

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2015.04.005

垃圾填埋场填埋气提纯利用的探讨

□ 中机国际工程设计研究院有限责任公司华东分院(210049) 吕俊 蒋恪彦

□ 南京碳环生物质科技有限公司(210000) 王卫星

摘 要: 我国现有的垃圾处理方式中约80%采用填埋。垃圾填埋场所产生的填埋气处于无控制排放状态,利用提纯技术将填埋气转化为天然气,能最大程度实现填埋气资源的价值,可以变废为宝,为民造福。

关键词: 填埋气 提纯技术 天然气 CNG

1 垃圾处理现状

我国城市生活垃圾产量已达1.5亿t/a左右,历年堆存量达60多亿t,预计城市垃圾产量还将以8%~10%的速度递增。目前,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。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要方式和最终手段。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体处于无控制排放状态。由于气体的无序排放,不但造成空气污染,甚

3.7 漂管事故处置过程中的不足

虽然管道圆满完成处置,但是在施工细节上存在缺陷。在2014年6月27日工作检查中发现方案中对于管道取土要求是外购,但是现场施工单位就近在已开挖的槽坑中取土,造成已有基坑加深1m~2m,使之低于排水涵洞1m~2m,造成新的安全隐患,必须整改。

4 结论

此次事故发生后在公司各部门的通力合作下,及时有效的进行了应急处置,落实相关保护方案,严格按照事故处置程序和步骤开展相关工作,并作了漂管段的应力分析报告、焊口无损检测报告、漏点检测报

告、埋深抽查记录升压方案等,及时有效的处理完成了漂管事故,确保贵阳西环线安全稳定运行。

在今后的工作中还需在以下几个方面进行总结和完善:

- (1) 进一步完善高压天然气管道应急抢险预案。
- (2) 在已成立应急指挥工作组基础上,细化责任分工。
- (3) 提前准备物资资源,做到有备无患。

(4) 建立技术专家组和专业管理团队或者与相关专业单位建立合作关系,保持密切联系。

- (5) 进行常态化应急事故演练。

(6) 对第三方高压管网保护形成程序文件,相关部门职责明确规范管理。

至在上海、北京、重庆、岳阳等城市都发生过填埋气爆炸的事故。因此对垃圾填埋场填埋气进行后期处理是非常重要的工作。

2 填埋气处理方式

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有填埋气发电、填埋气热能利用和填埋气提纯利用。

2.1 填埋气发电

国内填埋气发电市场尚属于新产业，市场规模小，填埋气发电工程数量少，装机规模较小，发展速度也较为缓慢。在技术研究与开发上相比于发达国家仍比较落后。目前在运行的绝大多数填埋气发电机组均采用进口设备，价格昂贵、维修费用高。国产发电机组目前处在起步阶段，相比于国外著名品牌，在发电效率、填埋气适应性和排放指标上仍存在较大的差距。即便采用进口发电机组，其发电效率最高也只能到42%~43%。因此，填埋气发电总的能源利用率并不高。

此外，填埋气发电设施复杂，占地面积大，现场噪声大，发电过程中有尾气的排放，其尾气成分基本为：燃烧气体、固体微粒、重金属、挥发性有机物、多环芳烃化合物、硫化氢、卤化物气体、硝酸、其他有机化合物。对环境会造成二次污染。

我国许多填埋气发电项目依靠上网售电的收入和国家政策性补贴来维持运营，回收投资，获取收益。国内填埋气发电项目由于并网发电只能保持微利，需要依靠国家政策性补贴来获得效益，项目经济效益较差。

2.2 填埋气热能利用

填埋气具有一定热能，对这部分热能利用可以获得一定的经济效益。常见用于砖瓦厂燃料，锅炉房锅炉燃料等直接用于燃料燃烧的行业。其优点在于填埋气体无需经过任何处理或只经过简单处理，预处理费用低。缺点在于填埋气体热值相对天然气低，且填埋气气体组分复杂，进行热能利用时没有进行组分处理，只能用于一些简单的加热行业，用途受到限制。同时，由于垃圾填埋场一般都地处较偏僻地区，周边热用户不多，实际给热用户进行气体供应的并不多。

2.3 填埋气提纯利用

填埋气提纯利用工艺在国外已经有多年的运行历史，提纯工艺技术安全可靠，投资和维护成本较低。提纯后的气体，硫等杂质均已被去除，燃烧时将不会产生二次污染。填埋气体经提纯后甲烷含量可提高到91%以上，提纯气用于民用或车用燃料的利用率通常在90%以上，相比于发电和热能利用项目，其能量利用率也大大提高。

提纯气可用于车用燃料，亦可输入燃气管网用于民用燃料，使其经济价值大幅提高。但垃圾填埋场一般位于城市郊区，提纯气进入市政管网需要投资巨大的管线工程，所以提纯气进管网用于民用燃料，受制于管网的布局。

本文着重介绍提纯气作为车用燃料的应用价值和前景。

3 提纯方式介绍

3.1 提纯工艺流程

填埋气自垃圾填埋场内自然厌氧发酵生成，通过在垃圾场内打竖井、横井技术收集或经膜覆盖等技术手段收集后，通过脱硫、脱烃、填埋气压缩、油水分离器、脱氧、脱碳、脱水后完成填埋气的提纯工作，使填埋气转化为提纯气，达到车用天然气标准。

3.2 填埋气体组分（见表1）

表1 填埋气组分表

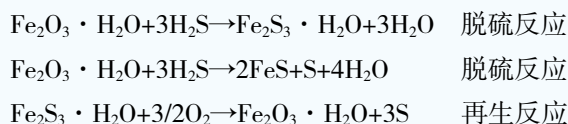
组分	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	C _n H _m	H ₂ O	H ₂ S
体积含量(%)	1	4	55	35	0.13	4.85	0.02

3.3 提纯设备及具体提纯工艺

(1) 脱硫工艺

填埋气中含有 200×10^{-6} 的H₂S，车用燃气对H₂S的含量有明确要求，且H₂S对机械设备及管道均有腐蚀，所以在系统的前端将H₂S去除。

干式脱硫使用颗粒状的氧化铁脱硫剂，由于有氧的存在，脱硫剂在脱硫的同时再生，反应原理如下：



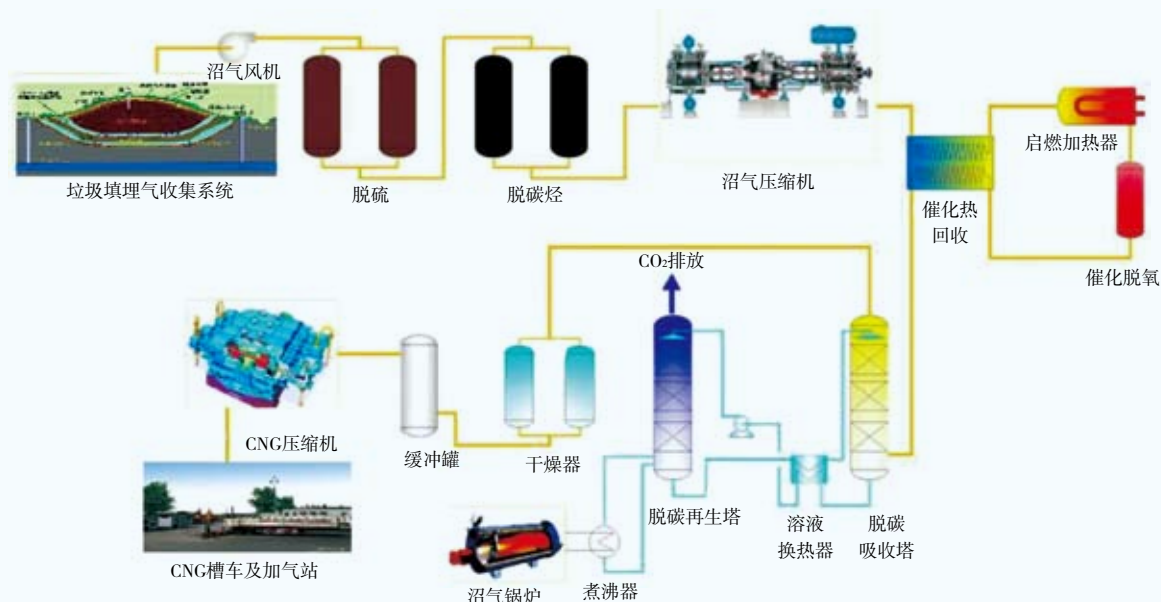


图1 工艺流程框图

$\text{FeS} \cdot \text{H}_2\text{O} + 3/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$ 再生反应

脱硫后的 H_2S 含量小于 10×10^{-6} 。

在吸附罐后管道上装有过滤器，除去气体夹带的粉尘。

该设备可将填埋气中的总硫含量由 200×10^{-6} 降至 10×10^{-6} 以下。

(2) 脱烃工艺

垃圾填埋气中含有硅氧烷，主要来自日化产品，具有凝聚性，在高温时会气缸、活塞、火花塞聚集，对发动机造成损坏。

硅氧烷的分子式 $(\text{R}_2\text{SiO})_x$ ，是一类物质，各种硅氧烷的物理及化学性能各异。

脱硅氧烷的方法有低温冷冻法及活性炭吸附法。低温冷冻法能耗高，一般处理垃圾填埋气中的硅氧烷使用的是活性炭吸附法，针对硅氧烷的特性，选择了专用的吸附剂及吸附工艺，可以有效地对硅氧烷脱除。

(3) 脱氧工艺

如图3所示，填埋气首先进入装置中的热交换器，用催化燃烧后余热通过热交换器把填埋气温度尽可能的提高，通常升温 $230^\circ\text{C} \sim 270^\circ\text{C}$ ，然后送入到电加热器内，通过电热管加热到启燃温度，在达到 $280^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ 后自动关闭加热系统，气体进入催化燃烧室进行催化燃烧反应，使填埋气氧化分解成二氧化碳和水，并且释放大量的热量。当氧气浓度达到一定

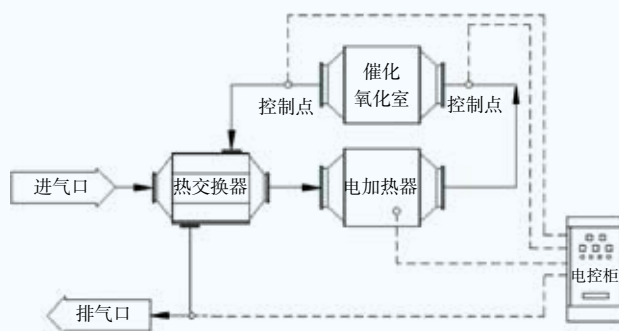


图3 催化工艺流程

量时，产生的余热通过热交换器后温升接近启燃温度，这时催化燃烧装置就达到动态热平衡，可节省电加热功率。

该设备可将填埋气中氧含量的体积比降至0.5%以下。

(4) 脱碳工艺

脱碳工艺采用胺法脱碳方法，其脱碳原理为：胺的水溶液与二氧化碳在加压、低温的条件下于吸收塔内反应，此时二氧化碳被脱除。

反应公式： $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{R}_3\text{R}_4\text{R}_5\text{N} = \text{R}_3\text{R}_4\text{R}_5\text{NH}^+ + \text{HCO}_3^-$

该吸附反应是可逆的，脱碳液在再生塔内通过降压闪蒸，加热升温，二氧化碳被再生出来，向大气排放。溶液恢复吸收能力。

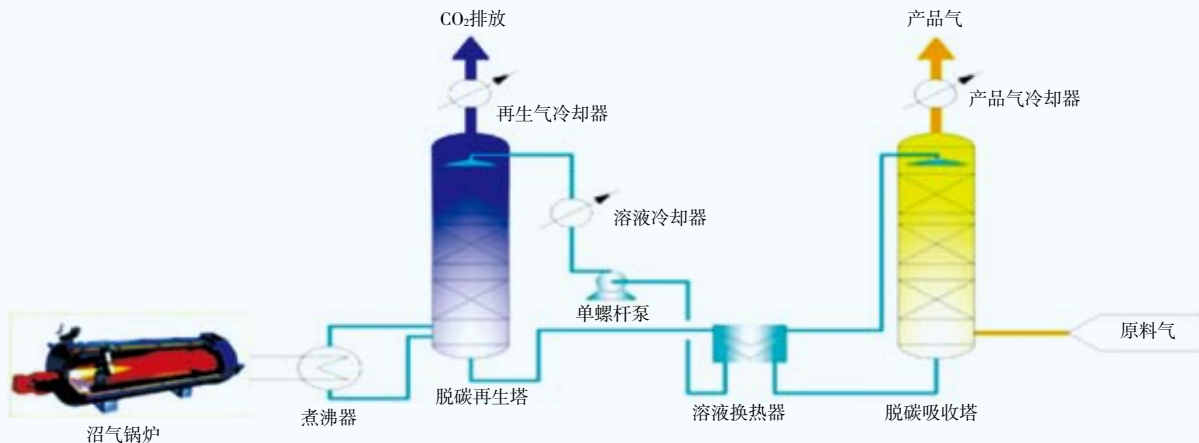


图4 胺法脱碳工艺流程

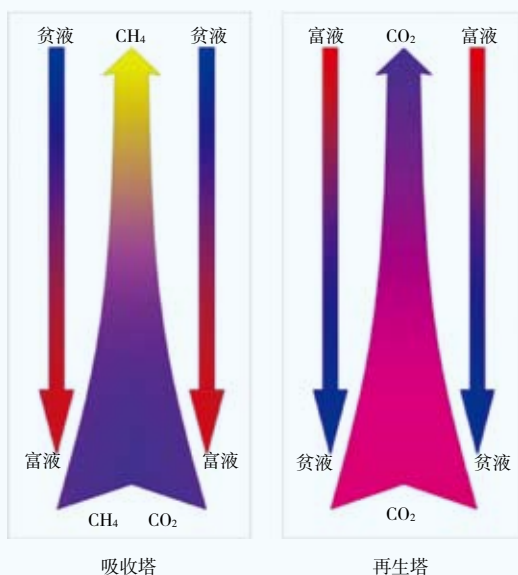


图5

利用脱碳液的上述特点，用泵使脱碳液在两个塔内循环，并控制吸收塔高压、低温（0.5MPa，60℃），再生塔低压、高温（5kPa，90℃以上），沼气从吸收塔底部进入，脱除二氧化碳后的产品气从吸收塔顶部排出，再生的二氧化碳从再生塔顶部排出，实现沼气中二氧化碳的连续分离工艺。

填埋气从吸收塔底部进入与从塔顶淋下的胺液逆流接触，CO₂及H₂S等酸气被吸收；产品气从塔顶流出，吸收了CO₂的富液从塔底流出。吸收塔的工作压力为0.4MPa~0.6MPa，压力损失可以忽略不计。

吸收了CO₂的富液进入再生塔顶部减压，此时有

部分CO₂释放；富液从塔顶流下，经塔底的煮沸器加热完全再生，此时胺液变为贫液，经贫液泵增压及冷却器冷却后打入吸收塔。再生出来的CO₂从再生塔顶流出，若需要其做其他工艺气可以收集，一般做排空处理。

胺液无毒性，且沸点高，从吸收塔及再生塔随工艺气出来的都是水蒸气，经过冷却器冷凝后回收利用，设备只要定期补充少量软水。

该设备可将填埋气中二氧化碳的体积比降至3%以下。

(5) 脱水工艺

采用双塔闭式全自动干燥机，加热闭式循环再生。工作环境温度：2℃~50℃，排气常压露点：≤-60℃。

(6) 填埋气压缩

填埋气压缩单元设置在脱碳及干燥上游，设置一套无油/少油润滑往复式压缩机，以及配套的变频驱动电机，水冷器、分离器等辅助设备。

该设备可将填埋气从进口压力10kPa，压缩到出口压力0.4 MPa~1.0MPa。

(7) 污水罐：接收沼气压缩机、脱碳装置、脱水装置排除的污水及污油。

3.4 经过提纯后提纯气体组分及参数

(1) 提纯气体组分（见表2）

表2 提纯气体组分表

成份	CH ₄	O ₂	H ₂ S	CO ₂	N ₂
V%	≥91	≤0.5	≤0.001	≤3	≤6

(2) 提纯气主要特性参数

高热值: > 31.4 MJ/Nm³密度: 0.6982kg/ Nm³

平均分子量: 16.72

水露点: -15℃ (25.0MPa)

比热: 2.68kJ/kg.k

粘度: 0.0137

导热系数: 0.0431W/m.k

压缩因子: 0.912

(3) 车用压缩天然气气源气质要求 (见表3)

表3 车用压缩天然气气质要求

项目	技术指标
高位发热量, MJ/m ³	> 31.4
总硫(以硫计), mg/m ³	≤200
硫化氢, mg/m ³	≤15
二氧化碳ycO ₂ , %	≤3.0
氧气yO ₂ , %	≤0.5
水露点, °C	在汽车驾驶的特定地理区域内, 在最高操作压力下, 水露点不应高于-13℃; 当最低气温低于-8℃, 水露点应比最低气温低5℃

注: 本标准中气体体积的标准参比条件是101.325kPa, 20℃

(4) 通过对比表2和表3, 可以看出: 提纯气气质完全符合《车用压缩天然气》(GB 18047-2000)

的标准要求。

通过使用物理和化学方式, 可以除去填埋气中的杂质组分, 使之成为甲烷含量高、热值和杂质气体组分品质符合车用天然气标准要求的高品质天然气。

4 具体工程介绍

4.1 工程概况

我院刚刚设计完成的国内某大型垃圾填埋场填埋气综合利用项目位于该市的垃圾填埋场内, 垃圾填埋量为5 000t/d, 填埋气供应规模: 5 000Nm³/h, 提纯气供应规模: 2 500Nm³/h, 天然气加气规模: 60 000Nm³/d。

4.2 所用主要设备 (见表4)

4.3 与同规格的CNG母站的比较

提纯气CNG母站与常规CNG母站相比, 只在气源不同, 在气体压缩工艺完全相同。以我院刚刚设计完成的国内某大型垃圾填埋场填埋气综合利用项目为例, 与常规CNG母站进行比较。通过占地面积、用地性质、气源价格、总投资额、管理人员数量、运行成本、投资回收期等几个方面进行数据对比, 详见表5。

4.4 根据表5内容分析

(1) 常规CNG母站和提纯气CNG母站均使用工业用地, 但常规CNG母站需要单独征地, 过程繁琐艰难。提纯气CNG母站都位于垃圾填埋场内, 利用其富余用地即可无需单独征地。常规CNG母站征地较大。

表4

序号	名称	规格及型号	单位	数量	备注
1	脱硫吸附装置撬	5 000Nm ³ /h	台	1	将沼气中的总硫含量由200 × 10 ⁻⁶ 降至10 × 10 ⁻⁶ 以下
2	填埋气压缩机	2 500Nm ³ /h	台	2	两台全开, 单台平均排量2 500 Nm ³ /h
3	过滤冷却装置撬	5 000Nm ³ /h	台	1	
4	脱氧装置撬	5 000Nm ³ /h	台	1	将氧含量的体积比降至产品气中的0.5%以下
5	脱碳装置撬	5 000Nm ³ /h	台	1	将二氧化碳的体积比降至产品气中的3%以下
6	脱水装置撬	2 500Nm ³ /h	台	1	
7	缓冲罐	10m ³	台	1	Pn=1.6MPa
8	CNG压缩机	1 500Nm ³ /h	台	2	两台全开
9	单枪加气柱	4 500Nm ³ /h	台	2	
10	污水罐	1m ³	台	2	Pn=1.6MPa
11	空气压缩系统		套	2	随压缩机成套提供

表5 常规CNG母站与提纯气CNG母站对比表

序号	指标	常规CNG母站	提纯气CNG母站
1	占地面积	13亩	利用垃圾填埋场富余用地, 约6亩
2	用地性质	工业用地, 需单独征地	工业用地, 无需单独征地
3	气源价格	根据与上游供气单位签署供气价格, 各地略有不同, 约为2.0元/m ³ ~2.8元/m ³ 之间	利用垃圾填埋气, 气源价格为0, 只有收集成本, 约为0.3元/m ³
4	CNG销售价格	3.0元/m ³	3.0元/m ³
5	总投资额	约1 000万元(不含征地费)	约3 700万元
6	管理人员数量	约20人	约20人
7	运行成本	母站的电耗、水耗和人员工资等约0.2元/m ³	母站的电耗、水耗和人员工资等约0.9元/m ³
8	投资回收期	约7年	约3年

(2) 常规CNG母站气源为管输高压天然气价格较高, 提纯气CNG母站气源为垃圾填埋气, 只有收集成本, 价格很低。两类母站售气价相同时, 常规CNG母站售气利润远低于提纯气CNG母站。

(3) 两类母站总投资额相差不大。常规CNG母站投资1000万元, 但其中不含征地费。

(4) 管理人员数量两类母站相差不大, 经营管理成本提纯气CNG母站高于常规CNG母站。提纯气CNG母站用电负荷高于常规CNG母站。

(5) 投资回收期提纯气CNG母站小于常规CNG母站。提纯气CNG母站利润远高于常规CNG母站。

综上所述, 常规CNG母站在前期投资、后期运营管理成本两方面优于提纯气CNG母站; 提纯气CNG母站在用地、气源成本、销售利润方面优于常规CNG母站。控制好前期投入和后期运营管理成本, 提纯气CNG母站将有更为广阔的市场前景。

5 结论

垃圾场填埋气提纯利用, 以提纯气作为CNG车用燃料。最大限度的减少了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 and 节能减排将起到积极的推动作用, 同时充分发挥填埋气体的资源价值。

本工程的填埋气提纯工艺是德国、瑞典等欧洲国家的主流提纯工艺, 在国内目前还处于推广阶段。

以我院刚刚设计完成的国内某垃圾填埋场填埋气综合利用项目为例, 该项目总投资3 700余万元, 提纯气CNG母站加气规模60 000Nm³/d, 填埋气成本价0.15元/m³, 售气价3.0元/m³, 项目所得税后财务内部收益率为59.27%, 所得税后全部投资回收期为2.97年。可见垃圾场填埋气提纯作为CNG车用燃料的实际利用商业价值也是很可观的。

总之, 此类环保和商业利用双赢的新技术有着广阔的市场前景, 值得推广。

参考文献

- 1 陈泽智, 濮世贵, 孙亚兵等. 垃圾填埋气测试与火炬装置的开发. 环境保护, 2003; 7: 20-21
- 2 陈泽智. 生物质沼气发电技术. 环境保护, 2000; 10: 41-42
- 3 吴未立, 陈泽智. 生物气湿式催化氧化脱硫方法. 2013
- 4 陈泽智, 龚惠娟, 李建平等. 垃圾填埋气收集、净化处理与资源化综合利用成套技术. 2008
- 5 韩金丽, 吴国川, 谈旭惠. CNG加气母站运营技术经济特点分析. 煤气与热力, 2010; 30(4)
- 6 李忠田, 张平, 杨轶男. 压缩天然气汽车及CNG加气站的发展. 煤气与热力, 2005; 8