

畜禽粪污处理沼气工程现状调研 及问题分析

刘 刘^{1,2} 郑 丹^{1,2} 王 兰^{1,2} 邓良伟^{1,2,3*}

(¹农业部沼气科学研究所, 成都 610041; ²农业部农村可再生能源开发利用重点实验室, 成都 610041;

³西南区生猪优质与安全协同创新中心, 成都 611130)

摘要: 本文根据规模化畜禽养殖场沼气工程的调研结果, 结合相关资料, 进行技术分析, 总结了我国畜禽养殖场粪污处理沼气发酵工艺和沼渣沼液处理利用等技术的现状, 并归纳存在的问题。针对存在的问题, 提出了畜禽粪污沼气化处理利用的技术和政策建议, 以期为畜牧和农村能源管理部门、养殖场业主、科研单位、粪污处理工程设计调试人员提供参考。

关键词: 畜禽养殖场; 粪便污水; 沼气发酵; 沼渣沼液

沼气发酵技术的研究与应用始于 19 世纪, 而我国则是在 20 世纪初期开始沼气技术的利用。目前, 我国已经发展为世界上沼气技术利用最广泛的国家。截至 2012 年底, 全国户用型沼气池数量已经达到 4 083 万户, 年产沼气 137.8 亿 m^3 , 各类沼气工程达 8.1 万处, 总池容为 1 433.43 万 m^3 , 年产沼气 19.8 亿 m^3 , 集中供气 151.66 万户, 年发电 3.8 亿千瓦时^[1]。可以说沼气技术在我国农业废弃物处理利用, 特别是畜禽养殖废弃物的处理利用中起到了重要的作用。但是, 我国沼气技术在取得巨大发展的同时, 还存在推广难度大、工艺适应性不强、三沼(沼气、沼液和沼渣)利用困难等问题。

针对以上问题, 课题组采用现场走访的方式, 调研了全国 22 个省、市、自治区的 97 处养殖场沼气工程, 并结合相关资料, 分析总结了我国畜禽养殖场粪污处理沼气发酵工艺和沼渣沼液处理利用等

技术的现状, 归纳了存在的主要问题, 针对存在的问题, 提出了畜禽粪污沼气化处理利用的技术和政策建议。

1 沼气发酵技术利用现状

沼气发酵装置是沼气工程的核心, 经过近两个世纪的发展, 已经形成了三代沼气发酵反应器。近些年针对畜禽养殖废弃物的特点, 许多新型的工艺模式也相继被开发, 并且得到了广泛的应用。

1.1 发酵工艺

1.1.1 湿发酵工艺

用于畜禽养殖污水处理的沼气发酵工艺类型有很多, 主要包括: 地下水压式沼气池、厌氧折流式反应器(ABR)、全混合式厌氧反应器(CSTR)、

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-36-10B)

* 通讯作者: 邓良伟(1966-), 四川安岳人, 农业部沼气科学研究所研究员, E-mail: dengliangwei@caas.cn

升流式固体反应器 (USR)、升流式厌氧污泥床反应器 (UASB)、高浓度推流式厌氧反应器 (HCPF)、厌氧复合式反应器 (UBF) 等。

在调研的 97 处沼气工程中, 采用地下水压式沼气池的有 25 处, 占总比例的 25.8%; 采用 CSTR 的有 23 处, 占总比例的 23.7%; 采用 USR 的有 16 处, 占总比例的 16.5%; 采用 ABR 的有 7 处, 占总比例的 7.2%; 采用 UASB 的有 4 处, 占总比例的 4.1%; 采用推流式的有 3 处, 占总比例的 3.1%; 采用红泥塑料沼气池的有 3 处, 占总比例的 3.1%; 采用隧道式沼气池的有 3 处, 占总比例的 3.1%; 采用 AC 反应器的有 1 处, 占总比例的 1.0%; 采用 UBF 的有 1 处, 占总比例的 1.0%; 采用 CSTR+AC 的有 2 处, 占总比例的 2.1%; 采用 USR+CSTR+UASB 的有 1 处, 占总比例的 1.0%; 采用 CSTR+UASB 的有 3 处, 占总比例的 3.1%; 采用地下水压式+CSTR 的有 2 处, 占总比例的 2.1%; 没有说明发酵工艺的有 3 处, 占总比例的 3.1%。从调研结果来看, 地下水压式沼气池、CSTR 工艺和 USR 工艺是我国沼气工程应用最广泛的工艺, 三种工艺合计所占总比例的 66.0%。有 8 处工程采用了组合工艺处理模式, 这些沼气工程大部分是经扩建的工程, 新建发酵装置的处理工艺与之前的不同。有 8 处工程采用了 UASB 或组合工艺中含有 UASB 工艺, 这 8 处沼气工程多位于东南沿海地区, 该地区土地资源紧缺, 环保压力较大, 畜禽粪污多是经固液分离后, 污水经沼气处理和后续处理然后达标排放。

此外, 据中国农业大学 2009-2010 年对北京地区 38 处沼气工程的调查, 采用 CSTR 工艺的有 7 处, 采用 USR 工艺的有 31 处^[2]。据中国农业大学 2009 年对山东省三个城市的 53 处沼气工程的调查, 采用 CSTR 工艺的有 11 处, 采用 USR 工艺的有 19 处, 采用地下水压式沼气池的有 19 处, 采用其他工艺的有 4 处^[3]。据农业部规划设计研究院

农村能源与环保研究所调查, 我国 65% 的大中型沼气工程采用的是 CSTR 工艺或 USR 工艺^[4]。

可以说, 几乎所有的发酵工艺在我国的沼气工程中都有应用, 其中以 CSTR 工艺、USR 工艺和地下水压式沼气池最多。使用地下水压式沼气池多为建设比较早的沼气工程, 近年来新建工程基本不会采用这种工艺。CSTR 工艺和 USR 工艺为处理中高浓度污水的沼气发酵工艺, 适合处理养殖场粪污, 这两种工艺是近些年我国新建的养殖场沼气工程中使用最为广泛的工艺。根据这两种工艺在不同地区的推广程度, 以及沼气工程设计单位的偏好, 在我国不同省区, 这两种工艺使用的比例也有所区别。例如上述北京地区 38 处沼气工程中有 31 处采用了 USR 工艺, 这很大程度上是因为 USR 工艺在北京市大兴区早期的成功应用及推广。我国的几处特大型沼气工程由于对混合搅拌以及升温方面的要求, 都采用了 CSTR 工艺。另外, 在我国东南沿海一些省份, 由于环保上的压力, 多采用前端固液分离, 沼气发酵采用 UASB、IC 等适用处理低悬浮固体废水的工艺。

1.1.2 干发酵工艺

与传统湿发酵工艺相比, 干发酵工艺具有负荷大、容积产能高、装置大大减小、需水量低或不需水、产生沼液少、废渣含水量低和后续处理费用低等特点。因此, 近些年我国学者对沼气干发酵技术研究较多, 但是产业化的工程案例并不多。

通过调研以及查阅现有资料发现, 我国干发酵沼气工程主要有三种类型: 覆膜槽生物反应器、车库式干发酵反应器、地下敞口式覆膜发酵池^[5]。几种类型的干发酵沼气工程在沼气产量、运行效果上没有明显区别, 原料适应性都较好, 产气稳定性较差, 传质效果较差。据调研, 为保证进出料系统的正常运行, 多数干发酵工程采用批式发酵; 仅有上海市浦东新区生态有机肥料中心大型沼气项目为正常运行的半连续进料式沼气干发酵工程, 该工程

日产沼气 1 000 m³, 日产有机肥 22.5 吨, 采用液压和无轴绞龙联合输送的进料方式, 抽真空方式出料, 慢速螺旋推进式搅拌, 该工程采用的设备较为可靠, 这是该工程能正常运行的关键之一。

但沼气干发酵工艺工程的推广应用仍然存在一些困难。一是物料浓度高, 造成反应中间产物在介质中传递、扩散困难, 从而形成反馈抑制; 二是物料黏度大, 使得进出料和混合搅拌都比较困难; 三是物料的结构、组成以及颗粒大小等呈不均匀性, 使得系统运行难以控制, 连续运行不稳定。

1.2 发酵温度

目前, 处理畜禽养殖废弃物的沼气工程中, 还多采用着没有高温发酵的工程。在调研的 97 处沼气工程中, 采用常温发酵的沼气工程有 64 处, 占总比例的 66.0%; 采用中温发酵的沼气工程有 28 处, 占总比例的 28.9%; 既有中温发酵又有常温发酵的沼气工程有 5 处, 占总比例的 5.2%。采用常温发酵的大多是地下水压式沼气池和处理养殖舍冲洗污水或经固液分离后污水的工程。另外, 采用的发酵温度与沼气工程建设地的气候特征和沼气利用途径有关, 例如在辽宁省调研中发现: 正常使用的 3 处沼气工程中有 2 处采用中温发酵, 另 1 处则是地下 ABR 工艺, 为常温发酵。而在广西壮族自治区的调研中发现, 7 处沼气工程中 6 处为常温发酵, 在 11 处以集中供气为主要沼气利用方式的沼气工程中, 有 7 处采用中温发酵。

1.3 沼气发酵罐增温方式

目前我国沼气工程常用的加热方式有: 发电余热加热、沼气锅炉加热、燃煤热水锅炉加热、太阳能加热, 电热膜加热和地源热泵加热等^[6]。

本次调研的 97 处沼气工程中, 正常使用加温设施的沼气工程仅有 26 处, 其中使用沼气锅炉加热的有 11 处, 使用发电余热加温的有 9 处, 使用

燃煤锅炉加热的有 2 处, 使用太阳能加热的有 1 处, 使用沼气锅炉和发电联合加热的有 1 处、使用太阳能发电余热和沼气锅炉联合加热的有 1 处, 另外有 8 个工程的加热装置没有正常使用 (建设中温发酵装置的工程有 34 处)。调研的工程中, 容积产气率大于 1.0 m³/m³·d 的沼气工程只有 10 处, 占总比例的 10.3%, 占采用中温沼气发酵工程的 35.7%。所以说, 加热装置的运行效果不理想。

另据中国农业大学对北京地区 38 处沼气工程的调查, 采用燃煤锅炉加热的沼气工程占总比例的 80%以上, 在 2010 年冬天有 12 个工程由于达不到正常发酵温度而停止运行^[2]。据中国农业大学对山东省三个市沼气工程的调查, 在使用加热措施的 28 处沼气工程中, 使用燃煤锅炉的有 13 处, 太阳能加热的有 7 处, 发电余热加温的有 7 处, 沼气锅炉加热的有 7 处^[3]。

可以看出, 在正常运行的沼气工程中, 使用燃煤锅炉加热方式的仍然占很大比例; 使用太阳能加热的也占有一定比例, 但因其设备运行稳定性以及气候条件方面的限制, 仅在我国青藏高原地区和黑龙江省应用较广泛。虽然使用沼气锅炉和发电余热加热在理论上是很经济的、环保的加热方式, 但由于沼气发酵原料来源不稳定等原因, 这两种加热方式效果不好。由于沼气发电机热效率的限制, 采用发电余热加热方式也仅在装机容量较大的沼气工程中才有很好的加热效果。

2 沼渣沼液处理利用现状

对于沼渣沼液的处理和利用方式有很多, 但根据其处理技术和利用方式, 无外乎三种模式: 还田模式、自然处理模式和好氧处理模式^[7]。

2.1 还田模式

沼渣沼液用于农田可提高土壤肥力, 改善土壤

性能, 还田可以实现养分循环利用, 是一种传统的、经济有效的处置方法, 可达到污染物零排放。从调研情况来看, 97 处沼气工程中有 51 处将沼渣沼液采用了还田处理模式, 占总比例的 52.6%。采用还田模式比例较高的原因主要是该模式建设成本和运行成本都较低。但是从文献资料 and 实际调研情况来看, 用于沼渣沼液还田的土地面积普遍不足, 造成土壤过度施肥, 可以说还田面积不足是我国养殖场沼气工程沼渣沼液还田利用中最严重的问题。其次, 由于畜禽饲料中添加了大量微量元素, 畜禽粪便中重金属含量较高, 所以经沼气发酵后的沼渣沼液中重金属含量也较高, 也会对沼渣沼液还田利用带来一定的风险。另外, 沼渣沼液输送的问题也影响沼渣沼液的还田利用。

2.2 自然处理模式

畜禽粪污经过厌氧消化(沼气发酵)处理后, 再采用稳定塘(氧化塘)、人工湿地或砂滤系统等自然处理系统对厌氧消化液进行后处理。沼液自然处理的优点是: 运行管理费用低, 投资少, 能耗少; 污泥产生量少, 不需要复杂的污泥处理系统; 操作简单, 管理方便, 对周围环境影响小, 无噪音。沼液自然处理是一种较经济的污水处理方法, 但在具体操作时, 自然处理系统也存在很多的问题, 如占地面积大且水力停留时间长, 在土地资源紧张的地区不适用; 系统处理效果受季节气候变化的影响大, 低温(冬季)效果较差; 有污染地下水的可能。

根据调研结果统计, 共有 22 个沼气工程在沼气发酵之后采用自然处理模式处理沼液, 自然处理模式的使用率为 22.7%。而在采用自然处理模式处理沼液的 22 个工程项目中, 均建设有氧化塘, 建设有人工湿地的为 9 处, 建设有人工砂滤系统的仅为 1 处。在这 22 个自然处理工程中, 有 12 个工程对处理后的污染物指标进行了测试分析。在测试的

12 个工程中, 处理后的沼液污染物指标全部达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001)的有 8 处, 达标率为 66.7%; 在剩余 4 处沼液未达标的工程中, 有两处是 COD、NH₃-N 均不达标, 1 处是 COD 达标而 NH₃-N 未达标, 1 处是 NH₃-N 达标而 COD 不达标, 其中 NH₃-N 超标较多。测试的 12 个工程中, 出水 SS 和 BOD₅ 均达到了排放标准。

2.3 好氧处理模式

相比于还田模式和自然处理模式, 好氧处理模式处理效果稳定, 占地少。在土地紧张地区, 沼液好氧后处理无疑是沼液还田和沼液自然处理模式的良好替代^[8]。目前用于畜禽养殖沼气工程沼液好氧处理的工艺主要有: 生物膜法、活性污泥法中前置缺氧-好氧生物脱氮工艺(A/O)、序批式活性污泥法(SBR)等^[9]。

在所调研的 97 处工程中, 采用好氧处理模式的工程共有 24 处, 占有所有工程的 24.7%, 处理工艺主要为生物接触氧化法、活性污泥法中的 SBR 和缺氧-好氧法(A/O), 其中以 SBR 工艺应用最多, 占有所有好氧工艺的 20.8%; 从好氧池的大小来看, 以体积为 100~1 000 m³ 的中型工程为主。有 15 处工程并未进行水质监测, 好氧处理工艺大多处于无人管理或任意运行的状态。从出水的水质看, 以我国《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001)为标准, 6 处工程出水悬浮物 SS 可达标, 6 处工程 COD 可达标, 7 处工程 BOD₅ 可达标, 7 处工程氨氮含量可达标, 3 处工程总磷含量可达标, 总体上仅有 5 个工程出水水质可达标, 占有所有好氧处理工程的 20.8%, 其中 2 个工程未进行出水总磷监测。

在调研的工程中, 由于粪污量较大, 大部分工程沼液出水达标的工程均同时采用两种或两种以上的处理利用模式, 以降低由于季节性或突发情况带

来的出水达标压力。而出水难以达标的工程主要是由于处理模式单一、好氧池设计池容偏小、混合液碱度不足导致处理过程 pH 值过低等。

3 畜禽粪污沼气工程存在的主要问题

尽管各级政府与养殖业主对畜禽养殖场粪污处理投入了大量资金,做了大量工作。但是,畜禽规模养殖的粪污治理仍然存在许多困难,制约着规模养殖的发展。主要表现在以下几个方面。

3.1 沼气工程施工质量较差

前几年建设的畜禽粪污处理沼气工程中,施工质量较差的问题在各地都有不同程度存在,经常出现发酵原料不能正常进出、发酵装置保温效果差、沼气生产装置与管道跑气漏气等现象。主要原因在于:一是许多沼气工程施工建设单位不是专业单位,施工建设经验不足,当国家对沼气工程建设进行较大规模补贴时,大量企业进入沼气工程设计建造领域,这些企业大多没有经验,工程质量难以保证;二是监管不严,沼气工程建设监管责任不明确,许多沼气工程没有经过竣工验收就投入使用;三是建设资金不足,由于配套资金没有足额到位或业主克扣工程款项,导致施工单位偷工减料,工程粗制滥造;四是沼气工程专用设备开发不足,装备水平低,配套设备制造质量差、故障率高,缺乏系统化的成套设备和标准化设备,设备与工艺不配套,不能保证沼气的长期稳定和可靠运行。

3.2 养殖场不重视粪污处理的运行管理

目前仍有一部分养殖场业主只重视产出效益,不重视环境效益。虽然建设了粪污处理设施,但是忽视设施的运行管理,或者因为运行费用高而停止运行,导致一些粪污处理设施成了摆设,并没有起到真正的作用。许多养殖场粪污处理设施的管理人

员并不是专职人员,而是由养殖场内其他员工兼任,有些养殖场甚至没有负责粪污处理设施的操作人员。即使有专职的粪污处理操作人员,文化程度和技能水平都不高。在许多大型规模猪场中,营养、疫病和育种的管理人员已经是畜牧、兽医专业的硕士、博士,但是粪污处理的管理人员几乎没有硕士,环境工程专业的本科生也很少。当然,也存在环境工程、给排水专业的本科生、硕士不愿意到猪场工作的现实问题。

3.3 沼渣沼液完全利用困难

液态粪尿污水特别是沼气化处理后的沼渣沼液是优质的有机肥,循环利用于农田可以增加土壤肥力,减少化肥的施用,达到营养物质循环利用与污染物“零排放”,是一种典型的生态良性循环模式。但是调查发现,仅有小部分猪场粪污沼气化处理后的沼液能被完全利用,大部分猪场都是部分资源化利用。在沼液还田利用的实际实施过程中,存在许多困难。一是养殖场没有足够的、可以支配的土地可以消纳粪污,一个出栏万头的规模猪场,需要3 000亩左右的土地消纳粪污,养殖场自身基本上没有这么多的土地,周围的土地属于分散的农户,很难协调过来用于消纳粪污。二是种植业效益低,农民不愿意种地,致使土地消纳能力下降。三是农民施用沼渣沼液的积极性不高,由于沼渣沼液养分含量较低,体积大;无害化程度低,臭味大;处理过程的劳动率低,劳动强度大,这“三低三大”增加了沼渣沼液使用的人力和物力,其人力消耗大约是使用化肥的10倍,农户一般不愿意利用。四是缺乏资源化利用的标准,我国目前还没有制订畜禽养殖粪污资源化利用的标准,环保部门往往套用《农田灌溉水质标准》(GB 5084-2005),要求化学需氧量(COD)小于200 mg/L,其远远严于排放标准,养殖企业根本无法达到。相当多的养殖场因为处理出水不能达到《农田灌溉水质标准》,而使粪

污处理设施得不到环保验收。

3.4 沼液处理技术缺乏针对性

在调研的沼气工程中,沼气工程产气效率不高,沼液自然处理和好氧处理效果较差,完全达标率比较低。造成处理效果差的主要原因有很多。一是由于养殖废水水量大,升温保温困难,冬季发酵温度低,产气效率不高、甚至不产气。二是沼液好氧后处理单元采用的处理工艺如普通活性污泥法、接触氧化法,不适应沼液高氮低碳的特点,大部分工程只考虑有机物的负荷,没有考虑到氨氮的负荷,设计的好氧池容积普遍偏小,曝气量不足,导致沼液好氧处理不达标;另外沼液的碱度不足,处理过程pH值下降,碱度不能平衡,也是沼液好氧后处理不达标的重要原因,许多好氧处理单元基本没有起作用,还需要进一步采用氧化塘进行后处理才能保证基本达标。三是沼液自然处理的工程没有考虑氮的去除,设施面积严重不足,一个出栏万头的猪场采用氧化塘、人工湿地进行净化处理,需要土地大约50~100亩,而大部分处理工程只有10亩左右。

4 建议

4.1 建立沼气建设补贴与终端产品补贴相结合的机制

通过市场化和产业化方式推动沼气工程发展。逐渐从前端补贴向终端补贴延伸,推行产品补贴,比如集中供气补贴、沼气发电补贴、沼渣沼液利用补贴等,建立建设补贴与终端产品补贴相结合的机制,调整补贴环节和补贴对象,既发挥国家投入“四两拨千斤”的作用,又确保沼气工程管理运营者获得长期稳定收益,激发企业管好、用好沼气的动力,吸引更多的投资者投身到沼气的建设与发展中,通过市场化和产业化方式推动沼气事业发

展,壮大沼气产业。

4.2 完善项目管理运行机制

建议进一步完善畜禽养殖粪污处理工程建设管理机制,切实加强监管,实施奖惩制度,保证工程建设质量,提高粪污处理工程的运行管理水平,充分发挥工程运行效率。一是建立粪污处理沼气工程行业资质准入制度,有效保障参与沼气建设的设计、施工、监理单位和关键设备生产企业的水平,切实提高产品和服务质量,开展信誉评价,提出奖惩措施。二是加强沼气工程建设质量监督和关键产品设备质量监管工作,保证沼气工程建设质量。三是国家出台政策,通过资金、税收、资源化产品补贴等措施鼓励成立畜禽粪污处理工程的专业化营运公司,对规模养殖场粪污工程进行专业化管理,公司通过收取粪污处理费、出售处理过程获得产品收益(如沼气、电、有机肥)以及获得产品补贴等维持营运。

4.3 推行适用于不同养殖场的粪污处理利用模式与技术

在远离城市、经济不发达、土地宽广的地区,那里有足够的农田消纳粪污(沼液),特别是种植了常年施肥作物如蔬菜、水果、经济林的地区,粪污处理可采用沼气—还田模式。离城市较远、经济欠发达、气温较高、土地宽广的地区,那里地价较低,有滩涂、荒地、林地或低洼地可建设废水自然处理系统,粪污处理可采用沼气—自然处理模式,自然处理系统采用氧化塘与生物砂滤池工艺。地处大城市近郊、经济发达、土地紧张的地区,没有足够的农田消纳粪污(沼液),粪污处理可采用沼气—好氧处理模式,处理工艺可采用厌氧—加原水—间歇曝气工艺或者基于浓稀分流的猪场粪污处理工艺。

参考文献

- [1] 农业部科技教育司, 农业部农业生态与资源保护总站. 2012 年度全国农村可再生能源统计汇总表 [R]. 北京: 农业部, 2013:9-10.
- [2] 唐雪梦, 陈理, 董仁杰, 等. 北京市大中型沼气工程调研分析与建议[J]. 农机化研究, 2012(3):206-209.
- [3] 谢晶, 陈理, 庞昌乐, 等. 山东省沼气工程发展调研报告[J]. 中国沼气, 2012, 30(4):41-44.
- [4] 王飞, 蔡亚庆, 仇焕广. 中国沼气发展的现状, 驱动及制约因素分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 184-189.
- [5] 梁芳, 包先斌, 王海洋, 等. 国内外干式厌氧发酵技术与工程现状[J]. 中国沼气, 2013, 31(3):44-49.
- [6] 李磊磊, 郭勇, 秦娜娜, 等. 沼气伴热研究进展 [J]. 环境工程, 2011, 29(4):125-129.
- [7] 邓良伟. 猪场废水处理新工艺研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007:23-25.
- [8] 刘刈, 宋立, 邓良伟. 我国规模化养殖场粪便污到处理利用现状及对策[J]. 猪业科学, 2011, 28(6):30-33,42.
- [9] 高廷耀, 顾国维, 周琪. 水污染控制工程下册 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007:101-105.