

UASB反应器处理酸性大豆蛋白加工废水

胡明成^{1,2}, 龙腾锐¹, 傅卫东³, 刘远涛⁴

(1. 重庆大学三峡库区生态环境教育重点实验室, 重庆 400045; 2. 桂林电子科技大学, 广西 桂林 541004;
3. 山东聊城市环境监测中心, 山东 聊城 252000; 4. 山东聊城九鼎环保科技有限公司, 山东 聊城 252000)

[摘要] 在酸性进水条件下, 对大豆蛋白生产废水用 UASB 反应器进行了处理。在进水 pH 为 4.5 ± 0.2 、COD 为 (16 ± 0.5) g/L 时, COD 去除率达 90%。随着废水中等电点高于 7 的蛋白质物质的发酵, 厌氧系统的 pH 大幅度提高。即使在酸性进水条件下, UASB 反应器依然能够稳定运行。在处理工艺中无需配置 pH 调节单元, 因此降低了厌氧处理系统的建设和维护费用。

[关键词] 厌氧处理; 工艺优化; 蛋白质; 氨基酸; 水解

[中图分类号] X703.3 [文献标识码] B [文章编号] 1005-829X(2007)12-0028-03

Investigation of large scale up-flow anaerobic sludge blanket reactor for treating the acidic wastewater from soybean protein processing

Hu Mingcheng^{1,2}, Long Tengrui¹, Fu Weidong³, Liu Yuantao⁴

(1. Three Gorge Drainage Basins Environment Educational Center, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Guilin University of Electronic Industry, Guilin 541004, China; 3. Liaocheng Environmental Monitoring Center, Liaocheng 252000, China; 4. Jiuding Company of Environmental Technology, Liaocheng 252000, China)

Abstract: The investigation of USAB (up-flow anaerobic sludge blanket) for treating soybean protein extraction wastewater shows that when the influent pH 4.5 ± 0.2 , COD (16 ± 0.5) g/L, the COD removal rate reaches 90%. When the iso-electric point of the wastewater is higher than 7, as a result, the pH of the protein fermentation increases to a large extent in the anaerobic system. Therefore the operation of UASB maintains its stability even when acidic influent pH is low. Since there is no pH regulating unit installed in the treatment process, the expense spending on the process construction and maintenance has been reduced.

Key words: anaerobic treatment; process optimization; protein; amino acid; hydrolysis

2005年我国大豆蛋白加工能力已经突破 3.0×10^5 t/a, 生产能力还会进一步增加。大豆蛋白加工生产中排放的高浓度有机废水, 如果处理不当会给周围环境带来严重危害。大豆蛋白加工废水中含有大量有机污染物, 废水中的固含量可达 2%, 主要是盐类物质以及乳清蛋白等。此外, 大豆蛋白加工废水 pH 较低, 给处理设施的稳定运行也带来一定的麻烦。

对高浓度大豆蛋白加工废水采用厌氧处理法比较合适, 因为在废水处理的同时可以回收甲烷并可作为能源利用到生产过程中。厌氧产甲烷的最佳 pH 在 6.8~7.2 之间^[1,2], 所以在厌氧处理之前需对大豆蛋白加工废水 pH 进行调节。但由于废水的含盐量已经比较高, 而经过 pH 调节后废水含盐量会进一步提高, 增大了管道、阀门等处理设施在运行过程中被盐类物质(磷酸氨镁复盐)堵塞的可能性,

给运行和维护带来麻烦。

有研究表明, 废水中的碱度、硫酸盐还原产物 H_2S 以及厌氧处理过程中产生的氨氮对厌氧处理系统 pH 都会起到稳定的作用^[2]。所以, 如何利用这些有利因素, 在保证处理系统稳定运行的同时降低运行费用成为笔者的研究目标。

1 废水水质

大豆蛋白生产废水水质见表 1。

2 基本原理

在大豆蛋白加工废水的厌氧处理过程中, 经水解、发酵、产乙酸和产甲烷 4 个阶段^[2,3], 将大分子的有机物在各种微生物的共同作用下转化为甲烷、二氧化碳和水。

在发酵和产乙酸阶段体系的 pH 会降低, 因为发酵的产物是挥发酸和氢。而在产甲烷阶段挥发酸

表 1 废水水质

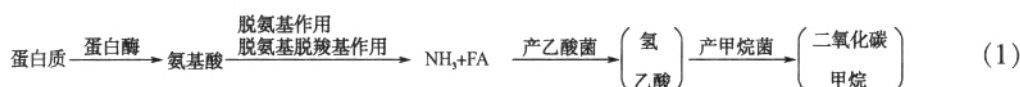
COD/ (g·L ⁻¹)	BOD/ (g·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TS/ (g·L ⁻¹)	pH	油/ (mg·L ⁻¹)	蛋白/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	水温 /
18~26	10~12	500~600	25~30	4~6	1 000	4 000~4 500	1 500	35~40

和氢被产甲烷菌利用,同时还产生一定数量的碱度,因此体系的 pH 呈现上升的趋势。

有资料表明,产酸菌要求的最佳 pH 为 5.5~5.9,而产甲烷菌则要求 pH 在 6.8~7.2。重碳酸盐在 pH 为 3.8~8.3 的缓冲能力最强^[2],因此废水中的碱

度在调节、稳定厌氧反应器 pH 方面起到重要作用。但大豆蛋白加工废水 pH 较低,仅仅依靠废水中的碱度调节是不够的。值得注意的是大豆蛋白加工废水中含大量的蛋白质,其厌氧降解过程见式(1)^[2,3]。

由式(1)可以看出,氨基酸发酵的产物是氨和脂



肪酸(FA)。大豆蛋白中的氨基酸大部分都是碱性氨基酸(等电点大于 7)。因此伴随着氨基酸水解的进行, pH 将明显的升高。由此可见,如果蛋白质的水解和发酵过程能够在可接受的水力停留时间内完成,即使在酸性进水条件下整个厌氧过程依然可以稳定地进行下去并最终完成产甲烷过程。

3 设计参数与厌氧处理工艺

某大豆蛋白加工厂排放的废水水质见表 2。

表 2 某大豆蛋白加工厂排放的废水水质

COD/(g·L ⁻¹)	pH	流量/(m ³ ·d ⁻¹)	TS/(g·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)
20.5~26.0	3.5~4.0	1 200~1 800	22	450~550

按厂家排污的实际情况,确定了厌氧系统的有关设计参数见表 3。

表 3 厌氧反应器设计参数

进水 COD/ (g·L ⁻¹)	出水 COD/ (g·L ⁻¹)	COD容 积负荷/ (kg·m ⁻³ ·d ⁻¹)	水力停 留时间/ h	反应器 进水量/ (m ³ ·d ⁻¹)	上升 流速/ (m·h ⁻¹)	反应器 有效高 度/m
13~16	1.5	8~10	27~35	2 100~ 2 600	0.18~ 0.30	7.5

由表 2 可知,废水中的有机污染物浓度高、波动大、pH 低,因而设计中采用了反应器出水回流稀释的方式调整进水 COD、pH 以及反应器的上升流速^[1]。厌氧处理工艺流程见图 1。

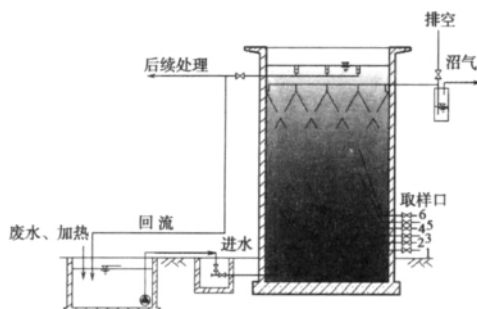


图 1 厌氧处理工艺流程

4 调试和运行

4.1 污泥的培养

污泥的培养分 3 个阶段,首先按 6 g/L 的标准投入城市污水厂压滤污泥,投加一定量筛选后的无机颗粒状物质,进水 pH 6.5~7.0, COD 容积负荷 0.1 kg/(m³·d),投加质量浓度为 100 mg/L 的 SO₄²⁻,历时 26 d。第二阶段控制进水 pH 4.5~5.0,水力负荷 0.1 m³/(m²·h), COD 容积负荷 1 kg/(m³·d),投加质量浓度为 100 mg/L 的 SO₄²⁻,历时 28 d,整个反应器以絮状污泥为主。第三阶段,控制进水 pH 4.5~5.0,水力负荷 0.3 m³/(m²·h), COD 容积负荷 5 kg/(m³·d),历时 30 d,反应器底部出现一定数量的颗粒污泥。

各个阶段中如果出水的挥发性脂肪酸(VFA) < 3 000 mg/L,出水 pH 为 7 左右, COD 去除效率能够达到 80%,即可进入下一个阶段培养。在第 1 和第 2 阶段向废水中投加了硫酸盐,目的是在厌氧系统中引入硫酸盐还原过程,可以避免体系中 VFA 过剩对产甲烷菌的富集产生影响。另外硫酸盐还原菌的活动有助于厌氧系统的稳定^[4,5]。经过 95 d 的培养后,各项控制指标均已满足要求。

4.2 满负荷运行

由于原水水质波动较大,运行中的实际 COD 容积负荷在 8.0~9.8 kg/(m³·d) 之间波动。考虑到原水 COD 浓度较高,且 pH 较低可能对反应器的稳定运行会产生不利的影响,在满负荷运行中采用厌氧反应器出水回流稀释方式调整进水 COD、pH。另外回流可以适当提高水力负荷为颗粒污泥的增长提供良好的水力条件。满负荷运行初期(前 30 d)回流比控制 100%,该阶段进水 COD 为 (13 ± 0.5) g/L, pH 为 5.5 ± 0.2。反应器满负荷运转第 10~90 天的测定结果见图 2 和图 3。

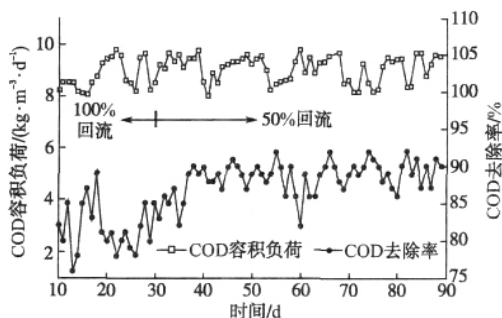


图2 COD 容积负荷和 COD 去除率

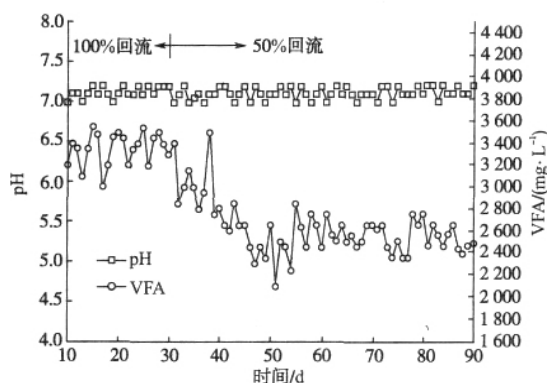


图3 出水 pH 和 VFA

由图2和图3可知,在厌氧反应器出水100%回流的情况下,出水pH 7.0~7.2、VFA 3200~3500 mg/L, COD去除率平均在80%左右。另外观察到出水中有一定的絮状污泥流失和少量的颗粒污泥上浮的情况出现。虽然这个阶段处理效果尚可,但出现的污泥流失和上浮的现象说明厌氧处理系统还没有处于稳定运行状态。

为了提高反应器的稳定性,从第30天开始将厌氧反应器的出水回流比降低到50%左右,以此降低反应器的水力负荷避免污泥上浮发生。当反应器进水COD为 (16 ± 0.5) g/L、pH为 4.5 ± 0.2 时,出水VFA逐渐降低并稳定在2200~2800 mg/L。COD去除率也开始上升并稳定在90%左右。另外没有观察到颗粒污泥上浮发生。从取样口2所取污泥来看,反应器底部主要是以颗粒污泥为主。颗粒污泥的直径在1.0~3.5 mm,见图4。

第70天各个取样口pH和氨氮浓度的检测结果见表4。

由表4可以看出,混合液的pH和氨氮浓度沿着反应器的纵向上升很快。说明蛋白质厌氧降解对提高体系的pH起到了重要的作用,因此使产甲烷过程能够顺利进行。由此可以认为利用废水中的蛋

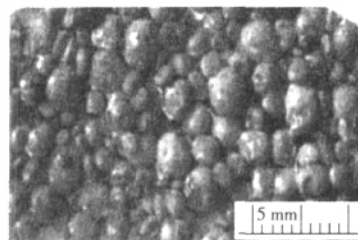


图4 颗粒污泥

表4 各取样口 pH 和氨氮浓度

取样点	pH	氨氮质量浓度 / (mg·L ⁻¹)	取样点	pH	氨氮质量浓度 / (mg·L ⁻¹)
1取样口	5.0	85	4取样口	7.1	300
2取样口	6.8	165	5取样口	7.1	325
3取样口	7.0	265	6取样口	7.15	328

注:进水pH 4.5、氨氮质量浓度15 mg/L。

白质在厌氧降解过程中的特点,优化处理工艺的配是可行的。通过优化处理工艺可以节约pH调节所产生的运行费用,也避免了因为设置pH调节单元给整个工艺的运行和维护带来的麻烦。

5 结论

从UASB反应器的实际运行来看,在进水pH 4.5 ± 0.2 、COD (16 ± 0.5) g/L、实际COD容积负荷为8.0~9.8 kg/(m³·d)时,COD去除率达90%。这说明利用废水中含有的蛋白质在水解、发酵过程的特点来提高并稳定体系的pH是可行的。并缩短了传统处理该类废水的工艺流程,优化了处理工艺。

[参考文献]

- [1] Yu H, Hu Z, Hong T, et al. Performance of an anaerobic filter treating soybean processing wastewater with and without effluent recycle[J]. Process Biochemistry, 2002, 38(3): 507- 513.
- [2] 张希衡.废水厌氧生物处理工程[M].北京:中国环境科学出版社,1996: 73- 76.
- [3] Ramsay R, Pullammanappallil P C. Protein degradation during anaerobic wastewater treatment: Derivation of stoichiometry[J]. Biodegradation, 2001, 12(4): 247- 257.
- [4] 任南琪,王爱杰.厌氧处理构筑物中SRB的生态学[J].哈尔滨建筑大学学报,2001,35(1): 40- 44.
- [5] Stefanie J W H, Oude E, André V, et al. Sulfate reduction in methanogenic bioreactors[J]. Microbiology Reviews, 2004, 15(3): 119- 136.

[作者简介] 胡明成(1963—),副教授,毕业于哈尔滨建筑工程学院,现就职于桂林电子工业学院,主要从事污水处理与相关资源回收利用方面的教学、设计和研究工作。电话:13372671353, E-mail: capok@sina.com。

[收稿日期] 2007 - 08 - 23(修改稿)