

二甲醚中巴客车生命周期分析研究

汪映

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 通过发动机台架试验和道路运行,比较了牡丹中巴车使用煤基二甲醚燃料和普通柴油的能耗与排放. 结合燃料生产阶段和运输过程的数据,分析和比较了两种燃料在中巴车上应用的全生命周期指标. 结果表明:与柴油车相比,在全生命周期内,二甲醚中巴车的总能耗、CO₂、颗粒和 SO₂ 分别增加了 201.3%、291.2%、94.2% 和 86.7%;挥发性有机化合物、CO 和 NO_x 分别下降了 30.5%、65.3% 和 26.4%;在车辆应用阶段,除 CO₂ 外,二甲醚中巴车的所有排放均有降低.

关键词: 生命周期;二甲醚;柴油;中巴车

中图分类号: TK01 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)01-0005-04

Life Cycle Analysis of Dimethyl Ether Fuel for Middle Grade City Bus

WANG Ying

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The energy consumption and emission of a middle grade city bus fueled with DME fuel and conventional diesel are compared through engine bench test and road driving. Combined with the data in fuel production and transportation phases, the life cycle indicator of the two fuels used in the middle grade city bus is analyzed and compared. The results show that, compared with conventional diesel vehicle, in the total life cycle, the total energy consumption, CO₂, Particulate matter and SO₂ of dimethyl ether vehicle increase by 201.3%, 291.2%, 94.2%, 86.7% respectively, and the Volatile organic compound, CO, NO_x emissions decrease by 30.5%, 65.3% and 26.4% respectively; while in the vehicle operation stage, excluding CO₂, all emissions reduce.

Keywords: life cycle; dimethyl ether; diesel; middle grade city bus

二甲醚(DME)可以从煤、天然气等制取,十六烷值比柴油高,滞燃期比柴油短,在柴油机上燃用不需要采用助燃措施,燃烧过程中不产生碳烟,是一种较好的柴油车替代燃料. 山东、四川、云南、陕西等省在建和拟建多个大规模二甲醚生产企业.

为了全面考察二甲醚对能源消耗及环境的影响,文中对其进行全生命周期评价,并与柴油进行对比,以考察二甲醚作为柴油替代燃料的可行性.

目前,对城市客车代用能源的生命周期分析研究的文献比较少,主要是在乘用车的基础上进行研究,研究重点偏重于燃料生产过程,对车辆使用的研究多是基于软件模拟^[1-2]. 本文以西安交通大学开发

的二甲醚中巴客车为研究载体,对二甲醚燃料进行从燃料生产到车辆应用的生命周期内能耗、排放的评价研究,采用国内数据构建上游各阶段的数据库. 对于车辆应用阶段,则以发动机台架循环测试结果为基础,结合实车道路运行的数据,构建其能耗和排放的数据库.

1 生命周期评价方法

生命周期评价是指从全局角度出发,对研究对象在其生命周期全过程,从获取原材料、生产、使用直至最终处置,所消耗的资源与产生的环境影响进行研究. 车用燃料的生命周期通常可以分为 3 个阶

段,依次为原料阶段、燃料阶段和车辆阶段,可将前两个阶段统称为燃料的上游阶段,后一个阶段称为燃料的下游阶段.燃料生命周期的评价目标包括能源效率和排放物(挥发性有机化合物(VOC)、CO、NO_x、颗粒(PM)及SO₂和温室气体CO₂等)评价,一般均以车辆行驶 100 km 里程为衡量指标^[1].生命周期计算方法如下^[1-3]

$$W_i = E_{Ri} + E_{Fi} + E_{Vi}$$

(1)

式中: W_i 为车辆使用某种燃料时*i*指标的量; E_{Fi} 为燃料生产阶段*i*指标的量; E_{Vi} 为车辆使用阶段*i*指标的量; E_{Ri} 为原料开采阶段*i*指标的量,可按下式计算

$$E_{Ri} = FR \sum_j A_{i,j} (1 + B_{i,j}) + C_i (1 + D_i)$$

(2)

式中: F 为车辆行驶单位里程的终端燃料消耗量; R 为生产单位终端燃料需要的原料量; $A_{i,j}$ 为开采单位原料消耗的第*j*种过程燃料产生的*i*指标的量的量; $B_{i,j}$ 为生产单位第*j*种过程燃料(原料开采阶段消耗)产生的*i*指标的量的量; C_i 为原料运输过程消耗的燃料产生的*i*指标的量的量; D_i 为生产单位燃料(原料运输过程消耗)产生的*i*指标的量的量. E_{Fi} 的计算式如下

$$E_{Fi} = F \sum_j E_{i,j} (1 + F_{i,j}) + G_i (1 + H_i)$$

(3)

式中: $E_{i,j}$ 为生产单位终端燃料消耗的第*j*种过程燃料产生的*i*指标的量的量; $F_{i,j}$ 为生产单位第*j*种过程燃料(燃料生产阶段消耗)产生的*i*指标的量的量; G_i 为燃料运输过程消耗的燃料产生的*i*指标的量的量; H_i 为生产单位燃料(燃料运输过程消耗)产生的*i*指标的量的量.

2 车辆使用阶段的能耗和排放

2.1 车辆使用阶段研究方法

对于车辆在运行过程中的排放,评价方法有道路检测和实验室检测两种方法.目前,最常用的方法是在实验室内利用发动机进行严格定义的工况循环.法规循环是真实反映发动机状态的模型,可以认为国Ⅱ和国Ⅲ等法规的测试循环与中国实际道路行驶工况具有一定的对应关系^[3-4].在评估车辆道路运行中排放物数值的方法上,国Ⅱ和国Ⅲ等法规并没有给出具体的建议.本文采用以燃料消耗作为桥梁,将发动机测试的排放数值换算到车辆单位里程排放的评估方法^[3].

当认为车辆的实际运行工况接近国Ⅱ和国Ⅲ排放测试循环时,实际道路运行中*i*指标的排放量*m*可以通过下式进行估算

$$m = \frac{e}{b} B_i$$

(4)

式中: B_i 为车辆行驶 100 km 时的油耗; e 和*b*为各点加权后的排放物和比油耗的综合数值.

2.2 车辆使用阶段研究对象

选择牡丹中巴车及其相应的发动机作为研究对象,车辆基本参数见表 1,发动机为云内集团生产的 4102QB 柴油发动机.车辆使用的燃料分别为传统车用柴油和煤制二甲醚,两种燃料的基本特性见表 2.可以看出,DME 的质量热值比柴油低 35%,密度比柴油低 20.4%,因而体积热值比柴油低 18.4%,其十六烷值比柴油高,其硫含量、芳香烃含量几乎为 0.

表 1 中巴车的基本参数

客车型号	MD6601
长,宽,高/m	5.990,2.040,2.600
厂定最大总质量/kg	4 232
最大成员数	19
最高车速/km·h ⁻¹	90
发动机型号	4102QB
排量/L	3.856
最大转矩/N·m	245
最大功率/kW	66

注:最大转矩时的转速为 1 800~2 100 r/min;最大功率时的转速为 3 000 r/min.

表 2 燃料主要特性

参数	二甲醚	柴油
相对分子质量	46.07	190~220
沸点/℃	-24.9	180~360
密度/g·cm ⁻²	0.668	0.84
低热值/MJ·kg ⁻¹	27.6	42.5
十六烷值	55~60	40~55
硫的质量分数/mg·kg ⁻¹		50
M/%	34.8	0
芳香烃质量分数/%		17.4

注:M为氧与二甲醚的相对分子质量比.

2.3 能耗和排放

原 4102QB 柴油机的排放指标接近国Ⅱ标准.经过对 4102QB 柴油机燃烧和供油系统的优化匹配,4102QB 二甲醚发动机的动力性可达到甚至略超过原 4102QB 柴油机,排放低于国Ⅲ排放限值.二甲醚测试循环在 13 个工况点的选择上使用传统柴油的测试工况点,得到两种燃料的能耗、排放对比.4102 二甲醚发动机的排放测试结果见表 3,其中发

动机的排量放用 q 表示.

表 3 4102QB 发动机的排放 $g/(kW \cdot h)$				
燃料名称	$q(CO)$	$q(HC)$	$q(NO_x)$	$q(PM)$
二甲醚(ESC)	1.0	0.3	4.005	0.09
柴油(ECE R49)	2.9	0.9	7.700	0.11

注:ESC 为采用欧洲测试循环;ECE R49 为采用欧盟标准法规体系第 49 条.

二甲醚中巴客车已在包括高速路、坡路、城市交通繁忙地段等多种路况稳定行驶 5 000 km 以上.二甲醚中巴客车的最大车速和加速性能与同种型号的柴油客车相当,二甲醚汽车起动容易(包括热车停车后),换挡自如,在全部工况范围内燃油系统无气阻出现.二甲醚中巴客车平均 100 km 油耗为 23 L.根据式(4)计算得到道路运行情况下各种排放的估计值,如表 4 所示.

表 4 DME 和传统柴油实际道路运行 下的 100 km 排放对比 g				
燃料名称	$m(CO)$	$m(HC)$	$m(NO_x)$	$m(PM)$
柴油	106.376 1	33.013 3	282.447	4.035 0
二甲醚	26.626 7	7.988 0	106.639 8	2.396 4

3 原料开采和燃料生产阶段

研究使用的二甲醚为国内某知名二甲醚生产企业生产的煤基二甲醚,二甲醚生产流程大致为:煤炭经过气化装置得到富含 H_2 、 CO 和 CO_2 的煤气,同时排出灰渣,再经耐硫 CO 变换和酸气脱除装置形成符合甲醇合成工艺要求的原料气,同时得到硫磺并产生 CO_2 ,然后经过甲醇合成与精馏,以及二甲醚合成与精馏工序得到最终的二甲醚产品.图 1 为二甲醚生产流程示意图^[5].

煤炭与原油开采的工艺能源消耗可以参照我国历年来的统计年鉴^[6]得到.能源运输方式包括铁路、公路和水路运输,而各种运输方式的运输比例、平均运程以及能源消耗可由各统计源^[6-7]得到.结合各种能源使用装置的排放因子,可以得到这两个环节各自输出单位产品所消耗的工艺能源和排出的气体数量,再结合工艺能源子系统的计算结果,就可以得到各环节的生命周期一次能源消耗.表 5 为原料开采和燃料生产阶段柴油和二甲醚的效率.

表 5 原料开采和燃料生产阶段效率		
燃料名称	原料开采效率/%	生产效率/%
柴油	95.2	79.0
二甲醚	98.0	53.0 ^[7]

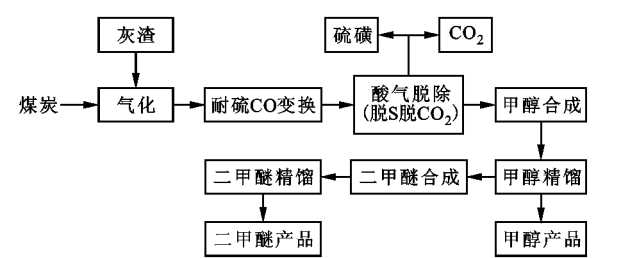


图 1 二甲醚生产流程示意图

4 二甲醚中巴客车的生命周期分析

综合原料开采阶段的效率、二甲醚燃料生产阶段的效率及车辆使用阶段的能耗量 E_c 、排放过程的数据和我国在能源方面的基础数据,获得了柴油和二甲醚燃料路线的全生命周期一次能源消耗量(见图 2)和温室气体排放的情况(见图 3),其中 SO_2 和 CO_2 的排放量按照元素守恒计算.

从图 2、图 3 可发现,在全生命周期内二甲醚路线的能耗、 CO_2 、 PM 和 SO_2 显著高于柴油路线.特别是在燃料生产阶段,二甲醚路线的一次能源消耗、温室气体排放和 SO_2 相当高,主要有两方面原因:一是由二甲醚生产用燃料煤和电力生产用燃料煤燃烧所致;二是二甲醚燃料的热值低于柴油,为达到相同的功率输出需加大燃料供给量,导致车辆阶段 100 km 油耗显著增大.由于后一因素目前似无法改变,因此应该从前一因素入手,着重研究二甲醚燃料的生产环节,改善生产工艺,提高转化效率,减少能耗和排放物生成.在全生命周期内二甲醚路线的 VOC 、 CO 和 NO_x 排放相比柴油路线分别降低 30.5%、65.3%和 26.4%,在车辆使用阶段二甲醚路线的降低更明显.

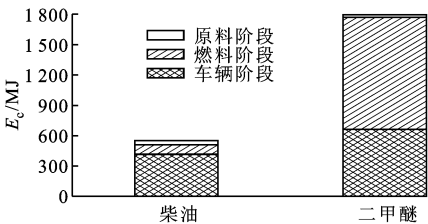


图 2 100 km 能耗比较

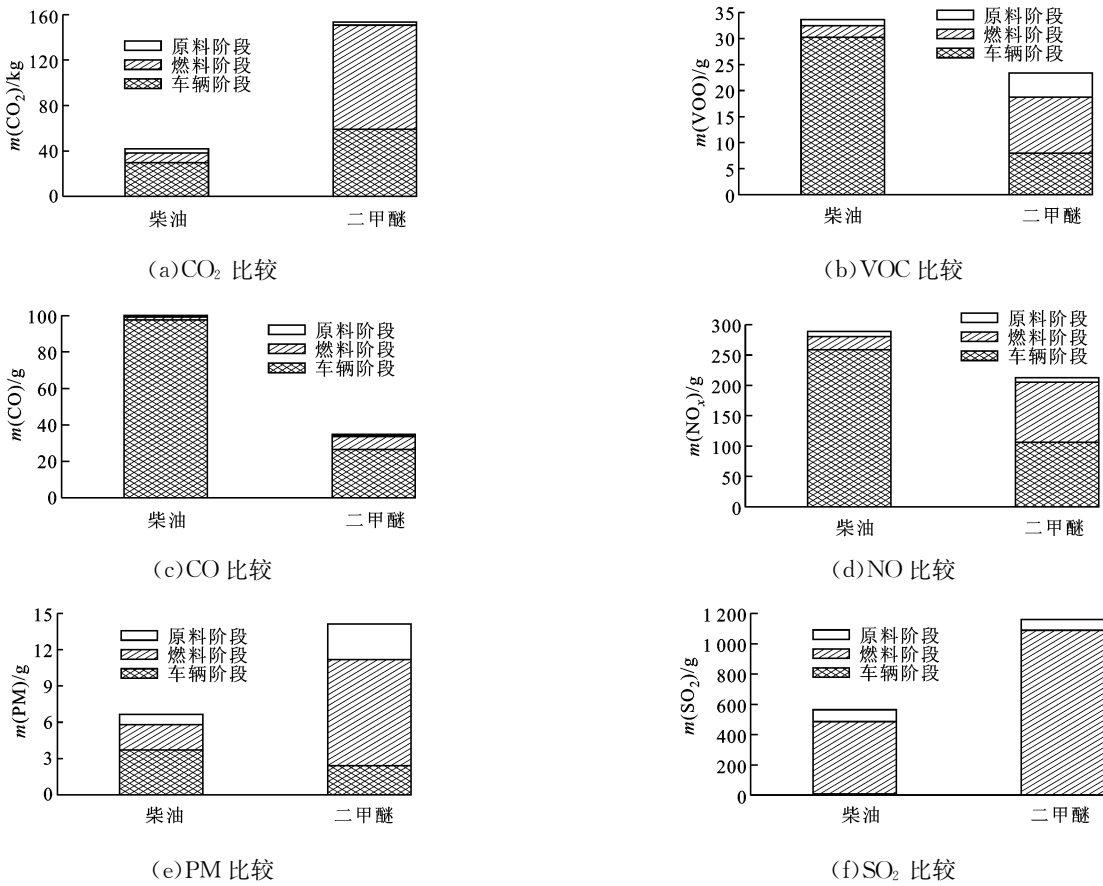


图 3 二甲醚和柴油两种路线的中巴客车在全生命周期内的 100 km 排放比较

综合分析，二甲醚中巴客车的优势主要在于，通过直接替换柴油，可降低对于石油的依赖. 通过车辆运行阶段的低排放，可降低城市污染物排放，降低对人体健康的危害. 但是，在目前煤制二甲醚路线全生命周期范围内，尤其是燃料生产过程的能耗和温室气体排放还比较高，使用时应综合考虑.

5 结 论

根据本文对二甲醚、柴油两种燃料在原料开采、生产阶段，及两种燃料在牡丹客车(配 4102 发动机)上应用的研究，得出如下结论.

(1)在车辆应用阶段，与传统柴油相比，使用二甲醚后，VOC、 NO_x 、CO、PM 和 SO_2 排放分别降低 75.8%、62.25%、74.9%、40.61%和 100%，能耗增加 50.62%， CO_2 增加 97.9%.

(2)在原料开采阶段，与柴油原料相比，二甲醚原料的开采能耗降低 28.97%， NO_x 、 SO_2 和 CO_2 的排放降低 17.9%、9.8%和 27.5%，但 VOC、CO、PM 排放均有所增加.

(3)在燃料生产阶段，与柴油相比，二甲醚燃料路线的能耗和各种排放均增加，因此必须研究二甲醚燃料的生产环节，改善生产工艺，提高转化效率.

(4)在全生命周期范围内，与柴油车相比，二甲醚中巴车的 VOC、CO、 NO_x 排放分别降低，但总能耗、 CO_2 、PM 和 SO_2 排放分别增加.

(5)二甲醚燃料的适量使用，一方面可以减少对石油的依赖，另一方面，有效利用二甲醚燃料在车辆使用阶段的低排放，可缓解区域环境污染，但目前煤制二甲醚燃料生产过程的能耗、效率和温室气体排放还比较高，推广使用时应综合考虑.

参考文献：

[1] MICHAEL W. Development and use of GREET 1.6 fuel-cycle model for transportation fuels and vehicle technologies [R]. Washington, USA: Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, 2001.

[2] HE Dongquan, MICHAEL W. Contribution feedstock and fuel transportation to total fuel-cycle energy use and emissions; SAE 2000-01-2976 [R]. Washington, USA; Society of Automotive Engineers Inc. ,2001.

- 张可,王贺武,李希浩,等. 城市客车 GTL 燃料的全生命周期分析 [J]. 汽车工程,2009,31(1):69-73.
- ZHANG Ke, WANG Hewu, LI Xihao, et al. Life cycle analysis of GTL fuel for city bus [J]. Automotive Engineering, 2009,31(1):69-73.
- [4] 李孟良,李洧,方茂东,等. 道路车辆实际行驶工况解析方法研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2003,27 (1):69-72.
- LI Mengliang, LI You, FANG Maodong, et al. The parse method of actual driving cycle of vehicle on road [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2003, 27 (1):69-72.
- [5] 张亮. 车用燃料煤基二甲醚的生命周期能源消耗、环境排放与经济性研究[D]. 上海:上海交通大学机械与

动力工程学院,2007.

- [6] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2008[M]. 北京:中国统计出版社,2008:98-116.
- [7] 中国交通年鉴社. 中国交通年鉴 2008 [M]. 北京:中国交通年鉴社, 2008:25-48.

[本刊相关文献链接]

深度废气再循环对二甲醚发动机性能及排放的影响. 2009,43(11):27-31.

二甲醚-氢气-空气混合气预混燃烧的实验研究. 2008,42(5):542-545.

燃烧与供油系统参数对二甲醚发动机热效率的影响. 2008,42(5):528-531.

(编辑 王焕雪)