

设计经验

热水解厌氧消化工艺用于污水厂泥区升级改造

杜强强¹, 戴明华¹, 张 晏¹, 张 楠¹, 吴 迪²

(1. 北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082; 2. 青岛思普润水处理股份有限公司, 山东 青岛 266555)

摘 要: 北京某污水处理厂泥区升级改造中面临诸多问题, 包括消化池处理能力已达到上限, 无扩建用地; 污泥出厂的含水率要求不大于 50%, 现有工艺无法满足要求; 已有消化池沼气产量低, 运行费用高, 不具有可持续性; 污泥稳定程度不高, 存在安全卫生隐患等。采用热水解作为预处理强化厌氧消化, 可解决上述问题。最终采用浓缩→预脱水→热水解→厌氧消化→板框脱水污泥处理工艺, 并给出了相应设计参数, 指出了可能存在的问题。提出了优化设计建议, 包括根据污泥性质分别进行热水解预处理, 设置热水解预处理系统除砂、除渣、去纤维, 投药强化脱硫, 收集不可凝气体管道冷凝液, 再利用低温水等, 优化了整个系统的设计及运行。

关键词: 泥区改造; 热水解; 厌氧消化; 板框脱水; 剩余污泥; 初沉污泥

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)02-0046-05

Application of Thermal Hydrolysis/Anaerobic Digestion Process to Upgrading of Sludge Treatment Zone

DU Qiang-qiang¹, DAI Ming-hua¹, ZHANG Yan¹, ZHANG Nan¹, WU Di²

(1. Beijing General Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China; 2. Qingdao Spring Water Treatment Co. Ltd., Qingdao 266555, China)

Abstract: There were many problems in the upgrading of sludge treatment zone in a WWTP in Beijing, including that the digester capacity reached its upper limit, no land for expansion; the final sludge moisture content should be no more than 50%, but the existing technology could not meet the requirements; biogas production of digester was low, with high operating cost, which was not sustainable; sludge was lack of stability, at the risk of security and other healthy problem. The problems described above could be solved using thermal hydrolysis as pretreatment to enhance anaerobic digestion. The combined process of thickening, pre-dewatering, thermal hydrolysis, an aerobic digester and plate-frame dewatering was adopted, design parameters were given, and the possible problems were indicated. Optimum design recommendations were proposed, including respective pretreatment with thermal hydrolysis according to sludge properties, installing thermal hydrolysis pretreatment system for removing sand, scum and fibers, enhancing desulfurization by dosing chemicals, collecting condensate from non-condensable gas pipeline and reusing low temperature water. The design and operation of the overall system were opti-

mized.

Key words: upgrading of sludge treatment zone; thermal hydrolysis; anaerobic digestion; plate-frame dewatering; excess sludge; primary sludge

近年来,国内城镇污水处理厂污泥处理处置并未引起相关重视,发展至今,已成为环境进一步改善的瓶颈性因素。总体上,城市污水处理厂污泥消化系统运行不理想,甚至出现“运行即亏损”的窘境,污泥厌氧消化设施大面积停运,没有发挥作用。归根结底,就是污泥消化产生的能量能否满足自身要求。

热水解技术作为厌氧消化的预处理工艺,可大幅度强化污泥厌氧消化效果,受到了普遍关注,如何将已有系统与热水解系统进行衔接及匹配优化,是设计人员需要解决的主要问题。

1 工程方案设计

1.1 工程背景

北京某污水处理厂现况污泥处理采用浓缩→消化→脱水工艺,现况产泥量约为 137.5 tDS/d,经过浓缩后的生物污泥与初沉污泥一同进入消化池,消化池进泥含水率在 97% 左右,消化产生的沼气用于消化池加热,其中生物污泥浓缩段采用机械浓缩,消化段采用二级厌氧消化,共有消化池 5 座,脱水段采用带式 and 离心式两种设备。由于该厂污泥中有机质含量变化幅度为 55% ~ 70% 且呈现明显的季节性变化,所以,沼气产量变化幅度较大。

该厂面临如下问题:

① 无扩建用地。消化池污泥处理能力已达到上限,且无扩建用地。为了贯彻执行北京市政府《北京市加快污水处理和再生水利用设施三年行动方案》的总体要求,北京市内各污水处理厂进行提标改造,出水标准由一级 A 标准进一步提升。升级改造的同时必然会增加泥量的产生,而现有消化系统已达到处理能力上限,无法满足升级改造后的污泥处理需求。

② 污泥难以脱水。消化后污泥脱水性能差,较难处理,现况出厂污泥含水率仅能达到 80% 水平。环保部《关于加强城镇污水处理厂污泥污染防治工作的通知》对污泥出厂的含水率提出了不大于 50% 的明确要求,已有的工艺技术路线不能满足污泥含水率要求。

③ 能源赤字。沼气产量低且沼气中 CH_4 含

量低,消化池加热量大,沼气产量不足以供应加热量,处于“运行即亏损”的尴尬境地。

④ 污泥不稳定。污泥稳定程度仍不高,臭味严重,消化后污泥有机质含量过高,VS/DS 在 40% ~ 50%。

⑤ 卫生安全隐患。部分污泥消化后不符合卫生学指标,未达到资源化利用要求。

1.2 技术路线选择

鉴于现况存在的诸多问题及发展需求,泥区改造方案必须选择占地省、处理后污泥含水率低、能源平衡、污泥性状稳定、卫生安全的处理工艺。热水解为解决上述困难提供了可能性,通过热水解作为预处理强化厌氧消化,可提高处理能力,满足水区改造后污泥处理的需求;同时经过热水解强化后,厌氧消化产气能量可满足污泥处理系统需求,保证了运行的可持续性。热水解厌氧消化工艺将为进行污泥土地利用、工业燃料、建材原料等循环利用创造条件。

最终确定采用热水解作为预处理工艺,流程采用“浓缩→预脱水→热水解→厌氧消化→板框脱水”。

1.3 泥线工艺流程设计

由于本厂水区进行改造,增加深度处理措施,导致泥区处理量增加,现泥区的设计处理量为 180 tDS/d。

含水率为 99.4% 的剩余污泥经二沉池排泥后进入现况小脱水机房,利用现况的浓缩机使含水率降至 96% ~ 97.5% 后去往厂区现况储泥池与含水率为 97.5% 的初沉污泥混合;混合后,将含水率为 97.5% 左右的混合污泥泵送入现况大脱水机房内的离心脱水机进行预脱水,预脱水后含水率在 83.5% 左右的污泥进入热水解系统进行处理。

热水解处理后高温污泥需经过稀释和冷却后才能进行厌氧消化,处理后的污泥进入经过改造的现况消化池进行厌氧消化,消化池内的污泥温度为 39 ~ 41 °C、含水率为 92%;消化后含水率为 95% 的污泥经新建板框压滤脱水机房进行脱水至含水率为 50% (近期脱水至 60%) 以下,送出厂界进行处置。当峰值泥量时,超出热水解、消化及压滤脱水处理量

的浓缩污泥,直接利用现况脱水机房脱水,脱水后含水率至 80% 以下处置。

消化产生的沼气先经脱硫系统处理,再经沼气柜缓存后输送至新建沼气锅炉房,利用燃烧产生蒸汽供热水解使用,多余沼气去往现况沼气拖动鼓风机处理。热水解、消化启动时采用天然气供锅炉燃烧供热加温。

热水解消化污泥的脱水滤液收集后,送至沼液和滤液处理系统,降解滤液中的磷、氨氮、SS 等污染物,出水排入污水厂现况的进水提升泵房。沼液和滤液处理系统排出的化学污泥和生物污泥全部进入压滤脱水系统。

工艺流程如图 1 所示。

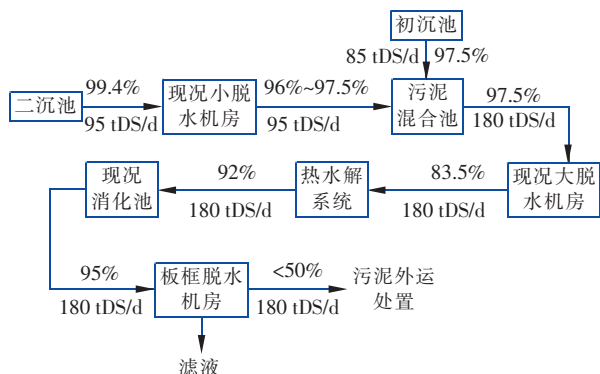


图 1 泥区改造工艺流程

Fig. 1 Process flow diagram of sludge treatment zone upgrading

1.4 热水解厌氧消化工程设计

研究中推荐热水解最适合的条件为 170 ℃,反应时间为 30 min^[1,2]。结合已建污水厂泥区高级厌氧消化工艺的改造中,消化池改造受限、用地受限及运行稳定性等因素考虑,热水解进泥含固率在 12%~17% 较为合理。从实际工程出发,温度越高则操作的危险性越高,确定设计温度为 150~170 ℃,反应时间为 30~40 min。热水解工艺设计参数如表 1 所示。

表 1 热水解工艺设计参数

Tab. 1 Design parameters of THP

项目	含固率/%	温度/℃	反应压力/MPa	反应时间/min
参数	12~17	150~170	0.6~0.8	30~40

改造后消化池的进泥含水率为 92%,消化池温度为 40~41 ℃,水力停留时间为 21 d,利用现况沼气搅拌系统搅拌,改造前、后设计参数对比见表 2。

表 2 改造前、后厌氧消化工艺设计参数对比

Tab. 2 Comparison of design parameters of anaerobic digestion process before and after upgrading

项目	含固率/%	温度/℃	停留时间/d	搅拌方式
改造后	8	40~41	21	沼气搅拌
改造前	4~5	35	25	沼气搅拌

为适应工程建设的需要,需对消化池进行改造,主要包括按照热水解工艺的出泥温度进行消化池外保温措施的更换、对进出泥管道和原加热系统进行改造等。

污泥热水解系统由三部分组成,包括污泥缓存料仓间、热水解单元以及热交换车间(见图 2)。污泥缓存料仓间内布置污泥料仓 4 座,有效容积为 300 m³,3 用 1 备,配套破拱滑架、液压动力站等,其中一套污泥料仓用于储存峰值污泥;出泥螺杆泵 $Q \geq 20 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 1.2 \text{ MPa}$,共 6 台(3 用 3 备),置于料仓底部;污泥缓存料仓用来接收现况大脱水机房处理后的含水率为 83.5% 的预脱水污泥,经料仓缓存后的污泥通过出泥螺杆泵送入热水解单元。



图 2 热水解系统

Fig. 2 Picture of THP system

热水解单元内布置 3 条热水解处理线,单条线热水解正常处理能力为 60 tDS/d,生产线内每台反应器分批处理,一个完整的周期持续 120~165 min,所有的反应器有完全相同的功能,其运行彼此依赖;处理后的污泥经热水解出泥泵送入热交换车间。

热交换车间为对热水解后高温污泥进行冷却以及稀释的构筑物。车间内主要布置一次热交换器及冷却水换热器(见图 3)。一次热交换器功率为 920 kW,流量为 37.9 m³/h,10% 热污泥 $T_{in} = 85.9 \text{ ℃}$,

pH 值为 4.5 ~ 5.5;冷却水流量为 40 ~ 60 m³/h,软化水 $T_{in} = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$, pH 值为 6.5 ~ 7.5。冷却水换热器功率为 1 890 kW,冷侧温度为 25 $^{\circ}\text{C}$;热侧流量为 40 ~ 60 m³/h,进水温度为 59 $^{\circ}\text{C}$,冷却后温度为 32 $^{\circ}\text{C}$ 。经冷却和稀释后,将含水率为 92%、温度在 53 $^{\circ}\text{C}$ 左右的污泥送入消化池进行厌氧消化。

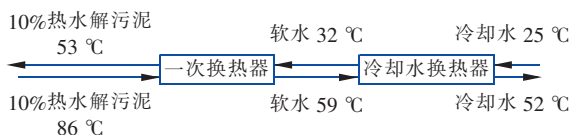


图3 热交换器换热示意

Fig.3 Schematic diagram of heat transfer of heat exchanger

1.5 板框脱水工程设计

机房内共设 12 台板框压滤机(9 用 3 备),每三台为一组。压滤机单机处理能力为 20 tDS/d,进泥含水率为 95% ~ 98%,出泥含水率为 60% (远期达到 50%)。压滤机每台每日工作 6 个周期,每个周期 4 h,每个周期包括进泥、加压、隔膜压榨、反吹、出泥、清洗等全套流程。

2 热水解厌氧消化设计处理效果

本次泥区改造工程设计泥量为 180 tDS/d,工艺流程采用“浓缩→预脱水→热水解→厌氧消化→板框脱水”。经此泥区工艺处理后,消化池设计沼气产量为 $(3.4 \sim 5.6) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,有机物分解率为 55% ~ 70%。

3 热水解厌氧消化工艺的特点

热水解厌氧消化工艺具有如下优点^[3]:

① 工艺成熟稳定,设计简洁,有效利用现有处理设备,并能增强其处理能力,节省投资;

② 提高污泥的厌氧消化性能,有机物转化率高,消化罐进料浓度高,停留时间短,所需消化罐体积小;

③ 可以获得无臭味、无病原菌、含固率高的最终产品,热水解预处理能够彻底地杀灭各种病原菌,实现最终固体的完全安全化;

④ 提高污泥的脱水性能,消化脱水后脱水容易,含固率最高可达 35%;

⑤ 增加沼气产量,且沼气质量高,产生的能源不仅可满足自身的消耗,且可获得质量较高的剩余能源物质;

⑥ 符合低碳经济,消化后生物固体可以直接处置,如绿化生态利用等,并充分利用其中的营养物

质(包括磷和植物生长需要的微量元素),作为替代方案,采用干化达到一定的含水率,干化生物固体做他用。

但同时,也应该看到如下问题:

① 热水解工艺设备、管路复杂,对于自控系统要求高,运行操作较为复杂,较传统消化工艺流程相对加长。

② 经热水解后,厌氧消化液中 COD 和氨氮浓度较高,若直接回流至污水处理厂前端将引起进水中污染物浓度的提高,尤其是 TN 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度的升高,因此需考虑建设消化液的独立处理设施。

③ 经热水解处理后的污泥需经过冷却后才能进入现况的消化池进行厌氧消化,所以,通常需设置冷却塔或换热器对热水解后的污泥进行冷却降温,但其冷却交换后的热量属于低热量源,难以回收再利用。

4 热水解厌氧消化工艺设计优化建议

4.1 根据污泥性质区别进行热水解预处理

由于热水解工艺对剩余污泥的沉降性能和脱水性能改善显著,同时由于现阶段对于大型和超大型项目的改造与实施,多采用进口热水解设备致使设备价格较高,因此针对这两点可运用热水解工艺处理剩余污泥,而后将其与浓缩后初沉污泥混合再进行厌氧消化。这种运行方式可以在减少工程投资的同时最大限度发挥热水解对剩余污泥的强化作用。假设初沉污泥和剩余污泥干质量相同,尽管初沉污泥 + 剩余污泥热水解会比仅有剩余污泥热水解沼气产量增加,但由于热水解需要的蒸汽用量大幅提高,总体的运行费用降低得并不多,甚至可能还会出现前者高于后者的情况,这主要取决于脱水后含水率降低的程度^[4]。

4.2 设置热水解预处理系统除砂、除渣、去纤维

在热水解进泥系统设计中,需设置对污泥系统进行除砂、除渣以及去除纤维丝状物的预处理设施。经过高温高压处理后的污泥粘度降低、流动性增加,如果污泥中的砂与渣没有得到妥善处理会影响热水解设备的正常运行与使用寿命。在运行中,纤维丝状物会对污泥输送以及搅拌设备产生缠绕并产生堆积,导致设备无法运行,它是造成污泥系统设备故障的主要原因之一。

4.3 投药强化脱硫

热水解厌氧消化工艺,由于在热水解阶段和消

化阶段很好地控制了 pH 值,使其呈弱碱性,从而使消化污泥形成了较好的缓冲效果,产生的沼气中 H_2S 含量较低。但因为污泥处理系统不是独立存在的,沼气中 H_2S 含量低的原因可能是在污水处理过程中或者在热水解后的污泥进入消化池前投加了 FeCl_3 等化学药剂从而抑制了硫在沼气中的逸出。在本设计中也设置了 FeCl_3 投加泵组,将铁盐加入泥管中送入消化池。此设计旨在降低沼气中的 H_2S 含量,如运行期间硫化氢含量较低则无需投加。

4.4 收集不可凝气体管道冷凝液

在污泥热水解处理过程中会产生不可凝气体。由于此气体在水解过程中产生,其成分复杂、呈酸性且具有腐蚀性,设计中将热水解产生的不可凝气体通过 DN100 的不锈钢管道送至消化池内处理。由于气体管道的长距离输送,会产生冷凝液,其性质与不可凝气体相同,不可排入厂区污水系统内,所以在整个不可凝气体管路中设置一个 125 L 的冷凝液储罐,整个管道系统设置 0.1% 的坡度铺设,使冷凝液储罐为整个系统的最低点,冷凝液可自行进入冷凝液储罐内。冷凝液储罐设置高低液位计,通过负压泵送装置及液位控制使冷凝液排入污泥管道中,最后进入消化池处理。而在不可凝气体进入消化池的管道上也必须设置止回阀,以防止污泥倒灌。

4.5 再利用低温水

本设计中将热交换后的低温热水用于后续沼液处理单元的调温水以及部分稀释水,但由于高温污泥换热量较大,此部分低温水还是未能全部利用,造成资源浪费。如果可以运用部分低温热水作为厂区的溶药用水,将在减少原溶药水量的同时增强药剂的使用效果。对于这部分低温水如何得到再利用应继续探讨。

5 结论

① 在泥区改造中使用热水解厌氧消化技术,消化后的污泥易于脱水,使污泥体积减少,满足减量化目标;污泥有机物降解率得以提升,满足稳定化目

标;杀灭了病菌和蛔虫卵,满足无害化目标;增加了沼气产量,保证运行可持续性;缩短了厌氧消化的停留时间,提高了消化池内的进泥浓度,节省了占地面积和土建工程投资。

② 设计中根据污泥性质区别进行热水解预处理,设置热水解预处理系统除砂、除渣、去纤维,投药强化脱硫,收集不可凝气体管道冷凝液,再利用低温水等,优化了整个系统的设计及运行。

参考文献:

- [1] 宫曼丽,刘利,平文凯,等. 污泥减量化处理新工艺 Biothelys® 技术及其应用[J]. 中国给水排水,2010,26(2):1-3.
- [2] 王治军,王伟. 热水解预处理改善污泥的厌氧消化性能[J]. 环境科学,2005,26(1):68-71.
- [3] Liao Z, Panter K, Peot C, et al. Thermal hydrolysis pretreatment for advanced anaerobic digestion for sludge treatment and disposal in large scale projects[A]. Proceedings of International DSD Conference on Sustainable Stormwater and Wastewater Management [C]. Hong Kong: DSD, 2014.
- [4] 王平. 热水解厌氧消化工艺的分析 and 应用探讨[J]. 给水排水,2015,41(1):33-38.



作者简介:杜强强(1988-),男,北京人,硕士,工程师,主要从事给排水工程设计。

E-mail:bjutdq@126.com

收稿日期:2016-08-15