

官雪芳, 徐庆贤, 林碧芬, 等. 智能化大型沼气池高效产气自控系统 [J]. 福建农业学报, 2013, 28 (2): 166-171.

GUAN X-F, XU Q-X, LIN B-F, et al. Automated Industrial Biogas System [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 28 (2): 166-171.

智能化大型沼气池高效产气自控系统

官雪芳¹, 徐庆贤¹, 林碧芬², 林 斌¹, 钱 蕾¹

(1. 福建省农业科学院农业工程技术研究所, 福建 福州 350003;

2. 福建省农业科学院畜牧兽医研究所, 福建 福州 350003)

摘 要: 针对福建省新星种猪育种有限公司的上流式沼气生产系统, 开发智能化大型沼气池高效产气与远程监控系统软件, 通过自动控制发酵温度、发酵浓度和持续的搅拌来提高系统的产气量, 同时使系统具备参数采集、设备控制、自动监测、参数报警的功能, 保证系统安全可靠运行。本文系统地介绍了福建省新星种猪育种有限公司大型沼气池自控系统的总体结构、总体控制策略, 并详细给出了各处理工艺的控制过程。

关键词: 规模化; 沼气工程; 高效; 智能化; 自控系统

中图分类号: S 214

文献标识码: A

Automated Industrial Biogas System

GUAN Xue-fang¹, XU Qing-xian¹, LIN Bi-feng², LIN Bin¹, QIAN Lei¹

(1. Institute of Agricultural Engineering Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China; 2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Fujian Academy of Agriculture Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China)

Abstract: An automated, large-scale, high-efficiency system with intelligent remote-control was developed for the up-flow biogas tank at Xin-Xing Swine Breeding Co., Ltd. in Fujian. The biogas production was significantly improved by the automatic controls on fermentation temperature, medium concentration and continuous stirring. The system included data acquisition, device control, automatic monitoring and parameter alarms to ensure safe and reliable operation of the biogas production. The remote control was introduced, and the entire process was fully automated, continuous and highly efficient for industrial applications.

Key words: large-scale; biogas system; efficient; intelligent; automatic control

随着畜牧业的发展, 集约化养殖场所占的比重越来越大, 随之带来的是畜禽粪便和冲洗废水的大量增加, 对周围环境造成极其严重的影响, 制约了农业生产的可持续发展。利用沼气发酵进行粪污处理是解决环境污染、建立新的生态平衡、实现农业生产系统整体良性循环的一条最佳途径^[1-3]。

针对大型养猪场, 建立规模化沼气池, 既可以有效处理养猪排泄物, 避免环境污染, 同时也可以通过沼气生产向周围用户提供清洁能源, 对开发可再生能源及发展农业循环经济都有重要意义^[2]。

按照农业循环经济的要求, 本研究根据建瓯市福建省新星种猪育种有限公司的地理条件和污水排

放特点, 建立猪粪污水沼气净化工程, 达到节能减排、废弃资源再利用和清洁生产的目的, 解决能源、资源和环境问题。结合周边种植结构, 因地制宜地采用固液分离、厌氧中温发酵工艺技术以及接触氧化技术相结合的工艺, 探索出一种低投入、低运行成本的规模化养殖场污水处理的能源生态处理模式 (图 1)。

福建省新星种猪育种有限公司现存栏生猪 5 000 头, 日排放污水 50 t。建设为日处理 5 000 头生猪所排粪污的 2 组沼气池, 一组为容积 700 m³ 上流式高效节能沼气池, 一组为容积为 500 m³ 地下折流式高效节能沼气池, 沼气池采用太阳能加热装置。

收稿日期: 2012-12-10 初稿; 2013-01-29 修改稿

作者简介: 官雪芳 (1979-), 女, 助理研究员, 主要从事环境微生物方面的研究与推广

通讯作者: 林斌 (1964-), 男, 博士, 研究员, 主要从事农业生物环境和沼气技术方面的研究与推广 (E-mail: linbin591@126.com)

基金项目: 福建省环保厅科技计划重点项目 (200743); 国家科技部科技人员服务企业项目 (2009GJC40010); 福建省发改委农业“五新”推广项目 (2010452)

利用周边 66.67 hm² 茶园、橘园形成沼液处理零排放；安装 75 kW 沼气发电机，利用沼气进行发电，形

成沼气利用零排放；猪粪便经堆肥后出售给周边种植户作有机肥料，形成粪便利用零排放。

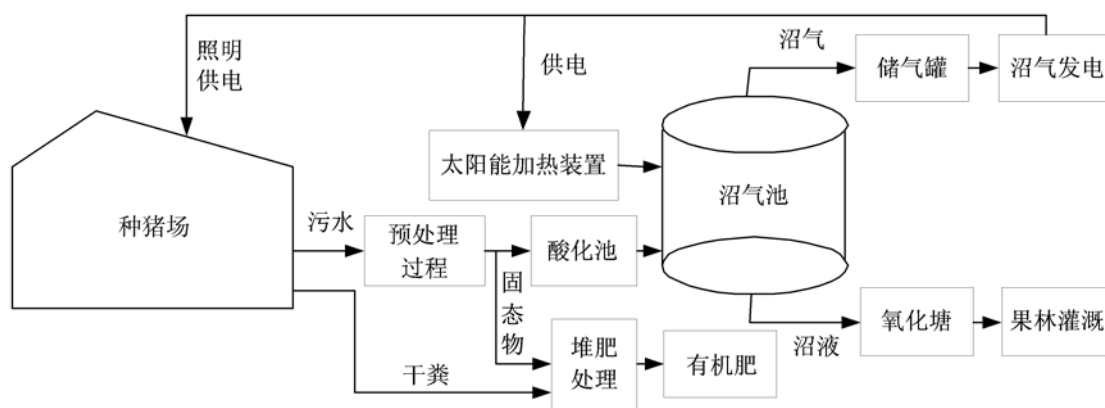


图 1 养猪场污水处理能源生态处理模式

Fig. 1 Swine farm sewage treatment model

目前福建省新星种猪育种有限公司沼气生产过程均采用手工操作，运行过程无自动化监控，无控制，设备无管理。因此，充分利用现有资源，对整个沼气生产全过程进行自动化改造，预留今后自动化系统的扩展接口，把生产过程的基础运行数据进行采集与集成，实现自动监控，通过有效的自动化控制提高沼气产量，提升经济效益，实现沼气沼液零排放^[4-5]。

1 自控系统方案设计

针对福建省新星种猪育种有限公司的上流式沼气生产系统，开发智能化大型沼气池高效产气与远程监控系统软件，使系统具备参数采集、设备控制、自动监测、参数报警功能，保证系统安全可靠的运行，提高沼气的产气量，并能自动报送生产运行数据至种猪场监控中心和福建省农业科学院。

1.1 总体结构

系统整体构思：将工程设计成集现场控制、数据采集、数据处理、生产管理一体的自动化系统。系统拓扑如图 2 所示。

自控系统主要由 1 个现场上位机和 1 套现场 S7-200 PLC 工作站构成，远程的种猪场主控室、省农科院、上海交大以及其他控制室，均可通过以太网/Internet 远程监控 S7-200 PLC 工作站。

现场 S7-200 工作站^[6]可以对现场设备以及仪表的主要参数进行监测和优化控制，并把这些信号传送到现场上位机和远程控制室。

现场上位机和远程控制室接收各在线检测仪表传输的信号及受控对象的手/自动状态、运行状态、故障报警信号，经现场 S7-200 工作站进行运算和

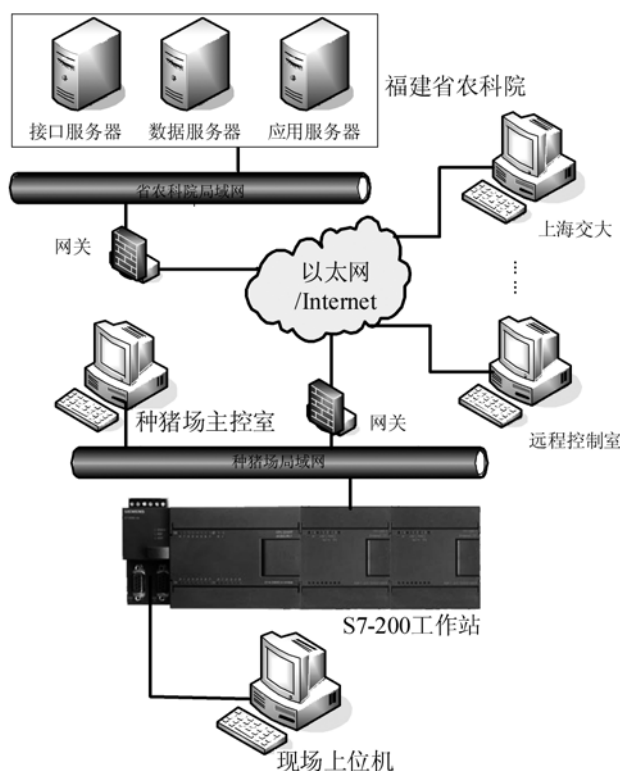


图 2 沼气自动化监测和控制系统拓扑图

Fig. 2 Topology of biogas automatic control system

程序控制，所传输的信号能反映所有被监控设备即时运行状态。

本系统下位机软件为 S7-200 中运行的 PLC 程序^[7]，采用的开发工具为 STEP7，上位机采用 Intouch 组态软件。

1.2 总体控制策略

沼气发酵是一种复杂的生化反应过程，分水解、

酸化和产甲烷 3 个阶段。影响沼气生产的主要因素有:发酵温度、发酵浓度、持续的搅拌、酸碱度。在系统中主要针对前 3 方面进行控制,尽可能提高系统的产气量。总体控制策略示意图如图 3 所示。

1.2.1 发酵温度 发酵温度是影响产气效率的最大因素,因为不仅微生物菌体本身对温度十分敏感,而且涉及菌体生长和产物合成的酶都必须在一定温度下才能具有高的活性,因此沼气生产厌氧反应过程的温度控制非常重要。

温度适宜则细菌繁殖旺盛,活力强,厌氧分解和生成甲烷的速度快,产气多。研究发现在 10~60℃ 环境下都可以进行沼气发酵。通常将其分为高温发酵(50~60℃)、中温发酵(30~35℃)、常温发酵(10~30℃)。

在福建省建瓯市,系统存在 2 个最佳工作温度点:35℃ 和 55℃。该基地在大部分季节,中温 35℃ 是最佳效益的发酵温度,且当温度为 38~43℃ 时,产气量下降。控制系统主要控制策略应使得沼气反应温度始终保持在 35℃,可使沼气池温度避免 38~43℃ 的低产气温度段。而在夏季高温时段,朝达到高温最佳工作温度 55℃ 方向控制。

系统根据不同的季节,通过控制进料和太阳能系统来控制反应罐内的反应温度。太阳能集热系统产生的高温热水通过对厌氧反应罐内部热交换盘管使得反应罐内升温发酵。在夏季工况,当太阳能热水温度高于反应罐内温度 5℃ 时,太阳能系统运行,在没有进料的情况下,反应罐内温度持续缓慢升高,当反应罐内温度超过 38℃ 时,太阳能热水循环系统停止运行,并连续低温进料 30 min,使得反应罐内温度始终维持在 35℃ 左右的最佳工作温度点;而在每天上午 10:00 至下午 5:00 这段高温时间段,如果低温进料 30 min 以后的 5 min 内反应罐内温度仍超过 38℃,则应使系统进入朝 55℃ 最佳工作温度点方向控制,此时当太阳能热水温度高于反应罐内温度 5℃ 时,太阳能系统恢复运行,并采用间歇式进料模式,即进料泵每 2 h 进料 20 min,加快搅拌效率,提高产气速度。在其他季节,当反应罐内温度超过 35℃ 时,连续低温进料 30 min,使得反应罐内温度始终维持在 35℃。

1.2.2 反应发酵浓度 发酵液 COD 浓度在 8% 以下时,浓度越高,沼气产量越高,在系统中引入“产气”和“环保”2 种工作模式。在粪污收集池流出口,安装 2 个电动阀门,一个口直接流向酸化池,另一个流入固液分离池。当要求尽可能提高产气量时,系统工作在“产气”模式打开 1# 电动阀,关闭 2# 电动

阀,此时流入酸化池的沼液是未经过固液分离的;当要求实现达标排放时,系统工作在“环保”模式,关闭 1# 电动阀,打开 2# 电动阀,此时流入酸化池的发酵液是经过固液分离处理的。

1.2.3 搅拌 沼液搅拌越充分,反应罐内的厌氧反应越快,产气量越高。在系统通过增加空压机和储气罐构成的反馈回路,将产生的沼气经空压机增压后进入储气罐,并经搅拌电磁阀,由进料管路将增压后的沼气压入厌氧反应罐,使得反应罐内充分搅拌。具体控制策略主要如下:当进料泵开启时,保持搅拌电磁阀关闭;其他时候,搅拌电动阀每 30 min 打开 30 s,使得反应罐内间歇式灌气搅拌。

此外,沼气利用系统的控制也是项目的一个重点。生产的沼气主要有 2 种应用途径:沼气集中供气 and 沼气发电。沼气集中供气是首先需要满足的,多余的沼气用于沼气发电以满足猪场工作生产用电,节约能源和运行成本。因此,在沼气集中供气时,沼气发电机不运行。只有提供给沼气发电机的沼气达到一定的压力时,才能稳定地进行沼气发电。所采用的控制策略如下:在每天的 6:30~7:30、11:00~12:30 和 17:30~19:00 这 3 个时间段,沼气发电机不工作;其他时间段,且当沼气压力达到 80 kPa 时,PLC 通过 modbus 总线向沼气发电机发送启动命令,使得沼气发电机启动运行。

2 各处理工艺控制过程

2.1 粪污预处理系统

猪舍实施干清粪工艺,日产日清。剩余猪栏猪粪和尿液用水一起冲入下水道变成废水。养猪场污水通过沟管自然流入沉砂池,经过沉砂池后流入收集池,该池出口分别安装 2 个出水阀门,一出水阀门流入固液分离池,通过筛网实现固液分离。固液分离池筛网下部连通,分离后污水流入酸化池,另一口直接流入酸化池,出水阀开停可根据酸化池的液位进行自动控制,设计水力停留时间为 0.5~1.0 d,酸化池间歇进水,也可由中控室根据延续时间进行设定。

酸化调节池对污水进行混合、储存和调节,起到初步酸化水解作用,以满足厌氧发酵工艺的技术要求。调节污水水量、水质(温度、浓度、酸碱度),使集中、间歇性进水变成可控式进水。增设 pH 计 1 台,液位计 1 台,测量数据经传感器送至中控室显示。

2.1.1 监控的设备及相关 I/O 点 监控的设备及相关 I/O 点见表 1。

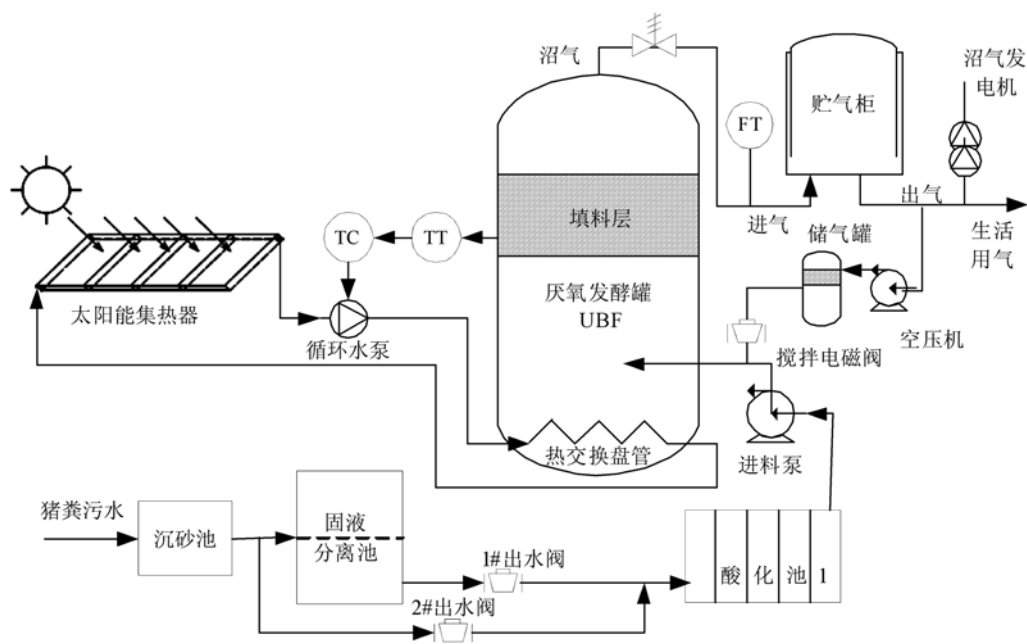


图 3 总体控制策略示意图

Fig. 3 Schematic diagram of overall control

表 1 监控的设备及相关 I/O 点

Table 1 Monitoring equipment and correlation of I/O points

系统名称	系统数量	系统内监控设备	设备数量	DI	DO	AI	AO
固液分离池	2	出水电动阀	2	手动/自动			
				开到位	开		
				关到位	关		
				故障			
酸化池	1	液位计	1			液位	
		pH 计	1			pH 值	

2.1.2 主要设备控制功能 固液分离池出水调节需满足以下功能及原则：(1) 保证酸化池保持高液位，实现系统高负荷运行。(2) 应保持两出水阀最多只有 1 台处于开启状态。(3) 能够及时监视判断故障的隐患，并及时采取保护措施。

2.1.3 收集池进水电动阀

(1) 实时监测其运行、故障等状态，通过监控画面上不同的颜色显示。(2) 具有就地、远程手动和自动 3 种控制方式。就地：将控制柜上的转换开关转为手动脱离 PLC，由就地操作按钮实现电动阀的开、停操作；远程手动：将控制柜上的转换开关转为远程，通过监控画面上的开、停按钮在上位机手动操作；自动：当运行在“产气”模式时，1 号电动阀处于自控状态，2 号电动阀始终保持关闭状态；当运行在“环保”模式时，2 号电动阀处于自控状态，1 号电动阀始终保持关闭状态；当转入自动后，当酸化池液位高于设定值，根据时间间隔

控制收集池出水电动阀的启停时间，当酸化池液位低于设定值时，采用液位控制器控制收集池出水电动阀的启停。

2.1.4 参数检测

(1) 液位计用于监测酸化池中的液位。画面实时数值显示并通过曲线显示。设置数值的下限警告、上限警告和报警，并登录入报警清单。(2) pH 计用于监测酸化池中的 pH 值。画面实时数值显示并通过曲线显示。设置数值的下限警告、上限警告和报警，并登录入报警清单。(3) PLC 检测到设备的故障信号，立即送信号至中控室计算机声光报警，记忆并打印故障，同时 PLC 对被控设备进行保护控制。

2.2 厌氧反应器

污水通过泵提升从厌氧反应器（UBF）的底部通过布水器进入，依次经过污泥床、填料层、悬浮层进行生化反应后，沼气自动从其顶部排出，沼

液从侧面溢流管自动溢出，沼渣自动从底部排出。在 UBF 进口管道安装流量计 (DN80)，UBF 反应器的污泥层、填料层和悬浮层分别安装 3 个温度传感器，在填料层上部安装 1 个 pH 值传感器。厌氧

反应器侧面取样口可进行人工取样，离线测量 SS、COD_{cr}、BOD5、NH₃-N、TP 值。

2.2.1 监控的设备及相关 I/O 点 监控的设备及相关 I/O 点见表 2。

表 2 监控的设备及相关 I/O 点

Table 2 The Monitoring Equipment and Correlation of I/O Point

系统名称	系统数量	系统内监控设备	设备数量	DI	DO	AI	AO
厌氧反应器	1	流量计	1			流量	
		PT100	3			温度	
		pH 计	1			pH 值	
		进料泵	1	故障			
				手动/自动	开		
太阳能集热器	1	循环水泵	1	运行	关		
				故障			
				手动/自动	开		
				运行	关		

2.2.2 主要设备控制功能 反应罐的调节需满足以下功能及原则：(1) 保证系统高负荷运行。(2) 进料泵的开停次数不宜过于频繁。(3) 能够及时监视判断故障的隐患，并及时采取保护措施。(4) 通过温度计可实时监测反应罐中的温度，3 个采样点温度取均值，通过控制太阳能集热器管道循环水泵的开启，进行增温。(5) 通过 pH 计可实时监测反应罐中的 pH 值，通过在进料口手动开启碱液阀或温水阀，进行 pH 值调整。

2.2.3 进料泵

(1) 实时监测其运行、故障等状态，通过监控画面上不同的颜色显示。(2) 具有就地、远程手动、自动 3 种控制方式。就地：将控制柜上的转换开关转为手动，脱离 PLC，由就地操作按钮实现对泵机的开、停操作；远程手动：将控制柜上的转换开关转为远程，通过监控画面上的开、停按钮在中控室手动操作；自动：当该泵转入自动后，由 PLC 程序根据管道流量、运行时间及相应的控制策略，进行进料泵的启停控制；泵机开启过程：有开泵指令（远程指令，PLC 根据管道流量、运行时间及相应的控制策略判定开泵指令，故障切换开泵指令）；检查主令开关是否全闸送电；主令开关合闸送电后，启动。

2.2.4 循环水泵

(1) 实时监测其运行、故障等状态，通过监控画面上不同的颜色显示。(2) 具有就地、远程手动、自动 3 种控制方式。就地：将控制柜上的转换

开关转为手动，脱离 PLC，由就地操作按钮实现对泵机的开、停操作；远程手动：将控制柜上的转换开关转为远程，通过监控画面上的开、停按钮在中控室手动操作；自动：当该泵转入自动后，由 PLC 程序根据反应器温度及相应的控制策略，进行进料泵的启停控制；泵机开启过程：有开泵指令（远程指令，PLC 根据反应器温度及相应的控制策略判定开泵指令，故障切换开泵指令）；检查主令开关是否全闸送电；主令开关合闸送电后，启动。

2.2.5 参数检测

(1) 流量计用于监测进料泵流量；3 路 PT100 传感器用于监测发酵罐不同层的温度；pH 计用于监测发酵罐污泥层 pH 值的变化。(2) 画面实时数值显示并通过曲线显示。设置数值的下限警告、上限警告和报警，并登录入报警清单。(3) PLC 检测到设备的故障信号，立即送信号至上位机声光报警，记忆并打印故障，同时 PLC 对被控设备进行保护控制。

2.3 沼气利用系统

沼气利用系统包括贮气柜、阻火柜、脱硫器、输配管道和沼气发电机。沼气经气水分离器脱水后进入脱硫装置进行脱硫，脱硫后的沼气计量后进入贮气柜贮存。沼气经干式阻火器后可用于发电。浮罩式贮气柜恒压，可自动进气和排气。安装压力传感器检测储气柜压力，在进气管道安装流量计进行沼气计量。

通过压力传感器检测，当沼气压力达到 80

kPa 时，且在每天的 6：30~7：30、11：00~12：30 和 17：30~19：00 这 3 个时间段以外的时间段，PLC 通过 modbus 总线向沼气发电机发送启动命令，使得沼气发电机启动运行。

2.3.1 监控的设备及相关 I/O 点 监控的设备及相关 I/O 点见表 3。

2.3.2 参数检测

(1) 压力传感器用于监测贮气罐中的压力，流量传感器用于测量产出的沼气的量。(2) 画面实时数值显示并通过曲线显示。设置数值的下限警告、上限警告和报警，并登录入报警清单。(3) PLC 检测到设备的故障信号，立即送信号至上位机声光报

警，记忆并打印故障，同时 PLC 对被控设备进行保护控制。

2.4 空压机增压搅拌系统

空压机增压搅拌系统主要包括脱硫器、空压机、储气罐、电磁阀。沼气进入脱硫装置进行脱硫，脱硫后的经空压机增压后进入储气罐贮存，增压后的沼气经电磁阀由厌氧反应罐进料管路压入反应罐内，使得罐内沼液充分搅拌，提高产气量。安装压力传感器检测储气罐压力。

2.4.1 监控的设备及相关 I/O 点 监控的设备及相关 I/O 点见表 4。

表 3 监控的设备及相关 I/O 点

Table 3 The Monitoring Equipment and Correlation of I/O Point

系统名称	系统数量	系统内监控设备	设备数量	DI	DO	AI	AO
储气罐	1	压力传感器	1			压力	
		流量传感器	1			流量	

表 4 监控的设备及相关 I/O 点

Table 4 The Monitoring Equipment and Correlation of I/O Point

系统名称	系统数量	系统内监控设备	设备数量	DI	DO	AI	AO
增压系统	1	压力传感器	1			压力	
		电磁阀	1	打开/关闭			

2.4.2 参数检测

(1) 压力传感器用于监测储气罐中的压力。(2) 画面实时数值显示并通过曲线显示，设置数值的下限警告、上限警告和报警，并登录入报警清单。(3) PLC 检测到设备的故障信号，立即送信号至上位机声光报警，记忆并打印故障。

3 总 结

系统安装了温度、流量、液位、压力等传感器，由 S7-200 PLC 进行数据的采集和控制，通过基于 Intouch 组态软件开发的上位机系统进行系统实时监测与控制，以及数据存储等功能，并可通过 Internet 实现系统的远程监测和控制。系统具有可扩展性强、运行可靠、操作方便、交互性好等特点。

经过一段时间的实际运行，本大型沼气池高效产气自控系统满足了大型沼气池的工艺要求，实现

了沼气生产过程的自动化监测与控制，达到了高效的产气要求，提升了经济效益。

参考文献：

[1] 徐庆贤，林斌，郭祥冰，等. 福建省养殖场大中型沼气工程问题分析及建议 [J]. 中国能源，2010，(1)：40—43.

[2] 林斌. 集约化养猪场粪污处理工艺设计探讨 [J]. 福建农业学报，2006，21 (4)：420—424.

[3] 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，2004：44—54，72—78.

[4] 林斌，徐庆贤，官雪芳，等. 智能化沼气工程技术及其优势分析 [J]. 福建农业学报，2012，27 (4)：427—431.

[5] 林斌，徐庆贤，官雪芳，等. 智能化沼气工程技术系统的推广价值研究 [J]. 中国沼气，2012，30 (4)：33—37.

[6] 陈立定，吴玉香，苏开才. 电气控制与可编程控制器 [M]. 广州：华南理工大学出版社，2001：80—140.

[7] 刘亮东，王书茂，代峰燕. PLC 多级控制在粪水资源再生系统中的应用 [J]. 中国农业大学学报，2005，10(6)：84—87.

(责任编辑：柯文辉)