大型客车柴油燃料生命周期分析

高有山 李兴虎

(北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191)

摘 要: 以实施第 1及第 2阶段限值后的大型客车为对象, 对车用燃油从原油开采、运输、炼油 WTT(Well-to-Tank)到车辆使用 TTW (Tank-to-Wheel)等多 个环节, 即燃料生命周期 WTW (Well-to-Wheel)内的能量消耗和温室气体排放进行了 定量分析, WTT阶段的分析使用了有关统计数据, TTW 阶段的分析采用了试验数据. 结果表明: WTW 阶段的能量消耗和温室气体分别是 TTW 阶段的 1. 151倍和 1. 153倍; WTT阶段各环节的能量消耗占 总能量消耗的比例分别为 6. 7%, 0. 42%, 6. 1%, 温室气体排放占总排放的比例分别为 1. 92%, 1. 42%, 9. 97%; 大型客车第 1阶段燃料消耗量限值的实施可降低 12%的能量消耗和 11. 8%的温室气体排放; 第 2阶段燃料消耗量限值的实施可降低 16. 93%的能量消耗和 17. 67%的温室气体排放.

关 键 词: 能量消耗; 温室; 气体排放; 柴油燃料; 生命周期评价

中图分类号: X 73

文献标识码: A 文 章 编 号: 1001-5965(2009) 11-1349-04

Well-to-wheels analysis of large-scale bus diesel fuels

Gao Youshan Li Xinghu

(School of Transportation Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Well-to-wheel assessment was used to evaluate the energy utilization and greenhouse gas emissions from crude oil extraction, transport, refining, namely well-to-tank (WTT), to vehicle operation, tank-to-wheel (TTW) for large-scale bus conformed to first and second phase of the fuel consumption limits. Statistical data was analyzed in WTT, test data was analyzed in TTW. Results shows that the energy consumption and greenhouse gas emissions in WTW were respectively 1. 151 and 1. 153 times that in TTW. Energy consumption proportion of crude oil extraction, transport, refining was respectively 6. 7%, 0. 42% and 6. 1%. Greenhouse gas emissions proportion of crude oil production, transport and refining was respectively 1. 92%, 1. 42% and 9. 97%. The first phase of the fuel consumption limits can reduce energy consumption and greenhouse gas emissions by 12% and 11. 81% respectively, while the second phase can reduce energy consumption and greenhouse gas emissions by 16. 91% and 17. 67% respectively.

Key words: energy utilization; greenhouse; gas emissions; diesel fuels; well-to-wheel

2005年我国的石油消费量达 327. 8Mt, 其中道路运输消耗的石油为 53. 47Mt CO_2是主要的温室气体, 全球汽车产生的 CO_2排放约占 CO_2总排放量的 7%. 用生命周期方法分析汽车燃料从原油开采到燃油使用各阶段的能量消耗和温室气体排放, 既可客观评价当前汽车的能源消耗和温室气体排放状况, 又可预测或评估执行新的燃料消耗限值法规后车辆能量消耗和温室气体排放的降低效果.

为此, 本文对大型客车柴油燃料进行了生命周期计算, 旨在预测 JT 711—2008《营运客车燃料消耗量限值及测量方法》实施后车辆能量消耗和温室气体排放的降低效果, 为交通运输部门提供评估和决策依据.

收稿日期: 2008-12-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAA09B05)

作者简介: 高有山 (1974-), 男, 山西朔州人, 博士生, gaoyoushan@ sohu. com.

1 WTW 评价原理

WTW (Well-to-Tank)评价方法不考虑车辆制造与燃料生产基础设施建设的物质消耗及对环境影响, 主要分析燃料从原油开采到车辆使用的若干环节中能量消耗及温室气体排放. WTW 包括从油井到油箱 WTT (Well-to-Tank) 和从油箱到车轮 TTW (Tank-to-Wheel)两个阶段. WTT 的研究对象是车用燃料的上游即生产阶段, 包括一次能源开采、一次能源运输、燃料生产、燃料运输、分配、储存以及燃料加注过程; TTW 的研究对象是车用燃料的下游即使用阶段, 即车辆发动机的燃料消耗和温室气体排放. WTW 的评价对象主要是内燃机汽车、电动汽车、燃料电池汽车、替代燃料汽车等[1~3].

WTW 方法中能量消耗单位是 MJ• MJ^{-1}; 温室气体指联合国气候变化跨国组织 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)规定的 3种主要温室气体 CO_2, CH_4, N_2O, 根据其对全球变暖潜力值 GWP (GlobalWarming Potential)等效为当量 CO_2排放[1], CO_2, CH_4, N_2O 的 GWP 分别为 1 g• MJ^{-1}, 23 g• MJ^{-1}, 296 g• MJ^{-1}.

2 WTW 分析过程

2.1 WTT阶段能量消耗和温室气体排放分析

1) 原油开采能量消耗. 国产原油和进口原油综合能量消耗根据所占百分数进行加权, 原油开采的能量消耗 Q_e, MJ• MJ^{-1}:

$$Q_e = \alpha\% Q_{ed} + (1 - \alpha\%) Q_{ei} \quad (1)$$

式中, Q_{ed}, Q_{ei}分别为国内和进口每 MJ原油开采的能量消耗, MJ• MJ^{-1}; α 为国内开采原油占消耗总量的质量百分数.

2) 原油运输能量消耗. 进口原油运输方式主要是海路运输和铁路运输. 根据我国原油进口的地区、数量及运输方式计算原油进口运输能量消耗 Q_{ti}, MJ• MJ^{-1}:

$$Q_{ti} = \beta\% Q_{ts} + (1 - \beta\%) Q_{tr} \quad (2)$$

式中, Q_{ts}, Q_{tr}依次为海路运输和铁路运输进口原油能量消耗, MJ• MJ^{-1}; β 为进口原油中海路运输占进口总量的质量百分数.

将原油 (进口和国产)通过铁路、水路、管路运输至炼油厂, 该过程的运输能量消耗 Q_t, MJ• MJ^{-1}:

$$Q_t = \alpha\% Q_{td} + (1 - \alpha\%)(Q_{ti} + Q_{td}) \quad (3)$$

式中, Q_{td}为原油在国内运输能量消耗, MJ• MJ^{-1}.

3) 炼油能量消耗. 炼油能量消耗包括炼油生产装置、辅助系统、输变电、热交换等所消耗的能量, 其中不包括炼油原料. 炼油综合能量消耗 Q_r, MJ• MJ^{-1}:

$$Q_r = \sum M_i R_i + Q_0 \quad (4)$$

式中, M_i为每 MJ原油的 i耗能工质 (能源)实物消耗量, t• MJ^{-1}; R_i为 i耗能工质 (能源)的实际能量换算系数, MJ• t^{-1}; Q_0为原油与外界交换的一次能源有效能量, MJ• MJ^{-1}, 实物消耗量和有效能量输入为正值, 输出为负值.

4) WTT阶段温室气体排放. 每 MJ原油运输的温室气体排放 R_t, g• MJ^{-1}:

$$R_t = \alpha\% R_{td} + (1 - \alpha\%)(R_{ti} + R_{td}) \quad (5)$$

式中, R_{td}, R_{ti}依次为国内原油运输、进口原油运输的温室气体排放, g• MJ^{-1}.

原油开采、国内原油运输、国外原油运输温室气体排放总量 R_1, g• MJ^{-1}:

$$R_1 = R_e + R_t + R_r \quad (6)$$

式中, R_e, R_t, R_r依次为原油开采、运输和炼油的温室气体排放, g• MJ^{-1}.

2.2 TTW 阶段能量消耗和温室气体排放分析

设车辆油耗为 F, L• (100km)$^{-1}$, 行驶阻力功率为 P_r, kW, 则车辆运行阶段能量消耗 F_Q, MJ• MJ^{-1}:

$$F_Q = \frac{F\rho H_u V}{100 P_r} \quad (7)$$

式中, ρ为燃油密度, kg• L^{-1}; H_u为燃油低热值, MJ• kg^{-1}; V为车速, m• s^{-1}.

采用碳平衡法计算 TTW 阶段温室气体排放 R_2, g• MJ^{-1}:

$$R_2 = \frac{44}{12} \times \left(\frac{1000k}{H_u} - \frac{10w_{co}}{84} - \frac{10w_{NMHC}}{48} \right) \quad (8)$$

式中, k为燃油中碳的质量百分数; w_{co}为燃油燃烧产生的 CO 排放值, g• kW• h^{-1}; w_{NMHC}为以 CH_4 计算的燃油燃烧产生的 NMHC排放值, g• kW• h^{-1}.

2.3 WTW 阶段

综合以上分析, 从原油开采到车辆运行整个生命期的能量消耗 Q, MJ• MJ^{-1}:

$$Q = F_Q(1 + Q_e + Q_t + Q_r) \quad (9)$$

从原油开采到车辆运行整个生命期的温室气体排放 R, g• MJ^{-1}:

$$R = R_1 F_Q + R_2 \quad (10)$$

3 大型客车 WTW 分析

为了便于分析, 计算中采用了 2005年的有关

统计数据和部分文献的结论.

3.1　原油开采能量消耗与温室气体排放

2005年国内开采原油 181.353 Mt(占总量的 52.1%),进口 166.90 Mt(占总量的 47.9%)[4],原油的低热值按 42.6 MJ·kg^{-1}计算,则国内原油开采的综合能量消耗为 0.08 MJ·MJ^{-1};进口原油开采能量消耗使用世界的平均值 0.075 MJ·MJ^{-1}[5]. 则由式(1)可得综合原油开采能量消耗为 0.078 MJ·MJ^{-1}. 原油开采温室气体排放是以开采单位原油所释放的 CO_2、CH_4、N_2O 数量及其 GWP值进行加权[5],单位为 g·MJ^{-1}.

3.2　原油运输能量消耗与温室气体排放

1) 原油进口运输能量消耗与温室气体排放. 海运油轮燃油消耗率是 0.68 g·(km·t)$^{-1}$[6],由运输距离及运输量计算得海运原油的能量消耗为 0.007 3 MJ·MJ^{-1}. 从前苏联进口原油 19.6 Mt,平均铁路运距 2 130 km,铁路运输能源强度为 102 946 kJ·(t·km)$^{-1}$[7],则进口原油铁路运输能量消耗为 0.005 2 MJ·MJ^{-1}. 根据进口原油的铁路运输和海运百分比,由式(2)得原油进口运输能量消耗为 0.007 MJ·MJ^{-1},见表 1. 原油运输的温室气体排放情况见表 2.

2) 原油在国内运输能量消耗与温室气体排放. 原油在国内的平均运距采用货物分类运输统计数据,铁路为 935 km;水路运输为 431 km[8],国产原油运输能量消耗为 0.001 51 MJ·MJ^{-1},见表 1[5~8]. 由式(3)得原油在国内运输能量消耗为 0.004 9 MJ·MJ^{-1}.

3) 原油运输的温室气体排放. 由式(5)及表 2得原油运输温室气体排放为 1.256 6 g·MJ^{-1}.

3.3　原油炼制能量消耗与温室气体排放

由式(4)得炼油的平均综合能量消耗是 0.069 9 MJ·MJ^{-1},炼油温室气体排放为 8.802 3 g·MJ^{-1}[5]. 表 2列出了石油开采、原油运输、炼油等燃料上游阶段的能量消耗和温室气体排放情况.

表 1　原油运输能量消耗

类别		运量/Mt	平均运距/km	能源强度/(kJ·(t·km)$^{-1}$)	能量消耗/(MJ·MJ^{-1})	合计/(MJ·MJ^{-1})
国内	铁路	46.36	935	102 946	0.002 29	0.001 51
	管道	234.34	308	161.25	0.001 18	
	水路	36.83	431	252	0.002 59	
进口	铁路	19.6	2 130	102 946	0.005 22	0.007 0
	海路	147.3	10 714.63	28 968	0.007 3	

表 2　WTT阶段能量消耗和温室气体排放

类别	能量消耗/(MJ·MJ^{-1})	气体排放/(g·MJ^{-1})			
		CO_2	CH_4	N_2O	温室气体
石油开采	0.077 6	1.110 3	0.011 8	0.001 1	1.694 0
原油运输	0.004 9	1.223 9	1.185×10^{-3}	1.82×10^{-5}	1.256 6
炼油	0.069 9	8.581 3	0.007 4	1.73×10^{-4}	8.802 3

3.4　车辆运行中能量消耗与排放

大型客车满载时的燃油消耗量采用制定 JT 711—2008《营运客车燃料消耗量限值及测量方法》[9]标准时的试验数据,下文所指车速及燃油消耗量是加权后的综合值,加权系数见文献[9]. 将上述数据采用数理统计方法来确定我国大型客车平均燃油消耗量 F_a. 分析表明我国目前大型客车的 F_a为 23.32 L·(100km)$^{-1}$,以文献[10]的方法确定大型客车满载时的平均行驶阻力功率为 35.9 kW,由式(7)得大型客车 TTW 阶段的能量消耗 F_Q为 5.67 MJ·MJ^{-1}.

我国新产大型客车第 1阶段燃料消耗量限值为 27.1 L·(100km)$^{-1}$,平均燃油消耗量 F_a为 20.51 L·(100km)$^{-1}$,由式(7)得大型客车运行阶段能量消耗 F_Q为 4.99 MJ·MJ^{-1}. 第 2阶段限值 24.4 L·(100km)$^{-1}$(限值在第 1阶段限值的基础上加严 10%),平均燃油消耗量 F_a为 19.36 L·(100km)$^{-1}$,由式(7)得大型客车运行阶段能量消耗 F_Q为 4.71 MJ·MJ^{-1}. TTW 阶段 CO排放量为 5.45 g·kW·h^{-1};未知碳氢化合物(以 CH_4计算)为 0.78 g·kW·h^{-1}[11]. 由式(8)可知,TTW 阶段温室气体排放为 76.53 g·MJ^{-1}.

3.5　*WTW* 计算结果与分析

把 3.1~3.4中确定的数据代入式(9)、式(10),即可得到燃料生命周期 WTW 内能量消耗及温室气体排放的结果. 结合表 2的数据,表 3为 WTW 各个阶段内能量消耗和温室气体排放的详细计算结果.

计算结果表明,我国当前大型客车 WTW 过程中能量消耗为 6.53 MJ·MJ^{-1},车辆运行阶段占能量消耗总量的 86.83%、原油开采阶段占能量消耗总量的 6.7%、运输阶段占能量消耗总量

的 0.42%、炼油阶段占能量消耗总量的 6.1%；温室气体排放为 88.28 g·MJ^{-1}，其中车辆运行阶段占温室气体排放总量的 86.69%、原油开采阶段占温室气体排放总量的 1.92%、运输阶段占温室气体排放总量的 1.42%、炼油阶段占温室气体排放总量的 9.97%. 实施大型客车第 1阶段燃料消耗量限值后可降低 12%的能量消耗和 11.81%的温室气体排放；实施大型客车第 2阶段燃料消耗量限值后可降低 16.93%的能量消耗和 17.67%的温室气体排放. 若要使大型客车的燃油消耗量降低 20%，则制定的燃油消耗限值应为 22.8 L·(100km)$^{-1}$.

表 3 WTW 生命周期能量消耗及温室气体排放结果

阶段	原车		第 1阶段限值		第 2阶段限值	
	能量消耗/(MJ·MJ^{-1})	温室气体/(g·MJ^{-1})	能量消耗/(MJ·MJ^{-1})	温室气体/(g·MJ^{-1})	能量消耗/(MJ·MJ^{-1})	温室气体/(g·MJ^{-1})
TTW	5.67	76.53	4.99	66.10	4.71	60.93
WTW	6.53	88.28	5.75	77.85	5.43	72.68

4 结束语

若以 2005年的统计数据计算，假设实施第 1、第 2阶段燃料消耗量限值后所有车辆降低的能量消耗和温室气体排放与大型客车相同，则可减少我国原油消耗量分别为 7.4 Mt、10.5 Mt，约占我国同年进口原油的 4.4%和 5.4%；可减少温室气体排放分别为 27.5 Mt、38.7 Mt可知实施燃料消耗量限值是减少交通运输能量消耗和温室气体排放的有效手段，说明使用 WTW 方法可定量分析实施不同燃料消耗量限值对降低交通运输行业能量消耗和温室气体排放产生的效果. 因燃油生命周期方法考虑原油开采、运输、炼油等环节，故本文对 JT 711—2008《营运客车燃料消耗量限值及测量方法》实施前后大型客车能量消耗及温室气体排放的定量分析结果比仅仅考虑大型客车运行阶段的能量消耗及温室气体排放更加符合实际情况；对交通运输部门节能降耗工作评估和决策更具参考价值.

参考文献 (References)

[1] Wu Y, Wang M Q, Sharer P, et al. Well-to-wheels results of energy use, greenhouse gas emissions and criteria air pollutant emissions of selected vehicle/fuel systems[R]. SAE 2006-01-0377, 2006

[2] Papasavva S, Weber T, Cadle S H. Tank-to-wheels preliminary assessment of advanced powertrain and alternative fuel vehicles for China[R]. SAE 2007-01-1609, 2007

[3] Prieur A, Bouvart F, Gabrielle B, et al. Well-to-wheels analysis of biofuels vs conventional fossil fuels: a proposal for greenhouse gases and energy savings accounting in the french context[R]. SAE 2008-01-0673, 2008

[4] 中华人民共和国国家统计局. 中国能源统计年鉴 2006[G/OL]. 北京: 中国统计出版社, 2006. http://www.stats.gov.cn/tjshujia/tjzl/t20081225_402528739.htm
National Bureau of Statistics of China. Statistical yearbook 2006 of china energy[G/OL]. Beijing: China Statistical Press, 2006. http://www.stats.gov.cn/tjshujia/tjzl/t20081225_402528739.htm (in Chinese)

[5] Sheehan J, Camobreco V, Duffield J. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus[R]. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503, 1998

[6] 谢新连, 滕亚辉, 高峰. 进口原油运输船型经济性分析[J]. 中国航海, 2001(1): 77-83
Xie Sinlian, Teng Yahui, Gao Feng. The economic evaluation on tanker types for carrying imported crude oil[J]. Navigation of China, 2001(1): 77-83 (in Chinese)

[7] 中国交通年鉴社. 中国交通年鉴 2005[G/OL]. 北京: 中国交通年鉴社, 2005. http://www.jiaotong yearbook.cn/main.asp
China Communications Yearbook Society. China communications yearbook 2005[G/OL]. Beijing: China Transportation Yearbook Press, 2005. http://www.jiaotong yearbook.cn/main.asp (in Chinese)

[8] 中华人民共和国国家统计局. 2006统计年鉴[G/OL]. 北京: 中国统计出版社, 2006. http://www.stats.gov.cn/tjshujia/zjxs/t20081006_402507602.htm
National Bureau of Statistics of China. Statistical yearbook 2006 of China[G/OL]. Beijing: China Statistical Press, 2006. http://www.stats.gov.cn/tjshujia/zjxs/t20081006_402507602.htm (in Chinese)

[9] JT 711—2008. 营运客车燃料消耗量限值及测量方法[S]
JT 711—2008. Limits and measurement methods of fuel consumption for commercial vehicle for passenger transportation[S] (in Chinese)

[10] 高有山, 李兴虎. 汽车滑行阻力分析[J]. 汽车技术, 2008(4): 30-33
Gao Youshan, Li Xinghu. Analysis on automobile coasting resistance[J]. Automobile Technology, 2008(4): 30-33 (in Chinese)

[11] GB 17691-2005. 车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国 III、IV、V阶段)[S]
GB 17691-2005. Limits and measurement methods for exhaust pollutants from compression ignition and gas fuelled positive ignition engines of vehicles(III, IV, V)[S] (in Chinese)

(编 辑: 张 嵘)