

# 规模化猪场粪污处理工艺的研究

李长生 路旭 吴冰

(中国农业工程研究设计院)

**提 要** 在国内外猪场粪污处理工艺调研的基础上,通过对粪污粒径分布、沉降性能和气浮工艺适用性的试验研究,确定了一种先进实用、可靠、易行的猪场粪污达标排放的处理工艺。

**关键词** 粪污处理 沉降性能 气浮工艺 固液分离 厌氧消化 好氧处理

## Research on Dung Treatment Process on Scale Pig Farms

Li Chang-shen Lu Xu Wu Bing

(Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing)

**Abstract** According to investigation on dung treatment on worldwide pig farms and experiments on dimension distribution, sedimentation of SS particle, availability of the air flotation, a new treatment process is assured which is available, stable and waste water meets the drainage standard after treatment.

**Key words** Dung treatment Sedimentation Air flotation Solid-liquid separation Anaerobic digestion Aerobic treatment

近 10 年来,我国城郊菜篮子工程飞速发展。规模化猪场的数量和规模也在逐年增加。目前,全国生猪、家禽年产粪便总量高达 5.8 亿 t,粪水年排放总量高达 60 亿 t。然而,北京和上海市采用工程措施处理的粪水量,只占各自排放量的 3% 和 4%。大量粪污对周围环境的污染日益严重。许多猪场臭气熏天、蚊蝇成群,地下水的硝酸盐严重超标。少数地区传染病与寄生虫病流行。规模化猪场粪污污染已到非治理不可的地步。为此,“规模化猪场粪污处理关键设备的研制”被列为国家“九五”重中之重的科研攻关项目。

## 1 国内外猪场粪污处理工程概况

### 1.1 国外概况

1) 小型猪场。有的采用各种节水措施,如日本和中国的台湾、香港地区的木屑养猪场法——每日排泄的猪粪尿不断被铺在舍内地面上由混有某些微生物的木屑层吸收、消化。每隔一段时间将其装车外运作肥料,再换上新的木屑。有的将粪污经固液分离后,粪渣堆沤作肥

收稿日期: 1997-08-15

李长生, 高级工程师, 北京朝阳区农展馆南路 中国农业工程研究设计院, 100026

料。污水经厌氧消化(即沼气池)处理后,排至农田、鱼塘。最近日本开始采用膜分离技术进行处理。

2) 中型猪场。以法国和德国为代表的西欧各国的中型猪场都与种植业相配套。猪牛粪利用自动化程度较高的沼气装置处理后,贮存在数个  $500\sim 1\,000\text{m}^3$  钢制罐内,待需要时用粪车运至农田作肥料;产出的沼气作本农场的电力和热源,从而成一个生物质多层次利用的良性循环的生态农场。

3) 大型猪场。美国的一些大型猪场建在半沙漠地区的山坡上。平时,猪粪水顺坡而下,等  $7\sim 8\text{a}$  后再将猪场移到它处。这样既减少了粪污处理的大量费用,又改良了土壤,增加了肥力,也为今后种植农作物打下了基础。

发达国家的猪场对环保十分重视。各大型猪场一般都采用了固液分离、厌氧消化(即沼气发酵)和沉淀等工艺单元。由于科技的发展,每个单元均有创新。例如:大型沼气装置过去是大型钢混结构的纺锤形池,后发展为 UASB (上流式厌氧污泥床反应器)技术的钢混矩形池。近来澳大利亚又出现没有顶盖的采用特种胶布制成的三相分离器的 UASB 型池。在好氧工艺中,在传统鼓风曝气装置上又发展了简单实用的多种浅层射流曝气装置。

为简化工艺,提高悬浮物的去除率,澳大利亚一大型猪场污水处理工艺流程中,在粪水沉淀后立即采用添加一种高效絮凝的大型气浮装置,使出水的 BOD 降低到  $1\,800\text{mg/L}$  (估计 COD 为  $3\,000\text{mg/L}$ ),然后排放到牧草地作灌溉之用。

## 1.2 国内概况

我国规模化猪场 90% 以上没有粪污处理工程设施,连简单的固液分离机都没有。在采用工程设施处理粪污的猪场中,为取得较好的经济效益,大多数是以能源与综合利用为主要目的,即兴建相应的沼气工程。沼气用于集中供气(少数发电);沼液、沼渣用作农田、菜地、果树和经济作物的肥料以及牛和鱼的饲料添加剂等。只有极少数是以环保为主要目的。其工艺流程与国外技术大致相同,即固液分离—厌氧消化—好氧处理—水生植物塘,有的工程为减少能源的消耗,降低运行费用,使厌氧消化的出水直接进入植物塘(坡、沟)进行处理后排放。例如:我院设计的上海嘉定种畜场和上海崇明江口乡种畜场的粪污处理工程,污水排放指标均达到并低于上海市畜禽场污水排放标准: COD  $350\text{mg/L}$ , BOD  $180\text{mg/L}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$   $80\text{mg/L}$ 。

## 1.3 国内外概况总结

1) 国内外对于大中型猪场粪污处理的方法,基本有二:一是综合利用,二是污水达标排放。对于有种植业和养殖业的农场、村庄和广阔土地的单位,采用“综合利用”的方法是可行的,也是生物质能多层次利用、建设生态农业和保证农业可持续发展的途径;反之,只有采用“污水达标排放”的方法,才能确保养猪业长期稳定的生存与发展。

2) 对于猪场粪污,这种高浓度的有机废水,必须采用厌氧消化(沼气发酵)工艺,因为只有厌氧消化,才能针对可溶性有机物进行大量的去除(去除率可达  $85\%\sim 90\%$ ),而且可杀死传染病菌,有利防疫。这是固液分离、沉淀和气浮工艺不可取代的。如果采用好氧工艺将要比其消耗近 10 倍的电能,一次性投资虽然可节省 20%,但长期的运行费用将是个沉重的负担。

3) 对于“污水达标排放”的猪场,国内外的粪水处理工艺大致相同。根据我们的实践经验

和对东南亚国家的考察,只要有一定的水面,应尽量利用“水生植物塘”对污水进行深度处理,其效果十分有效,而且投资省,几乎没有能耗。如果水面足够,可替代耗能大的好氧处理工艺;水面不够也可作为好氧处理工艺的补充。

## 2 规模化猪场粪水处理工艺的研究

### 2.1 猪场污水排放指标

鉴于国家没有对本行业制定具体的排放标准,故采用上海市大中型畜禽场粪水排放暂行规定(沪环保农(1992)第101号):

	水源保护区	非水源保护区
COD <sub>Cr</sub>	350 mg/L	400 mg/L
BOD <sub>5</sub>	180 mg/L	200 mg/L
NH <sub>3</sub> -N	80 mg/L	100 mg/L

### 2.2 猪场污水水质的确定

规模化猪场使用配合饲料的成年猪,每天每头排放有机物量为:COD含量,0.45 kg; DOD含量,0.11~0.18 kg; TS,0.44 kg; SS,0.35 kg; VS,0.33 kg。

目前,猪场有两种清粪方式:一是水冲清粪方式,主要在广东等省;二是人工清粪为主,水冲为辅方式,主要在四川、湖北和湖南等省,而且还有进一步扩大的趋势。后一种方式是本项目研究的对象。

鉴于地区和气候的不同,采用水冲方式的猪场,每头猪的排污量分别为40,30和25 L/d。相对应的万头猪场排污量分别为200,150和125 m<sup>3</sup>/d。其粪水水质见表1。

表1 猪场粪水水质情况

每头猪排污量/L·d <sup>-1</sup>	COD	BOD	TS	SS	VS
40	11 250	2 750~ 4 500	11 000	8 750	8 250
30	15 000	3 660~ 6 000	14 670	11 667	11 000
25	18 000	4 400~ 7 200	17 600	1 400	13 200

据我们在1996年底对四川、湖北两省以人工清粪为主的猪场粪污排放情况的调查:猪粪尿的收集率为75%,每头猪每天排污量为10 L,故该粪水中的有机物含量,与表1中“40 L/d”所列数值相当。所以该项目猪场粪水水质确定为该值。

由于各猪场的污水在排放时,先经过原有的化粪池和排污沟再进入污水处理单元,因此在污水处理工程进水处实测的COD值一般只有6 000~7 000 mg/L。所以上述确定值,留有一定余量,作为本项目设计参数是可行的。

### 2.3 猪粪水粒度和沉降性能的测试

对鲜猪粪、水冲粪和人工清粪水进行测试,结果如下。

- 1) 鲜猪粪含水率:70%左右。
- 2) 猪粪颗粒粒度的分布见表2。

表 2 猪粪颗粒粒度分布

筛网目数	筛上物称重/g	粒度分布百分比/%	粒度分布累积百分比/%
20 目(0.90mm)	73.42	52	52
40 目(0.45mm)	43.51	30.85	82.85
80 目(0.18mm)	5.12	3.55	97.04
100 目(0.15mm)	0.82	0.57	97.61

用 40 目的筛网进行筛分可将猪粪中 82% ~ 85% 的颗粒去除, 效果很好。

3) 沉降性能测试。将筛分后的粪水经 15 min 的沉降, 其 COD 去除率如表 3。

表 3 粪水筛分沉降后 COD 去除率

项 目	原粪水	分离水	沉淀出水(15 min)	沉淀去除率/%	累计去除率/%
COD	15 320	6 682	3 066	54	80
TS	17 640	8 064	4 070	49.5	77
SS	18 230	7 260	1 600	80	91
VSS	14 300	5 370	1 260	76.5	91

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

注: 1) 原粪水为新鲜粪水; 2) 分离水为用 60 目筛网筛分后的粪水; 3) 沉淀采用沉淀柱测试。

虽然静态试验与动态试验的结果有误差, 但结果表明, 猪粪水特别是新鲜粪水的沉降性能很好。

## 2.4 猪粪水的气浮试验

为了验证气浮对粪水的处理效果, 我们将猪场原粪水和经厌氧处理后的上清液进行了气浮试验。其结果如下:

- 1) 猪场原粪水不加药气浮试验, COD 去除率  $\ll 10\%$ 。
- 2) 厌氧出水不加药气浮试验, 其结果如表 4。

表 4 不加药气浮试验结果

项 目	COD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	SS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	色度
厌氧出水	1 909	685	2 000
气浮出水	1 489	245	1 650
去除率/%	22.0	64.2	37.5

3) 原粪水加药气浮试验, 结果见表 5。

表 5 原粪水加药气浮试验

项 目	原粪水	气浮水 1#	去除率/%	气浮水 2#	去除率/%
COD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	12 690	6 150	51.5	5 957	53.1
SS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2 105	225	89.3	210	90.0
气浮渣量/mm		40		60	
色度	2 500	300	88	200	92

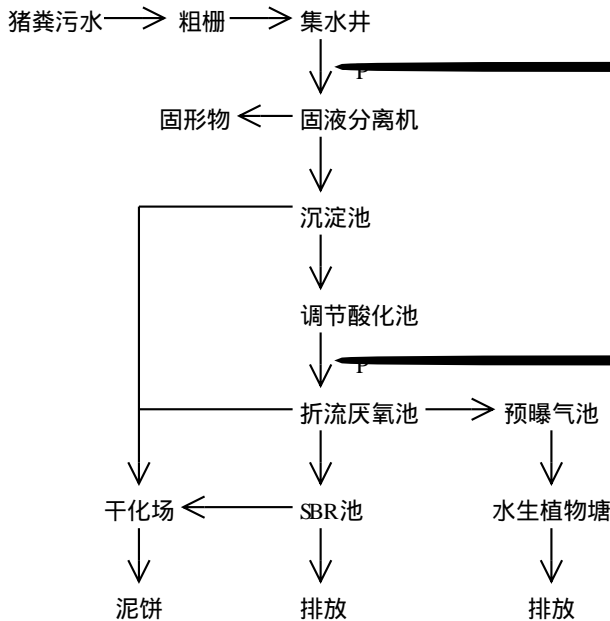
注: 1) 循环比为 35%; 2) 加药量, 气浮水 1# 为 PAC1 500  $\text{mg}/\text{L}$ , 气浮水 2# 为 PAC3 000  $\text{mg}/\text{L}$ 。

可见, 采用加药气浮法处理高浓度猪粪水效果较好, 但处理成本高; 不加药气浮法处理厌氧出水效果也不高, 所以气浮法在工艺中暂不予考虑。

## 2.5 猪粪水处理工艺流程与参数的确定

### 2.5.1 工艺流程设计方案

根据上述试验,以人工清粪方式的猪场粪水处理工艺流程如图1所示。



说明: 本工艺中排出的固形物(粪渣、泥饼等), 将进行高温堆沤处理做有机肥, 不在本研究范围内, 图中不再画出。

图1 以人工清粪方式的猪场粪水处理工艺流程

### 2.5.2 工艺流程中各工序的参数设计

其中括号中的数值为去除率。

#### 1) 原粪水水质

$COD = 11\ 250\text{ mg/L}$ ,  $BOD = 4\ 500\text{ mg/L}$ ,  $SS = 8\ 750\text{ mg/L}$ 。

#### 2) 原粪水经固液分离和沉淀池后的水质

$COD = 6\ 750\text{ mg/L}$  (40%),  $BOD = 3\ 300\text{ mg/L}$  (25%),  $SS = 4\ 800\text{ mg/L}$  (45%)

沉淀池  $HRT = 1\text{ h}$ 。

#### 3) 上述污水再经酸化调节池和厌氧池处理后的水质

$COD = 1\ 000\text{ mg/L}$  (85%),  $BOD = 330\text{ mg/L}$  (90%),  $SS = 480\text{ mg/L}$  (90%)

厌氧池  $HRT = 3\text{ d}$ , 酸化调节池  $HRT = 0.5\text{ d}$ , 厌氧出水水质与现有大型猪场污水处理工程厌氧出水水质基本相同。

#### 4) 上述污水再经 SBR 处理后的水质

$COD = 350\text{ mg/L}$  (70%),  $BOD = 70\text{ mg/L}$  (80%),  $SS = 145\text{ mg/L}$  (70%)

SBR 的停留时间为  $0.5\text{ d}$ 。

至此, 处理后的污水已达到了所研究的技术指标。如果再经小面积的水生植物塘深度处

理, 其结果将会更佳。

5) 如果某猪场周围有一定的水面可供利用, 则厌氧出水经预曝气池充氧后进入水生植物塘被过滤吸附, 也可达到排放指标。经计算, 人工清粪的万头猪场, 排污量为  $50\text{ m}^3/\text{d}$ , 只需  $0.5\text{ hm}^2$  的水生植物塘。

### 3 结 论

1) 根据实验和以往实际工程中的经验, 新鲜的冲洗粪水的沉降性能很好。即使在北方猪场, 污水在猪舍粪沟沉积  $7\sim 10\text{ d}$ , 其沉降性也较好, 但沉降时间大约要延长到  $2\sim 3\text{ h}$ , 近一半的  $\text{SS}$  和  $\text{COD}$  可被去除。所以, 在该工艺流程中, 固液分离和沉淀是必不可少的, 也是一种省投资、去除效果好的办法。

2) 根据徐洁泉等同志的小试结果, 采用  $\text{UASB}$ 、 $\text{UBF}$  和折流式厌氧反应器对猪粪水进行处理, 对它们的有机物去除率进行比较。其结果表明: 进水  $10\,000\text{ mg/L}$  左右, 在  $10, 15$  和  $25$  发酵温度下, 有机负荷分别为  $2.29, 2.59$  和  $5.59\text{ gCOD}/(\text{L}\cdot\text{d})$  时, 三种厌氧装置差异很小, 均在  $91\%$  左右。由于折流式池的运行管理比  $\text{UASB}$  简单, 对高悬浮固体废水的适应性较强, 没有三相分离器, 工程投资较省, 所以选用折流式池型是可行的。

3) 由于粪水处理量很小, 只有  $50\text{ m}^3/\text{d}$ , 所以好氧处理采用间歇序批式完全混合的活性污泥法较为适宜。这样不仅节省基建投资, 而且可在保证污水排放达标的前提下, 根据进水负荷的大小, 调节曝气时间, 降低能耗。

4) 由实际运行的效果来看, 水生植物塘对粪水的深度处理十分有效。只要有足够的水面, 达到  $\text{BOD} = 50\text{ mg/L}$  应没有问题。即使没有足够的水面, 在江南地区, 作为好氧处理工艺的补充也是值得的。

5) 溶气气浮工艺处理猪场粪水的试验结果表明, 不加药的有机物去除效果较差; 加药的有机物去除效果较好, 但处理成本较高(大约  $0.4\text{ 元}/\text{m}^3$ ), 猪场难以接受, 而且气浮也可采用其它工艺取代: 所以在该工艺流程中不予采用。如果有低价高效的絮凝剂时, 是否可取代厌氧工艺是今后进一步探讨的课题。

总之, 针对人工清粪方式的猪场粪水处理设计的该工艺流程方案, 在目前情况下, 是比较先进可靠、投资较省、运行管理方便的, 是适合于我国国情的。

### 参 考 文 献

- 1 沈雪民等 猪粪物理性状的测定 农业工程学报, 1993, 9(增刊): 163~ 168
- 2 徐洁泉等 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
- 3 王凯军等 新的厌氧处理领域和新型厌氧反应器的开发 见: 国家经贸委资源节约综合利用司, 农业部环保能源司 全国大、中型沼气工程技术经验现场交流会资料汇编 1996 47~ 63
- 4 台湾省畜产试验所 猪粪尿处理设施工程设计施工手册 1993
- 5 V Elsen A F M V. A anaerobic digestion of piggery waste: [Phd thesis] Agricultural University Wageningen, 1981
- 6 Polprasert C, Yang P Y. Noppadol kongsrichoern and wilai kanjanaprapin, productive utilization of pig farm wastes: a case study for developing countries Resources, Conservation and Recycling, 1994, 11: 245~ 259