

污水处理厂污泥处置减污降碳路径研究

——以苏州工业园区污泥处置及资源化利用为例

费伟良¹, 崔皓², 陈露², 鄢祖喜³, 杨铭¹, 张晓岚¹, 唐艳冬¹

(1. 生态环境部对外合作与交流中心, 北京 100035;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 苏州工业园区中法环境技术有限公司, 苏州 215125)

摘要: 污泥的处理与处置已成为污水处理厂系统运行中最为复杂, 且花费较高的部分之一。文章采用“产业协同、循环利用”新型模式处理污泥, 利用热电厂的余热蒸汽干化污泥作为生物质能用于热电厂焚烧发电, 产生的蒸汽冷凝水回到热电厂循环利用, 焚烧产生的灰渣由水泥厂制成建筑辅材; 生产过程中产生的污水、废气送回污水处理厂、热电厂进行处理达标排放。该技术路径实现了废水、废气达标排放, 固废综合利用, 余热回用及污泥热值充分利用, 能最大限度地实现污泥的资源化、能源化利用, 具有良好的环境效益和经济效益, 是一种很好的减污降碳协同增效技术途径, 在全国各大拥有或临近火电厂的工业园区均具有较好的推广价值。

关键词: 污水处理厂; 污泥; 资源化; 减污降碳; 协同增效

中图分类号: X322

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.202304075

Pathway research of pollution reduction and carbon emissions for sewage sludge disposal and resource utilization in wastewater treatment plants

——Taking the sludge disposal and resource utilization project of Suzhou Industrial Park as an example

FEI Weiliang¹, CUI Hao², CHEN Lu², YAN Zuxi³, YANG Ming¹, ZHANG Xiaolan¹, TANG Yandong¹

(1. The Foreign Environmental Cooperation Center, Beijing 100035, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. SIP Sino French Environmental Technology Co., LTD, Suzhou 215125, China)

Abstract: Sludge treatment and disposal has become one of the most complex and expensive parts during the system operation in the sewage treatment plant. A new model of "industrial cooperation and recycling" was adopted to treat the sludge. Waste heat steam from thermal power plants was used to dry the sludge as biomass energy for incineration and power generation in thermal power plants. The generated steam condensate was recycled back to the thermal power plant, and the ash generated by incineration was made into building auxiliary materials by cement plants. The steam condensate generated was returned to the thermal power plant for recycling, and the ash generated from incineration was made into building auxiliary materials by the cement plant; The sewage and exhaust gas generated during the production process was sent back to the sewage treatment plant and the thermal power plant for treatment and discharge up to standard. This technology path achieved the discharge standard of wastewater and exhaust gas, comprehensive utilization of the solid waste, the waste heat reuse, and full utilization of the sludge calorific value. It could maximize the resource utilization and energy utilization of the sludge and it was a good collaborative technology path for reducing pollution and carbon emission with an increasing efficiency. It had good environmental and economic benefits and had a good promotion value in major industrial parks with or near thermal power plants in the country.

Keywords: sewage plant; sludge; resource utilization; pollution reduction and carbon emission; synergistic efficiency

CLC number: X322

工业园区的污水收集率及污水处理水平越高, 就会产生更多的污水处理厂污泥, 需要进行更为规范的处理处置。对于现代化的工业园区内部企业自身污水处理厂及园区集中式污水处理厂而言, 污

收稿日期: 2023-04-19

录用日期: 2023-05-31

基金项目: 工业园区减污降碳协同增效路径及案例应用研究项目(621101062020035)

作者简介: 费伟良(1989—), 男, 工程师。研究方向: 工业园区环境综合管理、减污降碳协同。E-mail: fei.weiliang@fecomee.org.cn

通信作者: 杨铭(1982—), 男, 高级工程师。研究方向: 工业污水处理、减污降碳协同。E-mail: yang.ming@fecomee.org.cn

引用格式: 费伟良, 崔皓, 陈露, 等. 污水处理厂污泥处置减污降碳路径研究——以苏州工业园区污泥处置及资源化利用为例[J]. 环境保护科学, 2023, 49(3): 31-35.

泥的处理与处置已成为污水处理厂系统运行中最为复杂,且花费较高的部分之一。

苏州工业园区是中国和新加坡两国政府间的重要合作项目,园区以约占苏州市 3.5% 的土地、5% 的人口、7% 的工业用电量以及 1% 的二氧化硫排放量和 2% 的 COD 排放量,创造了苏州市 15% 左右的 GDP^[1],已成为苏州市经济社会发展的重要增长极,成为全国首个开展开放创新综合试验区。在苏州市新制定的城市总体设计中,明确了苏州工业园区在“双城双片区”格局中的“苏州新城”地位^[2]。2021 年,园区累计有效期内国家高新技术企业超 2 000 家,累计培育独角兽及独角兽(培育)企业 137 家,科技创新型企业 9 000 多家,园区企业涵盖 16 个行业企业,包括电子、医疗、信息化、新能源等,初步形成了“2+3”特色产业体系(“2”:电子信息、机械制造等两大主导产业;“3”:生物医药、人工智能、纳米技术应用等三大特色新兴产业)^[3]。

苏州工业园区通过采用“产业协同、循环利用”新型模式处理污泥,不仅以较低成本安全环保处置

污泥,节能减排效果显著,还能最大限度地实现资源化利用,具有良好的环境效益、经济效益和社会效益,在我国具有较好的推广价值。园区污泥处置及资源化利用项目规划共 3 期工程,设计总规模为日处理 900 t 湿污泥,项目处理苏州工业园区两个污水处理厂(总处理能力 50 万吨/d)所产生的全部生物污泥,实现了全区域污水管网百分百覆盖、污水百分百收集、污水百分百处理、尾水百分百达标排放、污水处理过程中产生的污泥百分百收集并进行无害化、减量化、稳定化和资源化处理,最终彻底消除污水中的污染物质。

1 污泥处置及资源化利用现状分析

由于之前中国国内对污泥处理处置的重要性认识不足,导致污泥处理处置相较于污水处理处于严重落后状态,存在“重水轻泥”现象。近年来,由于环境保护意识不断提升,国家和地方省市频繁出台污泥处理处置相关政策文件(表 1),大力推动了污泥处理行业的发展。

表 1 中国污泥处理行业相关重要政策文件(部分)

Table 1 Important policy documents related to China's sludge treatment industry (partial)

政策文件	发布时间	出台部门	主要相关内容
《污泥无害化处理和资源化利用实施方案》	2022年9月	国家发展改革委、住房城乡建设部、生态环境部	要求秉承“绿色、循环、低碳、生态”理念,强化源头污染控制,在安全、环保和经济的前提下,积极回收利用污泥中的能源和资源,并在优化处理结构和加强设施建设方面提出明确要求 ^[4] 。
《减污降碳协同增效实施方案》	2022年6月	生态环境部等七部门	在推进水环境治理协同控制方面,要求推广污水处理厂污泥沼气热电联产及水源热泵等热能利用技术;提高污泥处置和综合利用水平 ^[5] 。
《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》	2020年7月	国家发展改革委 住房城乡建设部	加快推进污泥无害化处置和资源化利用。在污泥浓缩、调理和脱水等减量化处理基础上,根据污泥产生量和泥质,结合本地经济社会发展水平,选择适宜的处置技术路线。污泥处理处置设施要纳入本地污水处理设施建设规划。限制未经脱水处理达标的污泥在垃圾填埋场填埋,东部地区地级及以上城市、中西部地区大中型城市加快压减污泥填埋规模。到2023年,城市污泥无害化处置率和资源化利用率进一步提高 ^[6] 。
《绿色产业指导目录(2019年版)》	2019年2月	国家发展改革委等七部委	各地方、各部门要以《目录》为基础,根据各自领域、区域发展重点,出台投资、价格、金融、税收等方面政策措施,着力壮大节能环保、清洁生产、清洁能源等绿色产业。《目录》中包含:“城镇污水处理厂污泥处置综合利用装备制造”“城镇污水处理厂污泥综合利用”和“污水处理、再生利用及污泥处理处置设施建设运营” ^[7] 。
《工业和信息化部关于加快推进环保装备制造业发展的指导意见》	2017年10月	工业和信息化部	重点推广水泥窑协同无害化处置成套技术装备、有机固废绝氧热解技术装备、先进高效垃圾焚烧技术装备、焚烧炉渣及飞灰安全处置技术装备,燃煤电厂脱硫副产品、脱硝催化剂、废旧滤袋无害化处理技术装备、低能耗污泥脱水、深度干化技术装备、垃圾渗滤液浓缩液处理、沼气制天然气、失活催化剂再生技术设备等。针对生活垃圾、危险废物焚烧处理领域技术装备工艺稳定性、防治二次污染,以及城镇污水处理厂、工业废水处理设施污泥处理处置等重点领域开展应用示范 ^[8] 。

续表 1

政策文件	发布时间	出台部门	主要相关内容
《浙江省城镇污水处理提质增效三年行动方案（2019—2021年）》	2019年	浙江省住房和城乡建设厅、浙江省生态环境厅、浙江省发改委	为加快补齐生活污水收集处理设施短板，确保我省城镇污水处理提质增效3年行动各项目标全面完成，重点要继续加大力度推进城镇污水处理设施建设改造、污水管网建设、污泥处置设施建设和再生水利用设施建设。2019—2021年，全省力争新建和改扩建城镇污水处理厂污泥处置设施项目18个，建设规模为7 055 t/d ^[9] 。
《上海市污水处理系统及污泥处理处置规划（2017—2035年）》	2018年	上海市水务局、上海市规划和自然资源局	污泥处理处置以“主城区及周边地区集中处理、郊区属地化集中处理”为原则进行规划布局。主城区及周边地区三大污水区域的污水处理厂污泥处理处置方式以独立焚烧为主、协同焚烧为辅，处理后的污泥建材利用或统筹利用。郊区污水处理厂污泥处理处置为属地化集中处理，处理方式以干化焚烧为主、好氧发酵后土地利用为辅 ^[10] 。

目前,虽然我国污泥减量化、资源化工作已有很大进展,但国内的污泥处理处置技术依旧集中于土地填埋、农业再利用等,部分地区由于监管缺失、管理不到位、管理标准不完善,导致污泥未进行科学的处置^[11],无法达到我国的生态环境发展标准,更是无法满足工业污染控制与碳减排的园区减污降碳综合治理目标。

2 苏州工业园区污泥处置及资源化利用模式

2.1 园区污泥处置及资源化利用项目的规划设计

案例园区污泥处置及资源化利用项目选址于某热电厂区内,并且紧邻园区第二污水处理厂,这种布局方式不但最大程度地缩短了脱水污泥和干污泥的运输距离,另外也充分利用污水处理厂、污泥厂及热电厂各自的资源^[12]。污泥厂利用热电厂的余热蒸汽干化污水处理厂产生的污泥,干化后的污泥作为生物质能用于热电厂焚烧发电,产生的蒸汽冷凝水回到热电厂循环利用,焚烧产生的灰渣由水泥厂制成建筑辅材;而生产过程中产生的污水、废气通过专管输送回污水处理厂、热电厂进行处理达标排放,见图1。

2.2 工艺设计上体现变废为宝，资源回收利用，实现热量的梯级利用

项目采用两段式干化工艺,即Ⅰ段薄层蒸发器和Ⅱ段带式干燥器^[12],见图2。含固率20%的湿污泥用全封闭的卡车运至污泥干化厂污泥料仓,短时储存后,泵入Ⅰ段薄层蒸发器进行干化。薄层蒸发器以250℃的饱和蒸汽为热源,通过换热壁间接干化污泥,将脱水污泥的含固率从20%提高至45%~50%。此时的污泥可塑性最佳,随后通过切

碎机将污泥挤压成面条状,经回转式输送机送入污泥干化设备的Ⅱ段带式干燥机进一步干燥。带式干燥机共分3层,上、中层利用循环热风直接干化污泥,循环热风一部分热量来源于Ⅰ段薄层蒸发器蒸发出来的热气,一部分来源于Ⅰ段高温冷凝水通过闪蒸而来的蒸汽(图3),将污泥含固率提高至70%~90%,下层通入冷风对干污泥进行冷却至40℃以下。最终污泥颗粒经链板式输送机送至附近的热电厂煤棚,与煤混合后作为燃料焚烧,对污泥彻底减量的同时,回收污泥中的能量。

2.3 运营管理上贯彻“精细管理、持续改善”的经营理念

项目投运后引入先进的制造业管理理念,做到生产管理标准化、规范化、制度化;已通过瑞士SGS的质量、环境、安全、能源四标一体认证。项目运营单位坚持“PDCA”管理原则,鼓励员工自主创新、持续改进,先后进行大小技改50多项,生产消耗持续下降,吨污泥干化仅消耗蒸汽0.62 t,污泥高峰期时开机率达到100%,处理能力超设计能力15%。生产消耗持续下降,比设计值降(0.87 t)低30%以上,在同行业中处于领先水平。

3 苏州工业园区污泥处置及资源化利用减污降碳效益分析

项目在规划设计上充分体现了循环经济和可持续发展的理念,科学布局污泥处理相关产业,并通过“产业协同、循环利用”新型污泥处置模式,实现了污泥厂、污水处理厂与热电厂之间资源共享、协同发展,具有良好的减污降碳效益和较好的可推广性。

3.1 项目污染排放控制情况

项目自 2019 年 4 月实施尾气输送电厂焚烧提升改造及 2020 年 4 月实施卸料大厅封闭式改造后,卸料及生产产生的废气全部输送电厂焚烧达标

排放,极大地减少了恶臭气体,尤其是硫化氢和氨气的排放;废水自项目运营就输送污水处理厂处理达标排放,项目不直接对环境排放废气、废水,减少对环境的影响。

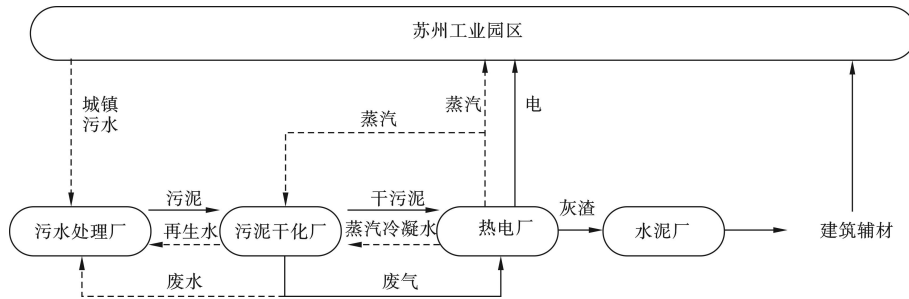


图 1 苏州工业园区污泥处置及资源化利用的规划设计模式

Fig. 1 Planning and design mode of sludge disposal and resource utilization in Suzhou Industrial Park

二段法污泥干化工艺

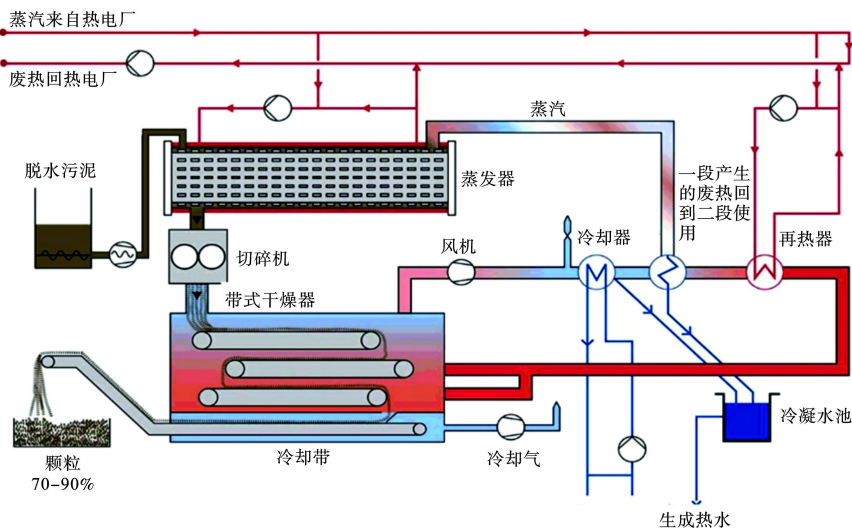


图 2 案例工业园区污泥处置及资源化利用采用的两段式干化工艺

Fig. 2 The two-stage drying process adopted for sludge disposal and resource utilization in the industrial park of the case study

与此同时,项目运营生产过程产生的废水、废气通过专管输送到污水处理厂、热电厂处理达标后排放,项目运行风机产生的噪声采用隔离措施,厂界噪声低于 50 dB,仅有少量的实验室废液和设备维护保养产生的废油委托专业危废处理公司处置。项目自 2011 年 5 月运营以来,无一起环保投诉或处罚事件,自测、委外检测和政府检查抽测环保指标均低于相关排放标准,尤其是硫化氢和氨气等主要恶臭污染物浓度远低于国家标准。

3.2 项目的碳减排分析

项目规划上采用“产业协同、循环利用”模式,工艺上采用两段式干化工艺把污泥转化为生物质燃料输送到电厂焚烧发电,实现热量的回收利用,减少化石燃料煤的消耗,从而减少 CO₂ 的排放。干

污泥热值一般在 3 000 kcal/kg 以上,全干化热值在 3 700 kcal/kg 以上。项目设计处理能力为 21.6 万吨/年,按来泥含固率 20%、出口含固率 90%、热值 3 000 kcal/kg 计算,每年可产生干污泥 4.8 万吨,作为燃料焚烧发电,节约标准煤 2 万吨。标煤的 CO₂ 排放系数按 2.67 计算,减排 CO₂ 超 5 万吨。

项目自 2011 年 5 月正式投运以来,园区污水处理厂所产生污泥全部在污泥干化厂得到安全环保处置。截至 2022 年 10 月,已累计处置污泥超 135 万吨,节约用地 112 万 m²,减少 COD 排放约 100 万吨;产生干污泥近 30 万吨,为园区节约标煤约 13 万吨,减少 CO₂ 排放约 35 万吨。

3.3 项目可推广性分析

项目实施后实现了园区五个百分百,助力建设

美丽园区、生态园区和宜居园区,对外展现了园区良好的形象,为园区的招商引资和生态文明建设作出重要贡献。该模式不仅安全环保、稳定可靠处理处置污泥,减污降碳效果显著,还能最大限度地实

现资源化利用,具有良好的环境效益、经济效益和社会效益,该模式已成功复制到扬州、苏州相城等地,具有良好的推广应用价值。

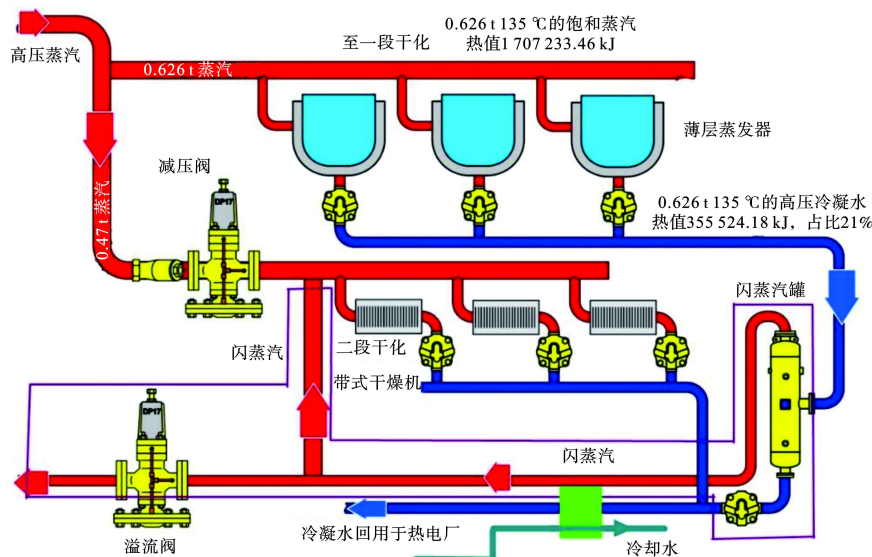


图3 案例工业园区污泥处置及资源化利用采用的闪蒸系统能量梯级利用

Fig. 3 Cascade utilization of flash system energy in the industrial park of the case study

4 结论与建议

苏州工业园区污泥处置及资源化利用项目采用“产业协同、循环利用”新型模式处理污泥,实现了水泥厂、污水处理厂、热电厂之间资源共享、协同发展的模式,不仅以较低成本安全环保处置城市污泥,且节能减排效果显著。该技术路径实现了废水、废气达标排放,固废综合利用,余热回用及污泥热值充分利用,能最大限度地实现污泥的资源化、能源化利用,是一种很好的减污降碳协同增效技术途径,具有良好的环境效益和经济效益,在全国各大拥有或临近火电厂的工业园区均具有较好的推广价值。

参考文献

- [1] 王琴明. 工业园区智慧能源管理系统的探索与应用[J]. 电力需求侧管理, 2019, 21(1): 62-64+69.
- [2] 刘玉龙. 通苏嘉甬铁路苏州工业园区段走向方案研究[J]. 交通与运输, 2022, 38(1): 64-68.
- [3] 无锡市新产业研究会. 迈向高质量发展的现代产业园区[M]. 无锡蓝皮书. 上海: 上海社会科学院出版社, 2011: 407.
- [4] 国家发展改革委, 住房城乡建设部, 生态环境部. 污泥无害化处

理和资源化利用实施方案[EB/OL]. [2023-03-11]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202209/t20220927_1337103.html.

- [5] 生态环境部, 国家发展和改革委员会, 工业和信息化部, 等. 减污降碳协同增效实施方案[EB/OL]. [2023-03-11]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202206/t20220617_985879.html.
- [6] 国家发展改革委, 住房城乡建设部. 城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案[EB/OL]. [2023-03-11]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202007/t20200731_1235247.html.
- [7] 国家发展改革委, 工业和信息化部, 自然资源部, 等. 绿色产业指导目录(2019年版)[EB/OL]. [2023-03-11]. https://www.xifeng.gov.cn/zwgk/zdlygk/xcyxdn/201907/t20190722_62996789.html.
- [8] 工业和信息化部. 关于加快推进环保装备制造业发展的指导意见[EB/OL]. [2023-03-11]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/jns/qjsc/art/2020/art_306f192ddd7e49c6876bb39a8d43c738.html.
- [9] 浙江省人民政府. 浙江省城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)[EB/OL]. [2023-03-11]. http://hbj.huzhou.gov.cn/art/2019/10/31/art_1229513369_3630840.html.
- [10] 上海市税务局, 上海市规划资源局. 上海市污水处理系统及污泥处理处置规划(2017—2035年)[EB/OL]. [2023-03-11]. https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20200813/0001-12344_57757.html.
- [11] 王小雨. “无废城市”背景下许昌市固体废弃物管理现状及问题研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2021.
- [12] 孙明华. 城市污泥“两段式”干化及协同焚烧研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.