

治理技术

屠宰废水处理技术与应用进展

于 凤¹, 陈洪斌²

(1. 2 同济大学环境科学与工程学院 城市污染控制国家工程研究中心, 上海 200092)

[摘要] 屠宰场废水是我国较大的一类工业废水, 水量小而分散, 以有机污染物为主, 浓度变化大, 对处理工艺和运行有一定的要求。本文总结了近十几年来国内外屠宰废水处理领域的技术发展和应用状况, 着重讨论了生物处理、自然生态处理、化学处理的特点以及工艺的组合应用。从我国现阶段的情况看, 屠宰废水处理应朝着高效、节能、资源化、易于管理的方向发展。

[关键词] 屠宰废水; 好氧处理; 厌氧处理; 自然生态处理; 化学处理

[中图分类号] X792

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-1212(2005)04-084-04

Review On Slaughterhouse Wastewater Treatment Technology And Application

YU Feng, CHEN Hong-bin

(1. 2 Environmental Science And Engineering Of Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Slaughterhouse wastewater, a large amount of industrial wastewater in China, is composed mainly of organic compounds and is changeable with the concentration of pollutants. In this article, the study and application of different treatment techniques for slaughterhouse wastewater abroad and domestic are summarized, especially characteristics of aerobic treatment, anaerobic treatment, natural ecological treatment, chemical treatment and combination of different processes. According to the reality of China nowadays, the development of slaughterhouse wastewater in the treatment technology is pointed.

Key words: slaughterhouse wastewater; aerobic treatment; anaerobic treatment; natural ecological treatment; chemical treatment

屠宰业是我国出口创汇和保障供给的支柱产业之一, 屠宰废水来自牧畜、禽类、鱼类宰杀加工, 是我国最大的有机污染源之一。据调查, 屠宰废水的排放量约占全国工业废水排放量的 6%^[1], 其污染还有不断加剧的趋势。屠宰废水呈红褐色, 有腥味, 含有大量血污、皮毛、碎骨肉、油脂和内脏杂物。COD_{Cr}、BOD₅、氨氮、SS 等指标均较高, 如 COD_{Cr} 600~6000 mg/L, BOD₅ 300~3000 mg/L, SS 400~2700 mg/L, BOD₅/COD_{Cr} ≥ 0.5 可生化性优良, 无毒性。屠宰废水受其生产过程的影响明显, 其水质水量波动范围较大。我国从 50 年代开始考虑屠宰废水的处理, 到 70 年代仍以一级处理为主, 80 年代以后, 新的处理技术逐渐被开发应用, 处理程度不断提高。本文从生物处理、自然生态处理、化学处理等方面加以讨论。

1 生物处理

1.1 好氧生物处理

活性污泥法是当前污水处理领域应用最广泛的技术之一。普通活性污泥法处理屠宰废水很难达到处理要求, 普遍存在以下困难^[2]: 屠宰场的水量变化大, 难以满足连续流曝气池对水流稳定性的要求; 易发生污泥膨胀; 剩余污泥量大、处置费用高; 难以满足脱氮要求。针对普通活性污泥法存在的问题, 一些新的处理工艺开发并成功应用于屠宰废水的处理。

1.1.1 序批式活性污泥系统 (SBR)

SBR (Sequencing Batch Reactor) 工艺适应当前好氧生化处理工艺的发展趋势, 简易、高效、低耗, 广泛地应用于屠宰废水的处理中。其主要优点有^[3]:

(1) 流程简单, 无二沉池和污泥回流设备;

(2) 比普通活性污泥法可节省基建投资 30%、运行费用 10~20%;

(3) 不易发生污泥膨胀, 具有较强的脱氮除磷能力; 剩余污泥性质稳定, 便于浓缩和脱水;

(4) 耐冲击负荷能力强。

SBR 间歇运行的特点很适合处理流量变化大的屠宰场废水, 已在很多国家广泛应用于小型污水领域。此工艺处理屠宰废水 COD_{Cr}、BOD₅ 的去除率分别达到 80%、90% 以上, 氨氮去除率达 80%~90%。J Keller^[4] 等人在研究 SBR 处理屠宰废水脱氮的过程中发现, 通过控制溶解氧浓度可使约 50% 的氮通过同步硝化反硝化去除, 而控制这种脱氮过程对减少处理费用, 提高出水水质有重要意义。CASS 工艺是 SBR 的改进工艺, 它在反应器前部增加了一个生物选择器, 实现了连续进水, 剩余污泥性质稳定, 泥量只有传统活性污泥法的 60% 左右^[5]。

1.1.2 AB 法

AB 法是生物吸附活性污泥法的简称, A 段污泥负荷可高达 2~6 kgBOD₅/(kgMLSS·d), 对废水主要起生物吸附作用; 而 B 段负荷较低, 不大于 0.3 kgBOD₅/(kgMLSS·d) 主要起生物氧化作用^[6]。AB 法特别适用于屠宰废水悬浮有机物浓度高、水质水量变化大的特点, 一般不设初沉池, 对 BOD₅、COD_{Cr}、SS、P 和 NH₃-N 的去处率一般高于常规活性污泥

[收稿日期] 2005-01-18

[作者简介] 于凤 (1982-) 女, 同济大学环境科学与工程学院环境工程在读硕士。

法,且可节省基建投资约 20%、节省能耗 15%左右^[7]。

1.1.3 氧化沟

氧化沟对水质、水温、水量的变动有较强的适应性,污泥龄长,可以产生硝化反硝化反应,有脱氮功能。污泥产率低且稳定,勿需消化。表 1^[7]给出了国外采用氧化沟工艺处理屠宰废水的参数与除污染效果。

表 1 氧化沟工艺处理屠宰废水的参数与效果

运行参数		项目	处理效果		
			进水 (mg/l)	出水 (mg/l)	去除率 (%)
HRT/d	3.6	COD _{cr}	2040	260	87.3
容积负荷 / [kgBOD ₅ /(m ³ ·d)]	0.4	BOD ₅	1400	70	94.8
温度	17	TSS	724	142	80.4
MLSS/(mg/l)	1425	VSS	636	42	93.4
DO/(mg/l)	0.8	NH ₃ -N	21	18.3	1.1
SVI/(ml/g)	382	油脂	420	21	93.9

1.1.4 水解酸化—好氧生物处理

针对屠宰废水高分子有机物浓度高的特点,研究者在好

表 2 SBR处理屠宰废水试验和工业装置全流程运行结果均值^[2]

名称	类别	COD _{Cr} (mg/l)			SS (mg/l)			连续统计天数 (d)
		进水	出水	去除率 (%)	进水	出水	去除率 (%)	
酸化	实验	1150	698	39.3	525	95	81.9	10
	工业应用	1200	700	41.6	(500)	(125)	75	30
SBR	实验	698	45	93.6	95	30	68.4	10
	工业应用	700	68	90.6	(125)	45	64.0	30

注:工艺参数:酸化池 I_v为 4.8kgCOD/m³·d。HRT为 4.0h。SBR I_v为 1.25kgCOD/m³·d。T为 6~8h。水温 25℃。运行条件与实验条件相近。括号中数字为推算值,运行成本(计回用水收入)0.1元/m³。

1.2.2 厌氧序批式活性污泥系统 (ASBR)

ASBR较其他厌氧处理工艺具有不需要脱气和回流设备,有机物和 SS去除率高的优势,因而被誉为屠宰废水处理中很有发展前途的工艺^[11]。消化产生的生物气可用于系统搅拌,或作为能源直接利用。D. J. Massé^[12]研究表明 ASBR处理屠宰废水的适宜条件是:间歇搅拌,温度 25~35℃,反应时间 24h污泥负荷 0.2~0.5kg/(kgMLSS·d),在此条件下 COD_{Cr}和 SS的去除率分别达到 98%和 91%。

1.2.3 高效厌氧反应器

近年来用高效厌氧生物反应器处理屠宰废水成为热点。通过强化传质和提高污泥浓度高效厌氧反应器可在短时间

氧生物处理前加入酸化处理,开发出酸化—好氧生物处理工艺^[2,6,8]。酸化过程中动物性复杂大分子有机物降解成小分子溶解性有机物,为后续反应提供优质的底物,提高了好氧处理效果及整个系统的抗冲击能力和稳定性;同时类似于消化池的固体降解过程实现了污水酸化和污泥消化的集中处理,污泥产量低。张森林^[12]对酸化—SBR工艺的研究表明(见表 2),在保证处理效果的同时,总投资、占地面积和能耗比传统活性污泥工艺降低。万秀林等^[9]采用兼氧—AB工艺低温处理屠宰废水也取得良好的处理效果,废水各主要污染物去除率均达 90%以上。

1.2 厌氧生物处理

一般地,厌氧生物处理 COD_{Cr}浓度大于 1 000mg/l的中高浓度工业废水具有优势^[9],可以回收生物能,低能耗,容积负荷率高,对环境的要求低,剩余污泥稳定,产量仅为好氧系统的 1/10~1/6。投资费用低,管理简易,有广阔的应用潜力。

1.2.1 普通厌氧消化池

普通厌氧消化池处理屠宰废水在美国和澳大利亚得到广泛应用。厌氧消化池处理屠宰废水的成本低,操作和维护简便,有机物去除率高;但反应速率慢,水力停留时间长,占地面积大,对温度要求高,低于 21℃效率将会大大下降,大型厌氧消化系统一旦由于低温而瘫痪就很难恢复^[10]。因而此工艺不适合用于土地紧张或常年温度偏低的地方。

内得到良好的去除效果,较传统厌氧消化池其最大的优势是负荷能力高,水力停留时间短,占地小。国内外应用于屠宰废水的工艺主要有^[13]:上流式厌氧污泥床(UASB)、厌氧滤池(AF)、厌氧流化床(AFB)、厌氧折流床反应器(ABR)、厌氧固定膜反应器(AFFR)、内循环反应器(IC)等。

UASB反应器结构紧凑、简单、负荷能力高,因而广受青睐。Ayoub Torkian实验表明 UASB处理屠宰废水在 13~30kgCOD/m³·d负荷下,COD_{Cr}去除率为 75~90%。然而 UASB也存在一些问题,如污泥易流失,颗粒污泥难于形成,系统难于启动等。针对这些问题,研究人员不断采用新的方案改进 UASB的性能。J. Ruiz和 Rafael Borja等人分别将

UASB 与 AF 串联使用处理屠宰废水,使反应器同时具有 UASB 和 AF 的特点。利用 AF 保持生物量和耐冲击负荷的优点,减轻了对 UASB 三相分离器的性能要求,提高了系统抗负荷冲击的能力。随着系统附着生物量从 0.58 gSS L^{-1} 增至 5.8 gSS L^{-1} , COD_c 的去除率也升至 $90.2 \sim 93.4\%$ 。Coudria E, T. Caxeta 使用一种新型高效三相分离器也达到了提高 UASB 耐负荷冲击能力和处理效果的目的。AF 处理屠宰废水的稳定性好,在有机负荷 $20 \sim 25 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ 时, COD_c 去除率可达 $80 \sim 90\%$,但是 AF 极易堵塞,必须定时冲洗。R. del Pozo 利用 AFFR 处理屠宰废水,对间歇运行的适应性优于 UASB。IC 反应器也是近二十年来发展起来的高效厌氧反应器,邓良伟采用 IC 工艺处理屠宰废水总磷的去除率可达 53.8% 。

1.2.4 厌氧生物处理的预处理

屠宰废水中含有的大量的 SS 和油脂,进入厌氧系统前对屠宰废水进行去除 SS 和油脂的预处理是十分必要的。否则大大降低了厌氧反应速度和甲烷产量,进入 UASB 还会引起污泥上浮和流失。因此在 N. T. Manjunath 在 UASB 前采用压力气浮作为预处理单元,气浮可以去除原水中 50% 的污染物,后续处理的反应速率及产甲烷量均有所提高。

厌氧处理出水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 硫化物等还原性污染物较多,没有脱氮能力,有时出水的 BOD_5 偏高,还需进一步处理。

2 自然生态处理

自然生态处理是自然条件下通过环境生物净化废水的一种方法,目前已成为研究与应用的热点,其中对稳定塘、土地处理、人工湿地的研究与应用最多。它们的共同特点是能耗低,管理简便,运行费用低,有利于废水的综合利用。

2.1 稳定塘工艺

屠宰废水在进入氧化塘处理前,必须经预处理,否则悬浮物和有机物浓度过高,氧化塘的处理效果不理想。通常在氧化塘正常运行的条件下 COD_c 的有效临界点为 262.6 mg/L ,一旦超过临界点氧化塘中植物受伤,净化作用降低。采用厌氧塘、兼性塘和好氧塘串联系统处理屠宰废水,从建造和运行角度而言是最经济的,并且处理效果令人满意。除了开始运行时有些气味外,不会产生其他问题。

2.2 土地处理

喷灌土地的方法处理屠宰废水主要应用于美国,系统简单、成本低,但操作不当可能会引起地表水和地下水的污染,过量的脂肪会造成土壤堵塞,因此该方法对废水预处理的要求较高。

2.3 人工湿地处理

人工湿地是利用湿地生态系统中的物理、化学和生物三者的协同作用来处理污水。投资少、效果好、运行维护方便,建设成本为相同能力污水处理厂的 $1/5$ 左右。但占地面积是传统污水处理厂的 $5 \sim 10$ 倍。单独采用人工湿地处理屠宰废水,难以达标,如果与物化和生物预处理结合,既可以节省投资,也可以降低运行费用。

3 化学处理

3.1 化学混凝絮凝处理

长期以来处理屠宰废水主要采用生物法,其低温下处理效果极难符合要求。为了解决这一问题,研究人员探索化学混凝絮凝处理屠宰废水的新途径,通过投加一定浓度的化学药剂促使污水的各种颗粒沉降、胶体脱稳,对部分溶解性污染物也有一定去除能力,在很短的时间内削减污染负荷。其优点有:

工艺简单,易上马,见效快;反应时间短,构筑物占地小;混凝剂原料广泛,成本低廉;处理效果受温度影响小;适应水量和水质的波动,能同时除臭。适应不同的处理规模。

3.2 工艺运行与药剂

化学混凝絮凝法处理屠宰废水常与气浮及沉淀单元配合使用,如在处理屠宰废水的气浮单元操作中加入混凝剂, COD_c 去除率可达 $32\% \sim 90\%$ 。也有研究者在絮凝之后采用电气浮代替溶气气浮,提高了气浮效率,部分有机物在电解时直接被氧化,减少了絮凝剂用量,但普通电气浮方法的能耗大,如采用脉冲电流可大量降低电耗。

近几年来人们不断寻找廉价有效的混凝絮凝剂用于处理屠宰废水,马东奎研究表明, PFS 对屠宰废水的 COD_c 去除率最高。李亚峰试验了五种混凝剂处理屠宰废水的效果,也得到相似的结果,见表 3。同时,天然及改性高分子絮凝剂在屠宰废水领域的研究也取得进展。壳聚糖、黄原胶、瓜尔胶、藻酸盐等高分子絮凝剂对屠宰废水中的脂肪酸、蛋白质、油脂等污染物有优良的去除效果,且对环境友好,产生的污泥能够作为动物安全饲料、肥料和燃料来源,不会造成二次污染。因此这种天然药剂的应用将是今后药剂开发研究的方向。

混凝剂和助凝剂的配合使用可以达到更好的处理效果。M. J. Aguirre 用硫酸铁作混凝剂处理屠宰废水,并对 5 种助凝剂进行对比研究,几种助凝剂均使悬浮物去除率达到 95% 以上,其中阴离子聚丙烯酰胺作助凝剂,悬浮物的去除率达到 99% 。无机复盐高分子絮凝剂和天然微生物絮凝剂的使用可降低药剂的用量。

3.3 化学处理的局限性

化学絮凝法处理屠宰废水的局限性在于:单纯投加化学药剂的化学絮凝法药剂用量大,虽对水中的悬浮物和胶体有明显的处理效果,除磷效果好,但对可溶性有机物(如醇类、糖类、酸类)处理效果较差;化学污泥产量高,比单纯的好氧法产生的剩余污泥更难处理。此外,大量化学药剂投加到水体后对环境是否产生影响还有待考察。

4 工艺的组合应用

在屠宰废水处理工艺中,好氧处理和厌氧处理以及化学絮凝处理各有其优缺点,笔者认为,在处理较低浓度 ($\text{COD}_c \leq 1000 \text{ mg/L}$) 屠宰废水时,可直接采用生物处理,这样可在保证处理效果的条件下,缩短处理流程,节省基建费用;在处

理较高浓度 (COD_{cr}>1 000mg/ l) 的屠宰废水时, 几种工艺的组合使用可确保废水处理达标。如水解好氧生物处理工艺工程投资仅为同等规模活性污泥法的 70%, 占地减少 20%, 处理成本降低 42%。国内已使用的组合工艺有: 酸化—SBR 工艺, 酸化—AB 法, 酸化—生物接触氧化工艺, UASB—AF

工艺, 厌氧—过滤工艺, 射流曝气—生物接触氧化工艺, 厌氧塘—兼氧塘—好氧塘工艺, 兼氧—AB 法, 化学混凝—生物处理工艺等。处理工艺的优化组合有利于各种工艺扬长避短, 保证出水水质。

表 3 不同混凝剂处理屠宰废水的效果

混凝剂	投量	PH	COD _{Cr} (mg/ l)		去除率 (%)	色度(倍)		脱色率 (%)	SS(mg/ l)		除率 (%)
	(mg/ l)		处理前	处理后		处理前	处理后		处理前	处理后	
FeSO ₄	180	6.8		451	42.6		72	67.3		173	72.5
PFS				309	64.1		59	73.2		146	76.8
FeCl ₃			860	494	42.6	220	84	61.8	630	188	70.2
Al ₂ (SO ₄) ₃				414	51.9		67	69.5		162	74.3
PAC	200	6.8		389	54.8		64	70.9		157	75.1
FeSO ₄				409	52.4		70	68.2		142	77.5
PFS				254	70.5		54	75.5		123	80.5
FeCl ₃			860	424	50.7	220	81	63.2	630	156	75.2
Al ₂ (SO ₄) ₃				381	55.7		63	71.4		148	76.2
PAC				366	57.4		59	73.2		135	78.6

5 结束语

屠宰废水处理的工艺很多, 应根据进水水质的特点、处理要求并综合考虑经济、管理因素选择最适合的处理工艺, 注意不同工艺的组合使用。我国目前屠宰废水的处理多以小水量废水处理站为主, 在目前环保投资较少的情况下, 屠宰废水处理构筑物应朝着高效、节能、集约化、规模化、易于管理的方向发展以降低处理费用。环保部门应加强对各屠宰场废水处理站的监督与管理, 保证已建废水处理站的正常运行。

参考文献

[1] 何强, 龙腾锐. 屠宰废水处理技术评价[J]. 重庆环境科学, 1995 17(3). 41—44

[2] 张森林, 刘林, 黄明. 酸化—序列活性污泥工艺处理屠宰污水[J]. 湘潭大学自然科学学报, 1992 14(4). 132—139

[3] 赵丽珍, 缪应祺. SBR 技术的研究及进展[J]. 江苏理工大学学报, 2001 22(3). 58—61

[4] J Keller, K Subramaniam, J Goosswein and P F Greenfield. Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors[J]. Wat Sci Tech. 1997 35(6). 137—144

[5] 张统主编, 侯瑞琴, 王守中, 王坤副主编. 间歇式活性污泥法污水处理技术及工程实例[M]. 化学工业出版社, 2001

[6] 万秀林, 杨晓虎. 兼氧—AB 法处理屠宰废水的工艺特点与生产性运行效果[J]. 肉类工业, 1993 3 35—38

[7] 唐受印, 戴友芝, 刘忠义, 周作明等. 食品工业废水处理[M]. 化学工业出版社, 2001 185—188

[8] 李天荣, 康海燕, 朱钟萍, 罗幼华. 厌氧酸化—好氧法处理屠宰废水在工程中的应用[J]. 中国环境科学, 1993 13(2). 146—149

[9] 屈计宁, 陈洪斌. 小城(村)镇及小区污水处理技术与应用[J]. 同济大学学报, 2004

[10] D I Masse and L Masse. Characterization of wastewater from hog slaughterhouses in Eastern Canada and evaluation of their in-Plant wastewater treatment system[J]. Canadian Agricultural Engineering 2000 42(3). 139—146

[11] 张文艺. 采用厌氧序批间歇式反应器处理屠宰废水试验研究[J]. 农业工程学报, 2002 18(6). 127—130

[12] D I Masse, L Masse, N Bougeois. Anaerobic processing of slaughterhouse wastewater in a SBR. Dairy and Swine Research and Development Centre[M]. Agriculture and Agri-Food Canada

[13] 刘永淞. 厌气隔板反应器(ABR)及其应用[J]. 化工给排水设计, 1993 2 26—28