

三段式红泥塑料大型沼气工程在贵州高原山区的应用： 以瓮安县沼气工程为例

陈量¹, 刘德军², 范成五³, 秦松³, 庄凯⁴

(1. 贵州省农村能源管理站, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州省瓮安县农业局能源办, 贵州 瓮安 550400; 3. 贵州省农业资源与环境研究所, 贵州 贵阳 550006; 4. 福建北环环保技术开发公司, 福建 福州 350001)

[摘要] 以瓮安县兴业畜牧发展有限公司沼气工程为例, 介绍了三段式红泥塑料沼气工程在贵州高原山区特殊气候条件下的应用情况。该工程采用红泥塑料厌氧发酵系统及红泥塑料沼气净化、贮存、供气系统, 年处理猪粪污水约 2.2 万 t, 年产沼气 4.44 万 m³, 用于职工和周边村民生活燃料、仔猪舍保温等; 年产沼液 1.8 万 t 作为果园、农田生态园灌溉用肥; 年产粪沼渣 0.2 万 t, 经浓缩、堆肥处理制成有机肥。建立了以沼气为纽带的“猪—沼—粮、菜(果)”立体生态农业生产模式, 生态效益、社会效益及经济效益显著。

[关键词] 红泥塑料; 厌氧发酵; 沼气; 沼气工程; 贵州

[中图分类号] S141.9

[文献标识码] A

Application of Three-stop Red-sludge Plastic Biogas Engineering in Guizhou Highland Mountainous Area: Taking the biogas engineering in Weng'an county as an example

CHEN Liang¹, LIU De-jun², FAN Cheng-wu³, QIN Song³, ZHUANG Kai⁴

(1. *Guizhou Management Station of Rural Energy, Guiyang, Guizhou 550001*; 2. *Office of Energy, Wengan Agricultural Bureau, Weng'an, Guizhou 550400*; 3. *Guizhou Institute of Agricultural Resources and Environment, Guiyang, Guizhou 550006*; 4. *Fujian Beihuan Development Company of Environmental Protection, Fuzhou, Fujian 350001, China*)

Abstract: The application of three-stop Red-sludge plastic biogas engineering in Guizhou highland mountainous area was introduced based on the biogas engineering in Weng'an county in the paper. The biogas engineering with the plastic anaerobic fermentation, biogas purification, storage and air supply system can annually dispose 22 thousand t pig manure sewage, annually produce 43.8 thousand m³ biogas for living fuel of workers and farmers and heat preservation of piglet houses, annually produce 18 thousand t biogas slurry for farmland and annually produce 2 thousand t biogas residues for producing organic manure respectively. The stereoscopic ecological agricultural production model based on a pig-biogas-food (fruit) pattern is of significant ecological, social and economical benefits.

Key words: plastic; anaerobic fermentation; biogas; biogas engineering; Guizhou

改革开放后我国畜禽养殖业飞速发展, 1980—2003 年我国畜禽养殖业在农业产值中所占比例由 18% 增至 34%, 目前, 我国已成为世界上最大的肉、蛋生产国, 禽肉、猪肉和鸡蛋产量均居世界第一^[1]。贵州畜禽养殖业近几年取得了长足的发展, 据省畜牧部门 2008 年统计, 年出栏生猪 500 头、牛 50 头、羊 500 只、鸡 10000 羽以上的规模化养殖场全省有 994 个; 养殖小区及养殖专业户 30883 个。随着畜禽养殖集约化程度不断提高, 排泄物的产生量逐年增加, 加之不同环境条件下畜禽养殖排泄物治理的关键性措施不够完善, 导致运行成本高, 治理难度大, 养殖污水工程处理率低^[1]。根据贵州省农委 2009 年组织全省开展的秸秆资源调查与评价, 贵州省年拥有秸秆可利用资源量约 594.22 万 t, 规模化养殖场(小区)及散户养殖产生约 208.58 万 t 粪尿

污水, 资源没有得到充分利用。

针对贵州省科技厅在瓮安县实施的贵州“猪—沼—粮、菜(果)”生态农业技术集成与产业化示范重大专项中的核心示范区——瓮安县兴业畜牧发展有限公司养殖场现状及规模, 结合当地气候条件及项目设计要求, 经与福州北环环保技术开发有限公司共同实施三段式红泥塑料大型沼气工程^[5], 根据贵州特殊气候条件对工艺进行优化设计, 成功应用于该地区畜禽粪便污水的治理。

1 工程实施

1.1 基本概况

当前, 治理畜禽粪便、污水所采取方法主要有堆沤、烘干、厌氧消化、好氧处理等。其中, 厌氧消化法由于其能耗低、产能多、处理环境好、肥分损失少而成

[收稿日期] 2010-09-01; 2010-10-23 修回

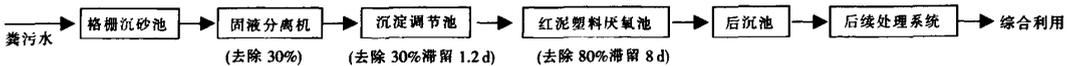
[基金项目] 贵州省科技计划项目“贵州‘猪—沼—粮、菜(果)’生态农业技术集成与产业化示范”[黔科合重大专项(2008)6011]; 贵州省科技计划项目“贵州省农业资源与环境工程技术研究中心建设”[黔科合农 G 字(2009)4001]

[作者简介] 陈量(1968—), 男, 高级农艺师, 从事农村能源及环保工作的管理及技术推广。E-mail: chliang0803@163.com

为畜禽粪便、污水处理的首选方式,应用广泛^[2],但仍然存在一次性投资过大、冬季产气量小等缺点^[3]。

贵州气候温暖湿润,属亚热带湿润季风气候,气温变化小,冬暖夏凉,通常最冷月(1月)平均气温多在1~6℃;最热月(7月)平均气温一般为22~25℃,为典型夏凉地区。降水较多,雨季明显,阴天多,日照少。境内各地阴天日数一般超过150d,常年相对湿度在70%以上。在这种特殊气候条件下,采用厌氧消化法处理畜禽粪便污水需要对发酵工艺条件进行优化控制,才能达到预期效果。三段式红泥塑料沼气工程工艺将完全混合式反应器(CSTR)与推流式反应器(ABR)结合为一体,以提高畜禽废水的厌氧消化处理效率。该方法最早在台湾应用于畜禽养殖粪便污水治理上,并取得成功^[5]。该项技术近几年已推广到马来西亚、泰国等东南亚各国,深受用户的好评。

瓮安县兴业畜牧发展有限公司种猪场采用干清粪工艺,清除率约60%,日排放粪便污水60t,排放量大,污水浓度高。为解决污水排放问题,并将粪污资源化利用,依托科技重大专项项目,利用拉动内需国债资金,在该场建造了污水处理沼气工程,通过厌氧消化方式处理粪便污水。



注:1.依据干清粪性质,设定鲜粪污水COD_{Cr}浓度为15000mg/L;2.图中括号内百分数据为该技术单元的COD_{Cr}降解率;3.污水厌氧滞留时间(HRT)为8d。

Note:1,Setting concentration of COD_{Cr} as 15000 mg/L according to dry dung; 2,Data in the bracket are COD_{Cr} degradation rate of the skill-block; 3, HRT=8d

图1 粪便污水处理主要工艺流程

Fig. 1 The main technical process of fecal sewage disposal

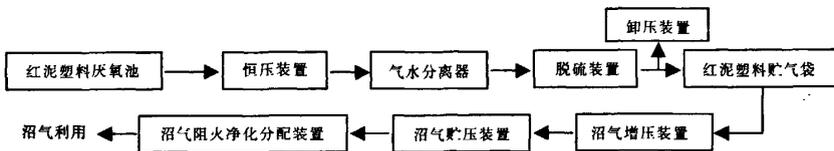


图2 沼气利用主要工艺流程

Fig. 2 The main technical process of biogas utilization

1.3 工艺结构

1.3.1 前处理系统 1)猪舍实行雨污分流。2)实施干清粪工艺,日产日清,清除粪便率50%。3)格栅。拦截粪污水中的长草、长纤维、毛等较大杂物。人工定时清理格栅表面杂物。4)沉砂池。去除粗大固体物及无机可沉固体(砂砾),旁边设置粪渣堆场和推车过道,定期人力清渣。5)集水井。内安装搅拌设备、污泥提升泵和液位自控装置。暂时贮存污水,保证固液分离机正常运行。6)安装平台。安装固液分离机设施。7)固液分离机。利用机械降低污水悬浮固体浓度(SS)、总固体浓度(TS)。8)沉淀酸化调节池。沉淀酸化区池顶设有浮渣排除装置,底部设有倒锥沉井和污泥排渣管;酸化调节区池顶设有浮渣排除装置。利用猪粪污水中容易产生浮渣、

1.2 工艺流程

1.2.1 污水处理 主要工艺流程包括格栅沉砂池、固液分离机和沉淀调节池等6个环节。首先利用盖板沟渠将圈舍清除的粪污水,利用地形自排至安装了格栅(格栅密度20mm)的沉砂池过滤,将固体物提升进入固液分离机,剩余污水在调节池中滞留1~2d进行预发酵,使之处于产甲烷菌初阶段。污水进入红泥塑料池后开始厌氧发酵,发酵后的沼液及少量沼渣进入后沉池,此时的污水中有机物已分解为甲烷和二氧化碳,病虫卵等有害物质基本消灭,但COD_{Cr}浓度仍然在1500mg/L左右,如果周边的农作物能够消纳,则注入部分清水后直接灌溉;如需排放,则进入后续处理系统,通过曝气降解,生物沉降等系列手段,使之COD_{Cr}浓度达到400mg/L以下后进入农田。如果排放自然水域,COD_{Cr}浓度必须达到100mg/L以下(图1)。

1.2.2 沼气利用 在厌氧条件下产生的沼气通过恒压装置使之形成一定的压力,经过脱水、脱硫后,进入贮气装置。根据沼气的最终用途,将气体增压至一定的数值,例如用于炊事等,加压保持至3000~3800p(帕)压力,阻火器主要防止火焰回燃(图2)。

沉渣和水解、酸化快的特点,降低猪粪污水TS、SS浓度,为厌氧发酵做好准备,并调节污水水量、水质(温度、浓度、酸碱度)。上清液通过出口调节器均衡进入后续厌氧装置。浮渣和沉降污泥定期排出进入干化场。

1.3.2 厌氧处理系统 厌氧处理系统是畜禽粪污水处理沼气工程的核心部分,采用的是国家农业部发布的农业行业标准(NY/T1220.1-2006)中《沼气工程技术规范》所推荐的CSTR-ABR的工艺。在厌氧条件下,污水通过微生物作用降解转化,达到污水的减量化、资源化与无害化的目的。红泥塑料厌氧发酵装置根据有机废水的悬浮物浓度和有机物浓度在厌氧发酵装置中其消化过程的梯度设置成多级(前、后)发酵槽。

1) 红泥塑料厌氧前槽。有效容积约 277 m³, 共 3 组。半埋式砖混结构。水体滞留期 4.6 d。拱顶采用 1.8 mm 红泥塑料覆皮。进口设有布水管道, 底部为倾斜结构, 出口设排浮渣槽。2) 红泥塑料厌氧后槽。有效容积约 204 m³, 共 2 组。半埋式砖混结构。水力滞留期 3.4 d。拱顶采用 1.8 mm 红泥塑料覆皮。后槽进口设有布水管道, 出水口处设置平流式沉淀池。3) 红泥塑料厌氧覆皮。考虑到贵州地区降雨集中, 红泥塑料厌氧覆皮设计采用外水封形式, 避免了雨水进入厌氧发酵槽。4) 沼气搅拌装置。在厌氧前槽底部设计搅拌曝气管, 采用压力气体间歇搅拌的方法(搅拌气体为沼气), 较好的解决了沼渣淤积、沼液分层、沼气释放等问题, 提高了厌氧菌活性, 达到提高厌氧发酵效果的目的。

1.3.3 后处理系统 1) 后沉池。有效容积约 21 m³, 共 1 口。半埋式砖混结构。底部设有倒锥沉井和污泥排渣管, 利用沉降性能分离沼液、沼渣。用肥时可直接提取沼液作为农田液体肥料。2) 升流式渗滤池。有效容积约 24 m³, 分 2 组, 共 8 口。可单组交替运行, 也可同时并联运行, 每组由 4 级升流式渗滤池串联。渗滤系统填料选用不同粒径的卵石、粗砂等, 通过合理级配, 达到高效地截留去除污水中悬浮固体和有机物等, 并且具有无动力反冲洗的功能。该技术有成本低(包括建设和运行成本)、出水效果好、操作简单、抗冲击负荷强和运行稳定等特点。3) 污泥浓缩池。约 16 m³, 共 1 口。浓缩后沉池和渗滤池的污泥, 通过潜污泵抽到干化场进行干化。4) 氧化塘。为多级氧化塘, 贮存多余沼液, 多级氧化塘有效深度从 0.4 m 依次加深至 1.5 m, 水体表面种植水生植物等, 通过藻菌共生系统进一步净化水质。

1.3.4 沼气净化利用系统 红泥塑料贮气袋为低压干式柔性贮气, 不受季节、气候影响, 可采用串、并联连接, 随时改变贮气容积, 易搬迁、维护方便、施工简单、安全可靠、使用寿命长。沼气净化采用低压脱硫和高压脱水技术, 整套系统能实现可调恒压供气、容易控制、方便使用, 用气效果稳定。

2 工程运行与效果

2.1 工程运行

工程启动运行后, 粪污水通过格栅、沉砂池、固液分离等物理方法去除杂质, 实现减量化, 调节水质、水量, 降低污水浓度, 然后利用沉淀调节池贮存并调节水质、水量, 使集中、间歇式进水变成均衡、连续性出水。

红泥塑料耐腐蚀、抗老化, 气密性好, 吸热性能优。采用红泥塑料厌氧覆皮能充分利用太阳能, 加热池内污水, 提高发酵温度, 从而提高了发酵速率、降解率和产气率。厌氧发酵槽采取发酵前槽和发酵后槽两厢串联设计, 发酵前槽为高负荷区, 采用

CSTR 结构, 底部为斜井结构, 与一般工艺相比, 布水更合理, 容积利用率高, 实现各池厌氧活性污泥菌群优化、均匀分布、抗毒性强。厌氧发酵效果稳定, 沼气质量好。在红泥塑料厌氧前槽, 发酵料酸化, 初步发酵产生沼气, 及时排出浮渣、沉渣。厌氧后槽为低负荷区, 采用多级串联的 ABR(厌氧折流板反应器)结构。污水经过多次的上下折流, 使污水中有有机物与厌氧微生物充分接触, 通过沼气微生物的活动, 大量降解有机物质并产生沼气, 并保证较好的出水效果。

利用厌氧发酵产生的沼气, 自动鼓起红泥塑料厌氧覆皮; 利用恒压装置稳定厌氧池池内的沼气压力, 从而实现红泥塑料厌氧发酵装置无骨架设计, 降低成本。厌氧发酵过程中产生的沼气, 由沼气收集管进行收集, 通过气水分离器和脱硫塔对沼气进行净化脱水、脱硫, 洁净沼气进入红泥塑料贮气袋贮存。沼气使用时, 增压机自动启动, 将沼气从贮气袋吸出、增压, 进入贮压罐, 使沼气达到高压脱水和输送, 再由调压阀调整到所需压力, 达到恒压供气, 用于职工和周边村民生活燃料、仔猪舍保温等。系统中配置了单向阀, 防止供气端压力过低产生回火。

2.2 工程效果

工程建成后, 经过 3 个月运行结果表明, 可年处理猪粪污水约 2.2 万 t, 年产沼气 4.44 万 m³, 用于职工和周边村民生活燃料、仔猪舍保温等; 年产沼液 1.8 万 t, 作为果园、农田生态园灌溉用肥; 年产粪沼渣 0.2 万 t, 完全可达到经浓缩、堆肥化处理制成有机肥出售的设计目标。

3 工程管理及效益

3.1 工程管理

沼气的建设是基础, 运行管理是关键。在运行管理过程中应重点针对以下 3 种情况加强管理。1) 运行管理人员必须熟悉沼气工程工艺流程和设施, 熟悉设备的运行要求与技术指标, 并经过技术培训。2) 运行管理人员应按工艺和管理要求巡视检查构筑物、设备、电器和仪表的运行情况, 按时准确填写运行记录, 各种设施、设备应保持清洁, 避免水、泥、气的泄漏, 发现运行异常时, 应采取相应措施, 及时上报并记录结果。3) 应定期清理格栅、沉砂池, 定期排出沉淀调节池的浮渣和底泥。

3.2 工程效益

3.2.1 经济效益

年产沼气量 = $W \times 10^3 \times C / 10^6 \times (1 - X) \times (1 - Y) \times Z \times G \times T \approx 4.44$ (万 m³)

年产粪沼渣量 = $\{F_{\text{前}} + F_{\text{后}} \times [X + (1 - X) \times Y] + W \times 0.3\% \} \times 360 \approx 2000$ (t)

式中, W 为日处理污水量(本案为 60 t), C 为粪粪污水 COD_C 浓度(本案为 15000 mg/L), X 为固液分离机 COD_C 去除率 30%, Y 为酸化沉淀调节池

COD_{Cr} 去除率 30%，Z 为红泥塑料厌氧池 COD_{Cr} 降解率 80%，G 为单位重量 COD_{Cr} 产气量 $0.35 m^3/kg^{[2]}$ ， $F_{清}$ 为日清粪量， $F_{未清}$ 为日未清粪量。

1) 收入。年产沼气 $4.44 万 m^3$ ，按沼气价格 1 元/ m^3 计算，年收入 4.44 万元；年产粪沼渣量约 2000 t，按 100/t 元计算，年收入 20 万元。年运行收入合计为 $4.44+20=24.44$ (万元)。

2) 成本。该沼气工程建设成本 120 万元，年人工管理费 12000 元，年维修费 10000 元，年动力费 5000 元，其他 13000 元/年。项目建成当年运行支出合计为 124 万元

3) 成本效益。项目静态回收期为 5.08 年，财务内部收益率为 13.5%。

3.2.2 社会效益 1) 有效地利用养殖业废弃物资源，实现了企业养殖业废弃物的资源化、减量化和无害化，促进了循环经济的发展。利用有机废弃物进行厌氧发酵产生沼气 $4.44 万 m^3$ ，可用于全场 30 名职工炊事和洗浴及周边 20 户村民生活燃料、仔猪舍保温等，解决了猪场及周边村民的生产生活用能问题，大大改善烟熏火燎的炊事环境，节省炊事强度和时，减少了林木砍伐。2) 不仅改善了项目区生产条件和生活条件，还带动了农村经济社会发展，为解决“三农”问题，脱贫致富，建设社会主义新农村，构建和谐社会作出积极贡献。

3.2.3 生态效益 养殖场将建成以种植业为基础，养殖业为主体，沼气为纽带，促进能流物流良性循环的生态养殖场，明显改善农业生态环境，有利促进可持续发展。

1) 净化生产、生活环境。畜禽养殖污水经正常发酵，粪、沼渣生产有机肥料，杀灭病毒、病菌和寄生虫卵，可达到《粪便无害化卫生标准》(GB 7959-87)(寄生虫卵沉降率为 95% 以上，大肠菌值低于 10^{-4})^[7]，减少了对人畜的危害。

2) 净化水环境。项目投产后可年处理猪粪污水约 2.2 万 t，污水 COD_{Cr} 浓度由 15000 mg/L 降低到 400 mg/L 以下，有效的降低污水浓度，达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001)^[8]，改善了水质。污水经发酵产生沼液，作为果园、农田生态园灌溉用肥，达到资源的综合利用。

3) 净化空气环境。可年产沼气 $4.44 万 m^3$ ，沼气的热值约 $20.93 kJ/m^3$ ，标准煤热值为 $29.30 kJ/$

$kg^{[9]}$ ，若完全用于生产生活用能，相当于年节省 31.3 t 标煤。因沼气是清洁能源，降低了烟尘的排放，每年约减排 $SO_2 0.626 t$ 、 $NO_x 0.854 t^{[9]}$ ，同时可以减少因粪便曝弃、堆沤或直接田间施用而产生的甲烷(温室气体)排放。

5 小结

通过本工程的实施，成功地治理了瓮安县兴业畜牧发展有限公司种猪场猪粪污水，净化了环境，减少了人畜病害；获得优质气体燃料，提高了生产生活质量；获得优质有机肥料，形成以沼气为纽带、能流、物流的良性循环和资源多层次、多用途利用的“猪—沼—粮、菜(果)”立体生态农业生产模式，实现能源回收、环境治理和废弃物综合利用，生态效益、社会效益及经济效益显著。表明，在贵州特殊地理气候条件下，三段式红泥塑料沼气工程完全能满足畜禽养殖场大中型沼气工程项目的各项要求。

[参 考 文 献]

[1] 苏 杨. 我国集约化畜禽养殖场污染治理障碍分析及对策[J]. 生态环境, 2005, 14(2): 271-274.
 [2] 周孟津, 张榕林, 蔺金印. 沼气实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 6-7.
 [3] 李淑芹, 胡玖坤. 畜禽粪便污染及治理技术[J]. 可再生能源, 2003(1): 21-23.
 [4] 黄惠珠. 红泥塑料在规模化畜禽养殖场沼气工程中的应用——介绍福建省永安文龙养殖场沼气工程[J]. 中国沼气, 2007, 25(3): 23-26.
 [5] 张 冲, 黄志心, 陈家钊, 等. 红泥塑料厌氧工艺处理猪场养殖污水[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(21): 176-178.
 [6] 张 冲, 肖弘建, 陈 伟, 等. 红泥塑料贮气和供气装置在沼气工程中的应用[J]. 福建农业科技, 2006(2): 73-74.
 [7] 中华人民共和国卫生部. GB 7959-1987 粪便无害化卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
 [8] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 18596-2001 畜禽养殖业污染物排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
 [9] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 2589-2008 综合能耗计算通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

(责任编辑: 杨 林)