Integrative Evaluation of Power Generation Biogas Engineering in Hoggery

Rui Xu[1, 2], Yu Ma[1], Guangliang Tian[1], Fang Yin[1], Yubao Chen[1], Wudi Zhang[1, 3], Jianchang Li[1, 4], Shiqing Liu[1]

[1] *Provincial Key Laboratory of Rural Energy Engineering, Kunming, China*
[2] *Key Laboratory of Advanced Technique and Preparation for Renewable Energy Materials, Ministry of Education, Kunming, China*
[3] *Engineering Research Center of Sustainable Development and Utilization of Biomass, Ministry of Education, Kunming, China*
[4] *Provincial Key Laboratory of Bioenergy and Environmental Biotechnology, Kunming, China*
Email: wootichang@163.com

Abstract: This study aims to evaluate the effects of one power generation biogas engineering which adopted the 4F ecological model in a middle scale hoggery. Waste water from the hoggery is used as material of biogas fermentation. This biogas engineering can treat the totally 40t waste water discharged by 8000 pigs every day, and can produce biogas 1,800m^3/d and generate electricity 2,700kWh/d as well as provide biogas for one canteen and 20 peasant's families. Besides, good demonstration effect and significant economic effect, social effect and ecological effect can be shown from this project through the implementation of ecological agriculture actions.

Keywords: biogas engineering; power generation; 4F ecological model; CDM

养猪场沼气工程发电项目综合效益评价

徐 锐[1, 2]，马 煜[1]，田光亮[1]，尹芳[1]，陈玉保[1]，，张无敌[1, 3]李建昌[1, 4]，刘士清[1]

[1]云南省农村能源工程重点实验室，昆明，中国，650092
[2]教育部可再生能源材料先进技术与制备重点实验室，昆明，中国，650092
[3]生物能源持续开发利用教育部工程研究中心，昆明，中国，650092
[4]云南省生物质能与环境生物技术重点实验室，昆明，中国，650092
Email: wootichang@163.com

摘 要：作为中型畜禽养殖场粪便沼气工程发电项目，该工程采用 4F 循环经济模式，实现了存栏 8,000 头养猪场每日排放的全部 40t 粪便废水的处理；实际日产沼气量 1,800m^3，发电量 2,700kWh；同时供应沼气给猪场食堂和周边 20 户农户，帮助其解决了生活用能问题。该项目通过生态农业技术的引入，使项目本身取得了较好的示范作用并获得可观的经济、社会、生态效益。

关键词：沼气工程；发电；4F 循环经济模式；CDM

1. 引言

随着饲养技术、防疫能力和管理水平的不断提升，以及由此带来的生产效率和饲料转换率的提高，我国畜禽规模化集中养殖逐渐达到产业发展高潮，迎来了高速发展时期[1]。而随着养殖规模、养殖方式和分布区域的变化，畜禽养殖污染呈现总量增加、程度加剧和范围扩大的趋势，给环境带来了巨大压力[2]。与此同时，农村面临能源短缺，化肥、农药使用过量，种植业成本增加等问题[3]。因此，如何推进现阶段农村能源建设，同时加强畜禽养殖业的污染防治和环境保护，已经成为新农村建设工作的重要任务。

沼气技术恰好能够解决这一难题，不仅可获得清洁能源，还能处理废弃物，变废为宝，改善环境，提高清洁能源比重，实现环境友好的能源开发。云南师范大学开发的 4F 循环经济模式综合了燃料（fuel）、肥料（fertilizer）、饲料（feeding）、食品加工（food）等产业的特点，结合物质能量循环利用理论，将能源建设、生态建设、环境建设、节能减排等有机结合起

由科技部农业科技成果转化资金项目(2009GB2F300348）”和“中国烟草总公司云南省公司科技计划项目(09YN019）联合资助。

来，形成了促进了生产发展和生态文明建设的生态农业新模式[4]。本项目即以该模式为基础，结合项目地点的实际状况，发展沼气工程的同时考虑优化农村产业结构和农村环境保护，希望籍此为今后大中型沼气工程建设和生态农业发展摸索出一条新的途径。

2. 项目基本情况介绍

楚雄明宏生态科技有限公司是云南省龙头企业，因坚持环保理念成为行业表率。在地方政府和农业部国债项目的联合支持下，于 2008 年委托云南师范大学能源与环境科学学院设计了其下属明宏养猪场的粪污处理沼气工程，并于 2009 年 12 月 31 日并网发电，正式投入运行。

2.1 项目地点

位于距离楚雄市 18km 的东华镇。海拔 1,860m，水资源丰富。年平均气温为 15.6℃，最冷月（1 月）平均气温在 8.3℃；最热月（6 月）平均气温 21.0℃；无霜期为 242d。年均降水量 800~850mm，且主要集中在 7 月至 10 月。处于日照高值区，年均日照为 2,364.5h。其地理条件和气候条件均适合实施沼气工程。

2.2 项目规模

实现日常存栏 8,000 头猪养殖场日排放 40t 粪便废水的全部处理。沼气池设计总容积 1,600m^3，设计日产沼气 1,200m^3，日发电量 1500kWh；设计年产有机复合肥 500 吨、有机商品液肥 600 吨、提供液肥 1,000 吨；剩余沼液进行好氧和深度处理，达到农田灌溉水质标准，提供区域农田灌溉用水。

2.3 工艺选择

根据对发酵原料的要求，大中型沼气发酵工艺可分为两种类型[5]：其一是先固液分离，固体做有机复合肥，液体进行厌氧消化回收能源；另一种方式则为先混合发酵，再进行固液分离，固体加工有机复合肥。固液分离的先后，决定了可选用的厌氧消化工艺。为此，研究人员对固液分离对沼气产量的影响进行了对比：

从表 1 的结果可以看出，在相同原料质量的情况下，固液分离后的液体发酵产气率较低，而混合发酵的沼气产量比前者高出 1.8 倍。因此，采用混合发酵对于回收沼气能源较为彻底。结合当地实际情况和基本条件，本项目最终确定采用太阳能增温的中温 CSTR（Continuous-flow stirred tank reactor 全混合发酵）工艺。

Table 1. The influence of solid - liquid separation on biogas yield
表 1. 固液分离与否对沼气产量的影响

组别	原料情况	发酵时间 (天)	总产气量 (ml)	产气率	
				m^3/m^3·d	m^3/t 原料
实验 1	固液分离	10	4100	0.51	7.3
实验 2	混合料液	15	12277	0.91	20.5

2.4 工艺流程（图 1）

2.5 运行状况

经过近一个月的调试和试运行，工程于 2009 年 12 月 31 日正式投入运行，并且并网发电。稳定运行后厌氧发酵系统温度被控制在 30℃±2℃的中温环境，实际日产沼气达到 1,800m^3，池容产气率达到 1.125，安装 1,400kW 发电机组两台，实际日发电量达到 2,700kWh，同时供应沼气给猪场食堂和周边 20 户农户，帮助解决其生活用能问题。厌氧发酵液经好氧工艺和生态湿地处理后出水实现达标排放。此外，该工程已于 2008 年签署碳汇协议，最迟将自 2012 年起获得碳汇收益。

3. 成本及综合效益分析

3.1 工程投资

工程总投资约为 562 万元，其中：粪便废水的收集与预处理工程设施投资 9 万元；厌氧消化系统投资 146 万元；800m^2 平板太阳能集热器并配置 100m^3 水箱投资 75 万元；沼气发电及利用系统投资 72 万元；固体、液体有机肥生产系统投资 194 万元；附属设备与设施建设投资 39 万元；研发费及不可预见费 27 万元。

3.2 经济效益

工程显性年收益约为 115.5 万元，增加隐性年收益（包括减免排污费、CDM 收益）后约为 158.5 万元。基本构成如下：（1）沼电：日发电量 2700kWh，上网电价 0.58 元/kWh，则沼电年收益约为 57.2 万元；（2）沼气：集中供气 80m^3/d，单价 0.8 元/m^3，则沼气年收益约为 2.3 万元；（3）高效有机复合肥：年产量 500t，单价 600 元/t，则年收益约为 30 万元；（4）高效有机液肥：年产量 600t，单价 400 元/t，则年收益约为 24

万元；（5）普通液肥（沼液）：年提供量 1,000t，单价 20 元/t，则年收益约为 2 万元；（6）排污费减免：15 万元；（7）该工程年减排 CO_2 量约为 3,500 吨[6]，按国家发展与改革委员会规定的每减排 1 吨二氧化碳的最低交易价为 8 欧元计，其 CDM 收益为 28,000 欧元。因此，即便按显性收益计算，该工程静态回收期仍不超过 5 年。

3.3 社会效益

工程还取得了可观的社会效益：（1）为《畜禽养殖业污染物排放标准》和《畜禽养殖业污染防治管理办法》等畜禽环境管理政策法规的推行提供了技术保障和示范；（2）在环保法规推行的同时，提供投资和技术、信息服务项目，说明政府在环境管理方面既要“堵”、也要“疏”，表明了政府在协调环境保护与经济发展关系方面的一种负责任的态度，有利于树立政府的良好形象；（3）有利于改善中国政府在国际上的环保形象，减少国际上对我国的环保压力；（4）提供清洁、优美的环境，减少污染，提高人民的生活质量；（5）促进有机农业的发展，为广大群众提供安全、健康的食品；（6）增进出口，消除国际贸易绿色壁垒；（7）通过工程建设，扩大内需，带动建材行业的发展，同时推动了项目所在地农村经济和相关行业的发展；（8）扩大就业。项目建成后，约需 10 名管理和运行操作人员，70 名相关行业人员。

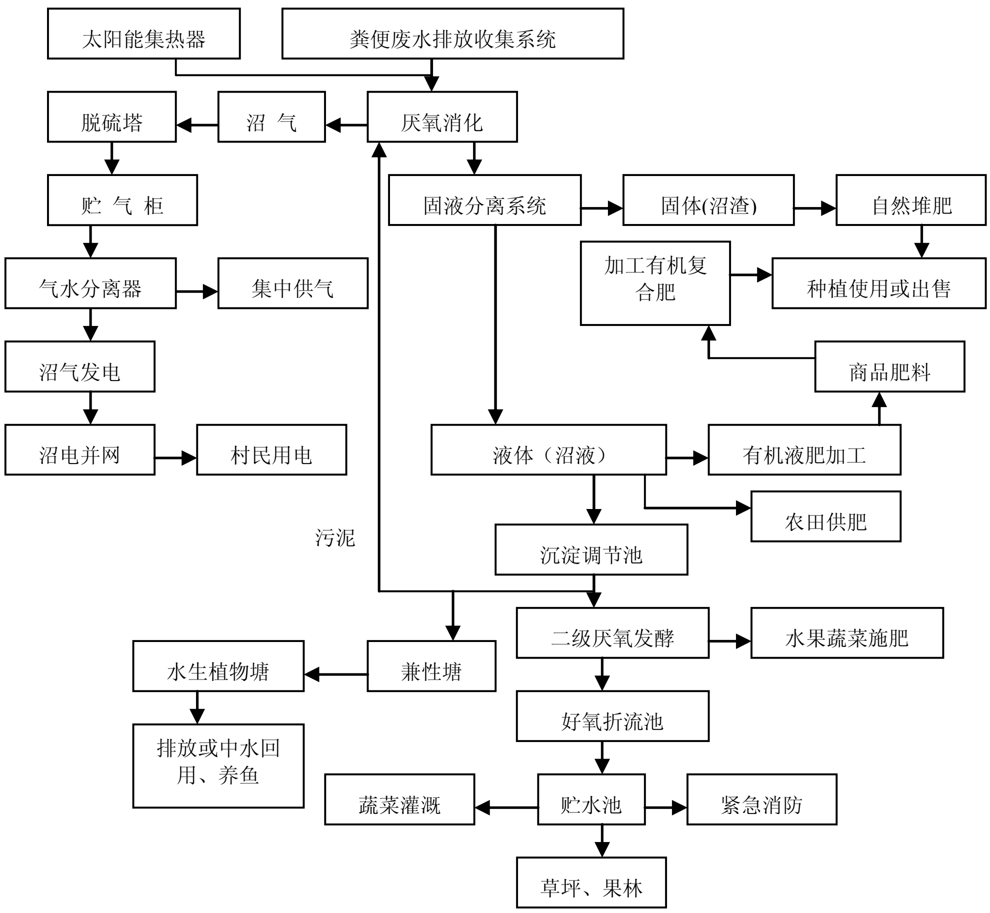

Figure 1. Technics process of the demonstration project

图 1　项目工艺流程

3.4 环境和生态效益

通过该沼气工程发电项目实施，可有效减少粪便污染物的排放，项目区的环境得到明显改善：（1）减少疾病传播，降低感染人群的发病率和死亡率；（2）减少饮用水的净化费用，避免过多的有机废弃物排放导致的环境污染；（3）替代化石燃料，工程的实施可

978-1-935068-17-4 © 2010 SciRes.

减少相当于 3,500 吨的二氧化碳排入到大气中；（4）沼液、沼渣的利用有效改善了农产品品质的同时显著减少了化肥和农药用量，遏制了化肥农药对环境的污染，有利于保持生态平衡；（5）减少了森林砍伐，户均节柴量达到了 3t/a。

4. 分析与总结

4.1 沼气工程基本原则

通过该工程的建设，我们简单总结出设计和实施大中型养殖场畜禽粪便沼气工程的基本原则：（1）减量化：要治理好畜粪污染，必须从污染的源头抓起，必须有效的削减污染总量。猪粪实行干清粪工艺，把冲棚、冲凉水减少到最低限度，从而减少治污费用，达到将污染源控制在最低限度的目的；（2）无害化：选用先进工艺技术，所有污水经过严格厌氧发酵过程，实现去除污水中的 CODcr90％左右，TS 分解率 50％左右，病原菌和虫卵杀灭率 96％以上，细菌指标达到卫生防疫要求；（3）资源化：粪便治理后作为花卉、蔬菜、大田作物的有机肥，节省大量农药和化肥，增产增收；沼气经过发电，供应猪场日常运行的用电，剩余沼电可以并网发电；沼液固液分离后产生的沼渣晒干粉碎后制成饲料添加剂或有机复合肥原料。整个工程应该是变废为宝，资源全面利用的示范工程；（4）生态化：该项目选用的先进污染治理工艺和 4F 循环经济模式，形成了“猪→污→沼→饲→菜→猪”的生态平衡系统；田间喷施沼液后，还可修复由于长期施用无机肥导致板结的土壤生态系统。

4.2 工程小结

该工程的实施实现了 4F 循环经济模式，将农产品种、养及加工业形成相互关联、相互促进的产业链条，最终提高农业生产的社会化程度，实现农产品的多环节增值；该工程的建成和运行，还体现了循环经济的理念和可持续发展的运行机制，给企业带来了良好的能源、经济、环境(生态)和社会效益；沼气集中供气，有利地促进周边村落的新农村建设；沼气并网发电，提供绿色能源，改善环境，减少温室气体排放；沼气发酵残留物的商品化开发与利用，增肥、改土、培肥地力，为发展绿色农业、循环水资源利用以及区域可持续发展起到了积极的推动作用。该工程的实施对于开发和利用畜禽粪便等有机废弃物资源，治理环境污染，实现畜牧业资源循环利用，建设节约型社会等都具有十分重要的意义。

References (参考文献)

[1] Chang Yuhai, Cheng bo, Yuan Zhihua, Environmental Impact Assessment and a Case Study on Intensive Livestock Farming [J], *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(S1)，P313-318(Ch).
常玉海，程波，袁志华，规模化畜禽养殖场环境影响评价与实例研究[J]，农业环境科学学报，2007，26(S1)，P313-318.

[2] Ma Hongru, Zhang Yunzhen, Discussion and Analysis of the Droppings Treatment of Poultry Farms [J], *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007, (5), P71-76(Ch).
马洪儒，张运真，家禽养殖场粪污治理技术探讨及分析[J]，农机化研究，2007，(5)，P71-76.

[3] Rui Xu, Rongping Kuang, Even Pay, Hong Dou and Geert R. de Snoo. Factors Contributing to Overuse of Pesticides in Western China [J], *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2008, 5(4), P235-249.

[4] Zhang Wudi, Ma Yi, Yin Fang, Xu Rui, Li Jianchang, Chen Yubao, Liu Shiqing, Xu Ling, 4F Cycle Economic Way and Biogas Engineering on Animal Farm [J], *Yunnan Chemical Technology*, 2010, 37(1), P6-10(Ch).
张无敌，马煜，尹芳，徐锐，李建昌，陈玉保，刘士清，许玲，养殖场沼气工程与4F循环经济模式[J]，云南化工，2010，37(1)，P6-10.

[5] Li Yun, Zhang Jianping, Zhang Wudi, Yin Fang, Xu Rui, Li Jianchang, Effect of Solid-liquid Separation on Energy Recovery from Pig Dung Waste water Treatment [J], *China Biogas*, 2008, 26(3), P26-29(Ch).
李云，张建萍，张无敌，尹芳，徐锐，李建昌，猪粪污固液分离处理对能源回收的影响[J]，中国沼气，2008，26(3)，P26-29.

[6] Li Yu-e, Dong Hongmin, Wan Yunfan, Qin Xiaobo, Gao Qingzhu, Emission Reduction and Financial Analysis of Intensive Swine Farm Using Biogas Digester to Treat Manure and Developed as a CDM Projects [J], *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12), P2580-2583(Ch).
李玉娥，董红敏，万运帆，秦晓波，高清竹，规模化猪场沼气工程CDM 项目的减排及经济效益分析[J]，农业环境科学学报，2009，28(12)，P313-318.