

基于行驶特征区间划分的重型载货汽车实际道路能耗评价方法

黄德军, 田茂军, 彭航, 冉林尧, 向橄, 张龙平

(中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122)

摘要: 提出一种基于行驶特征区间划分的能耗评价方法。通过对中国货车行驶工况的工况点分布特征进行分析, 确定了速度和加速度区间的数量与边界的划分方案。考虑道路坡度的影响, 进行实际道路试验数据筛选, 并用于计算不同行驶特征区间内的燃油消耗量平均值。结合中国货车行驶工况在不同行驶特征区间内的累计行驶里程, 计算能耗评价结果。为了验证该方法的有效性, 开展了3次底盘测功机试验和2次实际道路行驶试验, 结果表明, 所提出的能耗评价方法能提高重型载货汽车实际道路能耗评价结果的复现性。

关键词: 重型载货汽车; 实际道路能耗评价; 行驶特征; 道路坡度; 区间划分

中图分类号: U467.1 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2024.03.21

Energy Consumption Evaluation Method for Heavy-Duty Trucks on Actual Roads Based on Driving Characteristic Interval Division

HUANG Dejun, TIAN Maojun, PENG Hang, RAN Linyao, XIANG Gan, ZHANG Longping

(China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122, China)

Abstract: During the actual road driving test process, strictly controlling the driving state of heavy-duty trucks can be challenging, which makes it difficult to directly evaluate the energy consumption levels from the test results. Therefore, this paper proposes an energy consumption evaluation method based on the division of driving characteristic intervals. Firstly, by analyzing the distribution characteristics of test points in the China Heavy-duty Commercial Vehicle Test Cycle for Truck (CHTC-HT), a division scheme for the number and boundaries of speed and acceleration intervals for heavy duty trucks is proposed. Then, considering the impact of road slope, the actual road test data is filtered and used to calculate the average fuel consumption across different driving characteristic intervals. Finally, based on the cumulative driving mileage within each interval of the CHTC-HT, the energy consumption evaluation results are obtained. The validation is conducted using three chassis dynamometer drum tests and two actual road driving tests. The results show that the proposed method improves the reproducibility of actual road energy consumption evaluation results for heavy-duty trucks.

收稿日期: 2024-01-13 改稿日期: 2024-04-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFE0100100): 提高中载及重载卡车能效关键技术中美联合研究

参考文献引用格式:

黄德军, 田茂军, 彭航, 等. 基于行驶特征区间划分的重型载货汽车实际道路能耗评价方法[J]. 汽车工程学报, 2024, 14(3): 544-552.

HUANG Dejun, TIAN Maojun, PENG Hang, et al. Energy Consumption Evaluation Method for Heavy-Duty Trucks on Actual Roads Based on Driving Characteristic Interval Division[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2024, 14(3): 544-552. (in Chinese)



Keywords: heavy duty trucks; actual road energy consumption evaluation; driving characteristics; road slope; interval division

重型载货汽车作为物流运输的重要方式，其能耗分析对于提高能源利用效率和减少环境污染具有重要意义。根据我国现行法规，GB/T 27840—2021《重型商用车辆燃料消耗量测量方法》明确了重型载货汽车在底盘测功机试验室内进行转毂能耗试验的方法。同时，JT/T 719—2016《营运货车燃料消耗量限值及测量方法》明确了在封闭的试验道路场内进行等速工况、加速工况和怠速工况能耗试验的方法。目前尚缺少实际道路能耗评价方法。

重型载货汽车的实际道路能耗受道路条件、交通状况、天气、驾驶风格等因素影响，使评价结果存在较大的不确定性。郑宜嘉等^[1]采集了商用车实时运营大数据，应用短行程法构建了能反映目标车型运营特征的实际运行工况，从而用于实际运行工况下的能耗仿真。HOLMEN等^[2-3]考虑车辆的动力需求、能量转换效率等因素，分析了道路坡度对实际运行工况下车辆能耗的影响。AHN等^[4]利用实际道路行驶数据，以车辆速度和加速度水平作为自变量，建立了能耗评价模型。彭飞等^[5]开展了面向实际交通状态的混合动力汽车能耗分析与验证研究，利用车辆比功率（Vehicle Specific Power, VSP）作为反映车辆行驶状态与能耗排放之间耦合关系的表征参数，建立了混合动力汽车在实际交通状态中的能耗和CO₂排放因子测算模型。DURATE等^[6]基于实际道路行驶条件下的车辆油耗数据，利用车辆比功率方法，建立了燃料消耗通用曲线，用于评估车辆在任意驾驶环境下的能耗。赵琦等^[7]采集了轻型汽车和重型汽车在高速公路上实际运行数据，并以此获得了比功率分布特征，进而开展油耗测算。冯红晶^[8]基于瞬时油耗率与瞬时VSP的对应关系，计算得到不同VSP区间下的瞬时平均油耗率，再利用VSP分布率计算得到不同速度区间下的平均油耗率，从而得到基于VSP分布的商用车油耗计算模型。宋国华等^[9]提出了基于平均行程速度

的VSP分布数学模型，用于进行机动车油耗测算。上述方法主要侧重于建立车辆行驶状态与能源消耗特征之间的关系，以评估实际道路能耗水平。然而，它们容易忽略其他可能影响能耗的外部因素，如道路条件和天气条件等。

由于车辆实际道路驾驶涵盖了实际交通情况和驾驶员驾驶习惯等因素，客观影响车辆实际使用状态下的能耗水平，导致实际道路驾驶时能耗变化范围较大，再现性差，试验结果难以直接用于评价车辆能耗水平。为解决实际道路能耗评价问题，本文考虑法规循环工况的科学性以及提高实际道路试验结果的复现性，提出了一种基于行驶特征区间划分的重型载货汽车实际道路能耗评价方法。首先，通过对能反映中国道路特点和重型商用车辆使用情况的中国货车行驶工况（China Heavy-duty Commercial Vehicle Test Cycle for Truck, CHTC-HT）的行驶特征进行分析，提出了重型载货汽车的速度区间和加速度区间的划分方法，确定了区间的数量和边界，从而用于分析CHTC-HT循环工况点和实际道路行驶工况点在确定区间划分方案下的分布情况。然后，考虑道路坡度对能耗的影响，对试验采集数据进行筛选，并计算不同行驶特征区间内的燃油消耗量平均值。最后，结合CHTC-HT行驶工况在不同行驶特征区间内的累计行驶里程，获得实际道路能耗分析结果。

本文的主要贡献如下：

1) 提出了一种重型载货汽车实际道路能耗评价方法，能从实际道路行驶数据中提取出与法规循环工况具有相似特征参数的数据，从而用于实际道路能耗评价；

2) 利用所提出的分析方法获得的能耗评价结果具有高度确定性；

3) 提出的能耗评价方法为建立实际道路能耗测试评价方法奠定了基础。

1 研究思路

1.1 中国货车行驶工况

在 GB/T 38146.2—2019《中国汽车行驶工况第 2 部分：重型商用车辆》标准中，提出了最符合中国特色的能反映我国交通特征和实际使用特征的 6 个重型商用车行驶工况，其中最大设计总质量大于 5 500 kg 的货车应使用 CHTC-HT 行驶工况，其速度曲线如图 1 所示。在 CHTC-HT 工况中，车辆运行时间为 1 800 s，行驶里程为 17.33 km，最大速度为 88.5 km/h，最大加速度为 1.14 m/s²，最大减速度为 -1.21 m/s²。

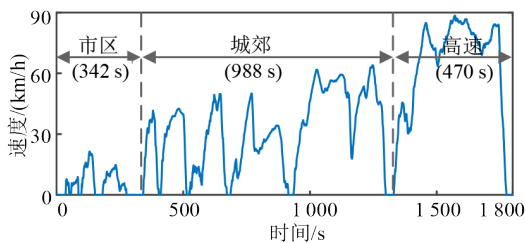


图 1 中国货车（最大设计总质量>5 500 kg）行驶工况

1.2 分析方法

本文提出的基于行驶特征区间划分的重型载货汽车实际道路能耗评价方法的主要步骤如图 2 所示，具体为：

1) 对不同速度区间和加速度区间划分方案下的 CHTC-HT 工况点分布特征进行分析，确定速度区间和加速度区间的范围、数量和边界；

2) 利用远程数据采集终端，采集试验车辆的车速、瞬时燃油消耗量、GPS 海拔高度等实际道路行驶数据，分析试验车辆行驶路段的道路坡度，并筛选出道路坡度小于 2% 的行驶数据，作为有效行驶数据；

3) 在确定的区间划分方案下，分析 CHTC-HT 行驶工况在不同区间内的累计行驶里程，分析实际道路有效行驶数据在不同区间内的累计燃油消耗量和累计行驶里程，计算重型载货汽车实际道路能耗评价结果。

1.3 加速度计算方法

在车辆行驶过程中，可以采集行驶速度、瞬时燃油消耗量、GPS 海拔高度等数据。根据国家标准

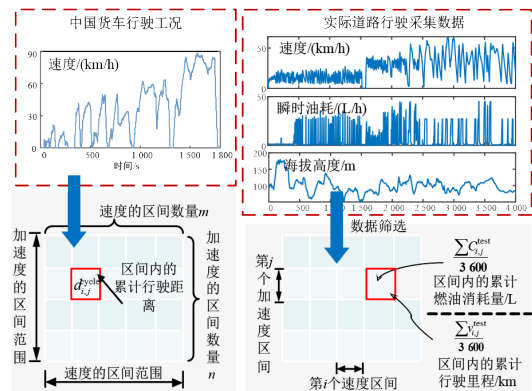


图 2 基于行驶特征区间划分的重型载货汽车实际道路能耗分析方法的思路

GB/T 38146.2—2019，不同时刻的加速度计算式如式 (1) 所示。

$$a_t = \begin{cases} 0, & t = 1 \\ \frac{v_{t+1} - v_{t-1}}{2 \times 3.6}, & t = 2, 3, \dots, T \\ 0, & t = T \end{cases} \quad (1)$$

式中： v_{t-1} 和 v_{t+1} 分别为第 $t-1$ 秒和第 $t+1$ 秒的速度，单位 km/h； a_t 为第 t 秒的加速度，单位 m/s²。

1.4 道路坡度计算方法

在 GB 17691—2018《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》附录 K 的累计海拔高度的计算方法中，提出了道路坡度计算方法。首先，利用不同时刻的行驶距离和海拔高度，采用线性插值方法，计算分辨率为 1 m 的不同离散路径点 d 的插值海拔高度 $h(d)$ 。然后，以 400 m 为窗口，计算不同离散路径点 d 的道路坡度 $\text{road}_{\text{grad}}(d)$ ，计算式如式 (2) 所示。最后，对海拔高度进行 2 次光滑处理，获得不同离散路径点 d 的道路坡度 $\text{road}_{\text{grad}}(d)$ 。在该方法的基础上，本文进一步根据不同时刻的行驶距离，采用最近邻点插值方法，获得不同时刻的坡度 $\text{road}_{\text{grad}}(t)$ 。

$$\text{road}_{\text{grad}}(d) = \begin{cases} \frac{h(d+200) - h(d_a)}{(d+200)}, & d \leq 200 \\ \frac{h(d+200) - h(d-200)}{(d+200) - (d-200)}, & 200 < d < d_c - 200 \\ \frac{h(d_c) - h(d-200)}{d_c - (d-200)}, & d \geq d_c - 200 \end{cases} \quad (2)$$

式中： d 为离散路径点的累计行驶距离，单位：m； d_a

和 d_i 分别为第1个和最后1个离散路径点的累计行驶距离,单位m; $\text{road}_{\text{grad}}(d)$ 为离散路径点 d 处的道路坡度,单位m/m; $h(d)$ 为离散路径点 d 处的插值海拔高度,单位m。

1.5 实际道路能耗计算方法

首先,确定CHTC-HT工况的区间划分方案,获得 m 个速度区间和 n 个加速度区间。

其次,在确定的区间划分方案下,分析CHTC-HT行驶工况在不同区间内的累计行驶距离,计算式如式(3)所示。

$$d_{i,j}^{\text{cycle}} = \frac{\sum v_{i,j}^{\text{cycle}}}{3600} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (3)$$

式中: $v_{i,j}^{\text{test}}$ 为在第 i 个速度区间和第 j 个加速度区间内的CHTC-HT工况点的车速,单位km/h; $d_{i,j}^{\text{cycle}}$ 为CHTC-HT工况在区间内的累计行驶距离,单位km。

然后,针对实际道路行驶采集数据,分析行驶道路坡度,清洗坡度大于2%的试验采集数据。在确定的区间划分方案下,分析有效实际道路行驶数据在不同区间内的燃油消耗率平均值,计算式如式(4)所示。

$$\text{FC}_{i,j}^{\text{test}} = \frac{100 \times \sum C_{i,j}^{\text{test}}}{\sum v_{i,j}^{\text{test}}} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (4)$$

式中: $v_{i,j}^{\text{test}}$ 表示第 i 个速度和第 j 个加速度区间内的实际道路行驶工况点的瞬时车速,单位km/h; $C_{i,j}^{\text{test}}$ 表示区间内的工况点的瞬时油耗,单位L/h; $\text{FC}_{i,j}^{\text{fuel}}$ 代表实际道路行驶数据下的区间内的燃油消耗率平均值,单位L/100 km。

最后,利用式(5)计算实际道路行驶能耗评价指标。

$$\text{FC}^{\text{re}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [\text{FC}_{i,j}^{\text{test}} \times d_{i,j}^{\text{cycle}}]}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{i,j}^{\text{cycle}}} \quad (5)$$

式中: FC^{re} 为实际道路行驶能耗评价结果,单位L/100 km。

2 行驶特征区间划分方案

2.1 区间数量确定

在制定行驶特征区间划分方案时,需要满足以

下4个约束条件。

1) 根据CHTC-HT工况的最大速度、最大加速度和最大减速度,设定速度的区间范围为 $[0, 90]$ (m/s),加速度的区间范围为 $[-1.3, 1.3]$ (m/s²)。

2) 在GB/T 38146.2—2019中,匀速工况为车辆行驶过程中的加速度 a 的绝对值小于0.15 m/s²,车辆的行驶速度 v 大于或等于0.5 km/h的工况。因此,在加速度的划分区间中需设置区间 $(-0.15, 0.15)$ 。

3) 考虑CHTC-HT循环工况分为低速、中速和高速3个部分,因此,车速的区间数量应不小于3。

4) 加速度的区间数量应不小于3。

区间划分方法包括等宽区间、等频区间、基于树的划分等。因为等宽区间对离群点比较敏感,倾向于不均匀地将数据分布到各个区间,所以可以识别数据极少的区间,从而可用于确定行驶特征区间的划分数量。

采用等宽区间划分速度范围和加速度范围,在不同的速度和加速度区间划分方案下,各区间内累计行驶里程占比最小值的情况如图3所示。

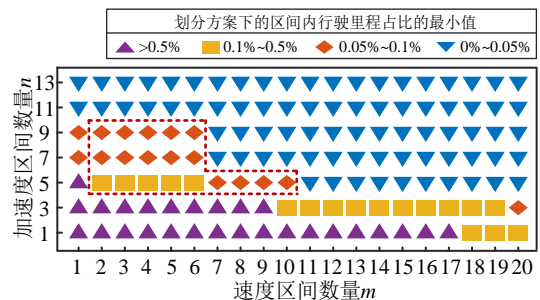


图3 CHTC-HT工况在不同划分方案下的区间内累计行驶里程占比的最小值

随着区间数量的增加,区间间隔减小,即网格变得越“细”。这导致CHTC-HT工况在部分区间内的行驶时间非常短,使行驶里程相应地缩短。当某区间内行驶里程占比为0.05%时,该区间内的行驶里程为 $(17.33 \text{ km} \times 0.05\%)$,即8.665 m,因此,以0.05%作为阈值,进行方案的划分筛选。考虑行驶特征区间划分方案的约束条件,并结合图3中的数据,可以得出如图3中红色虚线框所示的方案为可行的行驶特征划分方案,即:

1) 当加速度的区间数量 n 为9时,速度的区间

数量 m 应不超过 6, 即 $\{(m, n)|2 \leq m \leq 6, n = 9, m, n \in N\}$;

2) 当加速度的区间数量 n 为 7 时, 速度的区间数量 m 应不超过 6, 即 $\{(m, n)|2 \leq m \leq 6, n = 7, m, n \in N\}$;

3) 当加速度的区间数量 n 为 5 时, 速度的区间数量 m 应不超过 10, 即 $\{(m, n)|2 \leq m \leq 10, n = 5, m, n \in N\}$ 。

为进一步确定区间的数量, 在 AVL 公司的重型两驱底盘测功机上开展了 CHTC-HT 循环工况的转毂试验, 并采集了车速、燃油流量等试验数据。试验车辆的主要参数见表 1, 油耗测试设备为 AVL 公司的 KMA150 容积式流量计。

表 1 试验车辆参数

参数	值/规格
车辆类型	载货汽车, N3
最大设计总质量/kg	18 000
燃油类型	柴油
发动机排量/L	4.73
变速器	8挡手动
驱动型式	4×2

按照 GB/T 27840—2021 《重型商用车燃料消耗量测量方法》开展 3 次 CHTC-HT 循环工况的转毂试验, 能耗试验结果的平均值为 23.799 L/100 km。基于转毂试验数据, 利用本文提出的基于行驶特征区间划分的重型载货汽车能耗评价方法, 可获得前文所述的不同区间划分方案下的能耗评价结果, 结果如图 4 所示。

通过对比分析可知, 区间划分方案为 $\{m=4, n=7\}$ 、 $\{m=5, n=5\}$ 、 $\{m=2, n=7\}$ 和 $\{m=2, n=9\}$ 时, 油耗评价结果与转毂试验结果的偏差较小。考虑到速度区间和加速度区间的数量应尽量多, 因此, 确认区间数量方案为 $\{m=4, n=7\}$, 即速度区间数量为 4, 加速度区间数量为 7。

2.2 区间边界优化

在区间数量方案 $\{m=4, n=7\}$ 下, 采用等宽法时, 速度的区间边界为 $[0, 22.5, 45, 67.5, 90]$ (m/s), 加速度的区间边界为 $[-1.3, -0.917,$

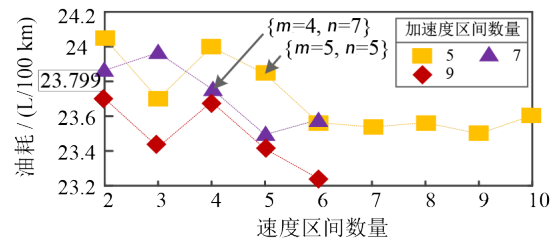
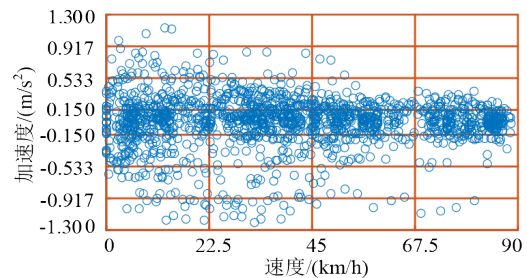


图 4 不同划分方案下的转毂台架试验数据的油耗分析结果

$-0.533, -0.15, 0.15, 0.53, 0.917, 1.3]$ (m/s^2)。在该区间数量方案下, CHTC-HT 工况在不同区间内的行驶点分布和累计行驶里程如图 5 所示。



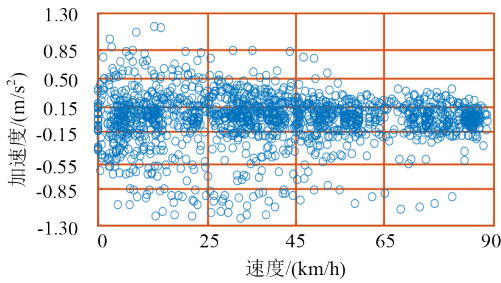
(a) 行驶工况点的分布情况



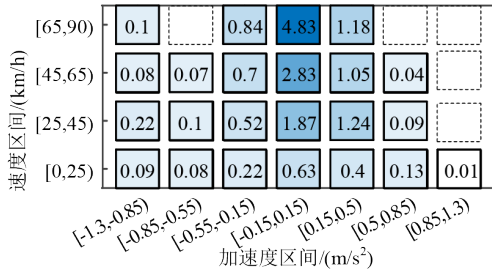
(b) 区间内累计行驶里程

图 5 CHTC-HT 工况在区间划分方案优化前的分析结果

由图 5 可知, 在部分区间内, 工况行驶点分布较稀疏, 对应的累计行驶里程也较短。因此, 需要对区间边界进行优化。优化后的区间划分方案为: 速度的区间边界调整为 $[0, 25, 45, 65, 90]$ (m/s), 而加速度的区间边界调整为 $[-1.3, -0.85, -0.55, -0.15, 0.15, 0.5, 0.85, 1.3]$ (m/s^2)。在这一调整下, CHTC-HT 工况在不同区间内的行驶点分布和累计行驶里程分别如图 6a 和 b 所示。通过对比图 5 和图 6, 可以观察到, 在优化前的区间划分方案中, 区间内累计行驶里程小于 0.08 km 的区间数量为 5, 而在优化前的区间划分方案中的数量为 3。因此, 优化后的区间划分方案更合适。



(a) 行驶工况点的分布情况



(b) 区间内累计行驶里程

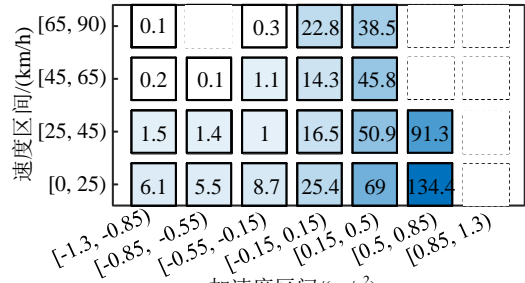
图 6 CHTC-HT 工况在区间划分方案优化后的分析结果

3 方法验证与应用

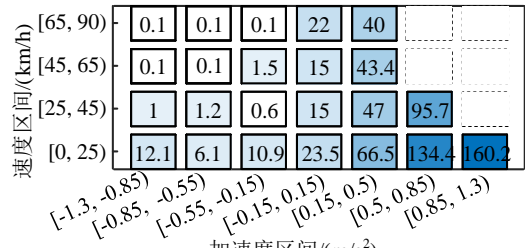
3.1 基于转毂试验的方法验证

为了进一步验证优化后的区间划分方案的合理性，选取底盘测功机试验数据作为数据样本，利用本文提出的基于行驶特征区间划分的能耗评价方法对其进行分析。

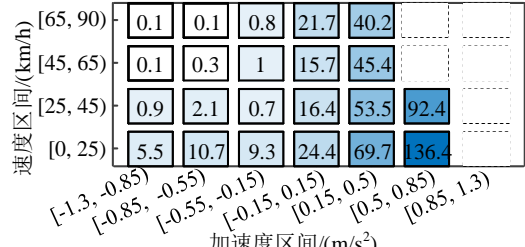
在优化后的区间划分方案下，根据式 (4)，可以计算 3 次 CHTC-HT 循环转毂试验在不同区间内的平均百公里油耗，结果如图 7 所示。由于在 3 次循环转毂试验中的驾驶员操作和实际车速存在细微差异，因此会导致区间内的平均百公里油耗产生变化。



(a) 第1次转毂能耗试验



(b) 第2次转毂能耗试验



(c) 第3次转毂能耗试验

图 7 不同区间内平均百公里油耗的分析结果

根据式 (5)，可以计算 3 次 CHTC-HT 循环转毂试验的能耗评价结果，见表 2。由表可知，虽然 3 次 CHTC-HT 循环实测结果与能耗评价结果存在差异，但是差异均较小，验证了优化后的区间划分方案的可行性。

表 2 转毂能耗试验结果

	第 1 次转毂试验	第 2 次转毂试验	第 3 次转毂试验	平均值
实测结果/ (L/100 km)	23.850	23.655	23.884	23.796
所提方法的能耗评价结果/ (L/100 km)	23.840	23.289	24.069	23.733
两种方法的差异	-0.04%	-1.55%	0.77%	0.26%

3.2 基于实际道路试验的方法应用

本研究项目在柳州附近选取了一条综合道路，分别覆盖了市区、市郊和高速道路，驾驶员驾驶试验车辆沿测试路线正常行驶，利用车载数据采集仪对车速、燃油流量、海拔高度等数据进行采集。2 次实际道路试验行驶数据如图 8~9 所示。与第 1 次实

际道路试验相比，第 2 次的市郊段占比更低、高速路段占比更高、海拔高度变化更大。这表明 2 次试验中，驾驶员操作、行驶路段存在一定的差别。

利用第 1.4 节的道路坡度计算方法对 2 次实际道路试验的道路坡度进行分析，分析结果如图 10~11 所示。第 1 次和第 2 次试验的行驶道路坡度小于

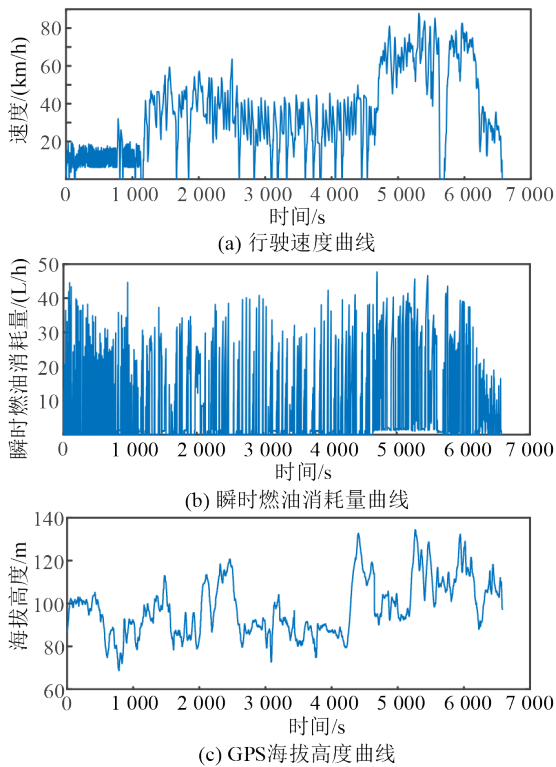


图8 第1次实际道路油耗试验的行驶数据

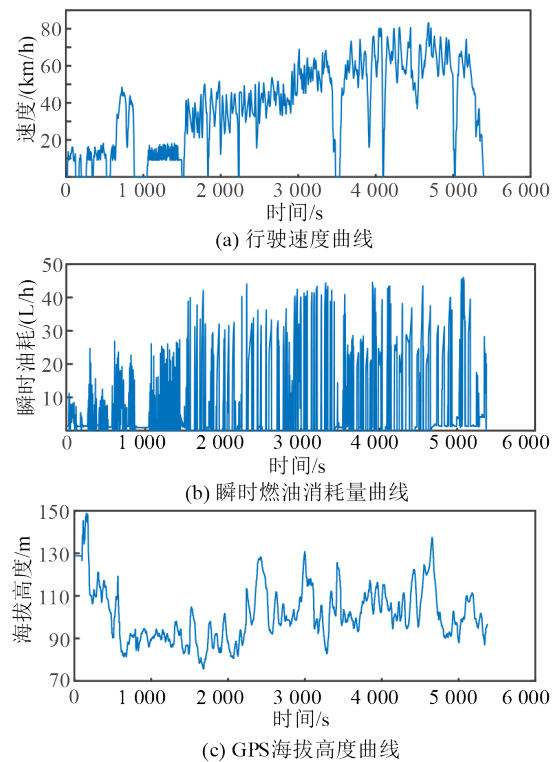


图9 第2次实际道路油耗试验的行驶数据

2%的占比分别为75.7%和74.6%，行驶道路坡度小于1%的占比分别为46.0%和46.8%，相似度较高。

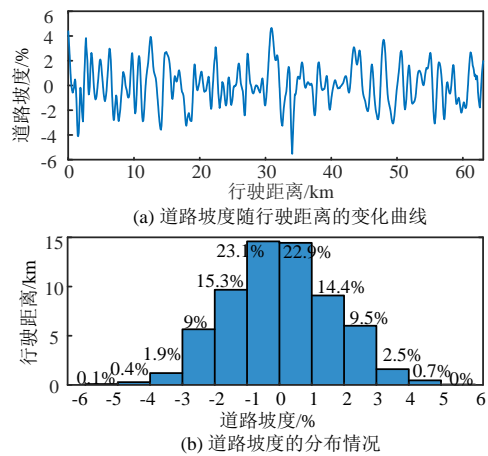


图10 第1次实际道路油耗试验的坡度分析结果

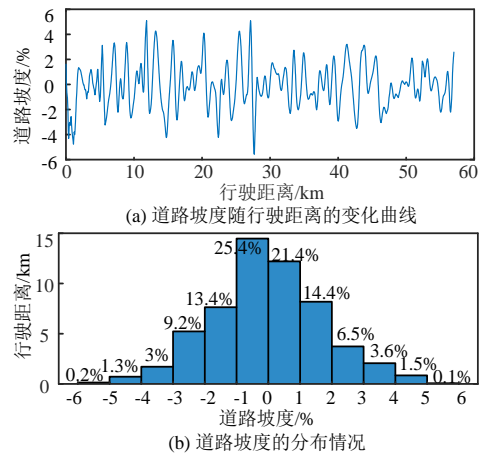
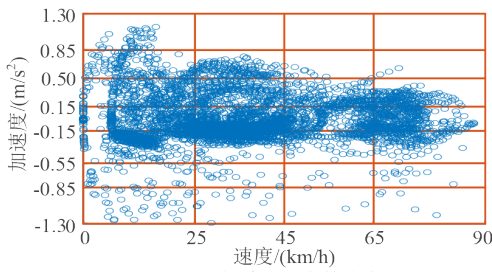


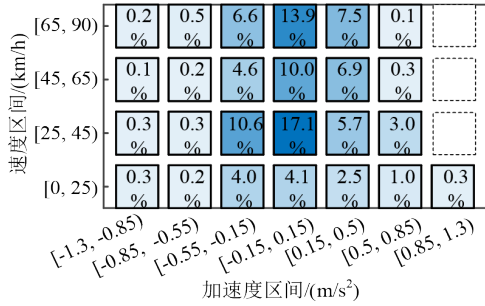
图11 第2次实际道路油耗试验的坡度分析结果

利用本文提出的基于行驶特征区间划分的重型载货汽车实际道路能耗评价方法，对2次实际道路试验数据进行分析，分析结果如图12~13所示。由图12a和图13a可知，第1次试验的行驶工况点在[25, 45] (m/s)速度区间的占比较高，而第2次试验在[45, 65] (m/s)速度区间的占比较高，同时第2次试验在大加速度和大减速度的区间占比较低。

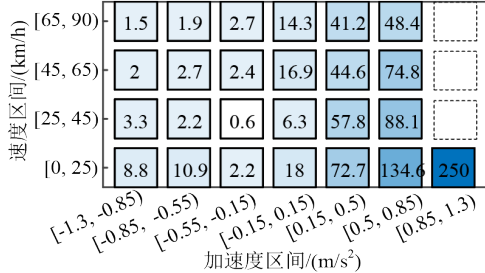
对2次实际道路行驶试验数据进行分析，试验实际能耗指标、剔除坡度大于2%数据后的能耗评价指标和利用所提方法获得的能耗评价指标见表3。对于采集的原始行驶数据，第1次实际道路行驶试验与第2次试验的原始百公里油耗差异为1.336 L/100 km。剔除坡度大于2%后，百公里油耗差异为1.736 L/100 km，利用本文提出的能耗评价方法，百公里油耗差异为0.609 L/100 km。



(a) 行驶工况点的分布

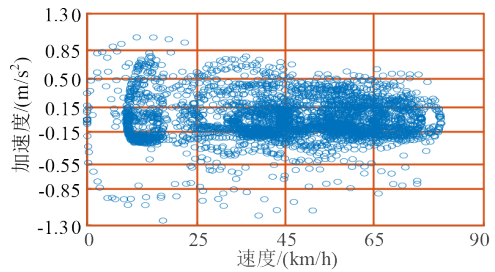


(b) 区间内行驶里程的占比

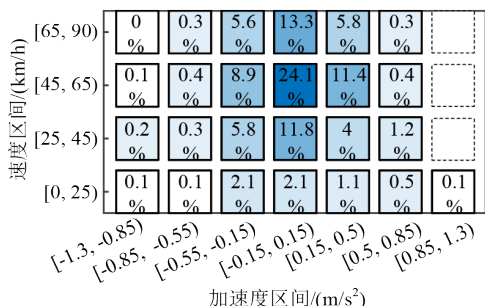


(c) 区间内平均燃油消耗率

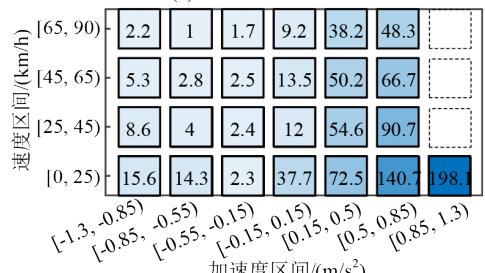
图 12 第 1 次实际道路油耗试验的分析结果



(a) 行驶工况点的分布



(b) 区间内行驶里程的占比



(c) 区间内平均燃油消耗率

图 13 第 2 次实际道路油耗试验的分析结果

通过上述分析可以发现，2 次道路试验的驾驶员操作、行驶路段存在的不同，导致利用原始行驶数据计算的百公里油耗存在差异。2 次试验的行驶道路路线存在不同，利用剔除坡度大于 2% 后行驶

数据计算的百公里油耗差异变大。利用本文提出的能耗评价方法，2 次试验的百公里油耗分析结果差异较小，意味着本文提出的能耗分析方法，能提高实际道路能耗评价结果的再现性。

表 3 实际道路试验结果

		第 1 次实际道路试验	第 2 次实际道路试验	两次试验的差异
实测结果	行驶里程/km	63.00	56.92	
	百公里油耗/(L/100 km)	24.625	23.289	1.336
剔除坡度大于 2% 后行驶数据	行驶里程/km	47.74	42.40	
	百公里油耗/(L/100 km)	22.265	20.529	1.736
本文提出的能耗评价方法	百公里油耗/(L/100 km)	21.725	21.116	0.609

4 结论

提出了基于行驶特征区间划分的重型载货汽车实际道路能耗评价方法，以底盘测功机试验和实际道路行驶试验对该方法的有效性进行验证，得出以下结论：

- 1) 获得了重型载货汽车的行驶特征区间划分方案，即速度区间边界为 [0, 25, 45, 65, 90] (m/s)、加速度区间边界为 [-1.3, -0.85, -0.55, -0.15, 0.15, 0.5, 0.85, 1.3] (m/s²)，并以 3 次 CHTC-HT 转毂试验数据进行了验证；
- 2) 对 2 次实际道路行驶数据进行分析发现，

与实际试验的能耗指标和剔除坡度大于2%数据后的能耗指标相比,利用本文所提出的方法获得的2次试验的能耗指标差异较小。

3) 本文所提出的重型载货汽车实际道路能耗评价方法,能从实际道路行驶数据中提取与法规循

环工况具有相似特征参数的数据,从而提高实际道路能耗评价结果的再现性;

4) 相较于转毂试验能耗结果,基于本文所提出的方法得出的实际道路能耗评价结果较低,有待后续进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] 郑宜嘉,孙健,年光跃.基于实际运行工况的电动商用车能耗仿真与参数优化[J].中国公路学报,2022,35(5):243-253.
ZHENG Yijia, SUN Jian, NIAN Guangyue. Energy Consumption Simulation and Parameter Optimization of Electric Commercial Vehicles Based on Real-World Driving Cycle [J]. China Journal of Highway and Transportation, 2022, 35(5):243-253. (in Chinese)
- [2] HOLMEN B A, SENTOFF K M. Hybrid-Electric Passenger Car Carbon Dioxide and Fuel Consumption Benefits Based on Real-World Driving [J]. Environment Science Technology, 2015, 49(16):10199-10208.
- [3] MITCHELL M K, HOLMEN B A. Hybrid-Electric Passenger Car Energy Utilization and Emissions: Relationships for Real-World Driving Conditions That Account for Road Grade [J]. Science of the Total Environment, 2020, 738:139692.1-139692.15.
- [4] AHN K, RAKHA H, TRANI A, et al. Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels [J]. Journal of Transportation Engineering, 2014, 128(2):182-190.
- [5] 彭飞,宋国华,尹航,等.面向实际交通状态的混合动力汽车能耗和CO₂排放模型[J].交通运输系统工程与信息,2022,22(6):316-326.
PENG Fei, SONG Guohua, YIN Hang, et al. Energy Consumption and CO₂ Emission Model for Hybrid Vehicles in Real Traffic Conditions [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2022, 22(6):316-326. (in Chinese)
- [6] DUARTE G O, GONCALVES G A, BAPTISA P C, et al. Establishing Bonds Between Vehicle Certification Data and Real-World Vehicle Fuel Consumption—A Vehicle Specific Power Approach [J]. Energy Conversion and Management, 2015, 92:251-265.
- [7] 赵琦,于雷,宋国华.轻型车与重型车高速公路比功率分布特征研究[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(3):196-203.
ZHAO Qi, YU Lei, SONG Guohua. Characteristics of VSP Distributions of Light-Duty and Heavy-Duty Vehicles on Freeway [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(3):196-203. (in Chinese)
- [8] 冯红晶.基于VSP的山区高速公路商用车油耗计算模型研究[D].西安:长安大学,2017.
FENG Hongjing. Study on Fuel Consumption Algorithm Model of Commercial Vehicles Based on VSP for Mountainous Highway [D]. Xi'an: Chang'an University, 2017. (in Chinese)
- [9] 宋国华,于雷.城市快速路上机动车比功率分布特性与模型[J].交通运输系统工程与信息,2010,10(6):133-140.
SONG Guohua, YU Lei. Distribution Characteristics and Models of Vehicle Specific Power on Urban Expressways [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(6):133-140. (in Chinese)

作者简介



黄德军(1982-),男,重庆梁平人,硕士,高级工程师,主要研究方向为车辆及发动机排放与能效测评技术。

Tel: 13638333211

E-mail: huangdejun@caeri.com.cn

通信作者



彭航(1993-),男,重庆大足人,博士,工程师,主要研究方向为新能源汽车控制与能耗优化。

Tel: 15123230713

E-mail: hang_peng@163.com