

· 冷热电联供 · 分布式能源 · 可再生能源 ·

固体废弃物填埋场填埋气提纯利用研究

贾扬, 陈运文, 罗彬

(深圳市燃气集团股份有限公司, 广东 深圳 518049)

摘要: 介绍填埋气在国外的提纯利用, 比较我国填埋气利用的三种方式(发电、热能利用、提纯代天然气), 对填埋气的掺混调制方案和与天然气的互换性进行了分析。

关键词: 生物质能; 填埋气; 提纯; 掺混; 代天然气

中图分类号: TU996 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-4416(2014)08-0A15-04

DOI:10.13608/j.cnki.1000-4416.2014.08.005



作者简介: 贾扬(1985 -)男, 重庆人, 工程师, 硕士, 从事城市燃气安全技术管理工作。

1 概述

随着全球经济和社会发展, 传统化石能源将越来越紧张, 太阳能、风能、生物质能等新能源的开发正值高潮。在新能源中, 城市固体废弃物填埋场填埋气(以下简称填埋气)作为生物质能的重要组成部分, 正越来越受到各方面的重视。填埋气是填埋场的有机废物通过一系列化学以及生物反应(主要是厌氧微生物作用下降解)后形成的混合气体, 主要成分为 CH_4 、 CO_2 以及其他微量成分如 N_2 、 H_2S 、 NH_3 、硫醇、氯乙烯、甲苯、乙烷、氯甲烷、二甲苯等^[1], 其中 CH_4 体积分数约为 45% ~ 60%, CO_2 体积分数约为 35% ~ 50%。

填埋气的低热值大约在 16 MJ/m^3 左右, 虽然含有害物质, 却是一种中低热值的可燃气体, 若收集后加以利用, 变废为宝, 可以成为一种新型绿色能源, 同时也可解决填埋气造成的安全和污染问题。在这方面, 发达国家早在 20 世纪 70 年代就对填埋气的利用进行了研究, 并已经有了填埋气利用的实例。1977 年, 世界上最早的填埋气收集系统在美国加利福尼亚州南部建成, 自此揭开了填埋气资源化利用的序幕。20 世纪 80 年代中期, 填埋气被用于内燃机和蒸汽轮机发电, 90 年代人们将填埋气净化处理后供给燃料电池或用作汽车燃料以及化工原料。到 1995 年, 已有 13 个国家先后建设了 246 个填埋气发电系统。

清华大学核能与新能源研究院在 2006 年 8 月做出的研究报告中指出, 截至 2006 年 6 月, 我国沼气(包括填埋气)资源总量有 $446 \times 10^8 \text{ m}^3$, 如果按低热值 23.02 MJ/m^3 折算, 相当于 $3500 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤, 可替代煤炭(低热值为 20.93 MJ/kg) $4900 \times 10^4 \text{ t}$ ^[2]。填埋气的利用符合国家对垃圾处理的资源化要求, 也是国家鼓励的可再生能源项目。

2 填埋气提纯利用的必要性

目前我国最常见的生活垃圾处理方法有焚烧、堆肥、填埋。我国现有的垃圾处理设施中约 80% 是填埋^[3]。按照国家颁布的垃圾处理技术政策, 卫生填埋将在长时间内作为国家城市生活垃圾处理的主

收稿日期: 2013-07-08; 修回日期: 2014-04-27

要方式和最终手段。我国城市生活垃圾产量已达 1.5×10^8 t/a 左右,截至2010年堆存量逾 60×10^8 t, 预计城市垃圾产量还将以 8% ~ 10% 的速度递增。长期以来,符合标准的填埋场非常有限,大多数是简单堆放,堆放场气体无组织释放,技术水平较低,垃圾所产生的填埋气处于无控制排放状态。由于气体的无序排放,上海、北京、重庆、岳阳等城市都发生过填埋气导致爆炸的事故^[4]。

2010年7月19日,深圳市被国家发展和改革委员会列为全国八大低碳城市试点之一(发改气候[2010]1587号《关于发展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》)。该通知指出,推进低碳技术研发、示范和产业化,培育壮大节能环保、新能源等战略性新兴产业,推进低碳经济发展,有效控制温室气体排放,将是城市实现科学发展的必由之路。填埋气提纯利用项目的实施将彻底改变固体废弃物填埋场填埋气的焚烧处理方式,最大限度地减少焚烧等处理方式中污染物的排放,改善城市环境质量,对城市经济的可持续发展、节能减排和城市环境优化将起到积极的推动作用。

3 填埋气利用方式

3.1 填埋气在国外的提纯利用

填埋气的收集利用在国外已经有多年的运行经验,2007年底,美国天然气技术研究所(Gas Technology Institute, GTI)通过对27个填埋场提纯的填埋气样品的分析,编写了一篇提纯填埋气进入天然气管网的指导性报告。经过慎重分析,推荐了3种提纯工艺^[5]:

① 物理溶剂工艺(Physical Solvent, PS),利用物理溶液吸收的方式,将垃圾填埋气中的 CO_2 等杂质脱除。

② 变压吸附工艺(Pressure Swing Adsorption, PSA)。

③ 气体分离滤膜工艺(Gas Separation Membrane, GSM),利用纤维素膜或促进传递膜将垃圾填埋气中的 CO_2 和 CH_4 分离。

其中变压吸附工艺早在1960年就已由Skarstrom提出,通过改进于60年代中期投入工业化生产,至今变压吸附的应用已经超过50 a。在这几十年中,随着人们对吸附剂物理性质的不断研究,变压吸附工艺也得到了相当的完善和发展,使得变压吸附从早期的一种辅助性操作,逐步发展成为煤

化工、石油化工、冶金、电子、医药、环境保护及生物化工等领域中气体分离的重要单元操作。变压吸附技术于20世纪90年代广泛运用于固体废弃物填埋场的填埋气、农场中的沼气提纯。美国Rumpke固体废弃物填埋场作为俄亥俄州最大的固体废弃物填埋场之一,使用变压吸附设备提纯填埋气中的甲烷并输入城市管网,截至2011年,已经给25 000个家庭供气。

该技术先将原料气由常压经风机加压至50 kPa,进入采用两台预净化器交替吸附的预净化工序。预净化器内装填有不同选择性的吸附剂,可脱除原料气中大部分的微量杂质。再采取变温脱氧初步将原料气中的单质氧脱离出来,再将填埋气加热到200~400℃,在耐硫脱氧催化剂床层发生氧化还原反应进行精脱氧,绝大部分的微量有机物和挥发性有机化合物(Volatile Organic Compounds, VOC)被氧化成 CO_2 和 H_2O ,同时部分硫、磷、砷等杂质转化为氧化态物质。经脱氧后的气体在40℃下再通过变温吸附(Temperature Swing Adsorption, TSA)工序,进一步脱除其中的硫化物、其他微量杂质等。脱除指标可根据要求通过对TSA工艺操作参数和吸附剂的选择进行控制。TSA工序后,填埋气由下至上通过胺液罐,脱除气体中 CO_2 (罐中的胺溶液通过吸收气体中的 CO_2 形成富液),填埋气从胺液罐出来之后,再通过分子筛对气体进行物理干燥脱水。在整个提纯工艺过程中,均配备气相色谱仪等在线检测仪表,采取监测措施对提纯气气质组分进行有效控制。

3.2 填埋气在我国的利用

填埋气的收集利用在我国起步较晚,目前我国填埋气的主要利用方式为填埋气发电、填埋气热能利用和填埋气提纯代天然气。

3.2.1 填埋气发电

填埋场填埋气发电原理是将固体废弃物填埋场产生的填埋气通过收集系统集中,再通过预处理装置净化(除尘、除水等)、稳压后送入燃气发电机组,发电后通过配电系统、控制系统,将发出的电能输送到电网(填埋气发电工艺流程见图1)。

3.2.2 填埋气热能利用

填埋气具有一定热值,对工业区内的燃烧器稍加调整便可对其加以利用,常见应用有砖瓦厂燃料、锅炉燃料等。其优点在于对气体的热值要求较低,

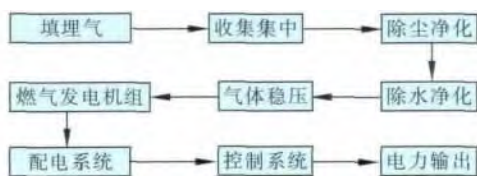


图 1 填埋气发电工艺流程

通常填埋气只经过简单预处理即可利用,预处理费用低。然而,这种利用方式只能用于一些简单的加热工序,用途受到限制。同时,这种加热利用方式要求周围有大型的热用户,限制条件较多。

3.2.3 填埋气提纯代天然气

在我国,填埋气提纯工艺已经运用多年,技术相对安全可靠,国内设备供应商相对成熟,故造价和维护成本相对较低。提纯气经压缩后可制成CNG,具有较高的经济价值。另外,提纯过程中已将硫等杂质去除,燃烧时不会产生二次污染。提纯气中甲烷体积分数在88%以上,其热效率高于同类发电和热能利用项目。

3.3 利用方式的比较

填埋气利用方式的比较见表1。

表 1 填埋气利用方式的比较

评价项目	发电	热能利用	提纯代天然气
技术成熟度	一般	高	高
填埋气热效率	一般	较高	高
提纯设备性能要求	高	一般	一般
经济价值	中	低	高
二次污染程度	高	中	低
综合评价	一般	一般	好

4 填埋气的掺混调制

目前对于填埋气发电等已有成熟应用案例,但是对于提纯代天然气的公开文献国内并不多。

提纯气作为代天然气,需要满足现行国家标准GB 17820—2012《天然气》、GB/T 13611—2006《城镇燃气分类和基本特性》。如果某城市的天然气基准气是12T,那么提纯气也应满足相应的要求:高华白数满足45.67~54.78 MJ/m³的范围,燃烧势满足36.3~69.3的范围。如果提纯气不能满足12T天然气要求,则可以通过掺混气体等调制方式(如与液化石油气、纯丙烷混合等)达到标准。

本文选取某固体废弃物填埋场填埋气提纯气进行研究。假设该市的基准气为12T天然气,采用提

纯气与西气东输二线天然气(以下简称西二线气)进行掺混调制分析。

提纯气与西二线气组成见表2,提纯气与西二线气燃烧特性参数见表3。

表 2 提纯气与西二线气组成

组分	摩尔分数/%	
	提纯气	西二线气
CH ₄	88.46	94.39
O ₂	0.85	—
CO ₂	0.18	1.68
N ₂	10.51	3.93

表 3 提纯气与西二线气燃烧特性参数

项目	提纯气	西二线气
相对密度	0.62	0.59
低热值/(MJ·m ⁻³)	32.82	34.61
高热值/(MJ·m ⁻³)	33.41	38.29
低华白数/(MJ·m ⁻³)	41.55	44.91
高华白数/(MJ·m ⁻³)	42.31	49.69
燃烧势	35.42	38.65

提纯气的调制要求是在满足12T天然气的情况下与西二线气满足燃气互换性的要求。经计算,当提纯气与西二线气以体积比为1:1.5掺混时,调制气高华白数为47.1 MJ/m³,燃烧势为37.36,满足12T天然气标准。

5 结论及展望

通过上述分析可知,填埋气与西二线气按照一定比例混合后,可以满足国家标准GB 17820—2012《天然气》、GB/T 13611—2006《城镇燃气分类和基本特性》的气质要求和互换性要求,是一种合格的代天然气。

2012年8月,国家能源局发布了《可再生能源发展“十二五”规划》,明确地提出了可再生能源发展的目标、任务和布局,提出了生物质能年利用量为5 000×10⁴ t/a标准煤的目标。填埋气的提纯利用符合国家对垃圾处理的资源化要求,是国家鼓励的可再生能源项目。通过运用先进的填埋技术、提纯技术、混气技术制取价格相对低廉、安全的提纯气,不仅能减少大量温室气体的排放,防止发生爆炸事故,同时还有效回收、利用可再生能源,是一项利国利民的能源综合利用项目,且积极响应了国家环境保护总局于2002年10月发布的《中国城市垃圾填

埋气体收集利用国家方案》的要求。随着我国生活水平的不断提高,城市生活垃圾的处理也成为日益艰巨的工作,固体废弃物填埋场填埋气的提纯利用,为城市发展和环境保护之间的协调发展提供了新途径。

参考文献:

- [1] 杜娟. 我国城市垃圾填埋气资源化利用现状及前景研究[C]// 中国环境科学学会. 2010 中国环境科学学会学术年会论文集: 第四卷. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 3487 - 3489.
- [2] 顾树华. 中国沼气资源和开发利用[R]. 北京: 清华大学核能与新能源研究院, 2006: 2 - 3.
- [3] 李美, 郑志洁, 朱跃武, 等. 成都市某垃圾处理场职工健康状况研究[J]. 现代预防医学, 2013(3): 413 - 415.
- [4] 刘景岳, 徐文龙, 黄文雄, 等. 垃圾填埋气回收利用在我国的实践[J]. 中国环保产业, 2007(10): 34 - 35.

- [5] KAREN C, KRISTINE W. Guidance document for the introduction of landfill-derived renewable gas into natural gas pipelines [R]. Des Plaines (USA): Gas Technology Institute, 2012: 6 - 10.

Research on Purification and Utilization of Landfill Gas in Municipal Solid Waste Landfill Site

JIA Yang, CHEN Yunwen, LUO Bin

Abstract: The foreign purification and utilization technologies of landfill gas are introduced. Three kinds of landfill gas utilization methods in China, including power generation, thermal energy utilization and purification for producing substitute natural gas are compared. The blending of landfill gas and the interchangeability between landfill gas and natural gas are analyzed.

Key words: biomass energy; landfill gas; purification; blending; substitute natural gas

· 信息 ·

中国—中亚天然气管道 C 线进气投产

2014 年 5 月 31 日 11:00 在乌兹别克斯坦境内中国—中亚天然气管道首站,随着中乌双方工作人员打开进气阀门,来自土库曼斯坦的天然气进入中国—中亚天然气管道 C 线,宣告这条中国石油和中亚伙伴联手建设的跨国新管道顺利投产。

中国—中亚天然气管道 C 线工程是中国石油在已建成投运的 A、B 线基础上,规划建设的又一条能源大动脉,是中国与中亚国家油气合作新的重要成果。C 线与 A、B 线并行敷设,总长 1 830 km,设计输气能力 $250 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。起于土乌边境的格达依姆,经乌兹别克斯坦和哈萨克斯坦,于我国新疆霍尔果斯口岸入境,与国内的西气东输三线相连。

C 线于 2012 年 9 月全面启动建设,2013 年年底完成线路整体焊接工作,实现线路贯通。

2015 年年底 C 线相关配套设施全面建成后,这条管道将达到 $250 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 的设计输气能力,中国—中亚天然气管道总输送能力将达到 $550 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,可满足国内 1/5 以上的天然气消费需求,相当于替代 $0.73 \times 10^8 \text{ t/a}$ 煤炭,可分别减少二氧化碳和二氧化硫排放 $0.78 \times 10^8 \text{ t/a}$ 、 $121 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。

(摘编自中国石油天然气集团公司网站)

<http://news.cnpc.com.cn/system/2014/06/03/001489924.shtml>

充分发挥科技进步和创新的巨大作用
更好地推进我国社会主义现代化建设