

安子倩, 乔肖翠, 刘琰, 等. 雨污合流制地区溢流污染影响因素及管控建议[J]. 环境工程技术学报, 2024, 14(3): 986-994.

AN Z Q, QIAO X C, LIU Y, et al. Influencing factors and control suggestions for overflow pollution in areas with combined sewer system[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2024, 14(3): 986-994.

雨污合流制地区溢流污染影响因素及管控建议

安子倩^{1,2}, 乔肖翠¹, 刘琰¹, 卢延娜¹, 李雪¹, 王海燕^{1*}

1. 中国环境科学研究院

2. 北京林业大学环境科学与工程学院

摘要 雨污合流制地区汛期溢流成为城市河流返黑返臭的重要原因, 溢流污染的有效控制, 对改善水环境, 提升人民幸福感、获得感与安全感有着重要作用。针对雨污合流制地区汛期溢流污染防控, 总结了合流制溢流污染的特点、对水环境质量的影响以及合流制溢流污染的影响因素等内容, 分析了我国溢流污染严重区域的分布特征并提出管控建议。研究发现, 我国合流制溢流污水呈现出成分复杂、水量水质变化大、初期雨水水质差等特点, 且合流制溢流污染会导致城市面源污染, 加重地表水质恶化程度。通过分析合流制溢流污染的2个主要影响因素(降水量和管网条件), 初步识别出我国溢流污染严重区域主要集中在东部、南部地区, 且相关性分析结果表明汛期降水量及管网密度与区域水质存在中等相关关系。为加强合流制地区溢流污染防控, 提出要因地制宜制订汛期雨污溢流污染排放管控标准、开展溢流污染控制技术更新行动、加强汛期雨污溢流污染的全过程管理、加强汛期雨污溢流污染治理成效考核等具体建议, 以期有效控制合流制溢流污染, 推动水环境质量持续改善提供参考。

关键词 雨污合流; 溢流污染; 汛期污染强度; 源头治理; 污水处理厂

中图分类号: X52 文章编号: 1674-991X(2024)03-0986-09 doi: 10.12153/j.issn.1674-991X.20230810

Influencing factors and control suggestions for overflow pollution in areas with combined sewer system

AN Ziqian^{1,2}, QIAO Xiaocui¹, LIU Yan¹, LU Yanna¹, LI Xue¹, WANG Haiyan^{1*}

1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences

2. College of Environmental Science and Engineering, Beijing Forestry University

Abstract Overflow pollution during flood season in areas with combined sewer system has become an important reason for the return of urban rivers to blackness and odor, and the effective control of overflow pollution plays an important role in improving the water environment quality and enhancing people's sense of well-being, accessibility and security. In view of the prevention and control of overflow pollution in flood season in areas with combined sewer system, the characteristics of overflow wastewater, the influence on water environment quality, and the influencing factors of overflow pollution were summarized. The distribution characteristics of areas with severe overflow pollution were analyzed and the control suggestions were put forward. The study found that the overflow wastewater from combined sewer systems in China had the characteristics of complex composition, large changes in water quantity and quality, and poor quality of initial rainwater, which caused urban non-point source pollution and led to the deterioration of surface water. By analyzing the countrywide distribution of two main influencing factors of overflow pollution, i.e. precipitation and pipe network conditions, it was preliminarily identified that the areas with serious overflow pollution were mainly distributed in the south and east of China. The correlation analysis showed that there was a moderate correlation between precipitation in flood season, pipe network density and regional water quality. In order to strengthen the prevention and control of overflow pollution in areas with combined sewer system, some specific suggestions were proposed, including developing discharge control standards for overflow pollution according to local conditions, updating technologies for controlling and treating overflow wastewater, enhancing the whole process management of overflow pollution in flood seasons, and strengthening

收稿日期: 2023-11-07

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFC1806301)

作者简介: 安子倩(2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水污染控制与水资源利用, an15131422218@163.com

* 责任作者: 王海燕(1976—), 女, 研究员, 博士, 主要从事生态环境标准研究, wanghaiyan@craes.org.cn

effectiveness assessment of overflow pollution control and treatment, and so on, which hopefully could provide support for effective control of overflow pollution and promote water environmental quality continuously.

Key words rainwater and sewage confluence; overflow pollution; pollution intensity in flood season; source governance; sewage treatment plant

近年来,合流制地区汛期溢流污染引发的环境问题逐渐引起人们的关注。溢流污染不仅对城市的生态环境造成破坏,使很多已取得治理成效的河流出现返黑返臭,还影响到了城市管理以及居民的日常生活和生产^[1-2]。有研究表明,目前合流制溢流污染是汛期城市地表水污染的主要原因^[3]。合流制地区溢流问题除了与其所配套的管网排水体制、污水收集规模和管道漏损情况等因素有密切的关系之外,同时也与其下游污水处理厂的设计规模及运行管理水平有一定的关系^[4]。对此,我国在合流制地区溢流污染治理中提出了很多的管控要求,但治理效果参差不齐,治理措施仍存在短板。因此,笔者针对合流制地区汛期溢流带来的水体污染问题,在研究合流制溢流背景的基础上,开展了我国溢流污染区域分布特征以及溢流污染处理措施的研究,结合国外溢流污染管理措施和治理技术分析,提出了目前我国溢流污染存在的问题及建议,以期为制订溢流污染控制的相关标准与政策提供科学依据。

1 合流制溢流污染研究背景

1.1 合流制溢流污染定义及特点

城市排水系统可划分为合流制和分流制2种^[5]。分流制排水系统是指雨水、污水管道相分离,而合流制排水系统是指雨水、污水共用相同的管道。降水期间,合流制排水管网中的水量随降水量的增大而增加,当管网中的水量超过了主干管网的负荷以及污水处理厂的处理能力时,超负荷的雨水和污水将以溢流形式排放到接纳水体中,从而对地表水环境造成污染^[6]。

汛期溢流污水中汇集了各种不同性质的污水,如生活污水、工业废水、雨水、河水、地下水及腐烂沟道沉积物等,总体来说具有污水成分复杂、水质水量变化大、初期雨水污染物浓度高的特性(表1)。此外,由于合流制溢流污染多伴随降雨产生,故其排放具有间歇性、突发性和随机性等特点^[7]。

1.2 合流制溢流污染对水环境的影响

合流制管网溢流所形成的城市面源污染,已成为城市水体污染的重要问题之一^[8]。合流制溢流污染对水体的影响主要集中在汛期(5—10月),主要原因是地表面源冲刷污染,生活污水、工业废水及管道

沉积物和污水处理厂尾水等,降水时随径流一同溢流至河流中,对水体造成污染,导致汛期城市地表水体水质下降^[9]。对生态环境部发布的2020—2022年《1—12月全国地表水水质月报》^[10-12]中各月份水质进行分析(图1),汛期I类~III类水质(GB 3838—2002《地表水环境质量标准》)占比与其他月份相比较低,7月达到全年最低(73.6%),而劣V类水质占比在汛期有所升高。流域面源是导致汛期地表水监测断面水质下降的主要原因^[13],尤其在农村地区,来自农业面源和农村生活污染的贡献显著,但在城市区域,合流制溢流带来的污染不可忽视^[14-15]。

表1 汛期溢流污水具体表现及对应特点

Table 1 Concrete performance and corresponding characteristics of overflow sewage in flood season

| 具体表现 | 特点 |
|---------|---|
| 成分复杂 | 主要包括有机物、营养盐、SS、致病微生物、其他有毒有害物质如重金属、含氯有机物等 |
| 水量水质变化大 | 受降水过程中雨量变化的影响,流量变化大;受气候、降水量、下垫面的影响,污染物的性质和浓度变化大;水质随降水时间的变化呈现先升后降的趋势,初期效应明显,初期雨水的SS、COD是后期的几倍或更高 |
| 初期雨水水质差 | 因外渗水多为非污水,除暴雨初期外,混合污水的整体污染物浓度较低 |

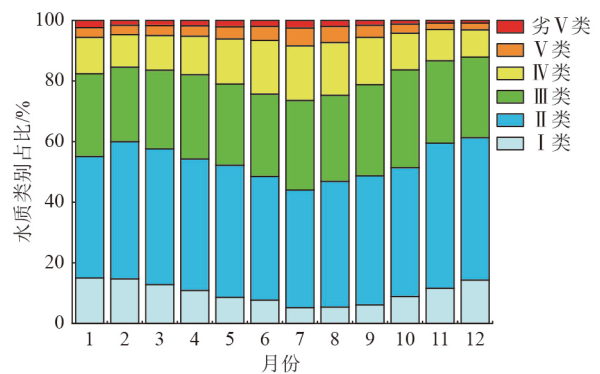


图1 2020—2022年1—12月全国水质类别占比

Fig.1 Proportion of water quality categories in China from January to December, 2020 to 2022

在生态环境部发布的《关于开展汛期污染强度分析推动解决突出水环境问题的通知》(环办水体函[2022]52号)中提出^[16],对于汛期污染强度高、城乡面源污染治理滞后的地区,要督促指导,认真排查,扎实做好城乡面源污染治理的工作,重点解决面源污染治理的瓶颈问题,促进水环境质量的不断提

高。汛期污染强度是指某断面汛期首要污染物浓度与考核目标浓度限值的比值,其计算公式为:污染强度=(汛期浓度-非汛期浓度)/非汛期浓度。根据 2022 年生态环境部发布的《全国水环境情况通报》^[17],按汛期污染强度从大到小排序,前 50 个断面中数量较多的省份位于山西、江西和云南等地,其他地区如江苏省太湖流域省考断面在汛期部分断面氨氮监测浓度增加 650%~1 325%^[18]。接纳合流制溢流污水和初期雨水的城市水体,受高浓度氮、磷等污染物的影响,水生生物的正常生长受到干扰,水体呈现一定程度的富营养化,如果排入的污染负荷超出了水环境承载能力,水环境质量会显著下降甚至形成黑臭水体^[19]。

2 我国溢流污染影响因素和重点区域识别

2.1 影响合流制溢流的因素

影响合流制溢流污染的主要因素包括降水条件、排水系统的截留倍数、管网条件以及污水处理厂的规模等^[20-21]。

2.1.1 降水条件

降水特征对流域地表径流的水质、水量有重要影响^[22]。降水特征主要包括降水强度、降水量、降水持续时长和降水间隔时长等。降水强度是影响污染物浓度的重要因素,而降水持续时长则是影响污染物迁移的主要因素,降水间隔时长决定了地表污染物的蓄积量,随着降水间隔的延长,地表污染物的积累也随之增加。

2.1.2 截流倍数

截流倍数是指在排水系统中,被截流的雨水量与晴天污水量的比值,其能较好地反映合流制排水系统综合拦截污水的能力。较大的截流比、管径大的管网可容纳的污水量较大;相反,较小的截流倍数将导致管网管径变小,收集污水量较少^[23]。雨天时,超出合流制排水系统排水能力的合流污水在截流倍数较小的情况下易发生合流制管道溢流,合流污水直接排放入河,对接纳水域造成污染^[24]。

2.1.3 管网条件

管网条件对合流制溢流的影响体现在多个方面。首先,管网存在破裂、错接、脱节、变形、腐蚀等问题均会对合流制溢流污染造成影响^[25],如污水管道破损严重,会导致地下水进入污水管道^[26]。其次,雨水管网和污水管网所占管网总长度比例也会对合流制溢流造成一定的影响,合流制管网占比大,改造难度大,溢流污染发生时所采取的治理措施也会受到相应的限制,从而造成溢流污染的加重^[27]。最后,

排水管网密度反映了一定区域内排水管道分布的疏密程度,一个城市的排水管网密度越高,说明管网普及率越高、服务面积越大^[28]。

2.1.4 污水处理厂规模

在暴雨条件下,由于大量雨水流入排水系统,超出下游污水处理厂的设计进水规模,导致部分污水未经有效处理或者不处理直接排入水体造成污染^[29]。如承德市太平庄污水处理厂因处理规模有限,2022 年 1—3 月发生溢流 135 次,每日溢流量超出 5 000 t。我国部分污水处理厂在暴雨期间的超设计负荷可达 140%~180%,甚至更高。

2.2 降水量与管网条件对合流制溢流污染的影响

根据 2.1 节分析可知,影响合流制溢流污染的因素较多,其中,降水量越大,雨水对地面污染物的冲刷作用越彻底,污染负荷也越高^[30]。李云青等^[31]提出降水量较大时易产生合流制溢流污染并对水环境造成损害的观点;丁亚楠等^[32]研究发现,降水量增加会导致环境影响指标(汛期污染强度、地表水质等)对环境的影响增大,以及管网条件对合流制溢流改造的制约^[33]。此外,也有学者指出,随着管网密度的增加,初期冲刷效应呈现逐渐减弱的趋势,合流制污染也会呈现减弱的趋势^[34-35]。因此本研究针对不同地区降水量及管网条件中的合流制管网占比及管网密度的影响进行了详细分析,在此基础上对我国溢流污染的重点区域进行识别。

2.2.1 降水量

中国幅员辽阔,不同区域雨期降水量差异较大。根据水利部发布的《中国水资源公报》^[36-38]对我国 31 个省(区、市)2020—2022 年平均降水量进行总结,结果见表 2。由表 2 可知,近 3 年降水量较大的地区主要集中在华东、华南地区,如海南省、江苏省、广东省、江西省及广西壮族自治区,其中海南省在近 3 年平均降水量最大,高达 1 863.7 mm;西北地区降水量较少,其中新疆维吾尔自治区最少,仅有 148.2 mm,其次是宁夏回族自治区和甘肃省,平均降水量分别为 279 和 292.2 mm。

针对 2020 年主要城市丰水期(5—10 月)和全年降水总量进行了数据统计,结果如图 2 所示。从不同城市降水量来看,武汉市丰水期降水量最大,达到 1 561.6 mm;其次是桂林市,丰水期降水量为 1 527.1 mm;广州市、南昌市降水量达到 1 450 mm 以上。桂林市年降水量最多,达到 2 341.7 mm;其次是南昌市,达 2 140.7 mm。从图 2 可以看出,无论是丰水期降水量还是全年降水量,降水量较大的城市均位于华东、华南地区。华东、华南地区许多典型城市,雨

表2 2020—2022年31个省(区、市)平均降水量
Table 2 Average precipitation of 31 provinces
(autonomous regions, municipalities) in China
in 2020-2022

| 地区 | 省(区、市) | 2020年 | 2021年 | 2022年 | 2020—2022 年平均值 |
|------|----------|---------|---------|---------|-------------------|
| 华北地区 | 北京市 | 560.0 | 924.0 | 482.1 | 655.4 |
| | 天津市 | 534.4 | 984.1 | 584.7 | 701.1 |
| | 河北省 | 546.7 | 790.3 | 508.1 | 615.0 |
| | 山西省 | 561.3 | 733.0 | 592.5 | 628.9 |
| 东北地区 | 内蒙古自治区 | 311.2 | 343.7 | 271.8 | 308.9 |
| | 辽宁省 | 748.0 | 933.0 | 914.6 | 865.2 |
| | 吉林省 | 769.1 | 710.4 | 820.7 | 766.7 |
| | 黑龙江省 | 723.1 | 647.7 | 578.8 | 649.9 |
| 华东地区 | 上海市 | 1 554.6 | 1 474.5 | 1 072.8 | 1 367.3 |
| | 江苏省 | 1 236.0 | 1 190.3 | 813.3 | 1 079.9 |
| | 浙江省 | 1 701.0 | 1 992.5 | 1 567.0 | 1 753.5 |
| | 安徽省 | 1 665.6 | 1 291.6 | 979.8 | 1 312.3 |
| | 福建省 | 1 439.1 | 1 477.1 | 1 712.4 | 1 542.9 |
| | 江西省 | 1 853.1 | 1 587.4 | 1 599.3 | 1 679.9 |
| | 山东省 | 838.1 | 979.9 | 878.0 | 898.7 |
| 华中地区 | 河南省 | 874.3 | 1 127.7 | 621.7 | 874.6 |
| | 湖北省 | 1 642.6 | 1 269.0 | 987.2 | 1 299.6 |
| | 湖南省 | 1 726.8 | 1 490.1 | 1 305.3 | 1 507.4 |
| 华南地区 | 广东省 | 1 574.1 | 1 420.9 | 2 114.3 | 1 703.1 |
| | 广西壮族自治区 | 1 669.4 | 1 383.1 | 1 696.7 | 1 583.1 |
| 西南地区 | 海南省 | 1 641.1 | 1 881.4 | 2 068.6 | 1 863.7 |
| | 重庆市 | 1 435.6 | 1 404.3 | 945.2 | 1 261.7 |
| | 四川省 | 1 055.0 | 1 004.7 | 842.7 | 967.5 |
| | 贵州省 | 1 417.4 | 1 227.3 | 1 016.6 | 1 220.4 |
| | 云南省 | 1 157.2 | 1 123.9 | 1 173.8 | 1 151.6 |
| 西北地区 | 西藏自治区 | 600.6 | 578.7 | 538.7 | 572.7 |
| | 陕西省 | 690.5 | 954.6 | 671.1 | 772.1 |
| | 甘肃省 | 334.4 | 288.5 | 253.6 | 292.2 |
| | 青海省 | 367.1 | 356.2 | 341.1 | 354.8 |
| | 宁夏回族自治区 | 309.7 | 2 735.0 | 253.7 | 279.0 |
| | 新疆维吾尔自治区 | 141.7 | 161.7 | 141.3 | 148.2 |

季时雨强、雨量大,造成合流制溢流水量大且历时久,因此雨季合流制溢流污染问题尤为突出^[39]。

2.2.2 管网条件

根据《2022年中国城乡建设统计年鉴》^[40]中对我国排水管道长度和建成区排水管道密度的统计,2022年全国城市排水管道长度为91.35万km。其中,污水管道长度为42.06万km(占46.0%),雨水管道

长度为40.70万km(占44.6%),雨污合流管道长度为8.59万km(占9.4%)。由此可见,我国的合流制管网仍占一定的比例。根据我国经济状况以及老城区改造难度等情况^[41],合流制管网在短时间内仍会存在。

为了解不同省份排水管道状况,根据《2022年中国城乡建设统计年鉴》^[40]中相关数据对全国主要省(区、市)及新疆生产建设兵团(简称新疆兵团)雨污合流排水管道长度占比及管网密度进行统计分析,结果如图3所示。由图3可知,宁夏回族自治区、辽宁省、新疆兵团、西藏自治区、黑龙江省等地合流制管网占比较大,但上述地区降水量少,根据实际情况来看发生溢流污染的频次少。广西壮族自治区、湖南省、广东省和江西省等省(区)的合流制管网占比为15%~20%,属于合流制管网占比相对较大的地区,且上述地区的管网密度处于中等水平。

综合降水量和管网条件2个因素,可以推测出我国溢流污染严重的地区主要位于东南部,且以广西壮族自治区、湖南省、广东省和江西省为主。

2.3 汛期降水量及管网条件与区域水质响应关系分析

由于汛期污染强度数据仅有2022年数据(生态环境部于2022年2月21日发布通知),因此将2022年管网密度与2022年汛期污染强度及劣V类水质断面、2022年降水量与2022年汛期污染强度、2020—2022年降水量与其对应年份的劣V类水质断面^[17,42-43]分别进行相关性分析,结果如表3所示。

根据表3中所计算出的sig(显著性)值大小,可以判断管网密度与汛期污染强度、降水量与汛期污染强度、管网密度与劣V类水质断面比例以及降水量与劣V类水质断面比例之间是否具有相关性,其对应的相关系数可体现指标的相关性大小。若sig>0.05,则无明显相关关系;若sig<0.05,则二者具有相关关系。结果表明,管网密度与汛期污染强度无明显相关关系;2022年降水量与汛期污染强度具有相关关系,相关系数为0.400,二者呈中等相关关系;管网密度、2020—2022年降水量与劣V类水质断面比例均具有相关关系,相关系数分别为-0.449、0.389、0.348和0.403,均呈中等相关关系。

综上所述,尽管汛期溢流污染受降水量和管网密度的双重影响,但降水量起主导作用。降水量大且管网密度小的省份在汛期的水质易变差,污染强度也更大。以江西省南昌市为例,2020年南昌市总降水量达到了2 140.7 mm,无论是丰水期还是枯水期,降水量均处于全国前列^[44]。已有报道数据表明,南昌市老城区污水管网长1 068 km,其中雨污合流

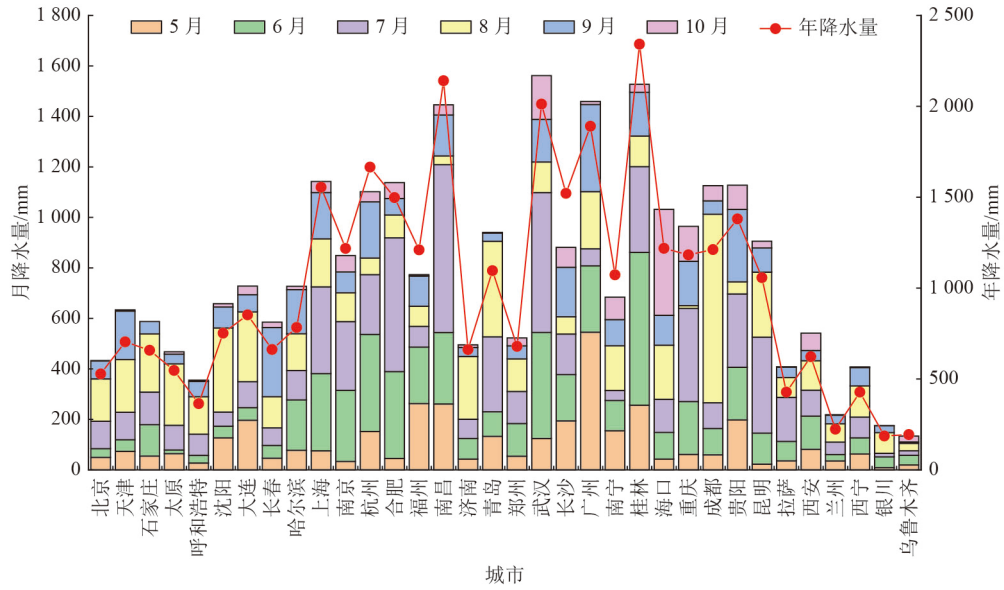


图 2 2020 年主要城市丰水期月降水量和年降水量

Fig.2 Monthly precipitation and annual precipitation in wet season of major cities in 2020

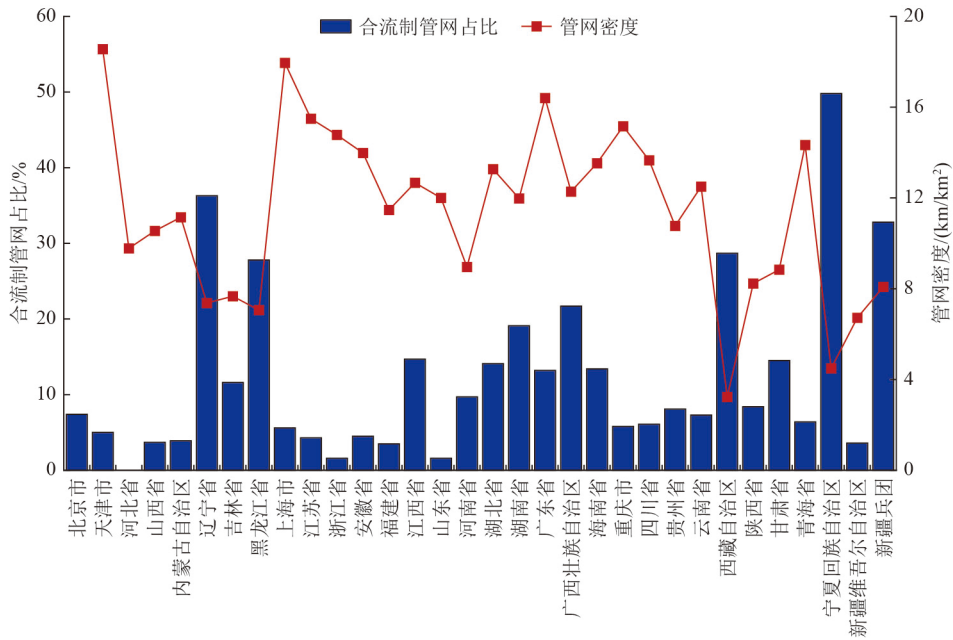


图 3 我国各省(区、市)及新疆兵团合流制管网占比及管网密度

Fig.3 Proportion and density of combined pipe network in China's provinces (autonomous regions, municipalities) and Xinjiang Corps

表 3 汛期降水量及管网条件与区域水质相关性分析结果

Table 3 Correlation analysis results of precipitation, pipe network conditions and regional water quality in flood seasons

| 指标 | 2022年管网密度 | | 2022年降水量 | | 2021年降水量 | | 2020年降水量 | |
|-------------|-----------|--------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | sig | 相关系数 | sig | 相关系数 | sig | 相关系数 | sig | 相关系数 |
| 2022年汛期污染强度 | 0.485 | 0.133 | 0.026 | 0.400 | | | | |
| 劣V类水质断面比例 | 0.013 | -0.449 | 0.025 | 0.403 | 0.045 | 0.348 | 0.030 | 0.389 |

制管网长 724 km, 占 67.8%。2020 年南昌市 20 个城市湖渠水质评价结果显示, V类和劣V类水质占比高达 71.68%^[45]。

3 国内外合流制溢流污染管控现状

3.1 国外管控现状

发达国家开展合流制溢流污染控制的研究与实

践较早,经过多年的研究积累了大量的理论成果和实践经验,且在此基础上制定了一系列的政策、法规、管理体系、技术规范等,注重系统化、标准化解决问题。

美国自20世纪60年代以来,持续开展合流制溢流污染治理工作,历经工程措施阶段、工程措施和非工程措施结合阶段、建章立制阶段和绿色基础设施开发阶段4个阶段。其中,美国污水处理厂的排放限值一般根据二级处理出水的相关规定或州一级处理标准确定。1994年,美国国家环境保护局(USEPA)发布针对合流制区域污水处理厂的“混合”政策^[46],即在达到一定排放标准要求的前提下,允许暴雨时超过污水处理厂二级处理能力但未超过一级处理能力的雨污水,只经过一级处理单元处理后与二级处理单元出水混合,经消毒后排放^[47]。

近年来美国对于溢流污染的治理主要侧重于源头控制,认为可以从根本上降低合流制溢流污染的发生,大力推广实施依靠源头控制措施来控制合流制溢流污染的方案,如雨水花园、绿色屋顶及各种渗蓄系统等^[3]。

日本于1956年开始积极建设合流制排水系统,1971年开始推行分流制排水系统,尝试“合改分”策略。截至1999年,日本合流制排水系统约占全部排水系统的20%,日本多数城市仍沿用合流制排水系统且呈现出“合-分”同时存在的特点^[48],如东京合流制管网占比超过80%,与我国许多城市排水系统具有相似性。随着合流制溢流污染问题日趋严峻,日本还特别成立了合流制管道系统顾问委员会来对其进行研究控制^[49],通过修订《下水道法》将合流制系统纳入国家法定管理要求,为迅速提升合流制溢流污染治理效果,日本各大城市均加强了对溢流排口原位处理创新技术的应用,并对合流制区域污水处理厂雨季处理能力进行了优化^[47]。各地区根据各自的环境要求设定相应的环境指标,如东京采用了雨水贮流设施和渗透设施方案。

德国对源头控制、合流制溢流污染控制和雨水径流污染控制的结合问题给予了极大关注,一方面通过建设多个集水区截留等方式解决合流系统溢流的污染,另一方面通过源头分布式生态减排技术减少径流、净化降水^[50]。此外,德国根据对污水处理厂污染处理效果及水力有效性的长期研究,通过对合流制区域截流干管的最大流量和污水厂处理量进行严格控制,尽可能利用上游(特别是源头)的雨水收集和处理设施,降低进入合流制系统的降水总量;同时,部分分散溢流排口通过设置格栅、过流净化池

(例如在调蓄池内悬空安装水力颗粒分离器等设备)、生物滤池等就地处理设施,着重去除大颗粒物与漂浮物^[51]。

目前国外对合流系统溢流的污染治理多以全国性的法规和规章为指导,而政府部门也起到了很大的作用。如USEPA贯穿了合流式溢流控制的全过程,而日本国土交通省则从立法、制定控制措施、明确控制目标等多个角度对其进行了深入研究。另外,在溢流污染的治理中注重全过程管理,包括源头控制、过程调蓄以及末端治理一体化建设。最后,在溢流污染治理中结合不同地区的特点采取相应的环境指标与治理措施,因地制宜制定合流制排水系统的改进方案。

3.2 国内管控现状

我国早期对合流制系统的污染治理主要是采用分流制进行,存在轻源头轻过程、重末端,对城市生态关注不够等问题,因而改造成效不大。通过不断学习国外相关经验,近年来我国对合流制溢流污染解决方法主要集中于工程措施和非工程措施相结合,工程措施主要包括源头减排(绿色设施)、过程控制和末端控制等;非工程措施包括从法律法规、规划和管理措施等多个角度对合流制溢流进行全方位的治理。部分城市还根据需要针对汛期溢流污染出台了相关的地方管控要求。如武汉市地方标准DB 4201/T 666—2022《城市排水系统溢流污染控制技术规范》^[52]中提及,对于武汉市主城区,生态环境部门的考核标准仍然为一级A标准,降雨条件下,污水处理厂可以先按设计处理规模的1.5倍进行处理,对于后续存在深度处理条件的处理厂,可以探讨增加二级生化处理水量1.5倍以上、深度处理不变,尽可能新增污染物削减量;远期生态环境部门的考核标准调整时,雨时最大按设计处理规模的3倍运行。为进一步提升重庆市的水环境质量,重庆市住房和城乡建设委员会制订了《城镇排水溢流排口污染物控制技术标准》(征求意见稿)^[53],对雨季时污水处理厂处理能力及排放标准作出如下规定:当进水量不超过1.2倍设计处理能力时,应全部处理达标排放;当进水量超过1.2倍设计处理能力时,超过部分应另行处理并设置单独排口,其排放标准应满足 $COD_{Cr} \leq 70 \text{ mg/L}$, $SS \text{ 浓度} \leq 50 \text{ mg/L}$, $TP \text{ 浓度} \leq 2 \text{ mg/L}$ 。

虽然合流制溢流问题已经得到国家的高度关注,但与发达国家相比,我国在合流制溢流污染的治理方面尚未建立起一套完整的管理制度和技术体系,仍缺乏相关经验。

3.3 国内外管控异同

综上所述可以看出,国内外在合流制溢流污染治理方面存在一定的异同,因此针对国内外管控现状的差异性和关联性进行分析,可为我国溢流污染严重区域的治理提供参考。

国外在合流制溢流的治理过程中政府部门充当了重要角色,如 US EPA、日本国土交通省和德国城市政府通过发布相关政策法规来加强对合流制溢流污染的管控,而国内缺乏国家政府层面的政策法规和技术指南。国内外管控合流制溢流污染采用的技术不同,国外一般采用灰绿结合的方法,调蓄池和溢流口治理相结合作为标配;我国目前多采用工程措施,主要控制措施是调蓄池和调蓄管及其他各种工程措施的结合,缺少绿色工程的实践应用。国外对于合流制溢流污染的管控注重从整体出发,合流制与分流制并存,在保留原有设施的基础上,采用全过程管控,控制溢流频次,进而减少受纳水体污染负荷;而我国在合流制溢流污染的问题上多采用分流制来解决,且存在轻源头、重末端的行为。

但国内外对合流制溢流污染的认识上有一定的共性,均充分认识到合流制溢流污染管控的难度和政策法规的重要性。国内外对合流制溢流污染的治理存在因地制宜的策略选择的意识,会根据各地区的环境条件及发展水平不同来制定不同的目标及采用不同的技术手段。

4 加强我国溢流污染重点区域排放管控的建议

为巩固水污染治理成效,有效避免水体返黑返臭,持续推进水生态环境质量改善,结合我国雨污合流溢流污染特点,针对合流制溢流污染重点区域提出以下建议。

(1)因地制宜推动制订汛期雨污溢流污染排放管控标准。目前尽管武汉市、重庆市等地已出台了溢流管控标准,但 2.2 节识别出的多数溢流污染重点省份及城市尚未出台相关标准。建议汛期溢流污染重点区域根据水生态环境质量改善的需求,在充分评估溢流污染水质水量特征、溢流污染控制措施及经济技术可行性的基础上,提出溢流污染排放管控标准,为雨污溢流污染治理工程设计及环境监管等提供技术依据。

(2)开展溢流污染控制技术更新行动。在学习国外先进经验的基础上,以减少溢流污染次数、提升水生态环境质量为目的,根据不同省份的地形特征、排水系统的地域差异、城市发展水平、降雨特征及

地表水环境等实际情况,开展重点区域溢流污染控制技术更新研究。

(3)加强汛期雨污溢流污染的全过程管理。在我国东部、南部合流制溢流污染的治理中,要加强源头管理,开展雨污合流管网改造和优化提升,实施绿色工程措施、海绵城市建设等;在过程中通过建造调蓄池、地下深邃等提升调蓄能力,有效截留溢流污染;在末端加强污水处理厂的应急处置能力,充分发挥快速净化处理设施的作用,有效减少溢流污染进入地表水体的负荷。

(4)加强汛期雨污溢流污染治理成效的具体考核。强化政府责任,推动建立多部门协作的溢流污染控制机制。将汛期雨污溢流污染治理情况纳入地方政府责任考核,定期发布考核结果,接受公众监督,确保溢流污染控制工作落地实施且取得实效。

参考文献

- [1] AGHDAM E, MOHANDS S R, ZAYED T. Evaluating the sensory and health impacts of exposure to sewer overflows on urban population[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 413: 137498.
- [2] NICKEL J P, FUCHS S. Micropollutant emissions from combined sewer overflows[J]. *Water Science and Technology: a Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 2019, 80(11): 2179-2190.
- [3] FU X, GODDARD H, WANG X H, et al. Development of a scenario-based stormwater management planning support system for reducing combined sewer overflows (CSOs)[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 236: 571-580.
- [4] YU L, YAN Y L, PAN X Y, et al. Research on the comprehensive regulation method of combined sewer overflow based on synchronous monitoring: a case study[J]. *Water*, 2022, 14(19): 3067.
- [5] WANG J, LIU G H, WANG J Y, et al. Current status, existent problems, and coping strategy of urban drainage pipeline network in China[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28(32): 43035-43049.
- [6] REYES-SILVA J, BANGURA E, HELM B, et al. The role of sewer network structure on the occurrence and magnitude of combined sewer overflows (CSOs)[J]. *Water*, 2020, 12(10): 2675.
- [7] OWOLABI T A, MOHANDS S R, ZAYED T. Investigating the impact of sewer overflow on the environment: a comprehensive literature review paper[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 301: 113810.
- [8] 董利鹏,王芳芳,王晓玲.合流制溢流污染控制技术[J].*煤炭与化工*, 2022, 45(11): 154-157.
DONG L P, WANG F F, WANG X L. Study on pollution control technology of sewage overflow in combined drainage system[J].

- Coal and Chemical Industry, 2022, 45(11): 154-157.
- [9] LI Y P, ZHOU Y X, WANG H Y, et al. Characterization and sources apportionment of overflow pollution in urban separate stormwater systems inappropriately connected with sewage[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 303: 114231.
- [10] 生态环境部. 2020年12月和1—12月全国地表水、环境空气质量状况 [EB/OL]. [2024-02-03]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202101/t20210115_817499.html.
- [11] 生态环境部. 2021年12月和1—12月全国地表水、环境空气质量状况 [EB/OL]. [2024-02-03]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/xwfb/202201/t20220131_968703.shtml.
- [12] 生态环境部. 2022年第四季度和1—12月全国地表水环境质量状况 [EB/OL]. [2024-02-03]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/xwfb/202301/t20230129_1014067.shtml.
- [13] 孙世辉, 王寒涛, 涂洋. 水环境治理过程中的控制断面水质恶化原因分析 [J]. *水电与新能源*, 2018, 32(11): 74-78.
- SUN S H, WANG H T, TU Y. Causes of the water quality deterioration in control sections in water environment treatment[J]. *Hydropower and New Energy*, 2018, 32(11): 74-78.
- [14] 赵振东, 刘健, 崔华峰, 等. 厂网一体运行视角下汛期入河污染物监测分析及控制策略研究 [J]. *给水排水*, 2023, 49(8): 44-51.
- ZHAO Z D, LIU J, CUI H F, et al. Monitoring analysis and control strategies of pollutants discharged into rivers during rainfall from the perspective of integrated operation of drainage system[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2023, 49(8): 44-51.
- [15] 李白, 刘守根. 基于污染物通量的眉山市彭山区毛河桥江桥断面污染源权重分析 [J]. *皮革制作与环保科技*, 2022, 3(10): 55-59.
- LI B, LIU S G. Analysis of pollution source weights of Maohe bridge section in Pengshan District, Meishan City based on pollutant flux[J]. *Leather Manufacture and Environmental Technology*, 2022, 3(10): 55-59.
- [16] 生态环境部. 生态环境部指导各地开展汛期污染强度分析 推动解决突出水环境问题 [EB/OL]. [2024-02-03]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202202/t20220221_969588.shtml.
- [17] 生态环境部办公厅. 关于2022年上半年全国水环境情况通报的函: 环办水体函〔2022〕338号 [A/OL]. [2024-02-03]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202208/t20220831_992875.html.
- [18] 徐海波, 王凯, 凌虹, 等. 江苏省主汛期水体水质变化特征及污染防治对策研究 [J]. *环境污染与防治*, 2022, 44(3): 350-355.
- XU H B, WANG K, LING H, et al. Research on the characteristics of water quality changes in the main flood season in Jiangsu Province and the countermeasures for pollution control[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2022, 44(3): 350-355.
- [19] 蔡正君, 黄福昌, 汤文浩. 长江中游某县城水环境综合治理模式探究 [J]. *水利技术监督*, 2023, 31(8): 85-87.
- CAI Z J, HUANG F C, TANG W H. Study on the comprehensive treatment model of water environment in a county in a county along the middle reaches of Yangtze River[J]. *Technical Supervision in Water Resources*, 2023, 31(8): 85-87.
- [20] 徐一茗. 合流制管道溢流的影响因素及其污染治理措施 [J]. *山西建筑*, 2010, 36(34): 170-172.
- XU Y M. Influencing factors and pollution control measures on combined sewer overflows[J]. *Shanxi Architecture*, 2010, 36(34): 170-172.
- [21] 李永真, 孙德智, 李虹, 等. 长江流域洞庭湖片区典型城市水环境问题解析与治理对策 [J]. *环境工程技术学报*, 2023, 13(1): 19-26.
- LI Y Z, SUN D Z, LI H, et al. Analysis and governance countermeasures study of water environment problems in typical cities around Dongting Lake in the Yangtze River Basin[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2023, 13(1): 19-26.
- [22] YU D W, DIAN L, HAI Y L, et al. Effect of rainfall characteristics on the sewer sediment, hydrograph, and pollutant discharge of combined sewer overflow[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 303: 114268.
- [23] 郑岩杭, 李翠梅, 黄瑜琪. 合流污水系统最优截流倍数研究 [J]. *水利水电技术*, 2020, 51(10): 173-179.
- ZHENG Y H, LI C M, HUANG Y Q. Study on optimal interception ratio of combined sewerage system[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2020, 51(10): 173-179.
- [24] 王峥, 朱洪涛, 孙德智. 长江干流江苏段及环太湖区域典型城市水生态环境问题解析及控制对策 [J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12(4): 1064-1074.
- WANG Z, ZHU H T, SUN D Z. Analysis and control countermeasures of water eco-environment problems in typical cities in Jiangsu Province reach of the Yangtze River and the area around Taihu Lake[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2022, 12(4): 1064-1074.
- [25] CHEN Y X, SHI X, JIN X, et al. Characteristics of overflow pollution from combined sewer sediment: formation, contribution and regulation[J]. *Chemosphere*, 2022, 298: 134254.
- [26] 赵志超, 黄晓敏, 尹海龙, 等. 雨水管网混接入渗诊断技术研究进展 [J]. *环境工程技术学报*, 2024, 14(1): 278-288.
- ZHAO Z C, HUANG X M, YIN H L, et al. Review on diagnostic technologies of illicit discharge and groundwater infiltration in the storm drainage network[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2024, 14(1): 278-288.
- [27] 赵杨, 车伍, 杨正. 中国城市合流制及相关排水系统的主要特征分析 [J]. *中国给水排水*, 2020, 36(14): 18-28.
- ZHAO Y, CHE W, YANG Z. Analysis of characteristics of China urban combined sewer system and related other sewer systems[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(14): 18-28.
- [28] 郑锦涛, 马涛, 刘九夫, 等. 基于RDA-REM模型的我国再生水开发利用潜力 [J]. *环境科学*, 2021, 42(6): 2758-2768.
- ZHENG J T, MA T, LIU J F, et al. China's reuse water development and utilization potential based on the RDA-REM model[J]. *Environmental Science*, 2021, 42(6): 2758-2768.
- [29] 闫攀, 赵杨, 车伍, 等. 中国城市合流制溢流控制的系统衔接关系剖析 [J]. *中国给水排水*, 2020, 36(14): 37-45.

- YAN P, ZHAO Y, CHE W, et al. Analysis of the conjunctive relationship of urban combined sewer overflow control system in China[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(14): 37-45.
- [30] 曾令武, 王峥, 朱洪涛, 等. 长江流域赣皖区域城市水生态环境特征解析及整治对策[J]. *环境工程技术学报*, 2023, 13(1): 36-46.
- ZENG L W, WANG Z, ZHU H T, et al. Analysis of the characteristics of water eco-environment and comprehensive countermeasures for cities in Jiangxi and Anhui Region of the Yangtze River Basin[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2023, 13(1): 36-46.
- [31] 李云青, 李海燕, 谭朝洪, 等. 城市雨污合流制排水管道降雨径流污染特征研究[J]. *人民黄河*, 2023, 45(7): 109-115.
- LI Y Q, LI H Y, TAN C H, et al. Study on the rainfall runoff pollution characteristics of urban rainwater and sewage combined drainage system[J]. *Yellow River*, 2023, 45(7): 109-115.
- [32] 丁亚楠, 王建国, 汤露露. 生命周期角度下地区性差异对城市污水处理的影响[J]. *四川环境*, 2019, 38(6): 143-150.
- DING Y N, WANG J G, TANG L L. The impact of regional differences on wastewater treatment plant from the perspective of life cycle[J]. *Sichuan Environment*, 2019, 38(6): 143-150.
- [33] 吴皓辉. 城市合流制截污管网溢流污水防控技术分析[J]. *绿色环保建材*, 2019(11): 73.
- [34] 肖思琪. 基于污染物初期冲刷效应差异的 CSOs 调蓄池布局优化研究[D]. 天津: 天津大学, 2021.
- [35] 杨逢乐, 赵磊. 合流制排水系统降雨径流污染物特征及初期冲刷效应[J]. *生态环境*, 2007, 16(6): 1627-1632.
- YANG F L, ZHAO L. Pollutant characteristics and first flush effect of runoff in combined sewer system[J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16(6): 1627-1632.
- [36] 水利部. 2020 年中国水资源公报 [A/OL]. [2024-02-03]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202107/t20210709_1528208.html.
- [37] 水利部. 2021 年中国水资源公报 [A/OL]. [2024-02-03]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202206/t20220615_1579315.html.
- [38] 水利部. 2022 年中国水资源公报 [A/OL]. [2024-02-03]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202306/t20230630_1672556.html.
- [39] 付朝晖, 赵雄, 陈诗浩, 等. 珠海市城中村合流制排水系统的溢流污染控制策略[J]. *中国给水排水*, 2022, 38(3): 105-111.
- FU Z H, ZHAO X, CHEN S H, et al. Strategy for combined sewer overflow pollution control in urban villages of Zhuhai City[J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(3): 105-111.
- [40] 住房和城乡建设部. 2022 年中国城乡建设统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [41] 张妍妍, 王峥, 邱斌, 等. 长江流域湖北片区典型城市水生态环境问题解析及整治对策[J]. *环境工程技术学报*, 2023, 13(1): 27-35.
- ZHANG Y Y, WANG Z, QIU B, et al. Analysis of water eco-environmental problems and related countermeasures for typical cities in Hubei Region of the Yangtze River Basin[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2023, 13(1): 27-35.
- [42] 生态环境部办公厅. 关于 2020 年上半年水环境目标任务完成情况的函: 环办水体函〔2020〕412 号 [A/OL]. [2024-02-03]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202008/t20200807_793109.html.
- [43] 生态环境部办公厅. 关于 2021 年 1—9 月全国水环境情况通报的函: 环办水体函〔2021〕501 号 [A/OL]. [2024-02-03]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202111/t20211102_958807.html.
- [44] 国家统计局. 2020 年中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [45] 界面新闻. 中央生态环保督察: 江西南昌生活污水管网建设改造滞后, 污水直排问题整改不力 [EB/OL]. (2021-05-06)[2024-02-03]. <https://www.jiemian.com/article/6053839.html>.
- [46] US EPA. Combined sewer overflow (CSO) control policy[R/OL]. [2024-02-03]. <https://www.epa.gov/npdes/combined-sewer-overflows-csos>.
- [47] 杨正, 赵杨, 车伍, 等. 典型发达国家合流制溢流控制的分析与比较[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(14): 29-36.
- YANG Z, ZHAO Y, CHE W, et al. Analysis and comparison of combined sewer overflow (CSO) control in representative developed countries[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(14): 29-36.
- [48] 易莹, 葛乐乐, 周艳伟, 等. 日本合流制溢流污染防治的经验和思考[J]. *工业用水与废水*, 2022, 53(2): 46-49.
- YI Y, GE L L, ZHOU Y W, et al. Experience and thinking on the prevention and control of combined sewer overflow in Japan[J]. *Industrial Water & Wastewater*, 2022, 53(2): 46-49.
- [49] 杨正, 车伍, 赵杨. 城市“合改分”与合流制溢流控制的总体策略与科学决策[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(14): 46-55.
- YANG Z, CHE W, ZHAO Y. General strategy and scientific decision-making of urban "combined sewer separation" and CSO control[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(14): 46-55.
- [50] 吴志强, 栗玉鸿, 侯爱月, 等. 南方城市污水提质增效方案与实践: 以漳州市为例[J]. *城市道桥与防洪*, 2022(2): 122-126.
- WU Z Q, LI Y H, HOU A Y, et al. Scheme and practice of improving quality and efficiency of urban sewage in Zhangzhou City of Southern China[J]. *Urban Roads Bridges & Flood Control*, 2022(2): 122-126.
- [51] 史秀芳, 卢亚静, 潘兴瑶, 等. 合流制溢流污染控制技术、管理与政策研究进展[J]. *给水排水*, 2020, 56(增刊 1): 740-747.
- [52] 城市排水系统溢流污染控制技术规程: DB 4201/T 666—2022[S/OL]. [2024-02-04]. <https://www.doc88.com/p-94659778848431.html>.
- [53] 重庆市住房和城乡建设委员会. 城镇排水溢流排口污染物控制技术标准(征求意见稿)[S/OL]. [2024-02-03]. http://zfcxjw.cq.gov.cn/zwx_166/gsgg/202011/t20201110_8447768.html. ◇