

城市客车燃用沼气的生命周期分析

黄伟, 张欣*

(北京交通大学 机电学院 新能源汽车动力总成技术北京市重点实验室, 北京 100044)

摘要: 应用生命周期分析方法建立了城市垃圾厌氧发酵车用沼气燃料的生命周期能耗和环境排放模型, 对车用沼气在原料阶段、燃料生产阶段和车辆运行阶段的能耗和环境排放进行了分析计算, 并将城市客车燃用沼气和柴油的生命周期能耗和排放指标进行了对比分析。结果表明, 在车用沼气的全生命周期内, 燃料的总能源消耗比传统柴油低9.5%, 全生命周期HC、CO、NO_x、PM10、SO₂、CO₂等6种排放物都比柴油低。从降低生命周期能耗和环境排放角度看, 城市垃圾厌氧发酵车使用沼气是一种较好的新能源燃料; 从城市垃圾处理方式看, 城市垃圾厌氧发酵车用沼气为城市垃圾处理寻找了新的途径。

关键词: 城市交通; 城市垃圾; 厌氧发酵; 车用沼气; 生命周期

DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2016.02.008

Life Cycle Analysis of Vehicle Biogas for City Bus

HUANG Wei, ZHANG Xin

(Beijing Key Laboratory of Powertrain for New Energy Vehicle, School of Mechanical, Electronic and Control Engineering,
Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The life cycle of energy consumption and environmental emissions analysis model of vehicle biogas for anaerobic fermentation of municipal waste is established by using life cycle analysis method in this paper. The energy consumption and environmental emissions of vehicle biogas in the raw material stage, fuel production stage and vehicle operation phase is analyzed and calculated. And the life cycle indicator of vehicle biogas and diesel fuels used in city bus is analyzed and compared. The results show that compared with conventional diesel in the total life cycle, the total energy consumption of vehicle biogas decreases by 9.5%, and the six kinds of emissions such as HC、CO、NO_x、PM10、SO₂、CO₂ all reduced. Form the viewpoint of reducing energy consumption and environmental pollutant emissions, vehicle biogas for anaerobic fermentation of municipal waste would be better new alternative fuels, and it found a new way to city garbage process.

Keywords: urban traffic; municipal waste; anaerobic fermentation; vehicle biogas; life cycle

0 引言

我国能源条件是缺油、少气, 其中对石油资源

的进口依存度已经超过60%。同时, 随着城市化的迅速发展, 汽车保有量持续增加, 城市环境空气质

收稿日期: 2015-08-30

修回日期: 2015-10-11

录用日期: 2015-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目/National Natural Science Foundation of China(51376020)。

作者简介: 黄伟(1975-), 男, 河南周口人, 博士生。

*通信作者: zhqhu@bjtu.edu.cn

量也日益恶化,节能减排已成为人类当前面临的主要难题.推行汽车燃料的多元化是应对挑战的一条有效途径^[1-2].沼气作为一种清洁的生物能源,在生产过程中不仅可以利用厌氧池消化城市有机垃圾和农业有机废料,改变传统城市和农业废物处置方式,而且在使用过程中能降低环境污染特别是能减少城市有害气体排放.沼气的这种废物利用、资源广泛、燃烧清洁的特点,在汽车发动机上的应用越来越受到推广^[3-4].

为了对城市垃圾厌氧发酵车用沼气从原料获取、燃料生产、直至在汽车上的使用各个环节的能耗和环境排放进行量化分析,评估能量和物质的利用及废气对环境的影响,寻求改善环境影响的措施,本文采用生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)方法对车用沼气系统的环境影响进行了全面的定量评价,并与传统燃料柴油进行了生命周期能耗和排放的对比分析,为能源的选择使用提供数据支持和理论依据.

1 车用沼气生命周期范围界定

1.1 LCA系统边界

城市垃圾厌氧发酵车用沼气生命周期范围,从垃圾被丢弃到垃圾桶这一刻开始算起,经过垃圾收集、运输、分拣、厌氧消化、净化、储运、加气站,直至最终被车辆消耗的全过程,如图1所示.其中用于填埋的部分如建筑物垃圾、玻璃等,因为没有再利用价值不予考虑;而用于焚烧的部分如塑料、废纸等,虽然具有能量再循环价值,但因与沼气生产是不同系统,二者没有关联,故不予考虑.其他城市有机垃圾如厨余垃圾、城市污泥等作为沼气生产原料进入厌氧反应器用于生命周期分析.

1.2 燃料路径

城市垃圾厌氧发酵车用沼气的生产过程如图2所示,包括原料的预处理、厌氧消化反应器、沼气净化及储配、发酵残留物后处理等部分组成.最终产物包括车用沼气、沼液和沼渣3个部分,其中沼液可以用于农田灌溉,沼渣用作植物的肥料和家禽的饲料.

2 车用沼气生命周期分析模型

2.1 模型设定

为了构建一个封闭完整的生命周期系统,以便计算车用沼气燃料的生命周期能耗和环境排放,在对生命周期分析结果的影响可以忽略的前提下,对于设备、厂房和土地自身在形成过程中的能源消耗和环境排放不予考虑.

2.2 分析模型的建立

城市垃圾生产车用沼气系统可以分为原料阶段(垃圾收运、分拣)、燃料阶段(沼气生产、净化、储运、加气站运行)和车辆运行3个阶段.

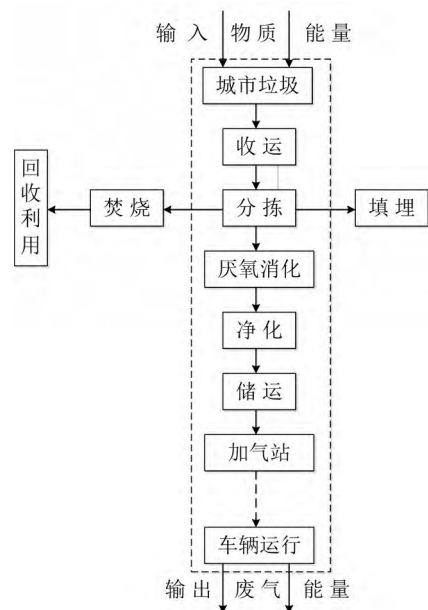


图1 城市垃圾 LCA 范围

Fig. 1 LCA scope of municipal waste

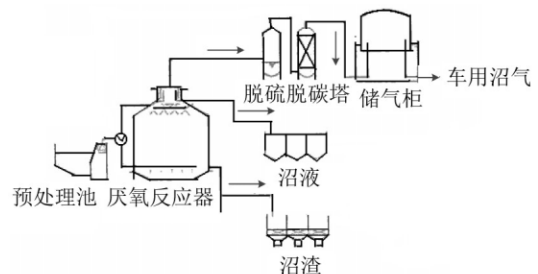


图2 沼气生产工程

Fig. 2 Biogas production project

(1) 原料阶段能耗和环境排放分析.

原料阶段包括垃圾收运和垃圾分拣两个环节,由交通工具定时将产生的垃圾运送到垃圾处

理厂或垃圾中转站,经再过分选、预处理,获得生产沼气所需有机发酵原料.在垃圾中转站初步进行垃圾分类,垃圾处理厂分拣工作主要是去除无机物,用磁选去除废铁,再经过破袋、破碎、打浆、消毒.这样,垃圾分为液体、固体部分,其中液体进入消化罐,而固体进入水解池,在水解池中固体分解为有机酸,池内的液体再送入消化罐.原料阶段的总能耗 E_1 为

$$E_1 = E_{11} + E_{12} \quad (1)$$

式中: E_{11} 为城市垃圾收运环节的能耗; E_{12} 为城市垃圾分拣环节的能耗.

原料阶段产生的环境排放计算公式为

$$EP_{11i} = EP_{si} + EP_{ci} \quad (2)$$

式中: EP_{11i} 为原料阶段产生的第 i 种环境排放污染物数量; EP_{si} 为收运阶段产生的第 i 种环境排放污染物数量; EP_{ci} 为垃圾处理厂产生的第 i 种环境排放污染物数量.

(2) 燃料阶段能耗和环境排放分析.

燃料阶段的工艺流程分为3个阶段:预处理阶段、沼气生产阶段和后处理阶段.原料经过预处理以便满足发酵条件要求,料液进入厌氧消化器进行厌氧发酵,消化有机物生产沼气、再经过净化和储运至加气站过程为沼气生产阶段.从厌氧消化器排出的消化液要经过沉淀或固液分离,以便对沼渣进行综合利用,此为后处理阶段.

燃料阶段的总能耗 E_2 为

$$E_2 = E_{21} + E_{22} + E_{23} + E_{24} \quad (3)$$

式中: E_{21} 为沼气生产单元的能耗; E_{22} 为沼气净化单元的能耗; E_{23} 为沼气储运单元的能耗; E_{24} 为加气站消耗的能耗.

沼气生产阶段产生的排放计算公式为

$$EP_{12i} = EP_{ei} + EP_{oi} \quad (4)$$

式中: EP_{12i} 为沼气生产阶段产生的第 i 种环境排放污染物数量; EP_{ei} 为沼气生产阶段由于消耗电能而转嫁到发电厂产生的第 i 种环境排放污染物数量; EP_{oi} 为沼气生产阶段其他环节(如设备泄漏、压缩、加气等)产生的第 i 种环境排放污染物数量.

(3) 车辆运行阶段能耗和环境排放分析.

我国排放法规对公交客车能耗和排放污染物的测量有两种方法:一种是通过发动机台架进行试验获得;另一种是通过计算机软件仿真获取.本文采用发动机台架试验获得相关能耗和排放污染物数据.采用占国产燃气大型发动机40%以上市场份额的某型电控燃气发动机作为试验样机,这种发动机被大量用于总质量16~40 t级斯太尔系列重型载货汽车及城市公交客车中.对于发动机台架试验工况的选定,参照排放法规中对公交车实际运行状况要求(13工况法)进行试验,然后对测试的能耗和排放数据进行以求平均值的方法得到所求数值,并且把这些数据直接运用到生命周期车辆运行阶段的计算中.

3 清单分析

(1) 数据来源.

清单数据的来源主要通过以下途径获得:

- ① 参考文献的数据;
- ② 发动机台架试验数据;
- ③ 企业数据;
- ④ 相关职能部门公布的数据,如国家统计局公布的数据、环卫局公布的数据.

(2) 案例分析.

以我国2012年投资6 500万元、年产车用沼气1 200万 m^3 的某垃圾处理厂为分析案例,该厂日处理垃圾700 t,设计使用年限为15年,其中产品除了车用沼气外,还有液体肥料、固体肥料和 CO_2 .该垃圾处理厂距离城市中心18 km.垃圾收集采用10 t压缩垃圾柴油车运输,垃圾运输过程为密闭运输,所以在运输过程中不会产生污染物排放.所用设备中,分拣机用于剔除垃圾中的磁性金属,流水线每小时耗电量约为175 $kW \cdot h$;粉碎机用于把制作垃圾中的有机物转换为进给原料,该流水线每小时耗电量约为150 $kW \cdot h$,将这两种设备的耗电量折合标准煤计算环境排放.同时,由于这两种作业在露天进行,垃圾本身产生的环境排放也统计在内.

沼气的厌氧发酵过程是密封、隔绝空气的,故

不考虑沼气发酵期间的排放污染物.发酵原料预处理用搅拌机混合、搅拌,沼液混合在预处理室进行喷洒,搅拌机工作所需电能算入总的电力消耗,并且折合成为标准煤用于计算环境排放.而发酵过程中产生的沼气经过脱硫、脱碳后,一部分沼气用于系统内部循环,即给锅炉加热、为发酵室保温.这部分属系统内能,不计入生命周期.沼渣干化后用于蔬菜或者花卉肥料,沼液直接用于灌溉农田,净化后的沼气通过管道送至储存罐.

为了便于车用沼气与柴油进行对比分析,根据燃料的质量密度和能量密度,把车用沼气和柴油的能耗单位统一化为kJ/km.如图3所示.在燃料全生命周期内,城市垃圾厌氧发酵车用沼气燃料的总能源消耗比传统柴油消耗低9.5%,其中原料阶段能耗低53.3%,燃料阶段能耗低14.7%,车辆运行阶段能耗低5.6%.

图4为生命周期排放物对比,在整个生命周期内,车用沼气的排放物都比柴油低.图4(a)中,车用沼气的HC排放比柴油少31.6%,而且两种燃料的HC排放主要集中在车辆运行阶段,柴油、沼气分别占全生命周期的92.1%和95.9%,因为沼气在发动机中燃烧较柴油更完全,因此未燃HC燃料排放少.图4(b)中,车用沼气的CO排放比柴油少24.2%,两种燃料的CO排放也是主要集中在车辆运行阶段,柴油、沼气分别占全生命周期的93.8%、98.2%.图4(c)中,车用沼气的NO_x排放比柴油低

12%,两种燃料的NO_x排放也是主要集中在车辆运行阶段,由于沼气比柴油更容易稀燃,燃烧温度比柴油低,因此NO_x排放少于柴油.图4(d)中,车用沼气的PM₁₀微粒排放只有柴油的9.6%,这是因为沼气燃烧过程和生产过程中基本不产生微粒,仅仅在原料阶段对垃圾收运过程中产生微粒,因此微粒的值远小于柴油.图4(e)中,车用沼气的SO₂排放比柴油低35.2%,虽然城市垃圾有机物中含有大量的S元素,但在沼气生产过程中绝大部分已经在脱硫塔清除掉,而柴油生产过程中S更多,并且不容易消除,因此沼气SO₂排放比柴油低.图4(f)中,车用沼气和柴油的CO₂排放相差不大,沼气比柴油仅仅低2%,而且两种燃料的CO₂排放也是主要集中在车辆运行阶段,其中柴油在车辆运行阶段的CO₂排放占整个生命周期的82%,沼气占78%.

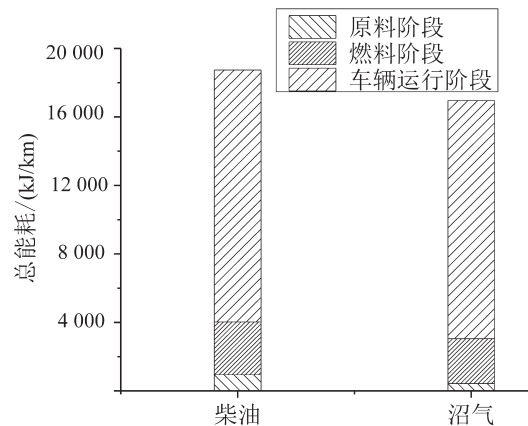
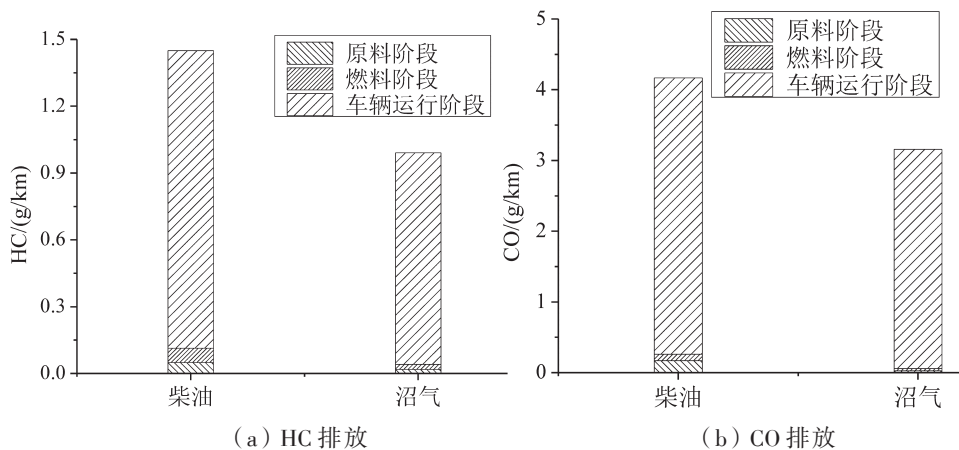


图3 生命周期总能耗对比

Fig. 3 The total energy consumption of the life cycle



(a) HC 排放

(b) CO 排放

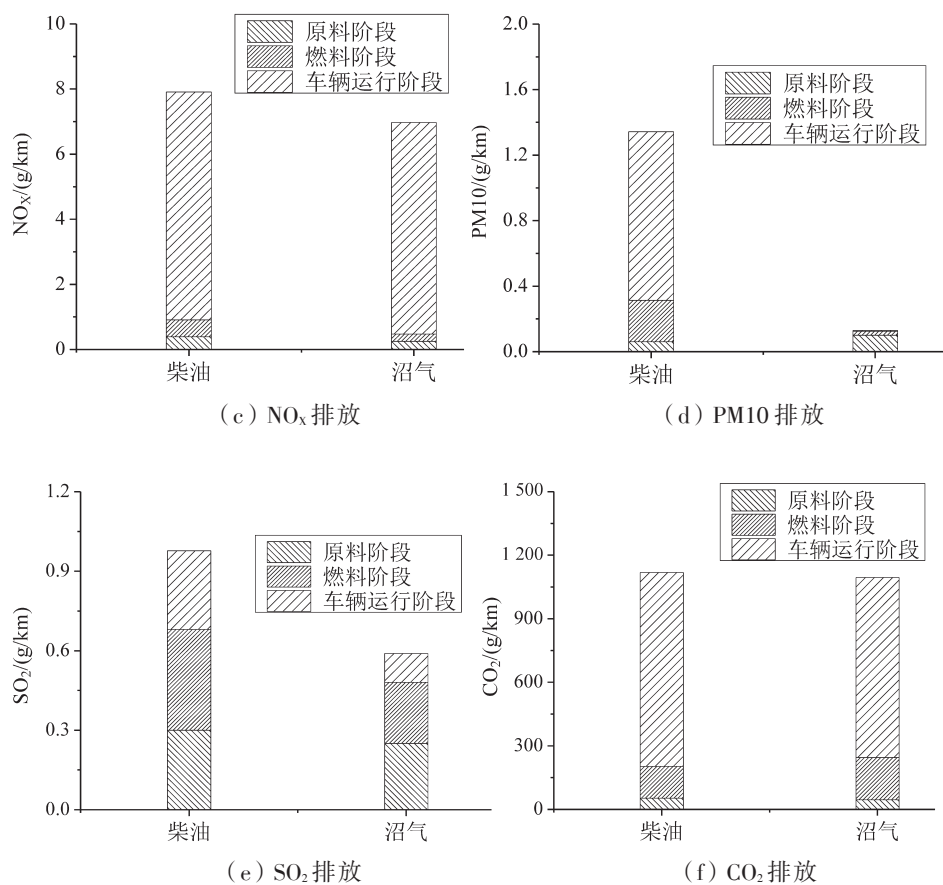


图4 生命周期排放物对比

Fig. 4 Life cycle emissions

4 结 论

(1) 建立了城市垃圾厌氧发酵生产车用沼气生命周期能耗和环境排放模型,并应用该模型进行了案例分析,对车用沼气生命周期能耗和排放数据进行了计算,获得了城市垃圾厌氧发酵生产车用沼气全生命周期的能耗和环境排放数值,为城市垃圾处理提供了理论和实际依据。

(2) 在全生命周期内,车用沼气燃料的总能源消耗比传统柴油消耗低9.5%,其中原料阶段能耗低53.3%,燃料阶段能耗低14.7%,车辆运行阶段能耗低5.6%。

(3) 在全生命周期内,车用沼气燃料的排放物都比柴油燃料低,HC、CO、 NO_x 、 PM_{10} 、 SO_2 、 CO_2 依次低31.6%、24.2%、12%、90.4%、35.2%、2%。并且车用沼气和柴油的排放物HC、CO、 NO_x 、 CO_2 主要集中在车辆运行阶段。

参考文献:

- [1] Dezhen Chen, Thomas H Christensen. Life-cycle assessment (EASEWASTE) of two municipal solid waste incineration technologies in China[J]. Waste Management & Research, 2010, 28(6): 508-519.
- [2] Kim M H, Kim J W. Comparison through a LCA evaluation analysis of food waste disposal options from the perspective of global warming and resource recovery[J]. Science of the Total Environment, 2010, 408(19): 3998-4006.
- [3] Ni-Bin Chang, Cheng Qi, Kamrul Islam. Comparisons between global warming potential and Cost-benefit criteria for optimal planning of a municipal solid waste management system[J]. Journal of Cleaner Production, 2012, 20(12): 1-3.
- [4] Bernstad A, la Cour Jansen J. Review of comparative LCAs of food waste management systems-Current status and potential improvements[J]. Waste Management, 2012, 32(12): 2439-2455.