

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.020

连续深度脱水耦合低温干化工艺用于鹰潭污泥处理厂

颜莹莹, 孟春霖, 梁 远, 武晓剑, 张锡铎, 杨恒学
(北京首创污泥处置技术有限公司, 北京 100044)

摘 要: 鹰潭市污泥处理厂设计处理规模为 65 t/d (污泥含水率为 80%), 采用连续深度脱水耦合低温干化两段式组合工艺。第一段是干化前的预脱水, 利用高压带式压滤机将污泥含水率由 80% 降至 65% ~ 70%; 第二段是污泥低温干化设备, 采用对流热风干燥的方式对网带上的湿料污泥进行脱水干化减量至含水率为 20%。实践表明, 在低温干化工艺前端增加机械深度脱水段, 可以降低整体的投资和运行成本。此外, 两段式工艺提高了系统的灵活性及生产保障冗余度, 干化污泥的处置出路近期为园林绿化肥料骨料, 远期送至垃圾焚烧厂进行掺烧。该工程的成功运行实现了鹰潭市污泥的减量化和资源化, 对城镇污水处理厂污泥处理处置工艺选择具有示范意义。

关键词: 污泥处理; 深度脱水; 低温干化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0105-06

Continuous Deep Dewatering Coupled with Low Temperature Drying Process in Yingtan Sludge Treatment Plant

YAN Ying-ying, MENG Chun-lin, LIANG Yuan, WU Xiao-jian, ZHANG Xi-duo,
YANG Heng-xue

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

Abstract: The combined two-stage process of continuous deep dewatering coupled with low temperature drying was adopted in Yingtan sludge treatment plant with the capability of 65 t/d (the sludge water content was 80%). In the first stage of pre-dewatering before drying, the high-pressure belt filter press was used to reduce the water content to 65% - 70% from 80% by mechanical dewatering. In the second stage of low temperature drying equipment, the water content of the wet sludge was reduced to 20% by convection hot air drying. The practice showed that adding a mechanical deep dewatering section at the front of the low temperature drying process could reduce the overall investment and operating costs. Furthermore, the two-stage process could enhance the flexibility and production guarantee redundancy of the system, the treated sludge were used as aggregate of landscaping fertilizer and would be sent to waste incineration plant in the long term. The successful operation of the project has realized the reduction and resource utilization of sludge in Yingtan, which is of demonstration significance to the selection of sludge treatment and disposal process in municipal wastewater treatment plant.

Key words: sludge treatment; deep dewatering; low temperature drying

1 项目概况

2015 年 4 月, 国务院颁布实施《水污染防治行动计划》, 明确指出: “污水处理设施产生的污泥应

进行稳定化、无害化和资源化处理处置。地级及以上城市污泥无害化处理处置率应于 2020 年底前达到 90% 以上。”鹰潭市政府为了进一步加大城市环

境治理力度,依据规划要求建设一座集中式污泥处理厂,服务范围为鹰潭市的 5 座污水处理厂(见表

1)。现有污泥量合计 33.5 t/d,近期污泥量合计 64 t/d,据此确定本次建设规模为 65 t/d。

表 1 鹰潭市污水处理厂概况

Tab.1 Overview of sewage treatment plants in Yingtan City

项 目	现状污水 处理规模/ (10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)	近期污水 处理规模/ (10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)	污水处 理工艺	污水 类型	现状污泥产量 (含水率 80%)/ (t · d ⁻¹)	近期污泥产量 (含水率 80%)/ (t · d ⁻¹)
城南污水处理厂	6	9	改良型氧化沟	生活污水	20	30
信江新区污水处理厂	1	10	改良 A ² /O	生活污水	0.5	5
贵溪市城北污水处理厂	2	5	氧化沟	生活污水	10	18
龙虎山景区污水处理厂	试运行	1	CASS	生活污水	0	3
余江区生活污水处理厂	1	2	氧化沟	生活污水	3	8
合计					33.5	64

鹰潭市污泥处理厂的总设计规模为 65 t/d(污泥含水率为 80%),采用 BOT 模式,位于鹰潭城南污水处理厂内,总投资约为 3 000 万元。采用创新的连续深度脱水耦合低温除湿干化的工艺路线,干化后的污泥近期送至有机肥厂家作为有机肥骨料,远期将送至新建垃圾焚烧发电厂协同掺烧。为了降低污泥的反应活性,使存储和运输中的自燃风险降低,同时减少因厌氧反应产生的臭气逸出,经与有机肥厂家和垃圾焚烧发电厂商定,干化污泥的含水率

确定为 20%。

2 污泥处理处置工艺路线选择

2.1 污泥处置出路选择

根据城市污水处理厂污泥处置相关技术规范,污泥利用主要有园林绿化、土地改良、林地、农用、制砖、水泥熟料等^[1]。不同的污泥利用方式对污泥的泥质要求不同。

本项目污泥样品泥质与各污泥利用标准对比见表 2。

表 2 污泥样品与各污泥利用标准对比

Tab.2 Comparison of sludge samples and national sludge disposal standards

控制项目	园林绿化(中性和碱性土壤)	土地改良(中性和碱性土壤)	林地	农用(B 级污泥产物)	制砖	水泥窑	鹰潭污泥样品
总镉/(mg · kg ⁻¹)	<20	<20	<20	<15	<20	<45	5.57
总汞/(mg · kg ⁻¹)	<15	<15	<15	<15	<5	<15	2.12
总铅/(mg · kg ⁻¹)	<1 000	<1 000	<1 000	<1 000	<300	<1 200	66.1
总铬/(mg · kg ⁻¹)	<1 000	<1 000	<1 000	<1 000	<1 000	<1 500	124
总砷/(mg · kg ⁻¹)	<75	<75	<75	<75	<75	—	16.9
总镍/(mg · kg ⁻¹)	<200	<200	<200	<200	<200	—	42.8
总锌/(mg · kg ⁻¹)	<4 000	<4 000	<3 000	<3 000	<4 000	<10 000	665
总铜/(mg · kg ⁻¹)	<1 500	<1 500	<1 500	<1 500	<1 500	—	170
氮磷钾养分	≥3%	≥1%	≥25 g/kg	≥30 g/kg	—	—	80.4 g/kg
有机物含量	≥25%	≥10%	≥180 g/kg	≥20 g/kg	—	—	62.28%
pH 值	5.5 ~ 7.8	5.5 ~ 10	5.5 ~ 8.5	5.5 ~ 9	5 ~ 10	—	7.2

注:“园林绿化”即《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》(GB/T 23486—2009)的中性和碱性土壤;“土地改良”即《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》(GB/T 24600—2009)的中性和碱性土壤;“林地”即《城镇污水处理厂污泥处置 林地用泥质》(CJ/T 362—2011);“农用”即《城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质》(CJ/T 309—2009)的 B 级污泥产物;“制砖”即《城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质》(GB/T 25031—2010);“水泥窑”即《水泥窑协同处置污泥工程设计规范》(GB 50757—2012)。

本项目污泥来源基本为生活污水处理厂,通过表 2 可以看出,泥质较好,可满足各种处置方式的泥质要求。结合鹰潭当地政府协调的处置路径,干化污泥处置方式近期为送至有机肥厂家作为营养土的

骨料,远期送至垃圾焚烧厂进行协同焚烧。

2.2 污泥处理工艺

本工程为集中处置分散污水处理厂存量污泥工程,受制于拟建场地的可利用面积较小且工程建设

周期较短等因素,拟采用占地面积小且施工难度小的低温冷凝干化工艺。为了降低电耗,同时提高系

统的灵活性,最终采用连续深度脱水+低温干化两段式组合处理工艺(见图1)。

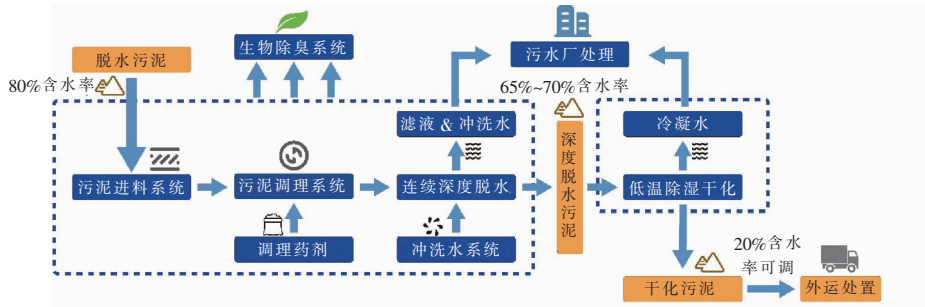


图1 污泥处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sludge treatment process

该工艺是对常规低温冷凝干化工艺的优化,主要包括以下两段过程:

① 连续深度脱水

常规脱水后的污泥(含水率为80%左右)通过输送机定量输送至混合改性装置,同时向混合改性装置定量投加污泥改性剂、固化剂,利用机械搅拌作

用将污泥与改性剂、固化剂充分混合反应,提高污泥的抗压性以及脱水性能^[2]。改性后的污泥定量输送至污泥深度脱水带式机,脱水后的污泥形成5~10 mm 多孔隙薄片状泥饼,污泥含水率降至70%左右。

深度脱水段的工艺流程见图2。

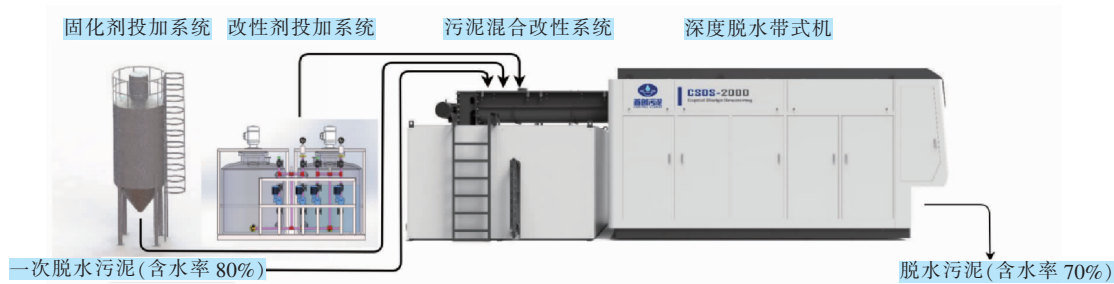


图2 深度脱水段的工艺流程

Fig.2 Flow chart of mechanical deep dewatering section

② 低温干化

深度脱水后的污泥(含水率约为70%)通过造粒机挤压成直径约为10 mm 的颗粒后,送入低温干化机进行干化,最终污泥含水率降至20%。

低温干化通过滤饼粉碎装置和物料传送带增加污泥与空气接触的比表面积,然后利用除湿热泵进行热风循环冷凝除湿烘干,送风温度为65~80℃,回风温度为50~60℃。污泥水分汽化潜热等于除湿热泵水蒸气冷凝潜热(能量守恒),干化过程无需接入外界热量,能源消耗为压缩机输入的电耗。干化机的主要组成是除湿热泵及网带输送机(带式干燥)。除湿热泵烘干在利用制冷系统使来自干燥室的湿空气降温脱湿的同时,通过热泵原理回收水分

凝结潜热加热空气达到干燥物料目的^[3]。整套系统采用密闭式设计,热风循环产生微负压,减少臭气外逸。干化机内部粉尘通过布袋集尘器进行收集,约3个月清理一次。

2.3 两段式干化工艺的特点

① 经济性

65 t/d 的污泥从80%含水率降至20%含水率,共需去除水约48.75 t/d。其中,通过第一段机械深度脱水段将污泥含水率降至70%,可去除水约21.67 t/d,占到总需去除水量的44%。通过成本较低的机械脱水段将污泥含水率从80%降至70%是很容易实现的,并且可以在前端去除约40%的水分,这将显著降低低温干化段的投资和能耗,从而降

低整体的投资和运行成本。

② 灵活性

与常规低温冷凝干化工艺相比,连续深度脱水和低温干化两段式组合工艺除了可降低能耗外,还具有更好的灵活性,这体现在两段式工艺可以在两种模式下运行。

模式一:正常工况(出泥含水率为20%)

在该项目正常运行过程中,进厂含水率为80%污泥添加固化剂,经深度脱水后含水率降至70%,然后再经过低温干化进一步减量脱水至20%后外运处置。深度脱水系统的冲洗水利用鹰潭城南污水处理厂处理后的尾水,冲洗废水排入厂区污水管网,最终进到污水厂处理。采用生物滤池作为臭气处理工艺。

正常情况下的物料平衡见图3。

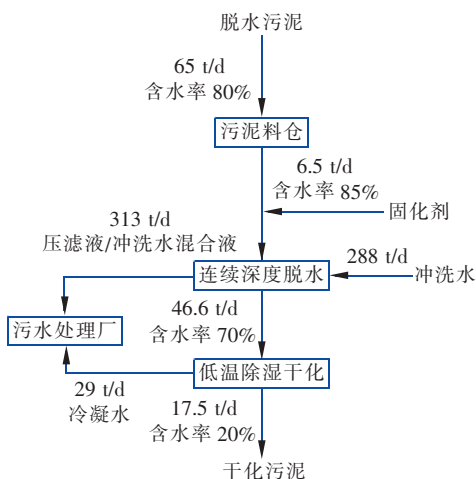


图3 正常情况下物料平衡

Fig. 3 Material balance diagram under normal conditions

模式二:应急工况(出泥含水率为60%)

为了保证项目长期稳定的运行,设备选用需考虑一定程度的备用。考虑到污泥连续深度脱水工艺段投资相对经济,干化工艺段投资相对较高,且连续深度脱水工艺段适当增加处理规模对总投资影响较小,所以对连续深度脱水工艺段设备进行备用,低温干化工艺段不考虑备用设备。

连续深度脱水工艺段出泥含水率可根据实际添加的药剂种类、药剂剂量、脱水时间等因素进行调整,污泥低温干化工艺段设备出现故障后,深度脱水段可额外添加改性剂深度脱水至60%,脱水后的污泥量约为43 t/d。经与处置单位协商,可接纳60%含水率污泥作为临时应急措施。

干化工段故障情况下物料平衡见图4。

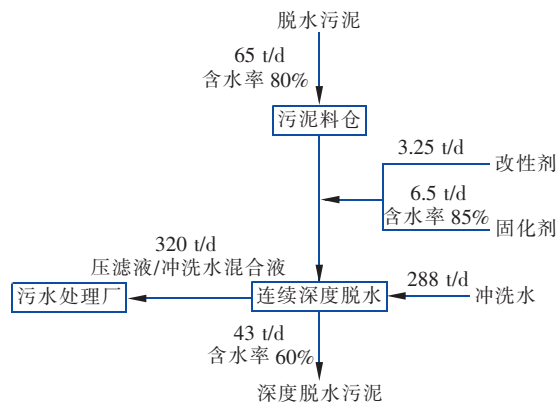


图4 干化工段故障情况下物料平衡

Fig. 4 Material balance diagram in case of drying section failure

3 工程设计

3.1 工艺系统设计

污泥处置间平面尺寸为43 m×22 m,总高为9.0 m。连续深度脱水系统和低温干化系统联合布置于污泥处置间。采用框架结构,设备基础为独立基础。

① 连续深度脱水系统

湿污泥(含水率为80%)经车辆运至地下式污泥接收料仓(30 m³),经一级皮带输送机输送至污泥改性混合机,通过加药系统投加两种药剂(固化剂和改性剂),改变污泥的物理和化学性质^[4]。在污泥改性混合机(容积为1.64 m³,搅拌功率为5.5 kW,混合时间约2~3 min)内,污泥与固化剂、改性剂快速、均匀地混合。

药剂类型和加药量分两种工况:a. 正常工况下,压滤至70%含水率,仅投加固化剂(复合铁盐溶液),投加量为湿泥质量(以80%含水率计)的10%;b. 应急工况下,压滤至60%含水率,需投加两种药剂,其中固化剂(复合铁盐溶液)的投加比例为湿泥质量的10%,改性剂(以粉煤灰为主的复配干粉药剂)的投加比例为湿泥质量的5%。

改性后的污泥再由二级皮带输送机输送至污泥深度脱水带式机,在高压带式机的压榨作用下实现污泥深度脱水,深度脱水后的污泥形成5~10 mm多孔薄片状泥饼,经出料机一搅即能粉碎^[5]。泥饼经三级皮带输送至下一阶段的低温干化工序。

深度脱水带式机主要参数见表3。

表3 深度脱水带式机主要参数

Tab.3 Main parameters of belt-type deep dewatering system

项 目	数 值
设计进泥含水率/%	75~85
设计出泥含水率/%	65~70
处理量(80%含水率)/(t·h ⁻¹)	2.0~2.5
系统装机容量/kW	42
冲洗水用量/(m ³ ·h ⁻¹)	12
脱水面积/m ²	5.85
脱水负荷/(kgDS·m ⁻² ·h ⁻¹)	85.47

深度脱水单元设计2套污泥深度脱水带式机、2套污泥改性混合机和投加装置(每套包括1套干粉投加装置和1套液体药剂投加装置)、1套固化剂溶解搅拌机。

② 低温干化系统

70%含水率(46.6 t/d)的污泥存放在35 m³的湿料仓里,经过仓底的双螺旋搅拌机搅拌后,由湿料刮板提升机提升至污泥除湿干化机。干化系统干化时污泥静态摊放,与接触面无机机械静电摩擦,可控制干化过程粉尘浓度<60 mg/m³,无粉尘爆炸危险;出料温度低(<50℃),无需冷却。干化机将污泥除湿干化至20%含水率后,通过干料刮板提升机提升至15 m³干料仓,之后装车。干料的出料口设有抽气罩,可以把落料过程中的灰尘吸入管道,收集进入尾气处理系统。

低温干化系统主要参数见表4。

表4 低温干化系统主要参数

Tab.4 Main parameters of low temperature drying system

项 目	数 值
低温冷凝干化机数量/台	1
设计进泥含水率/%	65~70
设计出泥含水率/%	20
去除水量/(kg·h ⁻¹)	1 350
运行功率/kW	312
冷却方式	水冷

③ 除臭系统

除臭系统主要功能是收集和處理污泥料仓、污泥深度脱水系统、污泥干化机以及干污泥料仓等区域产生的臭气,并安全达标排放。

臭气收集原则上按是否有人活动分为两类:

a. 日常有操作检修人员进行操作活动时,除臭风量按对象空间换气次数5~6次/h计算;

b. 日常不需要进入的空间,如污泥进料仓、中间料仓、干污泥料仓、深度脱水带式机和干化机造粒部

分等,应按负压吸引方式对对象空间进行臭气收集,一般按面积负荷为1~3 m³/(m²·h)考虑。

厂房内臭气汇总后被离心风机输送至生物滤池除臭装置完成净化过程,净化后尾气经过15 m排气筒达标排放。生物滤池设计处理量为30 000 m³/h,气体表面负荷为250 m³/(m²·h),停留时间为22 s,填料高度为1.5 m。在正常工况及常规气象条件下,经生物除臭设备处理后的气体浓度符合《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)的防护带边缘废气排放二级标准。

3.2 运行成本

该污泥厂的运行成本主要包括电费、药剂费和人工费。

① 电费

电价为0.62元/(kW·h),单位总电耗为131.77 kW·h/t,电费为81.70元/t(以80%污泥含水率计)。

② 药剂费

连续深度脱水+低温干化两段式组合工艺的连续深度脱水段需要投加固化剂,用量为0.975 t/d,单价为2 400元/t,折合36元/t。

③ 人工成本

定员10人,人工成本总计70.8万元/a,折合29.84元/t。

综上,采用连续深度脱水耦合低温干化两段式组合工艺的运行成本约为147.54元/t。

4 项目运行情况

干化污泥颗粒见图5。



图5 干化污泥颗粒

Fig.5 Dried sludge granular

鹰潭市污泥处理厂总投资为3 000万元,自2019年6月投运后已稳定运行半年,处理生活污水

近9 000 t,目前处理量约为60 t/d。在实际运行中,因为鹰潭市污泥的脱水性能较好,第一段连续深度脱水段在设计加药量情况下,出泥含水率实际可达到65%,使第二段低温干化的蒸发水量进一步下降,在保证干化污泥含水率达到20%的情况下,系统电耗进一步下降。

通过该项目的实践,连续深度脱水耦合低温干化两段式组合工艺的可靠性和高效性得到了印证。

5 结语

低温冷凝干化工艺因其适用范围广、运行维护简单、系统灵活性强、环境友好等特点,在国内的应用越来越多,但该工艺属于热干化,与机械脱水相比,能耗较高。鹰潭污泥处理厂的实践表明,在低温冷凝干化工艺前端增加机械深度脱水段,将80%含水率的污泥用成本较低的方式进一步减量脱水到65%~70%含水率,可以有效降低整体的投资和运行成本,是一种可借鉴、可推广的污泥处理工艺。

参考文献:

- [1] 孔祥娟,戴晓虎,张辰. 城镇污水处理厂污泥处理处置技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
Kong Xiangjuan, Dai Xiaohu, Zhang Chen. Sludge Treatment and Disposal Technology of Urban Sewage Treatment Plant [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016 (in Chinese).
- [2] 姜惠民,朱芬芬,梁远,等. 市政污泥深度脱水药剂优化研究[J]. 环境工程学报,2014,8(2):697-702.
Jiang Huimin, Zhu Fenfen, Liang Yuan, et al. Study on optimizing deep-dewatering reagent for sewage sludge[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8 (2): 697-702 (in Chinese).
- [3] 吴青荣,张绪坤,王高敏. 城市污泥低温干化技术研究

进展[J]. 环境工程,2017,35(3):127-131.

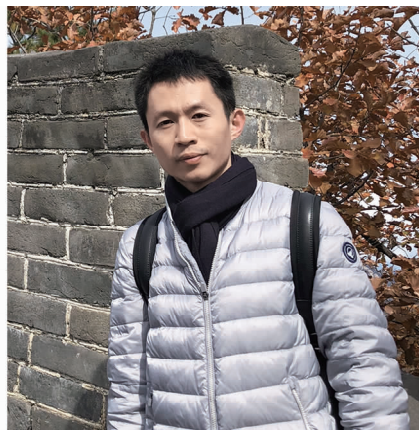
Wu Qingrong, Zhang Xukun, Wang Gaomin. Advances on low temperature drying technology of municipal sewage sludge [J]. Environmental Engineering, 2017, 35 (3): 127-131 (in Chinese).

- [4] 陈丹丹,窦昱昊,卢平,等. 污泥深度脱水技术研究进展[J]. 化工进展,2019,38(10):4722-4746.

Chen Dandan, Dou Yuhao, Lu Ping, et al. A review on sludge deep dewatering technology [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2019, 38 (10): 4722-4746 (in Chinese).

- [5] 叶强. 城市污水处理厂污泥深度脱水技术研究进展[J]. 低碳世界,2019,9(9):43-44.

Ye Qiang. Research progress of sludge deep dewatering technology in urban sewage treatment plant [J]. Low Carbon World, 2019, 9 (9): 43-44 (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及研究工作。

E-mail: yanyingying@capitalwater.cn
yanyingying2018@163.com

收稿日期:2019-11-05

实施国家节水行动,建设节水型社会