

# 沼气压缩罐装技术的试验研究

谢列先

(广西壮族自治区农村能源办公室, 广西 南宁 530001)

**摘要:** 通过采取沼气净化技术, 去除沼气中无效组分, 提高沼气热值, 最大化满足沼气压缩技术要求。通过采用多级压缩技术, 实现沼气的压缩罐装, 为进一步开展沼气罐装技术的深层次研究提供参考。

**关键词:** 沼气; 净化; 热值; 压缩罐装技术

**中图分类号:** TK6; S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2009)03-0074-03

## Preliminary experimental study on technology of biogas compression and canning

XIE Lie-xian

(Guangxi Zhuang Nationality Autonomous Region Rural Energy Office, Nanning 530001, China)

**Abstract:** With purification technology to eliminate the invalid compounds and increased its heat value, to meet with the need of biogas compression. Multilevel-compression technology could realize the aim of compression and canning of biogas and made a reference for further study the technology in the future as well.

**Key words:** biogas; purification; heat value; compression and canning technology

### 0 前言

目前, 广西沼气产量大, 剩余沼气多, 这些沼气排入大气中, 不仅增加温室效应, 严重影响空气质量, 而且与当前节能减排的宗旨相违背。因此, 广西自治区科技厅于 2007 年进行科技立项, 研究能否将剩余沼气加压装罐, 供应给城镇居民作生活用能源, 实现沼气的远距离输送, 最终实现沼气商业化应用的目的。

### 1 研究思路和研究内容

**研究思路:** 尽量除去沼气中无效组分, 以提高容器的利用率, 因此压缩前必须先对沼气进行脱硫、脱碳和脱水等净化处理。罐装容器为 50 L 和 81 L 两种汽车用天然气瓶。

**研究内容:** 沼气压缩罐装装置的整体优化和工艺参数的整体优化, 提供一套技术可靠、经济实用的沼气压缩罐装技术。

① 沼气净化方式及净化效果分析, 优选沼气净化方案。

② 充气方式及充气速度的研究, 既要保证充放气过程的稳定性, 也要考虑充分利用储存容器的有效容积。

③ 供气速度的优化, 缓冲容器容量的配置等。

④ 不同流程控制参数下的压力、温升、噪声、振动等试验。

### 2 工艺流程与技术措施

#### 2.1 工艺流程

首先将沼气池内的沼气输送到浮罩式贮气罐储存, 经净化提纯后, 再进行压缩。沼气压缩机是根据沼气的特性而设计的特殊压缩机, 具有高效抗腐蚀性。本试验配备 1 台初级低压压缩机和 1 台高压压缩机。高压压缩机要求进气压力为 0.2 MPa, 而浮罩式贮气罐的送气压力远没有达到此压力要求, 因此必须设计安装低压压缩机, 以提高进气压力。高压压缩机分为 4 级压缩, 后级压力比前级压力高, 以逐步将沼气压力提高至 20 MPa, 最后经分子筛脱水, 再罐装入天然气瓶。

收稿日期: 2008-08-07。

作者简介: 谢列先(1965-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事沼气利用技术的研究。E-mail: xielixian@126.com

本试验采取的工艺流程见图 1。

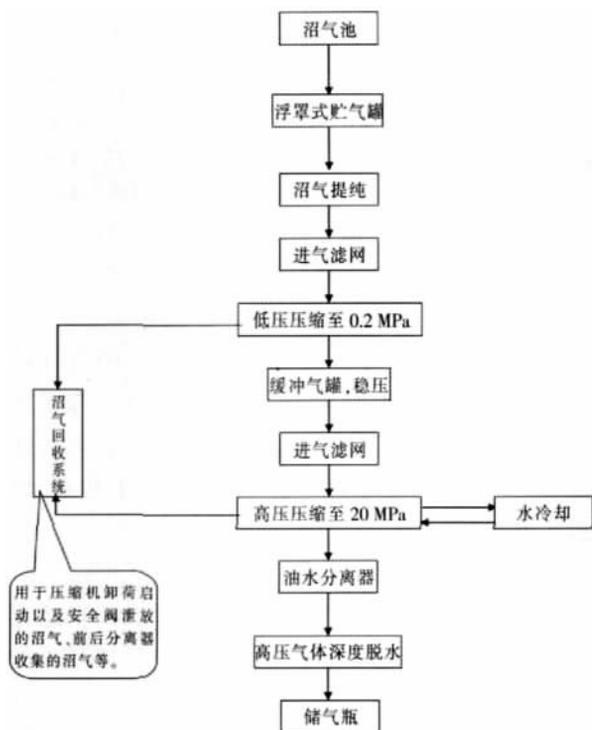


图 1 沼气压缩工艺流程

Fig.1 The flowchart of biogas compression

## 2.2 技术措施

### 2.2.1 浮罩式贮气柜

浮罩式贮气柜主要用于贮存沼气, 解决沼气需求量大且供气压力不稳定等问题。当发酵间内沼气的压力达到贮气柜配压时, 沼气进入贮气柜内, 随着产气的增多, 浮罩升高, 用气时浮罩下降, 不影响沼气发酵间的压力, 使沼气压力稳定。贮气柜设计容积为  $20 \text{ m}^3$ 。

### 2.2.2 沼气净化提纯

沼气主要成分是甲烷、二氧化碳和少量的硫化氢、氢、一氧化碳、氮等气体。其中, 甲烷占 60%~70% (体积分数, 下同), 二氧化碳占 30%~40%。 $\text{H}_2\text{S}$  含量很少, 约占 0.1%, 但对金属物质的危害却很大, 使用沼气前必须脱硫。二氧化碳、水蒸气等气体会占据较大空间, 降低沼气热值, 影响沼气使用效果。

### 2.2.3 缓冲气罐设计

低压压缩机将沼气压力升至 0.2 MPa, 贮存在缓冲气罐内, 以保证高压压缩机的进气压力。

### 2.2.4 沼气脱水技术

分子筛脱水技术是利用吸附剂在高压常温条

件下吸附沼气中的水分、二氧化碳, 然后在降压和升温条件下, 水分和二氧化碳又从吸附剂中解析出来, 同时吸附剂得到再生。

采用变温变压吸附技术可实现分子筛的干燥, 该技术是以吸附剂表面对气体分子的吸附为基础, 利用吸附剂对不同气体组分有选择性的特点, 在较低温度、较高压力下吸附沼气中的二氧化碳、水分和硫化氢等, 未被吸附组分通过吸附器层流出, 在较高温度、较低压力下脱附这些被吸附的组分, 以进行下一次吸附步骤。试验采用多个吸附塔轮流操作, 这种循环过程就是变温变压吸附分离过程。

本试验根据沼气流量较大的特点, 采用双塔串联运行方式, 实现沼气脱水净化的高效性及连续性。吸附塔前后均设置了高效过滤器, 避免游离水进入吸附塔, 污染分子筛, 使分子筛可反复吸附与再生, 延长其使用时间及其更换周期。

### 2.2.5 输气管道、开关技术要求

沼气压缩罐装技术对管道、开关的性能要求较高, 要求其抗压力强度超过 25 MPa, 密封性好。为防止钢瓶气体倒流现象的发生, 在高压压缩机输出口安装了止回高压阀体。

## 3 沼气高压压缩罐装试验

### 3.1 沼气净化试验

先采用氧化铁脱除沼气中的硫, 再用氢氧化钠溶液脱硫及二氧化碳。净化后沼气主要成分: 72.82% 的  $\text{CH}_4$ , 16.42% 的  $\text{CO}_2$ , 0.7% 的  $\text{O}_2$ , 9.93% 的  $\text{N}_2$ , 未检测到 S。沼气的低热值 ( $20^\circ\text{C}$ ) 为  $24.3 \text{ MJ/m}^3$ 。

从检测结果看, 沼气脱硫效果非常好, 但  $\text{CO}_2$  脱除效果稍差, 因此须进一步改进沼气净化工艺, 以提高沼气中甲烷含量, 提高沼气的热值。

净化后沼气中  $\text{N}_2$  的含量仍较高 (9.93%), 这个含量已经远远超出未净化沼气中  $\text{N}_2$  的含量。这是因为在进行沼气罐装前, 须用  $\text{N}_2$  置换储气瓶中的空气, 再用净化后的沼气清洗钢瓶中的  $\text{N}_2$ 。由于储气瓶中的  $\text{N}_2$  未被清洗干净, 故导致  $\text{N}_2$  含量超标。规范操作过程后可降低  $\text{N}_2$  的含量, 进一步提高甲烷含量。

### 3.2 充气过程温度的变化

在充气过程中, 将温度计贴在储气瓶外部, 记录储气瓶温度随压力的变化情况 (图 2)。

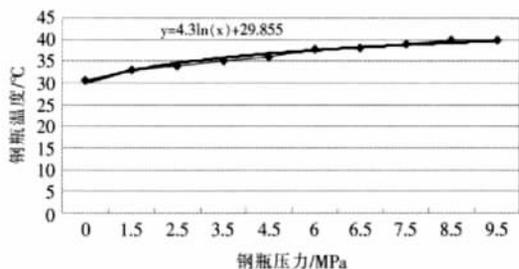


图2 充气过程气体温度的变化情况

Fig.2 The varying in the process of as charging

由图2中温度曲线变化趋势可以看出,气瓶内气体压力上升至20 MPa时,气体温度上升不会超过15℃,气体状态变化过程接近于等温变化过程。

### 3.3 充气过程中气体状态参数的变化

在充气过程中,沼气的状态遵循气体方程  $P_1V_1^n = P_2V_2^n$  发生变化,其中  $n$  为多变系数(表1)。 $n=1$  时为等温变化过程, $n=1.4$  时为绝热变化过程。显然,等温变化过程比绝热变化过程能充入更大体积的气体。

表1 充气过程气体状态参数变化  
Table 1 The varying parameters of gas status in the process of gas charging

试验号	钢瓶容积 m <sup>3</sup>	充气前钢瓶 内压力/kPa	充气后钢瓶 内压力/kPa	体积 m <sup>3</sup>	多变系数 n
1	0.051	151	9 601	4.83	1.002 0
2	0.051	151	6 101	3.01	1.007 7
3	0.051	151	8 801	4.40	1.003 5
4	0.051	151	8 601	4.06	1.016 7
5	0.081	151	6 601	5.131	1.009 4

由表1可以看出,在充气过程中,沼气的压力、体积变化过程接近于等温变化过程,此结果与充气过程中沼气温度变化的试验结果一致。

### 3.4 充气效率试验

考虑到沼气储气柜的供气压力较低,为保证一定的生产效率,将高、低压压缩机进行串联运行试验。在低压压缩机和高压压缩机中间设置缓冲气罐,以保证设备运行平稳。压缩机启动后即开始向储气瓶充气。

压缩机的额定流量为12 m<sup>3</sup>/h。由表2可以看出,压缩机的工作效率远未达到设计要求,原因如下:①沼气贮气柜的供气量过小;②进气管道过长,沼气从气柜到压缩机进气口之间产生了较大的压力损失。上述原因使压缩机进气压力达不到设计要求。为保证压缩机的工作效率,同时保证压缩机每次启动后能够获得足够多的气体,沼气贮

表2 充气流量

Table 2 The flux of gas charging

试验号	钢瓶容积 m <sup>3</sup>	充气前钢瓶内压力 kPa	充气后钢瓶内压力 kPa	充气时间 h	充气体积 m <sup>3</sup>	充气流量 m <sup>3</sup> /h
1	0.051	151	8 801	0.85	4.23	4.98
2	0.051	151	9 601	0.933 3	4.63	4.96
3	0.051	151	6 101	0.683 3	4.87	7.12
4	0.081	151	6 601	0.666 7	5.09	7.65

气柜的设计容量应进一步加大(≥50 m<sup>3</sup>)。

农户家庭使用的沼气池储气量一般为1~2 m<sup>3</sup>,压缩到20 MPa后只有0.011 m<sup>3</sup>左右,若挨家挨户去收集沼气,压缩系统工作效率将会极其低下。因此建议首先将农户多余的沼气集中起来,然后再净化、压缩罐装。

### 3.5 充气方式的试验研究

按快、慢2种充气速度进行灌装试验。快速充气试验的方法:高压压缩系统工作,将气体高压脱水后封闭于管道中,直至压力升至11 MPa后才打开储气瓶的充气阀门,向储气瓶充气。慢速充气试验的方法:压缩机启动后,同时打开储气瓶的充气阀门向储气瓶充气。试验结果表明:快速充气方式产生很大的节流啸叫,同时压缩机的工作状态很不平稳,所以应采用慢速充气方式充气。

### 4 高压罐装气减压使用试验

采用高压氧气瓶减压装置进行减压燃烧试验。所用灶具为家用沼气灶,型号为JZZ-D,额定压力为1 600 Pa,实际供气压力为2~3 kPa,火力调至最大,流量计为DYQ-G2.5数码式预付费燃气表。

据调查,城市天然气用户使用灶具(单眼灶,灶前压为1 600 Pa)烧水,耗气量约为0.006 m<sup>3</sup>/min,本试验单位时间耗气量约为其2倍(表3),这与灶具眼数(双眼灶)和燃气热值有关。

表3 单位时间耗气量

Table 3 The gas consumption per unit-time

试验号	钢瓶容积/m <sup>3</sup>	钢瓶气体压力/MPa	燃烧时间 min	试验总耗 气量/m <sup>3</sup>	单位时间耗气 量/m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup>
1	0.05	5.0	230	2.400	0.010 4
2	0.05	8.5	352	4.056	0.011 5
3	0.05	8.7	360	4.400	0.012 2
4	0.081	6.5	412	5.090	0.014 3

### 5 工艺流程及装置结构的优化

试验表明,课题组设计的沼气(下转第80页)

放高峰出现得越早,热解反应进行得越集中; $I$ 值越大,生物质的挥发分析出特性越好,热解反应越容易进行。

由表 2 可以看出,随着升温速率的提高, $T_{\max}$  和热解特性指数  $I$  增大,木屑的挥发分析出特性越好,热解反应越容易进行。升温速率对半焦产率有一定的影响,随着升温速率的提高,半焦产率降低。

表 2 不同升温速率下木屑的热解特性指数及半焦产率  
Table 2 Pyrolysis index and yield of semi-char of sawdust at different heatig rates

升温速率 ( $da/dt$ ) <sub>max</sub> °C/min <sup>-1</sup>	$T_1$ %/min	$T_2$ °C	$\Delta T$ °C	$T_{\max}$ °C	热解特性指 数 $I \times 10^{-5}$	半焦 产率/%	
10	7.4370	195.4	529.3	333.9	330	6.7494	23.96
20	14.2653	194.8	534.1	339.3	340.4	12.3511	20.91
30	19.9244	189.6	519.0	329.4	340.7	17.7537	19.99
40	27.3807	189.5	550.3	360.8	351	21.6207	19.41

由表 3 可以看出,水分含量增大时, $T_{\max}$  略有增大,热解特性指数  $I$  也有一定的增大,说明水分含量的增大在一定程度上促进了木屑的热解反应;未烘干木屑试样的半焦产率较高。

表 3 水分含量不同时木屑的热解特性指数及半焦产率  
Table 3 Pyrolysis index and yield of semi-char of sawdust at different water contents

试样	( $da/dt$ ) <sub>max</sub> %/min	$T_1$ °C	$T_2$ °C	$\Delta T$ °C	$T_{\max}$ °C	热解特性指 数 $I \times 10^{-5}$	半焦 产率/%
烘干	19.9244	189.6	519.0	329.4	340.7	17.7537	19.99
未烘干	21.2086	189.7	519.5	329.8	348.4	18.4579	23.85

### 3 结论

①木屑的热解过程分为 4 个阶段:干燥阶段

(上接第 76 页)净化和压缩罐装工艺流程是可行的。进入中试和规模生产后,原有工艺流程和部分设备、装置的结构须进一步改进和优化,主要增加了二次脱碳装置和安全回收装置、止回装置等,另外还要考虑采用超压预防技术、安全切断技术等。

### 6 结束语

试验表明,在 20 MPa 压力下,1 个 50 L 的储气瓶可充入 9.83 m<sup>3</sup> 净化沼气(主要成分是甲烷),它的热值与 16 m<sup>3</sup> 沼气的热值相当。按普通家庭每天用 1 m<sup>3</sup> 沼气计算,1 瓶气可以使用半个月左右。与液化石油气相比,用户的换气周期缩短。从技术层面上讲,沼气压缩罐装技术是可行的,但其安全性及经济性尚未得到检验。

(<130 °C)、预热阶段(130~210 °C)、挥发分析出阶段(210~500 °C)和炭化阶段(>500 °C)。

②随着升温速率的提高,木屑热解过程移向高温区,热解最大失重温度点也移向高温区,木屑的挥发分析出特性好,热解反应容易进行,但半焦产率降低。

③水分含量对木屑热解过程和热解固体半焦产率有一定影响,水分含量高在一定程度上促进了木屑的热解反应,提高了半焦产率。

### 参考文献:

- [1] 贾振航.绿色的生物质能[J].节能与环保,2004(5):53-54.
- [2] 高荫榆,雷占兰.生物质能转化利用技术及其研究进展[J].江西科学,2006,24(6):529-533.
- [3] 蒋剑春.生物质能源转化技术与应用[J].生物质化学工程,2007(5):59-65.
- [4] 朱锡锋.生物质热解原理与技术[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2006.
- [5] 程世庆,尚琳琳,张海清.生物质热解过程及其动力学规律[J].煤炭学报,2006,31(4):501-505.
- [6] 张华钢,金保升.玉米秆与玉米芯热解分析[J].新能源与新材料,2007(4):17-19.
- [7] 赵明,吴文权,卢玫,等.稻草热裂解动力学研究[J].农业工程学报,2002,18(1):107-110.
- [8] 王栋.生物质热裂解实验研究及热裂解产物利用[D].杭州:浙江大学,2004.
- [9] 陈祎,罗永浩,陆方,等.生物质废弃物的热解研究[J].燃料化学学报,2007,35(3):370-373.

为进一步拓展沼气应用范围,课题组多次与南宁市管道燃气公司进行技术交流,认为如果能按照天然气技术指标要求,将沼气净化后压缩罐装运至配气站,再由燃气公司配置高热值气体以提高沼气热值,使其符合民用管网天然气的气质要求,就可以作为城市天然气的补充气源,真正实现沼气的商业化应用。

