

述评与讨论

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.10.002

新冠肺炎期间武汉涉疫废水应急处置工作及思考

冯志¹, 程伟², 李敏³, 张怀宇⁴, 罗臻⁵, 沈中明¹

(1. 武汉市给排水工程设计院有限公司, 湖北 武汉 430012; 2. 文华学院 城市建设工程学部, 湖北 武汉 430000; 3. 武汉市水务科学研究院, 湖北 武汉 430010; 4. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010; 5. 武汉普乐环境技术有限公司, 湖北 武汉 430062)

摘要: 针对新冠肺炎疫情中可能存在通过城市下水道传播新冠病毒的风险, 武汉市根据疫情发展状况, 参考相关科研成果和工程标准, 在确保城市下水道系统通畅的同时, 对涉疫废水采取适当应急消毒措施。采用次氯酸钠为主要消毒剂, 对医院、方舱和隔离点的涉疫废水, 投加有效氯分别为 50 和 80 mg/L 时, 接触时间分别大于 1.5 h 和 1.0 h, 出水余氯分别大于 6.5 和 10 mg/L; 对于无化粪池的留观点和康复驿站, 在下水道起端投加消毒剂, 接触时间大于 10 min, 投加有效氯分别为 20 和 10 mg/L, 出水余氯控制在 6.5 ~ 8 mg/L 之间; 对泵站转输污水不投加消毒剂; 对通沟污泥采用浓度为 1 000 mg/L 的有效氯进行表面消毒, 喷洒量为 100 ~ 300 mL/m²。截至 2020 年 3 月下旬, 武汉市涉及城市下水道系统工作的人员无一例感染, 消毒工作也未对污水处理厂进水水质造成较大冲击, 武汉市整体水环境状况良好。在应急处置行动中也发现存在缺少对病毒的基础研究成果、现有检测结果对实际评价病毒传播的指导性不足以及应对城市水环境病毒风险的应急策略和杀灭方法研究有限等问题。建议结合基础性研究成果, 完善类似应急条件下城市水务管理和水环境保护方面的标准和程序。

关键词: 新型冠状病毒; 废水应急处置; 消毒

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)10-0007-06

Emergency Treatment of Wastewater from Quarantine Sites and Hospitals in Wuhan during the COVID-19 Epidemic Outbreak

FENG Zhi¹, CHENG Wei², LI Min³, ZHANG Huai-yu⁴, LUO Zhen⁵,
SHEN Zhong-ming¹

(1. Wuhan Municipal Water & Wastewater Engineering Design Institute Co. Ltd., Wuhan 430012, China; 2. Department of City Construction, Wenhua College, Wuhan 430000, China; 3. Wuhan Institute of Water Science, Wuhan 430010, China; 4. Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China; 5. Wuhan ProEnvi Tech. Co. Ltd., Wuhan 430062, China)

Abstract: There was the risk of transmitting new coronavirus through urban sewer system during the novel coronavirus pneumonia outbreak. According to the development of the epidemic situation, the appropriate emergency measures should be taken to disinfect the epidemic wastewater in Wuhan while ensuring the urban sewer system is smooth with reference to relevant research results and technical codes. As the main disinfectant, sodium hypochlorite was used to disinfect the wastewater from quarantine sites

and hospitals. When the effective chlorine was 50 and 80 mg/L, the contact time was more than 1.5 h and 1.0 h, the residual chlorine in effluent was more than 6.5 and 10 mg/L, respectively. For the disinfection of wastewater in quarantine sites and recovered patient isolation without septic tank, when the effective chlorine added at the beginning of the sewer was 20 and 10 mg/L and the contact time was more than 10 min, the residual chlorine in effluent was 6.5 – 8 mg/L. No disinfectant was added to the transfer sewage of pumping station, and the effective chlorine concentration of 1 000 mg/L was used to disinfect the surface of the sewer sludge, and the spray intensity was 100 – 300 mL/m². At the end of March, no case of infection for the staff worked in the urban sewer system was found in Wuhan, and the disinfection work did not cause a great impact on the influent quality of the sewage treatment plant, and the overall water environment in Wuhan was in good condition. However, it was also found that there were some problems such as the lack of basic research on virus, insufficient guidance of the existing test results for the actual evaluation of virus transmission, and the limited research on emergency strategies and killing methods to deal with the risk of urban water environment virus. It was suggested that the standards and procedures for urban water management and water environmental protection under similar emergency conditions should be improved in the light of basic research results.

Key words: SARS – CoV – 2; wastewater emergency treatment; disinfection

2019 年末,武汉市遭遇新型冠状病毒肺炎(COVID – 19)疫情侵袭。为了及时有效地应对疫情,做好“早发现、早报告、早隔离、早治疗”,武汉市加强了对确诊患者的集中收治和对疑似患者、密切接触者的集中隔离和观察。为此,武汉市设置了 52 处定点医院,紧急建设了 16 所方舱医院,征集了近 700 处宾馆、饭店、校舍等建立疑似病例隔离点、密切接触者留观点和治愈患者健康驿站。这些抗疫场所极大地缓解了疫情压力,阻止了疫情的蔓延和扩散,加速了患者的治愈和康复。2020 年 2 月 29 日发布的《中国—世界卫生组织新型冠状病毒肺炎(COVID – 19)联合考察报告》指出,“呼吸道、粪便及血液样本中已检出新冠肺炎病毒”。新型冠状病毒(SARS – CoV – 2)可以通过患者排泄物、呕吐物、相关污染物品的清洗废水等途径进入城市下水道。这些涉疫废水能否得到有效处置,直接关系到城市的水环境安全,乃至整体防疫工作的成败。根据疫情发展状况,及时参考相关科研成果和工程标准,对涉疫废水的应急处置进行针对性的分析和研判,显得极为必要和紧迫。

1 病毒特性与污水传播风险分析

病毒不具备独立代谢能力,只能寄生在微生物或动植物的活细胞内生活,利用活的宿主细胞的酶、能量代谢系统等完成自身的繁殖。所以在脱离宿主细胞以后,病毒在自然环境中的生存时间是较为有

限的^[1]。SARS – CoV – 2 通过人体排泄物等途径进入到下水道后的存活时间和灭活规律,目前尚无相关研究成果的报道。由于 SARS – CoV – 2 与 SARS 冠状病毒(SARS – CoV)的核酸相似性较高,故将 SARS – CoV 的相关研究成果作为重要的参考。

相关研究发现^[2],SARS – CoV 在不同温度下的痰液、粪便、尿液、血液、污水、脱氯自来水、生理盐水等介质中可以存活 2 ~ 20 d 以上,在低温、避光、高 pH 值的水环境下存活期可能更长。

武汉冬春季城市下水道内污水水温在 10 ~ 16 ℃左右,结合 SARS – CoV 实验室研究结果,城市下水道内阴暗、潮湿、温度相对较低的环境,有可能使 SARS – CoV – 2 在其中存活一定时间。国内外相关下水道实际检测也发现有些病毒能在城市下水道系统中被长期检测到^[3],且病毒检出量与其对应疾病的流行程度存在一定相关性。另一种人冠状病毒 HKU1 在美国的 5 个污水处理厂污泥中被高丰度检出^[4],也提示 SARS – CoV – 2 可能会通过下水道途径被迁移。

武汉地区 COVID – 19 确诊病例多、分布广,涉及全市 15 个城区。病例在老城区尤为集中,江岸、江汉、硚口三个老城区集中了全市约 38% 的患者。而这些老城区的下水道系统存在较多雨污合流区域,若不及时做好下水道的相关处置防范工作,SARS – CoV – 2 存在通过城市下水道系统向武汉地

区自然水体转移的可能,进一步增大病毒的接触传播风险。

基于 SARS-CoV 实验室研究成果和相关下水道的检测结果,结合武汉地区排水系统的实际情况,COVID-19 疫情期间必须对涉疫废水进行有效处置,杜绝通过城市下水道或自然水体传播 SARS-CoV-2 的可能。

2 涉疫废水应急处置的工作原则

COVID-19 疫情期间,对接入城市下水道的涉疫废水采取适当消毒措施,同时保障好城市下水道系统的通畅,被确定为首要的应急处置工作原则。

疏通、清捞和消毒工作,需要注意做好工作尺度的把控,既要保障疏通和消毒的效果,又要尽量合理规避操作风险和环境风险。武汉市城市下水道总长度达到 6 400 km 以上,不可能也没有必要在全部下水道同步开展消毒工作。COVID-19 疫情期间对城市下水道的应急消毒,遵循“源头控制为主”的消毒基准。在医院、方舱、隔离点、留观点、康复驿站和重点疫点等可能的病毒输入点,做好源头防控和消杀。在下水道污水转输过程中,重点保障转输通畅和设施封闭运行,对于转输过程中的污水不进行消毒。

3 涉疫废水消毒剂的选择和使用

3.1 消毒剂的选择

2020 年 3 月 7 日国家卫生健康委办公厅印发的《新型冠状病毒肺炎防控方案(第六版)》,指出 SARS-CoV-2 对紫外线和热敏感,56 ℃ 30 min、乙醚、75% 乙醇、含氯消毒剂、过氧乙酸和氯仿等脂溶剂均可有效灭活 SARS-CoV-2。

WHO 指出,许多消毒剂对类似 SARS-CoV-2 的包膜病毒是有效的,包括常用的医院消毒剂,并推荐采用 70% 乙醇、含氯消毒剂、季铵类消毒剂和过氧乙酸。欧洲疾病预防控制中心(ECDC)推荐了次氯酸钠和 70% 乙醇作为消毒剂。王新为等^[2]在生活污水经离心分离的上清液中投加 10~20 mg/L 有效氯,对 SARS-CoV 显示了较好的灭活效果,为 SARS-CoV-2 的消毒操作提供了参考。

武汉水务工作上用到的常规消毒剂主要有含氯类和过氧化物类,包括氯气、次氯酸钠、次氯酸钙(漂白精)、二氧化氯、三氯异氰尿酸(氯饼)、过氧化氢(双氧水)、过氧乙酸、臭氧等。参考上述指导文件和研究成果,这些消毒剂对疫情期间的下水道消

毒都是有效的。由于疫情紧急,投加点位多且较为分散,适用的消毒剂应有充足的来源,便于运输、操作,现场使用时设施设备不宜过于复杂,消毒副产物宜相对较低。疫情条件下各种消毒剂的比较如表 1 所示。

表 1 疫情条件下消毒剂的比较

Tab. 1 Comparison of disinfectants under COVID-19 epidemic

消毒剂	来源获得性	操作方便性	操作危险性	消毒副产物
氯气	难	复杂	高	较多
次氯酸钠	易	简便	较低	较多
次氯酸钙	易	较简便	较低	较多
二氧化氯	较难	较复杂	较低	较少
三氯异氰尿酸	较易	简便	较低	多
过氧化氢	较难	简便	高	少
过氧乙酸	较难	简便	较高	少
臭氧	难	复杂	较高	少

由表 1 可见,氯气、臭氧等在疫情期间相对难于大量获取,投加设施复杂,操作要求性相对较高,不适合疫情期间大量分散性使用,在设施齐备和具备管理条件的医院可以使用。次氯酸钠、次氯酸钙及三氯异氰尿酸等含氯类消毒剂较易获得,无需现场制备,运输方便。现场投加操作较为简便,操作危险性相对较低。缺点是投加到下水道系统中后,易产生消毒副产物,可能对水环境带来一定影响。尤其是三氯异氰尿酸,分解后产生异氰脲酸,对鱼类和其他水生生物有毒,不适宜用于水环境类别的消毒^[5]。二氧化氯消毒投加量相对其他消毒剂大,成品药剂需要现场活化,且短期获得大量药剂存在一定难度。若采用化学法现场制备,设施设备方面的难度相对更大,且会产生氯酸盐、亚氯酸盐等副产物。过氧化物类的消毒剂,对于水环境相对较为友好;疫情期间大量使用时,原料来源存在一定难度,投加操作存在一定危险性,且缺乏在投加剂量方面的研究和指导。

鉴于上述分析和比较,结合疫情期间的实际使用条件,武汉疫情期间下水道系统的消毒剂主要推荐采用次氯酸钠和次氯酸钙;局部具备条件的使用场所,可以采用二氧化氯和臭氧,不推荐采用三氯异氰尿酸。

3.2 消毒剂的使用

2020 年 2 月 18 日,国家卫生健康委对于

COVID-19 疫情防控期间的消毒剂使用提出了“五加强七不宜”。武汉市水务系统早在1月底已提出了类似工作要求。

武汉地表水极为丰沛,老城区下水道存在大量雨污合流系统。若下水道系统的消毒工作不能得到合理有效控制,残留的消毒剂和产生的消毒副产物可能会对城市生活污水处理厂的正常运行,乃至城市水环境带来不利影响。所以必须在保障抗疫工作要求的前提下,合理、适度进行消毒,最大限度强化对水环境的保护。武汉市水务局在下水道系统的消毒监管过程中强调,不得向江河、湖泊、塘堰、明渠等地表水环境直接投加消毒剂进行消毒;不对涉疫废水接入下水道的接管点位置、污水转输泵站等工作场所进行空气消毒;不使用高浓度含氯消毒剂进行预防性消毒;同时强化了水务工作岗位的人员卫生安全防护。

疫情期间下发的相关医疗废水消毒指导性文件中,仅强调了消毒出水的余氯指标下限值。对于排入城市下水道的消毒废水,武汉市水务局明确强调了上限值要求,即必须符合《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)中总余氯值不得高于8 mg/L的要求。对于这条执行指标要求的强化,有效减少了过度消毒情况的发生。

4 疫情期间下水道系统应急处置

根据保障城市下水道的通畅和适当消毒的基本工作原则,武汉市立足于国内现有涉及医疗废水和下水道管理的相关标准和规范,参考国内外相关科研成果,对实际操作提出指导性意见。

4.1 消毒

相关消毒范围涉及到医院、方舱、隔离点、留观点、康复驿站、重点疫点、转输泵站和下水道疏通工作现场,具体消毒操作标准见表2。

表2 疫情条件下消毒操作标准

Tab.2 Disinfection operation standard under COVID-19 epidemic

场所	工作条件和要求		操作指标	消毒剂控制标准(余氯值 ^a)/(mg·L ⁻¹)
医院、方舱、隔离点	应急消毒 ^b	在医疗点消毒设施内消毒,达标后排入城市下水道接管点	投加有效氯 50 mg/L,接触时间 >1.5 h	>6.5(游离氯) ^c
			投加有效氯 80 mg/L,接触时间 >1.0 h	>10(游离氯) ^c
			投加臭氧 >50 mg/L,接触时间 >0.5 h	
留观点	补救措施	在医疗点内部消毒设施消毒后发现出水余氯指标不足,在排水接管点补充加氯	投加有效氯 10~20 mg/L,接触时间 >10 min	6.5~8
	有化粪池	在化粪池第一格投加消毒剂,消毒达标后排入城市下水道接管点,未达标时参照上述补救消毒措施	投氯,同医疗点	同医疗点
	无化粪池	在下水道起端投加消毒剂	投加有效氯 20 mg/L,接触时间 >10 min	6.5~8
康复驿站	有化粪池	同留观点	同留观点	同留观点
	无化粪池	在下水道起端投加消毒剂	投加有效氯 10 mg/L,接触时间 >10 min	<8
重点疫点(随时消毒)	检查井	表面消毒,喷洒,除污,再喷洒	有效氯浓度 2 000 mg/L,喷洒量 300~1 000 mL/m ²	—
	内部下水道管渠	分段浸泡消毒	投加有效氯 20~30 mg/L,接触时间 >1.5 h	6.5~8
	市政接管点	溢流等情况下的预防消毒	投加有效氯 8~10 mg/L,接触时间 >10 min	<8
转输泵站	全封闭泵站	无	—	—
	一般泵站	格栅间、泵房前池等位置,表面环境消毒	有效氯浓度 1 000 mg/L,喷洒量 100 mL/m ²	—
通沟污泥		清捞期间进行表面喷洒消毒	有效氯浓度 1 000 mg/L,喷洒量 100~300 mL/m ²	—

注: ^a指未特别注明时,余氯值指标皆指总余氯值。 ^b指根据生态环境部《新型冠状病毒感染的肺炎疫情医疗废物应急处置管理与技术指南(试行)》执行。 ^c指排入城市下水道时,需通过脱氯等措施控制总余氯值 <8 mg/L。

各排放涉疫废水的场所,按照表2中要求进行消毒作业。配备移动厕所的场所,其污水由城管部

门统一收集消毒后处置。医疗点内部的消毒管理由环保部门负责。排水中余氯值偶发性不足时,由水务部门在下水道接管点及时进行在线补充投加;综合考虑疫情期间下水道内污水流速和停留时间,一般在消毒点下游 150 ~ 200 m 范围的检查井处对补氯后的余氯值进行检测。

重点疫点,如华南海鲜市场的下水道终末消毒在疾控部门的指导下进行。重点疫点下水道的随时消毒工作,主要围绕污水检查井和下水道内部进行。检查井消毒时,注意对井壁上的明显污染物进行冲洗去除,管渠消毒时注意分段封堵,保证浸泡时间。

污水转输泵站采用封闭式管理,加强管理人员的安全卫生防护,多利用视频监控系统,尽量减少人员在敞开式环境下的现场巡视;一般不进行额外的消杀工作,对于有敞开式工作环境的泵站,在格栅间、泵房前池等位置进行表面环境消毒。

4.2 疏通清捞

相关研究^[6]显示,病毒易吸附在污泥(淤泥)上,城市污水处理厂污泥和渠道淤泥中都检出过各种病毒。考虑到 COVID-19 疫情期间,武汉市已在涉疫废水接入下水道的源头进行了较为充分的消杀,SARS-CoV-2 在城市下水道污泥中被大量吸附并持续保持感染性的可能性相对较小。但由于缺乏相关的实际监测数据,接入城市下水道系统的涉疫废水排放点又相对较多,故也不能完全排除其风险。

COVID-19 疫情期间的下水道疏通和清捞,在遵循《城镇排水管道维护安全技术规程》(CJJ 6—2009)和《城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技术规程》(CJJ 68—2016)等规程相关要求的基础上,强化操作岗位的卫生安全防护要求和操作规范性,以避免在操作过程中出现可能的气溶胶感染。对相关污泥操作场所的工作人员配备相应的个人防护装备,包括护目镜、防护口罩、防水工作服、防水手套和胶靴,井下作业时使用隔离式防毒面具。

疫情期间应注意确保下水道水位控制,避免出现下水道满溢,通过合理调度尽量控制清掏工作量,减少操作人员在可能的风险环境中的暴露时间。在确需进行疏通清捞时,重点做好操作期间的随时消毒和工作人员的安全卫生防护工作。

作业期间,对清捞上来的污泥和清捞工作面进行表面喷洒消毒,污泥产生的渗滤液及时回流到下

水道,避免出现四处散溢。污泥采用密封车辆运送到定点处置中心进行集中无害化处置。

5 结论及思考

武汉市在 COVID-19 疫情初期,及时启动了与城市下水道系统相关的涉疫废水应急处置。结合非典疫情的相关经验和 COVID-19 疫情的发展动态,前瞻性地开展了应急消毒和岗位卫生安全防护工作。截至 2020 年 3 月下旬,武汉未出现经由城市下水道传播感染 SARS-CoV-2 的案例,疫情期间所有涉及城市下水道相关工作的人员也无一例感染。城市下水道系统未出现满溢情况,消毒工作也未对污水处理厂进水水质造成较大冲击,各污水处理厂运行基本保持正常。根据国家生态环境部 3 月 12 日的通报,疫情期间武汉市整体水环境状况良好。

5.1 存在问题

① 对人体高致病性病毒在城市自然水环境中的抵抗力等基本特性研究不足。现有的研究方法受到一定的专业领域局限;大多数环境研究人员可能无法获得对高致病性病毒的研究机会,常采用替代性病毒进行研究,但替代病毒可能表现出较为不同的生存能力特征,无法用来准确预测高致病性病毒;现有的病毒检测方法存在一定局限性,未能在研究中全面展示污水、污泥中病毒的种类和丰度。

② 缺乏对城市下水道系统中人体高致病性病毒转输、暴露和传播风险的研究。尤其缺乏对呼吸道病毒通过水环境传播途径有效性的研判,缺乏对该类病毒通过城市污(雨)水收集系统、污水(初雨)处理环节以及污(淤)泥处理处置环节转输、暴露和传播风险的客观评价。

③ 对人体高致病性病毒在城市水环境中的应对策略研究不足。公共卫生应急管理中对病毒涉及水环境风险的应对策略相对过于单一,缺乏在不同风险评估条件下的针对性策略的研判。

④ 相关涉水消毒工作标准尚待完善。现有涉及传染病病原微生物的污水消毒标准过于笼统,缺少详细的具有针对性的分类指导;缺乏不同水环境条件下对不同种类病原微生物杀灭的相关标准,如城市合流制溢流条件下的消毒要求和标准尚属空白。

⑤ 由于缺乏相关基础性研究的支撑,制约了城市水务和水环境保护工作中对病毒危害的高效防范和精确处置。缺少针对病原微生物基础认识的公

众宣传资料;缺少有针对性的精确处置手段和操作流程;缺少环境友好型消毒药剂在城市水环境中常规和应急投加应用方面的研究,造成无法有针对性地储备相关防控物资。

5.2 建议

① 加强对人体高致病性病毒在城市自然水环境中的基础特性研究。加强病毒学专业与给排水专业、环境专业等专业领域间的联合与互动;优化研究方法,不仅仅局限于病毒核酸检测,应量化病毒感染性和基因拷贝浓度,提高研究结果对实际应用的指导意义。

② 加强病原微生物在城市污水收集、处理系统中的传播途径、暴露风险方面的研究和评价。应对下水道、污水处理厂、污(淤)泥处置等各个环节的污水、污泥中病原微生物情况给予系统性分析和评估。

③ 加强针对城市水环境条件下的公共卫生管理应急策略研究。例如,研究能否在局部病毒低含量条件时,通过强化管理手段,切断人员与涉疫废水和疫区自然水体的非必要接触,利用病毒自然衰亡、在下水道系统转输中被正常稀释、常规污水处理工艺的杀灭削减等环节,代替单一的污水消杀策略。

④ 加强针对城市水环境条件下的消毒方法研究和相关标准完善。完善针对医疗机构废水和城市水务工作应用方面的消毒标准;在研究消毒方法时,要关注不同消毒方法的应用针对性、最佳适用剂量以及对城市水环境的生态影响;加强生态环境友好型消毒药剂(如PAA、臭氧等)在常规应用和应急使用方面的研究和工程推广。

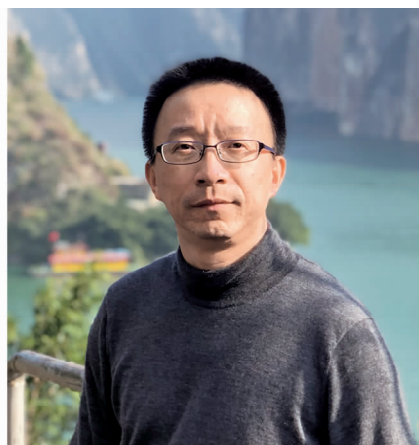
⑤ 结合基础性研究成果,加强公共卫生应急管理中涉及城市水务管理和水环境保护方面应急处置的相关工作,包括:加强对病毒认识和防范方法的公众性宣传;完善涉及城市水务工作的各项应急处置程序,明确各涉水管理部门的责任和分工,细化操作流程;做好涉水岗位卫生防护物资和环境友好型消毒物资的应急储备工作。

参考文献:

- [1] 顾夏声,胡洪营,文湘华,等. 水处理生物学[M]. 5版. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
Gu Xiasheng, Hu Hongying, Wen Xianghua, et al. Biology for Water and Wastewater Treatment [M]. 5th ed.

Beijing: China Architecture & Building Press, 2011 (in Chinese).

- [2] 王新为,李劲松,金敏,等. SARS冠状病毒的抵抗力研究[J]. 环境与健康杂志,2004,21(2):67-71.
Wang Xinwei, Li Jinsong, Jin Min, et al. Study on the resistance of SARS-coronavirus [J]. Journal of Environment and Health, 2004, 21(2): 67-71 (in Chinese).
- [3] 曾丽连,陆靖,郑焕英,等. 2014—2017广州市环境污水中轮状病毒和诺如病毒的检测[J]. 现代预防医学, 2019,46(1):37-39.
Zeng Lilian, Lu Jing, Zheng Huanying, et al. 2014-2017 detection of rotavirus and norovirus in Guangzhou environmental sewage[J]. Modern Preventive Medicine, 2019,46(1):37-39 (in Chinese).
- [4] Kyle B, Jordan P. Identification of viral pathogen diversity in sewage sludge by metagenome analysis [J]. Environ Sci Technol, 2013, 47(4):1945-1951.
- [5] 闫雪莹,吴德生,刘素纯,等. 三氯异氰尿酸应用研究现状及进展[J]. 中国消毒学杂志,2018,35(3):221-223.
Yan Xueying, Wu Desheng, Liu Suchun, et al. Research status and progress of trichloroisocyanuric acid application [J]. Chinese Journal of Disinfection, 2018, 35(3): 221-223 (in Chinese).
- [6] 李小峰,张楚瑜,王祖卿. 水环境中病毒吸附及存活规律的研究[J]. 病毒学杂志,1989(2):168-171.
Li Xiaofeng, Zhang Chuyu, Wang Zuqing. Study on virus adsorption and survival in water[J]. Virologica Sinica, 1989(2):168-171 (in Chinese).



作者简介:冯志(1976-),男,湖北武汉人,环境工程硕士,高级工程师,主要从事市政给排水工程、水环境修复工程的设计和研究工作。

E-mail: fengzhi@wssjy.com

收稿日期:2020-03-22