

CMEM 用于我国柴油公交车排放计算

王晓宁, 刘海洋, 李亭慧, 邓可

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨)

摘要: 为了研究柴油公交车节能减排方法, 寻找油耗与排放之间的关系, 建立适用于我国柴油公交车的排放模型, 以国外广泛使用的综合排放模型 (Comprehensive modal emission model, CMEM) 中柴油车排放模型为基础, 通过对我国柴油公交车与 CMEM 中的标准柴油卡车的异同点比较, 对模型的速度参数、加速度参数、质量参数、传动效率参数等进行修改后, 建立适用于我国柴油公交车的排放模型. 最后, 通过与哈尔滨市某公交线路公交车实测数据比较, 发现所建立的模型计算出的模拟数据与实测数据相差不大, 证明所建立改进的 CMEM 模型可以用于我国公交车排放的模拟计算.

关键词: 柴油公交车; CMEM; 对比分析; 模型改进

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2012)06-0078-04

The emission model of diesel bus based on CMEM in China

WANG Xiao-ning, LIU Hai-yang, LI Ting-hui, DENG Ke

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China)

Abstract: For the purpose of researching on diesel bus emission, finding out the relationship between oil consumption and emission, and establishing a diesel bus emission model, this paper first studies the diesel truck emission model using CMEM (comprehensive modal emissions model) in foreign countries, then compares the difference between diesel buses in China and standard diesel trucks in CMEM. Some parameters of the model, like speed, acceleration, quality, transmission efficiency and so on are revised, and then the calculating formula which is suitable for diesel buses emissions in China is obtained. It shows that the data calculated by the modified model fits the test data in Harbin city well.

Key words: diesel bus; CMEM; comparative analysis; model improving

节能减排是当前关注的热点问题, 公共汽车是我国城市公共交通的主要方式, 由于其载重大、马力大、油耗多, 排放的尾气对城市环境的影响也大. 随着公共交通在城市交通中比例的增大, 公交车排放的污染物逐渐增多, 开展公交排放污染预测与减排方法研究日益迫切. 在进行城市公共交通节能减排管理时, 只有科学计算公交车污染物排放量才能采取合理的节能减排措施. 公交运行行为是影响污染物排放的重要因素, 对公交运行行为进行深入分析是公交污染预测的理论基础,

对运行行为参数进行优化是指导公交污染减排管理的科学依据. 开展该项研究, 对科学分析城市公交运行行为对污染物排放的影响有重要理论意义, 从减排的角度规范公交运行行为具有指导意义.

1 CMEM 综述

目前, 排放模型分为宏观、中观、微观 3 大类. 其中较有代表性的排放模型, 宏观的有 MOBILE、EMFAC、CORPERT 等, 中观的有 MEASURE、INTEGRATION 等, 微观的有 CMEM、ONROAD 等^[1]. CMEM, 即综合排放模型, 是一种微观的实时尾气排放模型. 该模型通过输入车辆参数和模型参数, 能够模拟计算出车辆每秒尾气排放量和油耗. 于雷等对排放模型做过综述性研究^[2], 何

收稿日期: 2011-09-10.

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(70803007);
中国博士后科学基金特别资助项目(65235).

作者简介: 王晓宁(1974—), 女, 副教授, 博士后.

通信作者: 王晓宁, wxn1974@hit.edu.cn.

春玉等运用 CMEM 对北京市 4 类典型轻型机动车的排放因子进行了实测与模拟对比^[3],发现两者的一致性较高,徐成伟等运用 CMEM 模拟了武汉轻型车的排放特性,与实测数据进行对比后发现,总体趋势基本一致^[4].黄成等以轻型柴油车为研究对象,模拟了车辆在实际道路上的瞬时排放,根据实测数据对模拟结果进行了验证,并运用 CMEM 模拟了交叉口条件改善之后车辆的排放变化^[5-7].

本文首先进行了车辆尾气排放问题的综述,而后以国外广泛采用的综合排放模型(Comprehensive modal emission model, CMEM)中重型柴油卡车排放模块为基础,根据我国柴油公交车排放计算的实际需要,在比较柴油公交车与重型柴油卡车在发动机、行驶速度、加速度、荷载变化、行驶

环境等方面的异同点后,对 CMEM 模型重型柴油卡车排放模块的速度参数、加速度参数、质量参数、传动效率参数等进行了修改,进而得到了用于我国柴油公交车排放计算的公式,最后通过对比哈尔滨某条公交线路的排放数据的模拟计算,证明了本文所得到的我国柴油公交车排放模型具有应用的实用性与准确性.

2 CMEM 中公交车与卡车比较

2.1 重型柴油卡车与柴油公交车的相同点

重型卡车与柴油公交车最主要的相同点是均使用柴油发动机,排放原理基本相同.表 1 从排气量、最大功率等几方面比较了我国典型重型柴油卡车与柴油公交车的发动机特性.

表 1 典型卡车与公交车的柴油发动机特性比较

车型	发动机型号	排气量/ L	最大功率/ kW	最大扭矩/ (N·m)	气缸数	最高车速/ (km·h ⁻¹)	排放标准	汽缸压缩比
欧曼重型 卡车	WD615.64	9.726	175 (2 200 r·min ⁻¹)	880 (1 300~1 600 r·min ⁻¹)	6	95	欧 3	15.5:1
金龙 6100F	YC6105ZLQ	6.900	206 (2 400 r·min ⁻¹)	1100 (1 400~1 700 r·min ⁻¹)	6	100	欧 3	9.8:1

由表 1 可知,我国重型柴油卡车与柴油公交车在发动机的性能上是基本接近的.欧曼重型卡车发动机的排气量要比金龙公交车的高 2.8 L,压缩比也要比金龙公交车发动机大,这说明欧曼重型卡车达到额定功率或扭矩的时间要比金龙公交车的短,它们的排气量与压缩比基本在同一级别,相差不是很大.在最大功率和最大扭矩方面,金龙公交车的发动机要比欧曼重型卡车的发动机优良一些,但也相差不大.最高车速基本相同,排放标准都属于欧 III,这表明两者在排放技术及排放水平的控制上基本一致.

2.2 重型柴油卡车与柴油公交车的不同点

在发动机相似的情况下,卡车与公交车还有很多不同之处,这是因为二者的用途在本质上存在区别:卡车是用来进行货物或原料的运输,即货运,而公交车是用来进行人的运送,即客运.由于用途不同,造成其构造必然存在不同,体现在排放模型参数上时,则主要表现在运行速度、加速度、荷载、行驶环境等因素上.

在城市里,由于运行环境及运行目的的限制,公交车的速度表现为走走停停,频繁加减速,平均车速低,常为 0~30 km/h.而重型柴油卡车由于以货运为主,经常行驶在公路或高等级公路上,其平均行程速度高出柴油公交车很多,一般为 30~

80 km/h.由于公交车的运行速度区间与卡车有明显的区别,这必将导致两者排放的差异以及模型的适用程度不同.

公交车走走停停,加减速停车频繁,由于剧烈的加减速和短暂的停车使排放呈不规则状态.重型柴油卡车的时间限制性不是很大,在时间充裕的情况下,驾驶员往往会选择比较平稳的加速过程,因此,排放较有规律.由此可见,二者加速度差异不大,但加速度的变化速率有很大不同.公交车所需的加速度明显大于柴油卡车,尤其在交叉口、公交站台等特殊点,加速度增大功率必然增大,这又弥补了速度低的不足,速度与加速度的具体修正系数要由实际数据的验证拟合得到.同时由于公交车的加速、减速比较频繁,容易产生过多的尾气排放,所以应修正速度与加速度对油耗量的影响程度,增加加速度对油耗的影响,降低速度对油耗的影响.

公交车受运营载客的限制,其载荷变化比较迅速,大量的乘客上下公交车,使公交车的总质量不会保持在一个恒定值,这也造成了功率需求的改变,从而在一定程度上影响到排放.重型柴油卡车基本上只有两个状态:满载或空载.无论哪种情况,卡车的负载基本上维持在一个固定值,不会产生变化.在 CMEM 中荷载(即质量 m)参数是作为

车辆参数来确定的,一经输入,不再改变,而公交车的质量是随时间变化的.质量参数影响功率的大小,也就是说,车辆质量大就需要更大的功率,更大的扭矩,而乘客的多少必然影响排放的多少,其他情况不变,公交车满载行驶和空载行驶时在排放上必然存在不同,但质量影响排放的程度以及敏感度如何,还需要实际数据的拟合与验证.

由于公交车与卡车的整体性能不同,其传动效率必然不同,且随汽车使用年限、行驶里程的增加其变化规律是不同的.而公交车行驶时间一般白天为12 h,晚上停止运营.重型柴油卡车的行驶时间一般由运输任务而定,可能是几小时也可能是几天,范围较广.在运行时间上,公交车的运行时间通常在白天,气温较高,城市道路的坡度变化不是很大,但偶尔会有小陡坡,周围交通流比较密集,加上非机动车及行人的存在,行驶环境非常复杂.重型柴油卡车的运行时间通常选择在夜晚,气温相对较低,坡度变化与行驶地区的地形以及公路等级有很大关系,常常会碰到陡坡,一般情况下行驶环境较轻松,交通流不大.

3 根据我国情况对模型进行修正

3.1 对于载荷、速度、加速度修改

在CMEM中,功率需求模块中的需求功率为

$$P_{\text{tract}} = (m \cdot a + m \cdot g \cdot \sin \theta + \frac{1}{2} C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v + m \cdot g \cdot C_r \cdot \cos \theta) \cdot v / 1\,000. \quad (1)$$

式中: P_{tract} 为发动机牵引功率,kW; m 为经过滚动及摆动修正后的汽车总质量,kg; v 为车速,m/s; a 为加速度,m/s²; g 为重力加速度,取 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; θ 为斜率,度; C_d 为牵引系数; A 为迎风表面积; ρ 为空气密度; C_r 为滚动阻力系数.

式(1)中,功率与速度成正比关系,由于公交车速度区间偏低,所以式(1)求出的功率比柴油卡车小,转速也相应的偏低,将功率与转速带入油耗公式后求出的油耗量偏少,污染物排放量也就降低.由以往的研究可知,公交车在低速度区间行驶时,污染物排放量比高速度区间要多很多,这就需要与速度有关的公式进行一定的修改,比如在速度之前添加相应的系数,使它在低速情况下也可能出现高功率、高转速需求,同时,这又与加速度有一定的关系.鉴于卡车与公交车在载荷、速度、加速度等方面的差异,可将式(1)修改为

$$P_{\text{tract}} = (m + 50n) \cdot (1.2a) \cdot (0.9v) / 1\,000 + (m + 50n) \cdot g \cdot \sin \theta \cdot v / 1\,000 + \frac{1}{2} C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 / 1\,000 + (m +$$

$$50n) \cdot g \cdot C_r \cdot \cos \theta \cdot v / 1\,000. \quad (2)$$

式中: n 为公交车载客人数.

式(2)体现了公交车的整体质量随乘客数的不同而不同,将载荷变成了车辆运行参数.当排放偏大时,主要原因应是油耗偏大或是燃烧条件恶劣,若想模拟油耗增大的情形,只能增大功率需求的模拟值(速度转换成转速比率固定,发动机排量固定),而增大功率则应考虑速度与加速度这两个主要参数,公交车常在低速运行,且频繁加减速,可使式(2)中 $v = k_1 v_t$, $a = k_2 a_t$ (其中 v_t 为实际车速, a_t 为实际加速度)这样通过系数调整,可以调整速度与加速度的影响比重, k_1 、 k_2 的数值在上式中已经给出.

3.2 对传动效率 ε 的修改

随着车辆使用年限以及车辆行驶里程的增加,车辆的整体性能会逐渐降低,表现在模型参数上即是传动效率 ε 的改变.考虑柴油公交车的自身特性,将车辆使用年限与行驶里程修正系数加入原模型中,传动效率 ε 改写为

$$\varepsilon = \begin{cases} \alpha \varepsilon_1 \cdot \left[1 - \varepsilon_2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{150} \right)^2 \right], & a > 0, v < 48.27 \text{ km/h}; \\ \alpha \varepsilon_1 \cdot \left[1 - \varepsilon_3 \cdot \left(\frac{P_s}{500} - 1 \right)^2 \right], & P_s > 20 \text{ kW/kg}, \\ & 48.27 \text{ km/h} < v < 128.7 \text{ km/h}; \\ \alpha \varepsilon_1, & \text{其他}. \end{cases} \quad (3)$$

$$\alpha = \beta \exp\left(-\frac{n_1}{2n_2} - \frac{l_1}{2l_2}\right). \quad (4)$$

式中: ε 为发动机传动系数; ε_1 为最大传动效率,为70%~93%; ε_2 为低速行驶传动效率因子, $\varepsilon_2 \approx 1.0$; ε_3 为高功率行驶时的传动效率因子,取0~0.2; v 为车速,m/s; P_s 为比功率,kW/kg, β 为车辆类型系数; n_1 为使用年限; n_2 为报废年限; l_1 为行驶里程; l_2 为报废里程.

修正系数 α 是随使用年限和行驶里程的增加而减少的,并且呈指数关系,即开始的时候减少的较慢,随着使用年限和行驶里程的增加,减少速度逐渐加快,在后期达到一个峰值.而由于车型不同,修正系数的值也会相应地不同,体现在车型系数 β 上.而指数函数中的自变量取的是使用年限占报废年限的比例和行驶里程占报废里程的比例,这样比单一地应用使用年限和行驶里程要更加精确一些.

4 模型算例分析

为了验证修改后模型的适用性,利用非接触式车速测定仪(AM-2100)记录了2010年5月24日(星期一)哈尔滨市某路公交车由高谊街站至靖宇头道街站运行速度数据,街站间路段坡度 $\theta = 0$,长度约为875 m,行程时间为190 s.将测得的柴油公交车在此路段上的速度、加速度等行驶

参数,与通过调查获得公交车的车辆参数,带入本文提出的模型中进行实例计算.实验用公交车型为金龙6100F,技术参数见文献[8].

将车辆参数及模型参数带入修改后的CMEM模型,将其中部分参数进行相应地修改.而后再将车辆运行数据(瞬时车速、瞬时加减速等)带入改进后的CMEM模型,所得排放预测数据(部分)见表2.

表2 哈尔滨某路段部分模拟排放数据

编号	$v/(m \cdot s^{-1})$	$a/(m \cdot s^{-2})$	$N/(r \cdot s^{-1})$	$E_{HC}/(10^{-6}g \cdot s^{-1})$	$E_{NO}/(10^{-6}g \cdot s^{-1})$	$E_{CO}/(10^{-6}g \cdot s^{-1})$
1	1.50	0.47	15.68	3.63	73.10	33.92
2	1.97	0.58	16.54	5.16	104.53	48.68
3	2.56	0.25	16.79	3.50	70.40	32.65
4	2.81	0.22	17.12	3.44	69.15	32.07
5	3.03	-0.42	16.37	0.63	11.51	4.99
6	2.61	0.75	17.78	7.58	154.16	71.99

由表2可以看出,速度与加速度由始至终作为排放量大小的决定因素而存在,其他因素的影响较小,没有起到决定性作用.

5 结论

1) 对CMEM中柴油卡车排放模型进行了研究,根据公交车排放污染计算需要,给出了适用于我国柴油公交车排放计算的公式.

2) 以哈尔滨市某公交车测试数据为例进行研究表明,修改后的模型所计算出的数据基本符合公交车排放规律,可以进行进一步的数据研究.在大量的数据实验的基础上给出适用于我国公交车排放模拟计算的模型.

3) 通过对模型的实际应用可以看出,加速度对柴油公交车尾气排放的影响非常显著,在加减速过程中排放量累积明显.需要说明的是,传动效率修正系数还需通过大量的车辆排放数据进行确定与验证.另外,作为柴油发动机主要排放物之一的颗粒物排放模型,CMEM没有给出,未来需要对此模型进行研究.

参考文献:

[1] 霍红,贺克斌,王歧东. 机动车污染排放模型研究综

述[J]. 环境污染与防治,2006,28(7):526-530.

[2] 黄琼,于雷,杨方,等. 机动车尾气排放评价模型研究综述[J]. 交通环保,2003,12(6):28-31.

[3] 何春玉,王歧东. 运用CMEM模型计算北京市机动车排放因子[J]. 环境科学研究,2002,10(1):100-112.

[4] 徐成伟,吴超仲,初秀民,等. 基于CMEM模型的武汉市轻型机动车平均排放因子研究[J]. 交通与计算机,2008,26(4):185-188.

[5] 黄成,陈长虹,戴璞,等. 轻型柴油车实际道路瞬时排放模拟研究[J]. 环境科学,2008,29(10):2975-2982.

[6] 黄成,陈长虹,景启国,等. 重型柴油车车载排放实测与加载影响研究[J]. 环境科学学报,2006,27(11):2303-2308.

[7] GEORGE S, MATTHEW B. Comprehensive modal emissions model, version 3.01 [EB/OL]. [2010-08-10]. http://www.cert.ucr.edu/cmем/docs/CMEM_User_Guide_v3.01d.pdf.

[8] 邓可. 城市公交污染物排放预测模型研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010:24-30.

(编辑 魏希柱)