

# 曝气生物滤池工艺过程中污泥厌氧消化工程实例分析

于 豹<sup>1</sup>, 袁伯威<sup>1</sup>, 安平林<sup>1</sup>, 张晓全<sup>2</sup>, 刘 泳<sup>2</sup>, 苏赞澎<sup>2</sup>

(1. 中国光大水务有限公司 水环境技术研究中心, 广东 深圳 518000; 2. 光大水务<青岛>有限公司, 山东 青岛 266071)

**摘 要:** 结合某曝气生物滤池工艺过程中污泥厌氧消化系统工程实例,介绍了该厂污水处理工艺、污泥厌氧消化系统及其构筑物,分析了污泥厌氧消化系统运行工况。结果表明,厌氧消化系统中污泥高有机质含量、适量  $\text{FeCl}_3$  的引入以及合理的沼气能源出路有助于实现污泥厌氧消化工程较好的经济和环境效益。

**关键词:** 曝气生物滤池; 污泥厌氧消化; 沼气能源

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)02-0091-04

## Case Study on Anaerobic Digestion of Sludge from a Biological Aerated Filter

YU Bao<sup>1</sup>, YUAN Bo-wei<sup>1</sup>, AN Ping-lin<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-quan<sup>2</sup>, LIU Yong<sup>2</sup>,  
SU Zan-peng<sup>2</sup>

(1. Water Environmental Technology Research Center, China Everbright Water Co. Ltd., Shenzhen 518000, China; 2. Everbright Water <Qingdao> Co. Ltd., Qingdao 266071, China)

**Abstract:** The treatment process including biological aerated filter (BAF), sludge anaerobic digestion system and other constructions of a sewage treatment plant is illustrated. By analyzing the practical operation condition of the sludge anaerobic digestion system, it is showed that high organic content of sludge, introduction of appropriate  $\text{FeCl}_3$  and reasonable biogas outlet could help to realize the economic and environmental benefits of sludge anaerobic digestion system.

**Key words:** biological aerated filter; sludge anaerobic digestion; biogas energy

污泥作为污水处理过程中的副产物,含有大量可降解有机质、寄生虫(卵)及病原微生物,如果处置不当极易造成二次污染,对环境和人类健康造成危害<sup>[1]</sup>。厌氧消化技术可实现污泥中有机质的资源化利用,并能够有效杀灭病原菌,达到减量化和稳定化目的。在欧美国家,污泥厌氧消化技术在工程实践中广泛应用,整个欧洲经过污泥厌氧消化处理的污泥量占总污泥量比例高达40%以上<sup>[2]</sup>,美国厌氧消化处理污泥比例亦占到16.9%<sup>[3]</sup>。

根据住建部统计数据,截至2016年9月底,我国现有污水处理厂3976座,其中仅有约60座设置污泥厌氧消化设施,而能够正常运行的不足一半<sup>[4]</sup>。污泥厌氧消化技术在我国推广应用受阻

有不同层面原因:政策层面长期“重水轻泥”,缺乏强制性政策引导;经济层面,污泥厌氧消化系统存在投资与收益的不平衡,长期运行必须获得政府补贴;技术层面,污泥厌氧消化技术运行管理及维护较复杂,再加上我国泥质具有高含砂、低有机质特点,导致厌氧系统波动较大<sup>[5]</sup>。针对以上问题,国家也在积极制定相关政策,引导市场资本参与,并积极借鉴国外先进经验。以某污水处理厂内曝气生物滤池工艺过程中污泥厌氧消化工程为例,对运行工况进行了分析,以期污泥厌氧消化技术应用推广提供一定的工程经验。

### 1 污水处理厂概况

某污水处理厂设计处理规模为  $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,

污水处理采用 Multiflo 沉淀池 + 曝气生物滤池 (BAF) 工艺, 现状排水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 标准, 尾水部分回用, 部分深海排放; 为改善水环境, 满足环保要求, 该厂正进行一级 A 的升级改造。污泥处理采用一级中温厌氧消化 + 离心浓缩脱水 + 外运卫生填埋组合工艺。厂区内污水和污泥散发的异味采用 Alizair 工艺进行生物脱臭处理。现有污水处理设施占地  $3.8 \text{ hm}^2$ , 厂区东侧有预留空地约  $0.6 \text{ hm}^2$ , 按照功能划分为污水处理区、污泥处理区、尾水排放区和厂前区。污水厂设计进、出水水质如表 1 所示。

表 1 某污水处理厂设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

mg · L <sup>-1</sup>						
项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
进水水质	400	250	250	42	55	10
出水水质	60	20	20	15	—	0.5

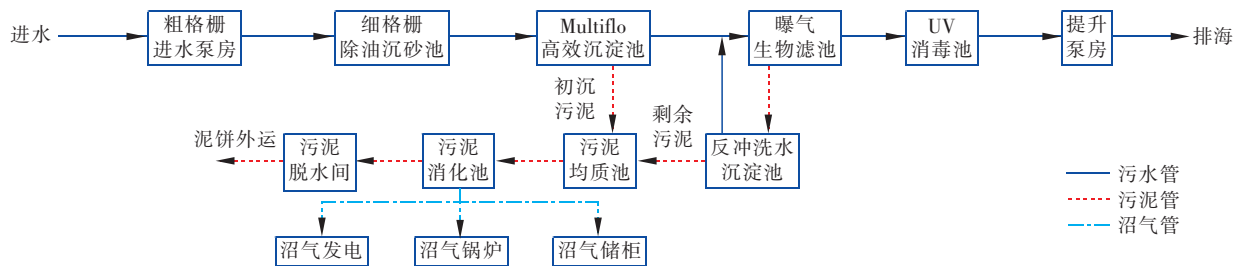


图 1 污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

## 1.2 现状污泥消化系统及其构筑物

### ① 污泥均质池

设置均质池 1 座, 起到均质和调蓄作用, 主要接纳 Multiflo 高效沉淀池污泥和反冲洗沉淀生物污泥, 均质后混合泥含固率在 5% 左右, 通过进泥井进入消化反应池。其中来自细格栅和除油沉砂池的油脂不经过均质池直接进入污泥消化池。

### ② 污泥消化池

共设置 2 座消化反应池, 对称布置, 中间通过操作楼连通。单座池体高度为 25.7 m, 直径为 29.3 m, 单体有效容积为  $12\,700 \text{ m}^3$ , SRT 为 20 d。采用中温厌氧消化, 温度控制在  $33 \sim 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

消化池旁设置进泥井, 均质混合泥、油脂及循环污泥在此混合后进入消化池底部。每座消化池池顶设置一套搅拌器、螺旋搅拌桨、污泥气密封罐、污泥

目前污水厂已满负荷运行, 现状进水水质波动大, 受季节变化影响明显, 尤其夏季水量明显增大。

### 1.1 现状污水处理工艺

污水处理主要采用曝气生物滤池工艺, 具体流程如图 1 所示。市政污水通过收集管网进入闸门井, 再由粗格栅和进水泵房进入细格栅和除油沉砂池, 去除部分颗粒物、油脂和泥砂, 以满足后续曝气生物滤池的要求。沉砂池出水进入 Multiflo 高效沉淀池, 该部分由混凝池、絮凝池、沉淀池和污泥浓缩池集合组成, 可以有效去除 SS、COD 及大部分 TP, 出水进入上流式曝气生物滤池。生物处理部分主要采用 Biostyr 生物滤池, 底部设布水渠兼具反冲洗排水渠功能, 过滤水自滤床顶部汇集排出, 滤池中滤料附着生长大量微生物, 能够将有机物降解, 同时自身的物理截留作用使悬浮物得以去除, 无需设置二沉池进行固液分离。滤池出水进一步经过紫外消毒池后提升排海。

气室、观察窗; 消化池底设置出泥管, 出泥管接至污泥脱水间储泥池。消化池内消化液回流至污水处理前端稀释处理。消化池产生的沼气通过顶部污泥气管汇集至储气柜。

### ③ 储气柜

设置储气柜 1 座, 圆形池体, 采用双膜结构, 有效容积为  $2\,500 \text{ m}^3$ , 停留时间为 3.3 h。储气柜主要对沼气进行调节, 以保证发电系统的正常连续运行, 沼气优先用于发电机发电, 过剩部分通过燃烧塔消耗。

### ④ 发电系统

设置 1 座发电机房, 包括 4 套发电机组和 4 套热回收单元, 保证沼气发电的同时, 通过热交换器满足消化池最大需热量, 多余部分由冷凝器去除。

### ⑤ 沼气锅炉

设置 2 台沼气锅炉,主要在冬季运行,为消化池提供热量,每台供热量为  $1\,736\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

#### ⑥ 燃烧塔

设置 1 座耗气量为  $1\,000\text{ m}^3/\text{h}$  的燃烧塔,主要用于消耗发电之后过剩沼气。

#### ⑦ 污泥脱水间

采用离心脱水方式,设置 3 台离心脱水机,2 用 1 备;消化后污泥在储泥池短暂停留后,经污泥泵提升至离心机脱水处理,脱水后泥饼含水率约为 70%。

## 2 污泥消化系统运行工况分析

污泥厌氧消化项目自 2008 年正式运行以来,系统整体运行状态良好。以 2016 全年运行数据为例,主要从 Multiflo 沉淀池中  $\text{FeCl}_3$  投配量及排泥量、消化池进泥含固率及有机组分含量、有机质去除率、消化池沼气产生量及沼气发电量等方面对污泥厌氧消化状况进行分析。

曝气生物滤池对进水 SS 要求较高,因而在处理前端采用 Multiflo 沉淀池对进水进行预处理,以  $\text{FeCl}_3$  和 PAM 作为混凝沉淀剂,有效去除进水中 SS、COD 及大部分 TP,因而该部分排泥量占总排泥量比重较大,直接影响消化池进泥量。就  $\text{FeCl}_3$  投配量而言,2016 全年平均投配量为  $55.04\text{ mg/L}$ (以进水量计),而全年平均进水量为  $124\,553\text{ m}^3/\text{d}$ ,Multiflo 沉淀池平均排泥量为  $927.87\text{ m}^3/\text{d}$ ,折算排泥中  $\text{FeCl}_3$  含量为  $7.39\text{ kg/m}^3$ ,该部分  $\text{FeCl}_3$  将随沉淀污泥进入消化池。有研究表明,污泥厌氧消化过程中投加适量  $\text{FeCl}_3$  可有效控制硫化物、提高酶活性及优化微生物种群结构<sup>[6]</sup>,这也是保证该污泥厌氧消化工程长期稳定运行的条件之一。该过程中投加的  $\text{FeCl}_3$  具备两方面作用:沉淀过程中发挥混凝沉淀作用,厌氧消化过程中发挥生物促进剂作用。

污泥含固率及有机组分含量是评价进泥性质的重要指标。2016 全年进泥含固率和有机组分均较稳定,其中含固率全年平均为 5.02%,有机质含量全年平均为 73.50%。我国市政污水普遍存在进水有机质低、含砂量高的特点,导致最终产生污泥含砂量高而有机质含量低,不利于污泥厌氧消化<sup>[7]</sup>。而该污水厂进水主要为生活污水、含砂量低且无化粪池处理,最终污泥有机质含量较高,适宜厌氧消化,这是保证该污泥厌氧消化工程长期稳定运行又一有利条件。

污泥有机质去除率是评价污泥稳定化程度的重要指标。2016 年全年有机质去除率在 30%~70% 之间波动,全年平均有机质去除率高达 58.23%,满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中对污泥有机质去除率超过 40% 的要求。

就全年沼气产生量而言,夏季沼气产量高于冬季,基本维持在  $16\,000\text{ m}^3/\text{d}$  以上,全年平均沼气产量达到  $17\,073.29\text{ m}^3/\text{d}$ 。对应地夏季沼气发电量也明显高于冬季,除受污泥产量影响外,冬季环境温度低,为保证污泥中温消化温度,在 1 月—3 月开启沼气锅炉进行供热,3 个月内平均消耗掉  $3\,824.75\text{ m}^3$  沼气/d。厂内全年平均耗电为  $41\,888.54\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{d}$ ,而沼气发电全年平均发电量为  $27\,047.21\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{d}$ ,全年厂内用电 65% 由沼气发电系统提供,大大减轻了运行成本,同时实现了污泥的能源化利用。

## 3 污泥消化系统经济效益和环境效益分析

污泥消化系统经济效益主要包括污泥减量及沼气发电<sup>[8]</sup>。由 2016 年运行数据分析可知,单就 Multiflo 沉淀池中平均每天产生的  $927.87\text{ m}^3$  污泥(含固率为 5% 左右)而言,经过厌氧消化后有机质平均去除 58.23%,按照有机质占污泥干质量平均值 73.50% 计算,则 Multiflo 沉淀池中单项污泥可减少  $66.20\text{ m}^3$  泥饼产量(以含固率为 70% 计),按照泥饼处置费为 150 元/t 计,全年可节约 363 万元的泥饼处置费,如考虑污泥减量对应药剂节省费,经济效益将进一步提高。全年平均每天沼气发电量为  $27\,047.21\text{ kW}\cdot\text{h}$ ,按照电价为 0.95 元/( $\text{kW}\cdot\text{h}$ ) 计,全年沼气发电可为污水厂节省约 940 万元,经济效益可观。

污泥经过厌氧消化过程减量化明显,可减少污泥卫生填埋所需土地,同时污泥有机质含量的降低可减少二次污染产生,从而减轻对周边环境的危害,进一步提升城市形象,增强城市绿色活力和可持续发展能力。

## 4 结语

该曝气生物滤池工艺过程产生污泥进行厌氧消化能够长期稳定运行,主要得益于以下几点:①污泥自身有机质含量高、砂含量低;②Multiflo 沉淀池中投加的  $\text{FeCl}_3$  在污泥厌氧消化系统中发挥生物促进剂作用,并有效降低体系内硫化物毒害;③完善的运行管理机制,对消化系统中各项指标跟踪监测并设置专人维护调试;④消化系统中产生的沼气能源具

有合理出路,在保证消化系统稳定运行前提下,实现经济效益的最大化。

污泥厌氧消化处理带来的经济效益具有间接性,但从长远来看,环境的改善必将促进经济社会的可持续发展,需考虑其宏观效益。随着经济社会的发展,人们环保意识的增强,污泥处理处置工程,特别是污泥厌氧消化系统的推广应用必将引起人们的重视;与此同时,如何保证工程化污泥厌氧消化系统的长期稳定运行依旧任重道远。

#### 参考文献:

- [1] 张清敏,陈卫平,胡国臣,等. 污泥有效利用研究进展[J]. 农业环境保护,2000,(1):58-61.
- [2] 孙晓. 高含固率污泥厌氧消化系统的启动方案与试验[J]. 净水技术,2012,31(3):78-82.
- [3] NEBRA. A National Biosolids Regulation, Quality, End Use Disposal Survey[R]. USA:NEBRA,2007.
- [4] 肖先念,李碧清,唐霞,等. 典型城市污泥厌氧消化技术工艺探讨[J]. 净水技术,2015,34(3):17-21.
- [5] 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.
- [6] Yu Bao, Lou Ziyang, Zhang Dongling, et al. Variations of organic matters and microbial community in thermophilic anaerobic digestion of waste activated sludge with the add-

ition of ferric salts[J]. Bioresour Technol,2015,179:291-298.

- [7] 刘蕾,张立国,尹军,等. 不同有机质含量剩余污泥的两相厌氧消化研究[J]. 中国给水排水,2011,27(3):29-32.
- [8] 张利军,谢继荣,马文瑾,等. 污泥厌氧消化沼气优化利用成本分析[J]. 给水排水,2014,40(S1):145-148.



作者简介:于豹(1990-),男,河北沧州人,博士,工程师,主要研究方向为固体废弃物处理处置与污水处理。

E-mail:yubao@ebwater.com

收稿日期:2017-09-25

节约用水 合理用水

防治水污染

保护水资源