

严寒地区沼气工程高效增温技术——以黑龙江省为例

刘伟，周闯，秦国辉，王玉鹏

(黑龙江省能源环境研究院，哈尔滨150027)

摘要：分别设计了发酵反应器外部加热工艺和沼液余热回收工艺。反应器外部加热工艺较常规罐内换热能够增加沼液与加热面的接触面积，加快换热速度，提高系统换热效率。沼液余热回收工艺能够将排出沼液的70%以上余热进行回收，作为新进物料的热源，使其温度快速提升至正常发酵温度。通过两种技术共同实施，可使发酵系统冬季总体节约近一半的能耗，有效解决了现有寒区沼气工程冬季加温能耗高、热流失大等行业共性问题，为严寒地区沼气工程冬季增温提供一种节能、环保、经济的增温技术。

1引言

黑龙江省是我国重要的种植业、养殖业大省，大规模的种养业保障了我国肉蛋奶和充足的粮食供给。但大量的种养业废弃物随之产生，合理利用率不高，农业面源污染严重。沼气作为具有发展潜力的新型生物能源，是实现能源可再生利用的重要部分，也是解决生态污染的重要手段。从《2015年畜禽养殖标准化示范创建活动工作方案》的推广可知，大力发展沼气项目，建立合适的沼气示范工程已成为种植业、养殖业规模化的必然趋势。采用厌氧发酵技术可有效利用畜禽粪便和农作物秸秆等废弃物制取清洁的沼气能源，提供有机肥料，增加作物品质，改善土壤活性，是解决种养业废弃物污染的有效途径[1-3]。然而，由于黑龙江省冬季长达半年的低温环境，发酵罐缺少必要的保温增温技术，加上低的产气率、高的原料收储运成本、粗犷的管理，使现有的沼气工程冬季处于停产状态，并未起到沼气工程应用的作用。

目前，沼气工程发酵反应器的换热方式主要有两种[4-6]，一种是在发酵罐体内或发酵罐外侧壁设置加热盘管。发酵罐内的加热盘管一般布置于发酵罐底部或立于内侧壁，也可以是底部和内侧壁组合加热，换热效率低，热损耗大[7-8]。另外一种是在发酵反应器外间接加热，即通过水-发酵料液换热器加热发酵料液，补偿发酵反应器壳体及管道的热损失[9]。研究结合现有的增温换热形式，针对严寒地区发酵反应器外部加热，提出两种可行的增温技术，为严寒地区大型沼气的建设提供理论依据。

2沼气工程增温现状

与南方省份不同，我国北方严寒地区冬季寒冷漫长，气温较低，使得现有沼气工程在严寒地区冬季运行时很难持续高效运行，很多早前建设的沼气池都只是采用了砖混结构，没有保温蓄热措施，外部散热较大[10-12]。也有一些沼气的加热增温方式设计不合理，热能利用率低，即便可以维持运行也需提供大量外界热源用于系统运行的增温，经济效益显著下降。沼气的加温热能来源主要是以燃煤锅炉为主，庞大的能源开销背后必然伴随着严重的环境污染[13-14]。以上诸多问题导致了我国严寒地区沼气的废弃物降解率低，产气率低。大多数现有沼气工程冬季不能正常产气，沼气发电机不能正常发电，冬季有机废弃物处理量小，速度慢，沼液沼渣等有机肥不能及时供应，使沼气工程失去了降解、治污的重要功能，严重制约了提供我国北方地区沼气行业的发展[15-17]。

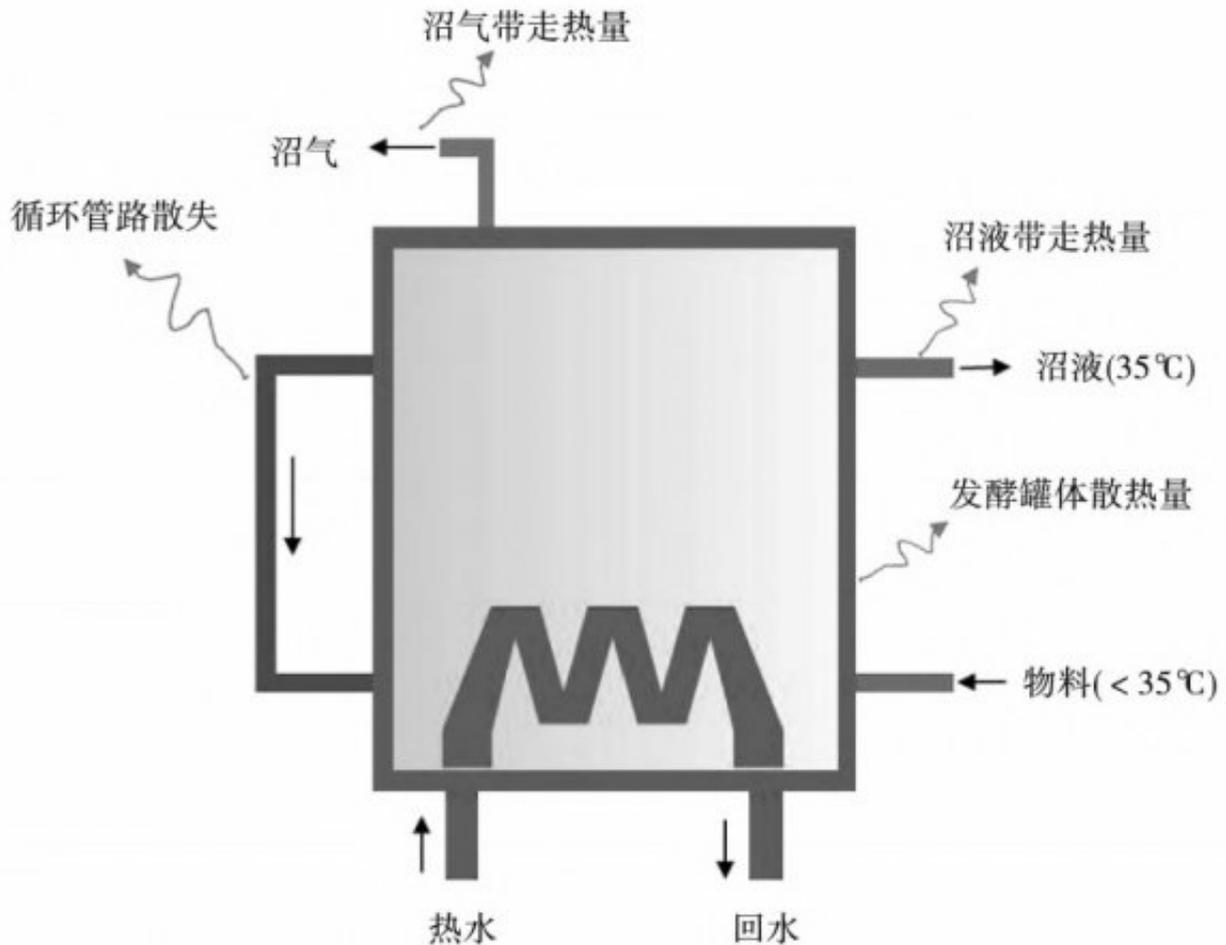


图 1 反应器能耗分析示意图

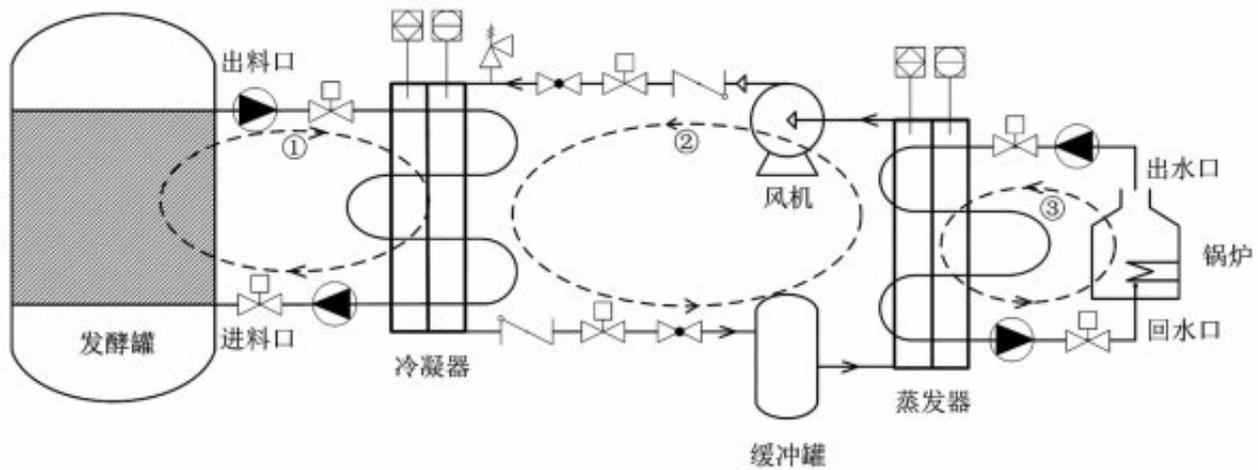
Fig. 1 The reactor energy consumption analysis

如图1所示，严寒地区冬季沼气工程发酵反应器能耗高的因素主要有两方面：一是排出的沼液带走大量热量，新进物料温度较低，需要大量的热能使其加热至发酵温度，约占总能耗比重55%。二是反应器罐体向外散失大量热能，约占总能耗比重44%。管道散热及沼气中带走热量所占比例不足1%，忽略不计。可以看出，降低反应器罐体的热量损失，提高排出沼液的热量回收率，是解决北方寒区沼气工程冬季能耗过大的主要途径。

3 换热工艺设计

根据严寒地区沼气工程的工作环境，设计了采用锅炉和沼液余热联合作为发酵反应器增温的低位热源，解决现有沼气工程冬季加温能耗高、热流失大、用能重等行业共性问题，为严寒地区沼气工程冬季运行提供一种节能、环保、经济的增温技术。

3.1 外部增温换热技术



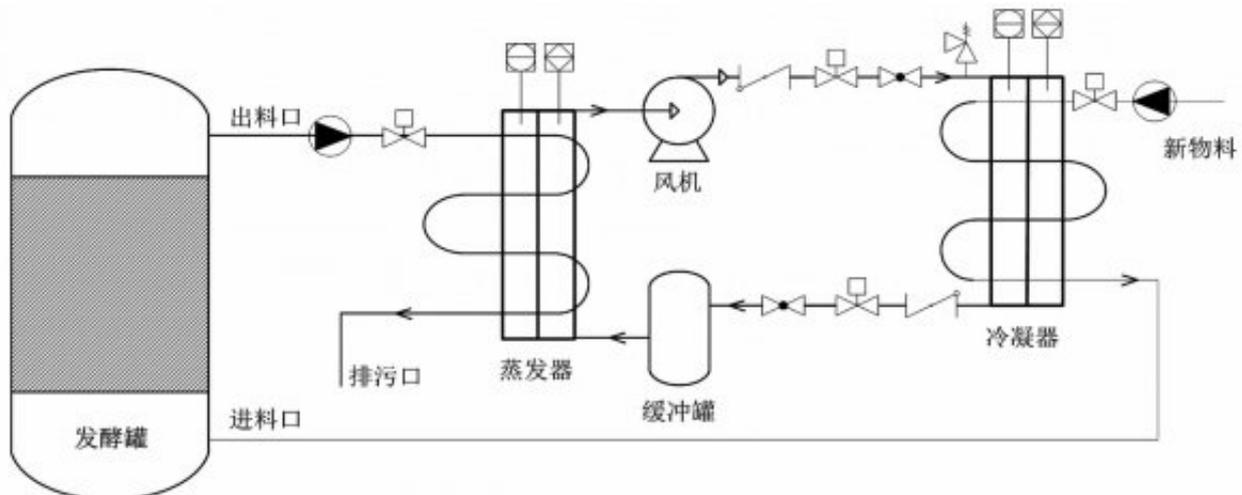
图例							
名称	止回阀	安全阀	压力计	温度计	电动阀	球阀	泵

图2 外部增温换热系统示意图

Fig. 2 The external heating and heat exchange system

图2所示为采用外部循环换热形式的增温系统示意图。换热器内主要有三条主管路，即沼液循环管路、热媒循环管路、加热循环管路（锅炉热水）。蒸发器内经过风机作用产生一定负压，热媒以液体形式进入蒸发器，受热后蒸发成气体迅速吸收热水管路中的热量，然后以气体形式通过热媒管路至冷凝器端。冷凝器内经过风机作用产生一定正压，热媒进入冷凝器后液化成液体，同时迅速释放出热量为沼液循环管路中的物料加热。其中，热媒依靠的是风机的吹力和吸力进行循环，依次保持循环进行吸热和放热，使发酵反应器内物料加热增温。

3.2沼液余热回收利用技术



图例							
名称	止回阀	安全阀	压力计	温度计	电动阀	球阀	泵

图3 新进物料增温系统示意图

Fig.3 The imported material heating system

如图3所示为沼液余热回收利用系统示意图。同理，将蒸发器管路阀门切换至沼液排出口，冷凝器管路阀门切换至鲜牛粪进料口。此时，热媒在蒸发器内吸收排出沼液中70%以上的热量，传输至冷凝器中为新进物料进行加热升温，使物料在进入反应器之前，利用沼液的余热回收热能为其加热增温，降低后续的反应器加温能耗。

4结论

设计的反应器外部换热增温技术，使反应器内物料的加热增温和新进物料的加热增温分时共用一套换热装置，降低设备成本，提高换热器的使用频率。采用外部换热形式，利用冷媒的物理状态改变进行热量传递，增加换热接触面积，提升物料的增温响应速度，换热效率高于传统的内换热形式。同时，物料的外部循环也能起到一定的搅拌作用，有助于反应器内物料的混合接种及温度的均匀传递。实际运行中，每天进、出料量相等，出料沼液温度为35℃，新物料温度约为10℃。理论上，将出料沼液中热量回收，完全能够满足将新进物料温度提升至35℃、新进物料不需要额外耗能就可以达到正常发酵温度。如果能够实现，发酵系统冬季将能够节约将近一半的能耗。

参考文献：

- [1] 王健,沈玉君,刘焯,等. 畜禽粪便与秸秆厌氧-好氧发酵气肥联产碳氮元素变化研究[J]. 农业工程学报,2019,35(04):225-231.
- [2] 付嘉琦,付尹宣,晏恒,等. 秸秆厌氧发酵预处理技术研究进展[J]. 能源研究与管理,2018,(04):21-23.
- [3] 张蕾蕾. 浅谈生态农业背景下沼气发酵技术及发展前景[J]. 农业与技术,2014,(10):22.
- [4] 王亚静,张弛,高春雨,等. 我国北方地区沼气工程冬季增温保温技术研究进展与展望[J]. 中国沼气,2017,35(03):93-99.

- [5] 常婧,任绳凤,管德星. 大中型沼气工程增温及控制系统运行管理策略[J]. 太阳能学报,2017,38(08):2077-2081.
- [6] 王丽丽,杨印生,王忠江. 北方大型沼气工程加热保温系统优化[J]. 吉林大学学报(工学版),2011,41(04):183-187.
- [7] B Boissevain. Waste heat utilization in an anaerobic digestion system [D]. Logan:Utah State University,2012.
- [8] J Hua,Z Teng,X Lu,Z Yang. Effect of waste heat recovery on net biogas yield in thermophilic biogas plants [J]. Cienc Journal, 2014, 65 (05):1888-1892.
- [9] RuiPing Han. Review on heat - utilization processes and heat - exchange equipment in biogas engineering [J]. Journal of Renewable & Sustainable Energy,2016,8(03):491-500.
- [10] 孙静. 严寒地区利用太阳能加热制沼气的实验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
- [11] 尹海文. 太阳能联合沼气锅炉加热沼气池模拟研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [12] 王发听,连晋毅,宁华龙,等. 基于 FLUENT 的沥青加温罐温度场研究[J]. 工程机械,2013,(11):30-34.
- [13] 李瑞容,朱德文,杜静,等. 南北方沼气工程中增保温技术利用现状和分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(06):390-393.
- [14] 隋新. 寒区沼气工程能耗分析与节能技术研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [15] 李瑞容,朱德文,杜静,等. 南北方沼气工程中增保温技术利用现状和分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(06):390-393.
- [16] 蒲小东,邓良伟,尹勇,等. 大中型沼气工程不同加热方式的经济效益分析[J]. 农业工程学报,2010,26(07):281-284.
- [17] 邢慧娟,秦朝葵,张杨竣,等. 大中型沼气工程热工行为分析[J]. 热科学与技术,2013,12(03):272-276.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/207215.html>