

# 基于 PAC + PAM 调理的污泥深度脱水工程设计与运行

冯云刚<sup>1</sup>, 徐云辉<sup>2</sup>, 戴明华<sup>1</sup>, 张伟<sup>3</sup>

(1. 北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082; 2. 安徽国祯环保节能科技股份有限公司, 安徽 合肥 230001; 3. 北京市环境保护督察中心, 北京 100161)

**摘要:** 合肥经开区污水处理厂现有3座脱水机房, 2座采用带式浓缩机, 1座采用离心机, 出泥含水率均为80%。根据规划要求, 该污水处理厂出泥含水率需调整为60%, 拟采用浓缩+调质+板框压滤工艺。对于污泥浓缩段, 经充分比选, 最终采用新建方案。同时结合合肥市及本工程实际情况, 调质段采用PAM+PAC调质的方式。经试运行, 出泥含水率能够达到设计要求。本工程可为类似大中型污水处理厂针对污泥含水率的提标改造提供一定的借鉴, 同时可为减少化学药剂的投加量、增加调理方式的多元化提供一个思路和一些实际工程经验。

**关键词:** 污水处理厂; 污泥含水率; 污泥深度脱水; PAC+PAM; 带式浓缩机; 隔膜压滤

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)08-0096-05

## Design and Operation of Sludge Deep Dewatering Project Based on PAC + PAM Conditioning

FENG Yun-gang<sup>1</sup>, XU Yun-hui<sup>2</sup>, DAI Ming-hua<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>3</sup>

(1. Beijing Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China;  
2. Anhui Guozhen Environmental Protection and Energy Saving Technology Co. Ltd., Hefei 230001, China; 3. Beijing Environmental Protection Supervision Center, Beijing 100161, China)

**Abstract:** There were three dewatering machine rooms with 80% of sludge water content in Hefei Economic Development Zone WWTP, two of which were belt concentrator and one of which was centrifuge. According to the plan, the water content of sludge in the plant should be adjusted to 60% and the process of concentration, conditioning, plate and frame filtration was proposed. For the concentration section, after full comparison and selection, the new scheme was finally adopted. At the same time, in combination with the actual situation of Hefei and the project, PAM & PAC were adopted in the tempering section. After trial operation, the water content of sludge met the design requirements. This project can provide reference for similar large and medium-sized wastewater treatment plant to improve the water content of sludge, and provides thought and engineering experiences for reducing the dosage of chemical agents and increasing the diversification of conditioning methods.

**Key words:** WWTP; water content of sludge; sludge deep dewatering; PAC & PAM; belt concentrator; diaphragm pressure filtration

近年来,安徽省合肥市中心城区污水处理规模逐步扩大,预计到2020年,合肥市中心城区污水处

理规模将达到 $253.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,中心城区污泥产量将达到 $1\,360 \text{ t/d}$ (含水率为80%)<sup>[1]</sup>。目前,合肥市

已经规划建设处理规模为 1 000 t/d (含水率为 80%) 的污泥干化焚烧处理设施,计划 2021 年底建成投产。在新建污泥处理处置设施投产前,现有处理处置能力缺口达 600 t/d。

为了应对当前污泥处理处置能力日渐不足的问题,合肥市排水管理办公室组织编制了《合肥市近期污泥处理处置专项规划(2018—2021)》。根据该规划要求,各污水处理厂将结合自身实际情况,将污泥干化、协同焚烧、高干脱水与建材利用并行的手段作为近期主要处理处置方案,同时将土地简易堆肥作为应急补充手段,减少污水处理厂外运污泥量,共同应对目前污泥处理处置能力不足的问题。其中,经开区污水处理厂因污水处理规模较大且厂内有预

留用地,适宜采用高干度脱水的方式减少外运污泥量。

### 1 方案比选

经开区污水处理厂包括一、二、三期工程,各期规模均为  $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总规模为  $30.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,是合肥市主城区目前运营的较大规模的污水处理厂之一。

现状共 3 座脱水机房:一期、二期采用带式浓缩机,各 2 台,单台处理能力为 35 t/d;三期采用卧螺式离心浓缩脱水机,3 台,2 用 1 备。现状脱水机房出泥含水率均为 80%。

张贝贝<sup>[2]</sup>对该厂脱水污泥的泥质进行了检测分析,结果见表 1。

表 1 合肥经开区污水处理厂泥质分析数据

Tab. 1 Data of sludge quality of sewage treatment plant in Hefei Economic Development Zone

项目	有机质/%	Cd/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Pb/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Cr/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	As/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Ni/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Zn/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Cu/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	总氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	总磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	总钾( $\text{K}_2\text{O}$ )/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	低位热值/( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
数值	35.7	1.45	16.14	38.44	8.94	9.88	342.16	54.53	3.31	0.275	1.26	9 540

由表 1 可知,该厂污泥有机质含量较低,适宜采用板框压滤工艺。另经厂内实地踏勘,二沉池南侧空地面积约 3 000  $\text{m}^2$ ,可满足高干度脱水建设用地

需求。经综合考虑,本工程污泥处理确定采用浓缩+调质+板框压滤工艺。现状 3 座脱水机房位置及本工程平面布置见图 1。

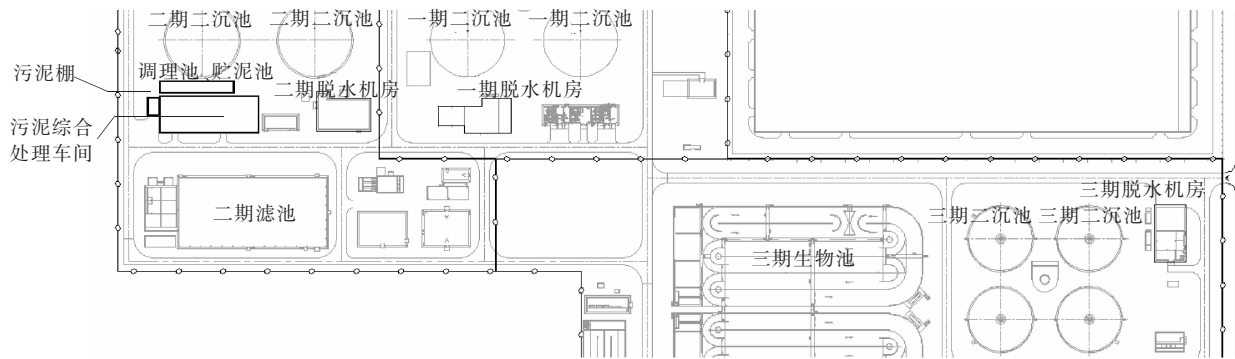


图 1 现状 3 座脱水机房位置及本工程平面布置

Fig. 1 Location of three existing dehydration machine rooms and layout plan of the project

#### 1.1 方案比选

该厂现状有 3 座脱水机房,出泥含水率均为 80%。新建工程进泥采用 3 座脱水机房脱水后的污泥还是利用脱水前的剩余污泥,亦或脱水污泥/剩余污泥搭配使用,是本工程研究的重点,并直接关系到经济效益的合理性和运行维护的便利性。经综合考虑,由于工程就在厂内实施,3 座脱水机房全部运行,出泥再加水稀释的方案明显不合理,且运行费用高,管理维护不便,不予采纳。方案比选情况如表 2

所示。

经比选,方案三无需建设污泥接收车间,可将现状所有脱水机房停止运行,将各期剩余污泥直接送至新建污泥缓冲池,经浓缩机浓缩后进入调质池,再进行板框高干度脱水,工程建设内容少,投资少,运行费用低,不存在“先脱水再加水”的问题。同时本方案无需对现状脱水机房进行改造,可以保证厂区运行不停产,确保现状运行稳定,故最终推荐方案三为实施方案。

表2 污泥脱水方案比选

Tab.2 Comparison of sludge dewatering process schemes

项目	方案一	方案二	方案三
污泥来源	一期剩余污泥、二期脱水污泥	二期剩余污泥、一期脱水污泥	全部为剩余污泥
泥量	含水率为99.2%的湿泥2 500 t/d,含水率为80%的污泥200 t/d,混合后含水率为97.78%,约2 700 m <sup>3</sup>	含水率为99.2%的湿泥5 000 t/d,含水率为80%的污泥100 t/d,混合后含水率为98.82%,约5 100 m <sup>3</sup>	含水率为99.2%的湿泥7 500 t/d
工艺路线	污泥接收→混合→调质→板框脱水,原3座脱水机房运行2座	污泥接收→混合→浓缩→调质→板框脱水,需设3台污泥浓缩机,原3座脱水机房运行1座	浓缩→调质→板框脱水,需设4台污泥浓缩机,原3座脱水机房脱水机全部停止运行
施工难易	需建设污泥接收车间,需开挖基坑,施工困难	无需建设污泥接收车间,施工容易	
投资及运行费用	高	适中	低
占地	包含接收系统,占地面积大	包含接收系统,占地面积大	占地面积小
达标稳定性	需接收含水率为80%的脱水污泥,来泥时间不可控,与剩余污泥混合后的含水率不可控,加药量波动大,最终出泥含水率不稳定	需接收含水率为80%的脱水污泥,来泥时间不可控,与剩余污泥混合后的含水率不可控,加药量波动大,最终出泥含水率不稳定	受人为因素影响小,各环节可有效控制,加药量稳定,最终出泥含水率稳定

## 1.2 浓缩方式的选择

现状脱水机房2座采用带式浓缩机,1座采用离心脱水机。带式浓缩机分为浓缩段和脱水段,离心脱水机也可进行适当改造后充当浓缩机使用。对于浓缩段,是完全新建还是充分利旧,需进行详细比选。与完全新建相比,利旧可节约工程投资,资源利用最大化,但对本工程而言,也有一些缺点,主要表现在:

### ① 处理能力不足

原带式浓缩机4套,设计处理干固能力共28 t/d,加上离心机干固处理能力达到42 t/d,不满足60 t/d的设计处理能力。

### ② 原脱水设备当浓缩用,需进行改造

带式浓缩机分为浓缩、脱水两部分,仅用浓缩,需拆除脱水段,并对浓缩段进行相应改造。原设备已运行十多年,改造难度较大,费用较高。

### ③ 占地面积大

将现状的带式浓缩机、离心机都搬到新厂房,设备总共7台,还需新增1~2台设备,所需的占地面积较大,且系统变得更加复杂。

### ④ 造成厂区污泥脱水设施停产

利用现状设备,需拆除后移位重新安装,加上初步调试时间,会造成现状厂区污泥无法正常脱水。如果考虑分期设施,耗时太长,工期受影响。

### ⑤ 远期厂区污泥处理的灵活性变差

如将现状脱水机房脱水机拆除当浓缩机使用,

对该厂而言则少了一种80%含水率污泥的出泥方式。从污泥中提取生物质资源,进行资源的回收利用是污泥处理的又一热点,目前安徽省的黄山、宿州等均开展了餐厨垃圾与市政污泥联合发酵提取沼气生物质能源的工程应用,因此保留该厂现状浓缩处理设施,可为将来的污泥处理增加一个选择。

经综合考虑,利旧方式所利用的设备型号并不吻合,强行利用会使系统变得更加复杂,利旧方案费时、费力、应对将来污泥处理方式少了一个选择。对本工程而言在资金节约并不十分明显的情况下,应该采用新增浓缩设备方案。

## 1.3 污泥调理剂的选择

根据相关文献,应用石灰调质和石灰干化工艺在污泥深度脱水中均可将出泥含水率降至60%以下<sup>[3]</sup>,但污泥调质所需石灰用量大,且一般与铁盐配合使用,石灰和铁盐的投加量一般为20%~25%、8%~12%<sup>[4]</sup>。结合合肥市正规划建设污泥干化焚烧设施的实际情况和建设单位意见,为避免“先花钱买石灰脱水,后花钱把石灰烧掉”的现象,本工程调质段采用PAC+PAM混合调质的方式,浓缩段采用PAM,调质段采用PAC+PAM联合使用。根据相关文献<sup>[5]</sup>,PAC与PAM的组合投加也能显著提高污泥脱水效果。

## 2 工程设计

### 2.1 工程规模

该厂污水处理规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设计污泥

处理规模为300 t/d(含水率约为80%),干污泥量为60 t/d。处理后的污泥应满足《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质》(GB/T 23485—2009)标准,即含水率<60%。

## 2.2 工艺流程及设计

污泥处理采用机械浓缩—化学调理—板框压滤工艺,包括浓缩系统、调理系统、加药系统、隔膜压滤系统等。

### 2.2.1 浓缩系统

现状一、二、三期剩余污泥通过剩余污泥泵直接送至新建污泥缓存池。缓存池尺寸为10.0 m×6.5 m×7.62 m,有效容积为442 m<sup>3</sup>,设计停留时间为1.4 h。缓存池设搅拌器1台,7.5 kW。缓存污泥通过污泥泵送入新增5台浓缩机。浓缩机带宽为3.0 m,水力负荷为60~120 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),固体负荷为0.48~0.96 tDS/(m<sup>2</sup>·h),单机功率为3.0 kW。浓缩机出泥通过污泥中转泵接至调理池。

### 2.2.2 调理系统

调理池共4座,单座尺寸为7.0 m×6.5 m×6.0 m。每池设搅拌器1台,双层桨叶,37 kW,配变频器。调理池来泥为浓缩污泥,含水率为97%。调理剂为PAC和PAM,PAM设计投加量为10~20 kg/tDS,PAC设计投加量为150~200 kg/tDS。4座调理池分2组,每组分别对应2台膜压滤机。当一座调理池供泥时,另外一座调理池调理。调理时间为40 min。

### 2.2.3 加药系统

主要包括浓缩加药和调理加药两部分。浓缩段加药采用PAM,设计加药量为3~5 kg/tDS。设计PAM制备装置2台,单台为4 000 L/h,3.2 kW。隔膜计量泵5台, $Q=2\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=0.3\text{ MPa}$ , $N=1.5\text{ kW}$ ,变频电机。调质段采用PAC+PAM联合使用,PAM设计投加量为10~20 kg/tDS,PAM制备装置1台,单台 $Q=12\text{ 000 L/h}$ , $N=3.6\text{ kW}$ 。隔膜计量泵4台, $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=0.3\text{ MPa}$ , $N=4.0\text{ kW}$ ,工频电机。PAC设计投加量为150~200 kg/tDS,设置PAC储池1座,尺寸为5.0 m×6.5 m×7.62 m。PAC卸料泵2台, $Q=60\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=0.25\text{ MPa}$ , $N=11\text{ kW}$ ,工频电机。PAC加药泵4台, $Q=10\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=0.26\text{ MPa}$ , $N=4\text{ kW}$ ,工频电机。

### 2.2.4 隔膜压滤系统

隔膜压滤系统包括压滤机、进泥系统、反吹系

统、压榨系统、冲洗系统等。调理污泥由高低压泵送入隔膜压滤机,之后通过压榨泵往隔膜厢式压滤机中的隔膜注水加压,对污泥进行挤压脱水。然后利用高压空气吹脱压滤机中心进泥管中的污泥及空腔内的滤液,松开滤板,排尽剩余滤液,卸除滤板内的泥饼至水平皮带机,并经过两次螺旋输送机输送至污泥车外运。每个批次时间为5 h。

#### ① 压滤机

设置隔膜压滤机4套,每套过滤面积为800 m<sup>2</sup>,滤板尺寸为2.0 m×2.0 m。过滤压力为0.8~1.2 MPa,压榨压力为1.5~2.0 MPa。每批次工作时间不大于5 h。

#### ② 进泥系统

包含高低压两级进泥泵。低压进泥泵4台, $Q=20\sim120\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=0.6\text{ MPa}$ , $N=30.0\text{ kW}$ ,变频电机。低压进泥泵工作时间为35 min。高压进泥泵4台, $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=1.2\sim1.6\text{ MPa}$ , $N=22\text{ kW}$ ,变频电机。高压进泥泵工作时间为140 min。

#### ③ 反吹系统

包含反吹螺杆式空压机和反吹储气罐。空压机2台,单台 $Q=10\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=0.8\text{ MPa}$ , $N=55\text{ kW}$ 。反吹储气罐1个,15 m<sup>3</sup>,1.0 MPa。反吹污泥进入调理池,工作时间为10 min。

#### ④ 压榨系统

包含压榨泵和压榨水箱。压榨泵共4台,单台 $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=1.89\text{ MPa}$ , $N=15\text{ kW}$ ,配变频器。压榨水箱1个,30 m<sup>3</sup>。压榨时间为45 min。

#### ⑤ 冲洗系统

包含滤布冲洗和浓缩机冲洗。设滤布冲洗水泵2台, $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=4.10\text{ MPa}$ , $N=37\text{ kW}$ 。设浓缩机冲洗泵5台, $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=0.6\text{ MPa}$ , $N=5.5\text{ kW}$ 。

## 3 工程建设及运行

本工程于2019年5月10日开工,9月15日完成土建施工和设备安装,开始试运行。试运行期间,PAM选用阳离子型絮凝剂,分子质量约 $800\times10^4\text{ u}$ 。浓缩段PAM投加量为绝干污泥质量的0.4%(PAM溶液浓度为0.2%)。调理段PAM投加量为绝干污泥质量的0.1%(PAM溶液浓度为0.2%),调理段PAC投加量为绝干污泥质量的22%(有效铝含量为10%)。进泥为厂区现状剩余污泥,含水率约99.2%,出泥含水率<60%。试运行相关数据见表3。



表3 试运行数据

Tab.3 Commissioning data

项 目	板框机进泥量/ $\text{m}^3$	浓缩段 PAM 投加量 (浓度 0.2%) / $\text{m}^3$	调理段 PAM 投加量 (浓度 0.2%) / $\text{m}^3$	调理段 PAC 投加量 (浓度 10%) / $\text{m}^3$	出泥量/t	出泥含水率/%	备注
9月27日	61.62	7.3	1.3	0.72	7.7	59.86	4#压滤机
9月28日	69.4 + 70.8	12	2.5	1.38	13.9	58.79	2#、3#压滤机
9月29日	73.51	6	1.1	0.84	6.8	59.24	1#压滤机

#### 4 结语

本工程是大中型污水处理厂对现状污泥脱水系统进行升级改造的典型示例,采用机械浓缩→化学调理→隔膜压滤工艺,其主要特点如下:

① 现状共3座脱水机房,出泥含水率均为80%。针对三期工程来泥的不同,进行了三个方案的比选,最终根据现状设备的型号、投资、占地等情况选择最佳方案。

② 由于现状一、二期脱水机房采用带式浓缩机,三期采用离心脱水机,对浓缩段是利旧还是新建进行了方案比选,最终根据现状设备实际情况及远期污泥资源化利用等因素,确定采用新建方案。

③ 化学调理剂采用 PAM + PAC,不采用石灰和铁盐,调理剂用量大大降低,避免了“先花钱买石灰脱水,再花钱把石灰烧掉”的问题。从实际试运行来看,在浓缩段投加绝干污泥质量 0.4% 的 PAM 后,在调理段投加 PAM 为绝干污泥质量的 0.1% (PAM 浓度为 0.2%)、PAC 投加量为绝干污泥质量的 22% (有效铝含量为 10%,直接投加),出泥含水率 < 60%。

#### 参考文献:

- [1] 陶志佳,袁良松,王亚婧,等. 合肥市中心城区过渡期(2019~2021年)污泥处理处置方案分析[J]. 给水排水,2019,45(5):46-50.  
Tao Zhijia, Yuan Liangsong, Wang Yajing, et al. Analysis of sludge treatment and disposal plan during transition period (2019-2021) in central urban area of Hefei City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(5): 46-50 (in Chinese).
- [2] 张贝贝. 合肥市典型污水处理厂污泥泥质分析[J]. 科技经济市场,2016(6):24-25.  
Zhang Beibei. Sludge quality analysis of typical sewage treatment plants in Hefei [J]. Science & Technology Economy Market, 2016(6): 24-25 (in Chinese).

- [3] 冯凯,黄鸥. 石灰调质与石灰干化工艺在污泥脱水中的应用[J]. 给水排水,2011,37(5):7-10.

Feng Kai, Huang Ou. Application of lime conditioning method and lime drying method in sludge dewatering [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(5): 7-10 (in Chinese).

- [4] 张辰,王建华,徐月江,等. 上海市白龙港污泥深度脱水应急工程设计与运行[J]. 给水排水,2013,39(6):42-46.

Zhang Chen, Wang Jianhua, Xu Yuejiang, et al. Design and operation of Bailonggang advanced sludge dewatering emergency project in Shanghai City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(6): 42-46 (in Chinese).

- [5] 马维超,沈伟,余庚星,等. 新型高压板框式脱水机对污泥脱水的中试研究[J]. 中国给水排水,2014,30(11):120-122.

Ma Weichao, Shen Wei, Yu Gengxing, et al. Pilot-scale research on sludge dewatering by novel high pressure plate and frame dehydrator [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(11): 120-122 (in Chinese).



作者简介:冯云刚(1982-),男,山东泰安人,硕士,高工,主要从事市政污水处理工程设计工作。

E-mail: 58858173@qq.com

收稿日期:2019-11-26