

# 新冠肺炎疫情下关于减少污泥中病原体的思考

颜莹莹, 梁 远, 沙雪华, 臧星华, 刘 迪  
(北京首创污泥处置技术有限公司, 北京 100044)

**摘 要:** 基于新型冠状病毒可以通过患者粪便排入下水道而进入城市排水系统的问题,梳理了病毒在水循环链条中的迁徙轨迹,得出要重视病毒进入城市排水系统后通过污泥进行扩散和传播的风险。鉴于此次新冠肺炎疫情,有必要归纳和反思我国污泥处理处置过程中的病原体控制,为此系统梳理了我国的污泥杀菌消毒相关标准和政策,研究了美国和欧盟的相关研究成果,认为污泥是病原体的良好载体,但目前我国对于污泥中病原体的控制标准约束较为宽松,需加强污泥中病原菌灭活的试验和研究,并制定病原体的指标和限值。新型冠状病毒是包膜病毒,较容易被消毒剂杀死,因此疫情期间在污泥预处理段投加消毒剂是有效控制病原体的措施,好氧发酵、厌氧消化、石灰稳定、热干化和射线辐射等处理方式都可以有效减少病原体。疫情期间,污泥的处置方式宜采取焚烧或协同焚烧的方式,对于污泥无害化处置能力不足的地区,应推进落实合规的污泥处置出路的工作。此外,为了减少暴露风险,在污泥处理处置过程中应优先选择密闭性较好的装置。

**关键词:** 污泥; 新型冠状病毒; 病原体; 消毒

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)06-0022-06

## Reflections on Reducing Pathogens in Sludge in the Case of COVID - 19 Epidemic

YAN Ying-ying, LIANG Yuan, SHA Xue-hua, ZANG Xing-hua, LIU Di  
(Beijing Capital Sludge Co. Ltd., Beijing 100044, China)

**Abstract:** Based on the problem that the novel coronavirus (SARS - CoV - 2) can enter the urban drainage system through the excretion of patients' faces into the sewer, the fate of infective viruses in the urban water cycle was analyzed. Then, it was concluded that attention should be paid to the risk of virus spreading through sludge after the virus enters the urban drainage system. In the case of COVID - 19 epidemic, it is important to summarize and reflect on the pathogen control during sludge treatment and disposal process in China. Therefore, the relevant standards and policies of sludge sterilization and disinfection in China have been systematically combed, and the relevant research results of the United States and the European Union have been studied. It has been considered that the sludge is a good carrier of pathogens; the standard restrictions on pathogens in sludge in our country are relatively loose currently. So it is necessary to strengthen the experiments and research on inactivation of pathogens in sludge, and to formulate the index and limit value of pathogens. The SARS - CoV - 2 is an enveloped virus that can be relatively easily killed by antivirus agent. Therefore, adding disinfectant to the sludge pretreatment section is an effective measure to control pathogens during the epidemic. Aerobic

fermentation, anaerobic digestion, lime stabilization, thermal drying, and radiation treatment can effectively reduce pathogens. During the epidemic period, sludge disposal methods are recommended to adopt incineration or co-incineration. For areas where the harmless disposal capacity of sludge is insufficient, the implementation of compliance sludge disposal outlet should be promoted. In addition, in order to reduce the exposure risk, in the sludge treatment and disposal process, the better sealing device should be preferred.

**Key words:** sludge; SARS – CoV – 2; pathogen; disinfect

## 1 研究背景

2019年12月,武汉市发生聚集性不明原因肺炎病例,后确认病原体为一种新型冠状病毒。随着疫情的蔓延,2020年1月26日起全国多个省份先后启动重大突发公共卫生事件一级响应。2020年2月1日,深圳市第三人民医院透露,在某些新型冠状病毒感染的肺炎确诊患者的粪便中检测出新冠病毒核酸阳性;2月13日,中国疾控中心团队从新冠肺炎确诊病例便标本中成功分离到了两株新型冠状病毒。这说明病毒存活于感染者的排泄物,通过排水系统进入污水处理厂后,可能会转移到污泥中进行传播。

资料显示,与新型冠状病毒(SARS – CoV – 2)相似的SARS病毒可以在尿液、粪便中长时间存活。王新为等<sup>[1]</sup>研究表明,在温度为20℃的条件下,SARS冠状病毒在粪便中可以存活3d,在尿液中可以存活17d。在更低的温度下,病毒的存活时间更长,例如在4℃下,SARS病毒在粪尿中可以存活17d以上<sup>[1]</sup>。SARS – CoV – 2与SARS病毒同属于呼吸道病毒,特性相似,因此,可以借鉴这些数据。

国外的相关研究给出了整个水循环链条中病原体的迁移轨迹,以及10个暴露风险点<sup>[2]</sup>,见图1。

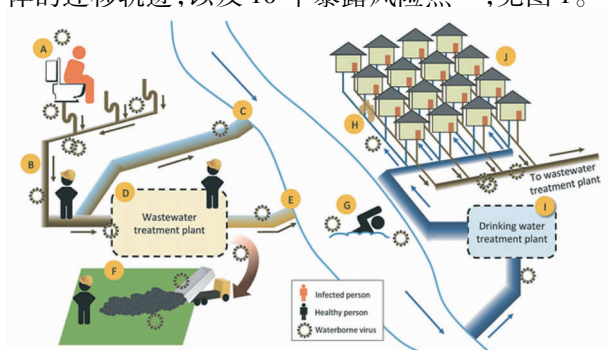


图1 致病微生物在城市水系统中的迁移轨迹及人暴露风险点

Fig.1 The fate of infective viruses in the urban water cycle and locations of potential human exposure

通过图1可以看出,从感染者(A)到污泥产生的污水处理厂(D),迁移路径并不长。污水从用户大便器汇流到市政污水处理厂,不过数小时的时间,在污水处理厂进行处理的停留时间一般也不超过24h<sup>[3]</sup>,病毒等病原体依然可能存活,并在污水处理的副产物——污泥中存在。因此,可以得出以下判断:要重视SARS – CoV – 2病毒和其他病原体在进入城市排水系统后,通过污泥进行扩散和传播的风险。

## 2 国内污泥减少病原体的相关要求梳理

### 2.1 污泥减少病原体的必要性

城镇污水处理厂污泥是污水处理的产物,主要来源于初次沉淀池、二次沉淀池等工艺环节。未经处理的污泥中含有较多的病原微生物和寄生虫卵。在污泥处理处置过程中,它们可通过各种途径传播,污染土壤、空气、水源,并通过皮肤接触、呼吸和食物链危及人畜健康,也能在一定程度上加速植物病害的传播。

通常用卫生学指标来衡量污泥中病原体的数量。根据住建部和发改委于2011年联合发布的《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南》(试行),污泥的卫生学指标主要包括细菌总数、粪大肠菌群数、寄生虫卵含量等。初沉污泥、活性污泥及消化污泥中细菌、粪大肠菌群及寄生虫卵的一般数量见表1。

表1 城镇污水处理厂污泥细菌与寄生虫卵均值  
(以干污泥计)

Tab.1 Mean of bacteria and parasite eggs in sludge from urban sewage treatment plant (per gram of dry solid)

个·g<sup>-1</sup>

污泥类型	细菌总数	粪大肠菌群数	寄生虫卵
初沉污泥	471.7 × 10 <sup>5</sup>	158.0 × 10 <sup>5</sup>	233 (活卵率为78.3%)
活性污泥	738.0 × 10 <sup>5</sup>	12.1 × 10 <sup>5</sup>	170 (活卵率为67.8%)
消化污泥	38.3 × 10 <sup>5</sup>	1.2 × 10 <sup>5</sup>	139 (活卵率为60%)

## 2.2 泥质标准中关于病原体的要求

污泥中存在大量的病原体,被检出的病毒超过100种,但病毒和其他病原菌的培养检验十分复杂和困难,因此目前执行的泥质标准中,均以较易检验的粪大肠菌群数和细菌总数来表征。

### ① 粪大肠菌群数

粪大肠菌群和病原菌都存在于人类肠道系统内,它们的生活习性和外界环境中的存活时间基本相同。每人每日排泄的粪便中含有粪大肠菌群数约 $(1\sim4)\times 10^{11}$ 个,数量远远高于病原菌,但对人体无害;由于粪大肠菌数量多且容易培养检验,因此,常采用粪大肠菌群数作为卫生指标。污泥中存在粪大肠菌就表明受到粪便的污染,并可能存在病原菌。

### ② 细菌总数

细菌总数是粪大肠菌群数、病原菌和其他细菌的总和,以1 kg干污泥中的细菌总数表示。污泥中细菌总数反映了污泥受细菌污染的程度。细菌总数愈多,表示病原菌和病毒存在的可能性愈大。细菌总数不能说明污染的来源,必须结合大肠菌群数来综合判断。

表2是目前国内执行的污泥相关泥质标准中对卫生学指标的要求限值,其中最严格的泥质标准是《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》(GB/T 24600—2009),粪大肠菌群菌值要求大于0.01,细菌总数要求小于 $10^8$  MPN/kg干污泥,但仍无关于病原体,如病毒数量的限值要求。

表2 污泥泥质指标中关于卫生学指标的要求限值

Tab.2 Required limit of hygienic indicators in the sludge quality standards

标准名称	限值		
	粪大肠菌群	细菌总数/ (MPN·kg <sup>-1</sup> 干污泥)	蠕虫卵 死亡率/%
《城镇污水处理厂污泥泥质》(GB 24188—2009)	>0.01(菌值)	<10 <sup>8</sup>	—
《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)	10 <sup>3</sup> 个/L(菌群数, 一级A标准)	—	—
《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质》(GB/T 23485—2009)	>0.01(菌值)	—	>95
《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》(GB/T 24600—2009)	>0.01(菌值)	<10 <sup>8</sup>	>95
《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》(GB/T 23486—2009)	>0.01(菌值)	—	>95
《城镇污水处理厂污泥处置 林地用泥质》(CJ/T 362—2011)	≥0.01(菌值)	—	≥95
《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)	>0.01(菌值)	—	>95
《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018)	≥0.01(菌值)	—	≥95
《城镇污水处理厂污泥处置 水泥熟料生产用泥质》(CJ/T 314—2009)	—	—	—

## 2.3 污泥处理处置过程中的病原体控制方法

污水处理厂的污泥处理处置全流程包括以下三个环节:污泥预处理(污泥贮存、浓缩、脱水等过程);污泥处理(深度脱水、热干化、消化、好氧发酵等工艺单元);污泥处置(土地利用、焚烧、建材利用、填埋等)。为了保证病毒在污泥处理处置环节得到最大程度的控制,在全流程中都应考虑对病原体的控制。

### ① 污泥预处理

研究表明,冠状病毒是包膜病毒,这意味着它们是最容易被消毒剂产品杀死的病毒之一。仍以与SARS-CoV-2病毒极为相似的SARS冠状病毒为例。王新为等<sup>[1]</sup>研究表明,SARS冠状病毒对常用消毒剂的抵抗力明显低于其他微生物,污水中加氯量在10 mg/L以上时,冠状病毒就可完全杀灭;二氧

化氯加入量达到40 mg/L以上时,冠状病毒也可完全杀灭。

因此,作为源头控制,在污泥含水率较高且仍处于液体状态的预处理阶段投加消毒剂,是重要且有效的控制病原体扩散的措施。

国家环保总局2004年发布的《医院污水处理技术指南》第六章“污泥、废气处理”中提到的具体要求如表3所示。该技术指南虽然是针对医院污水处理产生的污泥制定的,但在COVID-19疫情期间,建议市政污水处理厂的污泥可参照上述要求适当放宽执行。

作为疫情期间的市政污水处理厂污泥应急消毒处理方式,可参照医院污水污泥的处理方式,将污泥贮池作为污泥消毒池,通过投加石灰或漂白粉作为消毒剂进行强化杀菌消毒。



表3 《医院污水处理技术指南》中关于污泥处理的要求  
Tab.3 Requirements for sludge treatment in the *Technical Guide to Hospital Sewage Treatment*

项 目	说明
工艺流程	污泥处理工艺以污泥消毒和污泥脱水为主。在污泥消毒池内投加石灰或漂白粉作为消毒剂进行消毒。若污泥量很小,则消毒污泥可排入化粪池进行贮存;污泥量大,则消毒污泥需经脱水后封装外运处置
污泥消毒	①污泥首先在消毒池或储泥池中进行消毒,消毒池或储泥池池容不小于处理系统24 h产泥量,但不宜小于1 m <sup>3</sup> 。储泥池内需采取搅拌措施,以利于污泥加药消毒。 ②污泥消毒的最主要目的是杀灭致病菌,避免二次污染,可以通过化学消毒的方式实现。化学消毒法常使用石灰和漂白粉。 a. 石灰投量约为15 g/L污泥,使污泥pH值达11~12,充分搅拌均匀后保持接触30~60 min,并存放7 d以上。 b. 漂白粉投加量约为泥量的10%~15%。 c. 有条件的地区可采用紫外线辐照消毒
污泥脱水	①污泥脱水的目的是降低污泥含水率,脱水过程必须考虑密封和气体处理。 ②污泥脱水宜采用离心脱水机,在离心分离前一般采用有机或无机药剂进行化学调质。 ③脱水后的污泥应密封封装、运输

## ② 污泥处理

污泥脱水后一般尚不能满足污泥处置的泥质要求,需要进行进一步处理,以实现污泥的稳定化、减量化和无害化,这个环节称为“污泥处理”。

依据住建部2017年发布的《城镇污水处理厂污泥处理 稳定标准》(CJ/T 510—2017),污泥稳定是指“污泥通过生物、化学或物化处理,使处理产物达到不易腐败发臭、控制病原体等要求”。污泥稳定生物处理工艺包括厌氧消化、好氧发酵和好氧消化等;污泥稳定化学或物化处理方式包括热碱分解、石灰稳定、热干化和焚烧等。部分工艺的污泥病原体控制指标及限值见表4。

表4 污泥稳定化后的病原体控制指标及限值

Tab.4 Indicators and limits of pathogen control after sludge stabilization

污泥处理工艺	病原体控制指标	限值
厌氧消化	粪大肠菌群菌值	$>0.5 \times 10^{-6}$
好氧发酵	粪大肠菌群菌值	$>1.0 \times 10^{-2}$
好氧消化	粪大肠菌群菌值	$>1.0 \times 10^{-3}$
热碱分解	粪大肠菌群菌值	$>1.0 \times 10^{-3}$
石灰稳定	粪大肠菌群菌值	$>0.5 \times 10^{-6}$

以上工艺均可实现脱水污泥中的病原体控制与减量,需根据污泥处置方式进行选择和工艺设计。

对于仅有污泥脱水设施的污水处理厂,在疫情期间,可将石灰稳定法作为污泥的应急消毒处理方式。石灰稳定法的投产速度快,通过在脱水污泥中投加石灰,使温度和pH值升高,起到杀菌消毒的作用,尤其在pH值 $\geq 12$ 的情况下效果更为明显,从而保证污泥在后续运输和处置过程中的卫生安全性。

## ③ 污泥处置

根据《城镇污水处理厂污泥处置分类》(GB/T 23484—2009)的规定,污泥的处置方式包括:土地利用、污泥填埋、建材利用和污泥焚烧。

参考国家环保总局2004年发布的《医院污水处理技术指南》第六章“污泥、废气处理”中提到的“医院污泥必须按照医疗废物处理要求进行集中(焚烧)处置”,考虑到最大程度地杀灭病原体,避免病媒的接触和病毒的传播,对于具备条件的城市,COVID-19疫情期间的市政污泥的最终处置方式建议选择焚烧,例如污泥单独焚烧、燃煤电厂掺烧、水泥厂掺烧和垃圾电厂掺烧等方式。疫情期间污泥土地利用的,应避免污泥施用土地的作物进入食物链,并在污泥施用的土地上设立醒目标识,减少人的接触带来的暴露风险。

## 3 发达国家的经验借鉴

### 3.1 美国

美国环境保护署(EPA)曾于2003年组织编写了一份基于503法案的关于污泥中病原体和病媒控制的研究报告,其要点摘录如下:

#### ① 污泥中的病原体

病原体是一种有机体或物质,能够引起疾病。病原体通过几种不同的途径感染人类,途径包括摄入、吸入和皮肤接触。人类四大病原体(细菌、病毒、原生动物和蠕虫)都可能存在于污水和污泥中,不同的污水和污泥中的病原体种类的数量有很大的不同。

#### ② 病原体通过污泥的传播途径

a. 直接接触:接触污水污泥;穿过一片刚施用污水污泥后不久的区域,比如田地、森林或填海区;处理来自于已施用污水污泥的田地的泥土;大风、犁地或者耕作土壤,使污水污泥通过气溶胶或灰尘扩散,并通过呼吸道进入人体。

b. 间接接触:食用在污水污泥改良土壤上种植的受病原体污染的作物;食用受病原体污染的牛奶或其他食物,这些食物来自于受污水污泥改良田种

植的饲料污染的动物;摄入受污染的饮用水或娱乐用水,污染原因是从施用污水污泥的土地中渗透到地下水含水层,或者通过流过的地表径流转移;生吃或者食用未煮熟且受污泥施用场地污染的水体中获取的鱼类;通过啮齿动物、昆虫或者其他媒介接触到污泥中的病原体。

### ③ 污泥中病原体的控制

污泥中病原体和病媒的常用控制方式见表5。

表5 控制污水污泥中病原体和病媒的常用方法

Tab.5 Common methods for controlling pathogens and vectors in sewage sludge

方法	效果	对应工艺
高温(通过化学、生物或者物理过程产生高温)	取决于温度和时间。足够长的时间保持足够的温度可以将细菌、病毒、原生动物和蠕虫卵减小到可检测水平以下。其中蠕虫卵对高温的抵抗力最强	①堆肥(利用生物过程产生热量);②热干化(利用物理过程生成热量,如热气直接加热或间接加热);③巴氏杀菌(物理热);④好氧消化(生物热);⑤厌氧消化(物理热)
辐射	取决于剂量。足够的剂量将细菌、病毒、原生动物和蠕虫卵减小到可检测水平以下。病毒对辐射的抵抗力最强	伽马射线或者高能电子束辐射
化学消毒剂	大大减少细菌和病毒,以及病媒的接触可能。可能会减少原生动物,但不能有效减少蠕虫卵,除非与热法共同作用	石灰稳定
降低污泥中的挥发性有机物含量(微生物食物来源)	减少细菌,以及对病媒的吸引	好氧消化、厌氧消化、好氧堆肥
去除污泥中的水分	减少病毒和细菌。只要污泥保持干燥,就能减少对病媒的吸引。可能对消灭原生动物有效,需与热法相结合才能有效减少蠕虫卵	空气干化或者热干化

## 3.2 欧盟

欧盟在2001年发布了一份关于污泥中病原体减量的研究报告,分析了不同来源的污泥中的病原体,包括市政污泥、化粪池残渣、肉类加工业、制革废

水、蔬菜加工和造纸废水,提出了影响污泥中病原体数量的主要因素有:温度、含水率、pH值和停留时间,并总结了降低污泥中病原体数量的主要方式和参数控制,如表6所示。

表6 污水污泥减少病原体的方法概述

Tab.6 Overview of methods for reducing pathogens in sewage sludge

工 艺	参 数
条垛式堆肥	污泥和辅料混合后使温度达到 55 ℃ 以上,堆肥至少 4 h 为一个工作批次,每个批次完成后翻抛一次,完成 3 个批次后,通过一段熟化期以完成堆肥过程
槽式堆肥	每一批污泥应至少在 40 ℃ 下堆肥 5 d 以上,这期间至少要使温度在 55 ℃ 的时间超过 4 h,随后通过一段熟化期以完成堆肥过程
热干化	污泥加热到温度超过 80 ℃ 后停留 10 min 以上,含水率下降到 10% 以下
高温消化(好氧或者厌氧)	污泥温度应至少达到 55 ℃,进料和出料的时间间隔至少要 4 h
热法处理后接污泥消化	在 70 ℃ 下至少停留 30 min,然后立即在 35 ℃ 下进行中温厌氧消化,平均停留时间为 12 d
生石灰处理	污泥和生石灰充分混合后使 pH 值上升到 12 以上,并使温度达到 55 ℃ 以上至少 2 h

## 4 暴露风险防范

在疫情防控期间,需要降低与病原菌的接触机会,降低感染风险。2020年2月1日,生态环境部发出了《新型冠状病毒污染的医疗污水应急处理技术方案》,其中提及“应尽量避免进行与人体暴露的污泥脱水处理,尽可能采用离心脱水装置”。

根据国家环保总局2004年发布的《医院污水处理技术指南》第六章的6.1.3章节——污泥消毒中提到的“污泥脱水的目的是降低污泥含水率,脱水过程必须考虑密封和气体处理。脱水后的污泥应密封封装、运输”。

以上标准是针对医疗污水处理产生的污泥,在COVID-19疫情期间,建议市政污泥可参照此标准执行。除此以外,对于污泥处理处置的工作人员,需要做好个人防护。根据《新型冠状病毒肺炎暴露风险防范手册:环保相关从业人员》<sup>[4]</sup>,污水和污泥处理工作人员应按照如下规程进行个人防护:

① 工作前。工作人员开始工作前要准备好医用外科口罩、丁腈等材质的防水手套、工作服、护目镜、安全帽等防护用品,做好体温测量和记录。作业区及各处理单元的厂房、设备机房配备消毒用品。

有需要记录登记内容的工作人员自备个人办公用品。

② 工作中。使用工具检修、操作时要佩戴医用外科口罩、手套、护目镜,必要时戴防护面罩,使用前后对工具进行清洁消毒;口罩脏污、变形、损坏、有异味时需及时更换。当需要检修的部位要求与污泥直接接触时,建议工作人员可以内层佩戴丁腈手套,外层佩戴厚橡胶手套,检修结束后要立即洗手,对检修工具及其他防护用具进行消毒。作业结束之后尽量进行全面清洁,及时更换被污染的外衣等。

③ 工作后。工作完成要测量体温并做好记录,脱下防护用具后放到单独的收集位置。口罩等一次性防护用具收集后集中处理,重复使用的防护用品必须做消毒处理并风干后才可再次使用。

## 5 总结与思考

国内的城镇污水处理一向是重水轻泥,这也体现在国内研究城镇污泥病原体控制的学者和文献较少上。此外,与市政供排水消毒相关的政策和标准对污泥方面的论述和关注也较少,约束较为宽泛。因此,此次疫情是反思污泥处理处置中的病原体控制的契机。基于以上的论述,提出以下总结和思考:

① 污泥由于富含营养物质,是病原体的良好培养基,且污泥是重要的暴露风险点,应给予充分重视,并开展市政污泥中减少病原体方法的相关研究。

② 污泥中存在大量的病原体,但在目前执行的泥质标准中,均无明确的病原体指标和限值要求。建议在现有指标的基础上,补充一些危险性较大的典型病原体的限值和检测方式。

③ SARS-CoV-2 是包膜病毒,这意味着它们是最容易被消毒剂杀死的病毒之一。在疫情期间,作为源头控制,在污泥含水率较高、仍处于液体状态的污泥贮池中投加消毒剂并搅拌是重要且有效的杀灭污泥中 SARS-CoV-2 病毒的措施。

④ 考虑到病原体的扩散,污泥的处理处置应减少暴露风险,尽量选用密闭的输送和处理设施,如离心脱水机等。

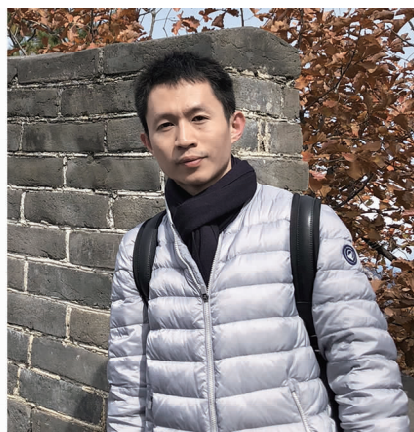
⑤ 根据国内外的经验,减少污泥中病原体的处理工艺可选用好氧发酵、厌氧消化、石灰稳定、热干化、射线辐射等。

⑥ 考虑到最大程度杀灭病原体,避免病媒的接触和病毒的传播,对于具备条件的城市,疫情期间的市政污泥最终处置方式应尽量选择焚烧,建议采

用污泥单独焚烧、燃煤电厂掺烧、水泥厂掺烧和垃圾电厂掺烧的方式,对于疫情期间的污泥土地利用,应避免进入食物链,并在污泥施用的区域设立醒目标识,减少暴露风险。对于污泥无害化处置能力不足的区域,应推进污泥合规处置出路的工作。

## 参考文献:

- [1] 王新为,李劲松,金敏甄,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 Minzhen, et al. Study on resistance of SARS-coronavirus [J]. Journal of Environment and Health, 2004, 21(2): 67-71 (in Chinese).
- [2] Wigginton K R, Ye Y, Ellenberg R M. Emerging investigators series: The source and fate of pandemic viruses in the urban water cycle[J]. Environ Sci: Water Res Technol, 2015, 1(6): 735-746.
- [3] Ye Y, Ellenberg R M, Graham K E, et al. Survivability, partitioning, and recovery of enveloped viruses in untreated municipal wastewater [J]. Environ Sci Technol, 2016, 50(10): 5077-5085.
- [4] 段小丽,赵晓丽. 新型冠状病毒肺炎暴露风险防范手册:环保相关从业人员[M]. 北京:中国环境出版社, 2020.  
Duan Xiaoli, Zhao Xiaoli. Environmental Protection Personnel Manual for Prevention of Risk of Novel Coronavirus Pneumonia Exposure [M]. Beijing: China Environment Press, 2020 (in Chinese).



作者简介:颜莹莹(1982-),男,福建泉州人,硕士,技术总监,从事污泥处理工程设计及研究工作。

E-mail: yanyingying@capitalwater.cn

收稿日期:2020-02-12