

赵林辉, 林莉峰, 尹希勤. 污泥脱水精确控制系统的设计和应用[J]. 净水技术, 2022, 41(3):154-159.

ZHAO L H, LIN L F, YIN X Q. Design and application of precise control system for sludge dewatering [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(3):154-159.



扫我试试?

污泥脱水精确控制系统的设计和应用

赵林辉¹, 林莉峰¹, 尹希勤²

(1. 上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092; 2. 上海择希环保工程有限公司, 上海 200092)

摘要 脱水污泥的含水率对污泥干化焚烧工程的运行成本起着至关重要的作用。以上海市白龙港污泥处理处置二期工程为实践依据, 介绍污泥脱水精确控制系统的设计和应用。根据在线采集的进泥流量信号、污泥进出浓度信号, 通过数学模型计算每台污泥脱水机的加药量, 通过控制加药螺杆泵频率改变加药泵的流量, 进而精准控制出泥含水率, 节省药剂使用量, 保证脱水、干化和焚烧全系统稳定高效运行。同时, 精确控制系统的应用解决了以往脱水系统与干化焚烧系统的信息孤岛问题, 实时监控污泥浓度变化, 进一步完善了智慧水务运行管理平台的设计, 促进信息共享和畅通, 具有重要的应用价值。

关键词 精确控制 出泥含水率 智慧水务 数学模型 微波浓度计

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2022)03-0154-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.03.022

Design and Application of Precise Control System for Sludge Dewatering

ZHAO Linhui¹, LIN Lifeng¹, YIN Xiqin²

(1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Zexi Environmental Protection Engineering Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract The moisture content of dewatered sludge plays an important role in the operation cost of sludge drying and incineration project. Based on Shanghai Bailonggang sludge treatment and disposal phase II project, the design and application of precise control system for sludge dewatering are introduced. According to the signal of sludge flow rate and sludge concentration collected online, the dosage of each sludge dehydrator is calculated by mathematical model. The frequency of dosing screw pump is controlled to change the flow of dosing pump to accurately control the water content of sludge, the dosage of reagent can be saved, and the stable and efficient operation of the whole system of dehydration, drying and incineration can be ensured. At the same time, the application of accurate control system solves the problem of information island of previous dehydration system and drying and incineration system, and monitors the change of sludge concentration in real time, which further improves the design of intelligent water operation management platform and promotes information sharing and smooth flow, which has important application value.

Keywords precise control sludge moisture content smart water mathematical model microwave concentration meter

当前, 物联网、移动互联网、3S 技术、云技术、智能与智慧技术不断发展, 在各应用领域带来了新的信息技术应用革命。智慧水务将为城市提供更为优

质的供排水服务以及防汛排涝、水质污染管控与环境保护、防灾减灾等公共服务, 同时提升水务部门工作效率与工作质量, 管控与及时处理各种应急水务事件, 提升水务服务水平与满意程度, 优化资源配置, 实现各类水务活动的数字化、信息化与智慧化管理, 保障水务服务^[1]。智慧水务不仅可以自行采集相关水务数据和信息, 而且可以对深度进行分析, 其中智能化系统具有可控制功能, 使水务系统的智慧

[收稿日期] 2021-09-04

[基金项目] 上海市科委基金: 污水厂污泥绿色低耗干化焚烧关键技术研究与示范(19230730900)

[作者简介] 赵林辉(1987—), 男, 硕士, 研究方向为市政行业污水污泥处理处置, E-mail: zhaolinhui@smedi.com。

程度大大提升,如同安装了神经网络系统,可实现供水服务的标准化、调度的智能化以及管理的精细化。在网络、物联网技术和信息资源等的充分利用下,服务效能得以有效提升,资源也得到了有效地整合和共享,可以方便全面和动态化管理供水设施,对管网关键点进行实时监控,一旦发现异常情况即采取报警措施,同时还可以减少能源消耗和资源浪费,充分促进水务运维管理效率和质量提升。

白龙港污水处理厂处理能力为 $2.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$, 污泥产量为 448 t DS/d, 新建污泥处理处置二期工程采用“脱水+干化+焚烧+烟气处理”工艺系统,其中脱水系统处理量为 378 t DS/d,折合含水率 80% 污泥量为 $1\ 890 \text{ m}^3/\text{d}$ 。脱水系统将浓缩污泥离心脱水至含水率 80% 以下,以便后续污泥的干化和焚烧。脱水系统在整个工艺处理系统的最前端,其运行效果对后续干化焚烧处理工艺能否顺利达标、达产以及工艺的运行成本起决定作用^[2]。

脱水工艺后端主要是流化床干化机和流化床焚烧炉工艺,出泥含水率直接影响后端工艺,流化床干化机额定蒸发量为 9.6 t/d。如果含水率不稳定、变化大,将影响流化床干化机的处理量,导致后续焚烧炉处理量不够,无法维持炉温,进而导致焚烧炉单位时间内产生的蒸汽减少,提供给流化床干化所需的换热蒸汽量也减少,严重时导致焚烧炉和干化系统联锁停机。一般含水率增大情况下需要额外开启焚烧炉燃烧器进行补燃,维持焚烧炉炉温,会大大增加能耗^[3]。因此,增加脱水车间精确控制系统非常重要。

本文依托亚洲第一污水处理厂——白龙港污水处理厂新建污泥处理处置项目,设计脱水精确控制

系统,建立脱水、干化、焚烧智慧水务信息平台,将信息传输至 DCS 系统,实现脱水、干化、焚烧、烟气处理全过程信息互通互享,提高运行人员实时监控运维能力。

1 脱水系统精确控制的背景与工艺设计

在污泥的离心脱水处理工程中,絮凝剂的投加量确定后往往长时间保持不变,只有在离心机出泥含水率波动较大的情况下才会改变絮凝剂投加量。根据以往众多污水厂运行经验,脱水系统很多情况下不会考虑前端污泥浓度的变化,为了保持稳定运行,运行人员会按“安全投加量”进行过量投加^[4]。如果前端含固率成倍数增加,絮凝剂投加量则相对偏少,导致含水率波动大,恶劣情况下甚至出现堵料或者无法封泥的现象。同时,以往脱水车间运行人员需配置充足,以便取泥测含水率和调整加药量,但对于大型污水厂脱水车间而言,在脱水系统的运行监控中人力资源的耗费比例较大。

因此,本文设计在线监控精确控制系统(图 1),对脱水系统进泥流量、进泥浓度和出泥浓度实时监控,将监控信号经过数学模型计算,得出合理的药剂投加量,从而实现药剂精准投加,并保证出泥含水率的稳定。

本工程脱水系统污泥处理量为 378 t DS/d,进泥含水率为 96% 左右,分为 01 地块和 02 地块,其中 01 地块处理量为 150 t DS/d,02 地块处理量为 228 t DS/d。01 地块配置 7 台离心脱水机(5 用 2 备),02 地块配置 10 台离心脱水机(8 用 2 备)^[5]。

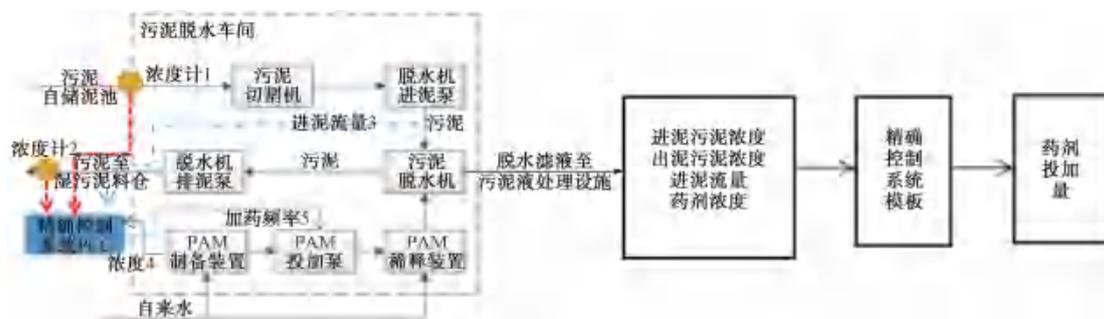


图 1 脱水系统精确控制系统的工艺设计

Fig. 1 Process Design of Precise Control System for Dehydration System

如图 1 所示,在污泥进泥总管上安装进泥浓度计 1 测量进泥含固率;在离心机出口安装出泥浓度

计 2;最终将采集的脱水机进泥流量 3、PAM 药剂浓度 4、进泥浓度计 1 和出泥浓度计 2 信号发送至精

确控制系统 PLC, PLC 经数学模块计算后得出 PAM 药剂投加量, 输出控制信号, 控制 PAM 投加泵加药频率 5, 从而实现精确控制加药泵的投加量, 并保证出泥含水率达标。

2 测量原理与仪表选型

测量原理: 测量微波信号速度的变化确定污泥浓度, 微波速度是基于所穿过物体的物理特性, 在水中的传播速度远远小于其他有机物和无机物组分, 传播的速度和污泥含固率成正比(图 2)。

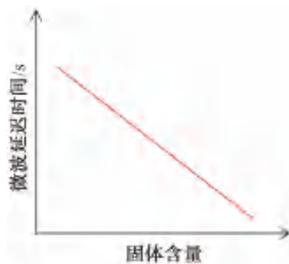


图 2 固体含量与微波传播时间关系

Fig. 2 Relationship between Solid Content and Microwave Propagation Time

不同浓度计性能对比如表 1 所示。该工程脱水进泥含固率为 0~10%, 出泥含固率为 0~30%, 相比于传统式浓度计, 微波浓度计测量信号贯穿全部污泥, 没有任何运动部件, 免于维护, 且具有不会堵塞管道、精度高、稳定性好、采用单点校准、可靠方便的优点。传统光学浓度计适用于低浓度的污水, 含有光学镜头, 需要清洗、维护、校准, 镜头使用寿命短, 需要插入式管道, 容易堵塞; 传统超声波浓度计容易

表 1 浓度计选型对比

Tab. 1 Comparison of Concentration Meter Selection

参数	型号一 TS 污泥浓度计	型号二 HS 污泥浓度计	型号三 DS 污泥浓度计
量程	0~50%	20%~80%	15%~35%
重复性	-0.01%±0.01%	-0.01%±0.01%	-0.01%±0.01%
灵敏性	0.001%Cs	0.001%Cs	0.001%Cs
阻尼时间/s	1~99	1~99	1~99
pH 值	2.5~11.5	2.5~11.5	2.5~11.5
过程温度/℃	0~100	0~120	0~65
压力等级	必须大于 0.15 MPa, 稳定, 没有气泡, 最高为 1.6 MPa	必须大于 0.15 MPa, 稳定, 没有气泡, 最高为 1.6 MPa	必须大于 0.15 MPa, 稳定, 没有气泡, 最高为 1.6 MPa
等级	IP65	IP65	IP65

受外界干扰, 精确度不高, 稳定性差, 不太适合反馈控制, 且对污泥种类敏感, 需要经常校准。因此, 本工程选择 TS 微波浓度计。

3 数学模型计算原理

如图 3 所示, 输入模块将采集到的污泥浓度、污泥流量、药剂浓度信息通过数学模型进行计算, 得出最佳加药量, 输出加药泵对应的频率信号从而控制加药流量。该工程脱水系统中的精确控制系统数学模型如式(1)。

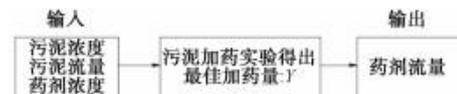


图 3 污泥加药模型输入输出流程

Fig. 3 Input and Output Process of Sludge Chemical Dosing Model

$$Q_1 = \frac{\sum F1}{n} \times \frac{\sum D1}{n} \times K \quad (1)$$

其中: Q_1 ——加药泵的加药量, m^3 ;

$\sum F1$ ——单位时间内进泥流量累计值, m^3 ;

$\frac{\sum F1}{n}$ ——单位时间内进泥流量的平均值, m^3 ;

$\sum D1$ ——单位时间内进泥浓度累计值, m^3 ;

$\frac{\sum D1}{n}$ ——单位时间内进泥浓度平均值, m^3 ;

K ——修订系数, 加药量与进泥绝干基的比值, 需人工设定, 取 4.8;

YD ——制备的药剂浓度。

经过计算得出 Q_1 , 将 Q_1 信号传送至 PLC, PLC 发出指令, 如式(2)。

$$Q_1 = \frac{\sum F2}{n} \quad (2)$$

其中: $\sum F2$ ——单位时间内加药泵的累计流量, m^3 ;

$\frac{\sum F2}{n}$ ——加药泵单位时间内的流量, m^3 。

为使调整后的投加量能够准确控制出泥含水率,在 PLC 内设置出泥含固率目标值,用出泥浓度计实时监测出泥含固率与 G 的差值,如式(3)。

$$G_{K1} = \frac{\sum D2}{n} - G \quad (3)$$

其中: G_{K1} ——出泥浓度计检测到的污泥含固率与目标值 G 的差值;

$\sum D2$ ——单位时间内出泥含固率累计值;

$\frac{\sum D2}{n}$ ——出泥含固率单位时间内平均值。

当 $G_{K1} > 0+X$ 或 $G_{K1} > 0-X$ 时,需将加药量设为

$$\frac{\sum F2}{n} \pm 1\%$$

从而使出泥含固率维持在 G 附近。

4 在线浓度计标定

为了提高控制的精度,系统投入使用前需对浓度计进行现场标定^[6]。项目进泥浓度计共 4 台,出泥浓度计共 17 台,标定结果如表 2 所示。

表 2 浓度计标定结果

Tab. 2 Calibration Results of Concentration Meter

类别	序号	量程设置	在线显示(均值)	取泥化验实测(均值)	测量偏差	是否合格	标定次数
进泥浓度计	1	0~10%	3.95% TS	3.90% TS	-0.05%	合格	4
	2	0~10%	3.84% TS	3.89% TS	0.05%	合格	4
	3	0~10%	3.50% TS	3.49% TS	-0.01%	合格	4
	4	0~10%	4.50% TS	4.52% TS	0.02%	合格	4
出泥浓度计	1	0~50%	18.16% TS	20.27% TS	2.11%	合格	4
	2	0~50%	19.26% TS	21.62% TS	2.36%	合格	4
	3	0~50%	20.14% TS	20.69% TS	0.55%	合格	4
	4	0~50%	19.12% TS	21.67% TS	2.55%	合格	4
	5	0~50%	19.23% TS	20.22% TS	0.99%	合格	4
	6	0~50%	23.35% TS	21.55% TS	-1.80%	合格	4
	7	0~50%	22.11% TS	21.65% TS	-0.46%	合格	4
	8	0~50%	21.08% TS	20.11% TS	-0.97%	合格	4
	9	0~50%	20.65% TS	21.71% TS	1.06%	合格	4
	10	0~50%	21.23% TS	22.34% TS	1.11%	合格	4
	11	0~50%	20.89% TS	19.52% TS	-1.37%	合格	4
	12	0~50%	21.28% TS	22.34% TS	1.06%	合格	4
	13	0~50%	21.12% TS	20.85% TS	-0.27%	合格	4
14	0~50%	21.03% TS	21.96% TS	0.93%	合格	4	
15	0~50%	20.79% TS	22.11% TS	1.32%	合格	4	
16	0~50%	20.67% TS	21.32% TS	0.65%	合格	4	
17	0~50%	20.80% TS	19.85% TS	-0.95%	合格	4	

注:偏差在-5%~5%表示标定完成,所有在线仪表满足精度要求

5 精确控制试验分析

经过前期脱水机的性能调试,最佳的药剂投加量为 2.4 m³/h,配药浓度为 0.4%,因此,可以建立精确控制系统投入前和投入后的对比试验。对 3#离心机系统建立精确控制试验方案,对试验结果进行分析。

如图 4 所示,进泥浓度大部分时间保持在 95%左右,1 月 2 日—3 月 11 日发现加药泵流量基本在 2.4 m³/h 以下,原因是进泥浓度变稀导致污泥量变小,为节省药剂投加量和控制含水率在 80%以下,精确控制系统将药剂投加量相应减小。其余时间进泥浓度波动不是很大,因此,药剂投加量基本在 2.4

m³/h 上下波动。原加药量设置为恒定值 2.4 m³/h, 精确控制系统投入运行后, 当进泥浓度发生变化, 212 d 药剂投加量均值为 2.381 5 m³/h, 经计算与原设置 2.4 m³/h 相比, 每年节省药剂费用为 $Q = 365 \times 24 \times 0.004 \times (2.4 - 2.381 5) \times 17 \times 30 000 = 330 602$ 元; 经与现场实际消耗 PAM 药剂袋数对比, 1 月—

7 月累计消耗 PAM 为 9 693 袋, 每袋重 25 kg, 累计消耗 242 325 kg 的 PAM, 比未投入精准系统时的 7 个月累计减少 260 袋左右。但与投资上百万的精确控制系统相对比, 工程需要几年时间收回投资成本, 但确实一定意义上减少了运行成本。

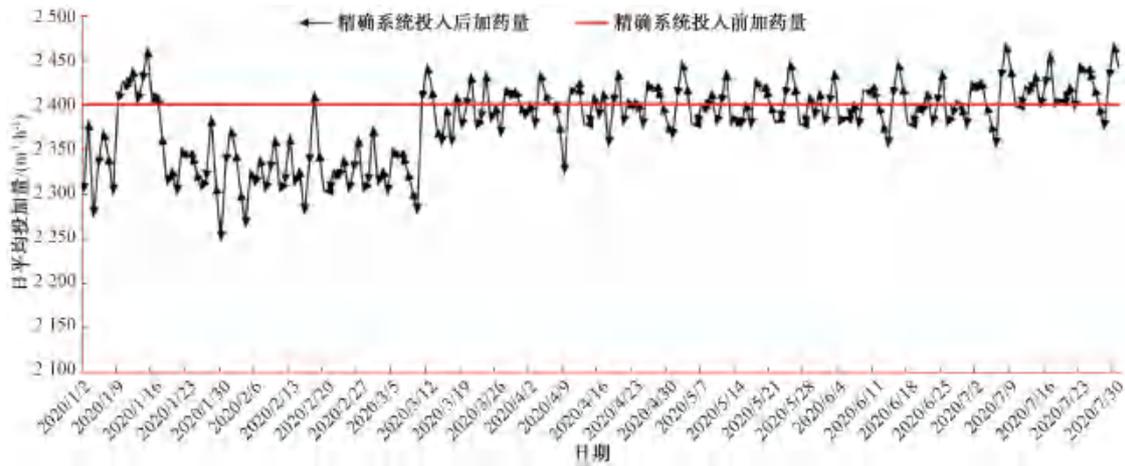


图 4 精确控制系统投入前后加药泵流量对比

Fig. 4 Comparison of Flow Rate of Dosing Pump before and after Dosage Precise Control System

如图 5 所示, 精确控制系统投入之后, 含水率稳定控制在 79%~80%, 节省药剂投入量。含水率较未投入前升高, 在一定程度上增加了后端干化

工艺的负荷, 但本工程采用流化床焚烧炉的蒸汽进行干化, 多余蒸汽会外排, 因此, 不会增加过多运行成本。



图 5 精确控制系统投入前后污泥含水率变化

Fig. 5 Changes of Sludge Moisture Content before and after Dosage Precise Control System

精确控制系统的投入能够实时监控污泥含水率, 使其在目标值达标范围内, 同时可将药剂投加量控制在最佳计算值, 节约了一定药剂剂量, 实现信息实时监控, 减少脱水系统运行人员工作投入, 保证系统

稳定运行, 为智慧水务提供智能化运行平台。精确控制系统将脱水大数据纳入干化焚烧 DCS 中, 建立脱水、干化、焚烧数据共享, 对脱水含水率的波动对于干化焚烧的影响进行实时监控、实时控制、实时调

整,实现脱水、干化、焚烧全过程 DCS 控制,最终实现全过程可视化、可控化、数字化、服务化、污水污泥智能化水务系统^[7]。

6 结 论

1)污泥浓度计的标定需要采用快速水分仪进行现场取泥并多次标定,误差缩小在-5%~5%。

2)精确控制系统投加后,精准控制出泥含水率达标,每年可以节约大量的药剂费用,大大降低了系统运行成本,保证脱水、干化和焚烧全系统稳定高效运行。

3)精确控制系统的应用解决了以往脱水系统与干化焚烧系统信息孤岛问题,实时监控污泥浓度变化,进一步完善了智慧水务运行管理平台的设计,促进信息共享和畅通,实现全过程可视化、可控化、数字化、服务化,污水污泥智能化水务系统具有重要

的应用价值。

参 考 文 献

- [1] 谢善斌. 智慧水务信息化系统建设与实践[J]. 给水排水, 2018, 54(4): 134-140.
- [2] 张凯旋. 浅析大数据平台在水务行业中的应用[J]. 净水技术, 2018, 37(s1): 267-270.
- [3] 赵林辉, 林莉峰, 朱运涛. 大型污泥焚烧项目的污泥脱水运行优化研究[J]. 中国给水排水, 2021, 37(12): 145-150.
- [4] HAECK M, 方闻, 程立. 基于在线污泥浓度计的污泥浓缩脱水运行优化[J]. 中国给水排水, 2010, 26(20): 146-148.
- [5] 胡维杰, 邱凤翔, 卢骏营. 上海市白龙港污泥干化焚烧工程工艺设计与思考[J]. 中国给水排水, 2019, 35(4): 54-58.
- [6] 王震寰, 赵海山, 胥国平, 等. 在线 MLSS 分析仪现场校准方法[J]. 上海计量测试, 2013, 40(3): 45-46, 48.
- [7] 时珍宝. 浅析上海市智慧排水信息化系统规划与建设[J]. 净水技术, 2020, 39(s1): 235-238.
- (上接第 99 页)
- [33] 王仲如. 电絮凝过程中金属氢氧化物絮体的产生机理研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2018.
- [34] MEHDI Y, SAEID A, MAJID A, et al. Optimization of electrocoagulation process for efficient removal of ciprofloxacin antibiotic using iron electrode; kinetic and isotherm studies of adsorption[J]. Journal of Molecular Liquids, 2017, 225: 544-553. DOI: 10.1016/j.molliq.2016.11.093.
- [35] PRADO N, OCHOA J, AMRANE A, et al. Biodegradation by activated sludge and toxicity of tetracycline into a semi-industrial membrane bioreactor[J]. Bioresource Technology, 2009(15): 3769-3774.
- [36] CHEN Y, ZHANG H, LUO Y, et al. Occurrence and dissipation of veterinary antibiotics in two typical swine wastewater treatment systems in east China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012(4): 2205-2217.
- [37] LIU R, CHEN L J, SONG X Y, et al. Treatment of digested piggery wastewater with a membrane bioreactor [J]. Environmental Engineering and Management Journal, 2016, 15(10): 2181-2188.
- [38] ZHENG W, ZHANG Z Y, LIU R, et al. Removal of veterinary antibiotics from anaerobically digested swine wastewater using an intermittently aerated sequencing batch reactor[J]. Journal of Environmental Sciences, 2017, 65: 8-17. DOI: 10.1016/j.jes.2017.04.011.
- [39] WU J, ZHANG H, OTURAN N, et al. Application of response surface methodology to the removal of the antibiotic tetracycline by electrochemical process using carbon-felt cathode and DSA (Ti/RuO₂-IrO₂) anode[J]. Chemosphere, 2012, 87(6): 614-620.
- [40] ZHU X D, WANG Y J, SUN R J, et al. Photocatalytic degradation of tetracycline in aqueous solution by nanosized TiO₂ [J]. Chemosphere, 2013, 92(8): 925-932.