



推荐阅读:

[广西城市污水处理厂污泥产生及处置现状分析](#)

[平顶山市煤矿区土壤重金属污染程度评价](#)

[基于灰色关联分析法的宜昌市空气质量影响因素分析](#)

[废旧锂离子电池流向及管理现状调研](#)

[生物法处理气态污染物的研究现状与应用前景](#)

[环境敏感区农村生活污水处理工艺设计案例分析](#)

[氨法脱硫+低温 SCR 脱硝工艺在焦炉烟气净化中的应用](#)

[反渗透双膜工艺处理印染废水研究进展](#)

[重金属污染土壤修复技术研究进展](#)

[基于 SARIMA 模型的二氧化氮时间序列预测研究](#)

[碳基功能材料在土壤修复中的应用](#)

[虾蟹壳对水中刚果红吸附性能的研究](#)

[农村生活垃圾生物质热解和燃烧气相数值模拟](#)

[基于灰色 GM\(1, 1\)模型的成都市大气污染物浓度预测](#)

[江苏省非道路移动源大气污染排放清单研究](#)

[欧盟 15 国污水污泥产生量与处理处置方法对比](#)

[基于 Hydrus-1D 的粉煤灰堆场 Cr\(VI\)在包气带中迁移规律的研究](#)

[工业废水活性炭深度处理的研究](#)



移动扫码阅读

孙勇.新冠肺炎疫情期间城镇水厂综合防控措施分析[J]. 能源环境保护, 2020, 34(4): 55-62.

SUN Yong. The prevention and controlling comprehensive measures of an urban waterworks for the pandemic COVID-19[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(4): 55-62.

新冠肺炎疫情期间城镇水厂综合防控措施分析

孙 勇

(上海市市政规划设计研究院, 上海 200031)

摘要:新冠肺炎疫情期间,作为重要的公共卫生设施,城镇自来水厂和污水处理厂在保障城镇水安全方面的作用尤为关键。针对新冠病毒在城镇水厂的潜在传播途径,从闭环流动和开环辐射视角判別了风险环节和关键位置。阐述了新冠肺炎疫情期间城镇水厂可采取的保障措施,并对其可靠性和功效进行分析。结合我国自来水厂和污水处理厂的发展趋势,为完善水行业卫生安全体系提出建议。

关键词:新冠肺炎;疫情防控;城镇自来水厂;城镇污水厂;卫生安全管理

中图分类号:X32

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)04-0055-08

The prevention and controlling comprehensive measures of an urban waterworks for the pandemic COVID-19

SUN Yong

(Shanghai Municipal Planning & Designing Institute Co., Ltd., Shanghai 200031, China)

Abstract: During pandemic COVID-19, as important public health facilities, urban waterworks and sewage treatment plants are particularly critical in ensuring urban water safety. With particular regard to the potential transmission route of COVID-19 in urban water plants, the risk links and key positions were identified from the perspective of closed-loop flow and open-loop radiation. The safeguard measures that can be taken by urban water plants were described, and their reliability and efficacy are analyzed. According to the development trend of waterworks and sewage treatment plants in China, some suggestions were put forward to improve the sanitation and safety system of water sector.

Key Words: COVID-19; Prevention and control for pandemic disease; Urban potable water works; Urban wastewater treatment plant; Health and safety management

0 引言

近期,我国新冠肺炎疫情防控人民战争、总体战、阻击战取得重大战略成果,新冠肺炎疫情在我国已经得到了总体控制。习近平总书记指出,“当前,我国外防输入压力持续加大,国内防止疫情反弹的复杂性也在增加。疫情防控这根弦必须时刻绷紧,决不能前功尽弃。”城镇自来水厂和污水厂作为重要的公共卫生设施,其在保障重大疫情期间城镇水安全方面作用尤为关键。

随着新冠肺炎疫情全球传播范围持续蔓延,感染患者数量不断上升,公众对新冠病毒是否存在经水传播风险的担忧非常正常。鉴于新冠病毒的传播途径主要以接触传播、飞沫传播、气溶胶传播为主^[1],一些担忧源自于城镇供排水设施自身存在的薄弱环节,比如缺乏器材完善和管理长效的微生物风险防控生产措施,以及生产操作人员防护卫生措施;另一些担忧就是来自于某些信息平台的错误舆论导向,例如对新冠病毒生理、化学特性等基本科学概念的曲解误判,对病毒感染途

收稿日期:2020-05-07

作者简介:孙勇(1972-),男,黑龙江哈尔滨人,总工,教高,主要从事给排水、环境工程等方面的咨询、规划、设计。E-mail:1378127719@qq.com

径的渲染放大,对病毒水中存活条件的片面分析等等。疫情期间我国城镇水系统,包括自来水厂和污水厂等重要设施,采取了针对性的强化防控措施,有效防范了新冠病毒介水传播的潜在可能性。文章结合期间采取的防控措施,对其进行科学解答,面向公众澄清疑问、消除顾虑。同时,也对更好完善水务公共卫生应急管理体系提出建议。

1 污水厂综合防控措施

我国城镇污水厂一般建于污水收集管网末端位置,地处偏僻。但随着国内城镇化率提高、建设用地开发强度增大,污水厂周边逐渐进行建设开发。考虑对周边人居建筑的空气环境影响,污水厂往往都增设厂区构筑物封闭加盖、臭气负压收集和和处理系统。已建加盖除臭污水厂,封闭位置往往都是针对水面易散发臭气点位而设置的,例如粗格栅井及进水提升泵房、中/细格栅井及曝气沉砂池(旋流沉砂池)、初沉池(水解池)、生化池、二沉池、污泥浓缩池、污泥储泥池(匀质池)、污泥脱水机房等场所^[2]。疫情期间,从全面消除污水、污泥和气溶胶疾病传播风险角度,建议对厂内全部水面暴露区域进行封闭加盖。未加盖的二沉池出水、深度处理进出水堰门/闸门井等部位,为防止跌水产生气溶胶^[3],池面上易增设玻璃钢扎花等轻质密封盖板,上部设收集小风管并与附近已有臭气管路相连。未加盖的池面空间,比如深度处理高效沉淀池、V型砂滤池等,可采用往复拉伸式带导轨集气罩(风琴罩)进行加盖。污泥脱水机房内浓缩、脱水、卸料、输送、料仓等设备,除设备本体为封闭处理型(离心脱水机、污泥料仓等)之外,其余均有一定程度的空气暴露接触空间,此种情况要增设户内离心新风系统。利用高品质离子新风量和高换气次数(≤ 12 次/小时)墙壁风扇排放量,对机房内频繁操作空间内异味空气进行净化。并且,在机房物流大门位置加装离子风幕,以阻断户内异味空气、气溶胶外泄。污泥机房内传

输、料仓出料装车等环节设置不锈钢或PVC软帘围挡,防止污泥溅落。

1.1 构筑物加盖和空气净化去除气溶胶

厂内构筑物单体池面封闭加盖,常采用圆形/单拱/双拱轻质玻璃钢集气罩、内衬不锈钢骨架弧形/平面阳光板、曲面氟碳纤维反吊膜等多种样式。集气罩上远离除臭风管负压吸风点的新风进风位置,应加装单向百叶窗,以防止集气罩内出现正压而发生微生物气源逸出。污水厂已有的臭气/异味处理装置,疫情期间应强化化学洗涤、高级氧化配置。根据新冠病毒不耐高pH,高碱度时破坏其内部衣壳蛋白和核酸体RNA的特性,宜在已有除臭工艺中增设碱液洗涤环节。采用塔式生物除臭滤池工艺可在接触塔后增设碱液淋洗塔;采用土壤生物滤池除臭工艺可在进风管道前设2道溶剂喷圈,1道为碱液,另1道为大量自来水;采用离子法除臭工艺可在进风口前设置碱液溶剂喷圈。对于新增除臭设施的污水厂,结合除臭系统配置,强化微生物气溶胶的安全去除,在处理链条中加入碱液洗涤和高级氧化环节(高能离子风等)。高能离子氧化微生物气溶胶原理:利用高电压介质阻挡放电产生 α 粒子,撞击空气中的氧分子使其失去1个电子成为活化正电氧离子 O_2^+ 。失去电子后的高氧化性正电氧离子即在1 μs 内,氧化其他极性分子(比如 H_2O 、 NO_x 等非共价键结合分子)而成为活化负电氧离子 O_2^- 。最终形成上述2种氧离子为主,包含原子氧(O)、羟基自由基($\cdot OH$)、单线态氧($1O_2$)、正/负电离子氧(O_2^+ 、 O_2^-)、臭氧(O_3)的高能活性氧群(ROS)^[4]。高浓度ROS在接触反应箱对气溶胶异味气体中的VOC、微生物气溶胶快速氧化,对病毒包膜磷脂结构和内部衣壳结构进行高速氧化破解。该单元起到末端把关、彻底消杀微生物气溶胶的作用。污水厂新建厂内除臭系统,宜采用高效去除VOC、硫化氢、氨气、微生物气溶胶等复杂物质的完整可靠工艺路线,建议采用图1所示流程。

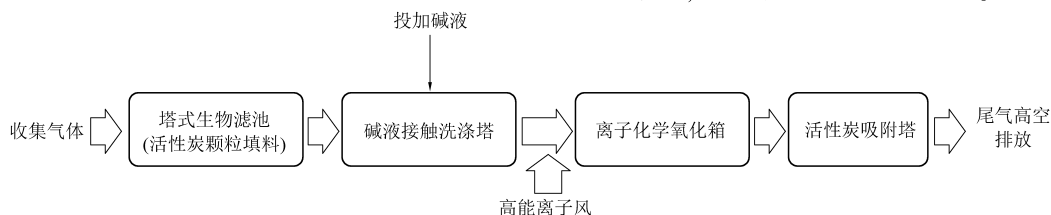


图1 污水厂除臭、微生物气溶胶消杀组合工艺流程图

地下污水厂不同于地面污水厂,它是以地面

通风排气口位置为扩散点源,按有组织气体扩散

进行空气卫生质量评价的,对周边环境要求更为严格。因此它的排风处理更应强化溶剂洗涤+高级化学氧化组合。另外,地下空间内除了加强涉水、涉泥暴露空间的密封加罩和罩内换风次数外,更应控制好罩外大空间内自然新风或者离子新风有序流动,设置合适的风场流动阻隔,创造最佳气流条件。自然新风或者离子新风的供风量和换风次数,要与封闭集气罩内的换风量和次数相关,前者要小于后者,才能使罩外大空间也是微负压,而且微负压值小于罩内小空间,保证罩内、罩外出现的污水/污泥微生物气源流动大方向有序行进,不形成局部空间存在气溶胶集聚死角^[5]。

1.2 尾水消毒

污水厂尾水消毒是此次疫情防控重中之重。重视生态文明建设当下,国内污水厂尾水水质标准不断提高,与其配套的处理流程也不断完善增强。污水厂目前多采用三级处理工艺。一级处理基本组成为粗/(中)/细格栅、曝气沉砂池(旋流沉砂池),有的污水厂还设有初沉池或水解池;二级处理基本组成为活性污泥法生化池(含 MBR 工艺)、二沉池,有的污水厂采用接触氧化曝气生物滤池或泥膜耦合法生化池(MBBR、IFAS 等);三级处理流程多为高效沉淀、滤布滤池或砂滤(深床滤池)等多种组合,有的污水厂还采用臭氧接触氧化等高级氧化工艺;尾水消毒多为次氯酸钠消毒或紫外线+次氯酸钠组合消毒。采用完善的一级处理,长泥龄延时曝气的二级生化,再加上以深度脱氮除磷和深度氧化降解 COD 的三级处理和尾水氯液消毒。二级处理段出水病毒(以肠道类病毒为模式病毒)滴度常用对数值可安全保证至少保障 $2 \log$ (99%去除率),其中一级物理处理下降 $0.15 \log$ (30%去除率),二级生物处理下降 $1 \sim 3 \log$ 去除率(90%~99.9%去除率,平均 $2 \log$)。三级处理段视工艺组成,病毒去除可继续达到 $1 \sim 3 \log$ 下降率(90%~99.9%去除率,平均 $2 \log$)^[6]。考虑到病毒采样、化验分析的专业特殊性和检测技术普及推广性,国内尚无专有特征模式病毒指标对经水(介水、水媒)传播病毒进行范式表征。按照国际惯例,国内目前采用粪大肠杆菌作为指示性微生物指标,用以表征处理后尾水微生物卫生安全性。污水厂尾水采用粪大肠菌群指标作为特征模式,其制定过程除了考虑分析化验方便外,更有其指标取值的科学依据。比对粪大肠杆菌和其他常见水媒传播病原体(细菌类、原生动物类为主),投

加不同消毒剂量(自由氯、二氧化氯、紫外线等)的灭活率(滴度常用对数值),并统计分析出各病原体灭活率之间的相关系数。按照国家卫生防疫要求,以病毒学和流行病学统计调查数据为基础,将水中各病原体致病载量安全检出阈值进行对照,据微生物种群见生存相关关系制定粪大肠菌群表征取值。以此粪大肠菌群限定安全阈值标准来表征其他病原体,并根据各病原体灭活率相关系数,评判实际处理过程中大肠杆菌灭活率所具有的代表性。我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 A 出水水质要求小于 1 000 个/L(粪大肠菌群数)。标准执行至今,尚未发现污水厂尾水病原体类超标而导致的污染地表水体事件。自从 SARS、MERS、禽流感等大规模流行传染病暴发以来,污水厂尾水病毒类病原体的安全防范引起全世界的关注。研究发现,水中的无包膜肠道病毒(诺如病毒、甲肝病毒、腺病毒等)抗氯性要强于大肠杆菌类致病细菌,而有包膜的新冠病毒抗氯性弱于无包膜肠道病毒。鉴于我国是以粪大肠菌群表征污水厂尾水微生物卫生安全,涵盖的是致病细菌类、原生动物类,并没有包括病毒。对于有包膜的新冠病毒来说,如何在污水厂运行环节安全保障处理尾水卫生安全,在粪大肠菌群达标基础上实现病毒灭活高标准,需科学判断。

据美国 EPS 资料介绍,城镇污水厂进水中目前所检出肠道类病毒类病原体,其最高浓度为 10^6 copies/L^[7]。以此实际检出值为设定上限,根据国内污水厂常用处理流程验证灭活率。国内污水厂绝大多数采用三级深度处理工艺,出水水质至少达到一级 A 标准,京津等地区执行更严格的地方出水排放标准。污水厂尾水的浊度方面接近自来水厂水平,可参照自来水厂病毒类病原体的消毒灭活标准对污水厂尾水消毒水平进行约束。针对自来水厂出水消毒水平,美国 EPA 以肠道病毒为代表,制定了不同消毒剂、不同温度下实现 4 个 $\log$ 去除率时的 CT 值、相应的消毒剂余量浓度值标准(推流式消毒接触池出水口位置),分见下表^[8]。

我国的污水厂尾水水质微生物指标,虽然没有针对病毒类传染病做出指标规定,但是在设计、建设、运行的工艺配置和处理等操作层面,都在实现对水媒传染病有效灭活。通过与美国 EPA 标准比分析可知,我国《室外排水设计规范》

表 1 不同温度、不同消毒剂针对肠道类病毒达到 4 个 log 去除率 (99.99%) 灭活时的 CT 值 (pH=6~9)^[8]
mg/(L·min)

消毒剂	CT					
	0.5℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃
FAC(自由氯)	12.0	8.0	6.0	4.0	3.0	2.0
ClO ₂	50.1	33.4	25.1	16.7	12.5	8.4
O ₃	1.8	1.2	1.0	0.6	0.5	0.3
UV	以加州剂量标准为参考:100 mJ/cm ² (滤池出水)、80 mJ/cm ² (超滤出水)					

表 2 不同温度、不同消毒剂针对肠道类病毒达到 4 个 log 去除率 (99.99%) 灭活时消毒接触池末端浓度^[8] (pH=6~9) mg/L

消毒剂	消毒接触池末端剩余消毒剂浓度					
	0.5℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃
FAC(自由氯)	0.40	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
ClO ₂	1.50	1.00	0.80	0.50	0.40	0.30
O ₃	0.06	0.04	0.03	0.02	0.015	0.01

(2016 年版)规定污水厂氯消毒类型有效自由氯投加量为 6~15 mg/L,消毒接触池峰值流量水力停留时间不小于 0.5 h,首先是设计条件提供了消毒前提保证。据笔者对上海、苏州、南通、海宁等地区投加次氯酸钠消毒剂污水厂调查了解,污水厂加氯接触池非疫情期间,消毒后日常平均余氯 (FAC)在 0.1~0.3 mg/L 范围(夏季偏低,冬季偏高),接触池停留时间大于 0.5 h,年均水温在 15~30℃范围内,CT 值在 3~9 范围。通过计算比对,消毒池 CT 值满足表 1、表 2 要求。即使不考虑污水厂深度处理段 1~3 log 去除率,仅考虑前道二级处理 2 个 log 去除率和尾水加氯消毒,以肠道病毒为指示性病原体,污水厂整个流程下来正常消毒后,可保证至少 6 个 log 去除率。针对污水厂进水肠道病毒最高浓度 10⁶copies/L 检出上限,国内污水厂消毒后肠道病毒可实现全部灭活即实现未检出。新冠病毒有包膜,抗氯能力弱于无包膜的肠道病毒(以腺病毒为代表),在实际消毒过程中灭活率更有把握。所以设置加氯接触池污水厂在疫情期间,实现正常稳定消毒即可完全保证尾水潜在新冠病毒的有效消杀^[5]。

在具体操作环节,建议设置次氯酸钠消毒的污水厂,可结合三级深度处理工艺流程,如无除碳/脱氮型深床硝化滤池或活性砂生物滤池,加氯

点可考虑“关口”前移。在二沉池出水槽、高效沉淀池进水混凝段、滤布滤池或 V 型砂滤池进口位置,多点布置投氯口。视运行要求考虑多点投氯。一则防止深度处理段池面滋生藻类和飞虫蚊蝇(病毒体携带者),二则延长有效加氯接触时间,总体上节省药耗。采用现场制备二氧化氯消毒的污水厂,考虑该药剂病毒类消杀效果较氯弱,应突出重视现场二氧化氯发生器投药量,视季节性水温变化,稳定保持出水二氧化氯正常余量浓度范围(冬季建议 0.5 mg/L,夏季建议 0.3 mg/L)。对于紫外线和后置氯消毒接触池均设的污水厂,建议投氯点前移至紫外线消毒渠前,实现紫外线灯管联合游离氯协同催化氧化消毒,同时也节约药耗。对于工艺路线有臭氧接触池的污水厂,比如采用臭氧接触池实现脱色和深度去除 COD 的场合,可仅对深度处理后回用水部分进行加氯消毒,保证回用过程中的余氯量。国内仅设紫外线尾水消毒的污水厂不多。即便设置,按国内设计规范配置的紫外光剂量也不高(通常在 20~25 mJ/cm²)。这种情况,建议增设次氯酸钠投药装置,并将投药点前移。整合考虑工艺路线上构筑物加管道总停留时间,选择投药点并保障串联消毒接触时间,做到紫外光与投加氯剂协同消杀病原体。疫情期间,全国各地非常重视污水厂的进、出水水质监测和尾水加氯消毒。在出水微生物指标控制方面,建议采用出水粪大肠菌群数和余氯值双控,保证稳定正常运行。疫情期间,污水厂要强化二级生化单元的硝化程度,保证出水氨氮低值。进入加氯消毒接触的氨氮、亚硝酸盐会消耗投氯量,影响有效余氯保证。1 g 氨氮消耗 7.6 gCl 即折点反应之后,才能出现有效自由氯。1 gNO₂-N 消耗 5 gCl。一级 A 出水水质工艺正常运行情况,三级处理后进入加氯接触池的总氮包括氨氮、有机氮和硝酸盐。氨氮在 0.8~1.0 mg/L 范围,溶解型有机氮约 0.2 mg/L,固体有机氮在 0.5~0.6 mg/L 范围,硝酸盐氮在 5~7 mg/L 范围。相对于其他运行期,疫情期间污水厂加氯消毒池尤其关注出水余氯水平,投加氯剂应结合上述水质指标消耗量,合理配置消毒剂投加量。

另外,考虑到疫情强化消毒因素,出厂尾水的余氯增量波动会时常存在。消毒药剂的增量投加,一是增加尾水消毒副产物,二是影响受纳水体水生动植物生存环境。从长期运行角度,应考虑突发流行性重大疫情期间污水厂尾水消毒与收纳

水体生态保护之间的科学协调。建议今后污水厂考虑增设尾水脱氯池(投加亚硫酸钠等还原剂),实现一次性病原体杀灭和保护收纳水体生态质量双赢。

1.3 污水污泥降低暴露风险

我国大部分污水厂的污水污泥产泥系数在 $6 \sim 7 \text{ t 湿泥}(80\% \text{ 含水率})/10^4 \text{ 污水范围}$,每万 m^3 处理污水产泥约 $6 \sim 7 \text{ t}(80\% \text{ 含水率})$ 。之前所述污水厂出厂水病毒微生物灭活消毒,虽然消毒接触池处理水量很大,但其去除病毒微生物总量占比很小。流程中经接触池消除比例相对占比仅为 1% 到 1‰,绝大部分的病毒微生物留存在污水污泥中。因此为避免污水污泥处理处置环节暴露风险,更应重视污泥卫生安全运行。

同济大学环境学院戴晓虎教授建议:从污泥实现彻底卫生化及稳定化角度,污泥消毒+厌氧消化(高级厌氧消化或多级串联厌氧消化)是有效途径;从应急措施角度,污泥石灰稳定可快速保证;从处理处置完整链条角度,厂内干化(两段法等)+厂内或厂外焚烧是彻底的保障^[9]。国内运行污水厂设置厌氧消化、污泥干化焚烧、热解碳化等完善处理处置设施的情况较少,多数是厂内浓缩脱水处理+厂外处置方式。厂内浓缩脱水设备以箱式板框隔膜压榨机、离心脱水机居多。脱水污泥(含水率 70%~80%)多数外送至焚烧发电厂再脱水后协同焚烧,或者直接与煤粉协同焚烧,少部分外运至生活垃圾填埋场卫生填埋。针对上述国内多数设备配置情况,如采用石灰稳定应急措施,无论是脱水前石灰稳定,还是脱水后石灰稳定,均需要成套复杂的设备和增量污泥堆放空间^[10],很难短时间起到应急作用。建议采用生化过程减量+污泥脱水过程消毒措施。

(1) 利用疫情期间城镇污水水量偏少特点,强化二级生化段的延时曝气,适当提高污泥浓度和延长泥龄,以减少生化污泥排量。提高污泥浓度后续会带来二沉池出水固体负荷大,深度处理段增加悬浮物负荷情况。此时在深度处理段或者二沉池进水配水井处增加粉末活性炭,强化沉淀池固体沉降并在生化池形成粉末活性炭+活性污泥处理工艺模式运行。生化段投加粉末活性炭一方面增加污泥浓度、降低污泥负荷并保障长泥龄、低泥龄运行,另一方面也缓解疫情期间进水氯离子偏高(消毒剂投加带来)对活性污泥的毒性冲击。同时,深度处理段宜采用碱性混凝剂(比如铁盐

等)以减少化学污泥排放量。

(2) 利用污泥储泥池(匀质池)作为次氯酸钠污泥消毒混合池,投加次氯酸钠水剂并采用竖轴玻璃钢搅拌机快速混合搅拌,创造快速完全混合效果,进行脱水前加氯。同时,结合后道脱水设备配置,减少脱水机工作班次数,缩短脱水机工作时间。通过脱水机短时集中脱水,以延长候料段污泥储泥池消毒接触时间。此做法并不是像出水消毒那样做到几个 log 消毒率,从而消除尾水排放风险,而是要降低污泥脱水环节的各种病毒暴露程度,防范化解污泥处理和运输过程风险。以 1 万 m^3/d 污水厂为例:重力浓缩池出泥含固率按 2.5% 计,日排出浓缩泥量按 0.7‰(污泥产率系数)脱水后泥量(80% 含水率)换算为 50 m^3 ,次氯酸钠投药剂量 500~1 000 mg/L ,厂内水线日排剩余污泥(含深度处理化学污泥)时间按 4.0 h/d 计,脱水机采用 1 班 8 h 集中工作,污泥储泥池 2 组(每组 50 m^3) 交换工作,计算下来污泥储泥池用做消毒的停留时间为 40 h ,消毒接触 CT 值为 $1.2 \times 10^6 \sim 2.4 \times 10^6 \text{ mg/L} \cdot \text{min}$,该 CT 值是美国加州二沉池出水加氯病毒灭活 450 $\text{m/L} \cdot \text{min}$ 剂量的 2 500~5 000 倍。后道污泥脱水机上清液回流至污水处理前端,余氯对生化池活性污泥(MLSS 按 4.0 g/L 计) 负荷为 0.5~1.0 $\text{mg 余氯/gMLSS} \cdot \text{d}$,不会对生化系统造成微生物活性影响^[11]。其日投消毒剂药量折合为 2.5~5.0 mg/L 进水,约占污水线末端消毒投量的 30%~40%,运行成本上可以承受。脱水机带有余氯的滤液建议与污泥浓缩池上清液一并混合接触,在进入污水处理线之前对其所夹带病毒微生物进行余氯消毒。采用二氧化氯进行浓缩污泥前消毒,可减少此过程环节加氯副产物(如氯仿)的生成。

(3) 如果污泥脱水设备为带压机、离心机类,浓缩污泥前消毒宜采用次氯酸钠或二氧化氯消毒剂,不建议采用次氯酸钙漂白粉或石灰乳类。后者投加后,在快速混合接触阶段与空气中的二氧化碳结合可生产碳酸钙沉淀物,对后道脱水机的聚酯纤维滤带、离心机内壳耐磨条和内壁产生剧烈剪切磨损,影响设备稳定工作和寿命。污泥脱水设备如为板框压滤机,可结合板框挤压前的生石灰加药段强化稳定消毒。在污泥调理阶段,加入细生石灰粉,利用熟化过程放热(温度 80~90 $^{\circ}\text{C}$)、强 pH 值($\text{pH}=11 \sim 12$)对夹带病毒污泥进行强碱高热灭活。有效的接触时间应保证

2.0 h^[12],如调理槽时间不够,可利用污泥储泥投加熟石灰乳给予补偿。

2 自来水厂综合防控措施

2.1 出厂水消毒环节

城镇水源地是保障自来水厂出厂水卫生安全的重要环节。鉴于新冠病毒在城镇水循环链条中容易发生过程分散传播风险,可通过污水管道的渗漏而进入地下土壤和地下水,可通过河道排口进入城镇内河并流入过境大河。上述情况对于农田灌溉取水、城镇水源地取水可能带来风险隐患。研究发现,土壤水分含量在 10%以下时,截留吸附在土壤颗粒上的病毒数量大减。病毒在污染较严重、地下水污染带有金属离子的土壤里,可保持活性长达 6 个月^[6]。所以,对于采用地下水源的城镇,应加强地下水病原体监测并适当减少使用量;对于采用地表水源的城镇,在加强地表水环境监测同时,更应重视出厂水消毒、管网余氯保证环节。我国现行《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006)未将病毒列入微生物指标,含总大肠菌群数、耐热大肠菌群数、大肠埃希氏菌、菌落总数等细菌类指标。国际上只有美国、加拿大等少数国家在生活饮用水标准中对病毒指标进行限定^[13]。在 2003 年 SARS 疫情后,WHO 出版了《饮用水水质准则》第 4 版,并与 2017 年对其进行了增补。WHO 准则中列出了 9 种世界范围内可能出现的流行性水源病毒病原体,分别是腺病毒、星状病毒、诺如病毒、札幌病毒、戊型肝炎病毒、肠道病毒、副肠弧病毒、甲型肝炎病毒。同时,标明上述 9 种病毒传播途径主要为粪口传播,健康影响程度大部分为高,供水系统中存在持久水平为长期,对率耐抗性为中等。同时 WHO 也提及了 SARS 病毒,指出该病毒可通过吸入水滴传播,但不属于介水传播病毒^[14]。以美国为例,出厂水病毒病原体微生物指标包括出水浊度和病毒去除/灭活率 2 项指标。其中,浊度限值为 95%出厂水保证率不大于 0.3 NTU,最大限值 1 NTU;病毒去除/灭活率要求整个自来水处理流程不低于 4 个 log(99.99%)。美国 EPA 再对病毒灭活率具体要求同时,针对采样分析化验指示性微生物类别,提出 MS2 噬菌体作为出厂水模式病毒。这一方面是由于噬菌体病毒分析化验的简便快捷且可定量分析(空斑数量法,而不是新冠病毒检测采用的实时荧光 RT-PCR 定量法),另一方面也是由于该类型

病毒对环境影响抗力(二氧化氯、紫外线等)最强,具有光谱的代表性。

同理,对于有包膜的新冠病毒来说,如何在自来厂运行环节安全保障出厂水卫生安全,在既有的 4 项细菌类指标基础上,如何做到可靠安全保障病毒病原体灭活,也需科学判断。

同上述污水厂尾水病毒指标分析过程一样,分析我国自来水厂运行过程中病毒灭活保证。

国内自来水厂常规工艺组成为“混合—絮凝—沉淀—过滤—消毒”。有的水厂前面配有生物预处理,比如曝气生物滤池等,以对微污染原水进行除碳和硝化生物预处理。有的水厂后面配有臭氧—活性炭滤池,以提供口感好的高品质水。另外,也有不少水厂采用超滤膜处理工艺。WHO 和美国 EPA 都对自来水厂常规处理工艺病毒的灭活率进行了研究统计(紫外消毒以腺病毒为代表表征去除率,其余以肠道病毒为代表),分见下表。

表 3 混合—絮凝—沉淀—过滤等常规流程对介水病毒的去除率/灭活率效果(WHO)^[14]

工艺组合	可保证的病毒去除率/灭活率/log	效果影响因素
混合、絮凝、沉淀	0.1~3.4	混凝和沉淀条件
过滤(高速砂滤池)	0~3.5	滤料、滤速和前置凝效果
过滤(慢速砂滤池)	0.25~4.0	滤料、滤速

表 4 自来水厂过滤段浊度要求及认可能够实现的病毒去除率/灭活率、消毒阶段最低灭活率要求^[15]

过滤工艺	滤池出水浊度要求/NTU		可保证的病毒去除率/灭活率/log	消毒阶段最低灭活率/log
	95%保证率	最高限值		
常规工艺(混合、絮凝、沉淀、过滤)	0.3	1	2	2
直接过滤	0.3	1	3	3
反渗透(RO)	0.3	1	3	1
纳滤(NF)	0.3	1	3	1
超滤(UF)	0.3	1	0	4
微滤(MF)	0.3	1	0	4

我国《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006)规定龙头水 NTU 低于 1。国内水厂为保证此指标,出厂水 NTU 一般都要小于 0.3。对照上述 2 表,国内常规处理流程可在滤后水 0.3 NTU 时,可保证病毒 2 log 灭活率;在滤后水 1.0 NTU 时可保证 1 log 灭活率。出厂水的消毒环节,根据标准要求,国内游离氯投加后出厂水余氯浓度≥0.3,加氯接触池有效停留时间≤0.5 h,CT 值(mg/

$L \cdot \min) \geq 9$ 。根据美国 EPA 以肠道病毒为模式病毒,对其进行不同 CT 值下灭活率比对分析可知(见表 5),投加自由氯情况下 CT 值 5.8,灭活率可保证 2 log,CT 值 8.7 可保证 3 log,CT 值 11.6 可保证 4 log。国内水厂消毒池 9.0CT 值至少可保证 3 log 病毒灭活率,加上之前混凝、沉淀和过滤段,整个流程可保证至少 4~5 个病毒灭活率,从实际生产运行角度完全可保证安全卫生要求。在设置臭氧+活性炭滤池+加氯接触池水厂,由于臭氧的消毒效果是氯剂的 4~6 倍,出水病毒

表 5 自来水厂不同消毒剂病毒灭活 CT 值和紫外辐射剂量^[15]

病毒 灭活率	自由氯(FAC) /(mg·min·L ⁻¹)	氯胺 /(mg·min·L ⁻¹)	二氧化氯 /(mg·min·L ⁻¹)	臭氧 /(mg·min·L ⁻¹)	紫外 /(mJ·cm ⁻²)
2 log(99%)	5.8	1.243	8.4	0.90	100
3 log(99.9%)	8.7	2.063	25.6	1.40	143
4 log(99.99)	11.6	2.883	50.1	1.80	186

注:测试水温为 1℃。

2.2 其他环节

在水厂的其他环节,如采用曝气生物滤池进行生物预处理,那么应该对其进行适当加盖密封,防止气水反冲时产生水花溅水气溶胶。同时,其外排冲洗水污泥应独立高效沉淀并至污泥脱水机房,不允许进入后道混凝沉淀段。自来水厂污泥较污水污泥易脱水,产量小,可不考虑对其前消毒后脱水,其脱水过程中的安全防护要求同污水厂。

3 结语

针对城镇水厂环节新冠病毒传播可能性和潜在传播途径,并结合我国目前自来水厂和污水厂建成现状,从闭环流动和开环辐射视角,判别风险环节和关键位置,详细阐述运行过程采取的全面防控对策,以期在城市水务安全多级防护体系构建提供参考。行业员工卫生防护是最重要的安全屏障,也是多级防护体系中“最后 1 km”。因此水务系统从业人员,特别是生产一线员工,要认真梳理判别病毒污染潜在隐患部位,在做好安全生产同时,高度重视个人卫生安全防护。疫情冲击下也引发很多水务行业发展思考。比如:供水微生物指标安全保证方面,结合交叉学科,开展新型病毒的灭活效能研究,建立我国水领域模式病毒表征体系,结合现有成熟运行工艺构建安全可靠的灭活层级;城市排水方面,结合目前开展的污水提质增效、洪涝治理工程,对排水及其过程副产物综合卫生治理等。

灭活率更有保证。在设置预处理+超滤(纳滤或宽松反渗透)+加氯接触池水厂,通过滤后液氯的 CT 值提高(提高至 12 以上)和出厂水余氯冗余(不低于 0.4 mg/L),同样可安全保障病毒灭活率^[16]。上述 EPA 数据均是根据无包膜的肠道病毒进行检测统计的,新冠病毒有包膜,抗氯能力弱于无包膜的肠道病毒,在实际消毒过程中灭活率更有把握^[13]。总之,自来水厂在疫情期间,实现正常稳定全线运行即可完全保证新冠病毒的有效消杀。

相信在党和国家强有力的领导下,优越的中国特色社会主义制度下,城市水务行业始终与全国人民携手努力、共度时艰,全面保障城镇水厂安全、可靠运行。

参考文献

- [1] 中国疾病预防控制中心. 新型冠状病毒感染的肺炎公众防护指南 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- [2] 郑云昊, 李菁, 陈颢轩, 等. 生物气溶胶的昨天、今天和明天 [J]. 科学通报, 2018, 63 (10): 878-894.
- [3] 车凤翔. 微生物气溶胶的衰亡 [J]. 消毒与灭菌, 1984, 1 (3): 153-159.
- [4] 原静民, 任徽, 孙妍, 等. 2019 新型冠状病毒传播途径分析与思考 [J/OL]. 西安交通大学学报(医学版): 1-9 [2020-05-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1399.R.20200317.0906.002.html>.
- [5] 王洪臣. 关于疫情防控期间医疗污水和城镇污水处理若干问题的建议 [J]. 给水排水, 2020, 46 (3): 35-40.
- [6] 周群英, 高延耀. 环境工程微生物学(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [7] USEPA. Guidelines for water reuse [R]. Washington DC: US EPA, 2012.
- [8] USEPA. LT1ESWTR disinfection porfilling and benchmarking technical guidance manual [R]. Washington DC: US EPA, 2003.
- [9] 戴晓虎, 李小伟, 杨婉, 等. 污水处理厂污泥中病毒的赋存特性及处理过程中暴露风险防控研究进展 [J]. 给水排水, 2020, 46 (3): 60-73.
- [10] 应梅娟, 赵振凤, 崔希龙, 等. 污泥石灰干化工艺在北京小红门污水厂的应用 [J]. 中国给水排水, 2011, 27 (6): 75-78.

[11] 李志华, 高兴东, 杭振宇, 等. 含氯消毒液对活性污泥的影响极其应对措施 [J]. 中国给水排水, 2020, 36 (6): 28-32.

[12] WEF. Operation of municipal wastewater treatment plants [M]. US: McGraw-Hill Companies Inc., 2008.

[13] 张云, 张强. 饮用水中病毒技术研究进展 [J]. 卫生研究, 2010, 39 (5): 647-650.

[14] WHO. Guidelines for drinking-water quality [M]. 4th ed. Switzerland: WHO Press, 2017.

[15] USEPA. 2018 Edition of the drinking water standards and health advisories tables: EPA 822-S-12-001 [S]. Washington DC: US EPA, 2018.

[16] 解跃峰, 马军. 饮用水厂病毒去除与控制 [J]. 给水排水, 2020, 46 (3): 1-3.