

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.027

# 大型污泥焚烧项目的污泥脱水运行优化研究

赵林辉, 林莉峰, 朱运涛

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 介绍了白龙港污水处理厂污泥处理处置二期工程离心脱水系统的工艺设计、设备参数和进泥参数校正情况,并以实际调试为依据,对影响离心脱水机出泥含水率的几个重要因子(药剂投加量、污泥进泥量、稀释水、主机转速)进行试验分析,同时进行离心机恒扭矩试验,得出恒扭矩设置数值和最佳辅机扭矩目标值,最终确定该型号离心脱水机的运行区间;在该运行区间内进行 168 h 性能考核试验,最终得出最佳运行参数和运行结果,对类似大型污泥脱水系统工艺运行具有参考意义。

**关键词:** 污泥焚烧; 污泥脱水; 运行优化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0145-06

## Study on Operation Optimization of Sludge Dewatering in Large Scale Sludge Incineration Project

ZHAO Lin-hui, LIN Li-feng, ZHU Yun-tao

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

**Abstract:** The process design, equipment parameters and sludge feeding parameter correction of centrifugal dewatering system for sludge treatment and disposal phase II project of Bailonggang sewage treatment plant are introduced. On the basis of practical commissioning, several key factors such as agent dosage, sludge inflow, dilution water, and main engine speed, which affect the water content of the sludge outflow from the centrifugal dehydrator are tested and analyzed. At the same time, the constant torque test of the centrifuge is carried out, and the setting value of constant torque and the target value of the best auxiliary machine torque are obtained. Finally, the operation range of this type of centrifugal dehydrator is determined. The 168 h performance test is carried out in the operation range, and the optimal operation parameters are obtained, which has reference significance for similar large sludge dewatering system process operation.

**Key words:** sludge incineration; sludge dewatering; operation optimization

白龙港污水处理厂处理能力为  $280 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 污泥产量为 448 tDS/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 tDS/d, 折合含水率为 80%

的污泥 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, 以便后续进行污泥干化和焚烧。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

基金项目: 上海市科委基金资助项目(19230730900)

产和降低运行成本具有决定作用。

脱水工艺后端主要是流化床干化机和流化床焚烧炉,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,将会影响流化床干化机的处理量,进而导致后续焚烧炉处理量不够,炉温维持不住,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就减少,严重时导致焚烧炉和干化系统整个连锁停机,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,这样能耗会大大增加。

结合白龙港污水处理厂新建污泥处理处置二期工程离心脱水系统的调试情况,对影响脱水系统运行的因素进行了研究,在此基础上对系统运行进行了优化。首先介绍设计工艺及设备参数,对前端来泥含水率进行测量,发现与设计工况不符,因此对离心脱水机进泥流量进行修正,对离心脱水系统进行调试和运行优化,从药剂投加量、污泥进泥量、稀释水、主机转速等主要影响因素进行试验分析,得出污泥含水率的变化与这些参数之间的运行关系。为了保持离心机运行的稳定性,同时进行恒扭矩试验,并得出了恒扭矩和污泥含水率的关系。

## 1 工艺设计及设备参数

### 1.1 工艺设计

本工程脱水系统污泥处理量为378 tDS/d,设计污泥平均含水率98.6%,分为01地块和02地块,其中01地块150 tDS/d,02地块228 tDS/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)<sup>[1]</sup>。

工艺流程如图1所示。

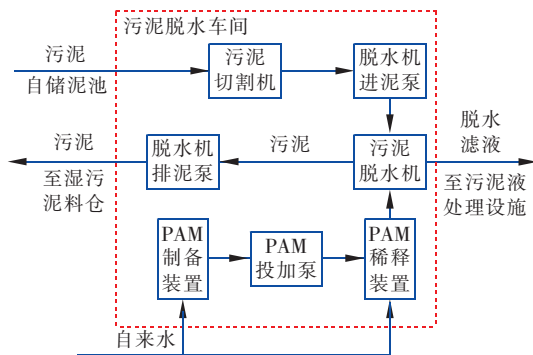


图1 脱水系统工艺流程

Fig.1 Flow chart of sludge dewatering system

来自新建储泥池的浓缩污泥,通过重力流进入

污泥切割机将杂质破碎,然后经进泥螺杆泵送入离心脱水机进行离心脱水;将PAM粉料制备成浓度为0.4%的溶液后,通过投加系统进行投加;湿污泥和稀释的PAM药剂同时进入离心机内部,在高速旋转所产生的离心力作用下进行泥水分离,分离出含水率80%以下的脱水污泥,滤液进入滤液池,并重新返回至污水处理区的除磷池;脱水污泥通过离心机下部缓存仓和出泥螺杆泵送至干化焚烧区域的料仓内进行缓存。

### 1.2 设备参数

采用LW850×3700逆流型卧式螺旋卸料沉降离心机(结构见图2),转鼓直径850 mm,长3 700 mm,长径比4.35,锥角18°,最大分离因数<sup>[2]</sup>2 095,主电机160 kW,辅助电机30 kW,整机尺寸为6 600 mm×1 943 mm×2 048 mm,带载质量13 700 kg,差转速2~70 r/min,处理量为150 m<sup>3</sup>/h,干泥量≥2 tDS/h,工作时间24 h,固体回收率≥95%,出泥含水率≤80%,转鼓最高转速2 100 r/min,螺旋扭矩25 000 N·m,噪声<85 dB(A)。

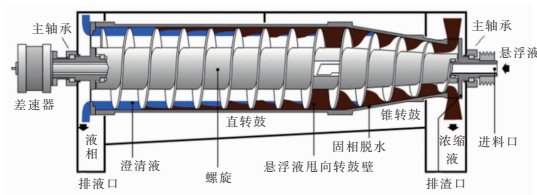


图2 离心脱水机结构

Fig.2 Structure diagram of centrifugal dehydrator

### 1.3 实际运行参数校正

离心机的水力负荷( $Q$ )可按式(1)进行计算:

$$Q = \zeta v_0 \sum_{柱} = \zeta \times \frac{d^2 \Delta \rho g}{18 \mu} \times F_r \times D \times L \times \left(1 - \lambda - \frac{1}{3} \lambda^2\right) \quad (1)$$

式中: $\zeta$ 为修正系数; $F_r$ 为分离因数; $d$ 为颗粒直径; $\sum_{柱}$ 为离心机当量沉降面积; $v_0$ 为沉降速度; $\lambda$ 为滤液深度; $\Delta \rho$ 为固液相密度差; $g$ 为重力加速度; $D$ 为转鼓直径; $L$ 为转鼓长度; $\mu$ 为动力黏度。

根据设备实际配置参数,经计算,所选离心机的水力负荷 $Q$ 可达157.9 m<sup>3</sup>/h。

故原设计污泥含水率98.6%时,绝干泥量 $Q_{绝} = (Q - Q_{药}) \times 1.4\% = 2.07$  tDS/h, $Q_{药}$ 取10 m<sup>3</sup>/h。

实际调试过程中,实测进泥含水率约96%,即含固率由1.4%变为4%,故 $Q^* = \frac{Q_{绝}}{4\%} = \frac{2.07}{4\%} = 51.8$

m<sup>3</sup>/h。

由于进泥浓度发生改变,离心脱水系统各个运行参数也相应调整,进泥量经计算改为 51.8 m<sup>3</sup>/h,进泥螺杆泵频率由 50 Hz 改为 17 Hz,稀释水投加量等也相应改变。如何科学合理地指导离心脱水系统调试及优化运行,需要对各个影响因素进行试验分析,得出合理的线性关系。

2 脱水效果影响因素分析<sup>[3]</sup>

脱水效果的主要评判指标为出泥含水率。一般

的影响因素有药剂投加量、污泥进泥量、稀释水、主机转速、扭矩等<sup>[4]</sup>。

以下通过试验对各个影响因素进行分析和验证<sup>[5]</sup>。

2.1 药剂类型和投加量

目前市政污水处理中,高分子絮凝剂配比为 0.1% ~0.5%,絮凝剂用量一般为 3 ~5 kg/tDS。对多种药剂选型进行了烧杯试验(药剂浓度 0.2%,污泥含水率为 95.6%),试验结果见表 1。

表 1 脱水系统 PAM 选型试验数据

Tab.1 Data of PAM selection test of sludge dewatering system

药剂型号	投加量 6 mL	投加量 8 mL	投加量 10 mL	投加量 18 mL	投加量 18 mL
Zetag 8147	+++	+++	+++	++++	++++
Zetag 8165	++				
Zetag 8167	+++	++++	++++	++++	++++
Praestol 865 BS-AP	++++	+++++	+++++	+++++	+++++
PIOFLOC 8555	++				
PIOFLOC 8560	++				
PIOFLOC 8590	++				
PIOFLOC 8590H	++	++++	++++	++++	++++

注：“+”多少表示絮凝效果强弱。

经过试验,得出 Praestol 865 BS-AP 形成的絮体大而结实,如图 3 所示。

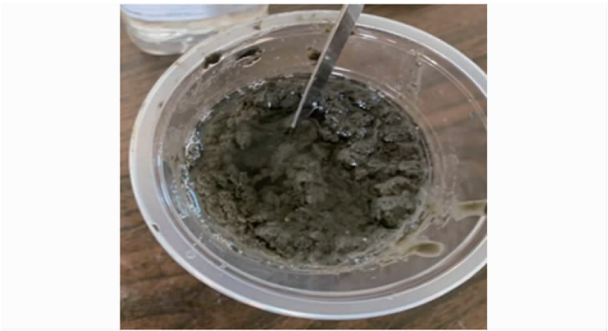


图 3 烧杯试验污泥脱水效果(Praestol 865 BS-AP 药剂)

Fig.3 Effect of sludge dewatering in beaker test(Praestol 865 BS-AP)

试验显示,Praestol 865 BS-AP 效果最佳,故以该型号药剂作为试验药剂,配比浓度 0.4%,对药剂投加量进行生产性试验,结果见图 4。如图 4 所示,其他因素不变的情况下,随着药剂量的增加,出泥含水率呈下降趋势,但当投加量≥5.2 kg/tDS(配比 0.4%,加药螺杆泵 2.6 m<sup>3</sup>/h)时,出泥含水率下降平缓,含水率变化不明显;当投加量≤3.6 kg/tDS(配比 0.4%,加药螺杆泵 1.8 m<sup>3</sup>/h)以后,肉眼观察,上清液变黑,经检测固体回收率不合格。

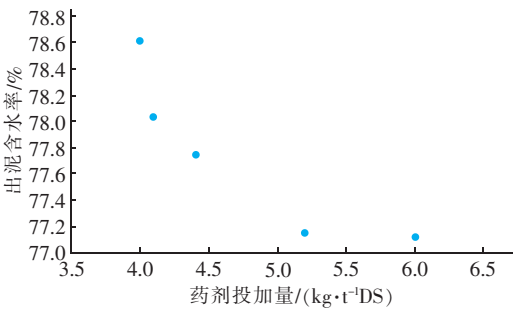


图 4 药剂投加量与出泥含水率的关系

Fig.4 Relationship between reagent dosage and water content of sludge

2.2 进泥量

进泥量与出泥含水率的线性关系见图 5。如图 5 所示,其他因素不变的情况下,随着进泥量增加,出泥含水率为 77% ~78%,变化不大。当进泥量≥80 m<sup>3</sup>/h(进泥螺杆泵),离心机扭矩开始增大,出现报警现象,容易造成堵料停机;当进泥量≤40 m<sup>3</sup>/h(进泥螺杆泵),离心机扭矩开始减小,但是造成出泥螺杆泵压力增大而停机。因此,该离心机在进泥含水率约为 96% 的情况下,可在进泥量为 40 ~80 m<sup>3</sup>/h 之间运行,最大处理量为 3.2 tDS/h,出泥含水率的波动并不很大。

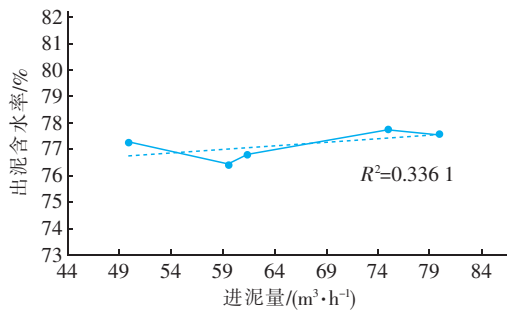


图 5 进泥量与出泥含水率的线性关系

Fig. 5 Linear relationship between sludge inflow and sludge water content

### 2.3 主电机转速

离心力、分离因数、沉降速度与离心机转速成正比,离心力的大小、分离因数的大小、沉降速度的快慢直接影响到污泥脱水效果。对不同转速下的脱水效果进行了测试,结果见图 6。其他因素不变,随着主电机转速提升,出泥含水率呈下降趋势。

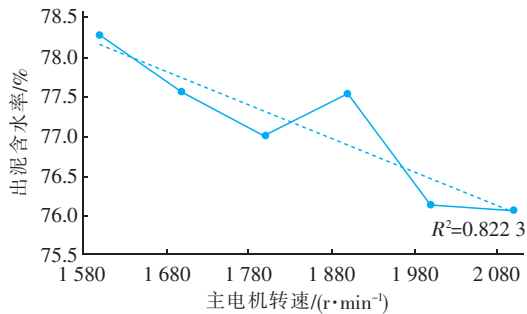


图 6 主电机转速与出泥含水率线性关系

Fig. 6 Linear relationship between speed of main motor and water content of sludge

### 2.4 稀释水与出泥含水率线性关系

稀释水投加量(分别为 0、1、2、3、4、5 m³)与出泥含水率的线性关系试验结果如图 7 所示。

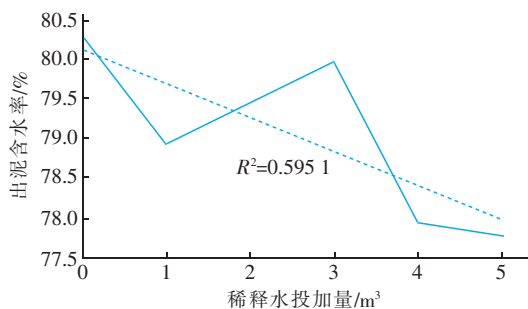


图 7 稀释水投加量与出泥含水率关系

Fig. 7 Relationship between dilution water dosage and water content of sludge

由图 7 可知,随着稀释水的增加,出泥含水率总

体呈下降趋势,即对于浓度较大的污泥,适当进行药剂稀释,使药剂与污泥充分混合,有利于浓度高的污泥进行脱水。

### 2.5 恒扭矩

#### 2.5.1 恒扭矩控制试验

离心机在高速旋转过程中,由空载高速运行到进泥高速运行,辅机扭矩会有很大的波动,且波动时间较长,往往造成从进泥至扭矩稳定接近 1 h,因此需进行恒扭矩试验,使离心机辅机扭矩尽快维持到设定目标值。

试验前的扭矩波动见图 8。

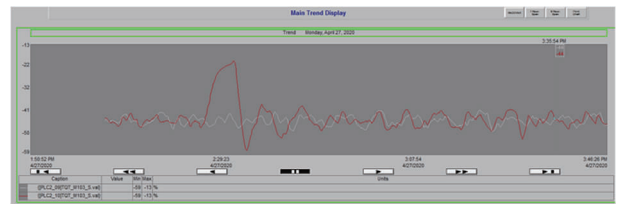


图 8 试验前的扭矩波动

Fig. 8 Torque fluctuation diagram before test

9#和 10#离心机辅机扭矩设置为 -35%,但长时间未能维持在 -35% 左右,10#离心机最大波动至 -57% ~ -20%,9#离心机波动范围为 -59% ~ -40%;10#、9#离心机波动时间长达 1~2 h,波动时间长,造成离心机运行和出泥含水率不稳定,严重时触发离心机辅机扭矩上下限,导致全线系统停机,造成离心机堵机等后果,因此需进行恒扭矩精确控制试验。

离心机辅机恒扭矩试验见表 2。

表 2 离心机辅机恒扭矩试验

Tab. 2 Constant torque test for centrifuge auxiliaries

参数	9#离心机			10#离心机		
试验组	1	2	3	1	2	3
副机恒扭矩设定值/%	-35	-35	-35	-35	-35	-35
副机参数 $K_P$ (比例)/%	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2
副机参数 $K_I$ (积分)/s	30	600	1 100	30	600	1 100
副机参数 $K_D$ (微分)/s	0.6	100	180	0.6	100	180
扭矩稳定时间/min	45	10	2	48	10	3

对 9#、10#离心机进行恒扭矩试验后,试验 3 恒扭矩参数设置能够很快将扭矩稳定到目标值,有利于离心机尽快进入稳定运行,如图 9 所示。



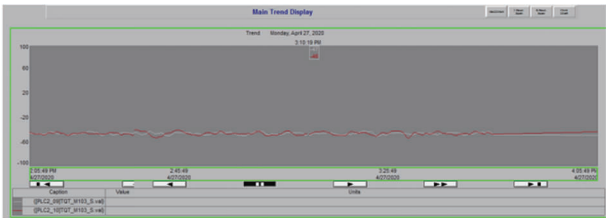


图 9 恒扭矩波动

Fig. 9 Constant torque fluctuation diagram

2.5.2 恒扭矩与含水率线性关系

恒扭矩进行稳定精确控制以后,需要确定恒扭矩目标值设置多少,因此需进行恒扭矩设定值与出泥含水率试验分析,结果如表 3 所示。

表 3 离心机辅机恒扭矩设置值与出泥含水率关系

Tab. 3 Relationship between constant torque setting value of centrifuge auxiliary and water content of sludge

参数	10#离心机				
试验组	1	2	3	4	5
副机恒扭矩设定值/%	-35	-45	-55	-65	-75
副机参数 $K_p$ (比例)/%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
副机参数 $K_i$ (积分)/s	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100
副机参数 $K_d$ (微分)/s	180	180	180	180	180
出泥含水率/%	80.02	79.87	79.76	78.89	78.76

辅机扭矩与出泥含水率的线性关系如图 10 所示。

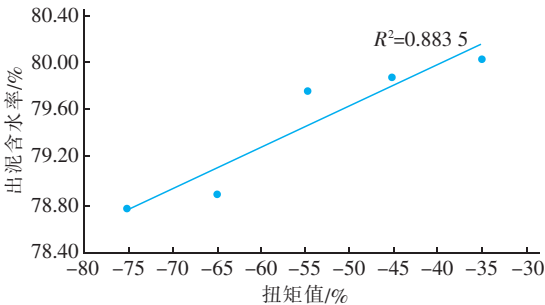


图 10 辅机扭矩与出泥含水率关系

Fig. 10 Relationship between torque of auxiliary machine and sludge water content

随着辅机扭矩值的增加,该离心机出泥含水率呈明显下降趋势,扭矩设置值增加,意味着污泥在离心机内部停留时间加长,由于该型离心机内部结构含有阻尼板,扭矩值增加,挤压力也增大,增强离心脱水,但由于辅机扭矩设有上限值,如果设置过高,很容易受进泥浓度波动影响导致扭矩值波动,触发上限,导致离心机系统被迫停机,甚至堵机,故经试验分析,该型离心机辅机扭矩设置为 -75%。

3 性能考核

根据上述试验结果,最终将离心机运行参数设定如下:主机转速 1 900 r/min(频率 48 Hz);进泥流量 50 m<sup>3</sup>/h(进泥浓度 4%);加药系统 2.4 m<sup>3</sup>/h(配比 0.4%);稀释水投加量 5 m<sup>3</sup>;辅机扭矩设置为 -75%。

在上述最优运行参数情况下,对 6#~10#离心脱水系统进行 168 h 热态性能考核,试验数据分别见图 11、12。

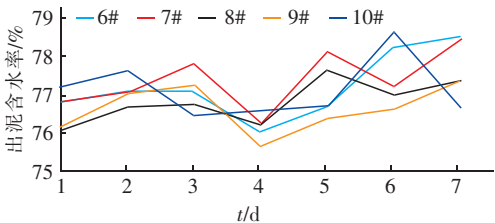


图 11 168 h 离心脱水机出泥含水率性能考核

Fig. 11 Performance evaluation of water content in sludge of 168 h centrifugal dehydrator

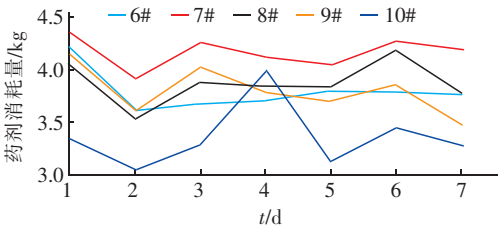


图 12 168 h 离心脱水机药剂消耗量性能考核

Fig. 12 Performance evaluation of reagent consumption of 168 h centrifugal dehydrator

如图 11、12 所示,在该最优工艺运行参数下,离心脱水机出泥含水率良好,且各项指标均已达到考核要求,出泥含水率维持在 75%~79%。

4 结论

① 污泥脱水对后续干化和焚烧处理工艺具有直接影响,出泥含水率的多少将直接影响干化和焚烧处理量。

② 当进泥性质变化时,应当重新核算参数,指导调试。本工程进泥浓度为 1.4%~4%,浓度增加近 3 倍,因此导致原有进泥流量由 150 m<sup>3</sup>/h 改为 50 m<sup>3</sup>/h,对进泥螺杆泵频率、主机扭矩、稀释水等均应调整,增加了调试难度。

③ 加药量:出泥含水率随着加药量的增加呈下降趋势,但当投药量≥5.2 kg/tDS 时,出泥含水率下降平缓,变化不明显;当投药量≤3.6 kg/tDS 时,

肉眼观察,上清液变黑,固体回收率不达标。

④ 污泥进泥量:随着进泥量增加,出泥含水率没有明显的变化,说明该型离心机具有一定的调节能力,但当进泥量 $\geq 80 \text{ m}^3/\text{h}$ (进泥螺杆泵),离心机扭矩开始增大,出现报警现象,容易造成堵料停机;当进泥量 $\leq 40 \text{ m}^3/\text{h}$ (进泥螺杆泵),离心机扭矩开始减小,但是造成出泥螺杆泵压力增大而停机。

⑤ 主机转速:主机转速越大,离心力和分离因数就越大,出泥含水率呈降低趋势。

⑥ 稀释水:随着稀释水的增加,出泥含水率总体呈下降趋势,即对于浓度较高的污泥,适当进行药剂稀释,使药剂与污泥充分混合,有利于高浓度污泥脱水。

⑦ 恒扭矩:控制辅机扭矩恒定,可以有效控制离心机出泥含水率稳定,随着辅机扭矩的增加,出泥含水率呈下降趋势,但是辅机扭矩不能太大,否则容易造成离心机被迫停机。

综上,对4个可调节影响因子及恒扭矩试验分析,该型离心脱水机主电机转速维持在 $1\,700 \sim 2\,000 \text{ r/min}$ ;加药量维持在 $2.0 \sim 2.5 \text{ m}^3/\text{h}$ (配比浓度 $0.4\%$ );进泥量为 $50 \sim 80 \text{ m}^3/\text{h}$ ;稀释水维持在 $4 \sim 5 \text{ m}^3$ ;辅机扭矩设置为 $-75\%$ ;一定范围内的进泥量对该型号的离心脱水机出泥含水率影响不明显,辅机扭矩不变。

最终确定该型离心机运行参数:主机转速 $1\,900 \text{ r/min}$ (主机频率 $48 \text{ Hz}$ );进泥流量 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ (进泥含水率 $96\%$ );加药系统 $2.4 \text{ m}^3/\text{h}$ (配比 $0.4\%$ );稀释水投加量 $5 \text{ m}^3$ ;辅机扭矩设置为 $-75\%$ 。根据上述结果,确定了离心机最优工况,并对6#~10#离心机进行了 $168 \text{ h}$ 性能考核,各项指标均已达到考核要求。

#### 参考文献:

[1] 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.

HU Weijie, QIU Fengxiang, LU Junying. Process design and consideration of Shanghai Bailonggang sludge drying and incineration project[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(4): 54-58 (in Chinese).

[2] 魏伟.离心机脱水效果影响因素分析及运行参数优化[J].企业科技与发展,2020(1):101-102.

WEI Wei. Analysis of factors influencing dewatering effect of centrifuge and optimization of operation parameters[J]. Enterprise Science and Technology & Development, 2020(1): 101-102 (in Chinese).

[3] 伊艳清.污水处理过程中污泥脱水分析与调控[D].北京:北京工业大学,2014.

YI Yanqing. Analysis and Control of Sludge Dewatering in Wastewater Treatment[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2014 (in Chinese).

[4] 王思哲,梁云平.对影响卧螺离心机脱水效果因素的探讨[J].给水排水,2004,30(8):97-99.

WANG Sizhe, LIANG Yunping. Discussion on factors influencing dewatering effect of horizontal screw centrifuge [J]. Water & Wastewater Engineering, 2004, 30(8): 97-99 (in Chinese).

[5] 任继良.污泥脱水螺旋离心机分离性能研究[D].长沙:中南大学,2012.

REN Jiliang. Study on Separation Performance of Sludge Dewatering Spiral Centrifuge [D]. Changsha: Central South University, 2012 (in Chinese).

作者简介:赵林辉(1987-),男,河南洛阳人,硕士,工程师,从事设备采购、招投标、设备安装、设备调试等工作。

E-mail: zhaolinhui@smedi.com

收稿日期:2021-01-05

修回日期:2021-04-01

(编辑:衣春敏)