

## 工作研究

## 垃圾填埋气作为可再生能源的利用

范晓平, 苏红玉, 康振同, 童琳, 张庆

(城市建设研究院, 北京 100029)

**摘要:** 垃圾填埋气的回收和利用是一项经济可行且对环境有益的技术, 叙述了目前中国垃圾填埋气利用的情况和新标准要求, 结合已成功应用的实例介绍了6种不同的垃圾填埋气作为可再生能源的方式, 指出了中国进行填埋气回收利用有广阔的前景。

**关键词:** 垃圾填埋气; 可再生能源; 回收利用

**中图分类号:** X705 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3997-(2010)04-0020-02

## Utilization of Landfill Gas as Renewable Energy Resources

FAN Xiao-ping, SU Hong-yu, KANG Zhen-tong, TONG Lin, ZHANG Qing

(China Urban Construction Design &amp; Research Institute Beijing 100029 China)

**Abstract** Recovery and utilization of the landfill gas is a technology economically feasible and environmentally beneficial. At present landfill gas of our country has not fully utilized. Six kinds of the landfill gas are introduced separately as renewable energy resources combining with successful examples at home and abroad. The advantages and future about the recovery and utilization of landfill gas are analyzed in this paper.

**Key words:** landfill gas; renewable energy resources; recovery and utilization

## 0 引言

填埋气含有大量  $\text{CH}_4$ , 既会对环境和人类造成严重危害, 又能作为宝贵的能源, 若处理不当能引起爆炸和火灾事故, 填埋气含有  $\text{CO}_2$ , 会产生温室效应。尤其在目前能源危机和环境问题的双重影响下, 许多国家都在积极寻找其他替代的清洁能源。因此, 从1977年第一个垃圾填埋场回收填埋气系统在美国加利福尼亚南部的Palos Verdes建立后, 目前已有20多个国家安装了填埋气的回收利用装置。由于这些国家对于这部分能源的开发给予政策性的支持和优惠, 使得填埋气的利用已成为技术较成熟的, 具有明显社会效益和经济效益的投资项目。与国外相比, 中国差距比较明显。但随着人们环境意识的提高以及世界组织对中国大气环境的要求, 中国已迫切需要改变这种局面。

## 1 垃圾填埋气概述及新标准要求

预测到2015年, 中国城市的垃圾产量将达  $1.79 \times 10^8 \text{ t/a}$ , 其中, 60%采用卫生填埋处理, 需填埋处置约  $1.1 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。按照垃圾产生的填埋气为  $0.064 \text{ m}^3/\text{kg} \sim$

$0.440 \text{ m}^3/\text{kg}$  计算, 产生的填埋气中  $\text{CH}_4$  总量相当于  $10 \times 10^8 \text{ Nm}^3/\text{a} \sim 70 \times 10^8 \text{ Nm}^3/\text{a}$  的天然气, 其最小值与目前中国煤层气产量相当, 最大值相当于中国目前天然气产量的  $1/5^{[1]}$ 。如果对垃圾填埋气进行回收利用, 既可减少温室气体的无序排放, 又可回收能量, 实现垃圾的资源化和能源化利用。

2008年4月, 国家环境保护部和国家质量监督检验检疫总局联合颁布了GB 16889-2008 生活垃圾填埋场污染控制标准<sup>[2]</sup> (替代GB 16889-1997), 并于2008年7月1日起实施。在该标准中, 关于填埋气导排及利用方面, 作了如下规定, a) 生活垃圾填埋场应建设填埋气体导排系统, 在填埋场的运行期和后期维护与管理期内将填埋层内的气体导出后利用、焚烧或达到GB 16889-2008中9.2.2的要求后直接排放; b) 设计填埋量大于  $250 \times 10^4 \text{ t}$ , 且垃圾填埋厚度超过20m的生活垃圾填埋场, 应建设  $\text{CH}_4$  利用设施或火炬燃烧设施处理产生和排放的填埋工艺或采用火炬燃烧设施处理含  $\text{CH}_4$  填埋气体。由此可见, 新标准对垃圾填埋气的处理、利用要求更加细化。这表明中国已高度重视垃圾填埋气的排放和利用问题。

## 2 垃圾填埋气作为可再生能源的利用情况

## 2.1 直接燃烧产生蒸汽 用于生活或工业供热

填埋气中约40%~60%是  $\text{CH}_4$  气体。  $\text{CH}_4$  是1种清洁能源, 具有很高的热值。表1所列为纯  $\text{CH}_4$ 、填埋气与几种能源发热量的比较, 可以看出, 填埋气的热值

收稿日期: 2010-06-12

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目(2006BAC06B01和2006BAC06B05)

第一作者简介: 范晓平, 1981年生, 男, 山西晋中人, 2008年毕业于北京科技大学环境工程专业, 工程师。

与城市煤气的热值接近<sup>[3]</sup>。

表1 几种能源热值比较

燃料种类	纯 CH <sub>4</sub>	填埋气	煤气	汽油	柴油
发热量 kJ/m <sup>3</sup>	8 580.0	4 633.2	4 000.0	7 300.0	9 500.0

注:该填埋气含量为 CH<sub>4</sub>54%, CO<sub>2</sub>45%, 其余成分 1%。

由于填埋气的高热值,填埋气可用于生活供暖、温室用户以及工业燃料,其经济效益在很大的程度上取决于使用的连续性以及从填埋场到用户的距离。

目前,国内成功的实例有宁波大岙垃圾卫生填埋场垃圾处理示范工程<sup>[4]</sup>。其中的填埋气作为燃料供给砖厂降低了生产成本,按该产量为  $7 \times 10^4$  块/d 的规模计算,相当于节约了 700 元/d 人民币。该项目共投入  $30 \times 10^4$  元,1 a 基本可收回投资。

## 2.2 垃圾填埋气发电

利用填埋气体发电是国际上应用最广泛的技术之一。这种方式的优点在于技术成熟,其技术装备可采用成熟的燃气发电机组或专用的沼气发电机组。填埋气发电项目符合国家节能环保产业政策,体现循环经济的“无害化、减量化、资源化”原则。由于含有大量 CO<sub>2</sub>,影响填埋气的稳定燃烧,因此,填埋气在通过内燃机(一般为柴油机)燃烧释能做功发电时,一般需采取在柴油机的基础上增加预燃室、进气增压、用火花塞点火取代压燃点火、增加缸体体积、提高压缩比,来保证填埋气在柴油机内的稳定燃烧。

国内成功的实例很多,如,北京阿苏卫垃圾填埋场、杭州天子岭填埋场、广州兴丰填埋场、南京水阁填埋场等。以北京阿苏卫填埋场为例,填埋气的回收率约为 70%,通过打垂直气井,可回收气体  $10.8 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,填埋气中纯 CH<sub>4</sub> 为 52.4%~60.4%,发电经济效益明显。

## 2.3 用作汽车燃料

经科学试验及实践证明,CH<sub>4</sub> 含量超过 50% 的 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 混合气体,可替代汽油作为汽车燃料。此项技术的限制性因素主要是装备技术商业化。压缩天然气作为汽车燃料目前正逐步为市场所接受,填埋气由于受到生产量的限制,很难达到商业化规模经营。目前可选择的主要用户是专用垃圾运输车辆,其优点是无需在填埋场外再建加气站,可大幅度降低燃气的成本。

目前,国内成功的实例有鞍山市羊耳峪垃圾填埋场垃圾处理示范工程<sup>[5]</sup>。该项目的建成投产,解决了鞍山羊耳峪垃圾卫生填埋场沼气无规则迁移造成的安全问题,对鞍山市环境质量总体水平的提高发挥了重要作用。

## 2.4 在天然气价格高的地区用作燃气

经过净化提纯后并入城市燃气管道,特别是在天

然气价格高的地区适宜使用。

香港地区的填埋气,就是把填埋气净化提纯后注入城市燃气管道来进行利用。实践证明,用作燃气对于天然气价格高的地区经济效益较好。

## 2.5 从垃圾填埋气中分离提纯 CO<sub>2</sub> 作为化工原料

该法是将垃圾填埋气中富集的 CO<sub>2</sub> 分离出来,既可作为化工原料又减排了 CO<sub>2</sub>,同时,还可回收利用 HC<sub>4</sub>。可用的分离方法一般有物理化学法、吸附分离法、膜分离法等。膜法成本太高。甲基二乙醇胺法是溶剂吸收法中的 1 种,该法利用甲基二乙醇胺分子结构中的羟基降低分压和增大水溶性,利用胺基使水溶液呈碱性因而能够吸收酸性气体来分离 CO<sub>2</sub>。该法因其设备成本低、操作简便、净化效果好,引起了广泛关注。另外,变压吸附已发展成 1 种新型高效的气体分离技术,首先让 CO<sub>2</sub> 在加压的吸附塔中被选择性吸附,因而与 CH<sub>4</sub> 分离,随后在减压塔中解吸而再生,CO<sub>2</sub> 脱除率可大于 95%。

该利用方法由于投资和维护成本较高,目前只把北京安定垃圾卫生填埋场作为示范工程,正在建设中。

## 2.6 利用填埋气燃烧蒸发渗滤液

垃圾填埋产生大量的渗滤液,主要来源是垃圾自身含水、垃圾生化过程产生的水、地下渗透水、大气降水。渗滤液水质复杂,危害较大。GB 16889-2008 生活垃圾填埋污染控制标准明确规定生活垃圾填埋场应设置污水处理装置。因此,渗滤液不能直接排入城市污水管网,必须先采取技术措施进行处理。以中国填埋生活垃圾超过  $1.50 \times 10^8$  t/a,且平均每吨垃圾产生 0.30 t 渗滤液计算,将产出超过  $0.45 \times 10^8$  t/a 渗滤液。填埋场所产生的渗滤液水质复杂,NH<sub>3</sub>-N 含量高,渗滤液不易生化处理。如,利用填埋场副产物的填埋气燃烧释放的热量,使得渗滤液蒸发,则不需要配置专门的蒸汽锅炉,也不会有其他生化、物化处理方法投资大、运行成本高的问题,更重要的是该方法对渗滤液的成分、浓度、年龄等因素不敏感,有灵活的适应性。填埋气燃烧蒸发渗滤液有不同的方式,如,填埋气分级燃烧、浸没式燃烧<sup>[6]</sup>等方式。为进一步节能,又开发了渗滤液分级燃烧、二级浸没燃烧等方式。这些技术蒸发效率高、设备简单、便于控制、运行费用低,特别适用于渗滤液的浓缩液,蒸发渗滤液耗填埋气量不到 0.3 m<sup>3</sup>/kg。中科院、清华大学已经开展这方面的研究工作,并在改进燃烧蒸发技术,正在北京北神树、安定等填埋场进行试点。

## 3 结语

在垃圾填埋气的利用方式中,填埋气用作生活和工业,采用蒸汽及填埋气通过内燃机发电研究和应用实

(下转第 27 页)

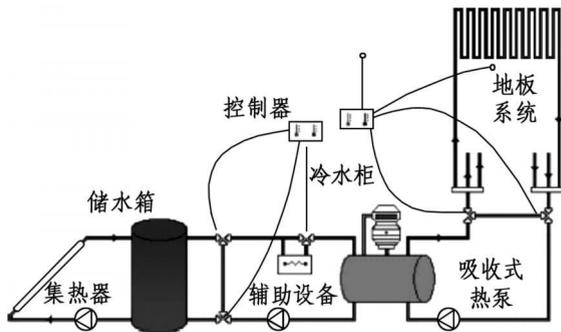


图3 太阳能单级溴化锂地板制冷/制热空调系统

Syeda, 等<sup>[11]</sup>以典型的西班牙马德里住房为研究对象,采用49.9 m<sup>2</sup>平板集热器,单效溴化锂制冷功率为35 kW,热量存储在2 m<sup>3</sup>热水柜中,冷媒水直接送到用户。制冷量为5.13 kW至7.5 kW,最小发生器进水温度65℃~81℃,最大制冷系数0.60,平均制冷系数0.42。并根据每日太阳能分布情况,绘制了能流图,制冷系数分布图。

突尼斯(北非国家)M Balghouthia, M H Chahbanib, A. Guizani<sup>[12]</sup>研究太阳能吸收式空调系统在突尼斯应用的可能性。应用TRNSYS and EES软件对系统进行了评估和模拟。对150 m<sup>2</sup>典型建筑的空调系统进行了优化,该系统包括30 m<sup>2</sup>平板式集热器,0.8 m<sup>2</sup>热水储存箱,制冷量为11 kW。吸收式制冷机制冷系统COP在0.7左右。

M. Mazloumi, 等<sup>[13]</sup>以伊朗阿瓦士城市空调为例,研究模拟单效溴化锂太阳能空调系统。来自集热器的太阳能储存在保温的储水箱中,制冷量在7月是峰值约为17.5 kW。建立了热力学模型模拟制冷循环。研究中发现,集热器的质量流量对于所需最小集热面积有不可忽略的作用,并且对储水箱的优化同样有巨大的作用。集热器最小面积为57.6 m<sup>2</sup>。

## 4 结语

由于太阳能的密度低、不稳定、非连续,使如何开发户式新型太阳能空调系统成为实现普遍应用的关键。目前,要实现其商品化生产,还有许多问题需要进

一步解决。但是,随着技术的革新以及人们节能与环保观念的增强,户式太阳能空调系统必将有更广阔的发展空间。

## 参考文献:

- [1] 武俊梅,张社祐,张秉笃.小型无泵溴化锂吸收式空调器蒸发器的研究[J].暖通空调,1995(1):8-11.
  - [2] 廉永旺,马伟斌,李戡洪.小型太阳能溴化锂制冷机的一种新型结构[J].太阳能学报,2003,24(5):601-604.
  - [3] 谷雅秀,吴裕远,张林颖,等.小型无泵溴化锂吸收式制冷系统的实验研究[J].制冷学报,2006,27(5):17-21.
  - [4] W. Rivera, A. Xicale. Heat transfer coefficients in two phase flow for the water/lithium bromide mixture used in solar absorption refrigeration systems[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2001, 70: 309-320.
  - [5] 马良涛.燃气炉与太阳能联合采暖和制冷系统[J].可再生能源,2006(4):70-73.
  - [6] 黄飞,余国和.太阳能与天然气综合供热的小型吸收式制冷机在别墅建筑的应用[J].制冷技术,2002(1):21-23.
  - [7] 胡亚才,张雪东,王建平,等.塑料换热技术在溴化锂吸收式制冷机上的应用展望[J].制冷学报,2005(1):44-48.
  - [8] M. Hammad Y. Zurigat. Performance of a second generation solar cooling unit[J]. Solar Energy, 1998, 62(2): 79-84.
  - [9] Z. F. Li, K. Sumathy. Experimental studies on a solar powered air conditioning system with partitioned hot water storage tank[J]. Solar Energy, 2001, 71(5): 285-297.
  - [10] A A Argiriou, C A Balaras S Kontoyiannidis et al. Numerical simulation and performance assessment of a low capacity solar assisted absorption heat pump coupled with a subfloor system[J]. SolarEnergy, 2005, 79: 290-301.
  - [11] A Syed, M Izquierdo, P Rodríguez et al. A novel experimental investigation of a solar cooling system in Madrid[J]. International Journal of Refrigeration, 2005, 28: 859-871.
  - [12] M Balghouthia, M H Chahbanib, A Guizani. Feasibility of solar absorption air conditioning in Tunisia[J]. Building and Environment, 2008, 43: 1459-1470.
  - [13] M Mazloumi, M Naghashzadegan, K Javaherdeh. Simulation of solar lithium bromide-water absorption cooling system with parabolic trough collector[J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49: 2820-2832.
- 资源化的有关问题[J].中国能源,2002(9):24-26.
- [2] 国家环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.GB 16889-2008 生活垃圾填埋场污染控制标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
  - [3] 刘春华,聂永丰.填埋释放气体利用技术在我国的应用前景[J].污染防治技术,1995,8(3):143-145.
  - [4] 谢文岳,任镭,陈昆柏.宁波大舜垃圾卫生填埋场填埋气的综合利用[J].能源与环境,2009(1):56-58.
  - [5] 王艳秋.国内垃圾填埋气利用新途径——压缩制汽车燃料气[J].中国沼气,2004,22(1):33-34.
  - [6] 岳东北,许玉东,何亮,等.浸没燃烧蒸发工艺处理浓缩渗滤液[J].中国给水排水,2005,21(7):71-73.

(上接第21页)

例较多,前2种利用方式占到总利用量的80%以上,通过净化垃圾填埋气压缩气(CLFG)用作汽车燃料、经过净化提纯后并入城市燃气管道利用和从填埋气中分离提纯CO<sub>2</sub>作为化工原料以及用填埋气燃烧蒸发渗滤液,当前正处在研发中。

随着环境保护、资源综合利用相关政策的制定和落实,垃圾填埋气的资源化回收利用,对我们这个人口大国,其前景将是十分广阔的。

## 参考文献:

- [1] 时景丽,李俊峰,胡润青,等.促进城市生活垃圾填埋气体