

8-5-2020

Comparison of Microscopic On-road Fuel Consumption Model Based on VSP and Ln (TAD)

Zhao Qi

1. MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex System Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; ;

Yu Lei

2. Department of Transportation Studies, Texas Southern University, Houston, TX 77004, USA;

Guohua Song

1. MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex System Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; ;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Comparison of Microscopic On-road Fuel Consumption Model Based on VSP and Ln (TAD)

Abstract

Abstract: In microscopic on-road fuel consumption models, the power demand-based parameter was commonly used to characterize the vehicle activities because of its strong correlation with fuel consumption. Both VSP and the natural logarithm of Ln(TAD) were commonly used power demand-based parameters. It is necessary to compare the accuracy and characteristic of two fuel consumption models that are developed based on the VSP with Ln(TAD). By collecting and processing field vehicle activities and fuel consumption data, *two fuel consumption models for LDVs, one based on the VSP and another one based on Ln(TAD) were developed. Then, the distribution model between the VSP distribution and Ln(TAD) and the average travel speed was constructed.* Subsequently, prediction accuracies based on the developed models were compared. *The characteristics and regularities of microscopic fuel consumption models based on the VSP and Ln(TAD) for LDVs on urban roads were summarized for the measurements of vehicle fuel consumption.*

Keywords

fuel consumption model, VSP, Ln(TAD), prediction accuracy

Recommended Citation

Zhao Qi, Yu Lei, Song Guohua. Comparison of Microscopic On-road Fuel Consumption Model Based on VSP and Ln (TAD)[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(11): 2662-2669.

基于 VSP 与基于 LN(TAD)的道路油耗微观模型比较

赵琦¹, 于雷², 宋国华¹

(1. 北京交通大学 城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 德克萨斯南方大学, 休斯敦 77004)

摘要: 在道路微观油耗模型中, 基于功率需求类的参数因其与油耗之间的高度相关性, 常被用来描述车辆运行特征。VSP(Vehicle Specific Power)和 Ln(TAD)(Natural Logarithm of the Total Absolute Difference of Vehicle Instantaneous Speed)都是常用的基于功率需求类的参数, 有必要对基于 VSP 和 Ln(TAD)的微观油耗模型的准确性和特征进行对比。利用收集到的实际逐秒速度数据和油耗数据, 分别建立基于 VSP 和 Ln(TAD)的轻型车微观油耗模型, 以及平均行程速度与 VSP 和 Ln(TAD)的分布模型, 并将利用模型得到的油耗量和油耗因子测算值与实际值进行比较, 归纳出这 2 种微观油耗模型的特征和规律。

关键词: 油耗模型; 机动车比功率; Ln(TAD); 预测精度

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 11-2662-08

Comparison of Microscopic On-road Fuel Consumption Model Based on VSP and Ln (TAD)

Zhao Qi¹, Yu Lei², Song Guohua¹

(1. MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex System Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. Department of Transportation Studies, Texas Southern University, Houston, TX 77004, USA)

Abstract: In microscopic on-road fuel consumption models, the power demand-based parameter was commonly used to characterize the vehicle activities because of its strong correlation with fuel consumption. Both VSP and the natural logarithm of Ln(TAD) were commonly used power demand-based parameters. It is necessary to compare the accuracy and characteristic of two fuel consumption models that are developed based on the VSP with Ln(TAD). By collecting and processing field vehicle activities and fuel consumption data, two fuel consumption models for LDVs, one based on the VSP and another one based on Ln(TAD) were developed. Then, the distribution model between the VSP distribution and Ln(TAD) and the average travel speed was constructed. Subsequently, prediction accuracies based on the developed models were compared. The characteristics and regularities of microscopic fuel consumption models based on the VSP and Ln(TAD) for LDVs on urban roads were summarized for the measurements of vehicle fuel consumption.

Keywords: fuel consumption model; VSP; Ln(TAD); prediction accuracy

引言

近年来的统计显示, 我国交通能耗已占社会总

能耗的 20%^[1]。获取实际交通运行状况下的道路交通能源消耗量, 既是制定各种节能措施的有效前提, 也是对各项措施进行评价的有效手段^[2]。

道路交通油耗测算的技术路线是基于机动车油耗和运行特征之间的关系^[3], 建立油耗仿真模型, 再以机动车运行特征参数作为模型输入从而得到油耗测算结果。油耗模型的应用历史已经超过



收稿日期: 2015-01-23 修回日期: 2015-04-15;
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目 (2014AA110301);

作者简介: 赵琦(1985-), 男, 山西阳城, 博士生, 研究方向为道路交通排放建模; 于雷(1963-), 男, 黑龙江黑河, 博导, 研究方向为城市交通规划与管理、汽车尾气排放控制以及智能交通系统技术开发与应用等。

<http://www.china-simulation.com>

• 2662 •

30 年。在其发展的最初阶段, 其主要的用来描述机动车运行特征的参数为特定行驶周期下的平均速度。特定行驶周期是指在特定行驶条件下(如城市道路或高速公路)所有车辆完成整个行程所经历的各种典型工况的集合。

随着油耗测试技术的发展, 平均速度这个参数被证明与油耗之间的相关性较低^[4], 因此逐渐被速度和加速度这 2 个参数所取代。例如使用速度和加速度构成的矩阵来描述机动车的运行, 或用速度与加速度的乘积代替加速度。近年来, 功率类的参数已经逐渐成为机动车油耗模型的解释变量。VSP^[5]和 Ln(TAD)^[6]均因与油耗的高度相关性而成为具有代表性的功率类参数。

VSP 这个概念是由 Jiménez-Palacios^[5]所提出的。它的含义是发动机每移动 1 t 质量(包括自重)所输出的功率, 单位为 kW/t(或 W/kg)。其与发动机油耗排放之间具有直接的物理关系, 因此它们之间具有良好的相关性。此外, VSP 值在机动车实际运行过程中较容易获取。因此, 基于 VSP 的建模方法已广泛应用于油耗排放模型中, 例如 MOVES^[7]模型和 IVE^[8]模型。Ln(TAD)是车辆在每个行驶周期内的瞬时速度的绝对差值。荷兰国家应用科学研究院(Netherlands Organization for Applied Scientific Research, TNO)以 Ln(TAD)为关键参数, 开发了 VERSIT+油耗排放仿真模型, 以测算特定交通运行状态下的油耗排放^[9-11]。

基于 VSP 和基于 Ln(TAD)的油耗模型以车辆逐秒速度为输入参数, 即可测算微观油耗数据。本研究将利用轻型车在快速路和主干路上的实测速度和油耗数据, 来比较 VSP 和 Ln(TAD)这 2 个功率需求类参数在不同城市道路类型下的油耗仿真计算中的准确性。

在实际应用中, 机动车逐秒速度数据并不容易获取。油耗测算所使用的主要是来自交通运行状况监测系统和数据收集设备输出的不同时间集成粒度下的平均行程速度^[12]。例如在北京的浮动车系统中^[13], 可获取的交通运行状况数据为以 5 min 时

间粒度集成的浮动车平均行程速度数据。因此, 在进行城市道路交通油耗微观仿真计算对比时, 应考虑到使用平均行程速度作为模型输入的情况。对于 VSP 这个参数来说, 现有的研究已经建立了平均行程速度与 VSP 分布之间的关系。为分析车辆 VSP 与油耗排放之间的关系, 需对 VSP 进行聚类分析, 即将其划分为若干个区间, 称为 VSP Bin。车辆在某个时间或空间范围内, 在每个 VSP Bin 下的时间比例, 即为车辆的 VSP 分布。在近几年的建模过程中, 由于其明确的物理意义以及较强的统计关系, VSP 分布已经成为一个被广泛接受的计算能耗与排放的解释变量。这样就使得车辆的运行情况可以用 VSP 分布参数来刻画^[14]。Frey 等^[15]发现不同行驶周期下的 VSP 分布具有一致性。Song 等^[12]建立了城市快速路上的轻型车 VSP 分布模型, 描述了机动车平均行程速度与 VSP 分布之间的关系。但是, 对于 Ln(TAD), 尚缺少针对平均行程速度与 Ln(TAD)之间的研究。本研究将会建立平均行程速度与 Ln(TAD)之间的关系模型, 从而使得基于 VSP 和基于 Ln(TAD)的道路交通油耗微观仿真方法都可以使用平均行程速度作为主要输入参数来进行油耗仿真计算, 并对两者的计算准确度进行对比。

1 实验设计与数据采集

本研究的目的是比较两种微观油耗模型: 基于 VSP 和基于 Ln(TAD)的油耗模型在微观油耗仿真计算时的准确性。为获取充足的数据, 本研究使用六辆不同的轻型车作为实验车辆, 利用 GPS 设备和车载油耗测量设备来收集实验车辆在实际行驶过程中的逐秒速度和油耗数据。实验车辆的基本信息如表 1 所列。为避免不同驾驶行为特征对研究结果的影响, 本研究中的实验均由同一驾驶员完成。

本研究所用的 GPS 设备是 Columbus V-900, 其原始数据包括经纬度、时间及瞬时速度等。所用的车载油耗测量设备型号为 Flowtronic S8005C, 可以提供测试车辆逐秒的瞬时油耗量。瞬时加速度描述的是速度的变化, 在本研究中瞬时加速度按照公

式(1)计算得到。

$$a_n = v_n - v_{n-1} \quad (1)$$

式中： a_n 为第 n 秒的加速度，单位为 m/s^2 ； v_n 为第 n 秒的速度，单位为 m/s 。

表 1 实验车辆参数信息

编号	车辆型号	车龄	最大总质量	发动机排量
1	QQ	3	1 265 KG	1.1 L
2	捷达 CIX	4	1 545 KG	1.6 L
3	桑塔纳	3	1 560 KG	1.8 L
4	帕萨特	4	1 700 KG	2.0 L
5	奥迪 A6L	2	2 185 KG	2.4 L
6	别克 GL8	3	2 470 KG	3.0 L

本研究的实验地点位于北京市区内，图 1 为所选择的实验路线，其全长 28 km，其中包括 20 km 的快速路和 8 km 的主干路。

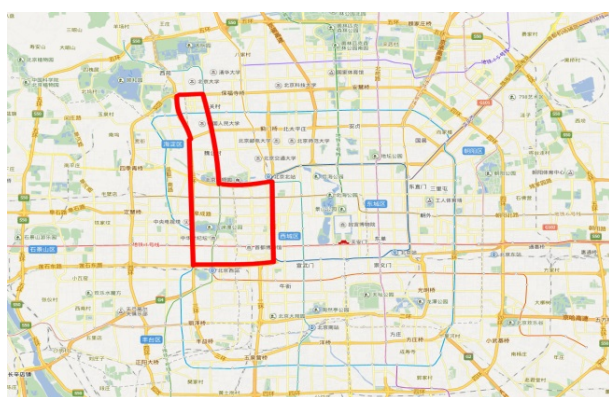


图 1 测试路线

每辆实验车辆沿图 1 所示的实验路线行驶两次以收集实验数据。其中，第 1 次实验所收集到的逐秒速度数据和油耗量数据用来建立分别基于 VSP 和基于 Ln(TAD)的油耗模型，定义为“建模”组数据；而第 2 次所收集到的数据则用来比较所建立的两种油耗模型的油耗测算精度，定义为“验证”组数据。表 2 展示了逐次实验的相关信息。

为了确保数据的有效性，对所收集的数据进行质量控制，识别和去除了其中的无效数据。最终，获得 47 385 条有效的逐秒速度数据和油耗量数据。对每次测试的数据按照 60 s 为集成粒度，将所有数据划分为 789 组，每组包含连续 60 s 的逐秒速度数

据和油耗量数据，下称逐秒数据组。计算每个逐秒数据组的平均速度，结果显示几乎所有组的平均速度均不超过 70 km/h。因此在 0~70 km/h 范围内，以 2 km/h 为步长分为 36 个区间，再将所有的逐秒速度组按照平均速度大小分到各区间中。表 3 展示了每个平均行程速度区间内的逐秒数据组数，即逐秒数据组的样本量。

表 2 逐次实验信息

实验编号	实验车辆	逐秒数据条数	实验描述
1	QQ	3 634	建模
2	QQ	4 698	验证
3	捷达 CIX	4 018	建模
4	捷达 CIX	4 082	验证
5	桑塔纳	4 413	建模
6	桑塔纳	3 164	验证
7	帕萨特	4 028	建模
8	帕萨特	3 807	验证
9	奥迪 A6L	3 755	建模
10	奥迪 A6L	3 794	验证
11	别克 GL8	4 021	建模
12	别克 GL8	3 971	验证

表 3 数据样本量

平均行程速度 区间/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	逐秒数据 组样本量	平均行程速度 区间/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	逐秒数据 组样本量
0~2	32	36~38	17
2~4	29	38~40	21
4~6	27	40~42	22
6~8	32	42~44	13
8~10	31	44~46	16
10~12	28	46~48	15
12~14	26	48~50	15
14~16	28	50~52	14
16~18	27	52~54	17
18~20	39	54~56	12
20~22	40	56~58	7
22~24	40	58~60	12
24~26	49	60~62	17
26~28	38	62~64	7
28~30	46	64~66	2
30~32	25	66~68	0
32~34	15	68~70	4
34~36	19	≥ 70	7

2 两种微观油耗模型

2.1 基于 VSP 的微观油耗模型建立

VSP 变量以机动车行驶物理过程中功率的变化为着手点, 刻画机动车交通运行特征。轻型车的 VSP 计算公式如下所示^[14]:

$$\text{VSP} = v \cdot [1.1 \cdot a + 9.81 \cdot \text{grade}(\%) + 0.132] + 0.000\ 302 \cdot v^3 \quad (2)$$

其中: v 为瞬时速度, 单位为 m/s ; a 为加速度, 单位为 m/s^2 ; grade 为道路坡度, 单位为 $\%$ 。在本研究中不考虑坡度的影响, 因此 grade 取 0。

为分析 VSP 与逐秒的油耗率之间的关系, 需将其划分为若干个区间, 称为 VSP bin。车辆在某个时间或空间范围内的交通状况下, 在每个 VSP bin 下的行驶时间比例, 即为该交通状况的 VSP 分布。常用的 VSP 区间划分方法如公式(3)所示。

$$\text{VSP} \in [i - 0.5, i + 0.5], \text{ VSP bin} = i, \quad (i \text{ 为 } [-24, 24] \text{ 之间的整数}) \quad (3)$$

对所收集的 47 385 条逐秒数据计算 VSP 后, 发现其中 47 053 条逐秒数据(占总数量 99.3%)的瞬时 VSP 值落在 $(-24.5, 24.5)$ 这个范围内。按照公式(3), 将车辆的 VSP 值在 $(-24.5, 24.5)$ 区间内, 以 1 为步长进行 Bin 划分。将每台实验车辆建模组的逐秒数据按照此方法进行聚类, 计算每台实验车辆在各个 VSP bin 下的油耗率。图 2 以 2 号实验车辆为例, 展示了其在每个 VSP Bin 下的油耗率。

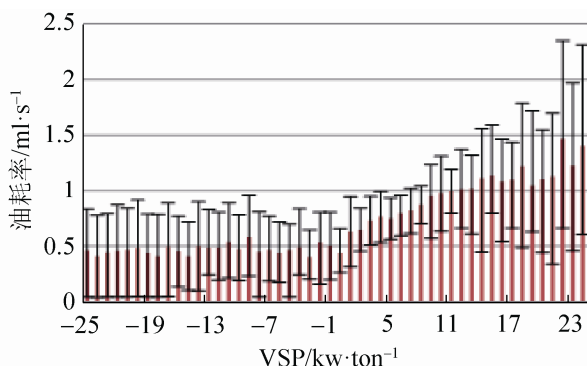


图 2 基于 VSP 的油耗率(95%置信区间)

在得到实验车辆基于 VSP Bin 的油耗率的基础

上, 结合车辆的 VSP 分布即可完成油耗仿真计算。公式(4)即为以车辆在实际行驶过程中的逐秒速度作为输入参数的基于 VSP 的机动车微观油耗模型。

$$FC = \sum FR_i \cdot n_i \quad (4)$$

其中: FC 为油耗量; FR_i 为 VSP bin 为 i 时的油耗率; n_i 为 VSP bin 为 i 时的逐秒数据频数。

现有的研究^[12]已经发现轻型车的 VSP 分布符合正态分布, 且在相同平均行程速度区间下的逐秒数据组的 VSP 分布均值接近于在其平均行程速度下匀速行驶时的 VSP 值, VSP 分布的标准差也可由其平均行程速度的函数来表示。根据这些特征, 现有研究已经建立了轻型车的 VSP 分布模型。在本研究中, 根据测试车辆的 VSP 分布模型以及油耗率, 即可在仅知道每个逐秒数据组的平均行程速度的情况下, 完成实验车辆的油耗测算计算。公式(5)为轻型车的 VSP 分布概率密度 $f(\text{VSP})$ 的密度函数。

$$f(\text{VSP}) = \frac{1}{\sigma_L \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\text{VSP} - \mu_L)^2}{2\sigma_L^2}} \quad (5)$$

其中: μ_L 是轻型车的 VSP 分布均值; σ_L 是轻型车 VSP 分布的标准差。

基于建模组的实测数据进行回归分析, 得到平均行程速度 $\bar{v}$ 与分布的均值 μ_L 和标准差 σ_L 的关系式, 即公式(6), (7)。

$$\mu_L = 0.132 \cdot \bar{v} + 0.000\ 302 \bar{v}^3 \quad (6)$$

$$\sigma_L = 1.382 \cdot \bar{v}^{-0.3961} \quad (7)$$

2.2 基于 Ln(TAD)的微观油耗模型建立

在 VERSIT+模型中, 机动车油耗测算是根据瞬时速度和加速度数据, 再结合 Ln(TAD)这个关键参数完成的。Ln(TAD)与速度一起对机动车的基本行为特征进行了描述, 从而与机动车的油耗建立了关系。Ln(TAD)的计算方法如公式(8)所示^[11]:

$$\text{Ln}(\text{TAD}) = \text{Ln} \left(\frac{1}{x} \frac{\sum |v_{t+1} - v_t|}{f} \right) \quad (8)$$

其中: x 是行驶距离, 单位为 km ; v 为瞬时速度,

单位为 m/s; f 为样本频率, 单位为 Hz。

在数据处理过程中, $\text{Ln}(\text{TAD})$ 可利用逐秒速度数据, 按照公式(8)进行计算。将建模组中每个逐秒数据组看作为一个行驶周期, 即可计算每组的 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 值。表 4 展示了部分逐秒数据组的平均行程速度、相对应的 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 以及实测油耗值。

表 4 逐秒数据组及 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 数据样本

逐秒 速度组 ID	实测 油耗值/g	平均行程 速度/m/s	$\text{Ln}(\text{TAD})$
1	33.04	11.72	2.35
2	31.81	11.99	2.75
3	27.85	11.97	2.90
4	21.81	7.17	3.27
5	26.00	8.73	2.72
6	32.18	9.60	3.26
7	43.51	12.68	3.14
8	32.99	10.10	3.17
9	15.77	3.42	3.08
10	25.73	8.41	2.93
11	40.74	11.33	3.15
12	26.62	7.97	3.02
13	24.12	7.19	2.97
14	36.43	12.73	2.85
15	35.30	9.40	3.14
16	48.54	15.58	2.74
17	35.53	15.97	2.50
18	29.28	12.17	3.11
19	23.47	6.91	3.09
20	23.20	8.28	3.09

将每个逐秒数据组的 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 值和平均行程速度作为自变量, 将实测的油耗量作为因变量, 利用多元线性回归建立基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 和平均行程速度的油耗模型。根据 VERSIT+ 中的公式计算自变量的估计回归系数, 计算公式见公式(9)。

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{W}\mathbf{X}^{-1})\mathbf{X}'\mathbf{W}\mathbf{Z} \quad (9)$$

其中: $\mathbf{b}$ 为 $p \times 1$ 的估计回归系数列向量; $\mathbf{X}$ 为 $n \times p$ 的自变量实测值矩阵; $\mathbf{X}'$ 为 $\mathbf{X}$ 的转置矩阵; $\mathbf{W}$ 为 $n \times n$ 的权重矩阵; $\mathbf{Z}$ 为调整后的因变量(实测油耗值)。

基于公式(9), 计算出每辆实验车辆的估计系数, 从而得到面向各实验车辆的基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的机

动车微观油耗模型, 见表 5 所示。

表 5 基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的油耗仿真计算公式

测试车 辆编号	油耗计算公式
1	$FC = \exp(0.153 \cdot \text{Ln}(\text{TAD}) + 0.056 \cdot \bar{v} + 2.285)$
2	$FC = \exp(0.133 \cdot \text{Ln}(\text{TAD}) + 0.03 \cdot \bar{v} + 2.937)$
3	$FC = \exp(0.155 \cdot \text{Ln}(\text{TAD}) + 0.041 \cdot \bar{v} + 2.792)$
4	$FC = \exp(0.215 \cdot \text{Ln}(\text{TAD}) + 0.06 \cdot \bar{v} + 3.304)$
5	$FC = \exp(0.269 \cdot \text{Ln}(\text{TAD}) + 0.01 \cdot \bar{v} + 3.092)$
6	$FC = \exp(0.312 \cdot \text{Ln}(\text{TAD}) + 0.019 \cdot \bar{v} + 2.905)$

为建立平均行程速度与 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 之间的关系, 对所得到的各逐秒数据组的平均行程速度与 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 进行回归分析。得到回归方程, 见公式(10)。

$$\text{Ln}(\text{TAD}) = \text{Ln}(7.05 + 3.553 \cdot \bar{v} - 0.184 \cdot \bar{v}^2) \quad (10)$$

3 分析与讨论

3.1 基于逐秒速度的油耗仿真计算比较

为比较基于 VSP 和基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的微观油耗模型在计算油耗量和油耗因子时的准确度, 每组验证组的数据都经过两种仿真计算的分别处理, 再与实际数据作比较。过程如下:

第 1 步: 将每组验证组的逐秒速度数据与基于 VSP 的油耗率结合, 计算每组验证组的油耗量, 即基于 VSP 的微观油耗模型的油耗计算结果。计算每个逐秒数据组的平均行程速度, 再结合表 5 所示的基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的微观油耗模型, 计算出逐次实验的油耗量;

第 2 步: 将利用 2 种微观油耗模型得到的逐次实验的油耗计算结果与实际收集的油耗数据进行对比;

第 3 步: 将逐秒数据组按照平均行程速度进行聚类分析。基于实际数据, 将平均行程速度以 2 km/h 为步长, 在 0~70 km/h 范围内划为 36 个区间。然后, 计算每个平均行程速度区间下的油耗量, 包括实际油耗量和基于 2 种油耗模型所得的油耗计算值;

第 4 步: 计算每个平均行程速度区间下的行驶距离, 从而计算实测的油耗因子, 以及基于 2 种微

观油耗模型得到的油耗因子。

表 6 展示了验证组逐次实验的实际油耗量, 以及利用验证组的逐秒速度数据, 分别基于 VSP 和基于 Ln(TAD)的微观油耗仿真计算方法所得到的油耗计算值。并计算两组计算值与实际值之间的相对误差和可决系数。

表 6 显示, 基于 VSP 的油耗测算值与实测值

的平均相对误差为 4.08%, 而基于 Ln(TAD)的油耗测算值与实测值的相对误差为 7.75%, 且前者与实测值之间的可决系数也大于后者。这说明基于 VSP 的油耗仿真计算模型的油耗测算值与实测值的拟合程度更高, 即基于 VSP 的油耗微观仿真计算方法在油耗量测算方面的准确性高于基于 Ln(TAD)的油耗微观仿真计算方法。

表 6 基于逐秒速度的油耗计算比较

实验	实际油耗/g	基于 VSP		基于 Ln(TAD)	
		计算值/g	相对误差	计算值/g	相对误差
2	1 243	1 157	6.97%	1 081	6.58%
4	1 800	1 811	0.63%	1 407	22.29%
6	1 643	1 480	9.90%	1 496	1.07%
8	2 605	2 686	3.09%	2 533	5.69%
10	2 554	2 527	1.06%	2 455	2.86%
12	2 889	2 807	2.82%	2 582	8.02%
平均相对误差		4.08%		7.75%	
可决系数		0.994		0.982	

3.2 面向快速路和主干路的油耗仿真计算比较

为检验基于 VSP 和基于 Ln(TAD)的微观油耗仿真计算方法在不同等级道路下的准确性, 分别计算出两种油耗仿真计算下的油耗因子, 再与实测值进行对比。

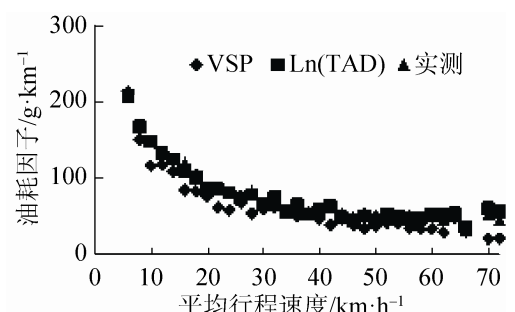
第 1 步: 将所有的逐秒数据组按道路类型属性分为快速路和主干路两部分。并以 2 km/h 为步长, 将平均行程速度划为 36 个区间;

第 2 步: 用 2 种油耗仿真计算方法分别计算 2 种道路类型下每个平均行程速度区间下的油耗量;

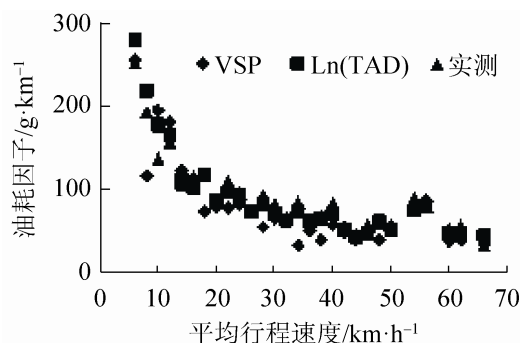
第 3 步: 计算每个平均行程速度区间下的行驶距离, 求出 2 种道路类型下的油耗因子仿真值与实测值。图 3 展示了快速路和主干路的油耗因子仿真值与实测值的对比。

从图 3 中可以看出, 快速路的油耗因子变化趋势较主干路平滑, 这主要是因为车辆在主干路上的行驶受到交叉口的干扰, 从而导致油耗因子与平均速度之间的相关性降低。这也导致了主干路上的各油耗因子均高于快速路。此外, 对于快速路和主干

路而言, 基于 VSP 和 Ln(TAD)的油耗仿真方法得到的油耗因子及其变化趋势均接近于实测值。



(a) 快速路油耗因子



(b) 主干路油耗因子

图 3 基于 VSP 和 Ln(TAD)的不同道路类型下油耗因子仿真值与实测值的对比

3.3 基于平均行程速度的油耗仿真计算比较

根据上文, 已知 VSP 和 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 与平均行程速度之间的关系。这使得在仅知道每个逐秒数据组的平均行程速度的情况下仍可完成油耗仿真计算。将这种情况下得到的 2 种方法的油耗测算值与实测值进行比较, 过程如下:

第 1 步: 将验证组的逐秒速度组的平均行程速

度数据输入上文建立的 VSP 分布模型中, 再将输出的 VSP 分布与油耗率相结合, 得到油耗测算值;

第 2 步: 将验证组的逐秒速度组的平均行程速度数据输入公式(10), 得出每个逐秒速度组的 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 值, 再与表 4 结合, 即可得到油耗测算值;

第 3 步: 比较以上 2 种油耗测算值与实测值, 如表 7 所示。

表 7 基于平均行程速度的油耗测算比较

测试编号	油耗实测值/g	基于 VSP 的油耗测算		基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的油耗测算	
		测算值/g	相对误差%	测算值/g	相对误差%
2	1 243	1 110	10.68	1 079	13.16
4	1 800	1 891	5.04	1 434	20.35
6	1 643	1 472	10.40	1 490	9.32
8	2 605	2 760	5.95	2 608	0.13
10	2 554	2 311	9.50	2 344	8.22
12	2 889	2 680	7.23	2 310	20.03
平均相对误差		8.13%		11.87%	
可决系数		0.968		0.951	

在仅用平均行程速度作为油耗微观仿真计算的已知变量时, 基于 VSP 分布模型得到的油耗测算值与实测值之间的平均相对误差为 8.13%, 低于基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 油耗仿真计算的 11.87%。说明在仅有平均行程速度数据的情况下, 基于 VSP 的模型的油耗测算比基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的更准确。但与使用逐秒速度的情况相比, 仅用平均行程速度的油耗测算值的误差更大, 可决系数更低, 表明在进行油耗测算时, 仅使用平均行程速度数据的准确性还是要低于使用逐秒速度。

4 结论

本研究比较了基于 VSP 和基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的微观油耗模型在进行城市道路上轻型车油耗测算时的准确性。主要有以下 2 点结论:

1、在以车辆逐秒速度作为输入数据时, 基于 VSP 的微观油耗模型的油耗测算准确性高于基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的微观油耗模型。从 2 个模型参数的意义上看, 除了两者均可以刻画机动车运行特征这一共

同点之外, VSP 的物理概念为发动机所需输出的功率, 因此与油耗还有直接的物理关系; 而 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 却缺乏与油耗的物理关系。两个微观油耗模型的油耗测算准确性的差异证明了在逐秒速度数据作为模型输入数据时, 基于 VSP 的微观油耗模型优于基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的微观油耗模型。

2、在建立起平均行程速度与 VSP 分布、 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 的函数关系之后, 平均行程速度这一参数可直接用于油耗测算。现有的 VSP 分布的研究已经证明机动车在相同的平均行程速度区间内的 VSP 分布具有正态分布的特征, 而 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 作为集计参数, 与平均行程速度之间并不具有逻辑关系。在比较了以平均行程速度作为模型输入, 利用两种油耗模型得到的油耗计算值与实际值之间的差异之后, 证明 VSP 分布模型结合基于 VSP 的微观油耗模型同样优于基于 $\text{Ln}(\text{TAD})$ 。

本研究的研究范围仅限于轻型车在城市道路上的油耗仿真计算, 对其它车辆类型和道路类型的研究需要在今后的研究中加以关注。另外, 快速路

和非快速路各自在油耗仿真计算时的特点和规律也应在将来进行针对性研究。

参考文献:

- [1] 汪成亮, 陈俊宏, 张晨. 基于车联网的油耗检测及其时空分布研究 [J]. 计算机工程, 2013, 39(9): 34-38.
- [2] 高艺, 于雷, 宋国华, 等. 交通排放量化模型的建立与仿真实现 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(4): 887-891. (Gao Yi, Yu Lei, Song Guohua, *et al.* Quantitative Modeling and Simulation of Traffic Emissions [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2012, 24(4): 887-891.)
- [3] Zhao Q, L Yu, G Song. Characteristics of VSP Distributions of Light-duty and Heavy-duty Vehicles on Freeway: A Case Study [M]. Washington, DC, USA: Transportation Research Board of the National Academies, 2012.
- [4] Cappiello A, I Chabini, E Nam, *et al.* A Statistical Model of Vehicle Emissions and Fuel Consumption [C]// Proceedings of IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2002. USA: IEEE, 2002: 801- 809.
- [5] Jiménez-Palacios J. Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing [D]. Cambridge, USA: Massachusetts Institute of Technology, 1999.
- [6] Ligterink N, J van Baalen, A Eijk, *et al.* Predicting Local Vehicle Emissions Using VERSIT+ and VISSIM [C]// 7th European Congress and Exhibition on the Intelligent Transport Systems and Services, Geneva, Switzerland, ARRB Group Limited, 2008: 151-167.
- [7] U.S. Environmental Protection Agency. Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) 2010 User Guide [M]// EPA-420-B-09-041. Washington, DC, USA, U.S. Environmental Protection Agency, 2009: 1-41.
- [8] Davis N, J Lents M Osses, N Nikkila, *et al.* Development and Application of an International Vehicle Emissions Model [CD-ROM]. Washington, DC, USA: Transportation Research Board Annual Meeting, 2005.
- [9] Smit R, Smokers R, Schoen E. VERSIT+ LD: Development of A New Emission Factor Model for Passenger Cars Linking Real-world Emissions to Driving Cycle Characteristics [C]// 14th International Conference Transport and Air Pollution. Graz, Austria, Graz University Of Technology, 2005: 177-186.
- [10] Smit R, Smokers R, Rabe E. A New Modelling Approach for Road Traffic Emissions: VERSIT+ [J]. Transportation Research Part D-Transport and Environment (S1361-9209), 2007, 12(6): 414-422.
- [11] Jie L, Van Zuylen H, Chen Y, *et al.* Calibration of a microscopic simulation model for emission calculation [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies (S0968-090X), 2013, 31: 172-184.
- [12] Song G, L Yu, Z T Distributions Characteristics of Vehicle Specific Power on Urban Restricted Access Roadway [J]. Journal of Transportation Engineering (S0733-947X), 2011, 138(2): 202-209.
- [13] Bar-Gera H. Evaluation of a Cellular Phone-based System for Measurements of Traffic Speeds and Travel Times: A Case study From Israel [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies (S0968-090X), 2007, 15(6): 380-391.
- [14] 费文鹏, 宋国华, 于雷. 车辆跟驰模型的 VSP 和加速度分布对比分析 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(11): 2757-2764. (Fei Wenpeng, Song Guohua, Yu Lei. Comparative Analysis of VSP and Acceleration Distribution of Car-following Models [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2014, 26(11): 2757-2764.)
- [15] Frey H C, N M Roupail, H Zhai. Speed- and Facility-Specific Emission Estimates for On-Road Light-Duty Vehicles on the Basis of Real-World Speed Profiles [J]. Journal of the Transportation Research Board (S0361-1981), 2006, 1987: 128-137.