

# 保定市污泥处理中心工程的设计总结

孙卫东<sup>1</sup>, 孙欣<sup>1</sup>, 尹兴蕾<sup>1</sup>, 巩晶晶<sup>1</sup>, 仝恩从<sup>2</sup>, 郭中伟<sup>2</sup>, 王思宇<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 保定市排水总公司, 河北 保定 071000)

**摘要:** 保定市城镇污水处理厂污泥处理中心工程处理规模为 300 t/d。污泥处理主工艺为中温厌氧消化加深度脱水。产生的沼气一部分用于沼气锅炉燃烧产生热能供给消化系统使用, 另一部分净化提纯后与城市燃气管网连接。该工程目前正在进行调试。重点对各个工艺环节在设计阶段需要考虑的问题进行了分析和归纳, 给出了主要工艺流程及设计参数, 可供类似污泥处理工程参考。

**关键词:** 城镇污水处理厂; 污泥处理; 中温厌氧消化; 深度脱水; 沼气

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)12-0098-05

## Design Summary of Baoding Sludge Treatment Center Project

SUN Wei-dong<sup>1</sup>, SUN Xin<sup>1</sup>, YIN Xing-lei<sup>1</sup>, GONG Jing-jing<sup>1</sup>, TONG En-cong<sup>2</sup>,  
GUO Zhong-wei<sup>2</sup>, WANG Si-yu<sup>2</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Baoding Drainage Corporation, Baoding 071000, China)

**Abstract:** The capacity of urban sludge treatment center in Baoding is 300 t/d. The main sludge treatment process is mesophilic anaerobic digestion and deep dewatering. A part of the generated biogas is burned with a biogas boiler to generate heat energy for use in the digestive system, and the other part is purified and then connected to the urban gas network. The project is currently under commissioning. The problems that need to be considered in the design stage of each process were analyzed and summarized, and the main process flow and design parameters were given, which can be reference for similar sludge treatment projects.

**Key words:** urban sewage treatment plant; sludge treatment; mesophilic anaerobic digestion; deep dewatering; biogas

根据国家和保定市政府的要求, 银定庄、溪源和鲁岗城市污水处理厂于 2010 年开始实施了升级改造工程<sup>[1]</sup>, 其污泥直接脱水到含水率为 80% 后送有关部门认可的空地进行简易防护后堆放。由于污泥未经稳定处理以及含水率过高等原因, 垃圾填埋场拒收。污水厂运行前期, 污泥泥质基本符合农用标准, 该市在污泥制肥及农用方面也进行了有益探索, 但后来随着进水中工业废水的比例逐渐由 40% 提高到 60%, 污水厂的泥质也发生了变化, 农用几无

可能。为彻底解决污泥处理问题, 决定建设保定市污泥处理中心工程。

## 1 工程概况

### 1.1 工程规模、泥质及选址

银定庄、溪源和鲁岗三座污水厂满负荷运行后, 产生的剩余污泥量达到 300 t/d (含水率为 80%)。中试混合污泥有机成分所占比例在 58% 左右, 生产性试验混合后污泥有机成分所占比例在 60% 左右。参考国内城市污水处理厂污泥有机物多为 45% ~

55%的情况<sup>[2]</sup>,再考虑污水处理厂提标改造的可能,该工程最终污泥中有机成分含量按照50%进行设计。由实际检测结果可知,污泥中总锌和总镍两种重金属超标较严重,总铜偶有超标,不适合农用。随着产业结构的合理调整和工业废水处理的规范化,污水中重金属含量会逐步降低。待泥质满足土地利用要求后,可在远期考虑采用污泥替代脱水剂脱水后用作园林绿化及经济作物的营养土,或者土壤改良土等<sup>[3]</sup>。在溪源污水处理厂内和旁边的垃圾填埋场有符合城市规划的适宜用地,本污泥处理中心的建设厂址设于溪源污水处理厂空地处。

## 1.2 污泥输送

经过综合考虑,鲁岗污水厂的污泥采用车载脱水污泥更为合理可行,溪源污水处理厂和银定庄污水处理厂与本工程项目距离很近,仅有200~300m,故将溪源污水厂的污泥脱水至80%含水率后泵送至污泥处理中心,银定庄污水处理厂污泥浓缩到96%后泵送至污泥处理中心进行混合。

三座污水处理厂的污泥量及污泥含水率如表1所示。

表1 三座污水处理厂的污泥量及含水率

Tab.1 Sludge volume and water content

项目	干污泥量/ (t·d <sup>-1</sup> )	污泥量(含水 污泥)/(t·d <sup>-1</sup> )	含水率/%
银定庄污水厂污泥	14	370	96.2
溪源污水厂污泥	28	140	80
鲁岗污水厂污泥	18	90	80
混合污泥	60	600	90

## 2 工艺设计考虑的主要问题

### ① 污泥处理工艺

本项目处理后污泥采用垃圾场卫生填埋,在填埋前需对污泥进行处理,使泥质达到《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质》(GB/T 23485—2009)的要求。

污泥处理采用中温厌氧消化工艺。厌氧消化是目前国际上较为常用的污泥生物处理方法,同时也是大型污水处理厂最为经济的污泥处理方法。在厌氧消化过程中产生的沼气是一种优质清洁能源,除可满足消化过程维持固定温度所需热能外,还可向系统外提供,是一项减少二氧化碳排放量的有效措施。正因为如此,发达国家污泥处理普遍采用污泥消化。《城市污水处理及污染防治技术政策》中也

规定“日处理能力在10万立方米以上的污水二级处理设施产生的污泥,宜采取厌氧消化工艺进行处理,产生的沼气应综合利用。”

中温厌氧消化的温度多控制在30~38℃,与高温消化相比,要求的停留时间较长,池容较大,但具有能耗较低、运行稳定的特点,而且对病菌和寄生虫卵的杀灭效果与高温厌氧消化的差别并不显著。国内也有很多成功应用的实例,在设计和运行管理方面都有很丰富的经验,所需配套设备和施工机械也很齐全。

本工程污泥处理目标为脱水至含水率为60%后卫生填埋。目前常用的几种脱水机械只有板框机能达到要求,所以确定本工程采用板框脱水机。本工程消化处理流程无需污泥浓缩机械。根据前面污泥转运和含水率的要求,银定庄污水厂剩余污泥浓缩到96.2%后,三厂混合污泥刚好满足消化处理工艺要求的90%含水率。银定庄污水厂原设计的剩余污泥浓缩采用重力浓缩池,只能保证污泥浓缩后含水率为97%~98%,不能满足本工艺要求,所以需增设机械浓缩。目前运行经验较多的浓缩机械有三种:带式浓缩机、转鼓浓缩机、离心浓缩机。这三种浓缩机各有优劣,针对本工程的特点,采用离心浓缩机能够持续稳定地保证出泥含水率达到96.2%的要求。

工艺流程见图1。

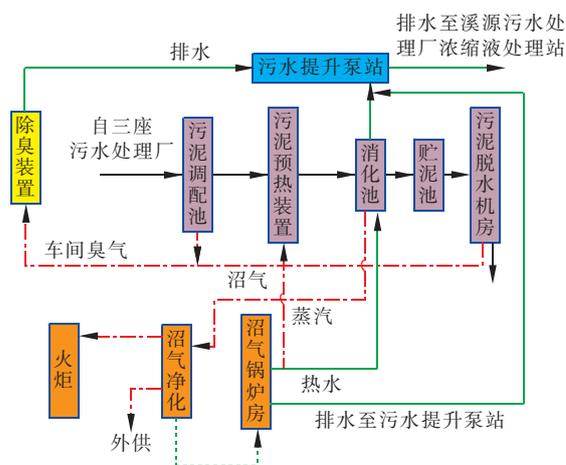


图1 污泥处理中心工艺流程

Fig.1 Flow chart of sludge treatment process

本工程污泥中温厌氧消化的物料平衡计算见图2。

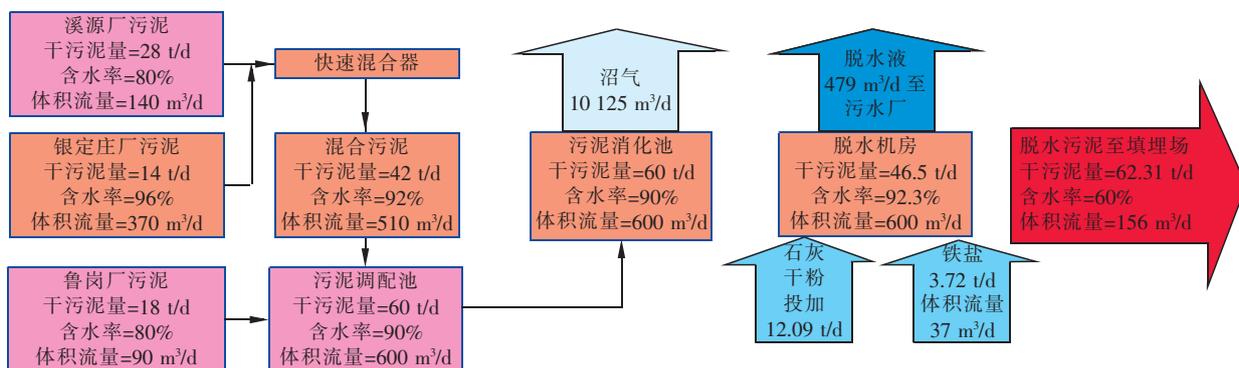


图2 污泥处理中心工程物料平衡计算

Fig. 2 Material balance calculation of Baoding sludge treatment center

② 沼气处理工艺

污泥消化产生的沼气除满足污泥消化本身的加热和保温要求外,剩余沼气主要用于脱除 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 和少量 N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O,达到车用压缩天然气的标准。沼气处理工艺流程见图3。

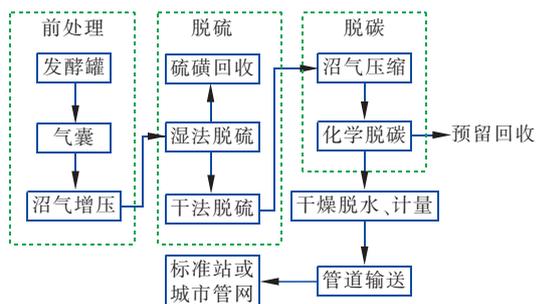


图3 沼气处理工艺流程

Fig. 3 Flow chart of biogas treatment process

③ 除臭工艺

本工程臭气主要来自湿污泥混合搅拌、输送及脱水车间等区域,按照《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)环境空气质量功能区的分类,本项目位于二类区“城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区”。本工程恶臭污染物排放厂界标准适合按二类区执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)的二级标准。经综合考虑,本工程采用生物除臭处理工艺,为节省占地,采用高度集成的一体化除臭箱体,放置在污泥预处理车间内。

④ 尾水处理

污泥处理厂内产生的尾水量只有 600 m<sup>3</sup>/d 左右,一般 COD 为 300~1 500 mg/L,氨氮为 100~600 mg/L,总磷为 1~10 mg/L。本工程与溪源及银定庄污水处理厂距离很近,两厂的总规模为 24 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/

d,考虑到厂地限制及便于管理,决定将污泥处理尾水送到污水厂升级改造工程中浓缩污泥上清液的处理单元一起处理,不再另行建设污水处理系统。

⑤ 污泥及沼气调蓄

因污泥来自3座污水处理厂,常规做法应设置污泥料仓作为调节。但本工程在消化预处理车间设置了2座混合池和1座调蓄池,在设计中考虑了足够的调蓄容积,所以最终未设置污泥料仓。常规的沼气利用中需要设置贮气柜,贮气柜容积应为产气量的25%~40%。本工程平均产气量为 13 163 m<sup>3</sup>,实际贮气柜容积比例按照 25% 计,算上 35% 的保险系数,所需贮气容积为 4 443 m<sup>3</sup>。本工程厌氧反应器为金属罐,此罐体的上方自带贮气装置,每个贮气装置的容积约为 750 m<sup>3</sup>,合计为 4 500 m<sup>3</sup>,可满足规范要求,所以不再另外单独设置贮气柜。

3 主要构筑物及设计参数

① 污泥预处理车间

主要进行污泥温度和含水率的调节,并将调节好的污泥送入后续污泥消化工段。1座,平面尺寸:30 m × 20 m。其中包含:污泥调蓄池1座,有效调蓄容积为 200 m<sup>3</sup>;污泥混合池2座,单池有效容积为 40 m<sup>3</sup>;调节池3座,单座有效容积为 140 m<sup>3</sup>。主要设备:搅拌器10套, N = 11 kW;污泥切碎机4套, N = 3 kW;污泥转子泵4套, Q = 30 m<sup>3</sup>/h, H = 300 kPa, N = 5 kW;污泥潜污泵4套, Q = 145 m<sup>3</sup>/h, H = 150 kPa, N = 11 kW;生物除臭装置1套,处理能力为 20 000 m<sup>3</sup>/h。

② 厌氧消化池及排砂泵站

主要作用是将污泥进行中温厌氧消化,使污泥中的有机物质变为稳定的腐殖质,同时减少污泥体

积,改善污泥性质,使之易于脱水,并破坏和控制致病微生物,产生的沼气用于自身污泥加热保温或将来的污泥干化或焚烧。有机物厌氧消化的降解率一般为40%~50%,本工程有机物降解率设计值取40%。主要配套设备:穿壁式搅拌器14套(其中2套冷备), $N=22\text{ kW}$ ;内循环泵8台(其中2台冷备), $N=18.5\text{ kW}$ ;排渣泵2套, $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=150\text{ kPa}$ , $N=3.7\text{ kW}$ 。

### ③ 污泥脱水间

单层砖混结构,包含地下式贮泥池和调节池,1座3层,共 $600\text{ m}^2$ 。采用板框脱水,整套系统由PLC控制,连锁运行。设计参数:污泥干固体量 $46\ 500\text{ kg/d}$ ,进泥量 $600\text{ m}^3/\text{d}$ ,脱水前含水率为92.3%,脱水后含水率为60%,出泥量 $156\text{ m}^3/\text{d}$ , $\text{FeCl}_3$ 投加量为 $80\text{ kg/tDS}$ ,生石灰投加量为 $260\text{ kg/tDS}$ 。主要设备:立式搅拌器6套(1套冷备), $N=3\text{ kW}$ ;低压污泥进料泵6套(1套冷备), $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=0.6\text{ MPa}$ , $N=45\text{ kW}$ ;高压污泥进料泵6套(1套冷备), $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=1.0\text{ MPa}$ , $N=22\text{ kW}$ ;板框污泥脱水机5台, $Q=62.3\text{ t/d}$ ;石灰料仓有效容积为 $24\text{ m}^3$ 。

### ④ 沼气净化车间

沼气在此完成脱硫、脱碳、净化、干燥、增压等。尺寸( $B\times L\times H$ )为 $9\text{ m}\times 35\text{ m}\times 6\text{ m}$ 。主要设备:湿法脱硫塔1套, $D$ 为 $1\ 200\sim 1\ 500\text{ mm}$ ,总长为 $8\ 000\sim 12\ 000\text{ mm}$ ;干法脱硫塔2套, $D$ 为 $1\ 200\text{ mm}$ ,总长为 $6\ 000\text{ mm}$ ;吸收法脱碳系统2套, $Q=10\ 000\text{ Nm}^3/\text{d}$ ,吸收率 $\geq 99\%$ ;工艺压缩机2套, $P=0.8\text{ MPa}$ , $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$ , $N=55\text{ kW}$ 。

### ⑤ 沼气火炬

将多余的沼气燃烧释放,保证厂区安全。1座,柱形内燃式沼气火炬,最大燃气量 $Q_{\max}=850\text{ Nm}^3/\text{h}$ 。进口带有自动点火及安全保护装置的沼气火炬系统。根据贮气柜顶的压力表信号,指示点火按程序工作。

### ⑥ 沼气锅炉房

沼气锅炉为污泥消化提供蒸汽和热水,在调试期间利用市政天然气作为备用热源。单层框架结构,1座,尺寸( $L\times B$ )= $26.6\text{ m}\times 12\text{ m}$ 。主要设备:卧式蒸汽锅炉(油、气两用)2台,单台锅炉额定蒸发量为 $2.0\text{ t/h}$ ,蒸汽压力为 $1.0\text{ MPa}$ ,锅炉效率为94%。配套快速除污器、全自动软水器、循环水泵、

定压膨胀补水机组、软水补水箱、集水器、分水器 and 汽-水换热机组。

### ⑦ 除臭单元

生物除臭装置采用一体化设计,放置在消化预处理间。生物除臭装置为成套设备(主体结构的材质为玻璃钢,全封闭),包括装置主体、加湿系统、生物滤料、仪器仪表、电控柜及处理后排放管道等。生物除臭装置的自控装置监测进气的温度及滤床的压降温度等参数,控制除臭装置运行在最佳状态。一体化设备内前端是加湿器,臭气经风机引入加湿器加湿后,主要作用是调整气体湿度及温度,达到适合生物降解的条件;经加湿后气体进入生物滤床,被生物滤床上的生物膜分解,达标排放。

生物滤料为矿石覆盖营养膜无机滤料而不是两种物质以上的简单混合型滤料,具有统一的性质及外形,典型的滤料尺寸为 $10\sim 25\text{ mm}$ 。比表面积 $>30\text{ m}^2/\text{g}$ 滤料,有利于对污染物的吸附及降解。生物滤料使用期间不需要添加任何营养液,滤床高度 $>2.4\text{ m}$ ,节省占地面积,气体通过滤床的停留时间不得少于 $19\text{ s}$ 。滤料表面的营养层使用寿命 $>6\text{ a}$ ,正常运行期间不用更换,该系统可最多间歇2个月再运行而不需重新培养微生物。

本工程除臭主要针对污泥预处理车间和污泥脱水机房两个建筑物,臭气量为 $20\ 000\text{ Nm}^3/\text{h}$ 左右。主要设备:风机2套(1用1备),单机 $Q=20\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ , $P=2.2\text{ kPa}$ , $N=22\text{ kW}$ ;加湿系统(含泵、填料、支撑、压板、喷淋管道)1套,单机 $Q=20\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ ;除臭主体设备1套,单机 $Q=20\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ ,尺寸为 $14\text{ m}\times 6.8\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ ,内部滤料高度为 $2.4\text{ m}$ 。

## 4 经济效益分析

该污泥处理处置工程概算总投资为 $13\ 949.38$ 万元,利用亚行贷款 $1\ 640$ 万美元,国内配套 $3\ 781.38$ 万元。经计算,建成投产后运行成本为 $2\ 775.18$ 万元/a,折合单位成本为 $253.44$ 元/t。消化产生的沼气除本厂加热污泥自用外,其余全部用作汽车燃料,相当于年减排二氧化碳 $5\ 913\text{ t}$ 。

## 5 结论

保定市污泥处理中心工程目前正在工程调试,其设计经验可为不同污水处理厂的污泥集中处理提供借鉴:①在工程设计前应进行中试,得到污泥泥质及厌氧消化的基本参数以指导设计;②该工程在污泥输送、含水率调配方面进行了探索,采用车运

及泵送相结合的方式将不同含水率的污泥输送至集中处理厂并实现污泥含水率的调配,尽可能采用未处理污泥水与污泥混合的方式实现含水率的调节;③沼气处理采用吸附法去除二氧化碳,提纯后沼气输送至城市燃气管网,实现了能量的循环利用;④在污泥处理工程设计时要有一定的预见性,即对所接纳污泥的污水处理厂的处理工艺在将来可能的变化留有余地,以便应对重金属、有机物含量等主要污泥指标的变化。

### 参考文献:

- [1] 全恩从,郭中伟,王思宇,等. 保定市三座污水处理厂升级改造工程[J]. 中国给水排水,2015,31(18):86-89.  
Tong Encong, Guo Zhongwei, Wang Siyu, *et al.* Upgrading and reconstruction projects of three sewage treatment plants in Baoding City[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(18):86-89 (in Chinese).
- [2] 张辰. 污泥处理处置技术与工程实例[M]. 北京:化学工业出版社,2006.  
Zhang Chen. Engineering Example of Sludge Treatment and Disposal Technology[M]. Beijing: Chemical Industry

Press, 2006 (in Chinese).

- [3] 戴晓虎. 我国城镇污泥处理处置现状及思考[J]. 给水排水,2012,38(2):1-5.  
Dai Xiaohu. Status and thinking of urban sludge treatment and disposal in China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(2):1-5 (in Chinese).



作者简介:孙卫东(1973-),男,山东威海人,硕士,高级工程师,主要从事市政水厂、污水厂、污泥处理工程设计工作。

E-mail:13512070300@163.com

收稿日期:2017-12-20

(上接第97页)

tension project of WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(4):32-34 (in Chinese).

- [3] 陈小燕. MBBR及A<sup>2</sup>O五段法用于污水处理厂提标扩建[J]. 中国给水排水,2017,33(12):59-62.  
Chen Xiaoyan. Application of MBBR and five-stage A<sup>2</sup>O in the upgrading and reconstruction of urban wastewater treatment[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(12):59-62 (in Chinese).
- [4] 孟涛,刘杰,杨超,等. MBBR工艺用于青岛李村河污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水,2013,29(2):59-61.  
Meng Tao, Liu Jie, Yang Chao, *et al.* Application of MBBR process in upgrading and reconstruction of Licunhe WWTP in Qingdao City[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(2):59-61 (in Chinese).
- [5] 杨宇星,吴迪,宋美芹,等. 新型MBBR用于类地表IV类水排放标准升级改造[J]. 中国给水排水,2017,33(14):93-98.  
Yang Yuxing, Wu Di, Song Meiqin, *et al.* Application of new MBBR in WWTP upgrading to meet class IV surface

water standard[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14):93-98 (in Chinese).



作者简介:秦桂海(1963-),男,山东烟台人,本科,高级工程师,主要从事水污染控制技术的应用、污水处理系统的运行及管理。

E-mail:ytwwtp1963@163.com

收稿日期:2018-03-08