DOI:10.11705/j. issn. 1672 - 643X. 2021. 03. 08

疫情下农村污水处理设施的风险控制及消毒措施

曾杰1, 赵迎新1, 季民1, 吴座栋2

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300350; 2. 天津市水利工程有限公司, 天津 300222)

摘 要:针对新型冠状病毒对农村小型污水处理设施造成的潜在健康风险,分析了农村常用的处理工艺,包括人工快渗、A/O 活性污泥及生物膜法、厌氧生物处理联合人工湿地以及 MBR 法的杀菌效果及出水特点,并在目前适用的次氯酸钠、二氧化氯及紫外线3种消毒技术的基础上,提出了对应的消毒工艺、参数选择及相关风险防控措施,为疫情防控期间农村小型污水处理设施的安全运行提供参考。

关键词:新型冠状病毒;农村污水;处理工艺;消毒技术;疫情风险防控

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)03-0051-07

Risk control and disinfection measures of rural sewage treatment facilities under pandemic situations

ZENG Jie¹, ZHAO Yingxin¹, JI Min¹, WU Zuodong²

School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China;
 Tianjin Water Engineering Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: In view of the potential health risks caused by COVID – 19 to rural small-scale sewage treatment facilities, the sterilization effect and effluent characteristics of commonly used treatment processes in rural areas, including constructed rapid infiltration (CRI), Anoxic/oxic (A/O) activated sludge and biofilm method, anaerobic biological treatment combined with constructed wetland and membrane bio-reactor (MBR) method were analyzed and compared. Based on the current disinfection techniques of sodium hypochlorite, chlorine dioxide and ultraviolet light, the corresponding disinfection processes, parameter selection and related risk prevention and control measures were put forward. This study can provide a reference for the safe operation of rural small-scale sewage facilities during the pandemic prevention and control period.

Key words: COVID - 19; rural sewage; treatment process; disinfection technique; risk prevention and control during pandemic

1 研究背景

在新型冠状病毒肺炎患者的粪便中检测出新型冠状病毒核酸的事实,表明新型冠状病毒很可能通过粪一口进行传播,水作为病毒传播的一种重要媒介,不可避免地给农村生活污水处理带来了诸多风险。一方面疫情期间居家人数的增加使得农村污水处理设施保持长时间的高负荷状态,另一方面农村污水未经消毒排放至受纳水体会对农村居民的健康安全造成威胁。南北地区由于地理气候、人文因素

的不同,使得农村污水水量以及水质特征存在差异性,在处理工艺的选择上也有所不同。南方地区的排水量普遍大于北方地区,而污染物浓度却低于北方地区^[1]。因而南方地区适合采用人工快渗系统、厌氧生物处理+人工湿地等处理方法。宜昌市秭归县屈原村采用人工快渗一体化设备处理污水的主要出水指标,可以满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2019)中的一级 A 标准,同时在进水水质水量波动的状况下出水仍能保持稳定^[2]。绵阳市北川县曲山镇石椅村的生活污水经过人工快

收稿日期:2020-12-21; 修回日期:2021-02-23

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFE0106400)

作者简介:曾杰(1995-),男,江西吉安人,硕士研究生,研究方向为污水处理技术。

通讯作者:赵迎新(1986-),女,天津津南人,博士,副教授,研究方向为污水处理技术。

渗系统处理后的尾水可直接供当地农民浇灌农田和厂区绿化^[3],类似的还有深圳市白花村生活污水处理工程和牛城河河道水环境修复工程。霍祥志等^[4]以阳泉市郊区为例,对比分析各种工艺的优缺点及适用范围,最优处理模式为厌氧+人工湿地法。而北方地区为避免复杂的冬季保温工程,更适宜选择地埋式 A/O 活性污泥及生物膜法一体化工艺以及 MBR 工艺。赵芳^[5]认为山东省农村生活污水在经过地埋式 A/O 组合处理后有较好的出水水质。北京市被调查的 1 104 座污水处理设施中,有 641 座设施是采用 MBR 工艺,占比为58.1%,而采用的

其他工艺均小于 10% [6]。考虑到疫情期间污水中的病毒经过这些传统污水处理工艺的一级、二级处理后排放,很难被完全去除或灭活[7],因而尾水需增设消毒处理。消毒工艺的选择直接影响到出水的消毒效果及运行管理,表 1 为 2020 年 2 月江浙等省市 56 座污水处理厂消毒处理情况(部分污水处理厂采用 2 种消毒方式)[8],由表 1 可看出,多种消毒方式均能够有效杀菌。因而本研究针对不同农村污水处理工艺可能存在的病毒污染风险问题,提出合适的消毒方式以及参数控制建议,为疫情期间农村小型污水处理设施的安全运行提供技术参考和保障。

衣工	2020 年 2 月投情期间江州专省市 30 座乃水处理/	月母处 垤ඟ

冰丰十十	C 合 料 目	有效氯投加量/	接触时间/	出水效果		
消毒方式	厂家数量	$(mg \cdot L^{-1})$	min	粪大肠菌群个数/L⁻¹	氨氮(mg⋅L ⁻¹)	
次氯酸钠	31	0.5 ~ 11.3	1 ~ 60	[10, 1000)	0.045 ~ 1.53	
二氧化氯	5	2.4~4.2	30 ~42	[20, 200)	0.102 ~ 0.174	
紫外线	4			< 20	0.87	
臭氧	1			< 20	0. 197	
紫外线 + 次氯酸钠	14	1.25 ~10	1 ~ 20	[10, 1000)	0.141 ~ 1.1	
芬顿高级氧化+次氯酸钠	2	0.75 ~ 1	2 ~ 5		< 0.5	
二氧化氯 + 次氯酸钠	2	2.2~3.5	1.5 ~ 30	≤ 10	$0.08 \sim 0.55$	

2 消毒工艺

在污水处理过程中,使病毒及其他病原体微生 物减少的主要方式有两种,即分离和灭活[9]。传统 的农村污水处理工艺首先经过预处理及一级处理可 以去除一些吸附在大颗粒悬浮物上的病毒。文献 [10]中报道一级处理工艺对肠道病毒的去除率约 为 0.1~0.5 log,效果不明显;然而二级处理按照不 同处理工艺,病毒的对数削减率又不尽相同,肠道病 毒的削减率在1.0~3.0 log 之间[10],相比一级处理 其削减效果明显,但仍需进一步消毒灭活。农村小 型污水处理设备一般不会专门设置接触消毒池,通 常以处理水在清水池的停留时间来表示接触消毒时 间,通常大于30 min,因此本文不对接触时间进行要 求。综合现场条件、运行管理及成本等客观因素,目 前农村污水常用的消毒方式主要有氯化和紫外两大 类。臭氧消毒由于其设备化以及运行的复杂性,几 乎不被考虑。

2.1 次氯酸钠

次氯酸钠消毒原理如化学方程(1)、(2)所示, 主要是利用水解产生的次氯酸(HClO)中性小分子,

它们能够快速地穿过带负电荷的病原微生物表面, 进入细胞内破坏其多种酶系统而使其失去活性。另 外,次氯酸还能形成具有极强氧化性的新生态氧 [0],能够使病毒和细菌的蛋白质变性[11]。对于病 毒来说,次氯酸钠首先破坏病毒的衣壳蛋白,然后攻 击其核酸[12]。而对于细菌来说,次氯酸钠的杀灭效 果表现出层次递进的现象,次氯酸首先破坏细菌的 细胞膜,其次攻击细胞的酶系统,最后导致其蛋白质 和核酸的损伤[13-14]。因而在使用次氯酸钠消毒时, 低剂量的氯浓度往往只破坏细菌的细胞膜和蛋白 质,其双链核酸仍保持一定的完整性和复制能力。 因而需要视情况适当加大剂量。农村污水的出水中 往往含有一定浓度的氨氮,消毒过程中投加的 Na-CIO 与氨氮的反应是分段进行的[15],加氯折点前氯 被水中还原性物质消耗以及与氨氮形成化合氯,消 毒只有越过了加氯折点才开始积累游离氯,此时的 消毒效果最好。在疫情较为严重的农村地区,可以 通过公式(3)来估算加药量[10]。对于二级出水中氨 氮浓度较高水体的消毒,建议尽量采用二氧化氯或 者紫外线消毒法。

$$ClO^- + H_2O \Longrightarrow HClO + OH^-$$
 (1)

$$R - NH - R + HClO \longrightarrow R_2NCl + H_2O$$
 (2)

$$M = K_1 \cdot C_{\text{NH}_2} + K_2 \cdot C_{Org} \tag{3}$$

式中:M 为投氯量; K_1 为氨氮被氯化的氯氮质量比,取值为 10; C_{NH_3} 为氨氮浓度; K_2 为有机氮被氯化的氯氮质量比,取值为 16; C_{Org} 为有机氮浓度(实际操作中可以忽略其存在)。

农村小型污水处理设施运行中宜选用购买浓度 10%以上的商品次氯酸钠溶液进行投加的方式,通 过计量泵直接投加到清水池前管线上。次氯酸钠溶 液存在有效氯的衰减问题,避光保存的同时每次购 买量应在10 d 内使用完。

2.2 二氧化氯

二氧化氯(ClO₂)具有强氧化性,并且受水中 pH以及氨氮浓度影响较小。二氧化氯溶于水后以 分子形式直接破坏病毒的核酸或衣壳蛋白,它能够 与蛋白质中某些特定氨基酸发生反应,导致氨基酸 键断裂,从而使蛋白质失去原有功能[16]。另外有研 究表明,灭活过程中对氨基酸起破坏作用的是 ClO, 中的氧原子,而非氯原子,因此避免了三氯甲烷 (THMs)这一消毒中副产物的产生[17],因此,CIO, 是一种公认的安全、高效、环保的消毒剂。目前应用 最多的是现场氯酸盐法制备二氧化氯,但其对技术 设备要求较高显然不适合农村地区使用,可以选择 一元稳定二氧化氯泡腾片,通常其有效 ClO, 含量在 10%左右,储存、使用方便,即配即用。一般先将一 定量的泡腾片溶解在水中,即活化,完全溶解需5~ 10 min,然后再根据具体的投加量调整隔膜计量泵 进入清水池前端的流量。

2.3 紫外线

紫外线消毒作为新型物理消毒工艺,杀菌效果最佳的波长在 253.7 nm 附近^[18]。核酸是紫外线最主要的作用位点,它可直接作用于病原体的 DNA 或RNA上,诱导胸腺嘧啶和胞嘧啶形成嘧啶二聚体,影响其复制、转录及蛋白质合成,同时也影响其他生物大分子的结构与功能^[19-20]。有研究显示,紫外线消毒过程中病毒 RNA 的损伤比细菌 DNA 的损伤更严重^[13],这是因为紫外线更易侵入没有细胞结构的病毒,且 RNA 的磷酸二酯键更容易受到损伤,因此导致单链线性 RNA 对紫外线更加敏感^[21]。紫外线的灭菌效率高,但不具备持续性消毒能力。紫外线消毒效果可以用紫外穿透率(UVT)来考量,它易受水中浊度、SS 和一些无机离子(如 Fe³⁺)的影响。紫外灯管的性能同样也影响着消毒效率,对于农村这种小规模污水处理设施,应选择紫外能利用效率较高的低压灯

系统(LP),建议每两天投加一些柠檬酸或者磷酸进行一次化学清洗,定期再进行人工清理。

3 不同污水处理工艺的消毒控制

3.1 人工快渗处理系统

人工快渗技术(constructed rapid infiltration, CRI)是农村常采用的一种生态处理工艺,它是用渗 透性能较好的天然介质代替天然土层,以天然河砂 最为典型,采用干湿交替方式加强系统复氧来净化 水质。通常 CRI 系统的脱氮除磷效果较差,出水氨 氮以及总氮浓度较高。适当的降低湿干比,一方面 可提高系统落干时硝化过程的时间,有利于其脱氮 效果,另一方面可加快好氧异养微生物的代谢,提高 其对病原体的吸附、过滤与捕食作用。一般 CRI 系 统可去除2~3个数量级的粪大肠杆菌,并且污水的 迁移距离决定了其去除效果,迁移距离越长,则去除 效果越好,甚至可超过90%^[22]。鉴于CRI系统处 理规模较小,工艺简单,通常被用在不发达且资金不 足的农村地区,同时该工艺出水受高氨氮影响,综合 考虑不宜采用常规的次氯酸钠和紫外线消毒,为方 便操作、减少工程投资成本,采用二氧化氯最为合 适。现场运行中投加浓度为8 mg/L 的二氧化氯,能 使得污水中粪大肠菌群和总大肠菌群均少于90 个/L,脊髓灰质炎病毒、沙门氏菌及志贺氏菌不可 检出[23],而新型冠状病毒属于包膜病毒,研究表明 无包膜肠道病毒抗氯性强于大肠杆菌,而有包膜病 毒抗氯性弱于无包膜肠道病毒[24],且其稳定性更易 失活[25],因而冠状病毒在污水中的传播比肠道病毒 要少,在实际消毒过程中只要保持稳定的消毒就可 确保新冠病毒的有效灭活。考虑人工快渗系统对病 原体的去除效果并不明显,相应消毒工艺、参数以及 风险防控措施如表 2 所示。二氧化氯受水温影响较 大,温度较低时应提高二氧化氯投加量。

3.2 A/O 活性污泥及生物膜法

A/O(anoxic/oxic)活性污泥或生物膜工艺通常用于农村污水的脱氮处理。两种工艺的出水一般能达到各地的农村污水排放要求。活性污泥法就病原体去除效果而言优于生物膜法,尤其在厌氧阶段,有研究表明,A/O活性污泥法对大肠杆菌、军团菌和沙门氏菌均具有较好的去除效果,对大肠杆菌的去除率高达99.88%。鉴于引起重症急性呼吸综合征(SARS)的SARS冠状病毒(SARS-CoV)在污水中的抗氯能力比大肠杆菌及 £2 噬菌体要弱,因而大肠杆菌可作为SARS病毒灭活的指示生物^[26],而新型

冠状病毒与 SARS 病毒同属 Beta 冠状病毒,新冠期间仍可将大肠杆菌作为病原微生物的指示指标。 A/O 工艺通常是在清水池的前端投加铁、铝盐絮凝剂强化农村污水除磷作用,一方面 Fe³⁺对于紫外线有强烈的吸收作用,另一方面铁、铝盐易形成絮体从而加速紫外灯结垢,且 A/O 法出水氨氮波动较大,因而活性污泥或生物膜法最好选用二氧化氯。含氯回流液进入生化系统将影响硝化作用,因而相应的注意措施在表 2 中给出。

3.3 厌氧生物处理 + 人工湿地

在土地资源较为充足的农村地区,往往可采用 厌氧生物处理+人工湿地的处理模式,厌氧生物处 理作为生物预处理,依靠附着在滤料上的生物膜来 净化污水,人工湿地系统的吸附吸收、沉淀、微生物 氧化分解进一步强化了污染物的去除,尤其在 TP 的去除上起到了较为显著的作用。在这种组合工艺 下, 氨氮平均去除率一般在80%以上, 出水达到《城 镇污水处理厂污染物排放标准》的一级 B 标准以 上[27],生物填料及人工系统中的基质对于悬浮颗粒 物也有较好的去除效果,出水 SS 浓度往往低于 10 mg/L^[28]。人工湿地作为一种自然生态技术,对水 体病原体微生物(包括大肠杆菌、粪大肠菌群、肠道 病毒等)的去除效果明显[29]。研究表明人工湿地对 各类病原体的去除率常常达到95%以上[30],有的 甚至高达99%[31],而不同填料对病原体的去除能 力也有所差异,生物炭和无烟煤两种填料的病原微 生物去除率较高。人工湿地对病原体的去除效果是 物理、化学、生物因素共同作用的结果[30,32],目前证 实的主要去除途径有沉积、过滤、吸附、捕食以及失 活[33]。尽管诸多研究表明了人工湿地对各种病原 体的去除率都很高,实际上出水中病原体的数量仍 不能满足环境卫生安全标准。

考虑到厌氧生物处理 + 人工湿地尾水中仍含一定量的氨氮,当采用次氯酸钠消毒时,就直接关系到其投加量问题,但目前关于氨氮浓度如何影响次氯酸钠加药量机理的研究较少。非典爆发期间,通过对不同水质的原水进行投氯试验,发现无论氨氮浓度多少,5 mg/L 的投氯是一个相当安全的投加剂量^[34]。赵琳等^[35]研究发现,当氨氮≤15 mg/L、次氯酸钠投加量≤6 mg/L 时,随着氨氮浓度的升高,次氯酸钠的消毒效果有所降低,当氨氮为8 mg/L时,5 mg/L的次氯酸钠投加量效果最佳。当次氯酸钠投加量较低时,消毒是主导作用,次氯酸钠浓度达到一定值才会表现出去除氨氮作用,此时若要达到

4 log 的大肠杆菌去除率,需要投氯 1.35 mg/L,而脊髓灰质炎病毒对氯的耐受力更强,所需的有效氯浓度为 2.56 mg/L。尽管如此,污水中大肠杆菌数和脊髓灰质炎病毒数相差几个数量级,所以现场投氯剂量仍可以杀灭大肠杆菌为依据,同时研究表明氯灭活脊髓灰质炎病毒的主要机理是破坏其核酸而不是衣壳蛋白,即损坏其基因组 5′-NCR 内的二级结构区域^[36]。因而次氯酸钠投加量可依据氨氮浓度确定,相比之下由于二氧化氯消毒不受氨氮浓度的限制而更为合适,但其对病毒类的消杀效果要弱于氯,投加量则要高于次氯酸钠。

厌氧生物处理+人工湿地处理的出水悬浮物通 常在20 mg/L以下[37],因而出水可自流经集水渠进 入紫外消毒渠进行消毒,但要注意脱落生物膜对其 的影响。当紫外线照射剂量在36~51 mJ/cm² 范围 内时,出水粪大肠菌的对数削减率为3.2 log,数量 小于 10⁴ MPN/L.再继续增加紫外线照射剂量,类大 肠菌群灭活率增加并不明显, 尾水的颗粒物粒径以 及浓度成为了限制因素,尤其是粒径 5 µm 以上的 颗粒物^[38]。23.2 mJ/cm² 的紫外线照射剂量就能实 现99.99%的戊型肝炎病毒(HEV)的失活率[39]。 不同血清型的口蹄疫病毒(FMDV),包括 0189, A132, A - Sakol 以及 AS1 的 90% 灭活剂量范围为 19.66~31.31 mJ/cm^{2[40]},20 mJ/cm² 的照射剂量能 杀灭细菌繁殖体,100 mJ/cm²能灭活芽孢,而病毒对 紫外线敏感性介于两者之间。研究表明柯萨奇病 毒、A型肝炎病毒、脊髓灰质炎病毒、杯状病毒以及 轮状病毒所需要的紫外线照射剂量为 14~44 mJ/cm²,冠状病毒的核酸均为单链 RNA,而 RNA 相 对于 DNA 更易于受到紫外线的损伤,因而在实际厌 氧生物处理 + 人工湿地的出水消毒过程中的灭活率 更有把握。目前联合紫外线+氯的消毒方式在去除 效果以及减少单一加药量的实际问题上已展现出明 显优势,同时还能抑制光复活现象的发生,因而可采 用UV+次氯酸钠顺序的组合工艺。

3.4 MBR 法

MBR(membrane bio-reactor)工艺是一种传统的活性污泥生物处理与膜过滤相结合的新型处理技术,较高的污泥浓度使得出水中的有机物和氨氮浓度较低,MBR 通常采用的是超滤膜或微滤膜,孔径一般为100~400 nm,新型冠状病毒直径在60~140 nm 之间,一般孔径越小对病毒的去除率越高,据报道,单一的 MBR 工艺的病毒削减对数为3.4~6.8 log^[41]。一方面 MBR 法可以直接截留住病毒粒子本

身以及附着在颗粒上的病毒,另一方面由于膜上形成的泥饼层的截留吸附作用^[42],使得高活性的污泥对病毒也会进行吸附捕食,其分泌物也能破坏病毒衣壳蛋白酶结构,因而快速的排泥更有利于病毒去除。膜污染也是另一个影响 MBR 去除病毒的重要因素,研究发现 Fe³⁺可以高效地缓解膜孔的阻塞^[43],但 Fe³⁺的存在将会影响紫外线灭菌效率,因而疫情期间可采用聚合氯化铝或其他多核类絮凝剂,投加量一般为20~50 mg/L^[44]。MBR 工艺具有明显的优势,出水稳定,浊度在 0. 13~0. 24 NTU 范围内,对氨氮的平均去除率在 98% 以上,出水氨氮浓度小于 1 mg/L。

针对农村污水,MBR 处理后的出水具有低浊度、低氨氮的特征,而消毒工艺可多样性选择。张光辉^[45]发现 16 mJ/cm² 的 UV 剂量就能实现 MBR 出水中细菌 3 log 的灭活率同时灭活所有的大肠菌群和粪大肠菌群。脊髓灰质炎病毒由于其优势的理化特性常被用作模拟病毒,紫外线对其灭活满足Chick - Watson 动力学模型,达到 4 log 灭活所需剂量为 25 mJ/cm²^[46],但污水中病毒含量通常在 0~80 PFU/L,含量远低于人工模拟中采用的病毒剂量,且新型冠状病毒对紫外线尤为敏感,因而相应的实际照射剂量并不需要这么高,具体参数如表 2 所

示。MBR 出水病原微生物数量通常在 3 个数量级内,后续可不需再投氯,但 MBR 尾水直接排放在太阳光下会有明显的光活化现象,研究表明,若出水间隔时间大于120 min,一些病原微生物甚至会完全失去这种光修复能力^[45]。

选择氯化消毒时,研究表明经过 MBR 处理后的 出水能够有效减少次氯酸钠的使用量,投氯量为1.0 mg/L、消毒 1.5 min 以上,则细菌削减对数趋于稳 定,粪大肠菌群及肠道病毒低于检测限。王科理 等[47] 通过探究消毒时间和消毒剂浓度对灭活效果 的影响得出:有效氯 2.0 mg/L 在消毒 0.5 min 后就 能使得类大肠杆菌不被检出;0.8 mg/L 的有效氯在 接触时间达到60 min 时,也能保证类大肠杆菌低于 检测限。这也表明,农村污水经过 MBR 工艺处理后 的出水只需要较少量的次氯酸钠或者非常短的接触 时间就能达到较好的病原体去除效率,这种工艺在 一定程度上降低了运行费用。在实际运行中,MBR 出水中投加1.76 mg/L 有效氯就能达到较好的消毒 效果^[48]。冯晓翔^[49]在分析研究二氧化氯对 MBR 工艺处理后的出水的消毒效果发现,保持二氧化氯 浓度为4 mg/L,可在消毒20 min 后使出水粪大肠菌 群数降至零。对应的次氯酸钠和二氧化氯投加量也 如表2所示。

		113333222083	413 4 3 14 16 14 14 14 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17	, <u> </u>
处理工艺	消毒方式	投加量/	照射剂量/	风险防控措施
火 建工品		$(mg \cdot L^{-1})$	$(mJ \cdot cm^{-2})$	》。(No. 101 111 No.
人工快渗	二氧化氯	8 ~ 10		将喷淋旋转方式布水改用穿孔布水
A/0 法	二氧化氯	6~8;温度低时8~ 10		1. 不宜在回流处投氯 ^[50] ;2. 严密监控 微生物质量;3. 余氯会消耗进水中的 有机物,必要时可外加碳源;4. 剩余 污泥应尽可能储存在密闭性较好的 装置里并集中焚烧
厌氧生物处理 +人工湿地	次 氯酸钠/二氧化氯/紫外线/紫外线+次氯酸钠	氨氮浓度≤1 时,2~ 4;氨氮浓度>1 时,5 ~6或5~8	30~45 或 20 + 次氯酸钠 1mg/L	1. 疫情期间应进行临时封堵;2. 定期 置换的填料或植物应设专门区域统 一堆放并加氯或过氧乙酸消毒
MBR 法	次 氯 酸 钠/二 氧 化 氯/紫外线	1~2或3~5	15 ~ 20	1. 采用聚合氯化铝或其他多核类絮凝剂替代 Fe ³⁺ ,以缓解膜孔的阻塞; 2. 延迟消毒后的出水见光时间,或者提高紫外线照射剂量

表 2 不同污水处理工艺的消毒措施和风险防控

4 结论与展望

4.1 结论

(1)对于目前农村常用的处理工艺,包括人工

快渗、A/O 法、厌氧生物处理 + 人工湿地以及 MBR 法,二氧化氯消毒均可适用。其中 MBR 法可选择的 消毒工艺最多,出水的氨氮浓度会直接影响次氯酸钠的投加量。

- (2)新冠疫情期间仍可将大肠杆菌作为指示病原细菌,有包膜的新冠病毒抗氯性能较弱,只要维持农村污水处理设施的正常消毒过程,不需要额外投加消毒剂,即可有效消灭新冠病毒。
- (3)新冠疫情期间开放的生态系统应临时封堵,以防止病毒进入生态系统污染地下水,且尽可能减少曝气装置的开启。所产生的剩余污泥以及更换的填料应当集中密封消毒。减小氯进入生化系统对脱氮除磷效果的影响,必要时可外加碳源和除磷剂。

4.2 展 望

- (1)新冠疫情发生以来,农村污水处理暴露出严重不足,应当逐渐完善农村居民的生活、生产以及养殖的功能分区,从而有效隔离生活与非生活区,减小居民与新冠病毒接触的机会。
- (2)应针对新冠疫情期间农村污水处理的短板设立配套的消毒设施,条件有限的区域应配有临时消毒装置。农村污水处理设施应尽可能趋于一体化,形成独立封闭的处理单元,减少污水与管理人员的接触,同时出台相关的污水应急方案和污泥处置应急政策,加强农民对防控处理措施的认识。
- (3)新冠疫情期间,居民大量使用含氯消毒剂, 必然会对污水处理的生化系统造成影响,因而今后 应对氯是如何影响污泥或生物膜的物化指标以及微 生物的群落分布等问题进行深入研究。采用次氯酸 钠消毒,如何根据出水氨氮浓度确定其投加量也是 今后的研究重点之一。

参考文献:

- [1] 王 倩. 我国南北方农村生活污水的特点及处理工艺介绍[J]. 浙江化工, 2020,51(10):47-50.
- [2] 范 源. 人工快渗一体化设备在贵州地区农村污水处理中的应用[J]. 遵义师范学院学报, 2019,21(5):100 102 + 137.
- [3] 杨小毛,赖梅东,梅立永,等.人工快渗技术在我国农村地区水污染治理中的应用研究[J].环境工程,2012,30(S2):91-96.
- [4] 霍祥志, 宋国晗, 郝楠楠. 农村生活污水处理工艺优选方案研究——以阳泉市郊区为例[J]. 环境与发展, 2020,32(10):103-104.
- [5] 赵 芳. 山东省农村生活污水处理现状及前景展望[J]. 临沂师范学院学报, 2010,32(6):100-103.
- [6] 卢凤华, 赖志鹏. MBR 一体化污水处理设备在农村污水处理中的应用[J]. 中国环保产业, 2019(9):56-58.
- [7] 赵祖国. 污水中病毒浓集、消毒规律及灭活机理研究 [D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2008.

- [8] 李 激, 王 燕, 熊红松, 等. 城镇污水处理厂消毒设施运行调研与优化策略[J]. 中国给水排水, 2020, 36 (8):7-19.
- [9] 吉 铮. 城市污水及再生水中典型病毒的赋存及分布特性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2014.
- [10] 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.
- [11] 孙亚全, 宋子明, 司徒菲. 次氯酸钠消毒在自来水厂中的应用[J]. 工业用水与废水, 2019,50(1):5-7.
- [12] SIGSTAM T, GANNON G, CASCELLA M, et al. Subtle differences in virus composition affect disinfection kinetics and mechanisms[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2013,79(11):3455-3467.
- [13] 徐丽梅, 张崇淼, 王晓昌, 等. 紫外线和次氯酸钠对 Escherichia coli 和 Poliovirus 的消毒作用[J]. 环境科 学, 2017,38(5):1928 1935.
- [14] SUQUET C, WARREN J J, SETH N, et al. Comparative study of HOCl-inflicted damage to bacterial DNA *ex vivo* and within cells [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2010,493(2):135 142.
- [15] 祝 明, 杨雅雯, 赵 燕, 等. 氨氮浓度对次氯酸钠消毒中水的影响[J]. 环境工程学报, 2011,5(12):2793 2796.
- [16] 刘宇鹤, 吴明松, 周秀艳, 等. 二氧化氯水消毒副产物的生成与消减研究进展[J]. 中国消毒学杂志, 2019, 36(5):380-383.
- [17] OGATA N. Denaturation of protein by chlorine dioxide:
 Oxidative modification of tryptophan and tyrosine residues
 [J]. Biochemistry, 2007,46(16):4898-4911.
- [18] 刘 煦,佟 玲. 浅谈城市污水消毒技术[C]//中国土木工程学会水工业分会排水委员会. 全国排水委员会 2015 年年会论文集. 中国,杭州, 2015.
- [19] ZHANG Shenghua, YE Chengsong, LIN Huirong, et al. UV disinfection induces a VBNC state in *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* [J]. Environmental Science & Technology, 2015,49(3):1721-1728.
- [20] 李 静, 王大宁, 曲红梅, 等. 紫外线对大肠杆菌的损伤机制研究[J]. 军事医学, 2016,40(9):725-728.
- [21] CEUPPENS S, LI Dan, UYTTENDAELE M, et al. Molecular methods in food safety microbiology: Interpretation and implications of nucleic acid detection [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2014, 13(4):551-577.
- [22] 高拯民, 李宪法. 城市污水土地处理利用设计手册 [M]. 北京:中国标准出版社, 1991.
- [23] 张敬平,沈元,龙凤兴,等.次氯酸钠和二氧化氯消毒液对城市污水消毒效果的研究[J]. 医学动物防制, 2005,21(10):705-708.

- [24] 张 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.
- [25] 张文福, 何俊美, 帖金凤, 等. 冠状病毒的抵抗力与消毒[J]. 中国消毒学杂志, 2020,37(1):63-67.
- [26] 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.
- [27] 唐星. 关于人工湿地工艺结合厌氧水解进行农村污水处理的探讨[J]. 中国资源综合利用, 2019,37(1):40-42.
- [28] 杨 俊. 表流人工湿地系统对污染物去除效果的研究 [D]. 西安:长安大学, 2014.
- [29] 李 明,周巧红,武俊梅,等.不同填料对人工湿地模 拟柱中指示菌的去除[J].生态与农村环境学报, 2010,26(1);68-72.
- [30] MOLLEDA P, BLANCO I, ANSOLA G, et al. Removal of wastewater pathogen indicators in a constructed wetland in Leon, Spain [J]. Ecological Engineering, 2008, 33 (3-4):252-257.
- [31] WERKER A G, LOON W V, LEGGE R L. Tracers for investigating pathogen fate and removal mechanisms in mesocosms[J]. Science of the Total Environment, 2007, 380(1-3):188-195.
- [32] 闫亚男, 张列宇, 席北斗, 等. 人工湿地去除病原菌的途径及影响因素分析[J]. 农业环境与发展, 2011,28 (2):55-59.
- [33] CHEN Chao, ZHANG Xiaojian, WANG Yun, et al. Waste water disinfection during SARS epidemic for microbiological and toxicological control [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2006,19(3):173-178.
- [34] 赵祖国,喻云梅,金敏,等. 氯灭活水中脊髓灰质炎 病毒机制的研究[J]. 环境与健康杂志,2008,25(6): 491-494.
- [35] 赵琳,王晓昌. 紫外与次氯酸钠消毒效果及影响因素研究[J]. 环境污染与防治, 2014,36(7):41-45.
- [36] 吴 玲. 浅论紫外线消毒技术在污水处理厂的应用 [J]. 福建质量管理, 2013(7):58-61.
- [37] 濮晨熹, 郭大滨, 胡 沔, 等. 颗粒物的庇护作用对紫外线消毒效果的影响[J]. 中国给水排水, 2017, 33 (13):73-76.

- [38] GUERRERO LATORRE L, GONZALES GUSTAYSON E, HUNDESA A, et al. UV disinfection and flocculation chlorination sachets to reduce hepatitis E virus in drinking water [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2016,219 (4-5):405-411.
- [39] NUANUALSUWAN S, THONGTHA P, KAMOLSIRI-PICHAIPORN S, et al. UV inactivation and model of UV inactivation of foot-and-mouth disease viruses in suspension [J]. International Journal of Food Microbiology, 2008,127(1-2):84-90.
- [40] SIMMONS F J, KUO D H W, XAGORARAKI I. Removal of human enteric viruses by a full-scale membrane bioreactor during municipal wastewater processing[J]. Water Research, 2011,45(9):2739-2750.
- [41] ZHENG Xiang. Evaluation of virus removal in MBR using coliphages T4 [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50 (9):862-867.
- [42] 刘晓娟. 氢氧化铁一膜生物反应器处理医院污水的实验研究[D]. 太原:中北大学, 2010.
- [43] 夏 梦, 苏益明, 陈家斌, 等. 污水处理工艺对病毒的 去除效果及疫情期应急处理技术[J]. 环境污染与防治, 2020,42(4):514-518.
- [44] 于丹丹, 张光辉, 张 凤, 等. MBR 出水的紫外线消毒 试验研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(5):47-49.
- [45] 张光辉. UV 消毒 MBR 出水及反应器水力特性和 UV 剂量计算的研究[D]. 天津:天津大学, 2007.
- [46] 徐丽梅. 水中病原微生物的紫外线和氯消毒灭活作用 机制研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2017.
- [47] 王科理, 孙迎雪, 张 凤, 等. 膜生物反应器处理医院 污水及氯消毒效果评价[J]. 中国公共卫生, 2006,22 (9):1103-1104.
- [48] 朱彩琴. 城镇污水处理厂次氯酸钠消毒实验与分析 [J]. 资源节约与环保, 2015(3):109.
- [49] 冯晓翔. MBR 处理医院污水后加 ClO₂ 消毒效果的分析研究[J]. 天津科技, 2011,38(6):50-51.
- [50] 吴飞. 次氯酸钠投加方式对污水处理消毒及氨氮去除的影响[J]. 生物化工, 2020,6(2):17-19+31.