



摘要:随着我国城镇化建设进程的加快和人民生活水平的提高,填埋气的充分利用成了需要面对的问题。讨论了几种生活垃圾填埋场填埋气的利用方法和途径,分析了相关的技术环节或主要问题。

关键词:垃圾;填埋气;甲烷;二氧化碳



# 生活垃圾填埋气的利用

袁怡祥, 马人熊, 谭春青

(中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190)

## 1 填埋场的气液排放

在生活垃圾的处理方面, 由于垃圾卫生填埋技术相对简单、处置量大、费用较低, 已经成为了国内外大多数城市垃圾处置的主要方式。填埋场排放的气液形式的环境有害物质主要是填埋气和渗滤液。

生物质或有机体在填埋场厌氧发酵条件下将产生大量的填埋气, 填埋气存在安全隐患, 因为填埋气主要含有甲烷(40%~60%左右)、二氧化碳(30%~50%左右)以及少量氮气和其他微量气体。 $\text{CH}_4$ 是一种易燃易爆的气体, 当空气中浓度达到5%~15%时就可能发生燃烧或爆炸。甲烷比空气轻, 在垃圾填埋场中会向上移动并可能在某处积聚, 因而在条件成熟时形成燃烧或爆炸, 国内外有过这方面的报道。另外填埋气中的甲烷所造成的温室效应是二氧化碳的21倍左右, 属于强温室效应气体, 对臭氧层有破坏作用。

垃圾填埋还产生大量的渗滤液, 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。渗滤液中确认的主要有机污染物有数十种, 其中已被确认致癌物不少于1种, 辅助致癌物不少于4种, 超过5种被列入我国环境优先污染物黑名单; 其次, 渗滤液

中的氨氮含量高, 是臭味的主要原因; 同时, 其 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 和 $\text{BOD}_5$ 浓度高; 而且垃圾渗滤液中含有多种金属离子, 其中铁、锌、铅、钙的浓度较高。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。

随着我国城市化进程的加快, 填埋场越来越多, 所产生的渗滤液和填埋气的总量也越来越大。我国每年填埋生活垃圾超过1.5亿t, 平均每吨垃圾产生0.3t渗滤液计算, 每年将产生超过4000万t渗滤液。典型的生活垃圾每千克可产生 $0.065 \sim 0.44 \text{ m}^3$ 填埋气, 全国每年的城市生活垃圾将产生至少 $100 \sim 700 \text{ 亿 m}^3$ 左右的填埋气。填埋气和渗滤液的大量生成使得二者的处理成了一个越来越需要正视、解决的问题。

由于含有大量甲烷, 填埋气的高位热值可达 $15600 \sim 19500 \text{ kJ/m}^3$ , 比高炉煤气的热值还高, 与焦炉煤气的热值相当, 具有较高的能量价值。填埋场的填埋气是一种现成、方便、较容易获得、可连续供应的可再生能源。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, 消除环境污染, 又可回收能量, 变废为宝, 起到双重效果, 实现生活垃圾的资源化。



## 2 填埋气的主要利用途径

填埋气可以通过如燃烧蒸发和并入管道等直接方式、液化储存和重整制取醇醚等间接方式加以利用。下面列举典型的应用途径。

### 2.1 填埋气用于内燃机发电

垃圾填埋气中含有大量  $\text{CO}_2$ ，这使得填埋气的热值降低、火焰传播速度较慢、混合气点火温度提高。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，一般需要采取一些技术措施，比如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。

内燃机发电的优点是成本低、效率较高（两缸机达33%左右）、技术较成熟，发电功率一般为160~500kW，典型应用实例有杭州天子岭、北京北神树、深圳下坪等处。

填埋气用于内燃机的缺点是对内燃机有腐蚀、内燃机排出的尾气  $\text{NO}_x$  含量高、对填埋气中甲烷浓度要求较高等。

国内，中科院工程热物理研究所掌握了燃机系统进气压缩比、歧管喷注和多腔室几何约束等关键技术，拥有自主知识产权的填埋气发动机设计技术，设计的单机容量达500kW，发电效率达33%以上，设备费用约为2000元/kW左右；国外同类设备费用则为6000~9000元/kW左右。国外有康明斯等公司开展类似研究。

### 2.2 填埋气用于小型燃气轮机发电

燃气轮机相比于内燃机方式的一个显著不同就是燃料的连续燃烧。连续燃烧工作方式可以提高燃烧效率，同时也降低了因不完全燃烧所产生的有害物质。另外，它的  $\text{NO}_x$  排放远远小于内燃机工作方式，燃气轮机无需三元催化，也可以避免象内燃机工作过程中那种的爆震。采用内燃机的填埋气发电要求填埋气中甲烷含量达到45%以上，当甲烷含量降低时，机组效率降低甚至可能导致不能运行。而燃气轮机工作方式在填埋气的甲烷含量低至30%时能可稳定工作。采用填埋气为燃料的燃气轮机一般功率为70kW~10MW。由于技术门槛较高，国内尚没有自主知识产权的以填埋气为燃料的燃气轮机设计技术，国外有少数小型燃气轮机公司比如Capstone公司、Ingersoll Rand公司等有这样的研究，但

仍有技术潜力可以挖掘。

填埋气发电一般填埋场自用或者供给附近的用户。对于并网发电，目前有两个困难，一是没有具体政策落实，上网电价无法确定；二是并网点的远近影响填埋气沼气发电的经济效益。

### 2.3 填埋气制取二甲醚

填埋气发电有上网的问题，如果能把填埋气转化成方便储存、方便运送的液态物质是另外一种出路。而二甲醚无毒无味，是性能优良的干净的民用或者汽车燃料，在常温下加压到0.55MPa左右就能液化（比液化气所需压力低），方便储存、运输和使用。目前中科院工程热物理研究所联合北京环卫集团、石油大学等单位，克服了填埋气净化、甲烷和二氧化碳重整、烟气温度控制和烟气热能的梯级利用、二甲醚高效分离等困难，完成了项目小试。该所正与北京市环卫集团合作，准备启动工业示范装置。

### 2.4 填埋气燃烧蒸发渗滤液

填埋场所产生的渗滤液水质复杂，氨氮含量高等前述因素使得渗滤液不易生化处理，而且随填埋场、填埋方式、填埋时间的不同而变化，这加大了渗滤液处理的难度。如果利用填埋场副产的填埋气燃烧释放的热量来使得渗滤液蒸发，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份、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，例如填埋气分级燃烧、浸没式燃烧等方式；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，蒸发每千克渗滤液耗填埋气量不到0.3m<sup>3</sup>。中科院工程热物理研究所、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，同时正在推向实用。

### 2.5 填埋气净化提纯后并入管道气

如果上述途径没有充分利用填埋气，那么填埋气还可经过净化提纯后并入管道，以供给城镇居民家用或者工业炉窑、锅炉供暖供热水用。这样的好处是所有填埋气都会被利用，特别是在天然气价格高的地区适宜使用。填埋气产量越大成本越低。另外，填埋气也可制成液化天然气供周围居民调压站使用。



当然, 填埋气在注入管道前应该经过净化、提纯达到标准燃气的要求, 必须去除填埋气中的水分、 $H_2S$ 、硅氧烷、硫醇等杂质。同时, 也需要增加一定的加压设备和控制设备, 这样增加了部分投资。我国香港地区有填埋气净化提纯后注入城市燃气管道方面的实例。

## 2.6 从填埋气分离出 $CO_2$ 作为化工原料

因为填埋气的两种主要成分是  $CH_4$  和  $CO_2$ , 如果把  $CO_2$  分离出来, 则可作为化工原料。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一种, 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  $CO_2$ 。该法因其设备成本低、操作简便、净化效果好而引起了广泛关注。美国的 Freshkiese 垃圾场用该法脱除垃圾填埋气中的  $CO_2$ 。另外, 变压吸附已发展成一种新型高效的气体分离技术, 首先让  $CO_2$  在加压的吸附塔中被选择性吸附因而与  $CH_4$  分离, 随后在减压塔中解吸而再生,  $CO_2$  脱除率可大于 95%。但该工艺操作程序较复杂, 设备易损坏, 投资费用和维护费用很高。

## 3 总结

在上述填埋气利用途径当中, 填埋气通过内燃机发电是研究得比较多的, 而通过燃气轮机发电、用来制取二甲醚、用填埋气燃烧蒸发渗滤液、从填埋气中分离提纯  $CO_2$  作为化工原料是当前正在研发当中的前沿方向。

总之, 人们应该从根本上改变填埋场就是废弃物集中地的传统观念, 应该视填埋气为一种很好的资源而加以利用。当前, 我国能源紧张与环境承受的压力使得填埋气作为一种资源正逐渐被人们重视。填埋场也应该加快发展可持续处理填埋垃圾(包括其气液产物)的技术, 以使得填埋垃圾中的部分物质可以转变成一种可循环利用的资源。在这个过程中, 应充分发挥填埋气在节能减排中的作用。■

参考文献:

- [1] Birchler D R, Milke M W, Marks A L, et al. Landfill leachate treatment by evaporation. Environment Engineering, 1994, 120 (5)
- [2] 张红光, 韩建新, 曲延涛, 马人熊. 垃圾填埋气内燃机开发的有关问题. 北京工业大学学报, 2002, 28 (4)
- [3] 岳东北, 许玉东, 何亮, 聂永丰. 浸没燃烧蒸发工艺处理浓缩渗滤液. 中国给水排水, 2005, 21 (7)

# 18 家重点用能单位签订购买高效节能设备合同



2010 年 1 月 26 日, 北京市推广使用高效电机和节能变压器示范项目首批对接单位签约仪式在北京节能环保中心举行。北京节能环保中心、市节能监察大队领导出席。18 家重点单位与 7 家中标设备生产商签订购买高效节能设备合同, 合同总金额为 863.6 万元。

根据国家发改委发布的《节能中长期规划》要求, 北京市率先启动推广使用高效电机和节能变压器示范项目工程。按照北京市发展和改革委员会的要求, 根据我市实际情况, 自 2009 年 10 月至 2010 年 12 月对应用面广、潜力大、见效快的关键设备和产品(电机、配电变压器)进行更新改造, 鼓励使用高效、超高效电机和节能变压器(如非晶合金配电变压器等), 并给予资金补贴。

2009 年 10 月, 示范项目正式启动, 北京市拟更换淘汰电机、变压器设备单位网上申报系统开通; 北京市还专门召开推进工作会, 为 166 家重点用能单位代表解读项目补贴政策、项目流程及网上申报系统程序; 经过对节能变压器、高效电机企业进行招标和评审, 确定中兆培基(北京)电气有限公司、北京毕捷电机股份有限公司等 7 家企业中标一期示范项目, 将为 18 家重点用能单位提供节能变压器和高效电机。

示范项目首批对接单位签约仪式的举行, 标志着北京市推广使用高效电机、节能变压器项目一期工程进入实施改造阶段。