

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.22.006

北京市污泥处理处置现状总结分析

李雪怡¹, 梁 远¹, 方小锋², 王 侨¹, 颜莹莹¹, 张少博¹, 李义烁¹,
刘艳艳¹

(1. 北京首创污泥处置技术有限公司, 北京 100044; 2. 北京首创生态环保集团股份有限公司, 北京 100044)

摘 要: 结合北京市污水处理情况, 调研了北京市污泥处理工艺、规模及处理处置现状。目前北京市建设的污泥处理项目基本满足全市污水厂产生污泥的处理需求, 也达到了“十三五”生态环境保护规划的要求; 北京市污泥处理方式中心城区以厌氧消化为主, 周边区域以好氧发酵为主、其他多种工艺为辅; 处置方式以土地利用为主、建材利用为辅。通过对当前北京市污泥处理处置现状分析, 结合国内外污泥处理处置情况以及国内主流污泥处理处置工艺路线特点及适用情况分析, 对北京市污泥处理路线与国家相关指引技术指南的匹配度、工艺应用普及推广可能性进行分析, 并对北京市污泥的处理能力、处理成本及处置出路情况进行了分析总结, 以期为我国其他城市污泥处理处置工艺的选择提供一定的参考和借鉴。

关键词: 污泥处理处置; 污泥处理工艺分析; 污泥处置工艺路线

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)22-0038-05

Summarization and Analysis of Sludge Treatment and Disposal in Beijing

LI Xue-yi¹, LIANG Yuan¹, FANG Xiao-feng², WANG Qiao¹, YAN Ying-ying¹,
ZHANG Shao-bo¹, LI Yi-shuo¹, LIU Yan-yan¹

(1. Beijing Capital Sludge Disposal Co. Ltd., Beijing 100044, China; 2. Beijing Capital
Eco-Pro Group Co. Ltd., Beijing 100044, China)

Abstract: The situations of sewage sludge treatment in Beijing including the technologies, the scales and state-of-the-art in this field were investigated, combined with the sewage treatment situation. The sludge treatment projects in Beijing basically met the treatment needs of sludge from municipal sewage plants among the whole city, which also fit the requirements of the “13th-five Year Plan” ecological environmental protection plan. Anaerobic digestion was the main sludge treatment in the central urban area of Beijing. Meanwhile, in the surrounding area of Beijing, the sludge was mainly treated by aerobic fermentation, which may be assisted by other processes. The disposal is mainly processed by land utilization, and the use of construction materials could also be a solution. This paper analyzes the current situations of sludge treatment and disposal in Beijing, the situations of sludge treatment and disposal at home and abroad, and the characteristics of domestic mainstream sludge treatment and disposal process. We also analyzed the matching degree between the sludge treatment route

in Beijing and the relevant national technical guidelines, and the possibility of popularization and promotion of process application. Furthermore, this work analyzes and summarizes the sludge treatment capacity, treatment cost and disposal outlet in Beijing. This work could provide a certain reference for other cities on the selection of sludge treatment and disposal strategies in China.

Key words: sludge treatment and disposal; sludge treatment technology analysis; sludge disposal route

“十三五”生态环境保护规划提出,大力推进污泥稳定化、无害化和资源化处理处置,地级及以上城市污泥无害化处理处置率达到 90%,京津冀区域达到 95%^[1]。国家层面政策法规的加码大大驱动了污泥处理处置的资源化与无害化进程,相关技术与设备也得到了快速发展。北京作为国内超大一线城市,其污泥处理处置技术和装备的选用对国内其他城市具有一定影响,因此,通过查阅文献资料^[2-3]并结合实地调研情况,对当前北京市污泥处理处置现

状进行了总结和分析,以期为其他地区污泥处理处置提供参考。

1 北京市污泥处理处置现状分析

污泥处理是指对污泥进行减量化、稳定化和无害化的过程,包括浓缩、脱水、干化、厌氧消化、好氧发酵等;污泥处置是将处理后的污泥进行土地利用、填埋、焚烧以及建材利用等的最终消纳方式^[4]。北京市各区域污泥及部分有机固废处理设施信息如表 1 所示。

表 1 北京市各区域污泥处理项目情况

Tab.1 Sludge treatment projects in different districts of Beijing

区域	处理项目	处理工艺	设计规模/ (t·d ⁻¹)	运行费用/ (元·t ⁻¹)	运营方式
中心城区	高安屯污泥处理中心工程	污泥浓缩+预处理+ 高温热水解+厌氧 消化+板框脱水	1 836		BOT
	高碑店污泥处理中心		1 358		BOT
	槐房再生水厂泥区工程		1 220		BOT
	小红门污水处理厂泥区改造工程		900		BOT
	清河第二再生水厂泥区工程		814		BOT
房山区	房山区污泥处置中心	好氧发酵	120	264	OM
通州区	通州区河东污泥处置厂	好氧发酵	100	288.06	OM
	通州区碧水污水处理厂污泥干化工程	低温除湿干化	200		BOT
	通州区有机质资源生态处理站	预处理+联合 厌氧+沼气发电	100(市政污泥) 200(餐厨垃圾) 300(城市粪便)	210	BOT
顺义区	顺义区污泥处置中心	热干化+焚烧	400		OM
昌平区	昌平区污泥处理分散设施项目 (沙河再生水厂)	板框脱水+发酵罐	200		OM
	南口污水处理中心污泥处理项目	湿式氧化	60		OM
大兴区	大兴区污泥处置中心	静态好氧发酵	200	261	OM
怀柔区	怀柔区污泥处理工程	干化+生活垃圾焚烧	300		BOT
平谷区	平谷区污泥无害化处理 PPP 项目	好氧发酵	100(近期) 285(远期)	200	OM
密云区	密云区污泥无害化处理 PPP 项目	热水解+厌氧消化	120(一期) 200(终期)	329.08	OM
延庆区	延庆区污泥处置厂	好氧发酵	130	268	OM
经济技术开发区	路南区污水处理厂污泥脱水项目	板框脱水+ 水泥窑协同焚烧	100		亦庄水务运营

注：运行费用为项目委托运营初期招投标网站公示结果。

基于北京市污水污泥处理排放及处理现状,对北京市污泥整体处理工艺、规模、出路、成本和资源

化利用方向进行初步分析。

1.1 处理工艺

由表 1 可看出,北京市中心城区污泥处理工艺因地制宜以热水解 + 厌氧消化为主,郊区以好氧发酵为主、其他多种工艺为辅,整体工艺路线符合《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)》的指引方向,结合泥质和技术,污泥优先考虑资源化利用,最终处置采用土地利用的技术路径。

表 2 2019 年北京市各区污水产泥情况

Tab. 2 Sludge yield situation in different districts of Beijing in 2019

$t \cdot d^{-1}$

项 目	中心城区	门头沟区	房山区	通州区	顺义区	昌平区	大兴区	怀柔区	平谷区	密云区	延庆区	经济技术开发区
最低日产泥量	4 841	51	246	272	227	330	201	83	78	54	47	158
最高日产泥量	5 586	61	295	326	273	396	241	100	94	65	57	190

北京市各区域的污泥处理厂设计规模大多高于该区的污泥排放量处理需求,各区建设污泥项目基本可满足对现有各区内污水厂产生污泥的收运处理,仅有少数区域无法满足需求,如房山区、经济技术开发区、门头沟区等,大兴污泥处理能力也即将接近满负荷。鉴于目前全市污泥处理能力还有一定的富余,短期内可通过市内区域间的合理调配,使污泥全部得到有效处理。为了保证污泥能长期高效稳定地得到处理,需求不足和接近满负荷的区域结合污水处理项目远期规划可考虑扩建二期工程。

总体来说,北京市污泥处理率目前基本达到 100%,实现了“十三五”规划中对京津冀区域污泥无害化处理处置率达到 95%^[1]的要求。

1.3 处理费用

北京市中心城区污泥热水解 + 厌氧消化处理设施由北京排水集团以 BOT 方式运营,其他区域的污泥处理处置多数由政府建设后委托社会资本运营,并以好氧发酵工艺为主。中心城区以外的项目对外公开招投标数据显示,好氧发酵工艺运行费用为 200 ~ 300 元/t,密云区的热水解 + 厌氧消化工艺运行费用为 329.08 元/t,而对于干化焚烧工艺运行费用无论是从国内其他运行案例还是理论上来看,基本都会高于以上两种工艺的处理成本。从郊区对外公开的数据显示,北京市污泥处理处置的补贴费用与全国同类工艺补贴水平基本相当,但是受北京作为首都的特殊地理位置及周边环境的限制,辅料成本、运输处置费用未来都会有上涨的可能;其次北京需要土地利用污泥项目较多,处置难度会有一定程度的增加;再加之个别项目实际泥量较少等因素的

1.2 处理规模

根据调查统计,随着《北京市加快污水处理和再生水利用设施建设三年行动方案(2013—2015 年)》工作开展后项目的陆续投入运营,北京市中心城区污水处理厂的产泥系数已提升至 0.13% ~ 0.15%,城郊污水处理厂产泥系数为 0.10% ~ 0.12%。2019 年北京市污水污泥(含水率为 80%)产量见表 2。

影响,运行费用未来会有超出通胀上涨的可能。

1.4 处置出路

根据北京市各区域污泥处理规模,对最终污泥处置量及方式进行统计,结果如表 3 所示,其中污泥处理量对应表 2 中最低和最高日产泥量。在不考虑脱水加药增加固相的前提下,通过理论计算北京市污泥土地利用的处置量达到 2 133 ~ 2 476 t/d,处置压力较大,其主要贡献来源于北京排水集团负责建设运营的中心城区厌氧消化后的污泥。近几年该消化污泥通过《污泥资源化苗圃种植项目》《北京市污泥产品资源化林地利用试点项目》《怀柔县污泥产品综合利用战略合作项目》《污泥产品升级利用实证研究》等项目的有效开展得到合理的资源化利用。郊区污泥由运营单位自行处置,主要利用方式为园林绿化,基于城市及周边总市场需求数量有限及季节的变化,郊区污泥存在一定的处置压力。

表 3 北京市污泥处理处置情况

Tab. 3 Sludge treatment and disposal situation in Beijing

项 目	污泥处理量/ ($t \cdot d^{-1}$)	污泥处置量/ ($t \cdot d^{-1}$)	处置方式
厌氧消化	4 895 ~ 5 615	1 836 ~ 2 119 *	土地利用
好氧发酵	843 ~ 1 012	292 ~ 350 **	土地利用
干化焚烧/掺烧	824 ~ 982	82 ~ 98	建材利用
其他	25 ~ 37	5 ~ 7 ***	土地利用
注: * 按出泥含水率为 60% 计; ** 按辅料(含水率 15%)添加比例为 15%、返料(含水率 40%)添加比例为 60%、出泥含水率为 40% 计; *** 按减量 80% 计。			

2 与国内外污泥处理处置方式的比较

2.1 国内其他区域污泥处理处置情况

在长江中下游地区,上海市污泥处理工艺以干

化焚烧后综合利用为主(如白龙港、石洞口、竹园污泥干化焚烧项目)、深度脱水后卫生填埋为辅(如青浦区污泥深度脱水项目);浙江省以热电厂/水泥窑协同处置为主;江苏省以焚烧、新型材料开发及土地利用为主;湖北省处置工艺有协同焚烧、填埋、土地利用等多种方式,水泥窑协同焚烧相对较多;与湖北类似,湖南省亦为多种工艺共存,但填埋相对较多。

广东省污泥处置以焚烧,尤其是水泥窑协同焚烧以及建材利用为主。根据对广州中心城区污水处理厂污泥泥质情况的统计,若干污水处理厂污泥中的铬、铅、铜等重金属浓度严重超标,因此广州市污泥处置以协同焚烧和建材利用(烧结砖、制砖)为主;与广州类似,深圳的污泥处置策略也是先在污水处理厂内进行污泥减量(含水率降至 40% 以下),减

量后的污泥以协同焚烧为主。

在华北和中部地区,河北省的污泥处置以好氧发酵、水泥窑/热电厂协同焚烧为主;山东和河南省以好氧发酵为主。在西部地区,西安市主城区以干化+热电厂/水泥窑协同焚烧为主,郊区以好氧发酵为主;成都市主要是干化+单独焚烧工艺;贵州省以协同焚烧为主,特别是水泥窑协同焚烧相对较多。

结合已建项目及运行情况来看,目前国内污泥处理处置主要有四条主流工艺路线:①(干化+)焚烧/协同焚烧/建材利用;②(预处理+)厌氧消化+脱水+土地利用;③好氧发酵+土地利用;④深度脱水+协同焚烧/填埋。结合项目的前期建设及后期运行情况,对四条主流工艺路线特点及适用条件等方面进行总结分析,结果如表 4 所示。

表 4 污泥处理处置主流工艺路线分析

Tab.4 Analysis of the main process of sludge treatment and disposal

项 目	特点及适用条件	投资和运行成本
干化 + 焚烧/协同焚烧/ 建材利用	①占地面积小,减量需求迫切;②对投资和运行成本不敏感;③污泥中的重金属超标;④周围有可利用的较经济的热源	最高
预处理 + 厌氧消化 + 脱水 + 土地利用	①中大规模的污泥处理项目(建议规模不小于 200 t/d);②厌氧过程可产沼气、污泥产物可土地利用,可最大化实现资源化利用;③重金属不超标、有机质含量较高(50% 以上最佳)的市政污泥;④产物有利用需求或能协调处置方向	较高
好氧发酵 + 土地利用	①中小规模污泥处理项目;②可用场地充足,且对周围环境要求不敏感;③重金属不超标、有机质含量较高(40% 以上最佳)的市政污泥;④对投资和运行成本较敏感;⑤产物有土地利用需求或能协调处置方向	较经济
深度脱水 + 填埋/协同焚烧	临时减量需求迫切的污泥处理项目	最低(不考虑协同焚烧成本)

根据行业市场调研情况,近几年我国污泥以减量化和无害化为主,深度脱水、干化焚烧和协同焚烧工艺项目明显多于其他工艺。基于污泥处理处置工艺的特点、适用条件以及投资和运行成本,结合所在地域项目的城市经济、泥质情况、项目规模、场地条件、周边环境、处置要求等因素影响,经济较发达地区或用地紧张的一二线城市污泥处理以干化焚烧工艺为主;经济欠发达、土地资源广阔的区域以好氧发酵工艺为主;厌氧消化适用于有机质含量较高的中大规模污泥项目。北京积极响应国家资源化利用的政策,借助北京排水集团强大技术团队建设的多个超大规模厌氧消化项目可供其他区域学习借鉴,但由于该工艺运行管理难度较大,不具备大多数城市普遍适用性。

2.2 国外污泥处理处置情况

据文献统计,丹麦污泥处理处置为 60% 农用和 30% 焚烧;爱尔兰农业发达,因此污泥农用占比很高

(80%),剩余 20% 为堆肥;西班牙、法国、意大利、葡萄牙与英国均以农用为主,但意大利和葡萄牙仍有少量填埋,英法两国污泥焚烧的比例约为 20%;荷兰几乎全部为焚烧处置;奥地利为焚烧和农用各占一半^[5]。进入 21 世纪以来,欧盟关于污泥处置指南的修订更专注资源回收和循环理念的贯彻,如有害固废和肥料法规、可持续磷资源利用战略等。

北美地区幅员辽阔、土地资源充足,土地利用一直是污泥的主要处理处置方式。有文献报道美国 16 000 座污水处理厂的污泥年产量为 710×10^4 t(干质量),其中约 60% 采用厌氧消化或好氧发酵处理,焚烧和填埋的比例分别为 20% 和 17%^[6]。美国 503 法规规定三个污泥最终处置出路为土地利用、填埋和焚烧,其中土地利用约为 50%,而农业用地所占比例还不到 1%。

日本国土面积较小,污泥填埋比例仅占 5%,污泥处理处置以焚烧后建材利用为主(63%),少量采

用土地利用(22%)。近年来,日本更加注重污泥资源回收利用,逐渐减少焚烧比例^[6]。

综上所述,北京市污泥处理处置方式与欧美国家基本一致,以土地利用为主,符合碳减排及资源化循环回收利用的长期可持续发展方向,但基于污泥资源化过程中不确定存在难降解有机物、微塑料、重金属等污染物,或者长期施用可能产生负面影响,与美国同样对于污泥土地利用中农用的推广应用目前还是有所保留。

3 结语

① 北京市中心城区因地制宜,选择以热水解+厌氧消化为主,郊区以好氧发酵为主、其他多种工艺为辅的工艺路线组合,符合《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)》的指引方向,实现了对污泥的资源化利用,与欧美国家发展主流工艺方向基本一致,符合社会可持续发展方向。

② 目前北京市污泥处理设计能力总体上能满足污泥排放要求,短期内通过合理调配各区资源,处理率基本可达到100%,符合“十三五”生态环境保护规划要求,处理能力不足区域可针对实际情况考虑长期稳定的解决方案。

③ 北京市中心城区污泥项目采用BOT合作模式建设运行,周边郊区主要为政府建设,委托社会资本运营。郊区委托运营的项目主要采用好氧发酵工艺,运行服务费相对其他处理工艺较经济,基本在200~300元/t(污泥含水率为80%);厌氧工艺运行成本略高于好氧发酵工艺;干化焚烧工艺运行成本最高。整体来看北京市补贴费用与全国同类工艺补贴水平基本相当,但由于北京作为首都的特殊地理位置及周边环境的等因素的影响,污泥处理运行费用未来会有超出通胀上涨的可能性。

④ 北京每天处理后的污泥为2000余吨,处置压力较大,目前主要处置方向为苗圃、林地和园林绿化等方向,最大程度上做到安全的资源化利用。为了保证后续大量无害化污泥得到长期的有效利用,还需要继续做好污泥处置出路的协调及相关产物利用的监督工作。

参考文献:

[1] 李伟,李让玲,李博文,等. 水热预处理对不同污泥性质及厌氧消化性能的影响[J]. 农业机械学报,2020,

51(3):326-333.

LI Wei, LI Rangling, LI Bowen, *et al.* Effect of thermal hydrolysis pretreatment on different sludge properties and anaerobic digestion performance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(3): 326-333 (in Chinese).

[2] 邢永杰,马伟芳,陈国伟,等. 北京市污泥处置现状及生态利用研究[J]. 中国给水排水,2012,28(4):31-34.

XING Yongjie, MA Weifang, CHEN Guowei, *et al.* Study on present disposal status and ecological use of sewage sludge in Beijing[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(4): 31-34 (in Chinese).

[3] 王涛,杨明. 北京市污水处理厂污泥处理处置的概况及问题[J]. 中国环保产业,2016(11):64-68.

WANG Tao, YANG Ming. General situation & problems of sludge treatment and disposal in Beijing sewage treatment plant [J]. China Environmental Protection Industry, 2016(11): 64-68 (in Chinese).

[4] 李雄伟,李俊,李冲,等. 我国污泥处理处置技术应用现状及发展趋势探讨[J]. 中国给水排水,2016,32(16):26-30,35.

LI Xiongwei, LI Jun, LI Chong, *et al.* Current application situation and development trend of sludge treatment and disposal technologies in China [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(16): 26-30, 35 (in Chinese).

[5] 陈懋喆. 欧盟15国污水污泥产生量与处理处置方法对比[J]. 能源环境保护,2019,33(1):6-12.

CHEN Maozhe. Comparison of sewage sludge production, treatment and disposal methods in EU-15 countries[J]. Energy Environmental protection, 2019, 33(1): 6-12 (in Chinese).

[6] 安琳,蒋海,邓茜,等. 北京市污泥消纳无害化处置技术探讨[J]. 市政技术,2012,30(1):98-102.

AN Lin, JIANG Hai, DENG Qian, *et al.* Discussion on decontamination technology for sludge disposal in Beijing [J]. Municipal Engineering Technology, 2012, 30(1): 98-102 (in Chinese).

作者简介:李雪怡(1982-),女,天津人,硕士,高级工程师,主要从事污泥处理工艺设计及研究工作。

E-mail:lixueyi@capitalwater.cn

收稿日期:2020-10-26

修回日期:2021-01-26

(编辑:丁彩娟)