

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.16.020

郑州新区污水处理厂污泥消化干化技术的应用

施祖辉¹, 叶心彤¹, 张艳², 曹鑫莉²

(1. 上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092; 2. 中原环保股份有限公司, 河南 郑州 450018)

摘要: 郑州新区污水处理厂污泥处理采用浓缩-脱水-消化-干化工艺,污泥消化规模为200 tDS/d,干化规模为300 t/d(污泥含水率按80%计),建成至今,消化、干化系统均运行稳定,产气率高。该系统根据功能定位,可分为污泥处理、污泥气利用、热量回收利用三部分。污泥经厌氧消化后产生沼气,沼气燃烧得到的热能用来干化消化后的剩余污泥;干化产生的高温尾气通过热能回收,用来提供维持厌氧需要的能量。最终得到含水率30%以下的干化污泥,外运处置利用,实现了系统的能量平衡,并为碳减排作出贡献。

关键词: 郑州新区污水处理厂; 污泥消化干化; 厌氧消化; 沼气

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)16-0116-05

Application of Sludge Digestion and Drying Technology in Zhengzhou New District WWTP

SHI Zu-hui¹, YE Xin-tong¹, ZHANG Yan², CAO Xin-li²

(1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China; 2. Zhongyuan Environmental Protection Co. Ltd., Zhengzhou 450018, China)

Abstract: The sludge treatment process of Zhengzhou New District wastewater treatment plant (WWTP) includes thickening, dewatering, digestion and drying. The sludge digestion capacity is 200 tDS/d and the drying capacity is 300 t/d (80% sludge water content), which have been running stably with high gas production rate since its completion. According to the function orientation, the system is divided into 3 major systems, such as sludge treatment, biogas utilization and heat recovery system. After anaerobic digestion of sludge, biogas is produced, and the heat energy obtained from the combustion of biogas is used to dry the remaining sludge after digestion. The high-temperature exhaust gas produced by drying is used to provide the energy needed to maintain the anaerobic temperature through heat recovery. The final dried sludge with less than 30% water content is obtained and shipped out for disposal and utilization, achieving the energy balance of the system and contributing to carbon emission reduction.

Key words: Zhengzhou New District wastewater treatment plant; sludge digestion and drying; anaerobic digestion; biogas

1 项目概况

郑州新区污水处理厂总处理规模为 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期规模为 $65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (含污泥消化),污泥消化规模为200 tDS/d,污泥干化规模为300 t/d(污泥含水

率按80%计),是集污水处理、再生水回用、污泥处理为一体的综合污水处理工程^[1-6]。该工程于2018年建成,2019年完成调试运行。污泥处理采用浓缩-脱水-消化-干化工艺。消化池产生的沼气经脱

硫处理后为污泥消化及干化提供热源。该工程污泥部分投资为41 200.32万元。

2 总体设计

2.1 工艺流程

总体工艺流程见图1。

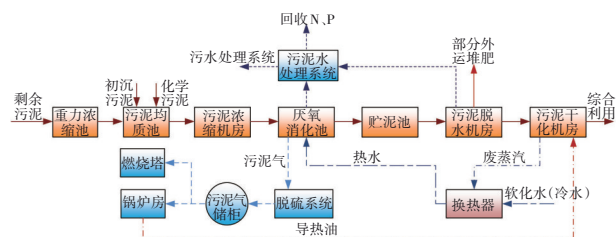


图1 郑州新区污水处理厂污泥处理总体工艺流程

Fig.1 Overall sludge treatment process of Zhengzhou New District wastewater treatment plant

根据功能定位,总体工艺分为三部分,即:污泥处理(包括浓缩、消化、脱水、干化)、污泥气利用(包括存储、脱硫、增压、应急燃烧)和热量回收利用。

① 污泥处理

二沉池排出的剩余污泥经重力浓缩后与初沉污泥混合,一并进入污泥浓缩机房,浓缩至含水率95%后进入污泥消化池。污泥厌氧消化后,脱水至含水率80%。其中300 m³/d污泥采用干化方式进一步脱水,干化后含水率降至30%。该污水处理厂最终出厂污泥中含水率80%的约706 m³/d,含水率30%的约85.7 m³/d。

② 污泥气利用

厌氧消化产生的沼气通过净化装置处理后,可达到锅炉用气要求。

③ 热量回收利用

锅炉产生的热能分别供给污泥消化及干化系统,同时考虑应急火炬燃烧系统。

2.2 总平面布置

该污水处理厂污泥区平面布置见图2。污泥处理部分包括2座污泥浓缩池、1座污泥均质池和浓缩机房、6座污泥消化池(消化池控制室合建)、1座储泥池、1座污泥脱水机房、1座污泥干化机房。污泥气利用部分包括1座污泥气脱硫装置、2座污泥气储柜、1座污泥气增压机房、2座污泥燃烧塔。热量回收利用部分包括1座锅炉房,含导热油锅炉及热水锅炉。

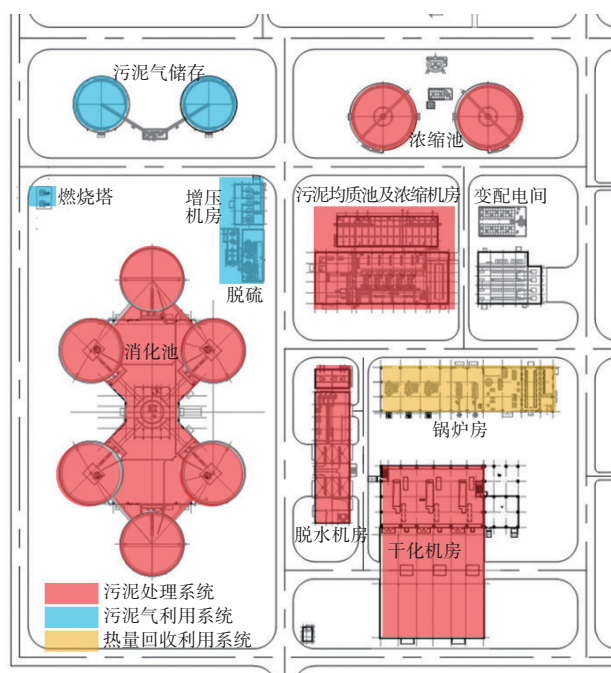


图2 污泥区平面布置

Fig.2 Layout plan of sludge treatment area

3 子系统设计

3.1 污泥处理

该工程浓缩后的污泥进入厌氧消化池。初沉污泥含水率为97%,剩余污泥含水率为99.3%,而目前国内大型污水处理厂厌氧消化的进泥含水率均选择95%,近年来也出现了高负荷厌氧消化的工程实例(进泥含水率为90%甚至更低)。无论是初沉污泥还是剩余污泥,仅经重力浓缩后均不能满足95%含水率的要求,仅进行机械浓缩的污泥量较大、能耗较高。为满足消化池进泥浓度的要求,同时使污泥浓缩的能耗降低,采用了重力浓缩和机械浓缩相结合的方式。

① 污泥浓缩池

新建浓缩池2座,将剩余污泥初步浓缩至含水率98%,降低后续机械浓缩的负荷。污泥浓缩池直径为 $\varnothing 25$ m,有效水深4.0 m,总有效容积3 929 m³,停留时间4.0 h。

② 污泥均质池和浓缩机房

新建污泥均质池和浓缩机房1座,4池。主要接纳初沉污泥和剩余污泥浓缩池的污泥,有效水深4.6 m,单池有效容积460 m³,4池总有效容积1 840 m³。均质池上方设污泥过滤机4台, $Q=80$ m³/h,用于过滤初沉污泥,防止絮状物进入消化池堵塞污泥

循环泵。每座污泥均质池内设潜水搅拌机($N=7.6$ kW)1台,共4台。浓缩后污泥进入贮泥池,有效水深 3.3 m,有效容积 345 m^3 ,停留时间 1.19 h。设置浓缩机5台(4用1备),单台流量 200 m^3/h ,干固体通量 4 t/h,浓缩后污泥含水率为 95% 。

③ 污泥消化池

污泥消化池采用柱形结构,共6座。单池容积 $12\,700$ m^3 ,直径 $\varnothing 25$ m,垂直高度为 32.6 m,地面以上高度 27.4 m,地面以下埋深 5.1 m。污泥消化时间 20 d,消化温度 37 $^{\circ}\text{C}$,污泥气产量 $42\,000$ m^3/d 。采用多层桨叶搅拌机, $N=15$ kW,保证污泥搅拌均匀。消化系统需加热,采用外部加温方式,在消化操作楼内部设热交换器,通过锅炉和热交换器的循环热水对循环于污泥消化池和热交换器的污泥进行加热。污泥在热交换器内管流动,热水在外管流动,污泥和热水分别以相反的方向在管内流动,流速控制在 $1.0\sim 2.0$ m/s,维持温度为 37 $^{\circ}\text{C}$ 。消化池顶部设置一体化顶盖,包含污泥气收集,以及安全阀、阻火器、泡沫消除器、气体冷却器等设备。

④ 污泥脱水机房

污泥脱水机房1座,考虑到脱水污泥夜间运输的困难,脱水系统运行时间为 16 h。消化后污泥进入储泥池暂存,设置脱水机4台(3用1备),单台流量 $100\sim 150$ m^3/h 。污泥进脱水机前,先经4台污泥切割机切割和破碎污泥中的纤维、毛发等软质材料,保护后续污泥泵及脱水机。脱水后污泥量约 $1\,226$ m^3/d ,含水率为 80% 。料仓采用混凝土形式,共4座(两两之间有上部连通孔),与每台脱水机对应,位于脱水机下方,单座容积约 127.5 m^3 ,每座料仓均设置污泥卸料口及接干化机的出口口。

⑤ 污泥干化

干化系统共3条生产线,每条线处理能力为 100 t/d(污泥含水率为 80%),峰值处理能力为 110 t/d(污泥含水率为 80%),干化进泥泵布置于脱水机房内,出泥料仓下方。设干化机3台,单条线蒸发能力 $\geq 2\,976$ $\text{kgH}_2\text{O}/\text{h}$,系统热损失 $\leq 5\%$,采用双桨叶式干化机,功率约 250 kW。湿污泥初始含固率为 20% ,半干化污泥含固率为 70% ,污泥量 85.7 t/d。干化后污泥约 100 $^{\circ}\text{C}$,出料配置螺旋输送机,经带式冷却皮带冷却至 40 $^{\circ}\text{C}$,进入污泥料仓储存。料仓容积 30 m^3 ,设3套出料及存储系统,与3条干化线一一对应。干化尾气约 $5\,479\sim 6\,049$ m^3/h ,设计温度为 94 $^{\circ}\text{C}$,经

除尘、冷凝至 60 $^{\circ}\text{C}$ 以下,进入除臭系统处理达标后排放。

3.2 污泥气利用

污泥气利用主要由生物脱硫、存储、气增压以及污泥气利用等单元组成。消化产生的污泥气中 H_2S 含量约 $5\,000$ mg/L ,且含有冷凝水和固体颗粒等杂质。先经过粗过滤器,再进入生物脱硫和干式脱硫装置,根据污泥气中 H_2S 的浓度,可选择超越生物脱硫装置,直接经过干式脱硫后进入储气柜。粗过滤器、生物脱硫、干式脱硫各设置2套, $Q=1\,050$ m^3/h , $P=1\sim 3$ MPa;脱硫后的污泥气进入双膜式气柜储存, $V=5\,000$ m^3 ,运行压力 $0.8\sim 1.0$ kPa;设置增压风机3台($Q=750$ m^3/h ,风压 35 kPa),将污泥气加压后输送至锅炉房,以满足锅炉使用要求;设置火炬增压风机($Q=1\,500$ m^3/h ,风压 15 kPa),将剩余污泥气送至燃烧塔燃烧。

3.3 热量回收利用

热量回收是实现该工程能量平衡的核心。设置2台热水锅炉用于消化污泥加热,额定热功率 4.2 MW,额定压力 1.0 MPa,设计热效率 95.9% 。锅炉进口水温 70 $^{\circ}\text{C}$,出口水温 90 $^{\circ}\text{C}$,经板式换热器间接换热后为污泥加热系统提供 62 $^{\circ}\text{C}$ 的热水,回水 47 $^{\circ}\text{C}$ 。热水经水力分配器送至污泥换热器,经热交换后为消化池内污泥加热,污泥温度由 37 $^{\circ}\text{C}$ 加热至 40 $^{\circ}\text{C}$ 。干化系统投运后,热水锅炉停止运行,污泥干化产生的余热通过干化机热交换器送至水力分配器,为消化系统供热。热交换系统示意图图3。

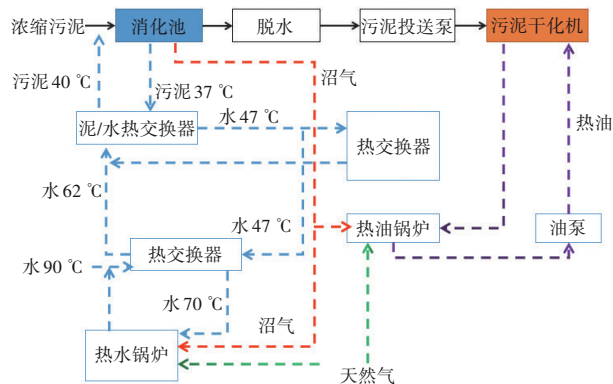


图3 热交换系统示意

Fig.3 Heat exchange system diagram

设置3台导热油锅炉用于污泥干化,额定热功率 3 MW,供油温度 195 $^{\circ}\text{C}$,回油温度 165 $^{\circ}\text{C}$ 。调试初期燃烧天然气,消化系统稳定运行后燃烧污泥

气。系统稳定运行后消化系统污泥加热所需的热量来自污泥干化的热量回收,热水锅炉仅在干化系统检修时启用。为保证6座消化池换热均匀,设置水力分配器1台, $V=1.8\text{ m}^3$ 。锅炉热水回路、污泥气脱硫热水回路、污泥加热热水回路等均与水力分配器连接,热水锅炉与水力分配器供回水温度联动,可调节锅炉运行负荷,满足不同泥量下的污泥加热要求。每台泥水换热器设置电动三通阀调节泥水换热器的热水流量,满足污泥加热出泥温度要求。设置闭式冷却塔3台,当系统热量富余时紧急冷却排放,保证系统运行安全。

3.4 除臭系统

污泥处理厂臭气控制是项目成败的关键。臭气控制的基本原则是强化封闭源头管控、分类收集、多途径末端处理。该项目臭气主要来自污泥浓缩池、污泥均质池和浓缩机房、储泥池、污泥脱水机房以及污泥干化机房。臭气的主要成分为 H_2S 和 NH_3 ,还有少量有机气体如甲硫醇、甲胺、甲基硫等。因污水处理厂远离市区,除臭设计标准执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)厂界二级标准,但设计时考虑预留远期提标至一级标准的余量。

按恶臭气体源强的不同可分为两类:第一类为污泥浓缩、消化、脱水系统产生的臭气,特征是强度低、风量大,采用生物滤池工艺进行除臭。第二类为污泥干化系统产生的臭气,臭气浓度高,重点在于空间封闭控制臭气外逸,采用化学洗涤法与生物除臭相结合的除臭工艺。

3.5 消防安全

污泥消化产生的沼气主要成分为甲烷(CH_4),属易燃、易爆气体,该工程将沼气处理储存区设置成独立区域,采用围墙隔开,并设置15 m的间距,该区域内所有电气设备采用隔爆型设备。

沼气鼓风机房、操作楼、沼气柜等均为有爆炸危险的甲类厂房,均独立设置,其承重结构采用钢筋混凝土或钢框架、排架结构,并设置泄压设施。污泥干化车间属于有爆炸危险的丁类厂房,其承重结构采用钢筋混凝土或钢框架、排架结构,并设置泄压设施。

将消化池的一座塔楼作为一个防火分区,设置一部防烟楼梯和一部电梯,电梯兼作消防电梯。塔

楼与塔楼之间通过天桥相连。管线楼地下部分通过管廊相连,地下生产房间按戊类每 $1\,000\text{ m}^2$ 设一个防火分区,房间内主要生产物料不存在火灾危险。将整个地下部分划分为3个防火分区,中部地下管廊作为一个独立的防火分区,两端的塔楼地下室与热交换器间作为一个防火分区,每个防火分区除设置一部直通室外的封闭楼梯外,还可利用防火墙上一个通向相邻分区的甲级防火门作为第二安全出口。

4 运行效果

该项目达标后,各工艺段运行稳定。设计消化污泥进泥含水率为95%,出泥含水率为96%,2020年—2021年消化池进泥平均含水率约95.18%,消化池出泥含水率约96.11%;进泥有机质含量约55.57%,出泥有机质含量约47.84%。设计产气率为 $9.35\text{ m}^3\text{ 沼气}/\text{m}^3\text{ 污泥}$,实际运行时2020年平均产气率为 $7.36\text{ m}^3\text{ 沼气}/\text{m}^3\text{ 污泥}$,2021年为 $8.73\text{ m}^3\text{ 沼气}/\text{m}^3\text{ 污泥}$,两年平均产气率为 $8.01\text{ m}^3\text{ 沼气}/\text{m}^3\text{ 污泥}$ 。

2020年和2021年消化池有机负荷对比见图4。2020年消化池有机负荷平均为 $1.04\text{ kgVSS}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,2021年消化池有机负荷平均为 $1.12\text{ kgVSS}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。与国内同类项目有机负荷范围 $[0.6\sim 1.6\text{ kgVSS}/(\text{m}^3\cdot\text{d})]$ 基本一致^[1]。由图4可以看出,2020年—2021年消化池有机物降解率为20.0%~71.8%,平均为33.6%,与设计的40%降解率相差不大。

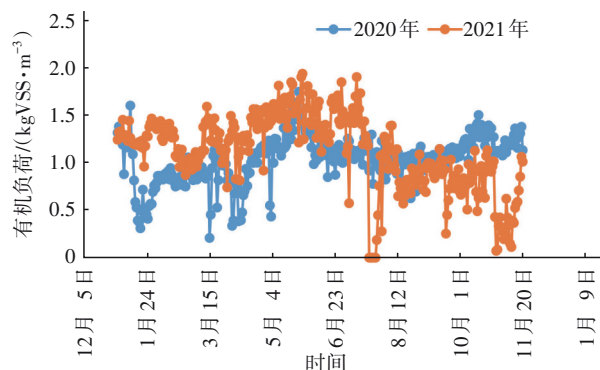


图4 2020年与2021年消化池有机负荷对比

Fig.4 Organic load of digester in 2020 vs 2021

2020年和2021年消化池有机质降解率对比见图5。污泥干化段运行稳定,平均半干化污泥产量为 85.7 t/d ,污泥含固率为70%,干化污泥粒径平均为 $1\sim 5\text{ mm}$,干化污泥堆密度为 $650\text{ kg}/\text{m}^3$,干化污泥

体积为 132 m³/d,干化污泥存放温度<40 ℃。

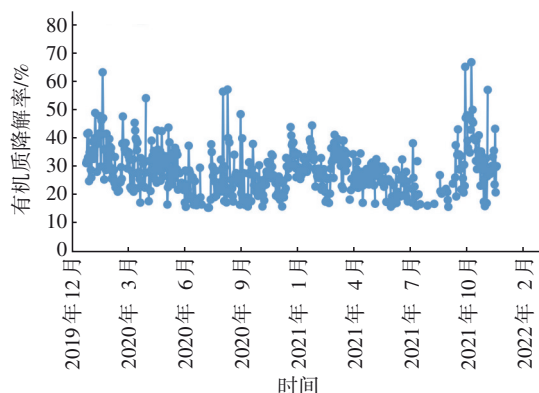


图5 2020年与2021年消化池有机质降解率对比

Fig.5 Organic degradation rate of digester in 2020 vs 2021

5 结语

郑州新区污水处理厂污泥处理采用浓缩-脱水-消化-干化工艺,经过2年左右的运行,工艺段运行稳定、处理效果良好。该工程将消化和干化技术很好地结合在一起,最大程度地利用污泥中有机质提供的能源干化污泥;干化过程中产生的高温尾气通过能源回收系统回收,反过来提供给消化系统,以保证消化系统安全稳定的运行。2020年—2021年实际运行平均产气率为 8.01 m³沼气/m³污泥,平均有机物降解率为 33.6%。该项目高度重视除臭工作:根据臭气来源不同,采用不同的收集方式;根据臭气的成分不同,采用不同的组合处理工艺。实践表明,该工艺适用于大中规模的污泥处理处置。郑州新区污水处理厂污泥处理工程对市政污泥的处理处置及资源化具有示范作用,可为类似工程设计提供借鉴。

参考文献:

- [1] 张辰,李春光. 城镇污水污泥处理处置工程规划与设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2023.
ZHANG Chen, LI Chunguang. Planning and Design of Urban Sewage Sludge Treatment and Disposal Project [M]. Beijing: China Architecture & Building Press,

2023(in Chinese).

- [2] 王华金. 餐厨垃圾全物料湿式厌氧消化产沼技术的工程应用[J]. 中国给水排水,2021,37(8):95-100.
WANG Huajin. Engineering application of wet anaerobic digestion and biogas production technology for full-scale food waste [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(8):95-100(in Chinese).
- [3] 胡维杰,邱凤翔,卢骏营. 白龙港污泥厌氧消化对于干化焚烧的影响研究[J]. 中国给水排水,2019,35(14):32-35.
HU Weijie, QIU Fengxiang, LU Junying. Influence of anaerobic digestion of sludge on drying and incineration in Bailonggang wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35 (14) : 32-35 (in Chinese).
- [4] 胡维杰. 我国污水处理厂污泥处理处置需关注的若干内容[J]. 给水排水,2019,45(3):35-41.
HU Weijie. Some contents of concern for sludge treatment and disposal of wastewater treatment plants in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45 (3):35-41(in Chinese).
- [5] 徐晓波. 套子湾污水处理厂污泥消化系统的启动调试与运行[J]. 中国给水排水,2020,36(12):133-137.
XU Xiaobo. Commissioning and operation of sludge digestion system in Taoziwan WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(12):133-137(in Chinese).
- [6] 胡维杰. 上海市白龙港污泥处理工程工艺设计及其技术特点[J]. 中国给水排水,2011,27(18):40-45.
HU Weijie. Process design and key technical features of Shanghai Bailonggang sludge treatment project [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27 (18) : 40-45 (in Chinese).

作者简介:施祖辉(1982-),男,江苏南通人,硕士,高级工程师,主要从事污水处理、污泥处理工程设计及研究工作。

E-mail:shizuhui@smedi.com

收稿日期:2023-06-05

修回日期:2024-03-08

(编辑:衣春敏)