

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.04.021

深圳市污泥深度脱水应急工程的设计与运行

颜莹莹, 孟春霖, 臧星华, 万修志, 李雪怡, 马嘉蔚
(北京首创污泥处置技术有限公司, 北京 100044)

摘要: 由于本地污泥处置能力不足,目前深圳市仍有约60%的污泥外运处置,运输距离远,处置价格高。2019年初,深圳福永水质净化厂将离心脱水后含水率80%的污泥运送至183 km外的华润电力海丰电厂进行掺烧,总成本约62 352元/d。2019年5月起,该厂污泥深度脱水应急工程开始实施,采用能与现状离心脱水系统相衔接的深度脱水带式机,通过药剂调理和机械压榨,将污泥含水率从80%降至60%,污泥外运量从120 t/d降至68.3 t/d,减量效果显著。在污泥减量的同时,污泥的处理处置总成本也降至44 315元/d,经济效益明显。此外,深度脱水后的污泥从团状塑态变为片状半固态,有利于进行长距离运输和电厂协同处置,污泥热值从-0.96 MJ/kg升至0.69 MJ/kg。该污泥深度脱水应急工程已稳定运行一年多,其设计和运行经验具有一定的借鉴意义。

关键词: 深度脱水带式机; 污泥减量; 应急工程

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)04-0120-05

Design and Operation of the Emergency Project for Deep Dewatering of Sludge in Shenzhen

YAN Ying-ying, MENG Chun-lin, ZANG Xing-hua, WAN Xiu-zhi, LI Xue-yi,
MA Jia-wei

(Beijing Capital Sludge Disposal Co. Ltd., Beijing 100044, China)

Abstract: Due to the lack of local sludge disposal capacity, about 60% of the sludge in Shenzhen is still exported for disposal, which means a long transportation distance and high disposal price. At the beginning of 2019, Shenzhen Fuyong WWTP transported the sludge with a water content of 80% after centrifugal dewatering to China Resources Power Haifeng Power Plant, which is 183 km away, for mixed burning with a total daily cost of about 62 352 yuan. Since May 2019, the emergency project for deep dewatering of sludge has been implemented. The deep dewatering belt dehydrator that can be connected with the current centrifugal dewatering system has been used to reduce the sludge water content from 80% to 60% and reduce the sludge transport volume from 120 t/d to 68.3 t/d through chemical conditioning and mechanical pressing with significant reduction effect. Besides, the total cost of sludge treatment and disposal has also decreased to 44 315 yuan/d, with obvious economic benefits. In addition, the appearance of the sludge after deep dewatering changes from a lumpy plastic state to a sheet-like semi-solid state, which is conducive to long-distance transportation and power plant co-processing. The calorific value of sludge increased from -0.96 MJ/kg to 0.69 MJ/kg. The emergency project of sludge deep dewatering has been running stably for over a year, whose design and operation experience can provide references.

通信作者: 颜莹莹 E-mail: yanyingying2018@163.com

Key words: deep dewatering belt dehydrator; sludge reduction; emergency project

截至2019年底,深圳市已建成水质净化厂38座,总设计规模达到 $619.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际污水处理量为 $535.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据深圳市水务局的统计,2015年—2019年深圳市的水质净化厂出厂污泥量呈现先降后升的趋势(分别为2 808.8、2 432.88、2 584.03、2 963.75、3 433.12 t/d),其中2019年出厂污泥中有1 938 t/d为离心脱水后含水率80%的污泥。深圳市内的污泥无害化处置能力尚存较大缺口,2018年深圳水质净化厂62.7%的污泥通过外运处置,市内处置(含深汕特区)部分仅占37.3%。随着污泥量的逐年攀升,污泥外运的运输成本和处置成本随之上升,因此,深圳市政府要求加快推进水质净化厂的厂内污泥减量工作。以福永水质净化厂的污泥减量工作为例,出厂污泥含水率从80%降至60%,污泥外运量从120 t/d减至68.3 t/d,减量率为42.5%,污泥运输费和处置费也相应减少42.5%。

1 项目概况

北京首创股份有限公司在深圳共运营3座水质净化厂,分别是公明水质净化厂、福永水质净化厂和松岗水质净化厂,污水处理量合计 $37.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。这3座水质净化厂的浓缩污泥均经离心脱水机脱水至含水率80%后外运处置,污泥产量为360 t/d,具体见表1。

表1 3座水质净化厂的污水处理规模和产泥量

Tab.1 Treatment capacity and sludge production of the three WWTPs

| 污水厂名称 | 污水处理量/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) | 污泥产量(含水率 80%)/(t·d ⁻¹) |
|---------|--|---------------------------------------|
| 公明水质净化厂 | 10 | 80 |
| 福永水质净化厂 | 12.5 | 120 |
| 松岗水质净化厂 | 15 | 160 |

经深圳市政府协调,这3座水质净化厂的污泥外运至临近深圳的汕尾市华润电力海丰电厂进行协同焚烧处置。经计算,公明、福永、松岗3座水质净化厂与海丰电厂的距离分别为172、183、170 km,平均运距为175 km,运输单价为1.2元/(t·km),电厂掺烧价格为300元/t,则外运处置成本分别为506、520、504元/t。

深圳市政府为了减少污泥外运处置的总量并控制成本,敦促在公明、福永、松岗3座水质净化厂内增设应急深度脱水设施,将污泥含水率从80%降至60%以下,在减量的同时提高污泥热值,最终外运电厂进行处置。

2 福永水质净化厂污泥处置

2.1 污泥泥质

总体而言,福永水质净化厂的污泥具有热值低、有机质含量偏低、含砂量高的特点。根据2019年4月的泥质检测报告,污泥含水率为79.13%,干燥基挥发分占33.36%,干燥基灰分占65.43%,干燥基低位发热量为5.58 MJ/kg,有机质含量仅占33.36%,含砂量高达18.48%,属于脱水性能较好的污泥。

2.2 工艺比选

目前常用的机械深度脱水方式有高压板框脱水和高压带式连续深度脱水^[1-6]。高压板框脱水以浓缩污泥(含水率约98%)作为处理对象,先将调理剂与污泥进行混合改性后,再通过高压板框压滤机进行序批式压榨,使污泥含水率降至60%以下^[7]。高压带式连续深度脱水以一次脱水污泥(含水率约80%)作为处理对象,将固态的污泥与改性剂充分混合后,经由深度脱水带式机进行二次压榨,深度脱水后泥饼含水率降至60%以下^[8]。两项技术对比见表2。

表2 深度脱水带式机与高压板框机的对比

Tab.2 Comparison of deep dewatering belt dehydrator and high pressure plate frame dewatering

| 项目 | 深度脱水带式机 | 高压板框脱水机 |
|------------|---|------------------------------------|
| 与现有脱水设备的衔接 | 可与现状离心脱水机联合使用,直接对80%含水率污泥进行二次压榨,无需闲置或拆除现有脱水设备 | 与浓缩机/池配合使用,需闲置或拆除现有脱水设备 |
| 改造工程量 | 可利用现状污泥脱水机房附近空地(硬化地面)进行设备安装,工期短,工作量少,工程造价低 | 占地大,一般需建设2层结构,需新建污泥脱水车间,工作量大,工程造价高 |
| 装机功率 | 耗电量低,耗电量约为8 kW·h/t泥(以80%含水率计) | 耗电量高,耗电量约30 kW·h/t泥(以80%含水率计) |
| 操作 | 连续运行,泥饼自动卸料,自动化程度高 | 序批式运行,几乎无法摆脱人工铲泥饼卸料,劳动强度大 |

该工程为现状污水处理厂污泥脱水段的升级改造,建设和调试期间不能影响现状离心脱水系统的运行,且受限于拟建场地的可利用面积较小、工程建设周期较短等因素,拟采用占地面积小、施工难度小的高压带式连续深度脱水工艺。

2.3 工艺设计

在福永水质净化厂的离心脱水机房旁设置1套深度脱水带式机成套机组,设计处理能力为5.5 t/h(以污泥含水率80%计),每天设计工作时间为22 h,主要包括:进料系统、污泥改性系统、深度脱水带式机主机、出料系统和辅助设备。工艺流程见图1。

福永水质净化厂的一次脱水污泥(含水率约80%)通过螺旋输送至污泥改性混合机,投加改性剂(质量分数为15%的聚合硫酸铁溶液,投加比例为污泥质量的5%)和复合药剂(干粉类药剂,投加比例为污泥质量的2%)。投加的药剂和污泥在改性混合机内快速、均匀地混合,一方面通过破解活性污泥结构,释放结合水和胞内水;另一方面,构建微型骨架,增加泥饼强度,提高污泥脱水性能^[9]。

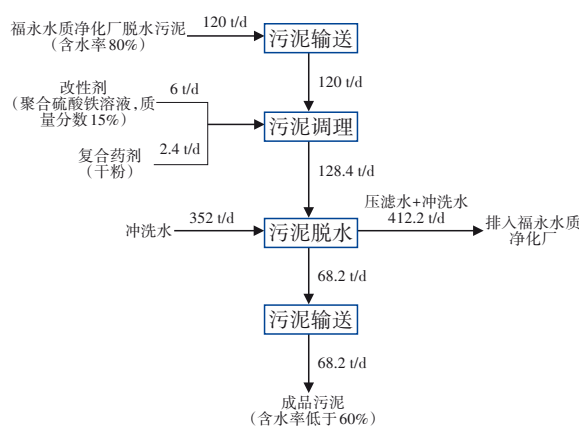


图1 污泥深度脱水工艺流程

Fig.1 Flow chart of sludge deep dewatering project

改性后的污泥定量输送至污泥深度脱水带式机,在深度脱水带式机的压榨作用下实现污泥深度脱水,脱水后的污泥形成5~10 mm多孔隙薄片状泥饼,含水率降至60%左右^[10]。

2.4 工程的实施

该项目位于福永水质净化厂的厂区内,共建设一座主体厂房和一座泥仓。主要建设内容如表3所示。

表3 主要建设内容

Tab.3 Main construction content of the project

| 类型 | 名称 | 建设内容 | 备注 |
|---------|------|--|--------|
| 主体工程 | 主体厂房 | 建筑面积141.86 m ² ,建设有污泥脱水主机、原料污泥储存仓及其他配套设施等 | 一层 |
| 仓储工程 | 泥仓 | 建筑面积36 m ² ,高6 m,储存脱水后的污泥 | 一层,彩钢房 |
| 公用工程 | 给水 | 依托福永水质净化厂 | |
| | 排水 | 压滤布冲洗废水和污泥脱水产生的压滤水直接返回福永水质净化厂进行处理 | |
| | 供电 | 依托福永水质净化厂 | |
| 办公及生活设施 | 办公室 | 依托福永水质净化厂现有办公设施 | |

该工程充分利用现有污泥离心脱水机和污泥料仓,避免了重复投资和建设,节约投资。新增设备装机功率低,整套深度脱水带式机系统的装机功率仅为30 kW。工期短,改造总工期仅为30 d,在改造期间现状污泥离心脱水设备仍可正常生产。

3 运行效果

3.1 生产调试

污泥处置单位——华润电力海丰电厂对污泥的泥质进行了限定。为了降低锅炉结焦和管路腐蚀的风险,电厂规定污泥脱水过程中不得投加生石灰和含有氯离子的药剂。经实验室小试和现场生产调试,确定本项目的污泥调理药剂由两种药剂组成,分别是:

① 骨架剂。主要为聚合硅酸盐、二氧化硅、氧化铝等的混合物,干粉状,使用时以干粉状态加入污泥改性系统。

② 改性剂。主要成分为聚合硫酸铁,固态,用水溶解成15%质量分数的溶液,在污泥调理环节加入污泥改性系统。

药剂的质量投加比如表4所示。

表4 污泥调理药剂的质量投加比

Tab.4 Dosing ratio of sludge conditioning agents

| 调理药剂 | 投加形式 | 质量投加比/% |
|------|---------------------------------|---------|
| 骨架剂 | 干粉直接投加 | 2 |
| 改性剂 | 聚合硫酸铁粉末用水溶解成15%质量分数的溶液后投至污泥改性系统 | 0.75 |

3.2 技术经济指标

该项目的处理规模为 120 t/d (污泥含水率 80%),直接运行成本为 73.55 元/t,费用组成具体分析见表 5。

表 5 直接运行成本
Tab.5 Direct operating cost of the project

| 项目 | 费用/(元·t ⁻¹) | 备注 |
|-------|-------------------------|---|
| 电费 | 4.95 | 电价 0.9 元/(kW·h),单套机组(处理量 120 t/d)的运行功率为 30 kW,每天运行 22 h |
| 水费 | 2.93 | 中水水费 1 元/m ³ ,单套机组(处理量 120 t/d)的冲洗水量为 16 m ³ /h,每天运行 22 h |
| 药剂费 | 59 | 骨架剂投加比例 2%,药剂单价 2 200 元/t,改性剂投加比例 0.75%,药剂单价 2 000 元/t |
| 人工费 | 6.67 | 4 人,4 班 3 运转,人工成本约为 6 000 元/(月·人) |
| 直接运行费 | 73.55 | |

该系统已经稳定运行一年(2019 年 5 月—2020 年 5 月),现场运行情况表明:

- ① 经过药剂改性并深度脱水后的污泥满足电厂掺烧污泥泥质的要求;
- ② 福永水质净化厂的污泥脱水性能较好,通过深度脱水带式机的压滤,污泥含水率由 80% 左右降至 60% 以下;
- ③ 本工程实施后,外运污泥量由 120 t/d (含水率 80%) 下降至 68.3 t/d (含水率 60%),减量达 42.5%;
- ④ 经深度脱水带式机压滤后的污泥性状松散,长距离运输过程中由于水分挥发,含水率进一步下降,进电厂的实测污泥含水率可达到 55% 左右,污泥热值进一步提升。

3.3 经济效益分析

表 6 给出了福永水质净化厂污泥深度脱水应急工程实施前后的污泥处理处置总成本的对比,涵盖了污泥的深度脱水、运输和电厂掺烧的全流程。在工程实施前,由于运输和处置的都是含水率 80% 的污泥,体积较大,污泥的处理处置总成本为 62 352 元/d;而在工程实施后,虽然增加了污泥的深度脱水成本,但是由于运输和处置的是含水率 60% 的污泥,体积大幅减少,污泥处理处置总成本下降至 44 315 元/d,节约了 29%。

表 6 污泥深度脱水应急工程实施前后处置成本对比

Tab.6 Comparison of disposal costs before and after the implementation of the emergency project for deep dewatering of sludge

| 项 目 | 工程实施前(含水率 80% 的污泥直接外运处置) | 工程实施后(含水率 60% 的污泥外运处置) |
|---|--------------------------|------------------------|
| 处理量/(t·d ⁻¹) | 120 | 120 |
| 深度脱水直接运行成本/(元·t ⁻¹) | 0 | 73.55 |
| 深度脱水总成本/(元·d ⁻¹) | 0 | 8 826 |
| 水质净化厂与电厂的距离/km | 183 | 183 |
| 运输单价/(元·t ⁻¹ ·km ⁻¹) | 1.2 | 1.2 |
| 污泥外运量/(t·d ⁻¹) | 120 | 68.3 |
| 污泥运输总成本/(元·d ⁻¹) | 26 352 | 14 999 |
| 污泥电厂掺烧单价/(元·t ⁻¹) | 300 | 300 |
| 污泥处置量/(t·d ⁻¹) | 120 | 68.3 |
| 污泥运输总成本/(元·d ⁻¹) | 36 000 | 20 490 |
| 合计(深度脱水+运输+处置)/(元·d ⁻¹) | 62 352 | 44 315 |

4 结 论

由于深圳市本地的污泥处置能力不足,目前深圳市的污泥仍有约 60% 采用外运处置的方式,运输距离远,处置价格高。为了降低整体的污泥处理处置成本,在水质净化厂内进行减量成为一种重要的方式。福永水质净化厂污泥深度脱水应急工程,采用能与现状离心脱水系统相衔接的深度脱水带式机,将污泥含水率从 80% 降至 60%,污泥外运量从 120 t/d 降至 68.3 t/d,减量效果显著。同时,污泥的处理处置总成本也从 62 352 元/d 降至 44 315 元/d,经济效益明显。此外,深度脱水后的污泥性状从团状塑态变为片状半固态,有利于进行长距离运输和电厂协同处置,污泥热值从 -0.96 MJ/kg 升至 0.69 MJ/kg。从福永水质净化厂污泥深度脱水应急工程一年多的运行结果来看,污泥在厂内利用深度脱水带式机进行减量后送至电厂协同焚烧处置,是一条可借鉴的污泥无害化处理处置路径。

参考文献:

[1] 程俊,胡小虎,姚宝军. 污泥机械深度脱水方法对比研究[J]. 中国环境管理干部学院学报,2010,20(5): 47-50.

- CHENG Jun, HU Xiaohu, YAO Baojun. The contrastive study of sludge mechanical deep dehydration methods [J]. Journal of EMCC, 2010, 20(5): 47-50 (in Chinese).
- [2] 冯云刚,徐云辉,戴明华,等. 基于PAC+PAM调理的污泥深度脱水工程设计与运行[J]. 中国给水排水, 2020, 37(8): 96-100.
- FENG Yungang, XU Yunhui, DAI Minghua, *et al.* Design and operation of sludge deep dewatering project based on PAC+PAM conditioning [J]. China Water & Wastewater, 2020, 37(8): 96-100 (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] 陈柏校,张辰,王国华,等. 污泥深度脱水工艺在杭州七格污水处理厂的应用[J]. 中国给水排水, 2011, 27(8): 83-85.
- CHEN Baixiao, ZHANG Chen, WANG Guohua, *et al.* Application of advanced sludge dewatering process at Qige WWTP, Hangzhou [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(8): 83-85 (in Chinese).
- [5] 姚杰. 污泥深度脱水关键技术研究及应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(23): 153-157.
- YAO Jie. Study and application of key technology for advanced sludge dewatering [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(23): 153-157 (in Chinese).
- [6] 程文,耿震,张新彦. 污水厂污泥深度脱水工程的优化探讨[J]. 中国给水排水, 2015, 31(16): 62-64.
- CHENG Wen, GENG Zhen, ZHANG Xinyan. Discussion on optimization of advanced sludge dewatering system in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(16): 62-64 (in Chinese).
- [7] 赵乐乐,储庆. 污水处理厂污泥深度脱水系统设计与调试运行[J]. 净水技术, 2015, 34(3): 72-75.
- ZHAO Lele, CHU Qing. Design and debugging operation of sludge deep dewatering system in sewage treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2015, 34(3): 72-75 (in Chinese).
- [8] 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 filter dewatering equipment modified by fly ash in municipal sludge reduction [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14): 105-109 (in Chinese).
- [9] 李亚林,陈宁宁,张诗楠,等. 三种基于骨架构建体污泥复合调理剂脱水泥饼土工性能研究[J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(5): 122-126.
- LI Yalin, CHEN Ningning, ZHANG Shinan, *et al.* Study on engineering properties of dewatered sludge with skeleton builder by using three kinds composite conditioners [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2013, 35(5): 122-126 (in Chinese).
- [10] 刘帮樑,李波,鲍家华,等. 一体化污泥深度脱水技术的工程应用[J]. 环境工程, 2014, 32(12): 23-25.
- LIU Bangliang, LI Bo, BAO Jiahua, *et al.* Engineering application of integration sludge depth dewatering technology [J]. Environmental Engineering, 2014, 32(12): 23-25 (in Chinese).

作者简介:颜莹莹(1982-),男,福建泉州人,硕士,工程师,从事污泥处理工程设计与研究工作。

E-mail: yanyingying2018@163.com

收稿日期: 2020-08-06

修回日期: 2020-08-30

(编辑:衣春敏)