

热电肥联产大型鸡场废弃物沼气工程技术

李倩, 蓝天, 寿亦丰, 蔡磊, 蔡昌达

(杭州能源环境工程有限公司, 杭州 310020)

[摘要] 着重介绍了热电肥联产大型养鸡场沼气工程的技术要点,并以杭州能源环境工程有限公司为例,介绍了热电肥联产工艺模式和水解除砂、生物脱硫等关键技术,以期为我国规模化养鸡场沼气工程的设计和建设提供参考。

[关键词] 厌氧发酵;生物脱硫;热电肥联产;温室气体减排

[中图分类号] TK6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)02-0035-05

1 前言

纵观人类能源利用发展史,能源形态逐步从固态(煤炭)转向液态(石油)再转向气态(甲烷、氢气等)。沼气是从生物质转化中得到的燃气,是重要的气态能源。沼气的高效制备和综合利用是一种双向清洁的过程,一方面开发了清洁的可再生能源,另一方面减少了有机废弃物的排放。同时,沼气工程还可以减少温室气体排放,发酵后的残余物可用于有机肥料,发展生态农业和循环经济。大型养鸡场产生的鸡粪产气率高,数量大,是我国大型沼气工程的重要原料,但相比猪粪、牛粪等其他发酵原料,鸡粪发酵沼气工程存在诸多难点。文章着重介绍热电肥联产大型鸡粪沼气工程的技术要点,以期为我国规模化鸡粪沼气工程的设计和建设提供参考。

2 工艺流程

大型鸡粪沼气工程的工艺流程如图1所示。沼气工程一般由6个部分组成:a. 预处理单元;b. 高效厌氧发酵单元;c. 沼气净化贮存单元;d. 沼气高值利用单元;e. 沼肥利用单元;f. 温室气体减排单元。

新鲜鸡粪通过车辆或管道运至沼气工程,进入

匀浆池。污水泵入匀浆池混合新鲜鸡粪。经过水解除砂之后物料被泵入厌氧发酵罐。产生的沼气净化后在贮气柜贮存,用于热电联产。发酵残余物用于周边农作物的有机肥料。

3 技术要点

3.1 预处理

3.1.1 进料 TS 浓度

进料 TS(总固体, total solid)浓度的选择主要基于两方面因素的考虑:能量平衡和氨氮浓度。

1) 能量平衡。发酵系统主要依靠发电机组余热进行增温,保证发酵温度^[1]。一般认为,发酵浓度大于8%时,发电机组提供的余热可满足发酵系统冬季自身增温的需要。

2) 氨氮浓度。鸡粪原料中含有大量氨氮^[2]。动物粪便发酵中关于 NH_4^+-N 引起产甲烷量下降的报道经常出现。Van Velsen发现氨氮浓度的上升与产气量的下降呈线性关系^[3]。在连续搅拌反应器(continuous stirred tank reactor, CSTR)中停留15 d,当 NH_4^+-N 浓度从2.1 g/L增加到5.3 g/L时,产气量下降。Hashimoto也发现发酵过程中的 NH_4^+-N 抑制^[4]。

[收稿日期] 2010-12-14

[基金项目] “十一五”国家科技支撑计划“新型高效规模化沼气工程”项目(2008BAD4B00)

[作者简介] 李倩(1982—),男,山东邹平人,工程师,主要从事厌氧发酵和废弃物处理沼气工程技术的研究;

E-mail: justwait_lq@yahoo.com.cn

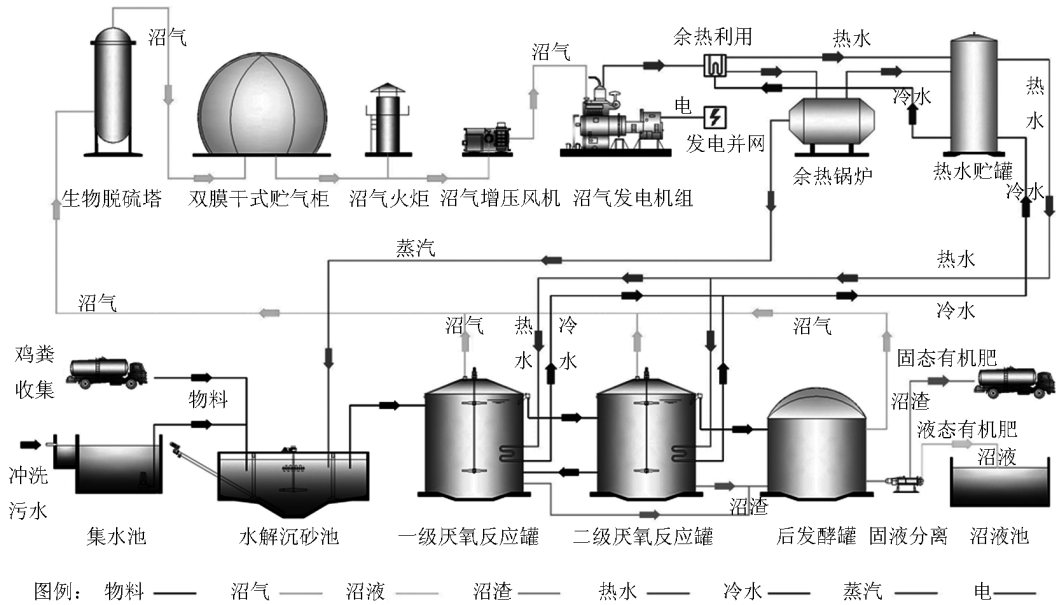


图1 大型鸡粪发酵沼气工程工艺流程图

Fig.1 Process chart of large scale biogas project for chicken manure

根据山东民和牧业公司监测的结果,鸡粪原料中挥发性固体(volatile solid, VS)占TS比例为67%,总氮占VS比例为8.3%。厌氧发酵所能承受的最大游离氨浓度为 0.5 kg/m^3 ^[5](在pH为8.0、38℃条件下,游离氨占氨氮比例为12%)。根据Webb等人的试验,发酵后的氨氮占总氮比例为73%^[6]。根据上述数据可以计算出,该工程最大进料TS浓度应控制在10%,以保证厌氧过程不会发生氨抑制。产甲烷菌也可以对 NH_3 的毒性逐渐适应而驯化。在山东民和牧业沼气工程中,经过驯化后的厌氧发酵菌,耐氨氮浓度可达到 5 g/L 。

从能量平衡的角度来看,高TS浓度有利于减少物料总量,从而减少增温热量,节省能源。而从氨氮浓度来考虑,物料TS浓度不宜过高,以避免氨抑制现象的发生,保证发酵过程稳定。鸡粪发酵进料TS浓度一般控制在8%~12%。

3.1.2 水解除砂

蛋鸡饲料中添加一定量的贝壳粉和砂砾,砂砾通过消化道排出,蛋鸡粪便中含砂量为TS含量的8%~10%,消化道粘液与粪污将砂砾包裹在一起,给粪砂分离和除砂带来难度,一般常规的沉砂工艺很难实现粪砂分离。该工程采用水解除砂工艺,将粪砂分离后,通过刮砂机和螺旋除砂机将砂排出水解池外。水解除砂采用30℃中温水解工艺,水解停留时间24h。

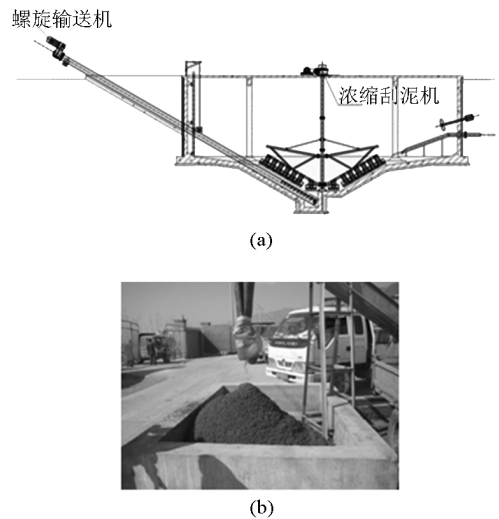


图2 螺旋除砂装置(a)及除砂效果图(b)

Fig.2 Spiral sand removing device (a) and effect picture of removing sand (b)

3.2 高效厌氧发酵工艺

1) 厌氧反应器。完全混合发酵工艺由于发酵效率高、发酵浓度高、运行管理简单等优点被广泛应用于高固体浓度发酵。中温发酵(35~38℃)停留时间为20~25d。高温发酵(50~55℃)停留时间为10~15d。

2) 增温保温。在厌氧罐外壁设置增温盘管,利用发电机组余热对罐体进行增温。盘管外采用聚苯乙烯保温材料。采用该保温方式,在罐内外温差

50 ℃且外界不增温的条件下,厌氧罐 24 h 之内温度下降不超过 0.3 ℃,适用于北方寒冷地区。

3) 搅拌与回流。低转速低能耗中心搅拌机,转速 16 rad/s,单位功率 3.6 W/m³。比传统的机械搅拌节省能源 50 % 以上。该搅拌机采用上下两层浆叶,上层用于破壳,下层用于物料混合搅拌。除搅拌机外,还可以在一二级厌氧罐之间设置回流泵,将二级厌氧罐的污泥部分回流至一级罐,起到搅拌作用,加强了罐内传质,同时,减少了污泥流失。图 3 为厌氧罐中心搅拌机。



图 3 厌氧罐中心搅拌机

Fig. 3 Central mixer of anaerobic digester

3.3 沼气净化与贮存

1) 沼气生物脱硫。采用生物脱硫工艺去除沼气中的 H₂S。生物脱硫是指在适宜的温度、湿度、pH、营养物和微氧条件下,通过脱硫细菌的代谢作用将 H₂S 转化为单质硫或亚硫酸。方程式如下:



以鸡粪为原料发酵的沼气中含有较高浓度的 H₂S, 一般为 3 000 ~ 5 000 ppm (1 ppm = 0.000 1 %), 经过生物脱硫净化处理后, 沼气中 H₂S 浓度可降至 200 ppm 以下。脱硫成本比传统干法化学脱硫降低 70 % 左右。

2) 双膜干式贮气柜。采用低压双膜干式贮气柜对净化后的沼气进行贮存。贮气柜由外膜和内膜组成, 其中外膜保护并维持贮气柜结构, 内膜收集并贮存沼气。通过支撑鼓风机向内外膜中间的夹层充气, 维持一定压力(一般为 1.2 ~ 1.5 kPa), 能够承载设计范围内的风、雨、雪等荷载, 同时将内膜内的沼气送入输气管道。图 4 为运行中的 2 150 m³ 低压双膜干式贮气柜。

3.4 沼气高值利用

1) 热电联产。大型沼气工程通常采用热电肥联产模式^[7]。以鸡粪为原料进行发酵, 产生沼气,



图 4 低压双膜干式贮气柜

Fig. 4 Double membrane gas storage tank with low pressure

用于发电, 电效率为 38 %, 热效率为 42 %, 总效率为 80 %。发电机组烟道气通过余热锅炉换热, 以蒸汽的形式回收, 提供给发酵系统自身增温, 多余热量并入养鸡场内蒸汽总管网用于鸡舍供暖。发电机组缸套水余热以热水形式在热水罐内贮存, 通过管道泵和厌氧罐壁外的盘管对厌氧罐体进行增温。图 5 为热电联产沼气发电机组及能量平衡图(1 MW)。

2) 沼气用于新农村集中供气。北京德青源 2 MW 沼气发电厂除沼气发电上网外, 还为邻近的延庆县张山营镇水峪村 300 户农户提供生活用管道燃气。

3.5 沼肥利用

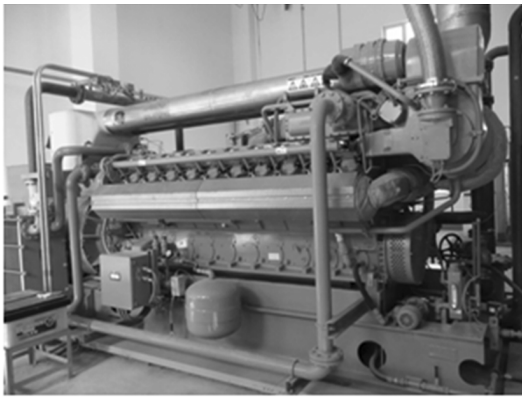
发酵后的沼液和沼渣含有丰富的 N、P、K 等营养物质, 可作为周围葡萄、苹果和玉米等的优质有机肥。

3.6 温室气体减排

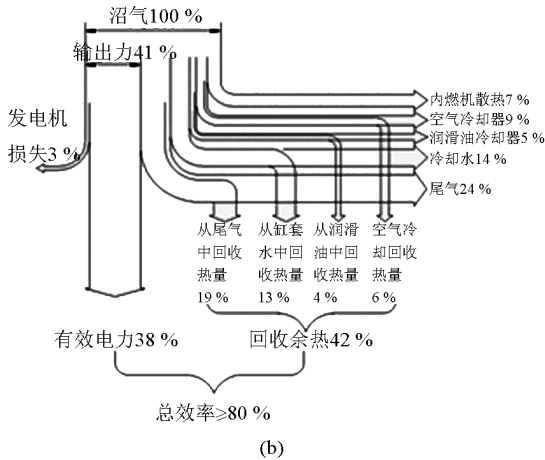
沼气工程在减排温室气体方面具有显著的作用。畜禽粪便发酵产生的 CH₄ 的温室气体效应是 CO₂ 的 21 倍。大气中温室气体效应 20 % 来源于 CH₄。沼气工程将畜禽粪便收集利用, 大大减少了温室气体排放量。一个日产沼气 10 000 m³ 的沼气工厂, 每年可实现温室气体减排 4 万 t CO₂ 当量。

4 典型案例

1) 山东民和牧业股份有限公司 3 MW 沼气发电工程(见图 6)。山东民和牧业股份有限公司位于山东省蓬莱市, 存栏 130 万只种鸡和 370 万只商品鸡, 每天产生 500 t 鸡粪和 500 t 污水。利用民和牧业养殖场产生的鸡粪和污水为原料, 建设大型热电肥联产沼气发电工程。该项目是目前国内最大的农业领域沼气发电工程, 项目于 2008 年 11 月建成, 并于 2009 年 2 月并网发电, 日产沼气 30 000 m³, 日发电量 60 000 kW·h, 并入电网, 年发电量 2 000



(a)



(b)

图5 热电联产沼气发电机组(a)及能量平衡图(1 MW)(b)

Fig. 5 Biogas generator set of cogeneration(a) and energy balance figure (1 MW)(b)

万kW·h,每年可获得发电收益1300万元。发电机组产生的余热用于冬季厌氧罐的增温,保证38℃中温发酵。发酵液用于周边著名的烟台苹果和张裕葡萄的种植基地,既减少了化肥的使用量,又实现了资源的循环利用和污染物的零排放。该项目每年实现温室气体减排67000 t CO₂当量,是国内首个在联合国完成清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)碳交易的农业领域沼气项目。

2)北京德青源2 MW沼气发电工程(见图7)。北京德青源健康养殖生态园位于北京市延庆县,饲养蛋鸡260万只,每天产生鸡粪212 t和污水318 t。以鸡粪和污水为原料建设大型热电肥联产沼气发电工程,日产沼气20000 m³,日发电量40000 kW·h,上网销售可获收益800万元/a。发电机组余热用于冬季厌氧进料增温,保证系统常年稳定运行。项目可产生沼液17万t/a,作为有机液态肥料用于周边约2万亩(1亩≈667 m²)果树、蔬菜和2万亩玉米

种植,发展绿色无公害农产品。同时,项目的实施每年实现温室气体减排8万t CO₂当量。



图6 山东民和牧业3 MW沼气发电厂(日产沼气30000 m³)

Fig. 6 3 MW biogas power plant of Shandong Minhe Animal Husbandry Co., Ltd. (with daily biogas output of 30 000 m³)



图7 北京德青源2 MW沼气发电厂(日产沼气20000 m³)

Fig. 7 2 MW biogas power plant of Beijing DQY Agriculture Technology Co., Ltd. (with daily biogas output of 20 000 m³)

5 结语

生物沼气工程由于其清洁、高效、安全和可再生的特点以及减排温室气体的显著效益越来越受到各国关注。鸡粪厌氧发酵沼气工程存在着诸多难点,如含砂量大、氨氮含量高、沼气中硫化氢含量高等。杭州能源环境工程有限公司采用热电肥联产工艺模式和水解除砂、生物脱硫等关键技术,建设了国内最大的养鸡场沼气发电工程——山东民和牧业3 MW沼气发电工程和北京德青源2 MW沼气发电工程。文章着重介绍了热电肥联产大型养鸡场沼气工程的技术要点,以期为我国规模化养鸡场沼气工程的设计和建设提供参考。

参考文献

- [1] 胡纪萃,周孟津,左剑恶,等. 废水厌氧生物处理理论与技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 王凯军. 畜禽养殖污染防治技术与政策[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [3] Van Velsen. Anaerobic Digestion of Piggery Waste [Z]. 1981.
- [4] Hashimoto A G. Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes[J]. Agricultural Wastes, 1986(17): 241 - 261.
- [5] Irimi Angelidaki, Lars Ellegaard, Brigitte Kioer Ahring. Applications of the anaerobic digestion process [J]. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 2003, 82: 1 - 33.
- [6] Webb A R, Freda R Hawkes. The anaerobic digestion of poultry manure: variation of gas yield with influent concentration and ammonium - nitrogen levels [J]. Agricultural Wastes, 1985 (14): 135 - 156.
- [7] Institut für Energetik, Umwelt gGmbH. Handreichung Biogasgewinnung und-nutzung [M]. Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Leipzig, 2004.

Biogas technology combined with heat, power and fertilizer of large scale poultry farm

Li Qian, Lan Tian, Shou Yifeng, Cai Lei, Cai Changda
(Hangzhou Energy & Environmental Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310020, China)

[Abstract] The key technologies of biogas project of large-scale chicken farm with combined heat, power and fertilizer were emphatically summarized. Taking Hangzhou Energy & Environmental Engineering Co., Ltd. as an example, the technical mode of combined heat, power and fertilizer, hydrolytic technology for sand removing and biological desulphurization were introduced, with the purpose of providing reference for the design and construction of scaled biogas project of chicken farm.

[Key words] anaerobic digestion; biological desulphurization; combined heat, power and fertilizer; green house gas emission reduction