

高温厌氧消化污泥的培养试验研究^{*}

韩育宏¹ 季民² 柴建荣¹, 白谏平¹, 李庆¹

(1. 河北大学物理科学与技术学院, 河北 保定 071002; 2. 天津大学环境科学与技术学院, 天津 300072)

摘要:在试验室半连续装置中培养高温厌氧消化污泥,以中温厌氧污泥作为种泥,中温启动运行一段时间后,再逐步升温,经过100 d运行可达到高温厌氧消化运行的良好状态。整个试验过程中无需人为调节碱度,pH 值比较稳定。45 以下,升温对厌氧消化系统的扰动比较小,之后继续升温至48 ,厌氧消化系统不稳定。认为45~48 可能存在着中温和高温厌氧消化的临界温度,在这一温度下,中温细菌可能会大量死亡,但是不适合高温菌生长或对应着较低的生长速率。

关键词:中温;高温;厌氧消化污泥;临界温度

CULTIVATION OF THERMOPHILIC ANAEROBIC DIGESTED SLUDGE

Han Yuhong¹ Ji Min² Chai Jianrong¹ Bai Jianping¹ Li Qing¹

(1. College of Physics Science and Technology, Hebei University, Baoding 071002, China;

2. College of Environmental Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The cultivation of thermophilic anaerobic digested sludge was achieved by increasing the temperature gradually from mesophilic range to thermophilic range in semicontinuous experiments in 100 d seeding with mesophilic anaerobic sludge. In the experiment, the alkalinity need not be regulated, and the pH is stable. The impact of heating on the anaerobic digestion performance is not significant before the temperature is lower than 45 . But, the anaerobic digestion performance is not stable if the temperature is higher to 48 . The critical temperature within mesophilic and thermophilic anaerobic may exist between 45 and 48 . Under the temperature, the mesophilic bacteriae will die massivly and thermophilic bacterial will grow slowly.

Keywords: mesophilic; thermophilic; anaerobic digestion sludge; critical temperature

0 引言

中温厌氧消化工艺已广泛应用于污泥的处理^[1],但中温消化的停留时间长,有机物去除率和对大肠杆菌等致病微生物的杀灭率低,高温消化可以提高代谢速率,并且对有机物去除率和致病细菌的杀灭率均比中温消化工艺要高^[2-3]。在美国1993年颁布的503污水污泥生物固体处理处置规则中,提倡污泥处置优先土地利用。但是,随着社会的发展,污泥土地利用技术受到越来越严格的社会环境限制。为提高污泥土地安全利用率,有效杀灭污泥病原菌,高温(55)污泥厌氧消化技术得到快速发展。在欧美和日本,许多原有的中温消化池都相继改造为高温消化池,而威立雅对城市大型生活污水池的污泥进行高温厌氧处理已经有20多座的业绩。但是目前,在国内建成的城

^{*}教育部天津大学-南开大学合作资助项目;河北省自然科学基金项目(A2007000127)。

市污水处理厂中,仍采用中温消化的比较多。

一些研究者认为,高温厌氧消化工艺的稳定性比中温差,而且接种物的选择比较困难^[4]。采用高温消化污泥作为高温厌氧工艺的接种物很容易启动,但是目前国内生产性高温厌氧反应器比较少,难以获得高温污泥来接种启动高温反应器。一个中温的反应器可以直接或逐渐地把温度提高到高温范围,这在文献中已有很多报道。本试验采用逐步升温的方式将中温反应器的温度提高到高温范围,最终实现高温厌氧反应器的启动^[5]。

1 试验部分

1.1 试验污泥来源

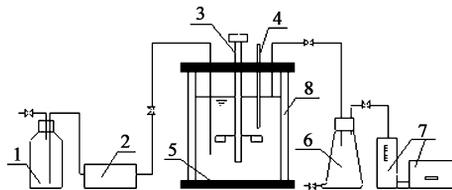
污泥取自天津市纪庄子污水处理厂二沉池回流污泥,经重力浓缩将浓度调节为(污泥)25~35 g/L(含固率为2.5%~3.5%)。浓缩后的污泥置于4冰箱中保存待用。

以中温消化污泥作为种泥,取自天津市东郊污水处理厂,污泥总固体(total solids, TS) (TS) 约为 30 g/L,挥发性固体(VS) (VS) 约为 15 g/L,总的化学需氧量(TCOD) 约为 26 g/L。

1.2 试验装置

试验装置如图 1,厌氧消化装置由有机玻璃加工而成,用来处理污泥的有效容积为 2 L。反应器外部有一个套层,恒温水浴槽里的水在套层中循环流动以保持反应器内的温度。采用电动搅拌器进行搅拌,生物气产量通过自动计数装置计量,中间集气瓶中的水用盐酸调节至 pH < 1,以避免二氧化碳的溶解。试验共运行 2 套反应器。

厌氧反应器在升高温度之前先在中温条件下运行一段时间,每天向反应器中投加 100 mL 新鲜污泥,即投配率为 5%。试验历时 100 d,根据运行的温度,可分为中温(37℃)启动阶段(第 1~44 天)、逐步升温阶段(第 45~78 天)、高温(55℃)运行阶段(第 79~100 天)。其中,逐步升温阶段又分为 5 个阶段,在第 45,55,62,67,71 天,温度分别升高到 39,42,45,48,51℃。在升温过程中主要参考的参数是生物气产量,产气量比较稳定后即可继续升高温度。



1—进泥瓶;2—蠕动泵;3—搅拌器;
4—温度计;5—厌氧消化罐;6—出泥瓶;
7—气体自动计量装置;8—循环水套层。

图 1 厌氧消化试验装置

1.3 测定指标及分析方法

化学需氧量(COD):重铬酸钾氧化法^[6];总固体(TS)、总挥发性固体(VS):称重法;挥发性脂肪酸(VFAs):气相色谱法^[7];pH值:哈纳 HHI9321 型微电脑式酸碱度计。

2 试验结果与讨论

2.1 产气量

两个反应器在 37℃ 下运行了 44 d,日平均产气量分别为 220,200 mL。运行第 45 天,温度升高到 39℃,产气量变化不大,可能是在这一温度存活的中温菌还很多。这一阶段也没有造成 VFAs 的积累,在运行的第 53 天,测得两个反应器的 (VFAs) 总量分别为 96.342,81.777 mg/L。第 45 天,温度升高到 42℃,这对

厌氧系统产生了一定的影响,产气量整体呈下降的趋势,但平均产气量较前一阶段并无明显下降,VFAs 浓度有所上升。运行第 62 天,温度升高到 45℃,产气量也没有明显变化,反应器 1 的日产气量在 300 mL 波动,反应器 2 的日产气量不但没有下降,反而上升到 300 mL。第 67 天,温度升高到 48℃,这一升温产生的扰动较大,生物气产量一直下降,但并没有发现 VFAs 的积累。分析原因可能是在 48℃ 中温菌大量死亡,这种环境也不适合高温菌的生长,反应器内进行的各种反应都很慢。

试验进行第 71 天,温度升高到 51℃,在之后的 8 d 内产气量很不稳定,一直下降,最低甚至到几十毫升。VFAs 的含量较高,如在第 75 天,两个反应器中的 VFAs 含量分别为 460.406,497.910 mg/L,这可能是由于在 51℃,反应器内水解菌的数量很多,水解产物越来越多,但高温产甲烷菌的数量有限,造成了 VFAs 的积累,影响产气量。

试验进行第 79 天,将温度升高到 55℃,开始几天产气量忽升忽降,不稳定。从第 87 天开始,产气逐渐趋于稳定,分别在 310 mL 和 280 mL 附近波动,高于中温运行阶段的产气量。VFAs 也没有形成累积,(VFAs) 保持在 100 mg/L 左右。产气量的变化见图 2。

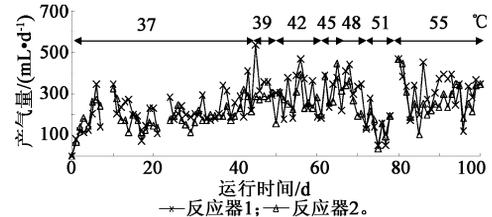


图 2 反应器产气量逐日变化情况

2.2 有机物去除率

图 3 为不同温度下,原泥、各反应器出泥的 TCOD 值以及 TCOD 去除率变化的情况。可以看出,在中温下,各反应器出泥的 (TCOD) 值分别为 21.181.5, 22.051.3 mg/L,去除率分别为 28.31%,27.04%。反应器 1 和 2 在 39,42,45℃ 下,各反应器的有机物的去除率不但没有下降反而有所升高,这是因为在此运行阶段,进流污泥的有机物含量比较高,反应器中存在的产甲烷菌数量也比较多,使得日产气量没有太大的波动,对厌氧消化系统的扰动比较小,而出泥 TCOD 值保持在原来的水平,这样使得计算的 TCOD 去除率大。在接下来的升温阶段,TCOD 去除率开始下降,说明厌氧消化系统不稳定,这种环境不适合污泥厌氧

消化的进行,由图2也可以看到产气量的不稳定。在高温运行阶段,各反应器的TCOD去除率明显上升,分别为36.70%、37.54%,高于中温阶段。

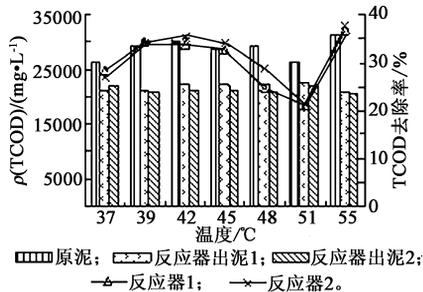


图3 各反应器不同温度下TCOD的去除情况

2.3 固体物质去除率

图4、图5为不同温度下,各厌氧消化反应的TS、VS去除情况,变化趋势基本与TCOD相同。由图4、图5可知,各反应器出泥的固体含量随着原污泥固体含量的变化不大,但升温过程中的值要高于中温和高温阶段的值,大约高1000~2000 mg/L。在45℃之前,厌氧消化对固体物质去除率变化不大,升温对厌氧消化系统的扰动比较小。在接下来的升温阶段,厌氧消化系统不稳定,TS和VS的去除率都下降,但下降速率比TCOD去除率下降的速率要慢。可能是由于在这些温度阶段,虽然有越来越多的有机物不能被转化为CO₂等气体去除,但污泥中更多的固体物质经历了水解阶段和产酸阶段,不再以固体的形式存在,所以去除率高,其下降速率慢。认为45~48℃可能存在着中温和高温厌氧消化的临界温度,在这一温度下,中温细菌可能会大量死亡,然而,这种环境并不十分适合高温菌生长或对应着较低的生长速率。已

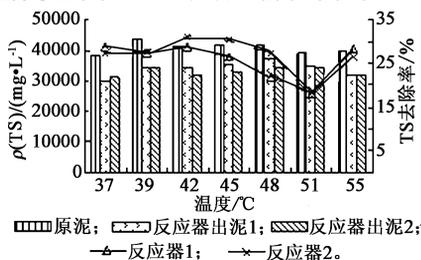


图4 各反应器不同温度下TS的去除情况

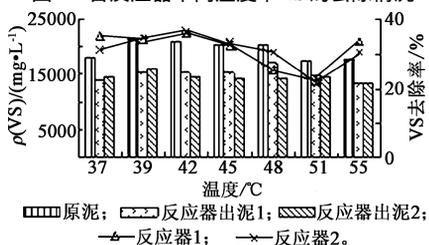


图5 各反应器不同温度下VS的去除情况

有学者提出中温和高温存在最优的温度间隔,Kugelman和Guida^[8]也发现在45℃时中温污泥产甲烷活性下降,他们建议采用中温污泥接种高温工艺时,应立即将温度由中温范围上升到高温范围。本试验认为可以采用两步升温的方式,先将稳定运行的中温厌氧消化反应器的温度升高到45℃,稳定一段时间后直接升高到55℃,这样有缩短驯化时间的可能性,并且保持较高的处理效率。

2.4 pH值

微生物对pH值有一个适应范围,并且对它的波动十分敏感,通常情况下,微生物对pH值的变化适应要比其对温度变化的适应慢得多。pH值的波动对厌氧污泥的产甲烷活性有影响,而碱度的大小反应体系的缓冲能力,即酸性条件下调节pH值的能力。所以通常情况下,在消化过程中pH值突然增加的风险较小,因为在消化过程中通常可以产生足够的CO₂和有机酸,中和系统中的碱。

在试验中,并没有人为的调节碱度,反应器1、2的pH值分别保持在6.98~7.50、7.04~7.69。

在升高温度过程中,pH值整体呈下降的趋势,但是到达高温运行阶段,pH值的大小与中温运行阶段相差不大。这是因为高温厌氧消化所需要的pH值基本上与高温产甲烷菌需求的相同,在50~55℃的高温范围内,产酸菌较弱的代谢能力与产甲烷菌较强的代谢能力正好相匹配,没有形成有机酸的积累,从而形成稳定的pH值环境。

3 结论

1) 以中温消化污泥作为种泥,中温启动,再逐步升高温度,经100 d达到了高温运行的良好状态。这表明以中温消化污泥接种启动中温反应器,再升至高温条件下运行是可行的。

2) 在45℃之前,温度的升高对厌氧消化系统的影响不大,有机物和固体物质的去除率比较稳定。之后,厌氧消化能力明显下降。温度升高到55℃后,产气量和有机物去除率又迅速恢复,并优于中温状态。

3) 在采用中温厌氧污泥作为种泥培养高温厌氧污泥的过程中,45~48℃可能存在着一个临界温度。认为可以采用两步升温的方式,即先将稳定运行的中温厌氧消化反应器的温度升高到45℃,稳定一段时间后直接升高到55℃,能缩短驯化时间,并且能保持相对高的处理效率。

(下转第84页)

值:人类健康、生态系统损害、资源损害。

d. 将3类损害值加权后相加得出生产过程的总体环境负荷的单个值(记为 Single Score)

结果表明:转炉流程在人类健康和生态环境的损害方面优于电炉流程,而资源消耗和综合环境影响上差于电炉流程。

3 结语

作为一种环境废弃物处理和资源化手段,大多数工业生命周期评价主要集中在冶炼技术上,而对金属选矿回收过程环境评价研究甚少。所以有必要对铜渣回收工艺进行生命周期评价,进行突破性的研究。今后应该着重加强以下几个方面的相关研究:

1) 运用统计方法和 SimaPro7.1 软件,通过 Eco-indicator99 生态指数法,对铜渣工艺进行生命周期评价有着很重要的现实意义。此法通过特征化、标准化和加权将工艺过程的输入输出数据转化为单一的环境负荷值,极大减少了人工计算的工作量,便于整理分析,避免了很多重复的工作。

2) 对工艺路线的整体性能的评价不但要考虑环境影响的指标,同时还应采用其他手段来提供技术经济和社会经济信息,才能对整个工艺进行整合。

参考文献

- [1] 李冬,司继涛. 铬渣处理处置方法的生命周期评价[J]. 现代化工, 2006, 26(7): 298-301.
- [2] 雷贵春. 铜渣回收工艺研究[J]. 新疆有色金属, 1998(2): 14-19.
- [3] 王珩. 从炼铜厂炉渣中回收铜铁的研究[J]. 广东有色金属学报, 2003(2): 83-85.
- [4] 吴礼杰. 炉渣中有价金属的选别[J]. 矿业研究与开发, 2001, 21

(4): 29-31.

- [5] 杨峰. 转炉渣选矿工艺的研究与设计[J]. 有色金属(选矿部分), 2000(3): 6-10.
- [6] 王周和. 金口岭铜矿转炉渣选铜工艺技术特点及生产实践[J]. 有色金属(选矿部分), 1998(6): 12-16.
- [7] 甘宏才. 大冶诺兰达炉渣选矿的研究与实践[J]. 湖南冶金, 2004, 32(4): 28-33.
- [8] 王珩. 炼铜转炉渣中铜铁的选矿研究[J]. 有色矿山, 2003, 32(4): 19-23.
- [9] 凌云汉. 从炼铜炉渣中提取有价金属[J]. 化工冶金, 1999(2): 220-224.
- [10] 邓志文, 黎剑华. 我国闪速炼铜厂的清洁生产[J]. 有色金属(冶炼部分), 2006(3): 16-18.
- [11] 刘友章, 王湖坤. 大冶诺兰达炉渣选矿厂清洁生产实践[J]. 江苏环境科技, 2006, 19(1): 24-25.
- [12] 姜金龙, 戴剑峰. 火法和湿法生产电解铜过程的生命周期评价研究[J]. 兰州理工大学学报, 2006, 32(1): 19-21.
- [13] 肖晓, 肖松文. 株冶和韶冶冶炼过程的生命周期评价和清洁生产措施[J]. 有色金属, 2003, 55(3): 72-75.
- [14] 高峰, 聂祚仁. 中国皮江法炼镁的资源消耗和环境影响分析[J]. 中国有色金属学报, 2006, 16(8): 1456-1461.
- [15] 杨建新, 刘炳江. 中国钢材生命周期清单分析[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 519-522.
- [16] 姜金龙, 徐金城. 再生铜的生命周期评价[J]. 兰州理工大学学报, 2006, 32(3): 4-6.
- [17] 林逢春, 杨凯. 两种一次性塑料餐盒的生命周期评价比较研究[J]. 华东师范大学学报, 2004(4): 122-128.
- [18] 王文涛. 国内先进企业生产过程环境协调性评价研究[D]: [学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2005.

作者通信处 李英顺 100083 北京海淀区学院路丁11号中国矿业大学(北京) 化环学院

E-mail Liyingshun888@126.com

2008-02-13 收稿

(上接第80页)

参考文献

- [1] 任南琪, 王爱杰. 厌氧生物技术原理与运用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] Song Young-Chae, Kwon Sang-Jo, Woo Jung-Hui. Mesophilic and thermophilic temperature co-phase anaerobic digestion compared with single-stage mesophilic and thermophilic digestion of sewage sludge[J]. Wat Res, 2004, 38(7): 1653-1662.
- [3] Maibaum C, Kuehn V. Thermophilic and mesophilic operation of an anaerobic treatment of chicken slurry together with organic residual substances[J]. Wat. Sci. Technol, 1999, 40(1): 231-236.
- [4] Sosnowski P, Wiczkowicz A, Ledakowicz S. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes[J]. Advance in Environmental Research, 2003, 7(3): 609-616.
- [5] 韩育宏. 污泥超声破解对高温厌氧消化的促进作用研究[D]:

[学位论文]. 天津: 天津大学, 2007.

- [6] 国家环保局. 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [7] 刘艳玲, 任南琪, 刘敏, 等. 气相色谱法分析厌氧反应器中的挥发性脂肪酸(VFA)[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(6): 31-34.
- [8] Kugelman IJ, Guida V G. Comparative evaluation of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion. project summary. EPA/600/S2~89/001. Cincinnati, USA, 1989.

作者通信处 韩育宏 071002 河北省保定市五四东路180号 河北大学物理科学与技术学院静电研究所

E-mail hanyuhong.1982@163.com

2008-07-14 收稿