

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.18.002

武汉市主城区污水厂污泥处理处置现状及展望

李 尔, 曾祥英

(武汉市市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430015)

摘 要: 首先分析了武汉市主城区污水厂污水处理规模和处理工艺、污泥泥质泥量、污泥处理工艺、污泥处置方式和污泥处理处置运营管理模式等方面的现状,总结了近年来武汉市主城区污水厂污水处理及污泥处理处置的发展情况。在此基础上,结合武汉市的特点,对未来武汉市主城区污水厂污泥泥量泥质、处理处置方式及运行管理模式等方面进行了展望,并认为武汉市主城区污水厂未来仍会继续坚持污泥处理技术和处置方式多元化的技术路线,同时也会尝试建立污泥处理处置一体化运营管理模式,以提升污泥处理处置效能和降低污泥处理处置成本。

关键词: 污水厂; 污泥处理处置; 一体化运营管理; 现状; 展望

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)18-0008-06

Current Situation and Prospect of Sludge Treatment and Disposal of WWTPs in the Main Urban Area of Wuhan

LI Er, ZENG Xiang-ying

(Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430015, China)

Abstract: Firstly, we analyzed the current situation of sewage treatment scale and process, sludge volume and sludge quality, sludge treatment process, sludge disposal and their operation and management mode of the WWTPs in the main urban area of Wuhan. The development of the sewage treatment and sludge treatment as well as the disposal of the WWTPs in the main urban area of Wuhan in recent years is then summarized. On this basis, considering the characteristics of Wuhan, the future situation of sludge volume and sludge quality, sludge treatment and disposal methods, sludge operation and management mode of the WWTPs in the urban area of Wuhan is prospected. The research shows the diversified process route of sludge treatment and disposal should be continued, and the integrated operation mode of the whole process of sludge treatment and disposal should be established in order to improve the efficiency of sludge treatment and disposal and reduce its cost.

Key words: WWTPs; sludge treatment and disposal; integrated operation; current situation; prospect

1 武汉市主城区污水厂污泥处理处置现状

1.1 污水处理现状

武汉市主城区现有 12 座污水处理厂,现状

(2018 年)和规划(2035 年)总污水设计处理规模分别为 $279.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $514 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,各污水厂基本情况见表 1。

基金项目: 武汉市“黄鹤英才(专项)计划”资助项目; 亚行贷款武汉市城市环境改善项目(2647-PRC)

表 1 武汉市主城区污水处理厂

Tab.1 Information of the WWTP in the main urban area of Wuhan

项 目		现状设计 规模/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	现状实际 平均处理量/ (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	规划规模 (2035 年)/ (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	现状主要处理工艺	现状出水标准
汉口区	三金潭厂	50	47.5	50	A ² O + MBR	一级 A
	汉西厂	60	57	110	A ² O + 高效沉淀池 + 机械精密滤池	一级 A
	黄浦路厂	10	9.5	16	曝气生物滤池	一级 A
汉阳区	南太子湖厂	35	33.3	55	一、二期(20×10 ⁴ m ³ /d):改良型氧化沟 + 高效沉淀池 + 精密过滤池;三期(20×10 ⁴ m ³ /d):曝气生物滤池	一级 A
	沌口厂	12	11	18	SBR + 高效沉淀池 + 气水反冲洗过滤池	一级 A
	黄金口厂	1.5	1.3	5	STCC	一级 A
武昌区	落步嘴厂	12	11.4	150	改良型氧化沟	一级 B
	二郎庙厂	24	22.8		A ² O	一级 B
	沙湖厂	15	14.3		A ² O	一级 B
	龙王嘴厂	30	28.5	30	A ² O + D 型滤池	一级 A
	黄家湖厂	20	19.0	60	改良型氧化沟 + 机械精密滤池	一级 A
	汤逊湖厂	10	9.5	20	A ² O + 高效沉淀池 + 机械精密滤池	一级 A
注: 二郎庙、沙湖、落步嘴等三座现状污水厂将整体搬迁建成北湖污水厂(近期 80×10 ⁴ m ³ /d,规划 150×10 ⁴ m ³ /d)。						

1.2 污泥处理处置现状

1.2.1 污泥处理现状

目前武汉市主城区污水厂共有三金潭、龙王嘴、南太子湖、陈家冲、汉西等 5 个污泥深度处理项目,总设计规模 2 000 t/d(污泥含水率 80%),2018 年

实际处理规模 1 479.7 t/d(污泥含水率 80%),具体见表 2。其中,采用板框脱水、热处理、好氧发酵等工艺的设计规模分别占总设计规模的 66%、10.4%、23.6%,因此目前武汉市主城区的污泥以板框脱水处理为主。

表 2 武汉市主城区污水处理厂现状污泥量情况

Tab.2 Current sludge yield of the WWTP in the main urban area of Wuhan

项 目		现状平均产泥量/ (t·d ⁻¹)	现状平均产泥率/ (t·10 ⁴ m ⁻³ 污水)	污泥处理项目		
				项目名称	处理工艺	设计规模/ (t·d ⁻¹)
汉 口 区	三金潭厂	275.5	5.8	三金潭污泥 处理项目	低温真空热板框	100
					板框脱水	400
	黄浦路厂	54.2	5.7	陈家冲污泥处理项目	好氧发酵	175
	汉西厂	270	4.7	汉西污泥处理项目	好氧发酵	325
汉 阳 区	南太子湖厂	203.1	6.1	南太子湖污泥 处理项目	板框脱水	300
	沌口厂	61	5.5			
	黄金口厂	7.5	5.8			
武 昌 区	落步嘴厂	62.7	5.5	厂内处理	离心脱水	
	二郎庙厂	136.8	6.0	厂内处理	离心脱水	
	沙湖厂	74.4	5.2	厂内处理	带式脱水	
	龙王嘴厂	179.6	6.3	龙王嘴污泥 处理项目	板框脱水	700
	黄家湖厂	98.8	5.2			
	汤逊湖厂	56.1	5.9			
注： 因二郎庙、沙湖、落步嘴等三座污水厂即将整体搬迁,为避免重复投资未专门建设污泥处理项目,污泥通过厂内离心或带式脱水后送至武汉市青山区某掺合料生产公司进行处置。						

1.2.2 污泥处置现状

武汉市目前主要的污泥处置(消纳)方式如下:

① 建材利用

a. 污泥经板框脱水处理后送至黄石市某水泥公

司阳新县分公司水泥窑进行混烧。该水泥窑生产规模12 000 t/d,湿污泥(含水率30%)掺烧比例为10%,目前龙王嘴、南太子湖和三金潭等污泥项目处理后的绝大部分污泥采用该方式进行消纳。

b. 污泥经常规机械脱水后直接送至武汉市青山区某掺合料生产公司,与炉渣粉掺混烘干后拌混辊压制备再生活性矿物掺合料。该公司生产能力为2 800 t/d,湿污泥(含水率80%)掺混比例为25%。目前二郎庙、沙湖、落步嘴等厂的污泥经过离心或带式脱水处理后采用该方式进行消纳。

② 土地利用

a. 污泥经好氧发酵后送至武汉市远城区及鄂州市、孝感市等市区用于园林绿化肥料和花卉苗木营养土,可消纳量约100 t/d(污泥含水率40%)。目前,汉西和陈家冲污泥处理项目处理后的污泥均采用该方式进行消纳。

b. 污泥经板框脱水处理后送至武汉市化工新城和花山新城等区域作为城市广场和景观绿化用土。该部分消纳量具有一定的随机性,根据2015年—2018年的相关统计,该消纳方式年均可消纳湿污泥(含水率40%)约50 000 t,即日均可消耗量约137 t湿污泥(含水率40%)。目前,龙王嘴、南太子湖和三金潭等污泥项目处理后的少部分污泥采用该方式进行消纳。

③ 混合填埋

污泥混合填埋不是武汉市污泥的主要消纳方式,仅作为应急备用消纳。目前武汉市主要有长山口和陈家冲2座垃圾填埋场,其填埋能力都为2 000 t/d,按最大混合填埋比8%测算,则2座填埋场最多可消纳污泥320 t/d(含水率60%),但实际上仅有极少量的污泥采用该方式消纳。

总体而言,武汉市主城区污水厂污泥处置以建材利用为主,土地利用为辅,实现了部分资源化。

1.3 泥量泥质现状

① 现状产泥量

由表2可知,各污水厂平均产泥率为4.7~6.3 t/10⁴ m³污水(含水率80%),与国内类似处理工艺与出水标准的污水厂相比,总体产泥率不高。

② 现状泥质

根据2018年对各污水厂污泥泥质的取样检测结果,各污水厂污泥泥质基本情况如下:a. 有机质含量及热值不高。各污水厂污泥干基中有机质平均含

量为23.55%~38.36%,干基热值平均为6 596~9 459 kJ/kg,各污水厂污泥干基中的有机质含量和热值较低,故只可作为辅料进行混合焚烧而不能单独焚烧^[1-2]。b. 重金属含量相对较低。各污水厂污泥干基中总镉、总汞、总铅、总锌的平均含量分别为1.68~4.23、0.29~0.72、41.42~69.76、329~850 mg/kg,对照相关污泥土地利用的标准,各污水厂污泥中重金属含量普遍较低,可用作园林绿化肥料和花卉营养土等。c. 污泥肥效相对较高。各污水厂污泥干基中总氮+总磷+总钾的平均含量为41.9~61.0 g/kg,因此各污水厂污泥总体肥分较高,可用作园林绿化肥料和花卉营养土等。

1.4 污泥处理处置运营模式现状

目前,武汉市主城区污水厂污泥处理项目和处置项目分开独立运营,即处理运营单位只负责污泥处理,处置运营单位只负责污泥消纳,处理运营单位将污泥处理后运送至处置单位进行消纳并交纳消纳费。该模式存在的主要问题是污泥处理受处置制约较大,处置单位对所消纳污泥泥质的要求往往偏高甚至高于相关国家标准要求,且所消纳的污泥量受处置单位自身生产情况变化的影响,常出现波动。

2 武汉市污水厂污泥处理处置发展情况

2.1 污水污泥处理处置发展情况

① 污水处理

武汉市主城区污水厂建设经历了以下几个阶段:a. 污水厂从无到有阶段(20世纪80年代—2008年),先后建成了包括沙湖污水厂(一期)、二郎庙污水厂(一期)等12座主城区污水厂,武汉市主城区污水处理设施初步建立,但污水处理等级普遍不高,多以一级处理为主,相应的出水标准多为二级标准;b. 全面提升至一级B阶段(2009年—2012年),建成包括二郎庙污水厂(二期)、南太子湖污水厂(二期)等一批污水厂的提标扩建项目,主要是将各污水厂的处理等级全部提升至二级处理,出水标准全部提升为一级B,同时对部分污水厂进行了扩建;c. 全面提升至一级A阶段(2013年—2018年),建成了包括三金潭污水厂(二期)、龙王嘴污水厂(二期)等项目。因环保要求的提高和污水处理量需求的增加,武汉市再次对各污水厂(除计划搬迁的二郎庙、沙湖、落步嘴等污水厂外)进行了全面升级和扩建,将各污水厂的处理等级由二级处理提升至三级处理,出水标准提升至一级A,同时再次对部分污水厂

进行扩建。

② 污泥处理

近10年(2009年—2018年),武汉市污泥处理方式由单一常规机械脱水(离心或带式脱水)逐渐发展为包括常规机械脱水、板框深度脱水、好氧发酵、热处理等多种工艺并存(见图1),其中板框脱水处理工艺渐渐占据主导,而离心和板框脱水等常规机械脱水工艺占比逐年减少。总体而言,污泥处理水平逐渐提升,处理工艺由单一化向多元化发展。

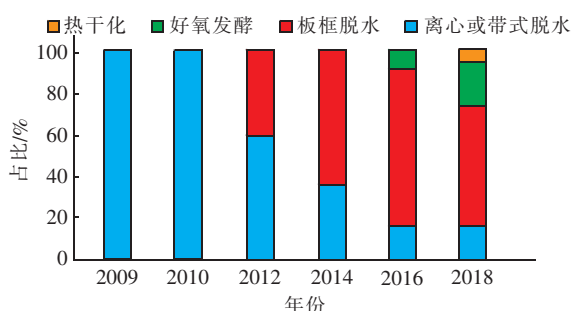


图1 近10年武汉市主城区不同污泥处理工艺设计规模占比

Fig.1 Proportion of design scale for different sludge treatment technologies of WWTPs in the main urban area of Wuhan in recent ten years

③ 污泥处置

近10年(2009年—2018年),武汉市污泥处置方式由单一化向多元化转变(见图2),由2010年之前的简单填埋消纳渐渐发展为包括填埋、建材利用、土地利用等多种方式并存的模式,这使得污泥消纳体系的稳定性和抗风险性大为提高;同时采用以建材利用、土地利用等为主的污泥处置方式,充分利用了污泥中的肥效和有机质等,实现了污泥的资源化。

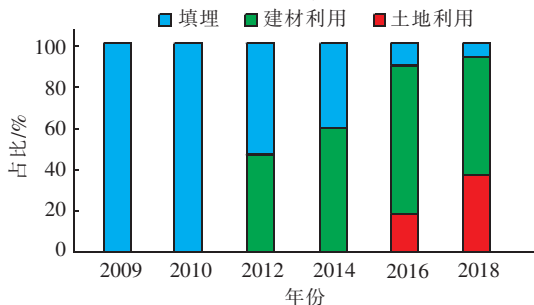


图2 近10年武汉市主城区不同污泥处置方式消纳泥量占比

Fig.2 Proportion of the treatment volume of different sludge disposal modes of WWTPs in the main urban area of Wuhan in recent ten years

2.2 泥量泥质发展情况

① 泥量

近10年(2009年—2018年),随着污水处理量的不断增加,污泥量增加较为明显。随着污水处理等级的不断提升,相应的污水总体平均产泥率也由约 $4\text{ t}/10^4\text{ m}^3$ 污水(湿污泥含水率80%)逐渐提升至约 $5.6\text{ t}/10^4\text{ m}^3$ 污水(含水率80%),提升明显。

② 泥质

近几年,随着武汉市雨污分流、管网混错接改造及隐患管网修复等工作的持续推进,污水厂进水水质以及污泥泥质的相关指标浓度都在稳步增加。以汉口区三金潭污水厂、汉阳区南太子湖污水厂和武昌区沙湖污水厂等三座典型污水厂为例,2009年—2018年3座污水厂污泥有机质含量和热值分别增加了13.4%、25.3%、22.5%和11.7%、21.4%、20.6%(见图3),总体上呈上升趋势。

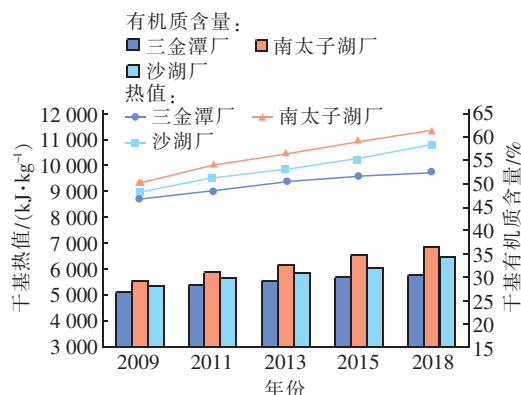


图3 三金潭、南太子湖和沙湖污水厂污泥干基热值和有机质含量

Fig.3 Calorific value and organic matter content of the dry sludge in Sanjintan, Nantaizihu and Shahu WWTP

2.3 污泥处理处置运行模式发展特点

经过多年的发展,武汉市主城区污水厂污泥处理和处置分开独立运营的模式一直未有实质的改变,污泥处理和处置生产之间的协同性较差,这就导致多年来污泥处理处置总体效率偏低,综合运营成本偏高,因此这种运营模式已成为制约武汉市污泥处理处置运行和管理水平的主要因素。

3 武汉市主城区污水厂污泥处理处置展望

3.1 污泥泥量泥质的展望

根据表1可知,2035年武汉市各污水厂规划的总处理规模较2018年将增加 $234.5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,增幅达到83.9%,按照近10年武汉市主城区污水厂

污泥产泥率的变化情况和泥质特点,考虑到未来污水处理升级的趋势,参考国内相关城市的经验,预计2035年武汉市污水厂污泥产泥率至少会逐步提升至 $8 \sim 12 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$ 污水(污泥含水率80%),因此,2035年武汉市主城区污水厂污泥量可达 $4\,112 \sim 6\,168 \text{ t/d}$ (污泥含水率80%),泥量较2018年将增加 $2\,632.3 \sim 4\,688.3 \text{ t/d}$,增幅预计达到177.9%~316.8%。而不少污水厂项目实际的建设步伐比规划更快,加之排水管网提质增效工作的持续推进及排水标准的提高,武汉市各污水厂进水水质浓度明显提升,相应的污水厂出水标准也在持续不断提高。这些都将导致污泥泥质水平的进一步增加,因此武汉市主城区污水厂污泥泥量和泥质在未来较长的时间内仍将持续提高,相应的污泥处理处置项目必须与之相适应。

3.2 污泥处理处置展望

3.2.1 污泥处理处置规划布局

根据武汉市污泥处理处置规划,武汉市污水厂污泥拟采用分散与集中相结合的处理处置方式,各污水厂优先利用厂内用地对污泥进行分散处理处置;在汉口陈家冲(好氧发酵处理+土地利用,规模 $2\,280 \text{ t/d}$)、武昌长山口[热干化+混烧(与垃圾),规模 $1\,200 \text{ t/d}$,污泥含水率80%]、汉阳千子山(混合填埋,规模 990 t/d ,污泥含水率80%),各规划1座集中污泥处理处置基地(见图4),以解决分散处理设施处理以外的污泥。

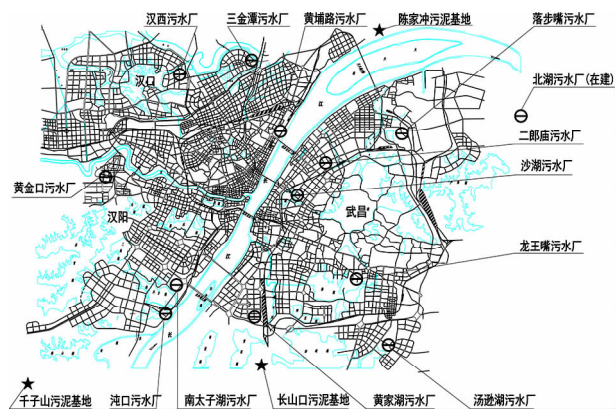


图4 武汉市规划污泥处理处置基地及主城区污水厂分布

Fig. 4 Distribution of planned sludge treatment and disposal projects and the WWTPs in the main urban area of Wuhan

目前各基地都已进入前期研究或建设阶段。鉴于各污水厂与相应基地的输送距离较远,各污水厂污泥未来较长时间内仍会优先以分散处理处置或者

区域小集中处理处置为主,如条件受限才会选择进入各集中污泥处理处置基地进行处理处置。

3.2.2 污泥处理发展趋势展望

通过与运营单位的多次交流和沟通,结合多年来污泥处理发展特点,对武汉市主城区污水厂污泥处理发展趋势展望如下:

① 以板框脱水为主,探索多元化处理路线

通过多年实践和总结分析,板框脱水工艺仍是未来武汉市污泥处理的首选工艺,通过该工艺先将污泥含水率降至60%左右,在此基础上污泥既可直接进行消纳,也可进一步进行深度处理。另外,热处理工艺因其具有减量化程度较高、出泥泥质较稳定等特点,一直以来都备受武汉市污泥处理运营单位的关注,受项目周边的热源条件和处理成本限制,过去10年采用该工艺的项目在武汉市的应用规模并不大,但随着武汉市对污泥热处理项目运行经验的积累,结合武汉市对热电联产、垃圾焚烧等相关热源项目整体布局的调整,武汉市污泥热处理项目的数量和规模必将会进一步扩大。

② 优化污泥处理工艺以满足后续消纳要求

武汉市污泥处理运营单位一直致力于污泥处理工艺优化运行的探索,通过优化药剂投加种类或能源消耗量,提高处理效果,以满足相关消纳的需求。在板框脱水方面,为消除生石灰对污泥后续处置的不利影响,相关污泥处理运营单位已尝试采用多种新型复合絮凝剂替代生石灰,同时在优化板框脱水工作压力、进泥卸泥方式等方面进行了大量研究;在热处理工艺方面,相关污泥处理运营单位根据武汉市污泥泥质特点,对降低污泥水分蒸发沸点、提高换热系统效率等方面进行了相关研究,通过这些措施尽可能降低污泥含水率以满足处置单位对泥质的要求,目前这些研究成果已具备工程化应用的条件,未来将全面应用于热处理项目运行中。

3.2.3 污泥处置发展趋势展望

① 建材利用为主,拓展多种消纳途径

根据过去10年的运行经验,污泥进入石灰窑混烧无论从经济性还是资源化的角度来看,仍是未来较长一段时间内武汉市污泥的主要消纳方式,通过对目前的主要处置单位黄石市某水泥公司产能的调研,了解到该公司位于武汉周边的黄石、阳新、大冶、赤壁、武穴等县市分公司水泥窑总生产规模达到 $40\,300 \text{ t/d}$,按湿污泥(含水率30%)掺烧比例10%

考虑,共可处理 4 030 t/d(相当于含水率 80% 的污泥 14 105 t/d),这些水泥窑目前已分别接收龙王嘴、南太子湖污泥项目以及黄石、武穴和赤壁等市污水厂的污泥共计约 1 200 t/d(含水率 80%),故还有 12 905 t/d(含水率 80%)的富余消纳量,能满足武汉市未来较长时间内的污泥处置需求。另外,考虑到该公司作为单一处置单位的风险,武汉市也在积极寻找新的水泥混烧处置单位进行污泥消纳,如位于武汉市阳逻新区的某水泥企业,其水泥窑生产规模为 6 000 t/d,按湿污泥(含水率 30%)掺烧比例为 10% 考虑,可消纳污泥量 600 t/d(相当于含水率 80% 的湿污泥 2 100 t/d)。另外,考虑到未来水泥建材行业可能面临的问题,除水泥窑混烧外,武汉市也正积极考虑其他消纳路线,除污泥进入武汉市青山区某掺合料生产公司制取再生活性矿物掺合料外,也在尝试将污泥送至电厂煤炉进行混烧发电,如北湖污水厂的污泥拟进入武钢某电厂煤炉进行混烧,该电厂烧煤量约 3 000 t/d,按湿污泥(含水率 20%)掺烧比例 5% 考虑,可消纳污泥量 150 t/d(相当于含水率 80% 湿污泥 600 t/d)。

② 土地利用为辅,处置规模逐渐减小

经过多年实践,土地利用作为武汉市污泥处置方式越来越受限,主要原因如下:a. 施种范围及施种量有限。出于对污泥泥质的担忧,相关污泥处置单位对污水厂污泥土地利用的接收度越来越差,即使不施种于水果和蔬菜等进入食物链的消纳途径,而只是用于园林绿化肥料和花卉苗木营养土,也越来越不愿意接收,而场平填方消纳具有不稳定性且随着武汉化工新城和花山新城等新区的初步建成,其场平填方需求量大为减少。b. 部分污染物会累积,影响污泥施种。由于污泥中的重金属很难在前期的处理中予以去除,因此其连续施种于土壤中会造成重金属的累积,影响土壤质量和持续使用。

③ 混合填埋为保底,予以长期保留

将进入垃圾场混合填埋作为污泥的应急消纳方式,当其他消纳方式受限时,可作为保底消纳方式,因此从消纳系统安全性的角度而言,该方式必须予以长期保留。

3.3 运行管理模式的发展趋势

针对近年污泥处理处置运营模式存在的问题,

武汉市正积极研究相关对策和措施,污泥处理处置一体化运营是必然趋势,打通污泥处理处置上下游生产全过程产业链,建立基于泥质泥量全程控制的污泥处理处置高效耦合生产管理新模式,是未来武汉市污泥处理处置的发展方向。目前相关单位已展开相关试点工作,如北湖污水处理厂污泥处理的主要运营单位武汉市排水公司已初步与污泥处置单位武钢某电厂(污泥进该电厂煤炉混烧)达成协议,成立污泥处理处置联合运营公司对北湖污水厂污泥处理处置全过程实施一体化运营管理,以提升污泥处理处置总体效率,并降低相关成本。

4 结语

通过对武汉市污泥处理处置现状及近些年发展规律的分析,武汉市在污泥处理方面会继续坚持以板框脱水为主、其他多种处理工艺并存的多元化技术路线,同时加强污泥热处理项目的应用实践;在污泥处置方面会继续坚持以水泥窑混烧为主、其他多种处置方式并存的多元化技术路线,同时开拓新的污泥处置方式;在此基础上尝试建立污泥处理处置一体化运营模式,以提升污泥处理处置总体运行效率,降低综合处理成本。

参考文献:

- [1] 张辰,王国华,孙晓. 污泥处理处置技术与工程实例[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
ZHANG Chen, WANG Guohua, SUN Xiao. Sludge Treatment and Disposal Technology and Engineering Examples[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006 (in Chinese).
- [2] 张辰,张善发,王国华. 污泥处理处置技术研究进展[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
ZHANG Chen, ZHANG Shanfa, WANG Guohua. Research Progress of Sludge Treatment and Disposal Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005 (in Chinese).

作者简介:李尔(1979—),男,湖北武汉人,博士,正高级工程师,主要从事污泥处理处置工程设计、水处理及水环境整治工程设计等工作。

E-mail:whwater2008@163.com

收稿日期:2019-11-05

修回日期:2019-12-26

(编辑:丁彩娟)