

## 规模化畜禽养殖废水处理技术现状探析\*

邓良伟

(农业部沼气科学研究所 成都 610041)

**摘要** 简述了规模化畜禽养殖废水处理技术3种模式(还田模式、自然处理模式及工业化处理模式)适用范围与优缺点、技术研究及工程应用现状,并指出宜首选规模化畜禽养殖废水处理模式。

**关键词** 规模化养殖场 废水处理 还田模式 自然处理模式 工业化处理模式

Review on treatment technology of intensive livestock wastewater . DENG Liang-Wei (Biogas Scientific Research Institute of the Ministry of Agriculture, Chengdu 610041, China), *CJEA*, 2006, 14(2): 23 ~ 26

**Abstract** Three modes of intensive livestock wastewater treatment including landspreading, natural treatment and industrialized treatment are summarized in this paper and the applicability, advantage, disadvantage and status of research and application for every mode are expound. Finally, the optimum treatment mode of wastewater is given.

**Key words** Intensive livestock farm, Wastewater treatment, Landspreading mode, Natural treatment mode, Industrialized treatment mode

(Received Jan .10, 2005 ; revised Feb 28, 2005)

畜禽养殖专业化与规模化集中饲养方式,有利于提高饲养技术、防疫能力和管理水平,与传统方式即农户分散饲养相比,规模化饲养可大大提高生产效率和饲料转换率,降低生产成本,增加经济效益。但畜禽规模化饲养也造成粪尿过度集中和冲洗水大量增加,给生态环境带来极大压力。据国家环境保护总局对全国23个省(区)、市规模化畜禽养殖业污染状况调查表明,畜禽粪便产生量为工业固体废弃物产生量的2.4倍,畜禽粪便化学需氧量(COD)远远超过我国工业废水和生活污水化学需氧量排放量之和<sup>[1]</sup>。许多地区畜禽养殖带来的污染已经或正在成为当地环境主要污染源。目前畜禽养殖所带来的严重污染已引起政府、养殖场业主、污染治理研究和设计者的重视,相继开发了不同处理工艺,并建立了各式养殖废水处理工程,主要有还田模式、自然处理模式和工业化处理模式。

### 1 还田模式

畜禽粪便污水还田作肥料为传统而经济有效的处置方法,可使畜禽粪尿不排往外界环境,达到污染物零排放<sup>[16]</sup>。既可有效处置污染物,又能将其中有用的营养成分循环于土壤-植物生态系统中,家庭分散户养畜禽粪便污水处理均采用该法。该模式适用于远离城市、土地宽广且有足够农田消纳粪便污水的经济落后地区,特别是种植常年需施肥作物的地区,要求养殖场规模较小。还田模式主要优点一是污染物零排放,最大限度实现资源化,可减少化肥施用量,提高土壤肥力;二是投资省,不耗能,毋需专人管理,运转费用低等。其存在的主要问题<sup>[2,17]</sup>一是需要大量土地利用粪便污水,每万头猪场至少需7hm<sup>2</sup>土地消纳粪便污水,故其受条件所限而适应性弱;二是雨季及非用肥季节必须考虑粪便污水或沼液的出路;三是存在着传播畜禽疾病和人畜共患病的危险;四是不合理的施用方式或连续过量施用会导致NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、P及重金属沉积,成为地表水和地下水污染源之一;五是恶臭以及降解过程所产生的氨、硫化氢等有害气体释放对大气环境构成污染威胁。经济发达的美国约90%的养殖场采用还田方法处理畜禽废弃物。鉴于畜禽粪尿污染的严重性和处理难度,英国和其他欧洲国家已开始改变饲养工艺,由水冲式清洗粪尿回归到传统的稻草或作物秸秆铺垫吸收粪尿,然后制肥还田。日本曲径探寻10多年后,于20世纪70年代始又大力推广粪便污水还田<sup>[3]</sup>。说明还田模式仍有较强的生命力。我国上海

\* “十五”国家科技攻关项目(2002BA514A-1-2-4)资助

收稿日期:2005-01-10 改回日期:2005-02-28

地区在治理畜禽养殖污染过程中,经过近 10 年的达标治理实践,又回到还田利用的综合处理模式中<sup>[2]</sup>。美国粪便污水还田前一般未经专门厌氧消化装置厌氧发酵,而是贮存一定时间后直接灌田。由于担心传播畜禽疾病和人畜共患病,畜禽粪便废水经过生物处理之后再适度应用于农田已成为新趋势。德国等欧洲国家则将畜禽粪便污水经过中温或高温厌氧消化后再进行还田利用,以达到杀灭寄生虫卵和病原菌的目的。我国一般采用厌氧消化后再还田利用,可避免有机物浓度过高而引起的作物烂根和烧苗,同时经过厌氧发酵可回收能源  $\text{CH}_4$ ,减少温室气体排放,且能杀灭部分寄生虫卵和病原微生物。国外对畜禽粪便污水还田利用的研究主要侧重于安全性评估以及减少风险的措施<sup>[18]</sup>。我国该方面研究则主要着眼于畜禽粪便污水厌氧消化液(沼液)的正面影响即改良土壤及增产效果<sup>[4]</sup>,而对其副作用即长期施用所产生的危害尚未引起足够重视。

## 2 自然处理模式

自然处理模式主要采用氧化塘、土地处理系统或人工湿地等自然处理系统对养殖场粪便污水进行处理,适用于距城市较远、气温较高且土地宽广有滩涂、荒地、林地或低洼地可作污水自然处理系统、经济欠发达的地区,要求养殖场规模中等。自然处理模式主要优点一是投资较省,能耗少,运行管理费用低;二是污泥量少,不需要复杂的污泥处理系统;三是地下式厌氧处理系统厌氧部分建于地下,基本无臭味;四是便于管理,对周围环境影响小且无噪音;五是可回收能源  $\text{CH}_4$ 。其主要缺点一是土地占用量较大;二是处理效果易受季节温度变化的影响;三是建于地下的厌氧系统出泥困难,且维修不便;四是有污染地下水的可能。该模式在美国、澳大利亚和东南亚一些国家应用较多,且国外一般未经厌氧处理而直接进入氧化塘处理畜禽粪便污水,往往采用多级厌氧塘、兼性塘、好氧塘与水生植物塘,污水停留时间长(水力停留时间长达 600d),占地面积大<sup>[5]</sup>,多数情况下氧化塘只作为人工湿地的预处理单元。欧洲及美国较多采用人工湿地处理畜禽养殖废水,美国自然资源保护服务组织(NRCS)编制了养殖废水处理指南,建议人工湿地生化需氧量( $\text{BOD}_5$ )负荷为  $73\text{kg hm}^{-2}\cdot\text{d}$ ,水力停留时间至少 12d。墨西哥湾项目(GMP)调查收集了 68 处共 135 个中试和生产规模的湿地处理系统约 1300 个运行数据,并建立了养殖废水湿地处理数据库,发现污染物平均去除效率生化需氧量( $\text{BOD}_5$ )为 65%,总悬浮物 53%, $\text{NH}_4^+-\text{N}$  48%,总 N 42%,总 P 42%<sup>[19]</sup>。人工湿地存在的主要问题是堵塞<sup>[20]</sup>,而引起堵塞的主要原因是悬浮物,微生物生长的影响却很小。避免堵塞的方法主要有加强预处理、交替进水和湿地床轮替休息<sup>[20]</sup>,近年还发展了“潮汐流<sup>[21]</sup>”以及反粒级(上大下小)等避免堵塞<sup>[22]</sup>。我国南方地区如江西、福建和广东等省也多应用自然处理模式,但大多采用厌氧预处理后再进入氧化塘进行处理,厌氧处理系统分地上式和地下式,氧化塘为多级塘串联。我国在人工湿地处理养殖废水方面进行的一些实验研究和工程应用,主要着眼于植物筛选和处理效果的考察<sup>[6]</sup>,而在氧化塘以及人工湿地处理养殖废水设计中,一般参照氧化塘或人工湿地处理其他污水的资料作为设计依据或者随意设计,但针对畜禽养殖废水,其氧化塘、人工湿地究竟需要多大面积,出水才能达到标准,季节温度变化对自然处理系统效果的影响等方面尚缺乏深入研究和规范可依。

## 3 工业化处理模式

工业化处理模式包括厌氧处理、好氧处理以及厌氧-好氧处理等不同处理组合系统。对那些地处经济发达的大城市近郊、土地紧张且无足够农田消纳粪便污水或进行自然处理的规模较大养殖场,采用工业化处理模式净化处理畜禽粪便污水为宜。工业化处理模式主要优点一是占地少;二是适应性广,不受地理位置限制;三是季节温度变化的影响较小。其主要缺点一是投资大,每万头猪场粪便污水处理投资约 120 万~150 万元;二是能耗高,每处理  $1\text{m}^3$  污水约耗电 2~4kW·h;三是运转费用高,每处理  $1\text{m}^3$  污水需运转费 2.0 元左右;四是机械设备多,维护管理量大;五是需专门技术人员管理。韩国、意大利和西班牙等国少部分养殖场应用该模式处理粪便污水,而日本则大量应用该模式,美国亦开始该模式的研究与应用;我国目前已有相当多的养殖场采用该模式处理粪便污水。畜禽养殖粪便污水厌氧处理工艺通常有完全混合式厌氧反应器<sup>[7]</sup>、厌氧滤池<sup>[23]</sup>、厌氧挡板反应器<sup>[24]</sup>、厌氧复合反应器<sup>[8]</sup>、上流式厌氧污泥床<sup>[9]</sup>和内循环厌氧反应器<sup>[10]</sup>等。畜禽养殖粪便污水含有高浓度的悬浮物和 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,影响了高效厌氧反应器的效率。徐洁泉等<sup>[11]</sup>对厌氧复合反应器、上流式厌氧污泥床和厌氧挡板反应器处理猪粪过筛液运行性能试验结果表明,几种反应器的运行指标基本一致,综合比较厌氧复合反应器略优于上流式厌氧污泥床,上流式厌氧污泥床略优于厌氧挡板反应器。且温度对反应器性能的影响更大,发酵温度 10 段时化学需氧量负荷  $1.9\sim 2.3\text{g L}\cdot\text{d}$ ,装置平均产气率  $0.32\sim 0.51\text{L L}\cdot\text{d}$ ,化学需氧量平均去除率 82.2%~91.0%;发酵温度 15 段时负荷化学需氧量  $2.5\sim 2.6\text{g L}\cdot\text{d}$ ,装置平均产气率  $0.57\sim 0.59\text{L L}\cdot\text{d}$ ;发酵温度 25 段时化学需氧量负荷  $5.5\sim 5.7\text{g L}\cdot\text{d}$ ,装置平均产气率  $1.93\sim 2.01\text{L L}\cdot\text{d}$ 。好

氧工艺早期主要采用活性污泥法、接触氧化法、生物转盘、氧化沟和缺氧-好氧法等工艺<sup>[25]</sup>,这些工艺处理养殖场废水脱 N 效果均差,其中缺氧-好氧法虽能取得较好脱 N 效果,但需要污泥回流和高比例混合液回流,一般还需加碱。而采用间歇曝气处理猪场废水其有机物与 N、P 去除效果较好<sup>[26]</sup>,此后以间隙曝气为特点的序批式反应器广泛应用于猪场废水处理中<sup>[26~28]</sup>,且绝大多数获得较好有机物与 N、P 去除效果,并建立了规模生产试验装置<sup>[29]</sup>。由于养殖场废水系高浓度有机废水,采用好氧处理工艺直接进行处理则需对废水进行稀释,或采用很长的水力停留时间(一般 6d 以上,有的甚至长达 16d),这都需建大型处理装置,投资大,能耗高,运行费用昂贵,如意大利某生产性序批式反应器处理猪场废水试验运行费用高达 3 欧元/ m<sup>3</sup><sup>[29]</sup>。高浓度有机废水采用厌氧-好氧联合处理工艺是公认的最经济方法。目前采用厌氧-好氧工艺处理养殖场废水尚少见报道,且已有的厌氧-好氧工艺处理养殖场废水报道,其处理效果均很差,主要是好氧后处理对厌氧消化液污染物去除效果差。Ng W .G.<sup>[30]</sup>采用序批式反应器工艺处理猪场废水厌氧消化液其 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率仅 68.7%。徐洁泉等<sup>[12]</sup>采用接触氧化法处理猪场废水厌氧消化液其出水化学需氧量 > 500mg/ L, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N > 200mg/ L。Jung Jeng Su 等<sup>[31]</sup>采用序批式反应器工艺处理猪场废水厌氧消化液得出同样结果,总凯氏 N 去除率仅 42.4% ~ 71.1%,化学需氧量去除率仅 10% ~ 40%。杨虹等<sup>[13]</sup>试验发现间歇曝气处理猪场废水厌氧消化液其 NH<sub>3</sub>-N 去除率 < 60%,出水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度为 600mg/ L 左右,Liao C .M .等<sup>[32]</sup>采用间歇曝气处理猪场废水厌氧消化液其总 N 去除率达 30%,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率为 40%。一些研究者针对厌氧消化液处理效果差的问题,研究提出改进方法一是加碱<sup>[13]</sup>,改善了 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果,但对总 N 去除无效果。二是加 C 源,主要添加葡萄糖、甲醇<sup>[26]</sup>和乙酸<sup>[33]</sup>,这些方法虽取得较好处理效果,但需增添装置投资,工作强度和运行费用亦大幅增加。厌氧-加原水-间歇曝气(简称 Anarwia 工艺)是由我国研制开发的畜禽养殖污水处理新工艺<sup>[14]</sup>,即将大部分畜禽养殖废水进行厌氧消化后,出水再与小部分未经厌氧消化的养殖废水混合,然后采用间歇曝气序批式反应器处理混合水,该 Anarwia 工艺处理效果与序批式反应器直接处理工艺相同,但其水力停留时间、工程投资、剩余污泥量、需氧量同比分别降低 38.6%、11.8%、16.4% 和 95.9%,并能回收沼气。若不计沼气收益,Anarwia 工艺处理费用比序批式反应器工艺低 47.5%;若计沼气收益则 Anarwia 工艺处理费用仅有序批式反应器工艺的 9.1%,说明 Anarwia 工艺颇具优势,并已成功应用于杭州灯塔养殖总场废水处理工程,且处理效果良好<sup>[9,15]</sup>。

现阶段我国规模化养殖场大多建在距离大城市较远的地区,饲养规模不大。因此粪便污水处理应优先考虑还田利用模式,剩余的再采用自然处理模式,即采用还田与自然处理相结合的综合利用处理模式,在前 2 种模式无条件实施时,再考虑工业化处理模式。但随着社会经济的发展,用于消纳或处理粪便污水土地将越来越少,加之还田与自然处理模式均带来二次污染,工业化处理模式必将受到更广泛关注,并成为今后的研究重点。无论采用何种处理模式,综合利用优先、减量化、资源化、无害化和运行费用低廉化应是养殖废水处理的首要原则。

## 参 考 文 献

- 1 李 远.我国规模化畜禽养殖业存在的环境问题与防治对策.上海环境科学,2002,21(10):597~599
- 2 江立方,顾剑新.上海市畜禽粪便综合治理的实践与启示.家畜生态,2002,23(1):1~4
- 3 潘学峰,付泽田,Burton C .H.发达国家畜禽废物处理技术与立法.农业工程学报,1995,11(3):108~113
- 4 蔡阿兴,蒋其鳌,常运诚等.沼气肥改良碱土及其增产效果研究.土壤通报,1999,30(1):4~6
- 5 崔理华,朱夕珍,陈智营.国内外规模化猪场废水处理组合工艺进展.农业环境保护,2000,19(3):188~191
- 6 廖新倬,骆世明.人工湿地对猪场废水有机物处理效果的研究.应用生态学报,2002,13(1):113~117
- 7 彭武厚,胡文英,李新吾.大型奶牛场粪便厌氧消化工程的研究.工业微生物,1995,25(1):5~12
- 8 徐洁泉.规模化畜禽场沼气工程发展和效益探讨.中国沼气,2000,18(4):27~30
- 9 寿亦丰,蔡昌达,林伟华等.杭州灯塔养殖总场沼气与废水处理工程的技术特点.农业环境保护,2002,21(1):29~32
- 10 邓良伟,陈铭铭.IC 工艺处理猪场废水试验研究.中国沼气,2001,19(2):12~15
- 11 徐洁泉,胡 伟,汤玉珍等.低温和近中温猪粪液厌氧处理的装置比较研究.中国沼气,1997,15(2):7~13
- 12 徐洁泉,杨可俊,刘膺虎等.集约化猪场粪便污水沼气发酵综合处理系统的生产试验.中国沼气,1991(3):26~29
- 13 杨 虹,李道棠,朱章玉等.集约化养猪场冲栏水的达标处理.上海交通大学学报,2000,34(4):558~560
- 14 邓良伟,郑 平,陈子爱.Anarwia 工艺处理猪场废水的技术经济性研究.浙江大学学报(农业与生命科学版),2004,30(6):628~634
- 15 邓良伟,蔡昌达,陈铭铭等.猪场废水厌氧消化液后处理技术研究及工程应用.农业工程学报,2002,18(3):92~94
- 16 Choudhary M ,Bailey L . D ,Grant C . A . Review of the use of swine manure in crop production: effects on yield and composition and on soil and water quality . Waste Management & Research, 1996,14:581~595

- 17 Miner J . R . Alternatives to minimize the environmental impact of large swine production units . *Journal of Animal Science*, 1999,77:440 ~ 444
- 18 Shahzad A , Ilyas T . Environmental consequences of cattle feedlot manure on saline soils . *The International Journal of Environmental Studies*, 2000,57(6):95 ~ 112
- 19 Robert L . Knight , Victor W . E , Payne Jr . B , *et al* . Constructed wetlands for livestock wastewater management . *Ecological Engineering*, 2000,15:41 ~ 55
- 20 Kern J , Idler C . Treatment of domestic and agricultural wastewater by reed bed systems . *Ecolo . Eng* , 1999,12(1 ~ 2):13 ~ 25
- 21 Green M , Friedler E , Ruskol Y , *et al* . Investigation of alternative method for nitrification in constructed wetlands . *Water Sci . Technol* , 1997,35(5) : 63 ~ 67
- 22 Zhao Y . Q , Sun G , Allen S . J . Anti-sized reed bed system for animal wastewater treatment: a comparative study . *Water Research*, 2004,38:2907 ~ 2917
- 23 Andreadakis A . D . Anaerobic digestion of piggery waste . *Wat . Sci . Tech .* , 1992,25(1) : 9 ~ 16
- 24 Boopathy R . Biological treatment of swine waste using anaerobic baffled reactors . *Bioresource Technology* , 1998,64:1 ~ 6
- 25 Takashi Osada, Kiyonri Haga, Yasuo Harada . Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with intermittent aeration process . *Wat . Res .* , 1991,25(11) : 1377 ~ 1388
- 26 Bortone G , Gemelli S , Rambaldi A . Nitrification , denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater . *Wat . Sci . Tech* , 1992,26(5 ~ 6) : 977 ~ 985
- 27 Su J . J , Kung C . M , Lin J . Utilization of sequencing batch reactor for in situ piggery wastewater treatment . *J . Environ . Sci . Health, Part A*, 1997,A32(2) : 391 ~ 405
- 28 Edgerton . Strategies for dealing with piggery effluent in Australia: the sequencing batch reactor as a solution . *Wat . Sci . Tech* , 2000,41(1) : 123 ~ 126
- 29 Tilche A , Bacilieri E , Bortone G , *et al* . Biological phosphorus and nitrogen removal in a full scale sequencing batch reactor treating piggery wastewater . *Wat . Sci . Tech* , 1999,40(1) : 199 ~ 206
- 30 Ng W . G . Aerobic treatment of piggery wastewater with the sequencing batch reactor . *Bio . Waste*, 1987,22:285 ~ 294
- 31 Jung Jeng Su, Wen Chyan Lian, Jih Fang Wu . Studies on piggery wastewater treatment by a full-scale sequencing batch reactor after anaerobic fermentation . *Chung-hua, Nungxue Huibao*, 1999,188:47 ~ 57
- 32 Liao C . M , Maekawa T . Nitrification/ denitrification in an intermittent aeration process for swine wastewater . *Envir . Sci . and Health B*, 1994,29(5) : 1053 ~ 1078
- 33 Obaja D . S , Mac E . , Costa J . C , *et al* . Nitrification , denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor . *Bioresource Technology*, 2003,87:103 ~ 111