



城市污水处理厂沼气发电的两种方式

林荣忱, 周伟丽 林文波, 李玉庆

摘要: 作为污泥厌氧消化处理的副产品, 沼气是城市污水厂极具使用价值的能源。本文主要介绍了城市污水处理厂沼气发电的两种方式: 沼气发电机和沼气燃料电池发电。

关键词: 城市污水处理厂; 沼气; 效率; 发电机; 燃料电池

Two Systems of Biogas Generation in Municipal Wastewater Treatment Plant

LIN Rong-chen, ZHOU Wei-li

(Department of Environmental Engineering, Tianjin University
300072)

LIN Wen-bo, LI Yu-qing

(The Eastern Suburb Sewage Treatment Plant, Tianjin 300300)

Abstract: As the by-product of anaerobic sludge treatment, the biogas is a kind of potential utilizable resource in municipal wastewater treatment plant. In the article, two utilization ways of biogas, being used as the raw material of generator and fuel cell, are introduced.

Key word: municipal wastewater treatment plant; biogas; efficiency; generator; fuel cell

前言

城市污水厂沼气的有效利用, 不仅对改善排气质量而且对节能和降低运行费用都有很大的意义。本文将就污水处理厂沼气发电和沼气燃料电池发电作一个介绍。

沼气的主要成分是甲烷(CH_4), 一般污水厂消化气中甲烷的含量约为60%~65%, CO_2 含量约20%~25%, 其它各种气体如 H_2S 、水蒸气等约占5%~15%。燃烧热值约为21~23 mJ/m^3 , 是优良的燃料。许多污水厂用沼气烧锅炉为污泥消化池加热或者为污水厂生活提供炊事、采暖、洗浴的热源。这种沼气利用方式系统组成简单, 沼气的能量利用率高(约为70%~90%, 因设备的不同而异), 维修管理方便, 应用工艺成熟。但这种方式存在热量不平衡的矛盾, 冬季需热量大, 沼气产量可能无法满足热量需求; 夏季需热量小, 虽沼气产量低但仍供大于求, 多余能量无法利用, 很多情况下只好将多余沼气白白放掉, 既污染了大气, 又浪费了资源。

1 沼气发电机

沼气可以有效地作为往复式发动机和汽轮机的主要燃料来源，以发动机的动力来驱动发电机发电，将沼气化学能转变为电能，是沼气能量的一种有效利用方式。目前国内外有不少污水处理厂采用这种方式，如国内的天津市东郊污水处理厂和纪庄子污水处理厂等。日本 17 座污水处理厂应用沼气发电设备，电的自给率为 15%~30%，横滨市北部污泥处理中心的电自给率可达 64%~73%。1 kg 干污泥可产生 0.35 Nm³ 沼气，可发电 0.7 kWh。沼气的燃烧能约 30%~37% 转化为电能。图 1 为日本某污水处理厂沼气发电系统的流程简图。

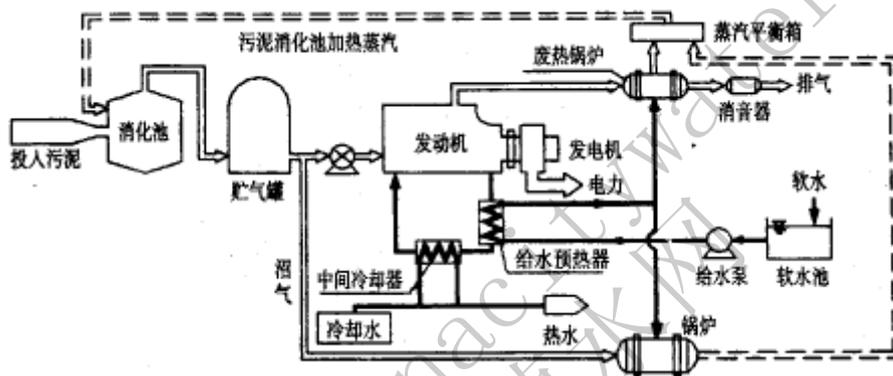


图 1 日本某污水处理厂沼气发电机发电系统图

该厂所产沼气一部分用于沼气锅炉，另一部分用于发电机，发动机排出的废气余热由冷却水回收。热水送至废热锅炉或沼气锅炉，产生的蒸汽回用于加热消化池，可满足消化池所需的全部热量。

沼气发电系统中发动机的效率取决于发动机的设计和运行方式，沼气能量在这种方式下经历由化学能→热能→机械能→电能的转换过程，其能量转换效率受热力学第二定理的限制，热能不能完全转化为机械能，热机的卡诺循环效率不超过 40%，大部分能量随废气排出。因此，将发动机的废气回收以提高沼气能量总利用率的必要途径，余热回收的发电系统总效率可达到 60%~70%^[1]。

沼气发电解决了沼气烧锅炉的热量供需矛盾，而且，沼气发电的经济收益要比直接烧锅炉高得多。

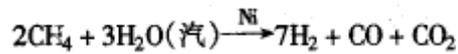
2 沼气燃料电池

燃料电池是一种清洁、高效、噪音低的发电装置，近年来日本和欧美国研究较多，但在国内，这项工作未提到议事日程上来。

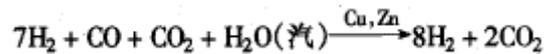
2.1 沼气燃料电池的工作原理

沼气燃料电池是将沼气化学能转换为电能的一种装置，它所用的“燃料”并不燃烧，而是直接产生电能。沼气燃料电池系统一般由三个单元组成：燃料处理单元、发电单元和电流转换单元。

2.1.1 燃料处理单元：该单元主要部件是改质器，它以镍为催化剂，将甲烷转化为氢气，反应如下(参与反应的水蒸汽来自发电单元)^[5]：



为了降低CO的浓度，在铜和锌的催化作用下，混合气体在改质器后的变成器中得到进一步的改良，反应如下：



2.1.2 发电单元：发电单元基本部件由两个电极和电解质组成，氢气和氧化剂(O₂)在两个电极上进行电化学反应，电解质则构成电池的内回路，其工作原理简图如图2^[6]。

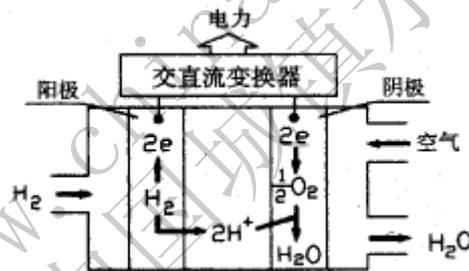
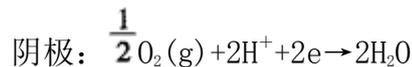
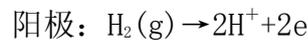


图2 磷酸型燃料电池工作原理

电解质可采用磷酸，其发电效率虽较低，但温度低(约200℃)。在磷酸电解质中，电池反应为：



电子通过导线时，形成直流电。燃料电池由数百年对这样的原电池组成。

2.1.3 电流转换系统：主要任务是把直流电转换为交流电。

燃料电池产生的水蒸汽，热量可供消化池加热或采暖用。排出废气

的热量也可用于加热消化池。

2.2 沼气的预处理

沼气中的有用成分是甲烷，燃料电池要求甲烷的浓度在 90%以上，其它成分如CO₂、H₂S等对燃料电池有不利影响。表 1 是沼气用作燃料电池各种气体含量的最高限值及超过此限值时对燃料电池的影响。

表 1 燃料电池对气体的限制值

有害物质	限制值	对燃料电池的影响
H ₂ S	7.12mg/m ³ 以下	缩短内部催化剂的寿命
HCl	浓度尽可能低	使内部催化剂能力低下
SO _x		对内部催化剂有不利影响
NO _x		对内部催化剂有不利影响
F 化合物		使内部催化剂能力低下
O ₂	1.0%以下	对脱硫催化剂有不利影响
粉尘	0.003 g/Nm ³ 以下	使催化剂压力损失增大
CO ₂	浓度尽可能低	减少电池发出的电力
CH ₄	浓度尽可能高	90%以上

沼气的提纯方法有：(1)用NaOH水溶液溶解吸收法；(2)沸石吸附法(PSA法)；(3)膜法，利用CH₄和CO₂透过膜的速度差来提纯CH₄。

日本某市用双塔式吸收法提纯沼气，装置简图如图 3，这种装置具有组成简单、成本低、操作简便的特点。第一吸收塔用处理水吸收大部分CO₂和H₂S，第二吸收塔用NaOH溶液，这样可节省NaOH的用量。用此装置提纯沼气，CH₄的回收率高，运行稳定可靠。

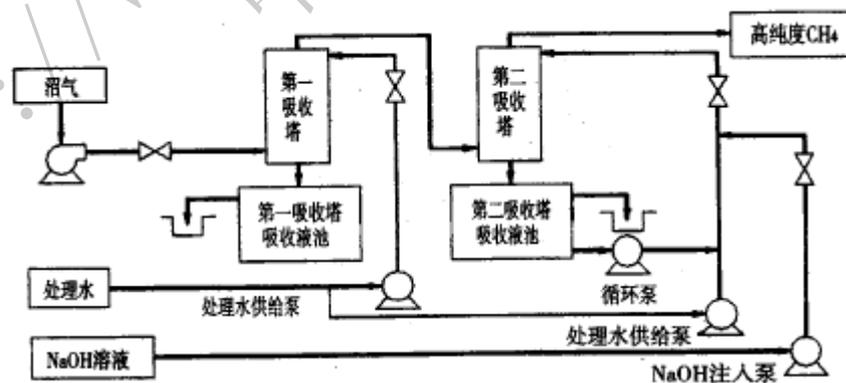


图 3 双塔式吸收法提纯沼气

2.3 燃料电池的效率

与热机效率不同，燃料电池能量转换的效率不受内燃机因素的限制，

其值等于电池反应的吉布斯焓变 ΔG 与燃烧反应热 ΔH 之比^[2]，可达 90% 左右。若考虑电动机、传动系统的效率，系统的发电效率可达 40%~60%，有废热回收的系统总的能量利用率为 70%~90%。

2.4 燃料电池的优缺点

优点：

- (1) 效率高。一般内燃机受卡诺循环的限制，效率可达 40%；
- (2) 没有或极少有污染物排放；
- (3) 燃料电池工作时不产生噪音和机械振动；
- (4) 维护管理容易。

缺点：

- (1) 缺乏长期运行经验；
- (2) 排气中除 H_2S 外，还可能含有微量磷废气，它们对环境的影响还不清楚。

3 沼气发电机与沼气燃料电池发电的比较

沼气燃料电池发电与沼气发电机发电相比不仅发电效率和能量利用率高，而且振动和噪音小，排出的废气氮氧化物和硫化物浓度低，因此是很有发展前途的沼气利用工艺。一座处理水量为 20 万 m^3/d 、进水 SS 为 120 mg/L、SS 去除率为 90% 的污水处理厂沼气燃料电池与沼气发电的经济分析比较^[4]见表 2。

表 2 沼气燃料电池与沼气发电机发电的经济比较

沼气用量 (N^3m/d)	6804	
发电方式	燃料电池 (200 kw×4)	沼气发电 (600 kw)
年发电量 (kw/a)	56.1×10^5	44.2×10^5
发电设备耗电量 (kwh/a)	-3.3×10^5	-3.6×10^5
年供电量 (kwh/a)	52.8×10^5	40.6×10^5
年节省电费 万日元/年(A)	7392	5684
建设费 万日元	72000	71000
年运行费 万日元/年(B)	6248	5056
年盈利 万日元/年	1144	628



由表 2 可见, 沼气燃料电池基建投资和运行费比沼气发电高, 但发电量高, 年盈利高。

4 结语

污水厂沼气利用的途径有很多, 如能根据本厂自身的特点和条件, 因地制宜, 合理利用, 必会给污水处理厂带来可观的收益。

作者简介: 林荣忱 男, 天津大学建筑工程学院环境工程系, 教授。

作者单位: 林荣忱, 周伟丽 天津大学环境工程系, 天津 300072
林文波, 李玉庆 天津市东郊污水处理厂, 天津 300300

参考文献:

- 1 W. F. Oven. 废水处理节能, 北京: 化学工业出版社, 1993: 158~161
- 2 A. O. Mcdougall. 燃料电池, 北京: 国防工业出版社, 1983: 24~25
- 3 张强等. 利用煤层气资源开发燃料电池的探讨, 新能源; 1998: 8: 35~38
- 4 日本下水道协会. 下水道施設省资源省エネルギー化対策. 东京: 日本下水道协会, 1983:268
- 5 下水道多目的活用研究地编. 下水道最先端—下水道の多目的活用, 理工图书, 1997: 113~114
- 6 日本下水道技术推进机构与大阪市共同研究. 消化ガスを燃料とする燃料电池システム, 新技术活用モデル事业总览, 1998:7:55~57