

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.021

两段式污泥深度脱水工艺在全地下污水处理厂的应用

陈志真, 邱明, 魏斌, 李国洪, 罗志宾
(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 在污泥深度脱水系统工艺选择时,由于要求污泥含水率在 60% 以下,较多采用板框压滤机,而板框压滤机由于体积大,在全地下污水处理厂中的应用具有一定的局限性。介绍了西北地区首座全地下污水处理厂的污泥深度脱水工艺设备原理和特点,对脱水车间的平面和竖向布置、工艺特点、能耗及运行成本等进行了分析,总结了两段式污泥深度脱水工艺的特点和适用工况,可为类似项目的设计提供参考。

关键词: 全地下污水处理厂; 污泥深度脱水; 运行成本

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0119-05

Application of Two-stage Sludge Deep Dewatering Process in an Underground WWTP

CHEN Zhi-zhen, QIU Ming, WEI Bin, LI Guo-hong, LUO Zhi-bin
(Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: In the selection of sludge deep dewatering process, the plate and frame filter press is mostly used because the water content is required to be below 60%. However, due to its large footprint, its application in underground wastewater treatment plant (WWTP) has some limitations. This paper introduces the principle and characteristics of the sludge deep dewatering process equipment in the first underground WWTP in northwest China, analyzes the plane and vertical layout, process properties, energy consumption and operation cost of the dewatering workshop, and summarizes the characteristics and applicable conditions of the two-stage sludge deep dewatering process, which could provide reference for the design of similar projects.

Key words: underground wastewater treatment plant; deep dewatering of sludge; operation cost

1 项目概况

甘肃省天水市成纪新城地下净水厂是该市建设的第一座,也是西北地区首座全地下污水处理厂,设计规模 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,位于渭河和藉河交汇处。污水、污泥处理设施全部位于地下车间内,地面部分打造成城市运动公园,与渭河、藉河沿河景观带融为一体。该厂污水处理主体工艺采用 MBR,出水水质执行一级 A 排放标准,剩余污泥含水率降至 60% 后外

运处置。

由于脱水车间位于地下,受占地和内部空间的限制,脱水工艺的选择需综合考虑,既要达到含水率要求、运行安全可靠,又要求占地节省、空间上适应地下式污水处理厂的特点。该项目最终采用两段式污泥深度脱水工艺,解决了地下有限空间内污泥深度脱水的问题。目前该项目已竣工投产,运行良好,泥饼含水率稳定达标。

2 设备原理和特点

国内污泥脱水应用较多的是离心机、传统带式脱水机、叠螺脱水机和板框压滤机,但用于地下式污水处理厂则存在不同程度的局限性。离心机装机功率大、能耗高、噪声大,尤其在地下空间内影响更为显著。尽管传统带式脱水机的装机和运行功率低,但由于其体积大、密封性不好,不便于进行除臭,工作环境较差^[1],地下空间内检修困难,目前新建污水处理厂已较少采用。叠螺脱水机装机功率低,运行噪声和振动小,密封效果较好,但其故障率略高,易堵塞,对进泥量和浓度变化的适应性略差,含水率不好控制,且其大处理量设备的体积与传统带式脱水机相当,故该脱水机一般适用于中小规模污水处理厂^[2]。以上3种设备的出泥含水率仅可达到80%,板框脱水机在加药调理的情况下可以达到60%以下^[3-4],但由于板框脱水机体积大,在全地下污水处理厂中的应用受到一定的限制。

经比较,选择两段式污泥深度脱水工艺,即第一段利用全自动旋转挤压脱水机,将污泥含水率降至80%,第二段利用高压带式连续深度脱水机,将污泥含水率降至60%以下。

2.1 全自动旋转挤压脱水机

全自动旋转挤压脱水机是一款进口新型污泥脱水设备,具有体积小、装机功率低、运行稳定、噪声低等特点。采用模块化设计,单个模块盘直径900 mm,处理能力70 kgDS/h。扩容方便,单机处理能力最大可扩容8倍,最大处理能力0.56 tDS/h,可以实现自动化控制和远程控制。

工作原理(见图1):污泥被注入内部的一个横截面为矩形的环形通道,并且在两个平行转动的特制不锈钢筛孔板(旋转鼓面)之间旋转,当污泥在通道中前进时,滤液通过筛孔板快速滤出,污泥被不断地浓缩,在出口处形成泥饼。由于特殊旋转鼓面的摩擦力及污泥出口限流器的作用,使得出口污泥的含水率降低,脱水后泥饼含水率可达80%以下。系统进泥压力为2~50 kPa,出口限流器压力为0~500 kPa。

工作流程:首先利用进料泵将剩余污泥注入絮凝反应装置,在反应装置内停留2~3 min,与加入的絮凝剂发生充分的絮凝反应,然后进入污泥脱水机,脱水后的泥饼从污泥出口脱落,并通过封闭式污泥输送管道运到污泥脱水区域的外部,过滤清液则通

过清液排出口排至原污水处理系统。整个操作过程在封闭环境下进行,无臭气释放。工艺流程见图2。

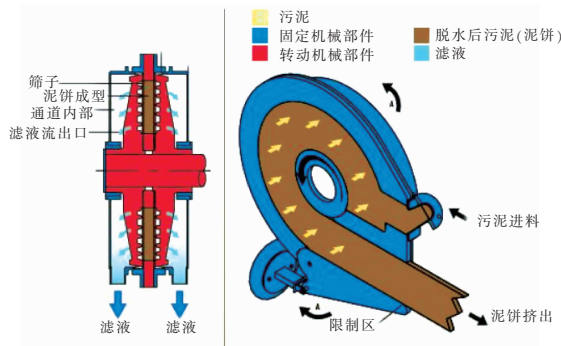


图1 全自动旋转挤压脱水机工作原理

Fig. 1 Working principle diagram of automatic rotary extrusion sludge dewatering machine

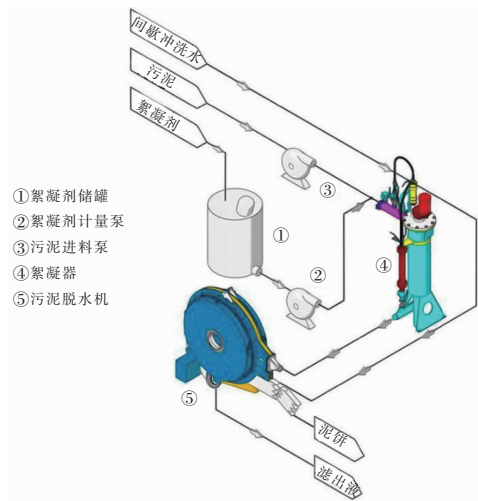


图2 全自动旋转挤压脱水机工艺流程

Fig. 2 Process flow diagram of automatic rotary extrusion sludge dewatering machine

设有反冲洗系统,用于在需要时对整个污泥脱水通道进行清洗。正常清洗一般仅需要5 min/d,每周需要一次约15 min的清洗。

利用PLC对预处理系统、污泥泵的运行(通过进口流量和压力)、设备出口压力、絮凝反应搅拌器、加药反应槽搅拌器、加药泵等进行自动化控制,可通过触摸屏进行人机对话和操控。

2.2 高压带式连续深度脱水机

高压带式连续深度脱水机为第二段深度脱水设备,配套系统主要有固化剂、改性剂投加系统和改性混合机等,可以将污泥含水率由80%降至60%以下。该设备在国内生产,应用案例较多^[5]。工艺流程见图3。

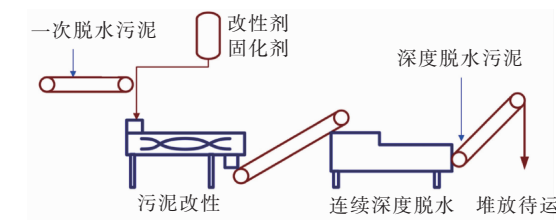


图3 高压带式连续深度脱水技术工艺流程
Fig.3 Flow chart of high pressure belt filter continuous deep dewatering system for sludge

工作原理:首先利用改性剂破坏细胞壁,使胶体脱稳,从而起到降低污泥持水性的作用,使结合水转化为脱稳水,污泥颗粒化、孔隙化,然后利用连续深度脱水压榨机反复、多次高压压榨,使污泥形成5~10 mm 多孔隙薄片状,确保脱稳后的水分被充分挤出。

工作流程:一阶段脱水污泥与改性剂、固化剂在改性混合机内快速、均匀地混合;改性后污泥输送到高压带式连续深度脱水机,在高压、密集作用力下实现污泥脱水;深度脱水后的污泥持水性大幅降低,且泥饼孔隙率大,放置固化后污泥含水率可持续降低。

3 脱水车间设计特点

本项目设计剩余污泥干质量约15.8 t/d,湿污泥1 975 m³/d(以含水率99.2%计)。第一段采用3台全自动旋转挤压式脱水机,2用1备,单台6个模块,设计脱水能力50 m³/h,进料污泥含固率0.8%~1.0%,污泥产量2.5 t/h(以含水率80%计),设计污泥产量79 t/d。第二段采用3套高压带式连续深度脱水设备,2用1备,设计单套脱水能力2.5 t/h,可根据一阶段脱水机的出泥速度和运行时间调整深度脱水机的处理速度和运行时间,达到前后匹配。设计运行时间为19 h/d。

配套污泥切割机3台,2用1备, $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $P=4.0\text{ kW}$;污泥进料泵(螺杆泵), $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $H=0.6\text{ MPa}$, $P=15\text{ kW}$,变频调节;污泥混凝反应器,混合速度为100~450 r/min, $P=0.75\text{ kW}$,变频调节;絮凝剂制备投加装置2套,单套投药能力4 kg/h,加药浓度0.1%~0.3%;改性剂储存及投加系统和固化剂投加系统各一套;脱水机配套冲洗系统1套,冲洗采用污水厂尾水。

两段主要设备分别见表1、2。

表1 第一段污泥脱水主要设备

Tab.1 Main equipment of sludge dewatering in stage I

项 目	主要参数	数量	备注
污泥切割机	$Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $P=4.0\text{ kW}$	3台	
污泥进料泵(螺杆泵)	$Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $H=0.6\text{ MPa}$, $P=15\text{ kW}$	3台	变频调节
污泥混凝反应器	$n=100\sim450\text{ r/min}$, $P=0.75\text{ kW}$	3套	变频调节
全自动旋转挤压脱水机	$Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $P=15\text{ kW}$	3台	变频调节
絮凝剂制备及加药系统	4 000 L/h,投药能力4 kg/h, $P=2.57\text{ kW}$	2套	三箱式
立式离心泵1	$Q=16\text{ m}^3/\text{h}$, $H=700\text{ kPa}$, $P=5.5\text{ kW}$	1台	一级脱水机反洗

表2 第二段污泥脱水主要设备

Tab.2 Main equipment of sludge dewatering in stage II

项 目	主要参数	数量	备注
一级无轴螺旋输送机	输送能力4 t/h, $L=4.6\text{ m}$, $P=3\text{ kW}$	3台	水平
污泥改性混合机	TJDM-800, $P=5.5\text{ kW}$	3台	
高压带式连续深度脱水机	TJSD-3.5, $P=3.3\text{ kW}$	3台	变频调速
二级无轴螺旋输送机	输送能力8 t/h, $P=5.5\text{ kW}$	1台	水平
三级刮板输送机	输送能力8 t/h, $P=15\text{ kW}$	1台	
改性剂投加系统	300 kg/h	1套	含料仓、两级输送机等
固化剂投加系统	$Q=150\text{ L/h}$	2套	含储罐1个、计量泵3台
立式离心泵2	$Q=12\text{ m}^3/\text{h}$, $H=600\text{ kPa}$, $P=4\text{ kW}$	3台	二级脱水机反洗

由于脱水车间位于地下负一层,地下车间内空间有限,平面布置时考虑尽量减少污泥中间转输过程,以节省占地。一级3台脱水机并排布置,出泥利用无轴螺旋输送机分别输送至污泥改性混合机,经

加药改性后,污泥直接掉落至二级脱水机入口。这样两段脱水机之间仅有一道螺旋输送机,既节省能耗,又减小占地,同时提高了整个系统运行的稳定性。各组设备间净距2.4 m,有充足的安装、操作、

维修间距。由于设备体积较小,主体设备布置区占地仅 19.2 m×14.6 m。

地下负一层脱水车间的竖向净高为 5.2~5.7 m,为满足设备安装,在负一层下方设有夹层,深 2.4 m。一段脱水机安装于负一层,利用混凝土支墩架高 1.25 m,设备高约 1.9 m,污泥改性机则贴近负一层地面布置,而二段脱水机安装在设备夹层内。改性机出泥直接进入二段脱水机,二段脱水机的出泥利用刮板机输送至泥库,刮板机最大倾角 60°,可以有效减小设备占地。脱水车间竖向布置见图 4。

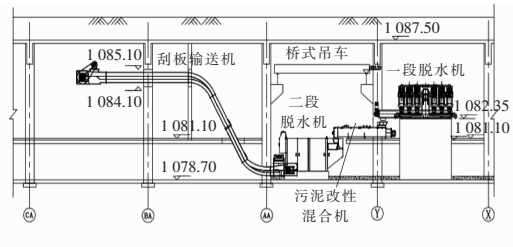


图 4 脱水车间竖向布置

Fig. 4 Vertical layout of sludge dewatering workshop

4 运行效果

该项目竣工至今,已稳定运行一年多,污泥含水率降至 60% 后外运处置,实现了污泥稳定化、减量化和无害化的目标。对于脱水后的污泥,除了运至垃圾场填埋,还可以用于制砖、制水泥等用途。在不加改性剂的情况下,出泥含水率达到 70% 左右,可进行堆肥^[6],也可以用于制水泥、电厂掺烧、垃圾焚烧厂掺烧等^[7-8]。因此,该工艺也为将来的污泥资源化留有可能。

由于两种设备密封性好,只需将除臭系统风管接至设备预留的排气孔即可达到臭气收集的目的。经过除臭后,脱水车间内臭味阈值低,工作环境良好,同时也降低了污泥脱水过程对地下车间内整体空气质量的影响。深度脱水后污泥外观见图 5。



图 5 深度脱水后污泥的外观

Fig. 5 Appearance of sludge after deep dewatering

5 设备投资及运行成本

由于全自动旋转挤压脱水机为原装进口设备,尚未实现国产化,设备价格相对较高。按照处理量计算,两段式深度脱水系统设备投资约 15 万元/t 泥(以 80% 含水率计)。脱水系统的运行成本主要为药剂费、电费和污泥外运费。一段脱水主要用电设备为切割机、进料泵、污泥混凝反应器、全自动旋转挤压脱水机、絮凝剂制备投加系统及脱水机配套冲洗系统。二段脱水主要用电设备为高压带式脱水机、污泥改性混合机、输送机、加药系统和冲洗系统。深度脱水系统 3 套,整体 2 用 1 备,处理能力 79 t/d(以污泥含水率 80% 计),设计运行时间 19 h/d,运行功率一段约 55 kW,二段约 40 kW,总运行功率 95 kW。污泥改性剂投加量按进料湿污泥量的 5% 投加,污泥改性剂市场价按 600 元/t 计;污泥固化剂投加量按进料湿污泥量的 1% 投加,市场价按 2 500 元/t 计;PAM 平均投加量 3 kg/tDS,市场价按 20 000 元/t 计;PAC 平均投加量折算后为 0.01 kg/m³,市场价按 2 500 元/t 计。污泥外运运距 20 km,外运单价按 50 元/m³ 计。电价按 0.73 元/(kW·h) 计。成本计算见表 3。

表 3 污泥脱水运行成本计算

Tab. 3 Calculation of sludge dewatering operation cost

项 目	一段脱水	二段脱水	小计
脱水设备	全自动旋转挤压脱水机	高压带式连续深度脱水机	
药剂	PAM、PAC	固化剂、改性剂(生石灰)	
泥饼含水率/%	80	60	
污泥处理电耗/(kW·h·10 ⁴ m ⁻³)	113	95	208
药剂费用/(元·10 ⁴ m ⁻³)	369	543	912
运行电费/(元·10 ⁴ m ⁻³)	82.2	69.4	151.6
污泥外运费用/(元·10 ⁴ m ⁻³)			321
运行成本/(元·10 ⁴ m ⁻³)			1 384.6

可以看出,两段式污泥深度脱水工艺的运营成本为0.138 46元/m³,与板框深度脱水工艺相比,成本相当^[3-4]。两段式深度脱水工艺占地节省,节约竖向高度约2.5 m,总体积1 940 m³,土建投资约节省155万元,约为脱水车间土建成本的25%。同时,该工艺为连续运行,操作简单,减轻了人员的工作量。设备运行故障率低,降低了维护成本。考虑土建成本、人工成本和维修管理费用,该工艺具有较明显的优势。

6 结论

两段式污泥深度脱水工艺设备占地小,可降低25%土建成本,适应全地下污水处理厂的特点;连续运行,性能稳定可靠,自动化程度高,有效降低工人劳动强度;系统装机功率低,节能降耗;设备封闭性好,车间臭味小,运行噪声低,环境友好。

实践证明,采用全自动旋转挤压脱水机和高压带式连续深度脱水机的两段式污泥深度脱水工艺,适应全地下污水处理厂的特点,达到了污泥稳定化、减量化和无害化的目标,并为污泥资源化留有充分的余地。

参考文献:

- [1] 赵凤伟,李金林,桂莎,等. 叠螺式脱水机在含油污泥脱水中的应用[J]. 工业用水与废水,2015(2):26-29.
ZHAO Fengwei, LI Jinlin, GUI Sha, *et al.* Application of screw press filter for oily sludge dewatering [J]. Industrial Water & Wastewater, 2015(2):26-29 (in Chinese).
- [2] 彭庆. 叠螺污泥脱水机运行经验总结[J]. 给水排水, 2016, 42(1):108-110.
PENG Qing. Summary of the operation experiences of the stack screw type sludge dewatering machine[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(1):108-110 (in Chinese).
- [3] 谢小青,黄珍艺,戴兰华,等. 厦门城市污泥深度脱水处理及资源化利用研究[J]. 中国给水排水,2010,26(5):138-140.
XIE Xiaoqing, HUANG Zhenyi, DAI Lanhua, *et al.* Study on deep dewatering and recycling of municipal sludge in Xiamen[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(5):138-140 (in Chinese).
- [4] 许金泉,程文,耿震. 隔膜式板框压滤机在污泥深度脱水中的应用[J]. 给水排水,2013,39(3):87-90.
XU Jinquan, CHENG Wen, GENG Zhen. Application of the diaphragm type plate and frame filter press on advanced sludge dewatering [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(3):87-90 (in Chinese).
- [5] 李建,阮燕霞,陈良才,等. 粉煤灰改性—高压带式连续脱水设备用于污泥减量[J]. 中国给水排水,2019,35(14):105-109.
LI Jian, RUAN Yanxia, CHEN Liangcai, *et al.* Application of high pressure belt dewatering equipment modified by fly ash in municipal sludge reduction [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14):105-109 (in Chinese).
- [6] 梁恒,杜鹏,刘宁,等. 污水厂污泥好氧堆肥设计及运行[J]. 净水技术,2017,36(2):95-98.
LIANG Heng, DU Peng, LIU Ning, *et al.* Design and operation of sludge aerobic composting for wastewater treatment plant (WWTP) [J]. Water Purification Technology, 2017, 36(2):95-98 (in Chinese).
- [7] 高亮,邵德洲,张曙光,等. 污泥掺烧技术研究[J]. 环境卫生工程,2008,16(4):48-51.
GAO Liang, SHAO Dezhou, ZHANG Shuguang, *et al.* Mixed incineration technology of sludge [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2008, 16(4):48-51 (in Chinese).
- [8] 吴越,时剑,童红. 应用循环流化床锅炉掺烧城市污泥的技术研究[J]. 环境保护科学,2009,35(5):35-48.
WU Yue, SHI Jian, TONG Hong. Technology research on burning urban sludge with circulation fluid bed boiler [J]. Environmental Protection Science, 2009, 35(5):35-48 (in Chinese).

作者简介:陈志真(1980-),男,黑龙江五大连池人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事给水排水工程、水环境综合治理工程的设计研究工作。

E-mail:361090197@qq.com

收稿日期:2021-01-25

修回日期:2021-02-01

(编辑:衣春敏)