

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.24.010

# 后疫情时代污泥中的病毒风险分析与对策

王涛<sup>1,2,3</sup>, 齐运才<sup>2,3</sup>, 杨欣<sup>4</sup>

(1. 中国机械科学研究总院集团有限公司 环保技术与装备研究所, 北京 100044; 2. 机科发展科技股份有限公司, 北京 100044; 3. 机械工业有机固废生物处理与资源化利用工程研究中心, 北京 100044; 4. 解放军联勤保障部队第二工程代建管理办公室, 广东 广州 510000)

**摘要:** 后疫情时代,新型冠状病毒(SARS-CoV-2)并未被消灭,仍会进入排水系统并带来风险。首先,结合现有研究成果,分析了污水收集系统、污水处理厂和污泥处理系统中病毒的迁移途径,并推断SARS-CoV-2将进入污泥处理系统,必须针对病毒加以应对。其次,分析了现行污泥处理处置标准无害化指标和操作方面要求。第三,分析了疫情期间现有应对措施,并针对污泥处理系统提出4个方面的应对措施建议。最后,强调污泥作为整个排水系统进入环境的最后一个环节,要关注无害化这一根本要务,必须做到处理产物无害化与处理过程无害化“两手抓,两手都要硬”。

**关键词:** 后疫情时代; 新型冠状病毒; 污泥处理; 无害化处理

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)24-0059-04

## Risk Analysis and Countermeasures of Virus in Sludge in Post-pandemic

WANG Tao<sup>1,2,3</sup>, QI Yun-cai<sup>2,3</sup>, YANG Xin<sup>4</sup>

(1. Environmental and Ecosystem Department, China Academy of Machinery Science and Technology Group, Beijing 100044, China; 2. Machinery Technology Development Co. Ltd., Beijing 100044, China; 3. Machinery Industry Engineering Center of Organic Waste Biological Treatment Resource, Beijing 100044, China; 4. The Second Engineering Construction Management Office of the Joint Logistics Support Force of PLA, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** In post-pandemic, SARS-CoV-2 has not been eliminated and will still enter the drainage system with posing risks. Firstly, based on the existing research results, the migration pathways of SARS-CoV-2 in sewage collection system, sewage treatment plant and sludge disposal system were analyzed. It was considered that SARS-CoV-2 would enter the sludge treatment system, while the virus must be dealt with. Secondly, the harmless indexes and operation requirements of the current sludge treatment and disposal standard are analyzed. Thirdly, the countermeasures existing during the epidemic period were analyzed, and four suggestions were put forward for the sludge treatment system. Finally, it is emphasized that as the last link of the whole drainage system entering the environment, the fundamental task to be paid attention to is sludge harmless. In addition, it is necessary to make the treated products harmless and the treatment process harmless.

**Key words:** post-pandemic; SARS-CoV-2; sludge treatment; harmless treatment

2023年5月5日,世界卫生组织宣布新冠疫情不再构成“国际关注的突发公共卫生事件”,全球正

式进入后疫情时代。尚未消亡的新型冠状病毒(SARS-CoV-2)可通过下水道进入排水管网、城镇污水处理厂,最后也可能进入污泥处理系统。因此有必要制定针对策略。

## 1 SARS-CoV-2在排水系统中存活的可能性

### 1.1 污水收集系统

城镇排水系统管网及污水处理厂的水温一般处于10~25℃,其环境更接近粪便或尿液环境。按照污水最低温度为10℃考虑,SARS-CoV-2在城镇排水系统中最长可以存活14 d;这也意味着SARS-CoV-2将不可避免地进入城镇排水系统。Wu等<sup>[1]</sup>对美国马萨诸塞州某城市的两个片区管网水质进行跟踪研究,证明病毒可以被检出,甚至有可能建立与疫情严重程度相关的量化关系,进而具备作为WBE(Wastewater-based epidemiology)方法的可能。

### 1.2 污水处理厂

自首次报道粪便中检出SARS-CoV-2后,荷兰研究人员在全球率先针对污水处理厂开展相关研究,检测结果再一次证明了SARS-CoV-2能够随污水进入污水厂,并且检出概率与疫情发展程度相关<sup>[2-3]</sup>。污水从进入污水处理厂到产生脱水污泥外运,根据处理工艺的不同,总停留时间一般不超过24 h。SARS-CoV-2属于包膜病毒,其包膜由脂质双分子层构成,具有典型疏水特性,根据污泥颗粒特性,表面易附着疏水性物质颗粒,由此可推断,SARS-CoV-2将有可能存活于污泥中。

### 1.3 污泥处理系统

目前尚无SARS-CoV-2相关研究涉及污泥处理领域,也没有污泥中存在SARS-CoV-2的直接证据。为此,将已有污泥领域病毒方面的类似研究成果作为参考依据。Bibby等<sup>[4]</sup>针对5座污水处理厂的10个污泥样品,采用鸟枪法进行病毒宏基因组学研究,鉴定发现43种(DNA病毒26种,RNA病毒17种)不同类型的人类病毒,其中,冠状病毒检出率达到83%,主要包括HCoV-HKU1、HCoV-229E等类型,而HCoV-HKU1与SARS-CoV-2同为β属冠状病毒。上述研究间接证明了污泥中SARS-CoV-2存在的可能性。此外,病毒进入排水系统后最迟2~3 d将进入污泥处理系统,其间环境温度为10~25℃,充分满足SARS-CoV-2的体外存活条件。由此可以推断,SARS-CoV-2是有可能进入污泥处理系统。

因此,必须针对病毒做好准备,加以应对。

## 2 污泥处理系统现有应对病毒的措施

### 2.1 污泥处理处置标准无害化指标要求

与污泥相关的现行“泥质”类国家标准共有7项:《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋泥质》(GB/T 23485—2009)、《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》(GB/T 23486—2009)、《城镇污水处理厂污泥泥质》(GB 24188—2009)、《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良泥质》(GB/T 24600—2009)、《城镇污水处理厂污泥处置 单独焚烧用泥质》(GB/T 24602—2009)、《城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质》(GB/T 25031—2010)、《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018)。GB/T 24602—2009、GB/T 25031—2010中由于前端处理方式热化学法,一般认为产品不存在无害化风险,因此未针对无害化进行专门规定;其余五项均涉及无害化专门规定,并且主要依据均为《粪便无害化卫生要求》(GB 7959—2012),且指标构架总体一致,细节略有不同。具体共涉及四项指标:蛔虫卵死亡率、蠕虫卵死亡率、粪大肠菌群菌值、细菌总数,限值分别为95%、95%、0.01 g/个、 $1 \times 10^8$  MPN/kg干污泥;其中蛔虫卵死亡率、粪大肠菌群菌值、细菌总数三项均为GB 24188—2009、GB 4284—2018的强制性条款。

虽然GB/T 23486—2009、GB/T 23485—2009中设置了“不得检测出传染性病原菌”的规定,但总体上不具有可操作性。

### 2.2 操作层面

不同的污泥处理工艺其无害化程度存在差异,对于病毒也不例外。总体上,按照厌(好)氧消化、热干化、堆肥、石灰稳定的顺序,无害化程度逐渐增强,具体见表1。

表1 不同污泥处理工艺对病毒的灭活率

Tab.1 Virus inactivation rates of different sludge treatment processes

处理工艺	厌氧消化	好氧消化	热干化	堆肥	石灰稳定
对数灭活率	0.5 ~ 2.0	0.5 ~ 2.0	0.5 ~ 4.0	2.0 ~ 4.0	>4.0

相同的处理工艺其不同的作业程序也必然导致上述差异的存在。作为污泥无害化指标来源依据,《粪便无害化卫生要求》(GB 7959—2012)是最新版本,也是全文强制性标准,具有极强的指导性。该标准针对好氧发酵、厌氧与兼性厌氧消化、密封

贮存、脱水干燥粪尿分集处理粪便分别制定了卫生要求,还特别规定“清掏出的贮粪池粪渣、粪皮,以及沼气池沉渣、各类处理设施的污泥,应经高温堆肥无害化处理合格后方可用作农业施肥”,由此也确立了好氧发酵相关卫生要求是无害化土地利用的前提条件之一。

GB 7959—2012 对于堆肥工艺还从堆温、持续时间等运行管理角度给予规定,但与实际操作存在距离,且界定模糊。这方面规定多出现在堆肥技术规程中,例如,北京市地方标准《生活垃圾堆肥厂运行管理规范》(DB 11/T 272—2014)规定:高温发酵过程堆层各测试点温度在 55℃ 以上并保持 5~7 d;《生活垃圾堆肥处理技术规范》(CJJ 52—2014)中主发酵的堆层温度控制及发酵时间确定应符合下列规定:①堆层各测试点温度均应达到 55℃ 以上,且持续时间不应少于 5 d;或达到 65℃ 以上,持续时间不应少于 4 d。②设计主发酵时间不宜小于 5 d。

从全球范围看,堆肥无害化温度指标近似,为 55~65℃,维持时间差距较大,最短 3 d,最长 15 d,具体见表 2。

表 2 国外堆肥温度与持续时间要求

Tab.2 Requirements of composting temperature and duration in foreign countries

国家	工艺类型	堆肥最低温度/℃	持续时间/d	备注
比利时		60	4	
丹麦		55	14	
法国		60	4	
德国	仓式	60	7	
	非仓式	65	7	
意大利		55	3	
荷兰		55	4	
瑞典		55		根据产物风险评价确定
英国(堆肥协会)	静态通风堆或仓式	55	3	
	翻堆条垛式	55	15	其间翻堆 5 次
英国(土壤协会)		≥60(推荐)		要求维持一定发酵周期
加拿大	仓式	55	3	
	条垛式	55	15	
	静态通风堆	55	3	
美国	仓式	55	5	
	条垛式	55	15	
澳大利亚		55	3	翻堆次数≥3 次,翻堆前温度≥55℃
新西兰		55	3	

### 3 应对策略

#### 3.1 相关领域现有措施

2003 年 SARS 疫情暴发后,国家环境保护总局紧急印发了《“SARS”病毒污染的污水应急处理技术方案》《医院污水处理技术指南》等技术文件。2005 年,《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005)发布,在“医疗机构污泥控制标准”指标设定方面,相对于 GB 18466—2001 针对传染病医疗机构增加了“肠道病毒”。新冠疫情暴发后,相关部门和政府紧急出台了应对政策与技术文件。总体上污泥相关领域应对措施可归纳为以下两类:

##### ① 医疗机构的污泥

上述标准、文件均明确,医疗机构产生的污泥应按照危险废物进行处理、处置,具体处理工艺以污泥消毒和污泥脱水为主,采用石灰或漂白粉作为消毒剂进行消毒。若污泥量很小,则消毒污泥排入化粪池进行贮存;若污泥量大,则经脱水后封装外运,作为危险废物进行焚烧处理。

##### ② 城镇污水厂的污泥

住房和城乡建设部“专报”指出:城镇污水处理厂污泥处理处置是相对薄弱的环节,疫情期间的污泥妥善处理处置尤为重要;脱水污泥要日产日清,确保妥善处理,有条件的污水处理厂尽量采用热干化或者石灰碱法等稳定化方式进一步处理。污泥的存储及运输过程应密闭,必要时适当喷洒消毒剂。

对于强化污水厂污泥消杀处理,可采取如下措施<sup>[5-6]</sup>:a. 可采用化学杀菌消毒方式(如石灰和漂白粉),强化贮泥池中的污泥杀菌消毒效果。采用石灰杀菌消毒时,石灰投加量不低于 15 g/L,使 pH 为 11~12,搅拌均匀接触 30~60 min;采用漂白粉杀菌消毒时,漂白粉投加量约为泥量的 10%~15%。视新型冠状病毒的研究进展,可适时调整杀菌消毒药剂剂量。b. 污泥脱水过程须强化空间密闭效果和气体处理,污泥装卸工作应做到全负压、全除臭、全冲洗。对污泥生产车间、装卸场所、运输车辆加大杀菌消毒频次,及时冲洗。

#### 3.2 污泥处理行业的对策

添加化学消毒剂在应急状态下显然是有效的,但会导致连带问题,尚存在以下三方面的缺陷:①多部门和地方出台的临时应对措施缺乏统一性,难



以保障措施成效。②无论是GB/T 23486—2009、GB/T 23485—2009中“不得检测出传染性病原菌”，还是GB 18466—2005中肠道病毒“不得检出”，对于一般运营单位均不具有可操作性。已发现命名的肠道病毒就有70余种(型)，病原微生物更数以万计，笼统要求不得检出显然不科学，也不具备可操作性。③对现有处理系统实际情况和处理过程考虑不足，简单粗放的应对措施难免会存在一些漏洞。

因此，应在官方措施的基础上，出台更为细致、更具可操作性的对策。

① 针对病毒尤其是冠状病毒，探索设置新的或者明确现有的相关指示性微生物指标，这一点不仅对于污泥处理厂本身具有意义，对于城市公共疫情防控也具有重要意义。

② 目前，还有众多污泥处理厂不具备微生物检测手段，或者具备检测手段但微生物指标并不是日常检测项目，应尽快建立完善的必要的检测手段，并保证日常检测频率。

③ 加强操作过程中的防护措施，操作人员在处理和混合原料时应穿戴符合要求的个人防护装备。用于无害化处理上游工序的设备(装载机、载重车等)不应用于无害化处理下游工序。原料接收、混料工序(好氧发酵、石灰稳定等工艺)与产物储存工序应进行物理隔离，无法隔离的原料接收、混料工序应设置在臭气收集系统的下风向位置。在处理过程中，储存不同物料的容器或场地不可混合使用。容器、车辆、设备在无害化处理或成品区域之前，应使用符合要求的消毒剂进行消毒。

④ 设立可控污泥临时堆场，必要时降低运行负荷，以确保工艺指标实现程度。

#### 4 结语

污泥作为整个排水系统进入环境的最后一个环节，在稳定化、减量化等硬性指标约束的前提下，在资源化良好前景的指引下，一定要关注无害化这一根本要务。并且，必须做到处理产物无害化与处理过程无害化“两手抓，两手都要硬”。

#### 参考文献：

[1] WU F Q, XIAO A, ZHANG J B, *et al.* SARS-CoV-2

titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases [DB/OL]. (2020-03-30), [2020-04-05]. <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20051540>.

[2] LODDER W, DE RODA H A M. SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source [J]. *The LANCET Gastroenterology & Hepatology*, 2020, 5(6): 533-534.

[3] MEDEMA G, HEIJNEN L, ELSINGA G, *et al.* Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage [DB/OL]. [2020-03-30]. <https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20045880>.

[4] BIBBY K, PECCIA J. Identification of viral pathogen diversity in sewage sludge by metagenome analysis [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(4): 1945-1951.

[5] 王涛. 污泥标准中无害化要求与生物无害化处理技术 [J]. *西南给水排水*, 2019, 41(5): 47-52.

WANG Tao. Harmless requirements and biological harmless treatment technology in sludge standard [J]. *Southwest Water Supply and Drainage*, 2019, 41(5): 47-52 (in Chinese).

[6] 王涛, 林阳. 城镇污水处理厂污泥处置标准浅析 [J]. *中国环保产业*, 2010(11): 28-31.

WANG Tao, LIN Yang. Brief analysis of sludge disposal standard in town sewage treatment plant [J]. *China Environmental Protection Industry*, 2010(11): 28-31 (in Chinese).

**作者简介:**王涛(1974—),男,辽宁沈阳人,大学本科,研究员/博导,机械工业有机固废生物处理与资源化利用工程技术研究中心副主任兼总工程师,中国机械科学研究院环保技术与装备研究所(机科发展科技股份有限公司环保事业部)副总工程师,主要从事污泥等有机固废处理处置、环境修复领域工艺与设备方面研究及工程设计等方面工作,获省部级以上科技奖励7项,专利授权30余项,公开发表论文120余篇。

**E-mail:** wangtao3214@126.com

**收稿日期:** 2022-08-05

**修回日期:** 2023-01-15

(编辑:丁彩娟)