

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2023.08.026

基于车联网数据的商用车行驶工况构建方法

薛玉强¹, 蒋荣超^{*1}, 郑旭光²

(1. 青岛大学 机电工程学院, 山东 青岛 266071; 2. 中寰卫星导航通信有限公司, 山东 青岛 266041)

摘要:针对经典驾驶循环工况曲线无法真实反映国内商用车运行工况特征,导致整车动力系统与实际运行工况不符,产生动力不足及油耗高等问题,以石家庄至太原的一条重型商用车运输路线为研究对象,基于车联网获取了车辆行驶数据。采用平均速度法将建立的片段数据库进一步划分为低、中、高速3类,分别对这3类进行了2次片段切割并计算了各类片段特征参数值。利用主成分分析法对各短行程片段的特征参数进行了降维,选取能够代表主要信息的主成分,利用聚类分析法将各短行程片段进行了分类处理。根据每一类片段所占时间比例确认各类中需要选取的片段数,选择相关系数较高的片段,构建了一条基于真实场景的商用车行驶循环工况曲线。结果表明:通过与NEDC和FTP-75等工况的对比分析发现,匀速时间比例、怠速时间比例及平均速度存在较大差异,说明车辆行驶环境和车型对车辆的行驶工况影响较大;石家庄至太原的商用车行驶工况相较国内外典型工况有自己独特的特征;与实际采集数据特征参数值对比,所研究工况误差较小,验证了该工况更符合实际道路行驶工况及该工况构建方法的可行性,对特定地区、特定路线重型商用车行驶工况的开发具有重要意义。

关键词:交通工程;商用车行驶工况;主成分分析;车联网;聚类分析

中图分类号: U469.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2023) 08-0192-07

A Method for Constructing Commercial Vehicle Driving Cycle Based on IOV Data

XUE Yu-qiang¹, JIANG Rong-chao^{*1}, ZHENG Xu-guang²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao University, Qingdao Shandong 266071, China;

2. Zhonghuan Satellite Navigation and Communication Co., Ltd., Qingdao Shandong 266041, China)

Abstract: In view of the fact that the characteristics of domestic commercial vehicle driving cycle cannot be truly reflected by the classical driving cycle curve, that leads to the inconsistency between the vehicle power system and actual driving cycle, and results in insufficient power and high fuel consumption, etc, taking a heavy-duty commercial vehicle transport route from Shijiazhuang to Taiyuan as the study object, the vehicle driving data are obtained based on the IOV. The established fragment database is further divided into low, medium and high speeds by using the average speed method, the 2nd fragment cutting is carried out for these categories respectively, and the characteristic parameter values of all categories of fragments are calculated. The dimension reduction of the characteristic parameters of each short trip fragment is processed by using principal component analysis, the principal component that can represent the main information is selected, and each short trip fragment are classified by using clustering analysis. According to the time proportion of each fragment category, the number of fragments that need to be selected in each category is confirmed, the fragments with high correlation coefficient are selected, and a commercial vehicle driving cycle curve based on real scene is established. The result shows that (1) by comparing with NEDC, FTP-75

收稿日期: 2021-07-15

基金项目: 山东省重大科技创新工程项目 (2019JZZY010911)

作者简介: 薛玉强 (1995-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生. (2964474544@qq.com)

* 通讯作者: 蒋荣超 (1985-), 男, 山东泗水人, 博士, 副教授. (jrch123@126.com)

and other driving cycles, it is found that there are great differences in uniform time proportion, idle time proportion and average speed, illustrates the great influences of driving environment and vehicle type on driving cycles; (2) the driving cycle of commercial vehicles from Shijiazhuang to Taiyuan has its own unique characteristics compared with the typical driving cycles in China and abroad; (3) compared with the characteristic parameter values of actual collected data, the errors of the studied driving cycle are small, which verified that the driving cycle is more in line with the actual road driving cycle and the feasibility of the driving cycle construction method, and it has great significance to the development of heavy-duty commercial vehicles driving cycles in specific regions and routes.

Key words: traffic engineering; commercial vehicle driving cycle; principal component analysis; Internet of vehicles (IOV); clustering analysis

0 引言

汽车行驶循环工况通常表示为一条描述时间与速度的二维曲线图^[1],是整车厂优化动力传动系统参数及降低车辆排放污染物量的重要基础。经典的驾驶循环工况曲线在局部城市或特定运输路线使用中存在差异,因此,国内外很多相关研究人员针对局部城市或区域构建了符合当地的汽车行驶循环工况^[2-5]。Brady等^[6]基于马尔可夫法真实世界驾驶条件构建了爱尔兰城市电动汽车的行驶工况;Peng等^[7]采用主成分分析和K-means聚类法构建了福州市公共汽车行驶循环工况,并根据速度-加速度频率分布验证了工况的有效性;李耀华等^[8]采集了西安市较有代表性的市区及郊区公交线路,运用比功率分布的方法验证了所构建的西安市公交行驶工况的有效性;胡正云^[9]基于参数估计法确定采集路线和道路车流量等,分别采集西安市每天电动汽车不同时间段的车流信息,构建了汽车行驶循环工况;董清泉^[10]运用定步长分析法根据青岛市21条代表性公交线路构建了青岛市公交车行驶循环工况;马洪龙等^[11]运用FCM聚类法构建了合肥城市道路工况,然后使用小波变换对工况进行优化,提高了工况的精度;张宏等^[12]采集不同时段、道路类型和驾驶员类型,通过加权法计算样本比例,构建了符合实际城市道路的轻型汽车行驶循环工况。

虽然上述研究在局部地区的行驶循环工况构建方面取得了较大的发展,但大都针对轻型汽车或者市内公交车进行构建行驶工况^[13-15]。作为国内交通运输主力军的重型商用车具有运营里程长、范围广和工况复杂的特点,与城市内运行存在较大差别^[16-17]。工况曲线作为商用车企业车型匹配的重要输入,某些重型物流车辆行驶路线较为单一,针对某一路线构建商用车行驶循环工况曲线能够真实反

映该路况信息,针对性较强,避免产生动力不足和油耗高等市场问题,所以有必要对局部区域构建商用车适用的行驶循环工况。本研究以石家庄至太原的一条重型商用车运输路线为研究对象,基于车联网数据采用平均速度法对短行程片段进一步划分,运用主成分分析和K-means聚类法构建该路线重型商用车行驶循环工况曲线,最后与代表性工况对比验证发现该工况构建方法具有可行性。

1 数据采集与处理

1.1 数据采集

应用于工况提取的数据采集方法可分为平均车流量法、目标追踪法、自主行驶法和正常运行法4种方法^[14]。这些方法存在工况覆盖度低和更新不及时等缺陷,而基于车联网系统的数据采集方法具有地域覆盖范围广和数据实时更新等优势,其采集原理如图1所示。

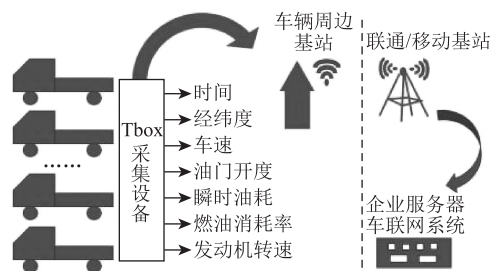


图1 车联网数据采集原理

Fig. 1 Data collection principle of IOV

本研究采用Tbox车联网采集设备,采集了5名驾驶员在不同时间段的驾驶信息,采样频率为1 Hz,共采集了70多万条数据。从中选取石家庄至太原的驾驶数据,针对局部区域构建一条适用于商用车行驶循环工况的曲线。

1.2 数据预处理

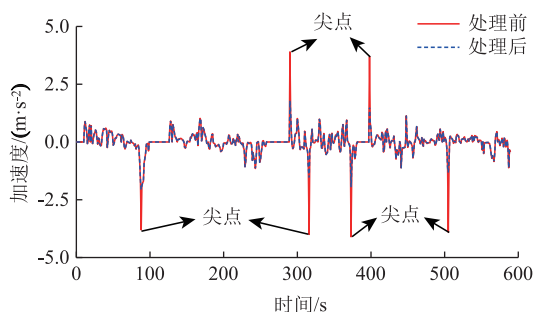
车联网数据存在较大噪声,必须经过数据预处

理剔除无效发动机转速、异常车速、尖点和毛刺等数据才能进行后续的短行程划分工作,异常数据判定标准如表 1 所示。首先去除无效发动机转速及异常怠速点后,对于尖点数据采用线性插值法,即尖点数据的前后 2 个车速相加除以 2,避免出现大于 3.5 m/s^2 的加减速速度值,处理结果如图 2 (a) 所示。然后对怠速中突然出现的速度值较小且不为 0 的毛刺数据采用速度值归零法,处理结果如图 2 (b) 所示。经数据预处理后,数据更加符合重型商用车的行驶工况及驾驶行为,可提高构建工况的准确性。

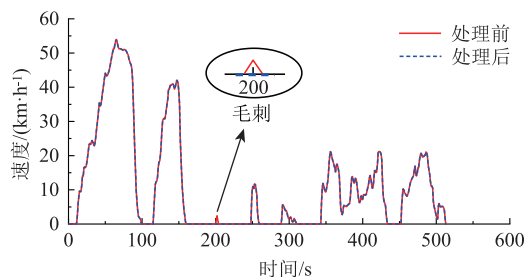
表 1 异常数据判定标准

Tab. 1 Criteria of abnormal data

数据名称	判定标准
无效发动机转速	发动机转速为 0 且车速为 0 的数据点
异常怠速	怠速时间大于 600 s 的数据点
尖点数据	加减速速度值大于 3.5 m/s^2 的数据
毛刺数据	怠速时间较长的片段,突然出现速度值较小且不为 0 的数据



(a) 尖点数据处理对比



(b) 毛刺数据处理对比

图 2 数据处理对比

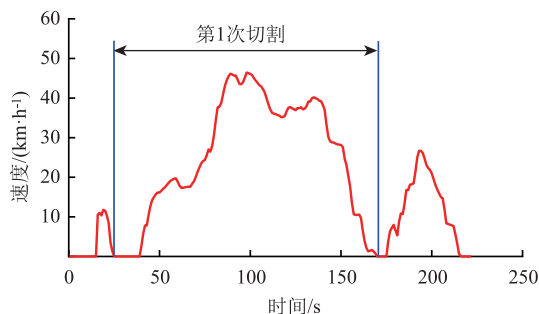
Fig. 2 Comparison of data processings

对预处理后的数据进行片段划分和特征值计算,运用主成分分析和聚类分析构建工况。

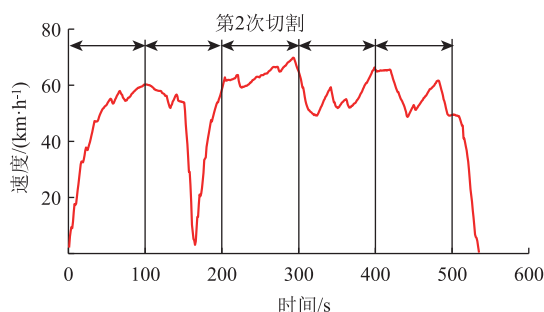
1.3 短行程片段划分

第 1 次短行程片段划分:工况构建的核心是将较长时间的原始数据压缩为可以描述整体数据特征的行驶片段,因此需要将原始数据首先划分成多个

短行程片段。短行程片段是指 2 个相邻怠速点区间加前 1 个怠速区间的片段,第 1 次短行程片段切割方式如图 3 (a) 所示。



(a) 第1次运动片段切割



(b) 第2次运动片段切割

图 3 运动片段切割

Fig. 3 Motion fragment cutting

按平均速度法将各个片段划分为低速类、中速类和高速类。根据商用车实际行驶状况将速度值低于 25 km/h 的划分为低速类,速度值在 $25 \sim 50 \text{ km/h}$ 区间的划分为中速类,速度值大于 50 km/h 的划分为高速类。

第 2 次短行程片段划分:数据按第 1 次片段切割后,由于低速类单个短行程片段总时间较短,有利于后期工况合成,因此不需要进行 2 次片段切割。但中速类、高速类单个短行程片段总时间较长,不利于后期工况合成,所以需要进行 2 次片段划分。划分方式是将每个短行程怠速部分删除,然后将每个短行程片段按 100 s 一段进行划分,形成新的短行程片段,划分方式如图 3 (b) 所示。

1.4 特征值的定义与计算

商用车行驶路况变化较大,仅凭时间和速度不能完整描述复杂的行驶工况,因此选用 15 个特征参数值全面描述商用车行驶特征,分别为总运动时间 T ,行驶距离 S ,加速时间 T_a ,匀速时间 T_c ,减速时间 T_d ,怠速时间 T_i ,平均速度 V_m ,平均行驶速度 V_{mr} ,速度标准差 V_{sd} ,最大车速 V_{max} ,最大加速度 a_{max} ,最大减速度 a_{min} ,加速段平均加速度 a_a ,减速

段平均减速度 a_d , 加速度标准差 a_{sd} 。对低速类、中速类、高速类分别进行短行程片段划分, 并计算各片段的特征值, 划分片段数及特征值计算结果见表 2。

表 2 特征参数值计算结果

Tab. 2 Calculation result of characteristic parameter values

特征值	运动片段											
	低速类				中速类				高速类			
	1	2	...	240	1	2	...	1 145	1	2	...	446
T/s	61	160.0	...	23.0	100.0	135.0	...	72.0	100.0	100.0	...	83.0
S/m	325	1 017	...	3.25	1 176	1 807	...	722	1 278	1 270	...	1 069
$T_a/(m \cdot s^{-2})$	20	36.00	...	1.00	37.00	12.00	...	13.00	40.00	33.00	...	9.00
T_c/s	11	62.00	...	6.00	0.53	0.64	...	0.39	0.55	0.45	...	0.46
T_d/s	13	32.00	...	1.00	10.00	36.00	...	31.00	5.00	22.00	...	36.00
T_i/s	17	30.00	...	15.00	—	—	...	—	—	—	...	—
$V_m/(km \cdot h^{-1})$	19.16	22.87	...	0.51	42.34	48.19	...	36.08	46.00	45.71	...	46.37
$V_{mr}/(km \cdot h^{-1})$	26.56	28.15	...	1.46	13.95	12.67	...	12.49	15.01	16.40	...	16.66
$V_{sd}/(km \cdot h^{-1})$	16.6	16.24	...	0.73	—	—	...	—	—	—	...	—
$V_{max}/(km \cdot h^{-1})$	41.99	46.44	...	1.77	54.19	57.28	...	53.02	60.27	60.27	...	62.53
$a_{max}/(m \cdot s^{-2})$	1.25	1.02	...	0.49	0.95	0.20	...	0.33	0.99	1.28	...	0.36
$a_{min}/(m \cdot s^{-2})$	-2.91	-1.15	...	-0.28	-0.28	-1.46	...	-1.93	-0.27	-2.24	...	-1.24
$a_a/(m \cdot s^{-2})$	0.58	0.41	...	0.49	0.14	0.02	...	0.05	0.16	0.16	...	0.02
$a_d/(m \cdot s^{-2})$	-0.92	-0.44	...	-0.28	-0.02	-0.13	...	-0.25	-0.01	-0.16	...	-0.21
$a_{sd}/(m \cdot s^2)$	0.67	0.33	...	0.13	0.28	0.34	...	0.52	0.30	0.57	...	0.38

2 工况构建

2.1 主成分分析

主成分分析是一种数据降维分析方法^[18-20], 常被应用在图像处理、数理分析和数学建模等领域。本研究中计算汽车运动学的各个特征值, 如果直接对其进行聚类分析, 一方面大量的数据增加了计算复杂性, 从而增加了计算时间, 另一方面, 在各个特征值中存在重复的特征信息。所以需要各个片段特征参数值进行降维, 然后进行聚类分析。

对表 2 的特征参数值进行主成分分析, 分别得到低速、中速和高速类的主成分贡献率及累积贡献率, 分析结果如图 4 所示。每一类的前 4 个主成分累积贡献率都达到了 85% 以上, 即可认为前 4 个主成分包含了原始数据的主要信息。

2.2 聚类分析

聚类分析是指将某些案例或样本按照一定的分类规律组合成多个类别的过程, 常用于决策制定和机器学习、图像处理和汽车工况构建等领域^[21-22]。基于主成分分析后的因子得分矩阵, 采用聚类分析

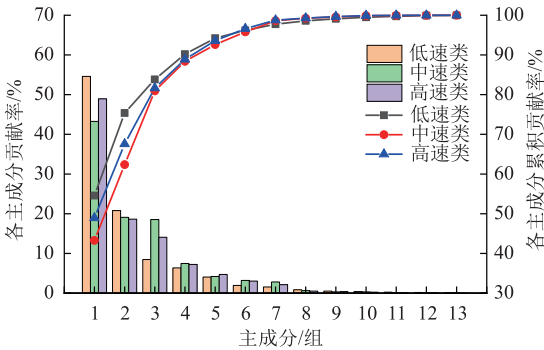


图 4 各主成分贡献率及累积贡献率

Fig. 4 Contribution rate and cumulative contribution rate of each principal component

中的快速聚类分析法 (K-means 聚类) 对降维后的主成分进行聚类分析。

K-means 聚类分析时, 首先确定分类的数量 K , 然后选择 K 个点作为初始聚类中心, 将所有样本根据 K 个聚类中心分成 K 类, 再在 K 类中各自选取每一类的中心点再次进行分类处理, 以此步骤进行迭代, 直到聚类中心点不再变化为止, 其流程如图 5 所示。

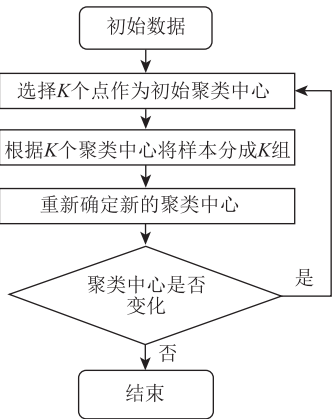


图 5 K-means 聚类流程图

Fig. 5 Flowchart of K-means clustering

表 3 聚类分析后的特征参数值

Tab. 3 Characteristic parameter values after clustering analysis

特征值		$v_m/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$v_{mr}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$v_{\max}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$v_{\text{sd}}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$a_{\max}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$		$a_{\min}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$		$a_{\text{sd}}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	
低速类	第 1 类	3. 247		6. 649		23. 690		4. 465		2. 003		-1. 792		0. 051	
	第 2 类	16. 441		20. 652		63. 510		14. 273		3. 094		-3. 072		0. 046	
	特征值/%	P_{0-10}	P_{10-20}	P_{20-30}	P_{40-50}	P_{50-60}	P_{60-70}	P_i	P_d	P_a	P_c				
	第 1 类	0. 404	0. 079	0. 006	0. 000	0. 000	0. 000	0. 512	0. 001	0. 002	0. 485				
	第 2 类	0. 187	0. 264	0. 170	0. 062	0. 019	0. 003	0. 204	0. 004	0. 004	0. 788				
中速类	特征值	$v_m/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$v_{\max}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$v_{\text{sd}}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$a_{\max}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$		$a_{\min}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$		$a_{\text{sd}}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$			
	第 1 类	30. 980		78. 760		16. 924		21. 681		-8. 728		1. 178			
	第 2 类	40. 688		83. 390		15. 555		11. 128		-21. 33		0. 772			
	第 3 类	50. 172		88. 610		9. 280		15. 956		-13. 44		0. 316			
	特征值/%	P_{0-10}	P_{10-20}	P_{20-30}	P_{30-40}	P_{50-60}	P_{60-70}	P_{70-80}	P_{80-90}	P_d	P_a	P_c			
	第 1 类	0. 129	0. 181	0. 193	0. 162	0. 133	0. 028	0. 003	0. 000	0. 243	0. 140	0. 617			
	第 2 类	0. 044	0. 080	0. 121	0. 174	0. 244	0. 064	0. 009	0. 000	0. 178	0. 323	0. 499			
	第 3 类	0. 001	0. 004	0. 019	0. 337	0. 416	0. 107	0. 013	0. 001	0. 106	0. 110	0. 784			
高速类	特征值	$v_m/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$v_{\max}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$v_{\text{sd}}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		$a_{\max}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$		$a_{\min}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$		$a_{\text{sd}}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$			
	第 1 类	48. 176		84. 140		17. 050		9. 386		-14. 76		0. 470			
	第 2 类	61. 168		89. 800		10. 905		18. 647		-15. 76		0. 265			
	特征值/%	P_{0-10}	P_{10-20}	P_{20-30}	P_{30-40}	P_{50-60}	P_{60-70}	P_{70-80}	P_{80-90}	P_d	P_a	P_c			
	第 1 类	0. 046	0. 051	0. 054	0. 0. 96	0. 316	0. 187	0. 055	0. 002	0. 243	0. 285	0. 472			
	第 2 类	0. 001	0. 000	0. 002	0. 035	0. 267	0. 335	0. 221	0. 015	0. 110	0. 105	0. 785			

2.3 工况合成

按各类时间占比合成工况曲线，低速类选取 2 个短行程片段，中速类选取 12 个短行程片段，高速类选取 6 个短行程片段。计算各片段的相关系数，选择相关系数较大的片段，计算公式为：

$$\rho = \frac{\text{Cov}(M, N)}{\sqrt{\text{Var}(M) \text{Var}(N)}}, \tag{2}$$

式中，Cov(M, N) 为变量 M 和 N 的协方差；Var(M) 和 Var(N) 分别为变量 M 和 N 的方差。

选定的聚类中心点 (x₁, y₁) 与其他样本数据点 (x_i, y_j) 之间的距离表示 2 类数据点的相似程度，距离越短相似程度越高，距离计算公式为：

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_1)^2 + (y_j - y_1)^2}. \tag{1}$$

分别对低速、中速和高速类片段进行 K-means 聚类分析，计算聚类分析后的特征参数包括平均速度、平均行驶速度、最大速度、速度标准差、最大加速度、最大减速度、加速度标准差、怠速时间比例 P_i、减速时间比例 P_d、加速时间比例 P_a、匀速时间比例 P_c 以及速度在各速度区域的占比，得到的特征参数值如表 3 所示。

选取每一类中相关系数较大的运动片段，最终构建出 2 500 s 的商用车行驶循环工况曲线，如图 6 所示。

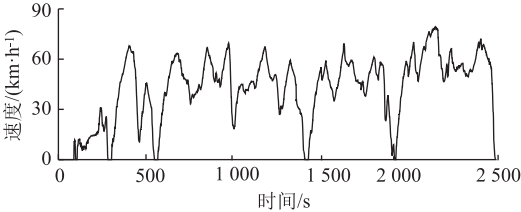


图 6 重型商用车行驶工况曲线

Fig. 6 Driving cycle curve of heavy-duty commercial vehicle

3 工况验证及误差分析

为了验证构建工况的可行性，选取怠、减、加、匀速时间比例、平均速度、平均行驶速度、速度标准差、加速度标准差、平均加速度和平均减速度作为主要对比特征参数，对比误差如表 4 所示。绝大部分特征值都在 10% 以内，由于第 2 次运动片段划分切割了一定比例的匀速状态，导致构建工况匀速时间比例偏低，从而减速时间比例和加速时间比例偏高，但误差都在 20% 以内，对工况合成精确度影响较小，可见构建的行驶循环工况与实际行驶工况的特征参数值相差不大，基本可以说明构建工况基本能够代表该路线实际运行特征。

与典型工况对比，选取怠、减、加、匀速时间比例及平均速度 5 个具有代表性的特征参数值，将构建的行驶工况与 NEDC 和 FTP-7 工况及我国重型牵引车半挂列车 CHTC-TT 工况进行对比，分析结果如表 5 所示。构建工况的怠速、匀速时间与 CHTC-TT 相差较近，与 NEDC 和 FTP-75 相差较大，说明车辆行驶环境对车辆的行驶工况影响较大。构建工况的加速时间比例、减速时间比例与 CHTC-TT 相比都偏大，加速时间比例相差 34.12%，是由于石家庄至太原行驶路况更为复杂，加减速情况较多，频繁的加减速对于整车油耗影响较大。综上说明，石家庄至太原的重型商用车行驶工况相较国内外典型工况有自己独特的特征，对分析典型路线商用车的排放和油耗有重要意义。

表 4 行驶工况误差分析

Tab. 4 Error analysis of driving cycles

特征参数/%	P_i	P_d	P_a	P_c	V_m
构建工况	6.66	16.81	23.39	53.15	42.02
采集总体	6.55	14.25	22.17	57.02	42.87
相对误差	1.60	17.95	5.46	6.79	1.98
特征参数	$V_{mr}/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	$V_{sd}/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	$a_{sd}/$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	$a_a/$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	$a_d/$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
构建工况	45.01	20.33	0.28	0.07	-0.07
采集总体	45.87	20.41	0.26	0.06	-0.07
相对误差/%	1.87	0.36	7.98	9.52	4.29

4 结论

本研究基于车联网采集数据，对商用车行驶工况构建方法进行了研究，构建了一条从石家庄至太原的商用车行驶工况曲线。

(1) 利用平均速度法将数据预先划分为低速、中速和高速 3 部分，对这 3 类进行第 1 次短行程片

段划分后，单独对中速、高速类进行 2 次片段划分，再对每一类进行行驶工况的构建。

表 5 典型工况特征值对比 (单位: %)

Tab. 5 Comparison of characteristic values of typical driving cycles (unit: %)

工况类型	P_i	P_d	P_a	P_c	V_m
NEDC	23.81	17.63	23.81	34.75	33.60
FTP-75	19.09	25.60	28.85	26.45	34.1
宁波重型危险品半挂车	0.01	23.96	28.11	47.92	34.18
我国半挂牵引车 (CHTC-TT)	8.61	15.78	17.44	58.17	46.44
本研究构建商用车行驶工况	6.66	16.81	23.39	53.15	42.02

(2) 此方法对商用车由于单个短行程片段行驶时间过长而不利于后期工况合成这一缺点做出了改进。

(3) 经过与国内外标准行驶工况对比验证，发现石家庄至太原的商用车行驶工况与典型行驶工况存在较大差异，因此本研究构建出了一条针对石家庄至太原的商用车行驶循环工况曲线，对我国重型商用车循环工况的开发具有重要补充意义。

参考文献:

References:

- [1] 徐婷, 崔世超, 刘明, 等. 高原山区乘用车行驶工况构建方法研究 [J]. 公路交通科技, 2021, 38 (2): 117-124.
XU Ting, CUI Shi-chao, LIU Ming, et al. Study on Construction Method of Driving Cycle of Passenger Vehicle in Plateau Mountainous Area [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2021, 38 (2): 117-124.
- [2] ZHAO X, MA J, WANG S, et al. Developing an Electric Vehicle Urban Driving Cycle to Study Differences in Energy Consumption [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019. 26 (14): 13839-13853.
- [3] 汪雯琦, 高广阔, 王子鉴, 等. 汽车运行工况的构建方法 [J]. 公路交通科技, 2020, 37 (9): 128-138.
WANG Wen-qi, GAO Guang-kuo, WANG Zi-jian, et al. A Method for Constructing Automobile Operation Condition [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2020, 37 (9): 128-138.
- [4] 王国林, 郭新, 张树培, 等. 基于短行程法的轻型乘用车行驶工况构建 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2019, 38 (2): 139-143.
WANG Guo-lin, GUO Xin, ZHANG Shu-pe, et al. Driving Cycle Development of Light Vehicles Based on Short Trip Method [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences), 2019, 38 (2): 139-143.
- [5] 刘明哲. 基于运动学片段和分层聚类的汽车行驶工况构建 [J]. 内蒙古农业大学学报 (自然科学版), 2021, 42 (2): 73-78.

- LIU Ming-zhe. Kinematic Fragments and Hierarchical Clustering Based Construction of Automobile Driving Conditions [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 42 (2): 73-78.
- [6] BRADY J, O'MAHONY M. Development of a Driving Cycle to Evaluate the Energy Economy of Electric Vehicles in Urban Areas [J]. Applied Energy, 2016, 177 (1): 165-178.
- [7] PENG Y, ZHUANG Y, YANG H. Development of a Representative Driving Cycle for Urban Buses Based on the K-means Cluster Method [J]. Cluster Computing, 2019, 22 (2): 6871-6880.
- [8] 李耀华, 宋伟萍, 任田园, 等. 基于聚类 and 比功率分布的西安城市公交行驶工况研究 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2020, 39 (4): 23-30.
- LI Yao-hua, SONG Wei-ping, REN Tian-yuan, et al. Driving Condition of City Bus in Xi'an Based on Clustering and VSP Distribution [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2020, 39 (4): 23-30.
- [9] 胡正云. 乘用车城市行驶工况构建方法研究 [J]. 公路交通科技, 2019, 36 (11): 142-150.
- HU Zheng-yun. Study on Construction Method of Urban Driving Cycle of Passenger Vehicles [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2019, 36 (11): 142-150.
- [10] 董清泉. 公交车行驶工况与排放特征的研究 [D]. 青岛: 青岛大学, 2014.
- DONG Qing-quan. Study on Bus Driving Conditions and Emission Characteristics [D]. Qingdao: Qingdao University, 2014.
- [11] 马洪龙, 丁建勋, 王桂龙, 等. 小波变换在道路行驶工况构建中的应用 [J]. 汽车工程学报, 2014, 4 (1): 56-60.
- MA Hong-long, DING Jian-xun, WANG Gui-long, et al. The Application of Wavelet Transform in the Construction of Vehicle Driving Cycle [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2014, 4 (1): 56-60.
- [12] 张宏, 姚延钢, 杨晓勤. 城市道路轻型汽车行驶工况构建 [J]. 西南交通大学学报, 2019, 54 (6): 1139-1146, 1154.
- ZHANG Hong, YAO Yan-gang, YANG Xiao-qin. Light-duty Vehicles Driving Cycle Construction Based on Urban Roads [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2019, 54 (6): 1139-1146, 1154.
- [13] 郭家琛, 姜衡, 雷世英, 等. 城市道路汽车行驶工况构建方法 [J]. 交通运输工程学报, 2020, 20 (6): 197-209.
- GUO Jia-chen, JIANG Heng, LEI Shi-ying, et al. Vehicle Driving Cycle Construction Method of Urban Roads [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2020, 20 (6): 197-209.
- [14] 马志雄, 李孟良, 朱西产, 等. 乘用车实际行驶工况开发方法的研究 [J]. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版), 2004, 26 (3): 182-184, 188.
- MA Zhi-xiong, LI Meng-liang, ZHU Xi-chan, et al. Study of the Methodology for Car Driving Cycle Development [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering), 2004, 26 (3): 182-184, 188.
- [15] 王志强. 太原市公交车行驶工况构建及排放特性研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2019.
- WANG Zhi-qiang. Study on Driving Condition Construction and Emission Characteristics of Taiyuan Bus [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2019.
- [16] 龙军. 基于重庆某典型道路的商用车行驶工况研究 [J]. 时代汽车, 2017 (10): 5-7, 11.
- LONG Jun. Study on Driving Condition of Commercial Vehicle Based on Typical Road in Chongqing [J]. Auto Time, 2017 (10): 5-7, 11.
- [17] 胡熙, 刘昱, 李孟良. 中国重型商用车行驶工况开发 [J]. 汽车技术, 2021 (2): 51-57.
- HU Xi, LIU Yu, LI Meng-liang. Development of the China Heavy-duty Commercial Vehicle Test Cycle [J]. Automobile Technology, 2021 (2): 51-57.
- [18] 林海明, 杜子芳. 主成分分析综合评价应该注意的问题 [J]. 统计研究, 2013, 30 (8): 25-31.
- LIN Hai-ming, DU Zi-fang. Some Some Problems in Comprehensive Evaluation in the Principal Component Analysis [J]. Statistical Research, 2013, 30 (8): 25-31.
- [19] CHEN C X, SONG Y, HU X B, et al. Analysis of Electric Vehicle Charging Behavior Patterns with Function Principal Component Analysis Approach [J]. Journal of Advanced Transportation, 2020, 2020 (1): 1-12.
- [20] LIU D R, DENG Q L, REN Z G, et al. Variation Trends and Principal Component Analysis of Nitrogen Oxide Emissions from Motor Vehicles in Wuhan City from 2012 to 2017 [J]. Science of the Total Environment, 2020, 704: 134987.
- [21] SUN J L, LIU W, TANG C Y, et al. A Novel Active Equalization Method for Series-connected Battery Packs Based on Clustering Analysis with Genetic Algorithm [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2021, 36 (7): 7853-7865.
- [22] ZHANG J, CHU L, WANG X, et al. Optimal Energy Management Strategy for Plug-in Hybrid Electric Vehicles Based on a Combined Clustering Analysis [J]. Applied Mathematical Modelling, 2021, 94: 49-67.