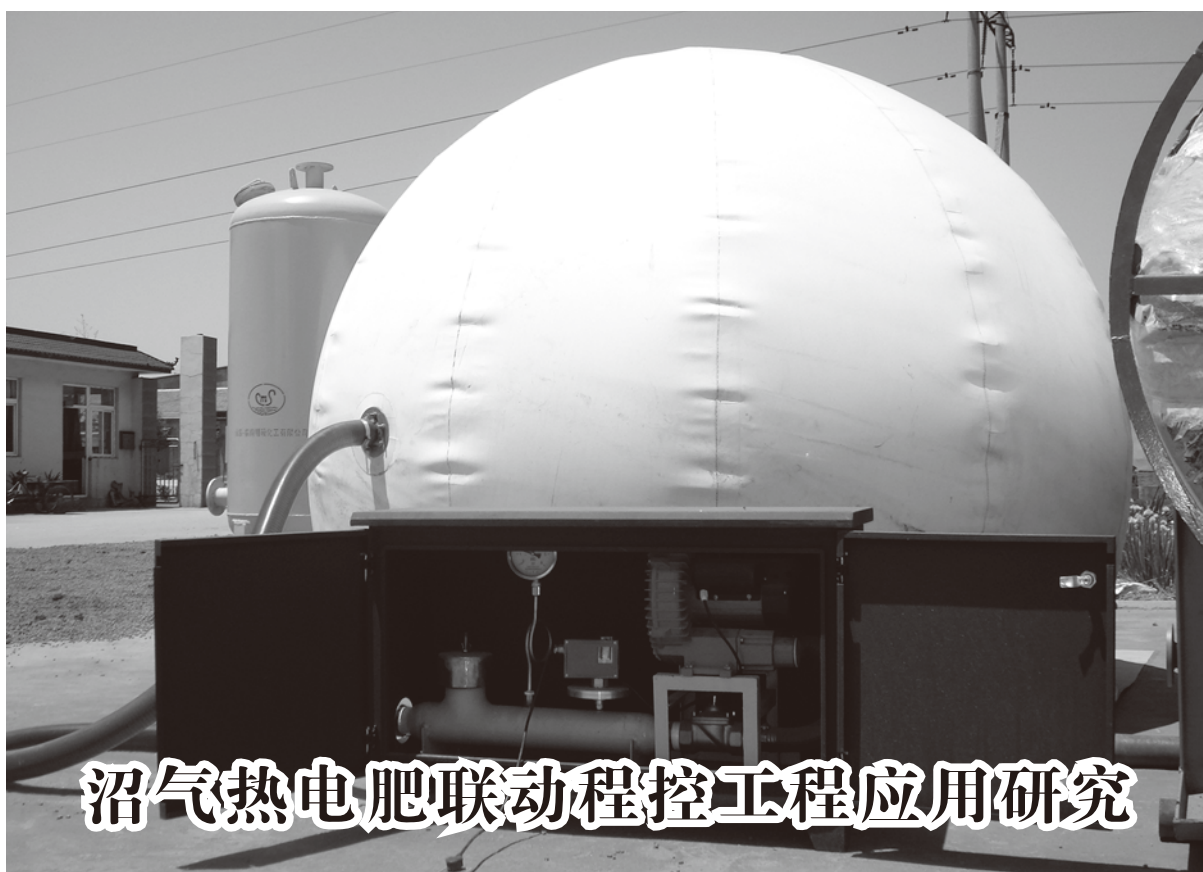




作者：
周祖荣
浙江省温州市农
村能源办公室



沼气热电肥联动程控工程应用研究

摘要：本文通过对浙江省乐清市虹桥镇康顺农业合作社生猪养殖场传统沼气池热电肥联动工程应用研究，阐述该工程11个主要设施和9个关键控制系统在加入互联网远程控制后的应用情况。为今后大中型沼气工程提高投资效益、减轻劳动强度促进管理水平起到借鉴作用。

关键词：沼气工程；热电肥联动；互联网远程控制

1 背景和意义

在全球提倡环保、低碳、新能源利用的大背景下，我国政府对环境污染治理高度重视，每年投入几十多亿资金推广沼气治污工程和“三沼”综合利用工程。近几年，温州市畜禽养殖场大中型沼气工程得到了大力推广，但是，大多数工程从实施的情况看效果不是很理想，主要原因是投资大，效益低，回收慢，运行费用高。如果改用沼气热电肥联动程控工程实现产业化生产，情况就大为改观，沼气热电肥联动程控工程不但集沼气发电、余热利用、有机肥生产为一体，而且智能化互联网远程控制，省工、省时、高质量完成人工不愿干的脏、累、臭工作。

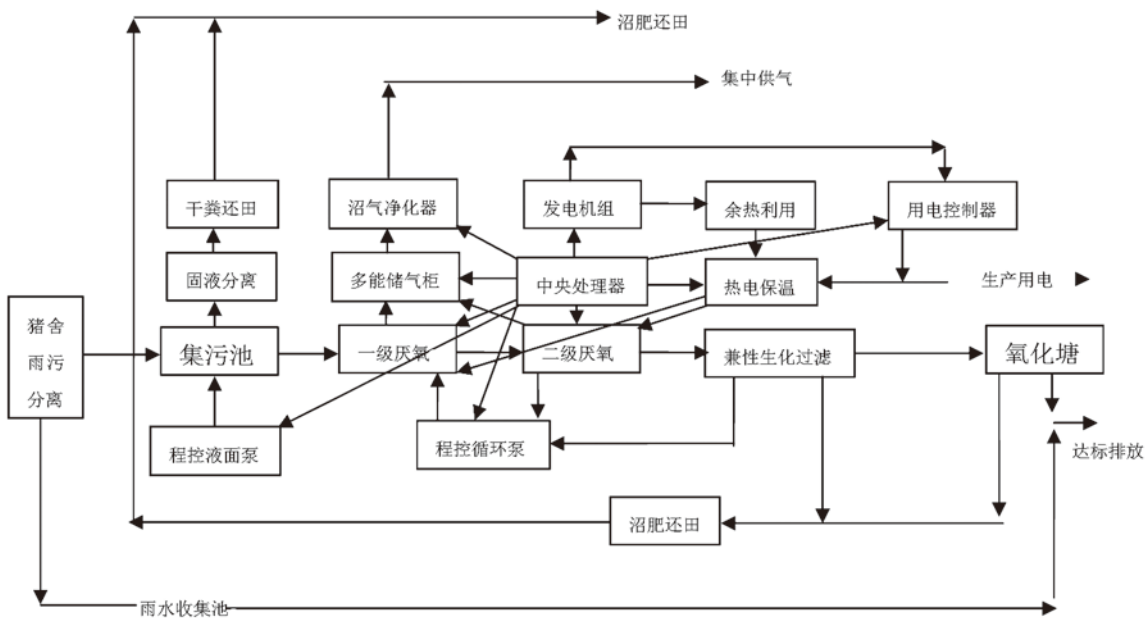
该工程总投资增加不大，而经济效益十分显著。不但为农村面源污染治理作出贡献，实现

了废弃物资源化利用，而且保护了大环境，减轻了国家电网用电压力，解决了居民用电难用电贵的问题，在生态农业的推广上做到化肥、农药减量化和有机沼肥普及化。为我市建设生态农业、经济可持续发展、新能源利用走出了一条可行之路，为克服环境、能源、和经济可持续发展中遇到的突出矛盾找到了一种科学解决办法。

2 工程概况

该工程位于浙江省乐清市虹桥镇康顺农业合作社，合作社年平均存栏生猪7600头、其中母猪存栏600头。日排泄量100吨，其中干粪10多吨作有机肥直接被农户拉走还田，剩余排泄物全部进入热电肥联动智能程控沼气工程系统。

2.1 工艺流程图1



2.2 主要工程设施

2.2.1 雨污分离和干清粪设施

为了减轻后续处理负荷提高排放标准，要求污水最大程度减量化，在猪场建设前同时建设雨污分离系统和干清粪设施。雨水收集渠可用开放式明渠，污水收集管必须用直径200mm以上的波纹管封闭地埋，以防杂物掉进和臭气挥发及滋生蚊蝇污染环境。污水收集管每隔30m设一个检查井兼作清粪井，每二排猪舍之间建一集污口加格栅以方便人工干清粪，建成投产后要做到先清粪后清洗猪舍，尽量节约用水减轻排放压力。

2.2.2 集污池

为了减轻后续处理负荷，在集污池入口处和污水管接口处建一检查井兼清粪井并在集污池入口处设格栅以尽量分离猪场污水中的固形物。本工程集污池为埋地式钢筋混凝土结构，池容150m³，池深3m，池上方安装透明玻璃瓦盖防止雨水和杂物进入，同时吸收太阳能热量增加集污池温度促进污水酸化。

污水液面由液面开关控制，液面达到一定高度时无阻塞潜式高压污泥泵开启，内料液面降至一定位置时自动关闭使集污池料液始终不会溢流。在集污池后续工艺中安装一台固液分离机，定时分离干粪，减轻后续厌氧池负担。

2.2.3 UBS一级恒温程控液流搅拌厌氧池

该池为半埋式地上池，三分之一在地下三分之二在地上，采用这种设计方案主要考虑稳定性和保温性，结构为钢筋混凝土，地上矩型池，池的外围采用10cm厚聚氨酯泡沫板进行保温，池内四周混凝土池壁上安装加热盘管，利用沼气发电机组余热给加热盘管提供热量和安装电热管加热二套设施，使厌氧池常年保持发酵温度在30℃左右的中温范围。

日产沼气在 $500 \sim 800\text{m}^3$ 之间，沼气静态压力 6000Pa ，池底部分安装高压布水器，在运行中起到搅拌和防沉渣作用，池顶部位安装三相分离器，有利于沼气、沼渣、沼液的分离。池的总容量 600m^3 ，总高度 12m 。通过从池底高压一次性推流式进料然后池顶溢出再进入第二级厌氧消化，当进料泵停止后，再开启循环泵阶段性搅拌，实现连续产气。整个厌氧发酵过程的运行管理都由电脑程控完成，如气压、温度、 pH 值、进料、搅拌等。

2.2.4 恒温二级电动搅拌程控厌氧池

该池为地理自流式厌氧池，容积400m³，采用钢筋混凝土结构，地理园型池，内部安装挡泥板，清渣孔，搅拌器和电热管，沼气静态压力6000Pa。经过一级发酵后的料液通过自流方式进入料口、经挡泥板引流慢慢进入二级厌氧池，在池内安装电动搅拌器，在电脑控制下定时搅拌防

止沉渣和结壳并进一步发酵处理。清渣孔位于挡泥板上方,可以定期通过清渣孔检查厌氧池内部沼渣沉淀情况,并定期进行抽渣。每天生产沼气 $100 \sim 200\text{m}^3$,通过输气管道输送到沼气净化系统处理后,集中供给周边农户生活用能。

2.2.5 多功能程控液流搅拌三级厌氧池兼沼气恒压储气柜

该设施主要由混凝土圆柱形储液池 330m^3 、圆柱形钢制储气罩 300m^3 、配重水箱、固定龙门架、避雷针、减压阀、配重块、及高压进料泵、止回阀、管道、开关等组成。下部为钢筋混凝土结构,水封边,上部是圆柱形钢制储气罩 300m^3 ,该池集三级厌氧发酵和储气于一体,用于暂时存放一二三级厌氧池生产的沼气和沼液。电脑通过控制配重水箱重量使沼气静态压力始终保持 6000Pa ,同时也控制高压进料泵间歇进料,并在液流搅拌作用下防止沉淀,使之保持日产沼气在 $100 \sim 200\text{m}^3$ 之间。

2.2.6 生物过滤池

该池为地埋自流式池,采用钢筋混凝土结构,容积 300m^3 ,分三格过滤,第一格内置弹性填料,第二格内置石灰石,第三格内置组合硬性填料。

2.2.7 氧化塘

氧化塘面积 2000m^2 ,水深 0.8m ,局部安装曝气系统,投放黑鱼苗 20000 尾,春、夏、秋三季种植水葫芦给猪场提供绿色饲料,出水达到《畜禽养殖业污染物排放标准》要求。

2.2.8 程控沼气处理设施

该设施主要由脱水器、脱硫器和单向阀、流量表及部分管道、阀门组成。沼气由多功能恒压储气柜经单向阀输送至沼气净化系统,再经二次脱水、脱硫、电脑程控沼气检测仪检测,合格后(硫化氢含量在 $20\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下)经沼气流量表,供沼气发电和农户集中供气。

2.2.9 电脑程控沼气发电机组和集中供气设施

该沼气发电机组采用四冲程全烧式,产地温州,功率 60kW ,耗气率 $2\text{kWh}/\text{m}^3$,满负荷耗气量 $25\text{m}^3/\text{h}$ 。

沼气工程的特点是冬季产气少、夏季产气

多。而集中供气设施的特点是夏季用气少,冬季用气多,二者难以平衡。利用程控沼气发电机形成互补正好解决这一难题,冬季沼气发电机利用余热给厌氧池保温、增温,最冷时还可以用自发电给厌氧池电热增温,确保沼气工程冬季用气正常。

而集中供气设施的另一个特点是一日三餐的固定时间用气,发电机组可以停止发电,让气于民。每当夏季来临当地总是经常拉闸限电,而这时正是产气高峰,可以为企业和周边居民解决用电燃眉之急,同时也杜绝了夏季沼气排空给大气造成二次污染现象发生,更为解决国家电网压力做出贡献。

2.2.10 电脑程控沼气发电余热利用和电热保温设施

乐清市地处亚热带,冬季气温都在 10°C 左右,对沼气生产有一定影响,利用电脑程控沼气发电机产生的余热通过热盘管给一、二级厌氧池加温至 30°C 以上,如温度不够再用电热管增温,实现热电联动功能,使一、二级厌氧池始终保持 30°C 以上中温状态,实现沼气工程在冬季保持稳定的“三高”运行(高产气、高消化、高利用)。

3 关键技术 热电肥联动程控系统

3.1 控制集污池液面系统

控制污水液面高度,不让污水溢出池外,也不让液面过低损坏潜式污水泵,当污水泵堵塞或温度升高时自动切断电源保护污水泵并报警。

3.2 控制UBS一级恒温液流搅拌厌氧池系统

控制厌氧池循环泵运行,不能让进料泵与循环泵同时开启,当进料泵停止时,再开启循环泵并设定时段性搅拌。在运行中控制沼液温度,当温度低于 30°C 时自动开启电热管加热,到了 31°C 时自动停止加热,同时控制压力、温度、和甲烷浓度等。

3.3 控制恒温二级电动搅拌厌氧池系统

当池温低于 30°C 时自动开启电热管加热,到了 31°C 时自动停止加热。控制电动搅拌器定时搅拌防止沉淀和结壳,实现产气最大化。

3.4 控制多功能液流搅拌三级厌氧池兼沼气恒压储气柜系统

控制高压进料泵间隙进料并在液流搅拌作用下防止沉淀,使气柜保持三级厌氧池连续产气作用,控制沼气压力,当沼气压力不够时自动给位于沼气钢罩顶部水箱加水增压,反之放水解压,使之始终保持6000Pa,当储气柜饱和后控制自动排空燃烧。

3.5 控制沼气发电余热利用和电热保温系统
通过控制发动机冷却水流量,保持发动机85℃恒温,继而将余热输送给厌氧池保温。

当厌氧池温度低于30℃时自动开启电热管加热,到了31℃时自动停止加热。

3.6 控制沼气发电机组运行系统

当发电机组运行中,出现水温、机油压力、沼气压力、及每缸运行工况出现异常时,自动报警停机。当发电频率、相位、负荷、电压、电流和调速器、调压器、执行器出现异常时,自动报警停机。并同时记录发电时间、总发电量、输出

功率和故障发生情况,为下一步排除故障提供科学依据。

3.7 控制生产用电流量系统

由于生产用电器功率大小不统一,使用时间不统一,使沼气发电机组很难发挥最大效率。利用电脑程控生产用电器,使之合理分配电流,控制用电器运行情况,当出现超负荷运行、电流、电压异常,自动报警停车。

3.8 控制沼气净化器系统

当沼气中硫化氢、水蒸气成分超标时,自动报警,并要求更换脱硫剂,自动开启放水阀等。当发电机组满负荷运行时自动开启大流量电子供气阀,当怠速运行时自动关闭大流量电子供气阀。

3.9 互联网远程控制系统

电脑全程控制沼气工程11个主要设施和9个关键系统,工作人员通过互联网远程控制、监视沼气工程运行情况,减轻劳动强度提高工作效率。

4 传统工程造价与新增工程造价对比

4.1 表1 传统工程造价与新增工程造价对比

传统工程造价			新增工程造价		
名称	容 积 (m ³)	造 价 (万元)	名称	容 积 (m ³)	造 价 (万元)
雨污分离和干清粪设施		10	集污池液面程序		0.1
集污池	150	15	控制一级恒温液流搅拌厌氧池程序		1
固液分离机		3	控制恒温二级电动搅拌厌氧池程序		1
一级液流搅拌厌氧池	600	60	控制多功能液流搅拌三级厌氧池兼 沼气恒压储气柜		2
二级厌氧池	400	30	控制沼气发电余热利用和电热保温 装置		1
沼气恒压储气柜	330	40	控制沼气发电机组运行装置		12
生物过滤池	300	25	控制沼气净化器		0.1
氧化塘	2000	20	互联网远程控制		1
沼气处理设施		1	总计		18.3
集中供气设施		10			
污水泵		0.3			
曝气机		0.5			
总计		214.8	增加投资		18.3

4.2 运行费支出对比

表2 运行费支出对比

传统工程运行费/年			新增工程运行费		
名称	单价 (元)	金额 (万元)	名称	单价 (元)	金额 (万元)
人工费	80/天/人	2.92	互联网费	年	0.1
清渣费一次/年	35元/m ³	5	发电机组运行费	0.2/度	7.3
维修费	年	1	维修费	年	1
材料费	年	1	材料费	年	1
电费	0.5/度/年	3.65			
传统工程运行费总计		13.57	新增工程运行费总计		9.4

4.3 产气情况对比

表3 产气情况对比

传统工程产气情况			新增工程产气情况		
月份	月产气量 (m ³)	月用气率 (m ³)	月份	月产气量 (m ³)	月用气量 (m ³)
1	3990	3990	1	19950	19950
2	5970	5970	2	19950	19950
3	7980	6384	3	19950	19950
4	9990	5994	4	19950	19950
5	11970	5985	5	19950	19950
6	13980	5592	6	23940	23940
7	15960	4788	7	27930	27930
8	15960	4788	8	27930	27930
9	13980	5592	9	25950	25950
10	11970	5985	10	23940	23940
11	9990	5994	11	19950	19950
12	7980	6384	12	19950	19950
总计	129720		总计	269340	269340

4.4 传统工程收益与新增工程收益对比 (见表4)

4.5 新增投入产出比对 (见表5)

5 工程效益分析

5.1 社会效益

项目实施前该养殖场周边污水横流臭气熏

天, 村民抱怨养殖场业主不顾大家利益破坏环境意见纷纷, 业主抱怨建沼气池投资大, 管理沼气池难, 清渣维护费用高, 经济效益低, 投资划不来没积极性。

该项目实施后, 养殖场污染得到有效治理, 不但减少社会污染提高了环境质量, 而且通过沼气发电, 业主有收益, 后续管理有热情, 畜禽

表4 传统工程收益与新增工程收益对比

传统工程年收益			新增工程年收益		
名称	数量（单位）	金额	名称	数量（单位）	金额
发电	0	0	发电	394680（度）	31.6万元
化肥	100（吨）	20万元	化肥	100（吨）	20万元
农药	10（吨）	10万元	农药	10（吨）	10万元
生活用气	73000（m ³ ）	21.9	生活用气	73000（m ³ ）	21.9
总计		51.9万元	总计		83.6万元
新增工程收益		83.5—51.9=31.6万元/年			

表5 新增投入产出比对

新增投入资金		产出效益	
名称	金额	名称	效益
新增工程造价	18.3万元	减少沼气排空56720立方/年	保护环境
新增工程运行费	9.4万元	新增沼气量139620立方/年	用于发电
		新增发电量394680度	31.6万元
合计	27.7万元		31.6万元

注：当年回收新增工程造价和新增工程运行费外可增加收入3.9万元/年，今后除承担全部沼气工程运行费22.97万元/年外，可增加收入8.63万元/年。

废弃物充分资源化循环利用，实现效益最大化。通过沼气发电和村民集中供气工程减轻了国家电网压力和电网投资，村民生活告别了烟熏火燎时代，让清洁能源走进千万家、走进新农村。使整个村子进入农业生态化，发展持续化、生活幸福化的良性循环。

5.2 环保效益

工程运行前，每天100吨猪场污水只经过简单固液分离后，直排河道，造成河水地表水饮用水严重污染，水中生物因缺氧而死亡，周边环境臭气熏天，整个生态大环境遭到极大破坏。

工程运行后，每天可消纳100吨猪场污水，解决了养殖场产生的大量污水出路问题，有效治理了养殖场污水对周边河流和饮用水的污染。同时该工程的实施为周边农田提供充足的有机肥，减少了农药、化肥的用量、在节约农业成本的同时减少了对地表水的污染。沼气充分利用杜绝了排空给大气带来的二次污染。（减少沼气排空56720m³/年，1m³沼气排空污染相当于24m³二氧



化碳排空)

5.3 能源效益

项目实施前该畜牧场污水只有传统的沼气池和固液分离机,没有建沼气热电肥联动程控工程,能源得不到充分利用有时还排空给大气带来的二次污染。

该项目实施后,一级厌氧池日产沼气 $500 \sim 800 \text{ m}^3$ 之间,二级厌氧池日产沼气 $100 \sim 200 \text{ m}^3$,三级厌氧池日产沼气 $100 \sim 200 \text{ m}^3$,三池累计日均产气 748.17 m^3 ,年产沼气 26.9 万 m^3 每方,年发电 39.5 万 KWh 。可以实现猪粪废弃物的资源化利用,变害为利,变废为宝,能源效益非常显著。

5.4 生态效益

项目实施前农业废弃物基本上没有利用且严重污染环境破坏生态,该项目实施后,可为周边1000多亩农田提供优质有机肥,使农业废弃物得到了循环利用,年减少了农药10余吨、减少化肥用量100多吨,减少对地表水的污染和重金属污染,防止土壤板结,提高农产品品质、提高食品安全质量,提高百姓身体健康。

5.5 经济效益

项目实施前经济效益只有有机肥、农药及生活用气三种,间接投资回报,年累计51.9万元,该项目实施后,三池累计日均产气 748.17 m^3 ,年产沼气 26.934 万 m^3 ,年发电 39.5 万 KWh ,以每度电0.8元(国家规定绿色能源补贴价格)计算31.6万元,加农药约10吨以每吨10000元计算合计10万,加化肥用量约100吨以每吨2000元合计20万,加生活用气 7.3 万 m^3 ,以 3 元/m^3 计算,价值21.9万元,各项收益总计83.5万元。

传统工程投资214万元,新增工程投资18.3万元,传统工程年运行费13.57万元,新型工程年运行费增加9.4万元,新增工程直接收益增加 $83.5 - 51.9 = 31.6 \text{ 万元/年}$,当年回收新增工程造价18.3万

元和新增工程运行费9.4万元外可增加收入3.9万元/年,今后除承担全部沼气工程运行费22.97万元/年外,可增加收入8.63万元/年。

5.6 经济可持续发展效益

该项目实施后,不但为农业可持续发展提供了示范,也为整个人类经济可持续发展提供了方向,为提高土地承载量、环境承载量、人口承载量,经济可持续发展提供可靠科学数据。

5.7 其他效益

该项目实施后,起到了抛砖引玉效果,产生一个全新的集治理农业面源污染,废弃物循环利用,新能源开发,大环境污染治理,社会、经济效益可观的新型农业科技产业链。

6 结论

本文对沼气热电肥联动程控工程总体工艺流程与技术参数以及运行状况进行了系统介绍,对七大效益进行了分析,该工程解决了养殖场污染物的出路问题,实现了废弃物的资源化利用,促进了农业良性循环发展,保护了生态环境。因此该工程有很大的发展前途,项目的成功对沼气工程技术、新能源利用及沼气发电和新型多功能电热肥联动程控沼气池的推广应用都具有重要的现实意义。

