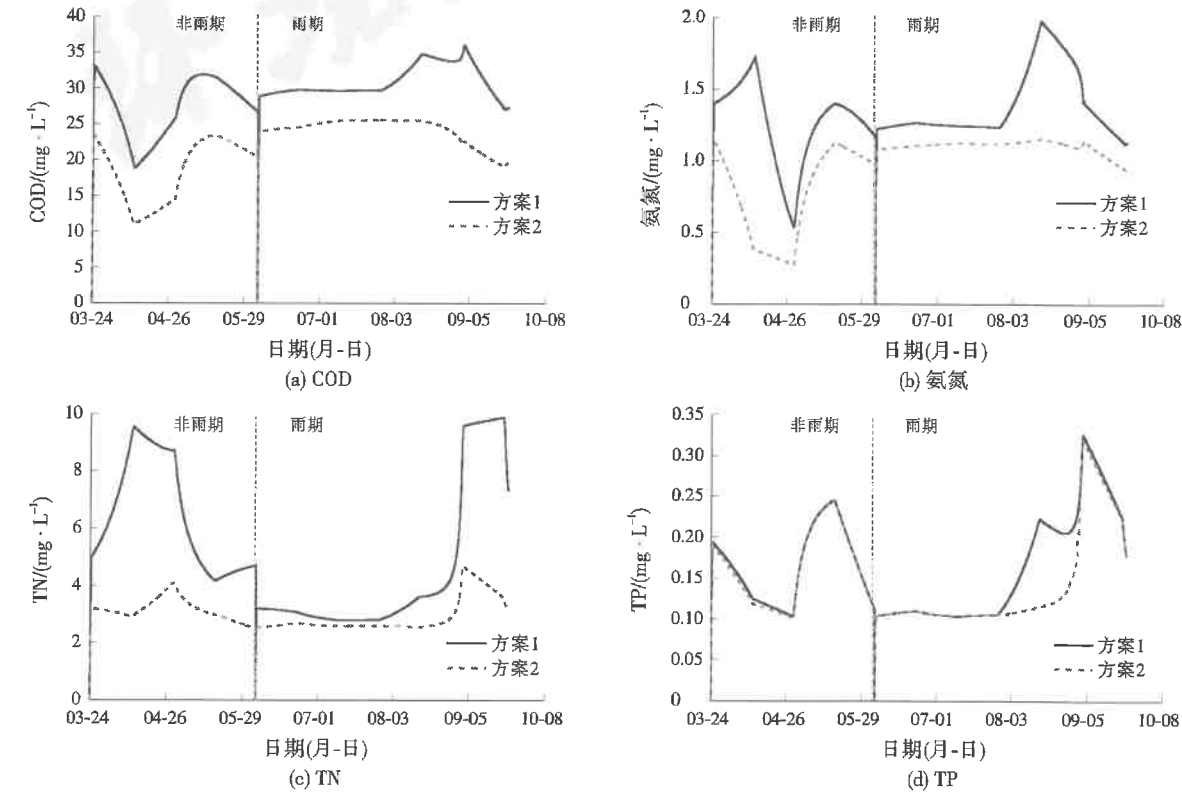


图 2 雨期、非雨期 Q5 断面不同方案各指标质量浓度模拟值
Fig.2 Simulated values of the mass concentration of each indicator in different schemes in Q5 section during rainy and non-rainy periods

多的面源污染入河,从而加剧出水断面污染物浓度。因此,做好雨期入河排污口的管控,应科学控制入河排污口污染。结合研究流域污染现状及特点,可执行以下管控措施:(1)对城市排水管网进行雨污分流,通过雨水管网对雨水进行科学管理,将雨期面源污染的管控集中于污染的源和汇^[22]。(2)雨期时,应加强雨污管道的维护,加密入河排污口监测频次。(3)雨期和非雨期对入河排污口执行不同的排放限值要求。雨期时,各污水处理厂入河排污口应执行 DB11/890—2012 A 标准,其他入河排污口各指标保持满足 GB 3838—2002 IV 类标准;非雨期时,各污水处理厂入河排污口保持执行 DB11/890—2012 B 标准,其他入河排污口各指标保持满足 GB 3838—2002 IV 类标准。

3 结 语

(1) 基于 MIKE11 模型建立了清河的水动力水质耦合模型,模拟分析不同情景组合方案的水质改善结果。结果表明,Q5 断面 COD、氨氮和 TP 基本能达到 GB 3838—2002 IV 类标准,若需进一步提升到Ⅲ类,入河排污口需制定更严格的指标浓度限值,才能基本满足断面目标要求。清河中的 TN 污染较严重,经管控方案模拟后,污染物排放量明显降低,但 Q5 断面仍未满足 GB 3838—2002 Ⅲ类标准。原因为断面水质考核通常不评价 TN,因此对河流入河排污口的 TN 污染削减通常被忽视。

(2) 当河段入河排污口污染负荷较低时,截污纳管方案对河段水质影响不明显;基于河段污染负荷低的入河排污口进行截污纳管的基础上,对污染负荷高的入河排污口进行提标改造,对河段水质有显著影响。与方案 1 相比,方案 2 下 Q5 断面 COD、氨氮、TN 和 TP 排放总量分别削减了 541.95、46.13、216.79、8.30 t/a。实际生活中,入河排污口提标至水质目标无法实现,且不具备经济技术可行性,应当考虑通过生态手段如人工湿地建设等提升流域水质。

(3) 对于上游来水补给不足、主要依赖雨水补给的河流而言,雨期雨水汇入河段后,各污染物达标情况反而恶化,原因是雨期雨水将会带来更多的面源污染入河。应通过对城市排水管网进行雨污分流;雨期加强雨污管道的维护,加密入河排污口监测

频次;对雨期及非雨期入河排污口执行不同的排放限值要求等措施,削减雨期入河排污口对流域水质的污染影响。

参考文献:

- [1] 周涛,贾利.合理规划入河排污口布局 严格纳污总量控制[J]. 治淮,2017(8):10-11.
- [2] 赵雪霞.中小流域水质目标管理技术应用研究[D].郑州:郑州大学,2019.
- [3] 李晓连.基于水环境容量的辽河铁岭段污染负荷总量分配[D].沈阳:沈阳理工大学,2016.
- [4] 林雅静.水污染物排放许可证中基于技术的排放标准研究[D].杭州:浙江农林大学,2019.
- [5] 史会剑.流域型水污染物排放标准的定位、方法与策略[J].环境与可持续发展,2018,43(1):50-53.
- [6] 卢延娜,雷晶,马占云,等.地方水污染物排放标准发展现状及制订研究[J].环境保护,2016,44(7):57-59.
- [7] 张晨.汾河运城段入河排污口排放标准探讨[J].山西水利科技,2019(1):76-79.
- [8] 邱俊强.入河排污口调查与监测过程中有关问题分析[J].水资源开发与管理,2019(4):37-40,53.
- [9] 王焕松,王海燕,张亮,等.排污许可与入河排污口协同管理现状、问题分析与政策建议[J].环境保护,2019,47(11):37-41.
- [10] 邹世英,杜蕴慧,柴西龙,等.排污许可制度改革进展及展望[J].环境影响评价,2020,42(2):1-5.
- [11] 刘发,袁义杰.北京清河生态治理后评价研究[J].水利科技与经济,2019,25(7):60-65.
- [12] 代丹,于涛,雷坤,等.北京市清河水体非点源污染特征[J].环境科学研究,2018,31(6):1068-1077.
- [13] 伊学农,吴跃颖.水文-水动力-水质模型耦合应用现状综述[J].中国水运,2020,20(4):41-43.
- [14] 穆聪,李家科,邓朝显,等.MIKE 模型在城市及流域水文—环境模拟中的应用进展[J].水资源与水工程学报,2019,30(2):71-80.
- [15] 张美英.基于 MIKE11 模型构建的流域现状年水量水质模拟[J].水科学与工程,2020(1):5-8.
- [16] 熊鸿斌,陈雪.基于 MIKE11 的污染河流水质改善最佳方案研究[J].中国给水排水,2019,35(3):61-65.
- [17] 潘国庆,车伍,李俊奇,等.我国城市径流污染控制量及其设计降雨量研究[J].给水排水,2008,24(22):25-29.
- [18] 金鑫,单保庆,李思敏,等.北方典型干旱缺水型河流氮磷时空分布特征与富营养化评价[J].环境工程学报,2016,10(7):3538-3544.
- [19] 单保庆,曹宇翔,唐文忠,等.北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价[J].环境科学,2012,33(2):352-358.
- [20] 田凯达,刘晓薇,王慧,等.MIKE11 模型在合肥市十五里河水质改善研究中的应用[J].水文,2019,39(4):18-23.
- [21] 刘晶,陈新永,姜甜甜,等.复合型人工湿地在河流治理中的应用[J].安徽农业科学,2020,48(11):210-212.
- [22] 胡明华.雨污分流对城市污水处理的意义[J].农村经济与科技,2019,30(10):46-60.

编辑:黄 苇 (收稿日期:2020-06-10)