

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.12.009

常州滨江区域城镇径流污染对河道水质的影响

唐磊, 刘彦鹏, 王宝明, 周飞祥, 王巍巍
(中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

摘要: 德胜河是常州市重要的应急饮用水水源,应急取水口附近存在城镇集中建设用地,降雨期间污染物随城镇径流进入德胜河,对城市应急供水安全构成潜在威胁。2018年和2019年对德胜河及其周边城镇径流进行了多个位置和多个降雨场次的水质监测,通过对监测数据的综合分析,研究德胜河周边城镇径流污染状况及城镇径流对德胜河水质影响的特征和规律。德胜河全年水质总体良好,但是在汛期和降雨期间水质波动明显,部分污染物浓度上升的频次和幅度较大,Cr、Pb、Mn、Fe等重金属指标出现超标情况;由于城镇区域人口密度和车流量大,存在较多工业、仓储物流和码头用地等原因,德胜河周边城镇径流中COD、总氮、总磷、Zn、Cr、Pb、Mn、Fe等污染较严重;城镇径流对德胜河城镇段COD、SS、浊度、总磷、Zn、Pb、Mn、Fe、As、苯等污染物浓度的上升贡献较大或发挥主要作用,但是当降雨量很大时城镇径流污染的影响会被河道激增的水量所稀释并迅速流向下游。在此基础上,提出基于海绵城市的城镇径流污染控制及应急水源运行管理优化建议。

关键词: 城镇径流污染; 应急水源; 海绵城市; 径流污染控制

中图分类号: TU99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)12-0053-08

Influence of Urban Runoff Pollution on River Quality in Riverside Area of Changzhou

TANG Lei, LIU Yan-peng, WANG Bao-ming, ZHOU Fei-xiang, WANG Wei-wei
(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

Abstract: Desheng River is an important emergency drinking water source in Changzhou. There is concentrated urban construction land near the emergency water inlet and pollutants enter the Desheng River along with urban runoff during rainfall, posing a potential threat to urban emergency water supply safety. In 2018 and 2019, water quality of Desheng River and its surrounding urban runoff was monitored at multiple locations and rainfall events. Through comprehensive analysis of the monitoring data, the status of urban runoff pollution around Desheng River and the impact characteristic and regularity of urban runoff to its water quality were studied. The water quality of the Desheng River is generally good throughout the year, but it fluctuates significantly during the flood season and rainfall, and the increase frequency and amplitude of some pollutant concentrations are significant. Some heavy metal indicators such as Cr, Pb, Mn, and Fe have exceeded standards. The indicators of COD, total nitrogen, total phosphorus, Zn, Cr, Pb, Mn, and Fe in the urban runoff around Desheng River are polluted heavily, due to

基金项目: 2022年度基本科研业务费专项资金项目(CZ-2022008); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07201002)

通信作者: 唐磊 E-mail: tanglei_2013@163.com

the large regional population density and traffic flow in urban areas, and the existence of many industrial, warehousing, logistics, and dock land. Urban runoff contributes or plays a major role in the increase of COD, SS, turbidity, total phosphorus, Zn, Pb, Mn, Fe, As, benzene and other pollutant concentrations in the urban section of the Desheng River. However, when the rainfall is too large, the impacts of urban runoff pollution will be diluted by the surging water of the river and quickly flow downstream. On this basis, suggestions for controlling urban runoff pollution and optimization of emergency water source operation and management are provided.

Key words: urban runoff pollution; emergency water source; sponge city; runoff pollution control

城市河流的污染源可分为固定源、流动源和非点源,其中非点源污染,尤其是城镇径流污染具有很强的随机性、复杂性和差异性等特点,降雨期间污染物随径流进入水体。对于作为城市饮用水水源的水体,城镇径流污染是水源重要潜在污染风险源之一^[1-2]。常州市位于长江三角洲中心地带,经济发达,城镇化率高,地势平坦,河网稠密,常年气候温和湿润,降雨量充沛,属于典型的长江下游城市。德胜河是常州市重要的应急饮用水水源,应急取水口附近存在城镇集中建设用地,城镇径流对应急水源的潜在威胁不容忽视,但是当前对常州市城镇径流污染水平及其对河流水质影响的相关研究相对较少。

通过开展德胜河及周边城镇径流水质监测工作,掌握城镇径流污染的基本状况,研究其对德胜河应急水源水质影响的特征和规律,可为常州市应急水源保护提供重要依据和参考,从而进一步提升常州市供水安全保障能力。

1 德胜河应急水源概况

德胜河是常州市通江骨干河道,北起魏村长江口,南至京杭运河,全长约21.5 km,平均口宽65 m,入长江口处建有水利枢纽。该研究区域卫星图如图1所示。德胜河为感潮河道,水流方向呈双向流,正常情况为常年利用长江高潮引入长江水,水流方向主要为由北向南;汛期暴雨洪水时,利用长江低潮位将区内涝水排入长江,水流方向主要为由南向北。为提高对突发水污染事故的应对能力,保障城市居民饮用水安全,常州市将德胜河规划为市区应急水源^[3]。当前已在距长江约2 km处建成德胜河应急取水头部及泵站工程,一旦长江发生污染事件,利用德胜河水利枢纽将长江水与德胜河隔离,

应急取水头部从德胜河取水并输往附近魏村水厂。德胜河应急取水口以南约2 km为魏村镇区,镇区现状城镇建设用地面积约3 km²,包括居住、商业、工业、公共服务、物流仓储、道路及码头等用地,且人口较密集。



图1 德胜河及魏村镇区分布卫星图

Fig.1 Satellite map of Desheng River and Weicun Town

2 德胜河城镇径流污染特征分析

2.1 德胜河水质总体情况

为研究德胜河水质总体状况,2017年11月—2018年10月对德胜河魏村镇区段同一位置进行了连续12个月的取样,取样频率为每7天一次(每月4~5次),共取样53次;监测污染物指标共6项,其中氨氮、高锰酸盐指数每次取样均进行监测,各得到53组数据,COD、BOD₅、TOC、菌落总数每月监测一次,每个指标得到12组数据。

根据监测数据分析,由于德胜河常年引长江水,河道水质总体良好,监测的几项污染物指标均达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅱ类或Ⅲ类水标准,满足饮用水水源水质要求。结合2017年—2018年常州市区实际降雨数据对德胜河全年水质变化进行分析。从全年来看,监测的德胜河6项污染物指标在雨天和非雨天表现出一定的差异,雨天氨氮平均浓度显著高于非雨天,其他指标(BOD₅

除外)也表现出不同程度的增加;对汛期(5月—9月)各污染物指标平均浓度和非汛期进行对比,氨氮和 TOC 指标均有较明显的增加,具体如表 1 所示。

表 1 德胜河全年雨天-非雨天及汛期-非汛期污染物浓度对比
Tab.1 Comparison of average concentrations of pollutants in rainy-non rainy days and flood-non flood seasons of Desheng River

项 目	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	高锰酸盐指数/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	TOC/ (mg·L ⁻¹)	菌落总数/ (CFU·mL ⁻¹)
雨天平均	0.26	2.85	12.13	1.49	2.73	7 333.3
非雨天平均	0.19	2.77	11.41	1.50	2.42	6 852.2
汛期(5月—9月)平均	0.27	3.18	11.80	1.45	3.07	7 060.0
非汛期平均	0.22	3.14	11.44	1.53	2.08	6 910.0

注：氨氮、高锰酸盐指数、COD、BOD₅、TOC、菌落总数雨天和汛期的增加幅度分别为 38.3% 和 25.2,2.9% 和 1.2%,6.3% 和 3.1%, -1.0% 和 -5.2%, 12.8% 和 47.8%, 7.0% 和 2.2%。

图 2 为德胜河 2017 年 11 月—2018 年 10 月氨氮浓度变化曲线。

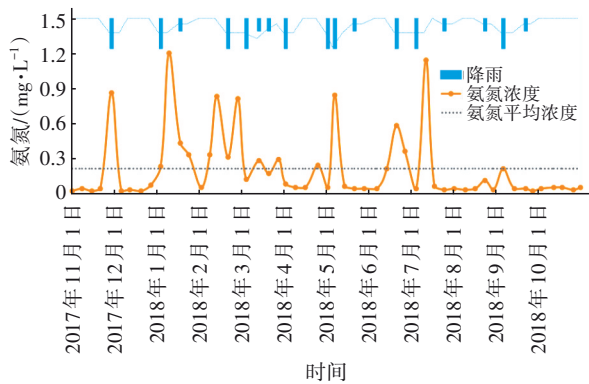


图 2 德胜河氨氮浓度变化曲线
Fig.2 Curves of ammonia nitrogen concentration change process of Desheng River

在 53 组监测数据中有 17 次是在降雨中或降雨后取样,叠加降雨数据分析发现,全年氨氮浓度变化较大,并且浓度高低与降雨情况表现出较强的关联性。虽然监测的污染物种类和取样场次相对较

少,但仍能初步判断汛期和降雨期间德胜河沿岸农业、城镇径流和农田水土流失等面源污染对德胜河水质有一定的影响。

2.2 魏村镇区城镇径流污染状况

为研究魏村镇区城镇径流污染状况,2019 年 7 月—8 月分别选取镇区范围内城市快速路(G346 国道)、普通道路(魏安路)和住宅小区(临江花苑)3 个典型下垫面地表径流进行了多次人工取样。水质监测指标包括常规污染物指标(氨氮、硝酸盐、总氮、总磷、COD 和 SS),重金属指标(As、Cu、Zn、Cr、Pb、Mn、Cd 和 Fe),以及有机物指标(石油类、苯酚和苯)。在径流污染分析中通常使用“事件平均浓度”(EMC)评估和计算径流污染水平,计算方法为整个降雨径流事件中该污染物质量与径流总体积之比^[4]。对魏村镇区 3 场降雨事件中 3 个不同下垫面的 EMC 进行计算,并将 EMC 值与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)进行对比,结果如表 2、3 所示。

表 2 各监测点径流污染物(一般污染物及有机物)事件平均浓度统计
Tab.2 Statistics of EMC of runoff pollutants(general pollutants and organic matter) at each monitoring point

项目	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	硝酸盐/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	石油类/ (mg·L ⁻¹)	苯酚/ (μg·L ⁻¹)	苯/ (μg·L ⁻¹)
城市快速路	0.31	1.06	1.97	0.65	134.39	291.20	0.018 5	0.384	2.88
城市普通道路	0.27	1.23	2.20	0.61	108.61	206.60	0.021 5	0.382	1.39
住宅小区	0.20	1.21	3.50	0.58	82.04	223.85	0.014 6	0.429	2.88
均值	0.26	1.17	2.55	0.62	108.35	240.55	0.018 2	0.398	2.38
Ⅲ类水标准	1.0	10	1.0	0.2	20		0.05		10
Ⅴ类水标准	2.0	(标准限值)	2.0	0.4	40		1.0		(标准限值)
平均值水平	优于Ⅲ类	未超标准	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类		优于Ⅲ类		未超标准

注：地表水环境质量标准基本项目 24 项,集中式生活饮用水地表水源地补充项目 5 项、特定项目 80 项;硝酸盐属于“补充项目”,苯属于“特定项目”。

表3 各监测点径流污染物事件平均浓度统计(重金属)

Tab.3 Statistics of EMC of runoff pollutants at each monitoring point(heavy metal)

 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	As	Cu	Zn	Cr	Pb	Mn	Cd	Fe
城市快速路	26.31	175.03	3 133.28	392.49	226.02	441.61	0.29	23 680.50
城市普通道路	20.07	158.67	2 843.24	340.63	216.06	279.27	0.34	13 761.98
住宅小区	27.19	141.87	2 542.32	372.58	2 242.51	290.72	0.30	15 586.16
均值	24.52	158.52	2 839.61	368.57	894.86	337.20	0.31	17 676.21
Ⅲ类水标准	50	1 000	1 000	50	50	100	5	300
V类水标准	100	1 000	2 000	100	100	(标准限值)	10	(标准限值)
平均值水平	优于Ⅲ类	优于Ⅲ类	劣V类	劣V类	劣V类	超标	优于Ⅲ类	超标

注: Mn、Fe属于“补充项目”,其余均为基本项目。

图3为魏村镇区城镇径流污染物的EMC超标情况分析。在多次降雨事件中,魏村镇区不同下垫面的径流污染程度均比较高,其中总氮、总磷、COD、Zn、Cr、Pb指标的EMC均超过《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的V类水标准,Mn、Fe指标均超过“补充项目”的标准限值,而SS、石油类、苯、As等其他指标虽然没有超标但浓度仍然较高。

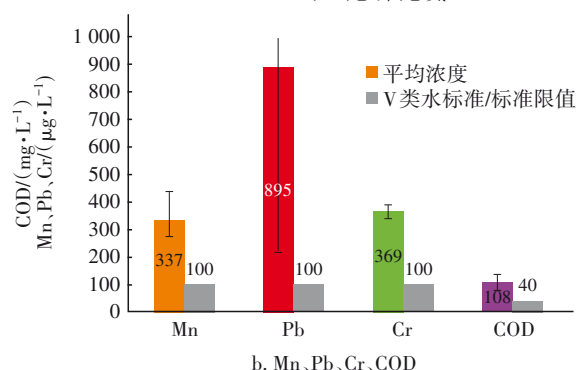
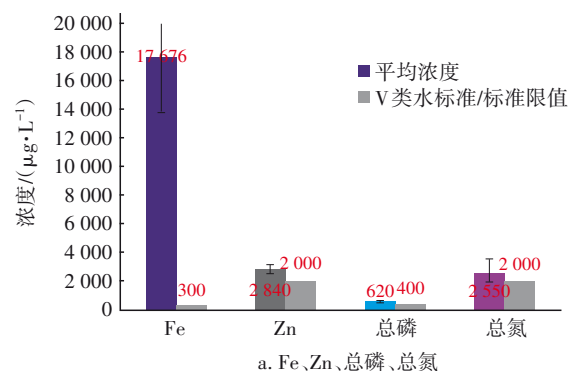


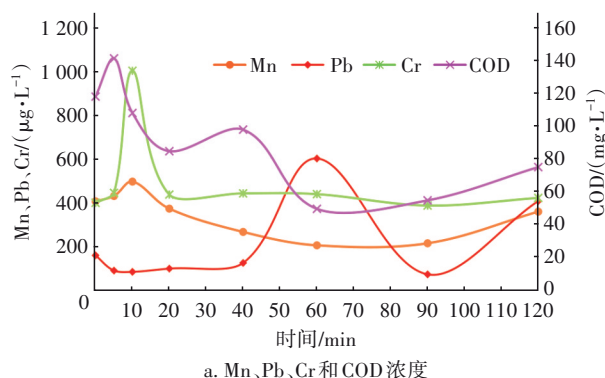
图3 魏村镇区城镇径流污染物事件平均浓度超标情况分析

Fig.3 Analysis of event mean concentrations of urban runoff pollutants exceeding standards in Weicun Town

结合现场调研和径流水质分析,魏村镇区径流污染水平较高的主要原因是魏村镇区人口密度和道路车流量大,中小型工业企业和物流仓储场较

多,沿河分布有装卸码头,从而导致地表污染物的累积量较高。三个采样点中城市快速路无论是常规污染物还是金属类污染物均为污染程度最高,主要原因是城市快速路交通量较大,且以大货车居多,汽车燃油燃烧不充分、漏油等可能导致快速路径流中COD、氨氮和总磷等污染物水平较高。魏村镇区城市主路、快速路和建筑小区径流中常规污染物(SS、COD、总氮、总磷)的年污染负荷与国内其他城市同类型下垫面的年污染负荷基本一致,但Pb、Cu、Cr、Zn、Mn的污染负荷较高。经降雨径流冲刷后,大量污染物通过排水管道或直接冲刷进入德胜河,必然对德胜河水质构成威胁,加之魏村镇区距应急取水口位置较近,城镇径流成为德胜河作为应急水源不可忽视的潜在污染风险。

以2019年8月10日魏村镇区快速路径流监测为例,绘制污染较严重的8个污染物指标浓度随径流过程的变化曲线,如图4所示。可以看出,在整个降雨径流过程中,各污染物浓度变化复杂,并不是随着径流过程逐渐变小,部分污染物浓度值随降雨径流过程呈现出2~3个波峰,即使在径流后期浓度依然较高。



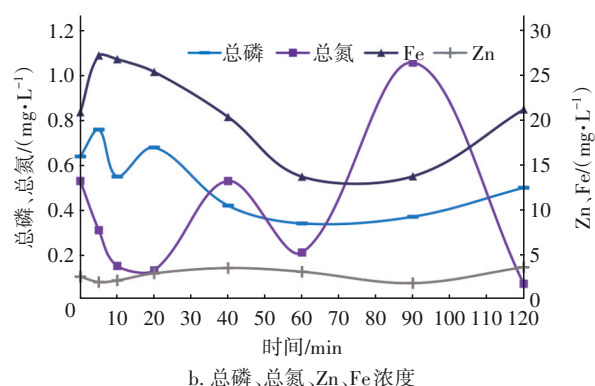


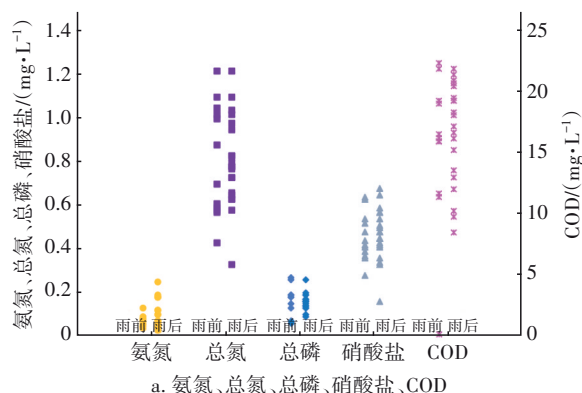
图4 魏村镇区快速路取样点8月10日降雨径流污染物浓度变化过程曲线

Fig.4 Curves of pollutant concentration change process of rainfall runoff on August 10 in expressway of Weicun Town

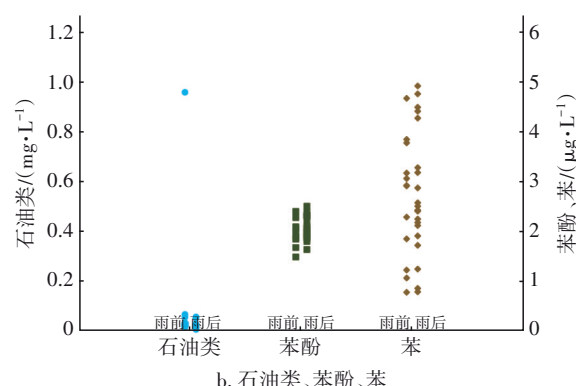
2.3 德胜河降雨过程水质监测

为进一步分析城镇径流对德胜河水质的影响,在对魏村镇区城镇径流进行监测的同时,对德胜河魏村桥、通江路两个紧邻镇区的河道断面进行水质监测,降雨前、降雨中(与城镇径流采样时间一一对应)、降雨后分别采样,水质监测的指标与径流监测指标一致。德胜河魏村桥和通江路两个监测点分别位于魏村镇区中部和北部,距离应急取水口分别约2 km和1 km。德胜河镇区段接收了大部分来自镇区的径流污染物,在降雨量不大时,城镇径流的主要影响范围在镇区段附近。

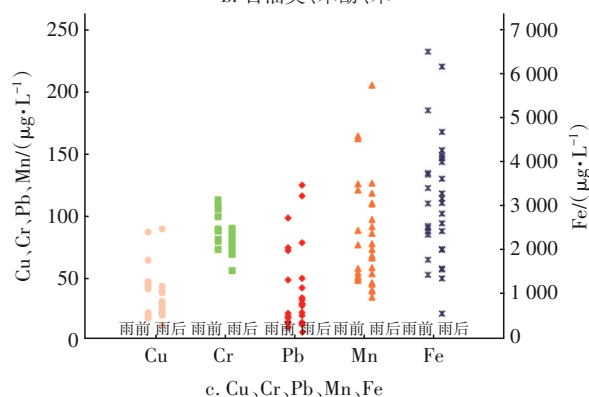
对降雨前后德胜河各污染物指标浓度进行对比分析,如图5所示。在多次监测取样中,氨氮、Cu、As、Cd、Zn浓度在降雨前后均未超过Ⅲ类水标准,硝酸盐、苯浓度均未超过指标限值;总氮、总磷、COD、石油类指标出现超过Ⅲ类水标准的情况,Cr、Pb、Mn、Fe指标出现超过V类水标准的情况;氨氮、硝酸盐、苯酚、苯、Pb、Mn、As、Cd、Zn指标出现了降雨后高于降雨前的情况。



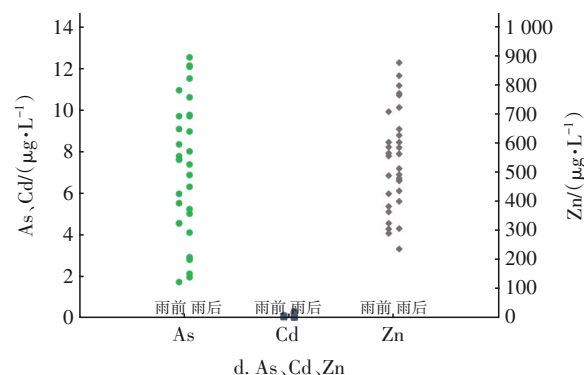
a. 氨氮、总氮、总磷、硝酸盐、COD



b. 石油类、苯酚、苯



c. Cu、Cr、Pb、Mn、Fe

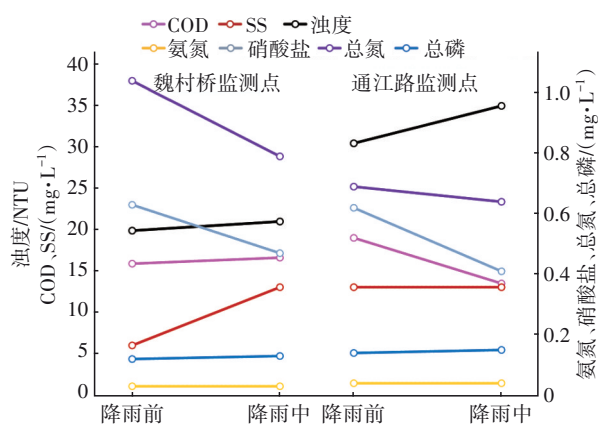


d. As、Cd、Zn

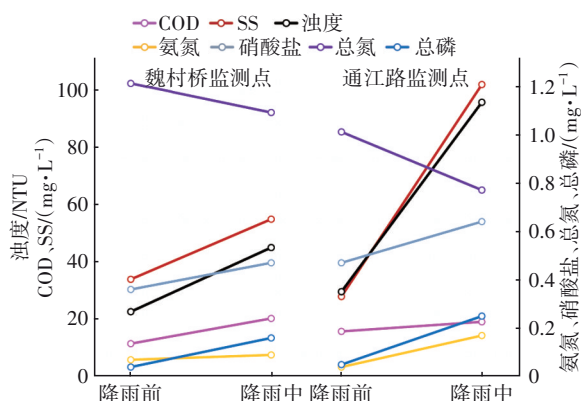
图5 德胜河降雨前后污染物浓度水平对比

Fig.5 Comparison of pollutant concentration levels before and after rainfall in Desheng River

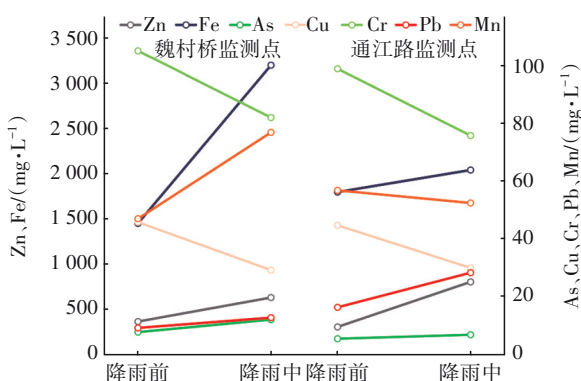
2019年8月两场中小降雨场景两个监测点在降雨前和降雨中各污染物浓度变化情况见图6。在两场降雨过程中,氨氮、COD、SS、浊度、总磷、Zn、Fe、As、Pb、Mn、苯酚浓度总体呈上升趋势,总氮、Cr、石油类浓度总体呈下降趋势,而硝酸盐、Cu、苯浓度在不同降雨事件中表现出相反的变化趋势。两场降雨过程中魏村镇径流污染对德胜河魏村桥和通江路断面COD、SS、浊度、总磷、Zn、Fe、Pb、Mn、As、苯等污染物浓度的上升贡献较大,部分污染物指标浓度发生下降的主要原因是降雨前浓度本身很高或相对高于径流浓度。



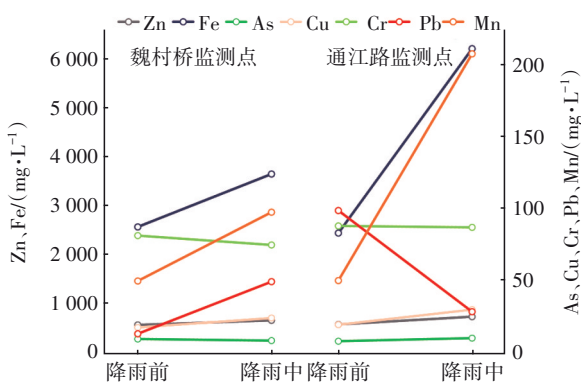
a. 8月25日降雨:常规水质指标



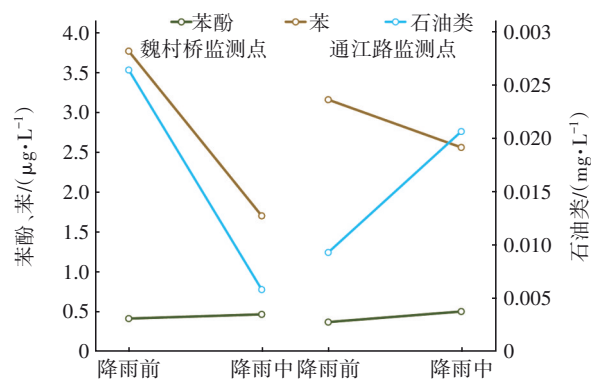
b. 8月27日降雨:常规水质指标



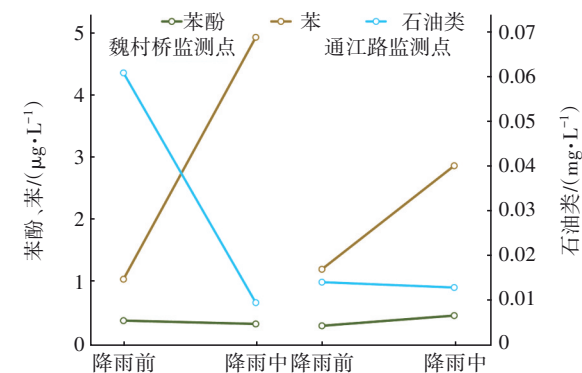
c. 8月25日降雨:金属指标



d. 8月27日降雨:金属指标



e. 8月25日降雨:有机物指标

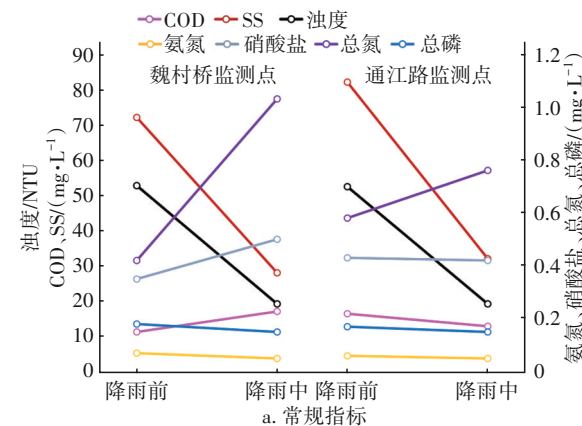


f. 8月27日降雨:有机物指标

图6 德胜河不同监测点降雨前与降雨中污染物浓度变化趋势分析

Fig.6 Trend analysis of pollutant concentrations before and during rainfall at different monitoring points in Desheng River

8月10日魏村镇区附近降雨量达到约106 mm,降雨量大且历时较长(见图7)。在本次降雨过程中,德胜河各个监测点位的污染物浓度在降雨后普遍明显降低,主要是因为德胜河内水量激增且流量流速变大,城镇径流污染被稀释并快速排放至下游。值得关注的是,魏村桥监测点Pb浓度大幅降低而通江路监测点却明显升高,可能是两个监测点之间某厂区地表径流或某企业存在含Pb废水的排放。



a. 常规指标

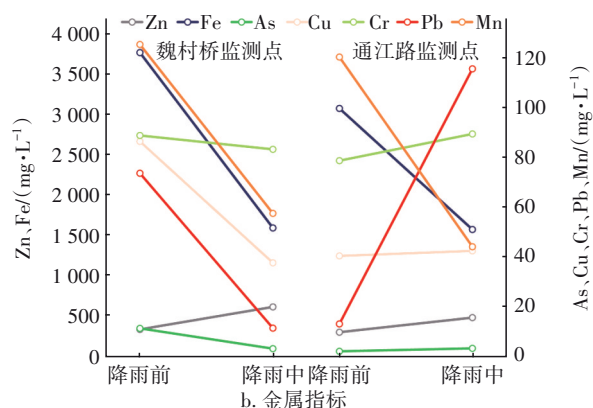


图7 8月10日降雨前与降雨中德胜河不同监测点污染物浓度变化趋势分析

Fig.7 Trend analysis of pollutant concentrations at different monitoring points in Desheng River before and during a heavy rain on August 10

3 结果讨论与建议

3.1 结果讨论

① 德胜河全年持续监测的几项主要常规指标均达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅱ类或Ⅲ类水标准;在汛期不同断面的多次监测取样中,总氮、总磷、COD、石油类指标超过Ⅲ类水标准的情况时有发生,Cr、Pb、Mn、Fe则多次出现超过Ⅴ类水标准情况;德胜河在汛期和降雨期间水质波动较明显,部分污染物指标浓度上升的频次较高、幅度较大。

② 由于人口密度和道路车流量大,中小型工业企业和物流仓储场地较多,并且沿河分布有装卸码头等原因,导致魏村镇区城镇径流污染较严重;在多个位置多场降雨径流监测中,COD、总氮、总磷、Zn、Cr、Pb、Mn、Fe、As、苯等指标污染程度较高,并且径流污染物浓度随降雨径流过程变化波动大,变化规律复杂。

③ 在中小降雨条件下,城镇径流对德胜河镇区段水质有比较显著的影响,8月25日和8月27日两场中小降雨过程中,魏村镇区城镇径流对德胜河魏村桥和通江路断面COD、SS、浊度、总磷、Zn、Fe、Pb、Mn、As、苯等污染物浓度的上升贡献较大或发挥主要作用;在发生大雨或暴雨时,城镇径流对德胜河污染的贡献被河道激增的水量所稀释并迅速流向下游,8月10日大雨过程中德胜河各个监测点位的多数污染物指标浓度在降雨后明显降低。

④ 虽然魏村镇区面积相对于整个德胜河较

小,但是由于魏村镇区城镇径流污染较严重,距离应急取水口近,并且在应急供水期间德胜河水利枢纽关闭,城镇径流对于作为应急水源的德胜河具有较高的污染风险,尤其是汛期多次监测到的重金属超标问题需要引起重视。为了更好地保障德胜河应急供水安全,积极应对城镇径流污染和河道汛期水质的波动变化,一方面应在魏村镇区采取径流污染控制措施,另一方面应对德胜河应急供水运行管理方式进行优化。

⑤ 德胜河雨天水质变化的影响因素除了城镇径流污染水平外,还受到河流上游来水水质、降雨量、德胜河枢纽开关闸、泵站运行以及由此引起的水流方向和流速流量变化等众多因素的影响,并且不能完全排除魏村镇区有生活污水或工业废水直接排入河道,在部分时间段或部分条件下,其中一个影响因素可能会对某一污染物指标浓度产生较大或决定性影响,从而呈现出不同程度的增加或减少。

3.2 基于海绵城市的城镇径流污染控制措施建议

在确保魏村镇区无生活污水和工业废水排入德胜河的基础上,通过实施径流污染控制措施,降低雨天城镇径流对德胜河的污染。镇区径流污染控制首先应加强公众宣传教育,避免居民将生活污水和垃圾等直接排入雨水算子或雨水管道;针对道路径流污染严重问题,应定期去除雨水算子处的垃圾等污染物质,结合镇区道路绿地在径流汇集和进入管道系统前设置初期雨水弃流装置或沉淀、过滤设施(雨水截污挂篮、雨水口除污器、雨水沉淀井等)对径流污染物进行截污;加强雨水管道的日常维护,在雨季前对区域内所有的雨水口、雨水管道进行疏通清淤工作,避免累积的泥沙、枯枝、树叶等进入河流;对于新建、改建、扩建的道路和建筑小区项目应充分考虑源头径流污染控制设施,居住和商业用地内可通过建设植草沟、雨水花园、下沉式绿地等生态型海绵城市源头控制措施,对径流进行滞留和净化,减少径流总量和污染物排放;在雨水管道末端排河口,可以利用河道沿线开放空间布置集中式的末端净化措施对雨水管道径流进行处理,使径流水质净化后再排入德胜河;为了进一步提升德胜河水质和降低汛期污染,建议推进和实施德胜河上游及支流水系综合整治、流域农业面源污染治理等重点工程^[5]。

针对魏村镇区域镇径流中部分重金属浓度较高以及德胜河重金属超标问题,应重点关注和加强工业企业、装卸码头、河道内船只的物料储存、垃圾堆放、雨水和扬尘排放的管控,完善镇区垃圾尤其是工业垃圾收集转运系统,各工业企业应针对企业内雨水径流污染问题制定相应的控制方案,污染严重的企业应落实事故水池和雨水池的建设。

3.3 优化应急水源运行管理建议

为提升和完善应急供水决策的科学性,应急管理应执行“按影响确定应对措施”的风险控制决策原则^[6]。因此,首先应完善德胜河应急水源水质监测预警联动机制,在取水口附近适当位置建设水质自动监测站,密切关注特征污染物和有毒污染物水平,并将监测数据与相关部门和供水企业监控平台联网共享,以科学评价水质变化及潜在影响;其次应进一步加强和规范德胜河急水源保护管理,应急水源地管理单位要根据应急水源特点,建立相应的运行维护管理制度,强化应急处置能力,全面提高常州市供水安全保障能力和水平。针对魏村镇区域镇径流污染特征及德胜河应急水源在汛期水质波动较大、部分污染指标超标的情况,应急水厂应结合应急水源水质特点和变化特征,完善净水工艺处理措施和应急处理技术储备,通过试验合理确定投药或运行模式,制定应急预案并及时对预案进行完善,确保在应急供水期间水厂正常运行,出厂水质达标。

4 结语

通过开展常州市应急水源德胜河及周边魏村镇区域镇径流水质监测,研究和分析了魏村镇区域镇径流污染状况及其对德胜河水质的影响特征。为了更好地保障德胜河应急供水安全,积极应对城镇径流污染和河道汛期水质的波动变化,提出了城镇径流污染控制及应急供水运行管理方式优化建议,可为常州市应急水源保护和管理维护提供参考和依据。

参考文献:

[1] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶. 非点源污染的管理及控制

[J]. 环境科学,1998(5):87-91,96.

HE Chansheng, FU Bojie, CHEN Liding. Non-point source pollution control and management [J]. Environmental Science, 1998 (5): 87-91, 96 (in Chinese).

[2] 车伍,刘燕,李俊奇. 国内外城市雨水水质及污染控制[J]. 给水排水,2003,29(10):38-42.

CHE Wu, LIU Yan, LI Junqi. Urban rainwater and its pollution control [J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(10): 38-42 (in Chinese).

[3] 潘杰. 常州市应急水源比选与论证研究[J]. 人民黄河,2015,37(3):54-57.

PAN Jie. Study on comparison and selection, demonstration of emergency water sources of Changzhou City [J]. Yellow River, 2015, 37 (3): 54-57 (in Chinese).

[4] 李春林,胡远满,刘森,等. 城市非点源污染研究进展[J]. 生态学杂志,2013,32(2):492-500.

LI Chunlin, HU Yuanman, LIU Miao, et al. Urban non-point source pollution: research progress [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(2): 492-500 (in Chinese).

[5] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 给水排水,2015,41(3):1-7.

QIU Baoxing. Connotation, ways and prospect of the sponge city (LID) [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(3): 1-7 (in Chinese).

[6] 张晓健. 水源突发污染的饮水健康影响与应急管理对策[J]. 给水排水,2018,44(9):1-3.

ZHANG Xiaojian. Health effects and emergency management countermeasures of drinking water with sudden pollution of water source [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44 (9): 1-3 (in Chinese).

作者简介:唐磊(1987-),男,陕西渭南人,硕士,高级工程师,主要从事城市水系统规划、市政基础设施规划及海绵城市和黑臭水体治理规划设计等工作。

E-mail:tanglei_2013@163.com

收稿日期:2022-04-29

修回日期:2022-05-05

(编辑:衣春敏)