

市政污泥处理处置工程深度脱水系统设计应用

董文博^{1,2}, 陈运轩³, 康 凯⁴

[1. 天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津市 300392; 2. 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津市 300042; 3. 光大环保(三亚)污泥处置有限公司, 海南 三亚 572000; 4. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津市 300222]

摘 要: 随着污水处理厂规模的不断扩大, 城市对市政污泥减量化处理处置的需求也日益升高。例举了海南省某市污泥处理处置中心二期扩建项目污泥深度脱水工艺选择和设计参数, 结合污泥最终处理出路以及现状一期处理工艺, 确定采用“重力+机械浓缩、化学调理、板框压滤”的处理工艺。工程污泥处理规模为 100 t/d (80% 含水率), 出泥含水率要求为 55% 以下, 外运与生活垃圾协同焚烧, 单位处理成本约 331.42 元/t。项目已成功实施运行, 可为类似工程设计提供参考。

关键词: 污泥深度脱水; 重力浓缩; 机械浓缩; 板框压滤机; 工艺设计

中图分类号: TU992.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0225-04

Design and Application of Deep Dewatering System in Municipal Sludge Treatment and Disposal Project

DONG Wenbo^{1,2}, CHEN Yunxuan³, KANG Kai⁴

[1. Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300392, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Infrastructure Durability Enterprise, Tianjin 300392, China; 3. Guangda Environmental Protection (Sanya) Sludge Disposal Co., Ltd., Sanya 572000, China; 4. China Water Resource Beifang Investigation, Design and Research Co., Ltd., Tianjin 300222, China]

Abstract: With the continuous growth of the scale of WWTPs, the demand for municipal sludge reduction and disposal in cities is increasing day by day. Taking a sludge treatment and disposal center Phase II expansion project in a city in Hainan Province as an example, the selection and design parameters of sludge deep dewatering technology are introduced. Combined with the final treatment outlet of the sludge and the current treatment process of Phase I, the treatment technology of "gravity + mechanical thickening, chemical conditioning, plate-frame pressure filtration" is determined to use in the project. The sludge treatment scale of this project is 100 t/d (80% moisture content). The moisture content of the finished sludge is required to below 55%, and then the sludge is transported out for incineration together with the domestic waste. The unit treatment cost is about 331.42 yuan/t. The project has been successfully implemented and is in operation, which can provide the reference for the design of similar projects.

Keywords: sludge deep dewatering; gravity thickening; mechanical thickening; plate-frame filter press; technological design

0 引言

生物系统剩余污泥与深度处理系统化学污泥的排放, 是污水处理过程的重要环节之一^[1], 因此市政污泥的减量化处理处置已成为污水处理行业重要的环节之一。目前我国污泥处理主要是通过脱水^[2]、好氧发酵^[3]、厌氧消化^[4]、热解炭化^[5]等处理技术实现污泥的减量化、稳定化, 最终处置方向主要通过卫生填埋^[6]、土地利用^[7]、焚烧^[8]、建材利用^[9]等技术实

现污泥的无害化、资源化处置。

海南省某市作为我国热门旅游目的地, 其城市经济已进入快速发展时期, 污水处理总量不断攀升, 随之带来的是对污泥处理处置需求的迅速增长。现状该市政污泥主要通过污泥处理处置中心进行深度脱水的减量化处理, 将污泥含水率降至低于 55% 后, 随后转运至生活垃圾焚烧中心, 最终处置方式是与生活垃圾协同焚烧。随着该市新建污水处理厂项目的逐步实施, 现状污泥处理处置中心处理规模将难以匹配未来需求, 因此需开展污泥处理处置中心二期扩建项目。

收稿日期: 2024-06-01

作者简介: 董文博(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事环境工程及给排水专业设计咨询工作。

1 工程概况

该项目建设前,污泥处理处置中心处理规模 50 t/d (含水率 80%),主要处理该城市各市政污水处理厂外排污泥,其中本项目用地所处污水处理厂外排湿泥(含水率 99%)直接提升至一期污泥浓缩机,浓缩后的污泥(含水率 95%)进入一期调理池,其他厂污泥(含水率 80%)运输至污泥暂存池与再生水或所在厂外排污泥混合稀释至含水率 95%后,进入一期调理池。随后污泥与化学药剂混合调理后压入板框压滤机进行脱水,脱水后的污泥(含水率 55%以下)被运送至污泥料仓进行缓存,随后外运至生活垃圾焚烧厂,与生活垃圾协同焚烧,掺烧比例不高于 1:10。工艺流程如图 1 所示。

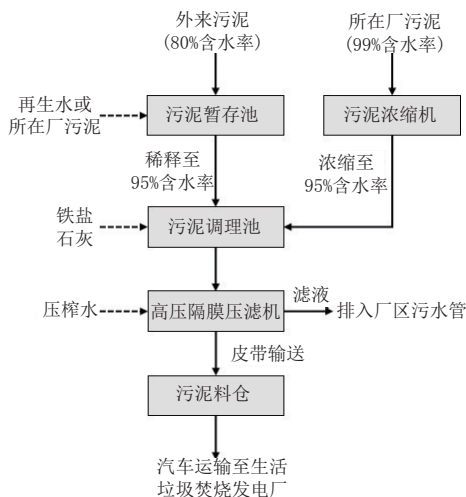


图1 现状污泥处理处置中心工艺流程框图

2 扩建思路

2.1 处理规模

根据当时主城区各污泥产量统计,污泥处理规模为 44.05 t/d (含水率 80%),已达到扩建条件。根据现状处理单位污水的污泥产量测算,远期市政污水厂产泥总量将达到 144.4 t/d (含水率 80%),最终确定远期污泥处理规模 150 t/d (含水率 80%),本次二期扩建项目建设规模 100 t/d (含水率 80%)。外运污泥总量约 66.7 t/d (含水率 55%)。

2.2 扩建工艺路线

2.2.1 污泥处置出路

该城市垃圾焚烧厂一期工程日处理生活垃圾 700 t/d,二期工程日处理生活垃圾 350 t/d,三期工程(1 200 t/d+600 t/d)正在建设,未来整个项目将实现 2 805 t/d 的垃圾处理能力^[10]。满足不超过 1:10 比例的掺烧条

件,可接收本次扩建项目的外运污泥。因此本次扩建项目出路与一期相同,外运至生活垃圾焚烧厂协同焚烧。

2.2.2 污泥浓缩工艺选择

污泥脱水前,为减小脱水设备规模,可先将外排污泥进行浓缩。污泥浓缩工艺多采用重力浓缩或机械浓缩^[11]。重力浓缩采用重力沉淀的方式,电耗与加药成本低,浓缩后含水率约 97%~98%;机械浓缩需要更多的电耗药耗,但出泥含水率更低。

结合一期工艺路线与本工程建设目标,参考类似项目^[12],确定采用重力与机械相结合的浓缩工艺,重力浓缩后再由机械浓缩进一步降低污泥含水率,以应对未来污泥量提升后,造成的脱水系统水力负荷压力。此外,当重力浓缩效果较好时,可超越机械浓缩,控制污泥脱水运行成本。

2.2.3 深度脱水工艺选择

目前,深度脱水工艺已逐步推广开来,国内较有代表性的几种工艺如下。

(1)化学调理+板框压滤工艺:脱水之前,将浓缩后的污泥与化学调理剂进行污泥调质,挤出大量细胞毛隙水与内部水,随后进行压榨,使污泥含水率控制进一步降低。类似工艺在市政污泥工程实例上均已应用,达到了预期效果^[13-14]。

(2)高压带机压滤工艺^[15]:浓缩后的污泥与石灰混合后,进入高压带式脱水机,它可将市政活性污泥压榨干化到 60% 以下的含水率,通过滤带压力与停留时间可控制出泥含水率。

(3)生物沥浸+板框压滤工艺^[16]:采用微生物复合菌群,与污泥进行混合,通过一定时间的繁殖,成为优势菌群,破坏原微生物活性,从而释放细胞毛细水,增大游离水的比例,提升脱水性能。随后进入压滤机进行脱水,压出的泥饼含水率可控制在 60% 以下。

“高压带机”工艺可达到本工程外运污泥含水率要求,但大量的外加石灰不利于后期污泥协同焚烧的处置出路;“生物沥浸+板框压滤”工艺效果较好,但目前供应商较少,成本较高,未来采购具有不确定性。“化学调理+板框压滤工艺”工艺成熟、应用广泛,经过一期项目多年运行实践,出泥含水率可稳定达标。一期项目已摸索出适宜的运行条件,投加药剂量大大降低,可满足后续生活垃圾协同焚烧的需求。综上所述,本工程采用“化学调理+板框压滤”工艺。

2.2.4 药剂选择

2.2.4.1 生石灰与熟石灰

生石灰和熟石灰的选用取决于多种因素,如用途、材料费、储存要求和应用等,熟石灰的费用一般高于生石灰费用 30%。但是,熟石灰经常是优先考虑,因为其无须熟化,储存和搅拌相对简单,通常所涉及的人工少、储存采用斗仓或筒仓较为方便,一般采用搅拌池和泥浆泵输送,计量准确;熟石灰比生石灰稳定,储存的预防措施较容易达到^[17]。

本次新建设施靠近居民区、臭味或异味气体散发等不利因素均可能成为居民投诉的对象,使用生石灰由于水合反应放热而易产生较多的异味气体。综合权衡,使用熟石灰配置乳剂投加操作环境更佳,异味控制和粉尘控制均能达到较好的效果。本次采用熟石灰(消石灰)作为调理的主要药剂。

2.2.4.2 氯化铁与 PAC

常用的污泥脱水药剂主要为铁盐和铝盐,相关研究表明氯化铁对污泥脱水效果较好且成本相对较低^[18]。氯化铁与污泥中碳酸氢盐碱度反应,形成氢氧化铁铬合物,作为骨料。由酸生成引起的碱性还原导致 pH 下降到 6.0。添加石灰使 pH 上升到 8.5,使氯化铁在氢氧化物形成中更有效。石灰也与碳酸氢盐反应,形成碳酸钙,或颗粒结构,提供在压滤过程中增加脱水率所需的孔隙率。

考虑到药剂的易得性和通用性,确定采用石灰+铁盐作为调理药剂,但石灰和铁盐投加对脱硫有利但易产生灰渣熔点降低产生结焦。为方便与焚烧工艺的衔接,以后生产中需结合实践对消石灰+铁盐调理剂进行改良优化,控制石灰的投加纯度和颗粒度,以减少调理剂用量或费用。

2.2.5 除臭工艺

污泥脱水过程为厌氧环境,污泥有机质含量高,导致甲烷、硫化氢等臭气外排,影响环境,对污泥处理过程的除臭有利于室内外环境提升。城镇污水厂除臭工艺常用生物法,主要包括:土壤生物法、生物滤池法、生物洗涤法、活性污泥回流法等^[19]。

本工程规模较大,臭气处理目标较高,且污泥系统臭气浓度高、气量大,考虑运行成本与连续运行的需求,采用生物滤池法更为妥当。

3 工艺设计

3.1 工艺流程

外运来的含水率 80% 污泥先送至一期污泥暂存

池,注入再生水或所在污水厂 99% 含水率的剩余污泥稀释到含水率为 95% 左右,经泵输送至污泥调理池;所在污水厂产生的含水率 99% 外排污泥由泵送至新建的污泥浓缩池(也可超越直接进入浓缩机),经缓存的污泥分别进入原厂和扩建厂的污泥浓缩机进一步浓缩处理,浓缩后污泥经泵送至污泥调理池;两部分污泥在一、二期调理池与调理剂进行混合,提高脱水性能。随后调理后的污泥进入一二期隔膜板框压滤机进行深度脱水。压滤机脱水采用压榨水泵提供高压条件。压榨废水进入厂区排水系统,最终排入污水处理厂;泥饼卸料后通过输送机运至污泥料仓进行缓存。料仓内干泥到达一定量后,用卡车直接运输至生活垃圾焚烧发电厂协同焚烧。工艺流程框图详如图 2 所示。

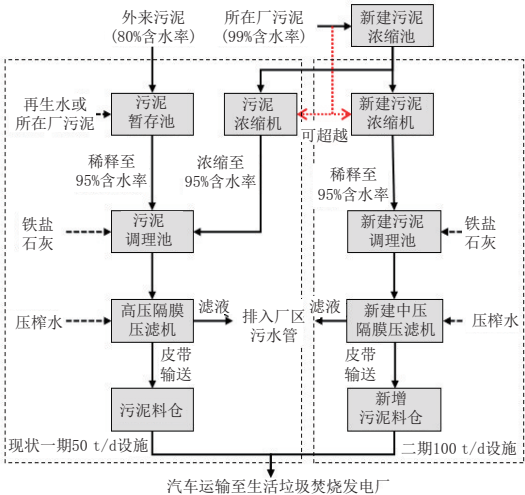


图2 扩建后污泥处理处置中心工艺流程框图

整套系统通过 PLC 控制,利用调理池液位计、泵后流量压力等前段信号,实现进泥泵、压榨泵、冲洗泵、加药泵等设备的启停及变频控制。

3.2 主要构建筑物设计参数

3.2.1 污泥浓缩池

浓缩池 1 座,直径 22 m,有效水深 5.9 m。设计泥量:2 800 m³/d(含水率 99.2%),停留时间 15 h,固体负荷 59 kg/(m²·d)。出泥含水率 97%~98%。

3.2.2 污泥浓缩脱水机房

新建脱水机房 1 座,污泥处理规模 100 t/d(含水率 80%),处理绝干泥量 20 tDS/d,出泥含水率达 55% 以下,每日泥饼外运量约 44.4 t。

(1)污泥浓缩机:带式污泥浓缩机,3 台 2 用 1 备,进泥含固率 0.8%~3%,出泥含固率 5%,单台处理能力 40~80 m³/d,每日工作时间 16 h。

(2)絮凝剂制备投加系统:絮凝剂的干粉用量为

100 kg/d,设三箱泡药机1套,制备干粉能力为15 kg/h,工作时长小于10 h/d。

(3)污泥脱水机:板框压滤机,3台2用1备,单台过滤面积500 m²,单台运行5批次/d,单批次运行时间4 h/批次,每日工作时长20 h。

(4)石灰投加系统:石灰投加量7 t/d,石灰料仓50 m³,储存时间超过1周;石灰乳罐15 m³,配置浓度10%,可满足2(批次·台)脱水机运行的污泥进行调理。

(5)铁盐投加系统:铁盐罐20 m³,药剂浓度30%,可满足将近1周的储存时间。

(6)调理池:有效容积150 m³,分2格,单格容积满足2(批次·台)脱水机运行的污泥调理。

(7)污泥料仓:料仓有效容积20 m³,可满足3~4(批次·台)脱水机泥饼的储存。

3.2.3 生物除臭滤池

臭气源包括:污泥浓缩池、污泥调理池、污泥浓缩脱水机房等封闭空间。计算臭气总处理量为50 000 m³/h。新建生物除臭滤池建于污泥浓缩脱水机房二层屋顶。

3.2.4 工艺设计特点

(1)本方案处理工艺针对性较强,技术成熟,脱水后污泥具有疏水性,脱水后密闭储存,有效保障外运污泥含水率。经一期项目实践,不断改善,经验丰富,处理效果稳定;

(2)调质药剂经料仓储存,螺旋输送化药,整套系统密封,自动化程度高,现场环境整洁;

(3)污泥调质经液态药剂、搅拌机混合、浓缩机、转料机搅拌等过程,混合充分,调质效果较好,整个处理过程冷态操作,不依赖任何外界条件,不需要热源;

(4)本方案确保各性质污泥经调质后统一达到压滤机最佳使用要求,压榨时间短;调理池分格布置,确保反应充分,压滤过程物料充足,生产顺利;

(5)可根据产泥含水率要求,通过控制污泥经调质及压榨时间,进一步降低泥饼含水率。根据经验,可确保含水率小于55%。干泥在搁置2、3 d后,含水率可进一步下降;

(6)干化后污泥不落地,经皮带输送机收集,进污泥料仓堆放后,车辆运输至焚烧现场,现场环境整洁。滤液进污水处理厂处理系统处理,避免二次污染。

4 成本分析

该工程实施后,每天的正常运行电耗约9 040 kW·h/d、自来水用量约50 m³/d、阳离子PAM粉末用量约100 kg/d、铁盐(30%浓度)药剂用量约3 000 kg/d、石灰粉末用量约7 000 kg/d。

经计算,全年污泥脱水处理成本约1 209.68万元,单位处理成本约331.42元/t,相较于国内类似项目运行成本具有一定优势^[19-20]。

5 结 语

污泥处理工艺的选择,受污泥最终处置出路、污泥处理成本、项目占地等多因素限制,是一个系统性的工程。因此污泥处理处置需要因地制宜地制定方案。

该项目采用“重力+机械浓缩+化学药剂调理+板框压滤技术”的深度脱水工艺,污泥处理规模100 t/d(80%含水率),将污泥含水率降低至55%以下,外运与生活垃圾协同焚烧,经核算吨泥处理成本约331.42元/t。

该项目已完成实施并投产运行,对于城镇污水污泥深度脱水工程设计具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 宋丹,房静,张浩,等.天津市市政污泥处理处置现状总结分析[J].广州化工,2024,52(19):150-152;156.
- [2] 陈涛,徐汝民,汪军,等.市政污泥脱水技术分析[J].安徽化工,2023,49(5):126-129.
- [3] 王涛,李大维,梁玉贵,等.高温好氧发酵协同处置市政污泥和农林废弃物的工艺实践[J].中国资源综合利用,2024,42(1):47-50;58.
- [4] 张浩,刘晓峰,李方志,等.市政污泥厌氧消化液处理研究进展探析[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(21):97-98.
- [5] 吴云生,汪国梁,银正一,等.市政污泥热解炭化工程应用及运行分析[J].给水排水,2022,48(6):43-48.
- [6] 李红玲,梁俏飞,曾钿.基于垃圾填埋场处理生活污水的可行性研究[J].中国化工贸易,2012,4(2):160-160;162.
- [7] 张浩,刘新立,王勇,等.市政污泥土地利用研究进展[J].化工管理,2018(24):37-38.
- [8] 张伟,赵树明.垃圾焚烧发电厂协同处置市政污泥应用研究[J].资源节约与环保,2024(3):50-54.
- [9] 杨朝宽,祝梦圆,孙译博,等.市政污泥建材资源化利用[J].山东化工,2023,52(3):220-222.
- [10] 黄晓慧.三亚垃圾焚烧发电助力“零填埋”[J].科学大观园,2020(13):26-27.
- [11] 吴雪茜,郭中权,毛维东.生活污水处理厂污泥浓缩技术研究进展[J].能源环境保护,2017,31(6):5-8.
- [12] 朱加勇,张赛,王利超.某污水处理厂污泥处理系统改造实例[J].供水技术,2024,18(3):23-27;31.

(下转第267页)