

生物质沼气发电的利用模式及效益分析

李利

(中国华电科工集团有限公司,北京 100160)

摘要:冷热电三联供是一项公认的节能工艺技术,能使能源梯级综合利用效率达到80%左右。基于提高能源利用效率的原则,生物质沼气发电项目也应该尽可能采用该工艺。以某大型养猪场粪污综合治理为例,介绍了冷热电三联产技术在沼气工程中的应用,对系统进行了简要能量衡算,对发电、制冷进行了定量分析。结果表明,沼气发电系统不仅生产电力,还可以利用烟气及缸套水这些低品位热量生产工艺热水及冷水(7~10℃),提高了能源的综合利用效率,为工程实践提供了理论依据。

关键词:冷热电三联供;沼气发电;余热利用;制冷;定量分析

中图分类号:S 216.4;TK 6

文献标志码:B

文章编号:1674-1951(2018)12-0048-02

0 引言

生物质沼气是指通过发酵将家畜粪便中含有的有机物转换成的具有高热值的气体。沼气技术作为较为成熟的畜禽养殖废弃物处理技术,已经被广泛应用于散养和规模化养殖场的粪便、废水处理。沼气通过燃气内燃机带动发电设备产生电能,同时排出400℃以上的中温烟气及本体缸套冷却水,这些低品位热量约占总热量的50%~55%。如将这些低品位热量一部分引至沼气发酵罐供发酵所需,另一部分引至吸收式制冷装置制取冷水(7~10℃)用以夏季制冷,就形成了沼气能源的梯级利用,综合利用效率将达到80%左右。生物质沼气发电近年来受到了越来越多的重视,得到了迅速的发展,在社会主义新农村建设和国家能源发展中起到了重要作用^[1]。

目前,我国的沼气生产主要集中在农村或者大规模家畜养殖场,其反应器内的温度随环境温度的变化而变化,这严重影响了产气率。尤其在冬季,由于气温和地温都比较低,原料分解率低,沼气的产气率、使用率低,从而导致沼气使用综合效益差^[2]。沼气发电机组在发电过程中会产生大量余热,应用沼气发电机组自身余热实现为厌氧反应器增温、厂区供暖或者生产工艺冷水等技术受到了国内较多的关注。例如,张冰芝等^[3]对以沼气烟气余热为主、太阳能集热为辅加热沼气发酵原料,同时利用太阳能集热器提供用户生活热水的沼气发电系统进行了设计、理论分析与试验验证;秦国辉等^[4]对寒地沼气发电机组的烟气和循环冷却水余热利用进行了分析与

建模研究,以优化技术经济评价指标为目标,建立了回收余热、沼气发酵负荷与外加热源的关系,确立了随环境变化适时调整外加热源的改进控制方案;王兰等^[5]以江苏某畜禽粪污沼气发电项目为例,分析了畜禽粪污沼气发电工程的中温厌氧消化系统加热能量供给及其影响因素。

本工程以某大型养猪场为例,利用综合治理后的粪污产生沼气,采用内燃机、余热锅炉和溴化锂吸收式制冷技术,实现沼气能源的梯级利用,提高了沼气电站的综合效益。

1 沼气供能系统构成

本工程采用美国通用颜巴赫内燃机利用高品位的能源进行高效率、长周期地发电,采用余热锅炉和远大溴化锂吸收式制冷技术利用低品位能源制取冷水,为沼气工程提供了冷热电三联供,实现了沼气能源的梯级利用。为尽可能满足内燃机排出的烟气和缸套水热量的交换利用,配置了烟气余热锅炉、缸套水板式换热器、热水溴化锂吸收式制冷机组、循环水泵以及水罐等设备。且由于沼气中含有有害杂质(如硫化氢、固形物、水分等),养猪场在沼气回收利用中采用了1套预处理系统对厌氧端出来的沼气进行过滤、除湿、脱硫和增压处理,以满足沼气发电机组进气要求。

根据颜巴赫内燃机厂家内燃机机组的内循环系统流程以及余热利用方案分析,绘制出1套生物沼气热电冷联产系统工艺流程图,如图1所示。

内燃机有2个内循环系统:一级中冷循环系统由一级中冷换热器、润滑油换热器、缸套水换热器及散热器构成,经过一级中冷循环系统的热量根据机组特点被回收利用;二级中冷系统由二级中冷换

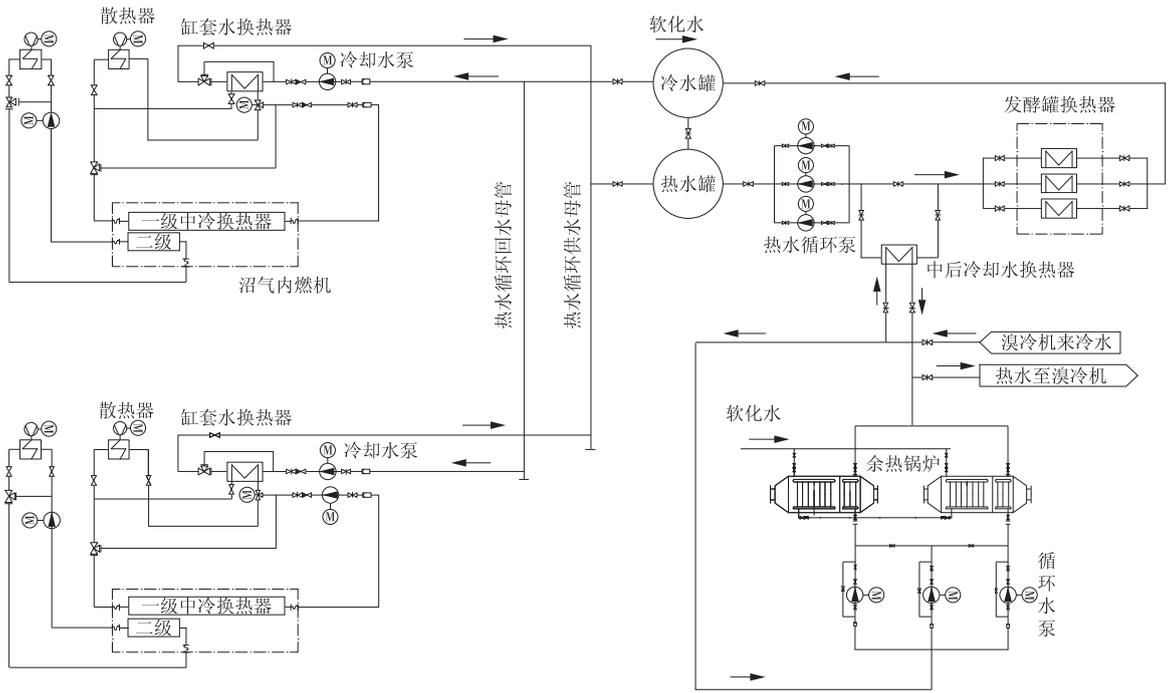


图 1 沼气供能系统方案

热器与散热器组成,经过这部分的热量不被回收利用。

热交换系统主要设备有缸套热水换热器、中后冷却水换热器、热水循环泵、冷水罐、热水罐、冷却水泵以及管道和相关管件。该系统的功能是冷却内燃机的缸套水、一级中冷水和润滑油,保证机组的安全可靠运行,回收热量供发酵罐和溴化锂制冷机组所需。来自冷水罐的软化水温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$,经过冷却水泵后先输送至缸套水板式换热器吸收内燃机排出的热量,将温度升高至 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,再返回热水罐供发酵罐及溴化锂制冷机组利用。

制冷系统主要设备有余热锅炉、中后冷却水换热器、循环水泵以及溴化锂制冷机组(含冷媒循环泵及冷媒储罐)等。该系统的功能是将内燃机排出烟气的热量和过剩的缸套水热量(水温大于 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水)引至溴化锂制冷装置,通过热交换和溴化锂工作特性,将这部分热能通过真空状态下溴化锂溶液的吸收、冷凝、节流和蒸发产生制冷效应,降温到 $7\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷媒由储存罐收集并通过冷媒泵输送到用冷单位,回水(一般为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$)再返回到中后冷却水换热器和余热锅炉,加热到 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上继续参与下一循环。

2 沼气回收利用的效益分析

2.1 项目规模

养猪场粪污经过厌氧反应器生成沼气,其数量随着有机物含量而变化。在夏季产量较多时生成沼气约 $500\sim 800\text{ m}^3/\text{h}$,约 $10\ 000\sim 14\ 000\text{ m}^3/\text{d}$,冬季虽然温度较低,但有发电机余热维持发酵罐所需温度可保

证产气量。所以综合考虑,日产沼气量约为 $12\ 000\text{ m}^3$ 。沼气中甲烷体积分数为 $55\%\sim 60\%$,颜巴赫发电机组电转换效率为 40.4% 。若甲烷体积分数按 55% 考虑,热值取 $19.75\text{ MJ}/\text{m}^3$,则每立方米沼气可产电量为 $19.75\times 40.4\%/3.6=2.216\text{ (kW}\cdot\text{h)}$ 。根据沼气的变化情况和内燃机特性,设置了 $2\times 636\text{ kW}$ 的内燃机发电机组。

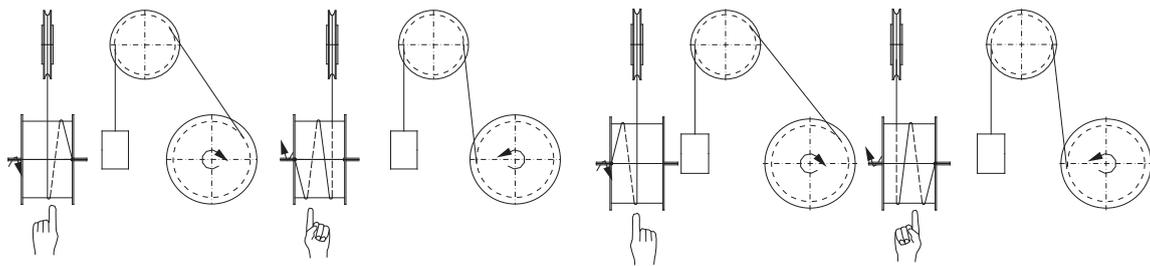
2.2 效益分析

对于养殖场而言,沼气可用作燃料或者出售,沼渣可用作肥料,沼液可节约化肥农药的费用。而要使大型养殖场沼气工程具有良好的经济可行性,除了提高政府补贴和发电上网两项政策以外,发电机的余热回收用于日常生活所节约的能量也应作为沼气工程的经济收益来源^[6]。

该养猪场年产沼气量在 438 万 m^3 左右,沼气净化后年发电量可达到 $9.63\text{ GW}\cdot\text{h}$,假设沼气回收利用系统中各种风机、水泵等辅助设备用电量约占发电量的 $8\%\sim 10\%$,余下的 $8\ 000$ 多 $\text{MW}\cdot\text{h}$ 的电能可通过输配电网路上网。

沼气发电后产生的高温烟气和 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上缸套水除部分用于发酵罐发酵,其他全部引入溴化锂吸收式制冷机进行热交换做功制取工艺冷水($7\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$),按照颜巴赫机组的技术参数,两台机组可利用余热总量一般可以达 $1\ 570\text{ kW}$,冬季极端情况下发酵罐发酵所需热量约为 560 kW ,所以烟气和缸套水充分利用制冷量至少有 $1\ 000\text{ kW}$ 。

经济效益主要体现在发电和制冷 2 个方面成效:可供上网用电约 $8.60\text{ GW}\cdot\text{h}$,按(下转第 52 页)



a 右旋向卷筒绳槽, 左捻向钢丝绳, 适用左手定则

b 左旋向卷筒绳槽, 右捻向钢丝绳, 适用右手定则

图 6 卷筒绳槽旋向、钢丝绳捻向的选配

6 结束语

本文只是抛砖引玉,并未全面考虑单/双折线卷筒绳槽、深槽等卷筒形式,也没有考虑多层缠绕问题,但不失一般性,上述理论可用于各种形式卷筒绳槽旋向、钢丝绳捻向的选配分析。

参考文献:

[1]成大先. 机械设计手册(第2卷)[M]. 5版. 北京:化学工业出版社,2007.

[2]张质文,王金诺,程文明,等. 起重机设计手册(上卷)[M]. 北京:中国铁道出版社,2013.

[3]刘兰芳. 钢丝绳捻向与卷筒旋向的对应关系[J]. 设备管理与维修,2007(6):48.

[4]阎福增. 起重机钢丝绳的安全使用[J]. 工程机械与维修,2008(9):163.

[5]张岳明. 起重机钢丝绳的使用分析[J]. 中国新技术新产

品,2008(11):95.

[6]孙晔. 起重机用钢丝绳使用寿命的探讨[J]. 建设机械技术与管理,2008(2):108-111.

[7]利歌. 卷筒绳槽的选择[J]. 建筑机械,2001(1):42-43.

[8]胡海洋,张琳. 起重机钢丝绳的使用与维护[J]. 科技与生活,2010(23):150.

[9]戴维·赫卫特,王捧柱. 起重机用钢丝绳的选择[J]. 金属制品,2007(2):38-41.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

王鹏阁(1990—),男,河南洛阳人,助理工程师,工程硕士,从事起重机电气控制设计工作(E-mail:wangpg@chec.com.cn)。

石小飞(1985—),男,河南商水人,工程师,工学硕士,从事起重机设计方面的工作(E-mail:shixf@hdmdi.com)。

(上接第 49 页)生物质发电项目的标杆上网电价(0.75 元/(kW·h))计算,创造电能价值约为 645 万元;年产冷量至少为 31.5 TJ,相当于节约电能 1.335 GW·h,折合价值约 100 万元。沼气回收利用的年发电和节电价值共计约 745 万元。

3 结论

该养猪场沼气回收利用一方面解决了动物粪便尿液的污染问题,另一方面将能源利用最大化,经过净化的沼气采取能源梯级利用,较高品味的燃气先进行发电,发电后排出的低品位烟气和缸套水热量再用来供热和制冷,其能源综合利用率为单纯发电的能源利用率的两倍,符合“节能减排”环境保护的要求。沼气的回收利用展示了生物能源的合理利用,做到了经济效益与环境效益双赢,通过发电和制冷,每年可创造出约 745 万元的经济效益。

参考文献:

[1]李辉. 燃气内燃机热电冷联产系统的应用实践研究[D].

北京:清华大学,2006.

[2]鹿浩伟. 太阳能秸秆沼气系统的热性能分析及实验研究[D]. 南京:东南大学,2016.

[3]张冰芝,吕建. 寒冷地区小型沼气源热电联产系统设计与试验[J]. 天津城建大学学报,2015,21(1):55-59.

[4]秦国辉,罗向东,王志成,等. 寒地沼气发电机组余热回收的控制策略与设计[J]. 自动化技术与应用,2015,34(1):111-114.

[5]王兰,邓良伟,王霜,等. 畜禽粪污沼气发电工程中的加热能量平衡分析[J]. 中国沼气,2016,34(6):65-71.

[6]涂国平,张浩. 我国大型养殖场沼气工程经济效益分析——以江西泰华牧业科技有限公司为例[J]. 中国沼气,2017,35(4):73-78.

(本文责编:陆华)

作者简介:

李利(1985—),男,河北唐山人,工程师,工程硕士,从事生物质沼气、生物质气化等相关技术工作(E-mail:li-ka850128@126.com)。