

# 粉煤灰改性—高压带式连续脱水设备用于污泥减量

李 建<sup>1</sup>, 阮燕霞<sup>1</sup>, 陈良才<sup>1</sup>, 唐秀华<sup>1</sup>, 潘 涛<sup>1</sup>, 徐金有<sup>1</sup>, 魏宏斌<sup>2</sup>

(1. 上海中耀环保实业有限公司, 上海 200092; 2. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

**摘 要:** 某市政污水处理厂原采用浓缩带式脱水+石灰干化工艺将污泥含水率降至60%后送填埋场填埋。针对石灰干化工艺存在的石灰投加大、污泥增量、运行费用高等问题,提出了污泥减量改造措施。为充分利用原有设备和场地,并确保改造期间污水厂正常生产,改造采用能与原污泥脱水系统快速对接的高压带式连续污泥深度脱水技术,新增装机功率仅为79.38 kW,改造工期仅为46 d。污泥改性剂以新型粉煤灰为主,4个月的连续运行结果表明,污泥平均含水率从79.80%降至55%,污泥减量率达30%以上。与改造前石灰干化工艺相比,污泥产量由约100 t/d减至约55 t/d,污泥处理费由213.50元/t(含水率为80%计)大幅降至41.70元/t,污泥减量效果和经济效益显著。

**关键词:** 高压带式连续污泥深度脱水设备; 粉煤灰改性; 污泥减量

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0105-05

## Application of High Pressure Belt Filter Dewatering Equipment Modified by Fly Ash in Municipal Sludge Reduction

LI Jian<sup>1</sup>, RUAN Yan-xia<sup>1</sup>, CHEN Liang-cai<sup>1</sup>, TANG Xiu-hua<sup>1</sup>, PAN Tao<sup>1</sup>,  
XU Jin-you<sup>1</sup>, WEI Hong-bin<sup>2</sup>

(1. Shanghai Zhongyao Environmental Protection Industry Co. Ltd., Shanghai 200092, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** A sewage treatment plant originally used concentrated belt dewatering and lime drying processes to reduce the water content of sludge to 60% before sending it to landfill. In view of the problems in lime drying process, such as large lime dosage, sludge increment and high operation cost, the renovation measure for sludge reduction was put forward. In order to make full use of the original equipment and site, and ensure the normal operation of the plant during the renovation, high pressure belt filter for continuous deep dewatering of sludge was adopted to be quickly connected with the original sludge dewatering system. The newly installed power was only 79.38 kW, and the renovation period of the project was only 46 days. The results of the four-month operation showed that the average water content of sludge was reduced from 79.80% to 55%, and the sludge reduction rate was over 30%. Compared with the previous lime drying process, the sludge production was reduced from about 100 t/d to 55 t/d, and the sludge treatment fee was greatly reduced from 213.50 yuan/t (calculated as 80% water content) to 41.70 yuan/t. Sludge reduction effect and economic benefits were significant.

**Key words:** high pressure belt filter for continuous deep dewatering of sludge; modified by fly ash; sludge reduction

污泥处理处置的原则是“减量化、稳定化、无害化、资源化”,其中的减量化就是在资源化利用或回到环境之前尽量减少污泥的质量和体积。污泥机械脱水是最经济的污泥减量化方式<sup>[1]</sup>,但随着污泥处理要求的提高,污泥脱水到含水率 80% 一般不能满足处理要求,各地普遍要求采用污泥深度脱水的方式,将污泥含水率降低到 60% 或更低后再进一步处理处置。

## 1 工程概况

安徽省某市政污水处理厂设计污水处理规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 污泥产量约为  $80 \text{ t/d}$  (以含水率为 80% 计)。原污泥处理方式为“浓缩带式脱水 + 石灰干化”, 将污泥含水率降至 60% 后送填埋场填埋。经浓缩带式脱水后, 污泥平均含水率为 79.80%, 采用石灰干化到含水率为 60%, 对生石灰 (CaO 的含量  $\geq 80\%$ ) 的需求量约为  $300 \text{ kg/t}$  湿污泥, 经石灰干化后污泥量约  $100 \text{ t/d}$  (含水率为 60%), 造成污泥增量。随着石灰价格的升高以及填埋场地资源的限制, 厂内决定采用污泥深度脱水工艺代替现有的石灰干化工艺, 以降低污泥处理成本, 提高污泥的减量效果, 并且深度脱水后污泥的低位热值提高, 可送至热电厂掺烧处置。

## 2 改造工艺的选择和特点

### 2.1 技术工艺比选

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<sup>[2]</sup>。高压板框脱水以含水率为 95% ~ 97% 的污泥为处理对象, 先将调质剂 (一般为生石灰 + 氯化铁) 与污泥进行混合改性, 再采用高压板框压滤设备进行间歇式脱水处理, 使污泥含水率降到 60%<sup>[3-4]</sup>。高压带式连续深度脱水可直接处理含水率为 80% 的污泥, 将一次脱水后含水率为 80% 的污泥与改性剂混合改性后, 再经高压带式连续深度脱水机二次压榨, 深度脱水后泥饼的含水率降至 60% 以下。

两项技术对比见表 1。由表 1 可知, 高压板框脱水要求进泥含水率为 95% 左右, 根据邻建市政污水厂采用高压板框脱水的改造经验, 本项目若采用高压板框脱水, 则需拆除现有的带式脱水设备, 并新建污泥脱水车间, 建设周期长, 投资高, 在建设期间影响厂内污泥处理的正常生产运行, 且存在占地面积大、系统复杂、装机功率大等缺点。

若采用高压带式连续深度脱水, 只需拆除原有

石灰干化设备, 保留原有带式脱水设备, 在改造期间带式脱水机照常运行, 不影响污水厂生产。改造只需在原石灰干化部分进行, 原有厂房被完全利用并且不新增或扩建厂房, 改造工期短, 工程造价低。另外, 对比高压板框污泥深度脱水, 高压带式连续污泥深度脱水具有投资低、装机功率低、占地省、操作连续简便等显著优势。故高压带式连续污泥深度脱水工艺对该污泥处理改造项目具有显著适用性。

表 1 高压带式连续深度脱水与高压板框脱水对比

Tab. 1 Comparison of continuous deep dewatering of sludge and high pressure plate frame dewatering

项 目	高压带式连续深度脱水	高压板框脱水
工作方式	与常规脱水工艺联合使用, 连续脱水, 低压工作	与浓缩机/池和调理池配合使用, 批次脱水, 高压工作
臭气收集	可全封闭设计, 方便气体会收集	需要单独设封罩房, 臭气量大, 而且卸泥时仍需工人进入封罩房内
装机功率	成套系统装机功率几十千瓦 (一般不超过 40 kW), 约占污水厂总装机功率 2%, 并且连续平稳运行, 无用电波峰波谷	成套系统装机功率达上百千瓦, 一般占污水厂总装机功率 15%, 甚至需要申请新增用电容量, 用量负荷波动大
占地	占地少。旧项目改造可充分利用原有污泥脱水车间, 不新增或少新增用地	占地大, 一般需建设成 2 层, 框架结构强度要求高。旧项目改造几乎不能利用原有脱水车间, 需要拆旧或择地新建车间
操作	连续运行, 泥饼自动卸料, 生产过程中不需人工参与	间歇运行, 几乎无法摆脱人工铲泥饼操作, 劳动强度大
改造工作量	可保留原有脱水设备, 边生产边改造, 工期短, 工作量少, 工程造价低	拆除原有设备后新建或择地新建, 工期长, 工作量大, 工程造价高
维修维护	以低压设备为主, 深度脱水机只有上下两条滤布, 设备维修维护和滤布更换简便, 成本低	高压设备较多, 滤布较多, 设备维护保养和更换滤布工作量大, 维修维护成本高

### 2.2 改造工艺

设置 2 套高压带式连续深度脱水设备, 单套设计处理能力为  $4 \text{ t/h}$  (以含水率为 80% 计), 2 套同时工作时每天的设计工作时间为 10 h。高压带式连续污泥深度脱水成套设备包含污泥改性混合机 (单机额定功率 7.5 kW)、连续污泥深度脱水机 (单机额定功率为 4.5 kW)、改性剂 (粉煤灰) 定量投加装置、固化剂溶解投加装置、污泥输送机、冲洗水泵、空压机、自控系统等。

基本工艺流程见图 1。

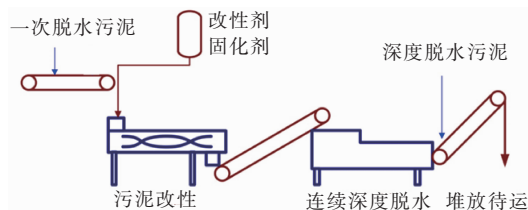


图 1 高压带式连续污泥深度脱水系统工艺流程

Fig. 1 Flow chart of high pressure belt filter continuous deep dewatering system for sludge

### ① 污泥改性

将原有带式脱水机产生的一次脱水污泥(含水率为 80% 左右)输送至污泥改性混合机,同时投加污泥固化剂和粉煤灰。投加的上述药剂与一次脱水污泥在改性混合机内快速、均匀地混合。一方面,破解活性污泥结构,释放结合水和胞内水;另一方面,构建微型骨架体,增加污泥絮粒强度,提高污泥脱水性能<sup>[5]</sup>。

污泥改性、脱水前后电镜扫描分析结果如图 2 所示。改性前污泥孔隙率较低,污泥颗粒间挤压连接,主要颗粒尺寸较大(7~9  $\mu\text{m}$ ),颗粒呈片状,主要孔隙尺寸较小(2~4  $\mu\text{m}$ )。改性后污泥颗粒由片状变为粒状,主要孔隙尺寸增至 3~6  $\mu\text{m}$ ,污泥颗粒间的孔隙率提高,有利于后续压榨过程中污泥内部水的释放。

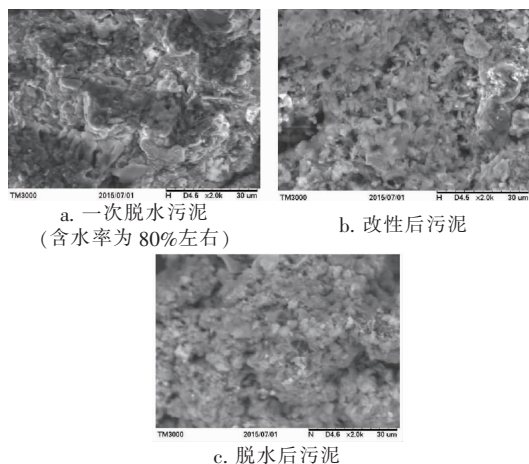


图 2 污泥改性前后 SEM 图

Fig. 2 SEM graph before and after sludge modification and dehydration

### ② 深度脱水

改性污泥进入高压带式连续深度脱水机,先经布料装置将污泥均布在滤布上,随着滤布的行进,污

泥经由多组压力递增的压榨机构对污泥产生高压、密集压榨,污泥中的大量水分被进一步压出,压滤液通过集液盘收集后集中处理或回流至污水厂进水;压榨后污泥在出泥端由刮刀自动刮落,上下滤布分离后分别被冲洗干净循环投入使用。经高压带式连续深度脱水机脱水后泥饼仅为 5~10 mm 多孔隙薄片状,其含水率降到 60% 以下。

### 2.3 改造工程的实施

原有的污泥脱水车间占地 16.2 m × 27.0 m,石灰干化车间占地 16.2 m × 15 m,二者相邻;另外在石灰干化车间一侧室外有一台 50 m<sup>3</sup> 的石灰储罐。3 台浓缩带式脱水机产生的一次脱水污泥(含水率为 80% 左右)经水平螺旋输送机 and 倾斜螺旋输送机输送到石灰干化车间进行干化处理。

本次改造完全保留原有污泥脱水车间,只在原石灰干化车间内进行,不新增用地。将水平螺旋之后的石灰干化设备拆除,保留和利用原有的浓缩带式脱水机、配套污泥输送机、石灰储罐、石灰输送螺旋等设备,石灰储罐和输送螺旋在改造中用于储存和输送粉煤灰。新设倾斜刮板输送机与水平螺旋输送机相连,将一次脱水后的污泥输送至高压带式连续深度脱水系统。

改造后的污泥深度脱水系统现场布置见图 3。



图 3 连续污泥深度脱水系统工艺现场布置

Fig. 3 Site layout of continuous deep dewatering system for sludge

### 2.4 改造工艺特点

① 充分利用了现有污泥脱水设施和设备,避免重复投资和建设、节约投资。

② 新增装机功率低(79.38 kW)。

③ 实现与现有浓缩带式脱水设备的快速对接,改造总工期仅为 46 d,在改造期间现状污泥脱水设备仍可正常生产。



④ 设备连续运行,处理效率高。目前该污水厂原人员配置完全可以满足改造后的需要,不需要增加人工。

### 3 调试过程及效果

调试分为实验室小试与生产调试。

#### 3.1 实验室小试

在实验室小试过程中,取原浓缩带式脱水机处理后的污泥,投加质量比(占含水率80%污泥总量,下同)为0.5%~1%的固化剂与质量比为0~10%的粉煤灰后,与原石灰干化通过生石灰与水的反应产生热量来蒸发水分的过程不同,小试模拟了深度脱水过程,通过二维压榨使滤液持续从污泥中流出,最终使污泥含水率降至60%。

#### 3.2 生产调试

高压带式连续污泥脱水成套设备投入联动运行后,根据改性污泥耐压性调整高压带式连续深度脱水机的气缸压强(0.25~0.50 MPa),再调整固化剂和粉煤灰投加量分析污泥含水率的变化情况。

在生产调试中,根据小试结果,投加质量比为0.5%~1%的固化剂及质量比为0~8%的新型粉煤灰改性剂,经高压带式连续深度脱水系统处理后污泥含水率见表2。

表2 深度脱水后污泥的含水率

Tab.2 Water content of sludge after deep dewatering

一次脱水污泥含水率	粉煤灰改性剂投加量 (药剂和一次脱水污泥质量比)	深度脱水后 污泥含水率 (设备出口)
79.45	0	70.0
80.45	2	65.8
79.86	4	62.4
80.01	6	59.3
79.23	8	54.8

由表2可见,一次脱水污泥含水率为79%~81%,含水率平均值为79.80%。经高压带式连续深度脱水后,污泥含水率随着粉煤灰投加量的升高而降低。当粉煤灰投加量为一次脱水污泥质量的6%时,深度脱水后污泥含水率<60%;当粉煤灰投加量增至8%时,污泥含水率进一步降至55%以下。经测试,当脱水污泥含水率为55%时,其平均低位热值为3 245 kJ/kg。

深度脱水后污泥的外观见图4。泥饼厚度为7~10 mm,外观由团状塑态变为片状半固态。



图4 深度脱水后污泥的外观(含水率约为55%)

Fig.4 Appearance of sludge after deep dewatering

### 4 改造前后技术经济分析

#### 4.1 技术指标分析

改造前后技术指标对比见表3。

表3 改造前后技术指标对比

Tab.3 Comparison of technical indicators before and after renovation

项 目	改造前的 石灰干化 工艺	改造后的粉煤灰 改性—高压带式连 续深度脱水工艺
一次脱水污泥平均含水率/%	79.80	
一次脱水污泥量/(t·d <sup>-1</sup> )	80	
投加固体药剂种类及质量比	生石灰 300 kg/t 湿污泥	固化剂 8 kg/t 湿 污泥,粉煤灰 100 kg/t 湿污泥
处理后污泥平均含水率/%	60	55
处理后污泥量/(t·d <sup>-1</sup> )	100	55
污泥减量率/%	0	31
外运污泥处置方向	填埋	电厂掺烧
改造后外运污泥量减量率/%	45	

连续4个月的运行情况表明:

① 经新型粉煤灰改性剂改性并深度脱水后的污泥完全满足电厂掺烧污泥的要求;

② 在6%~8%质量比的粉煤灰经济投加量条件下,深度脱水后污泥平均含水率由79.80%降至55%,污泥减量率达30%以上;

③ 改造后外运污泥量由约100 t/d减至约55 t/d,减量率达45%。

#### 4.2 经济效益分析

表4给出了改造前后污泥处理运行费用情况。改造前(石灰干化工艺)单位处理费为213.50元/t污泥(含水率为80%左右计),改造后(粉煤灰改性—深度脱水工艺)单位处理费大幅降至41.70元/t污泥(含水率为80%左右计),每年可节约污泥

处理费 501.66 万元。

表 4 改造前后运行费用对比

Tab.4 Comparison of operating costs before and after renovation

项 目	改造前: 石灰干化 工艺	改造后: 粉煤灰改性— 高压带式连续 深度脱水工艺
耗电量/(kW·h·t <sup>-1</sup> )	5	6
电价/[元·(kW·h) <sup>-1</sup> ]	0.7	
单位固化剂消耗量/(kg·t <sup>-1</sup> )	0	8
固化剂单价/(元·kg <sup>-1</sup> )	2.8	
石灰消耗量/(kg·t <sup>-1</sup> )	300	0
石灰单价/(元·kg <sup>-1</sup> )	0.7	
粉煤灰消耗量/(kg·t <sup>-1</sup> )	0	100
粉煤灰单价/(元·kg <sup>-1</sup> )	0.1	
药剂费/(元·t <sup>-1</sup> )	210.00	32.40
动力费/(元·t <sup>-1</sup> )	3.50	4.20
滤布等耗材费/(元·t <sup>-1</sup> )	0	5.10
单位处理费用/(元·t <sup>-1</sup> )	213.50	41.70
运行费用/(万元·a <sup>-1</sup> )	623.42	121.76

5 结 论

通过对安徽某市政污水处理厂污泥减量化处理的改造,解决了原有污泥石灰干化工艺存在的石灰投加量大、污泥增量、运行费用高等问题。在保留污水厂现有污泥脱水系统(一次脱水后污泥含水率降至 80%左右)基础上,采用能与原污泥脱水系统快速对接的高压带式连续污泥深度脱水技术,新增装机功率仅为 79.38 kW,改造工期仅为 46 d,采用 6%~8%质量比(占含水率 80%污泥量)的新型粉煤灰对污泥进行改性,深度脱水后的污泥平均含水率降至 55%,污泥减量率达 30%以上;与改造前石灰干化工艺相比,污泥产量约由 100 t/d 减量至 55 t/d,污泥处理费由 213.50 元/t(含水率 80%计)大幅降至 41.70 元/t,污泥减量效果及经济效益显著。

参考文献:

[1] 史骏. 城市污水污泥处理处置系统的技术经济分析与评价(上)[J]. 给水排水,2009,35(8):32-35.  
Shi Jun. Cost-effectiveness analysis and evaluation on the municipal wastewater sludge treatment and disposal system ( I ) [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009,35(8):32-35(in Chinese).

[2] 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):47-49.  
Cheng Jun,Hu Xiaohu,Yao Baojun. The contrastive study of sludge mechanical deep dehydration methods [J]. Journal of the Environmental Management College of China-EMCC,2010,20(5):47-49(in Chinese).  
[3] 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 Jinqian,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).  
[4] 赵乐乐,储庆. 污水处理厂污泥深度脱水系统设计及调试运行[J]. 净水技术,2015(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(3):72-75(in Chinese).  
[5] 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).



作者简介:李建(1980- ),男,安徽亳州人,硕士,注册环保工程师,主要研究方向为废水和固废处理。  
E-mail:736928154@qq.com  
收稿日期:2019-02-28