

垃圾发电沼气处理方案的可行性分析

吴家宋

广州意高环保装备股份有限公司，广东 广州 514000

DOI:10.61369/ME.2025110058

摘 要： 随着垃圾发电厂渗滤液产生的沼气，退补”政策、沼气产量的增加，以及技术的成熟，其合理化的应用越来越紧迫。垃圾发电通过沼气处理是一种将有机废弃物转化为能源的有效方式，现在主要是沼气处理方案有：沼气掺入一次风、沼气火炬燃烧、沼气入炉、沼气发电、沼气直燃加热一次风。本文根据上述五种工艺进行分析，旨在帮助项目合理选择沼气处理方案。

关 键 词： 沼气；垃圾发电厂；污水处理厂工艺方案

Feasibility Analysis of Garbage to Energy Biogas Treatment Scheme

Wu Jiasong

Guangzhou Yigao Environmental Protection Equipment Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 514000

Abstract： With the implementation of the "return and supplement" policy for biogas generated from leachate from garbage power plants, the increase in biogas production, and the maturity of technology, its rational application is becoming increasingly urgent. Garbage to energy generation through biogas treatment is an effective way to convert organic waste into energy. Currently, the main biogas treatment solutions include: biogas mixed with primary air, biogas torch combustion, biogas entering the furnace, biogas power generation, and biogas direct combustion heating of primary air. This article analyzes the above five processes to help the project choose a reasonable biogas treatment plan.

Keywords： biogas; garbage power plant; sewage treatment plant process plan

引言

沼气处理作为垃圾发电的一种重要组成部分，不仅能够实现垃圾的资源化利用，还能显著减少温室气体排放，对环境保护和可持续发展具有重要意义。因此，我们需要深入研究和评估不同沼气处理方案的可行性，通过考察不同技术路线的优缺点、经济性分析、环境影响评估以及政策法规考量，为决策者提供科学依据，从而助力推动垃圾发电行业健康发展，实现经济效益与环境效益的双赢。

一、沼气处理的工艺路线

（一）沼气掺入一次风

沼气掺入一次风是垃圾焚烧发电厂中一种较为基础的沼气回收利用工艺，其核心逻辑是将渗滤液厌氧处理过程中产生的沼气，通过专用收集管道与输送设备抽回至垃圾贮存坑（仓）内，与从外界引入的新鲜空气充分混合后，一同作为焚烧过程的助燃气体参与垃圾燃烧。这种工艺的设计初衷是利用沼气中甲烷（CH₄）等可燃成分的燃烧特性，优化燃烧氛围：一方面，沼气与空气的均匀混合能提升燃烧区域的氧气分布均匀性，避免局部缺氧导致的不完全燃烧，从而提高垃圾焚烧效率，减少一氧化碳、挥发性有机物等污染物的生成与排放；另一方面，沼气燃烧释放的热量可辅助提升焚烧炉内温度，确保垃圾焚烧更彻底，降低二噁英等剧毒污染物的产生风险。

从系统构造来看，该工艺主要由沼气收集管道、抽送风机、

混合器及简单的流量控制阀门组成，整体设计简洁明了，设备投资成本较低，施工周期短，适合中小型垃圾发电厂快速改造应用。但该工艺存在较为突出的安全隐患：由于沼气输送管道需连接垃圾坑与沼气产生源，管道接口、阀门密封处等易因长期使用磨损、腐蚀出现沼气泄漏；而垃圾坑内本身存在大量易燃垃圾，一旦泄漏的沼气在坑内积聚并达到爆炸极限，遇焚烧炉内的高温辐射或其他点火源，极易引发爆炸、火灾事故；同时，沼气中含有的硫化氢（H₂S）等有毒气体若发生泄漏，还可能对现场操作人员的身心健康造成危害，因此该工艺对管道密封性能、泄漏检测设备的灵敏度要求极高。

（二）沼气火炬燃烧

沼气火炬燃烧是垃圾发电厂中处理过剩沼气或应急处置沼气的常用工艺，其核心工作原理是通过专业化的火炬设备，将经过预处理的沼气进行充分燃烧，以消除沼气直接排放带来的环境与安全风险。该工艺的核心设备为沼气火炬，通常采用引射式燃烧

技术——借助火炬内置的高压空气喷射装置，产生强气流负压，将沼气从收集系统中吸入火炬燃烧腔，同时高压空气与沼气形成湍流混合状态，确保沼气在燃烧腔内充分氧化燃烧，燃烧效率可达95%以上，能有效避免未燃烧的甲烷直接排入大气，减少对环境的影响。

沼气燃烧火炬的完整工艺流程可分为五个关键步骤：第一步是沼气收集，通过遍布渗滤液厌氧罐、沼气缓冲罐等设备的收集管道，将分散产生的沼气汇总至主管道；第二步是预处理，通过脱水装置去除沼气中的水分、过滤装置拦截颗粒杂质，避免水分与杂质影响燃烧稳定性或腐蚀火炬设备；第三步是点火，火炬配备自动点火系统，当沼气压力达到设定阈值时，点火器自动启动，点燃进入燃烧腔的沼气；第四步是燃烧，在引射气流的作用下，沼气持续与空气混合并维持稳定燃烧，燃烧过程中释放的热量以热辐射和热对流的形式向外界扩散；第五步是排放，燃烧后的尾气经火炬顶部排放口排入大气，部分高端火炬还配备尾气检测装置，确保燃烧排放符合环保标准。

该工艺的显著优势是燃烧稳定性强，受沼气产量、组分波动的影响较小，且系统结构相对简单，设备投资与安装成本适中，操作维护便捷，无需复杂的控制系统。但核心劣势在于经济性较差：沼气燃烧过程中释放的大量热能完全向空气中散失，未得到任何回收利用，相当于浪费了沼气中蕴含的化学能；尤其对于沼气产量较大的垃圾发电厂而言，长期采用火炬燃烧处理沼气，会造成可观的能源损失，仅能满足环保与安全处置需求，无法为企业带来额外经济效益。

（三）沼气入炉

沼气入炉工艺是将垃圾渗滤液厌氧处理产生的沼气，通过专用燃烧系统送入垃圾焚烧炉内与垃圾协同燃烧的能源回收工艺，其核心目标是充分利用沼气的热能，实现资源的高效回收与再利用。该工艺的核心设备为沼气燃烧器及配套控制系统，整套系统由六大核心部分构成，各部分各司其职、协同运行：

沼气收集系统：由收集管道、缓冲罐组成，负责将渗滤液厌氧罐产生的沼气稳定收集并暂存，避免沼气产量波动对燃烧过程造成影响；

沼气增压系统：主要采用罗茨风机或离心式增压风机，将沼气压力提升至与焚烧炉内压力相匹配的水平，确保沼气的稳定喷入炉膛内燃烧；

燃烧器管路保护系统：包含压力监测装置、防回火装置、防爆阀、止回阀等，可实时监测沼气输送管路的压力变化，防止炉膛内的高温火焰回火至沼气管道引发安全事故，同时在压力异常时自动泄压保护；

燃烧器部分：采用耐高温、耐腐蚀的特种材质制成，配备精准的沼气喷射嘴与空气混合通道，确保沼气喷入炉膛后能与炉内空气快速混合、充分燃烧；

控制保护系统：由PLC控制器、温度传感器、压力传感器、流量传感器等组成，可根据焚烧炉内温度、垃圾燃烧状态、沼气产量等数据，自动调节沼气喷射量与燃烧空气量，维持燃烧稳定性，同时在设备异常时自动切断沼气供应并报警；

相关附件部分：包括沼气过滤器、冷凝水排放阀、检修阀门等，用于保障系统长期稳定运行。

该工艺燃烧稳定，适配沼气的组分与产量波动，沼气的热能可补充炉膛热量，减少辅助燃料消耗或增加发电量，资源利用率高。但系统结构复杂，设备投资高于前两种工艺，安装调试和后期维护技术要求高，适合沼气产量稳定、追求能源回收的电厂。^[1]

（四）沼气发电

沼气发电机组发电目前普遍采用碱法脱硫工艺，脱硫率必须达到99%以上，再送入除湿装置，除去其中的水分、颗粒杂质，清洁沼气通过罗茨增压风机送入高压沼气储罐，经沼气发电机发电。^[2]

我国垃圾焚烧发电厂大多采用机械炉排炉+凝汽式（或抽凝式）汽轮发电机组，同时配套烟气净化系统、循环冷却塔系统等。工艺路线：沼气—脱水—脱硫—气水分离—压缩—燃烧—发电机组。根据国内已投运沼气发电厂的经验，按目前沼气产气量计算，需采用一台发电功率为300kw的沼气发电机组，价格在200万元左右，前期投资和后期维护成本较高，且沼气发电机折旧费用较大。如果沼气机组选型与沼气实际产量、品质出现偏差，将严重影响机组运行效率。沼气机组选型过大会造成机组效率低下，大幅增加汽耗，使经济性下降。此外，沼气发电机组工艺复杂且占地面积大，初期设备费用及运营维护管理费用高。

（五）沼气直燃加热一次风

直燃一次风加热是指：在蒸汽空预器后串联一个沼气直燃空预器，当进行一次风加热时，预估沼气的输送量，调节蒸汽空预器后的出风温度，接下来由沼气空预器进行对空气加热。由于沼气燃烧装置设置于一次风空预器的出口母管上，占地面积小，因此在后期安装沼气燃烧装置时较为方便，而且当进行沼气燃烧时，对于空预器不产生任何影响，持续燃烧不会对空预器产生损害，在进行安装时也无需考虑空预器的材质，上述系统不仅结构简单，而且维护方便，能够大大降低维护费用，且沼气的利用率较高。包括沼气的输送装置和沼气燃烧装置，沼气的输送装置和沼气燃烧装置相连通，且沼气燃烧装置设置于一次风空预器的出口母管上。

因此根据上述5种工艺，根据我国中小型垃圾发电项目，推荐选用的是沼气直燃加热一次风或者沼气入炉，下面以装设1台日处理量为600吨/天的垃圾焚烧炉，针对沼气直燃和沼气入炉做详细性分析：

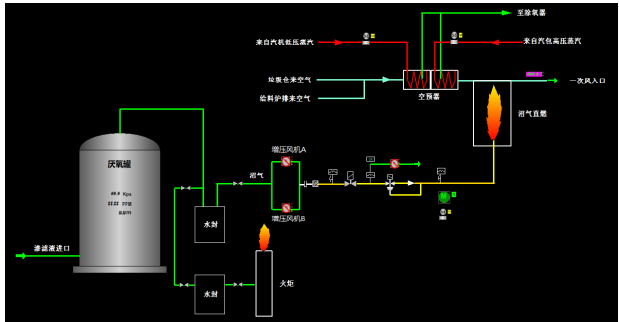
二、沼气直燃和沼气入炉做详细性分析

（一）相同性组成

渗滤液池及厌氧罐产生沼气，在垃圾焚烧炉正常运行时，采用沼气入炉/沼气直燃方式加热一次风进行利用；当焚烧炉停炉检修时，产生沼气进入已经建好的沼气的火炬进行燃烧排空处置。

沼气加热一次风和沼气入炉均需要配置：沼气燃烧器及相应控制系统由以下6部分组成：沼气的收集系统、沼气增压系统、沼气的输送管路系统、燃烧器、控制系统及相关附件部分。

沼气从渗滤液站经过水封、汽水分离、过滤等处理，送至增压风机采用罗茨风机增压（数量2台，一用一备），设置回流管路，然后经沼气输送管道至沼气入炉/沼气直燃空预器。



典型沼气直燃的系统图

（二）差异性比较

因此只针对沼气直燃燃烧器和沼气入炉燃烧器的差异，以及其收益。

生活垃圾焚烧厂沼气在渗滤液处理系统厌氧过程中产生，主要由CH₄、CO₂、N₂、H₂S、CO组成，还包括一些微量成分，其危害主要是加剧温室效应，发生爆炸和火灾等安全事故。沼气各成分体积分数为CH₄ 50~70%、CO₂ 30~45%、H₂S < 0.5%，其他气体 <5%。沼气低位热值为：16100 ~ 23300 kJ/Nm³（参考换算热值：20MJ/Nm³），是一种较理想的气体燃料。

600吨/天的垃圾焚烧炉沼气供给参数：全厂总沼气体积冬季150 m³/h，夏季按照251 m³/h计，沼气压力是20~30Kpa，下列计算按照沼气体积产量为200Nm³/h进行分析：

沼气入炉：

沼气入炉燃烧产生的热量先折算为垃圾处理量，垃圾发电上网效率为21%，沼气体积按8000h算，其产生的经济效益如下：

$$Q_1 = 20 \times 1000 \times 200 / 3600 \times 21\% \times 8000 / 10000 = 186.67 \text{ 万 kw} \cdot \text{h}$$

按照电厂上网电价0.5元/kw·h的标准计算，每年可以为电厂带来142万元的经济收益，约合93.34W。

沼气直燃：

经项目研究决定，本项目1#锅炉单侧一次风蒸汽空预

器出口风道增加布置一台直燃加热空预器，一次风总量是74080Nm³/h。

根据上述沼气参数，在标准垃圾工况下，计算一次风升温情况，及节省蒸汽量，计算如下：

空气量 V	74080	Nm ³ /h	备注
起始温度 t1	20	℃	
终止温度 t2	220	℃	
换热功率	5325	kw	单独用蒸发器升温到220° C
蒸汽投用量	8497	kg/h	
沼气热值	20	MJ/Nm ³	
实际沼气体积	200	Nm ³ /h	
可节省主蒸汽量	1773	kg/h	
预计可多发电	266	kw · h	每小时

在不考虑散热漏风等情况下，沼气体积为200Nm³/h，热值参考20MJ/Nm³，将74080Nm³/h一次风从常温20℃加热到220℃，蒸汽空预器+沼气直燃空预器组合能将原蒸汽投用量为8497kg/h减少1773kg/h，预计每小时可多发电355kw·h。

设置沼气直接空气预热器，按其每年运行时间8000h计算，每年可为电厂节省14184吨蒸汽，电厂可以多发电212.8万kw·h。按照电厂上网电价0.5元/kw·h的标准计算，每年可以为电厂带来106.4万元的经济收益。

同等规模的沼气入炉和沼气直燃加热一次风相比，沼气直燃加热一次风的效益会更高，因为沼气入炉需要折算锅炉的效率；沼气直燃加热一次风可以直接燃烧和空气混合，其燃烧器不需要受到炉膛的辐射热和灰尘的腐蚀，寿命长。

三、结论

通过上述五种沼气处理工艺的对比，沼气入炉和沼气直燃的安全性和经济性都是比较有优势的。随着技术越来越成熟，环保的指标也更加严格，焚烧线一般有一定的超负荷能力，或者部分项目出现焚烧线吃不饱的情况，可以考虑将这部分热能转移到焚烧炉上。这样不仅有利于环境保护，回收可利用资源，还能给企业带来一定的收益。

参考文献

[1] 袁真强, 欧阳袁渊. 垃圾焚烧发电项目沼气入炉掺烧技术应用 [J]. 技术与市场, 2017, 24(8): 70~72.
[2] 刘振波, 高林朝, 王滨杰. 沼气的综合利用技术和发展前景 [J]. 农业工程技术: 新能源产业, 2008(2): 34~36.