

太原市轻型车实际行驶工况构建*

田宇¹ 朱建军¹ 周博雅²

(1.太原理工大学,太原 030024;2.中国汽车技术研究中心,天津 300300)

【摘要】为了构建基于实际情况的太原市轻型车道路行驶工况,采用自主行驶法采集试验数据并从中提取出2 208个有效运动学片段,通过因子分析、K-means聚类分析方法以及相关系数比较最终拟合出长度为1 184 s的太原市轻型车实际行驶工况,将之与国内其他城市以及国际4类标准工况进行对比分析,得出太原市轻型车行驶工况具有加减速比例高、匀速行驶比例低和低速行驶比例高等特点。

主题词:太原市 轻型车 因子分析 K-means聚类分析 行驶工况

中图分类号:U491.2*55

文献标识码:A

DOI: 10.19620/j.cnki.1000-3703.20170589

Construction of Actual Driving Cycle for Light Duty Vehicles in Taiyuan

Tian Yu¹, Zhu Jianjun¹, Zhou Boya²

(1. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024; 2. China Automotive Technology & Research Center, Tianjin 300300)

【Abstract】In order to build the driving cycle of light vehicle based on the actual situation in Taiyuan City, the experimental data were collected by autonomous driving method and 2 208 effective kinematics fragments were extracted. Through factor analysis method, K-means clustering analysis method and the comparison of correlation coefficient, the actual driving cycle of 1 184 seconds in length of Taiyuan was fitted out, which was compared and analyzed with other domestic cities and the 4 commonly used international standard driving cycles, it was concluded in the paper that the driving cycle of light vehicle in Taiyuan was characterized by high acceleration and deceleration ratio, low constant speed driving ratio and high low speed driving ratio.

Key words: Taiyuan city, Light vehicle, Factor analysis, K-means cluster analysis, Driving cycle

1 前言

车辆行驶工况是指某类车在特定交通环境下用于描述汽车行驶特征的速度-时间曲线。它对于新车型的开发和认证、车辆排放水平的评价以及道路风险水平的评估等具有重要的作用。我国目前的排放测试规程多参考欧洲的标准^[1],而我国实际道路情况和人文环境与欧洲有较大差别,参考欧洲标准不能真实地反映我国道路实际行驶状况,因此,研究我国城市车辆的实际行驶工况十分必要。

目前,世界范围内车辆道路行驶工况主要有美国车辆道路行驶工况(USDC)、欧盟车辆道路行驶工况(EDC)和日本车辆道路行驶工况(JDC)^[2]。此外,国外的研究人员对部分地区的行驶工况做了大量研究;加利

福尼亚大学的K. S. Nesamani等人根据使用GPS采集到的数据,建立了印度金奈的市内公交车行驶工况^[3];新加坡南洋理工大学Sze-Hwee Ho等人采用车辆跟踪法构建了更加符合新加坡实际道路条件的车辆行驶工况^[4];斯洛文尼亚马里奥尔大学的Matjaz Knez等人使用Tango GPS程序测量车辆实际行驶时的重要参数,从而开发了斯洛文尼亚小城Celje的行驶工况^[5]。国内在实际行驶工况构建方面也有很多成果:河北农业大学的李宁等人运用短行程法,通过主成分分析和聚类分析构建了天津市的道路行驶工况^[6];合肥工业大学的石琴、马洪龙等人利用SOM网络对主成分进行聚类,将得到的权值作为FCM聚类的初始聚类中心,构建了合肥市道路行驶工况^[7];长安大学的蔡锷、李阳阳等人基于K-means聚类算法构建了西安市的道路行驶工况^[8]。

*基金项目:中国新能源汽车产品检测工况研究和开展项目。

太原市地处山西省中部是华北地区的重要交通枢纽,地形南北狭长,道路呈现“十一纵十横”的方格式棋盘布局,但由于东、西邻山,南北方向为交通的主流向。太原市独特的交通特点可以代表某些沿直线方向发展的城市的交通情况,故构建太原市轻型车道路行驶工况可以为中国汽车道路行驶工况的构建提供有利依据。本文通过对9辆正常使用的轻型车进行为期1个月的数据采集,通过主成分分析和K-means聚类分析取得具有代表性的行驶工况片段,构建了太原市轻型车的实际行驶工况。

2 试验方案及数据采集

通过对比国内外高校所采用的工况构建方法,结合试验条件设计出合理的工况构建方案,具体流程如图1所示。

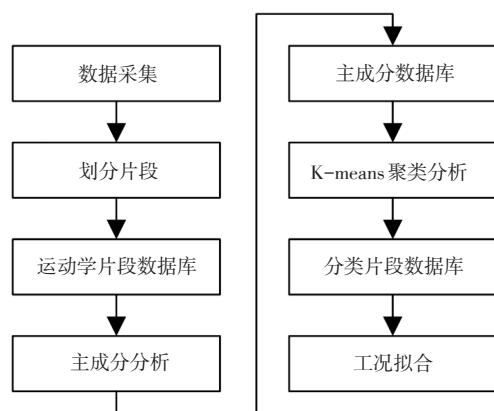


图1 试验方案流程

常用的数据采集方法主要有平均车流统计法、车辆追踪法和自主行驶法^[6]。国内汽车行驶工况构建研究的数据采集大多采用前两种方法,本次研究为使试验结果更为客观,采用自主行驶法对9辆轻型车进行连续1个月的数据采集,得到了796 411组数据。数据采集过程中,采集设备通过车辆OBD接口获取行车电脑中的速度、发动机转速等数据,同时也可通过GPS采集汽车运行时的经度、纬度、GPS车速等数据,并通过GPRS传输到互联网。

3 数据解析与处理

3.1 运动学片段的划分

由于不限制车辆的行驶范围,所以存在车辆离开太原市的情况,在划分运动学片段前,通过GPS定位信息,在历史监控数据中找到该时间段,将相应数据去除。从GPS定位信息中可以看到,车辆行驶轨迹覆盖了太原市的大多数道路,故试验数据可以真实反映太原市轻型车实际行驶工况的大部分特征。

汽车在行驶过程中,会频繁启动、加速、减速,为便于数据分析,需定义运动学片段,即在整个连续的运行过程中,连续两个怠速点中间的运行片段。车辆的运行过程可划分为多个运动学片段,将各运动学片段进行归类可以更好地分析车辆的行驶状况。提取采集到的时间、车速、GPS车速,其中,车速为直接通过OBD从行车电脑中采集到的信息,并不能够真实地反映车辆行驶速度因此,用车速和时间作为参照对GPS车速进行划分,能够更准确地删除由于GPRS信号差或GPS漂移而形成的错误数据,提高所划分的运动学片段的准确性。本文对796 411条数据进行划分后,获得2 208个运动学片段。

3.2 因子分析

为了全面描述所选取运动学片段的特征,在查阅有关资料后^[9],采用运行时间、运行距离等15个特征参数作为运动学片段的特征值,采用加减速比例、匀速比例、怠速比例等12个特征参数作为整体分布的特征值。基于java语言在MyEclipse中编写程序计算得到每个片段的特征参数,如表1所示。由表1可知,各特征参数间并非独立,如果使用全部特征参数开展分析,数据量大且重复性较高。

表1 各运动学片段特征值

片段编号	运行时间 T/s	运行距离 S/m	加速时间 T_a/s	...	加速度标准差 $a_{sd}/m \cdot s^{-2}$
1	214	1 066.42	95	...	0.64
2	641	2 184.17	258	...	0.36
3	102	520.33	40	...	0.57
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2 208	44	117.36	18	...	0.37

对大量变量进行降维的方法有主成分分析法、因子分析法、偏最小二乘回归等方法,由于因子分析可以将众多变量在信息丢失最少的情况下浓缩成少数几个因子变量,故本文运用SPSS软件^[10]对所有运动学片段的特征值进行因子分析,结果如表2、表3所示。设因子负荷量为0.55,故由表2可知,第1主成分包括匀速时间、减速时间、加速时间、运行距离、运行时间,第2主成分包括速度标准差、行驶速度、最大速度、平均速度、最大减速度,第3主成分包括加速段的平均速度、加速度标准差、减速段的平均减速度、最大加速度,第4主成分为怠速时间。表3表明,前4个主成分累计贡献率达到88.92%,一般认为累计贡献率达到85%即可代表原指标的绝大多数信息,因此采用前4个主成分代表原有15个特征参数进行下一步分析。

表2 旋转成分矩阵

特征参数	贡献率			
	成分1	成分2	成分3	成分4
匀速时间 T_c	0.957	0.112	-0.074	-0.015
减速时间 T_d	0.947	0.264	0.026	0.013
加速时间 T_a	0.933	0.299	0.003	-0.006
运行距离 S	0.930	0.246	-0.016	-0.018
运行时间 T	0.928	0.246	-0.002	0.261
速度标准差 v_{sd}	0.168	0.901	0.293	0.147
行驶速度 v_{mr}	0.336	0.890	0.214	0.092
最大速度 v_{max}	0.346	0.871	0.282	0.101
平均速度 v_m	0.485	0.812	0.106	-0.186
最大减速度 a_{min}	-0.285	-0.592	-0.533	-0.070
加速段的平均加速度 a_a	-0.171	-0.007	0.848	0.090
加速度标准差 a_{sd}	-0.044	0.467	0.791	-0.277
最大加速度 a_{max}	-0.353	0.257	0.712	0.140
减速段的平均减速度 a_d	0.198	-0.390	-0.676	0.007
怠速时间 T_i	0.065	0.099	0.043	0.982

表3 主成分贡献率及累计贡献率

成分	初始特征值			旋转平方和载入		
	合计	方差的%	累积%	合计	方差的%	累积%
1	7.608	50.720	50.720	5.186	34.570	34.570
2	3.521	23.477	74.197	4.113	27.419	61.990
3	1.187	7.912	82.109	2.823	18.818	80.807
4	1.022	6.811	88.920	1.217	8.112	88.920
5	0.615	4.103	93.022			
6	0.441	2.940	95.962			
7	0.220	1.465	97.427			
8	0.134	0.892	98.319			
9	0.099	0.663	98.982			
10	0.070	0.465	99.447			
11	0.042	0.281	99.728			
12	0.020	0.135	99.863			
13	0.011	0.076	99.939			
14	0.009	0.061	100.000			
15	2.618×10^{-16}	1.745×10^{-15}	100.000			

3.3 K-means聚类分析

聚类分析是将大量样本对象分组为由相同或者类似的对象组成的某些集合的过程。在道路行驶工况分析中普遍使用的聚类分析方法有动态聚类法、系统聚

类法和K-means聚类法等。经分析,太原市道路行驶情况可分为3类,即市区拥堵路况(怠速比例大,平均速度低)、市区通畅路况(怠速比例较小,平均速度较市区拥堵路况大)、郊区及环城高速路况(怠速比例小、平均速度大)。K-means聚类法是将给定数据集归为 k 个簇的方法,一般先创建 k 个起始质心,然后计算质心与各数据点的距离,将数据点分配到距离其最近的质心,最终将所有数据点归为 k 类。设 $k=3$,进行聚类分析,经过16次迭代后将2 208个片段分为3类,第1类有1 751个片段,第2类有400个片段,第3类有57个片段,各类片段及整体的部分特征参数如表4所示。其中, P_i 、 P_a 、 P_d 、 P_c 分别为怠速比例、加速比例、减速比例、匀速比例, P_{0-10} 、 P_{10-20} 、 P_{20-30} 、 P_{30-40} 、 P_{40-50} 、 P_{50-60} 、 P_{60-70} 、 P_{70} 分别为0~10 km/h、10~20 km/h、20~30 km/h、30~40 km/h、40~50 km/h、50~60 km/h、60~70 km/h以及70 km/h以上车速比例。

表4 各分类及总体的部分特征参数

特征参数	特征值			
	第1类片段	第2类片段	第3类片段	整体
T/s	91.85	184.48	832.95	127.76
$v_m/km \cdot h^{-1}$	18.75	12.27	43.90	21.29
$P_i/\%$	18.06	53.21	4.86	25.03
$P_a/\%$	33.52	19.53	34.01	29.94
$P_d/\%$	30.79	18.94	30.96	27.71
$P_c/\%$	17.63	8.32	30.17	17.32
$P_{0-10}/\%$	37.75	61.94	8.04	39.08
$P_{10-20}/\%$	21.55	10.65	7.44	16.32
$P_{20-30}/\%$	16.04	9.03	8.99	13.02
$P_{30-40}/\%$	11.91	8.11	13.29	11.15
$P_{40-50}/\%$	7.44	6.10	16.85	8.67
$P_{50-60}/\%$	3.95	3.10	20.97	6.59
$P_{60-70}/\%$	1.09	0.91	18.47	3.97
$P_{70}/\%$	0.27	0.16	5.95	1.20

4 工况构建及分析

根据聚类分析结果,拟构建时间长度为800~1 200 s的片段代表太原市轻型车的实际行驶工况。拟构建工况从3类片段中选取一定数量的运动学片段合成得到,取样数量由各类片段总运行时间占所有片段总运行时间的比例决定,具体取样目标由各片段的特征值与该片段所在分类的综合特征值之间的相关系数和片段长度决定。最终从第1类中取得长度分别为64 s、

57 s、58 s、68 s、62 s、54 s、53 s、56 s的8个片段,第2类中取得长度分别为134 s和119 s的2个片段,第3类中取得1个长度为459 s的片段,构成总长度为1 184 s的行驶工况作为太原市轻型车实际行驶工况,如图2所示。经计算,构建的行驶工况与总样本除去运行时间、运行距离以外其他特征参数的相关系数为0.992 726,故构建的太原市轻型车行驶工况基本上可以反映实际行驶工况。太原市轻型车行驶工况的平均速度为27.32 km/h,最大速度为67.8 km/h,速度在0~20 km/h的区域占41.02%,且加、减速比例分别为33.78%和33.61%,说明太原市交通状况较差,行驶速度较低,加减速频繁。

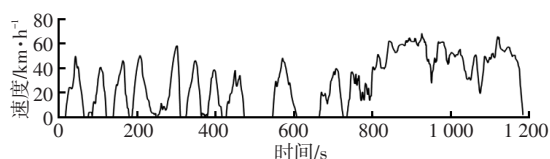


图2 太原市轻型车实际行驶工况

为了更好地对太原市轻型车的行驶工况进行分析,将其部分特征值与国内其他城市以及NEDC、FTP75、Japan15和中国第六阶段排放标准所采用的WLTC循环工况^[11]进行对比。图3所示为太原市与西安市、北京市和上海市的道路行驶工况的对比结果^[9,12-13],由图3可知:相比于北京、上海,太原市车辆平均速度较高,且怠速比例明显较低,故太原市的交通情况远优于北京、上海;与西安市相比,太原市匀速比例很低,且怠速比例高,故太原市的交通情况较西安市差。

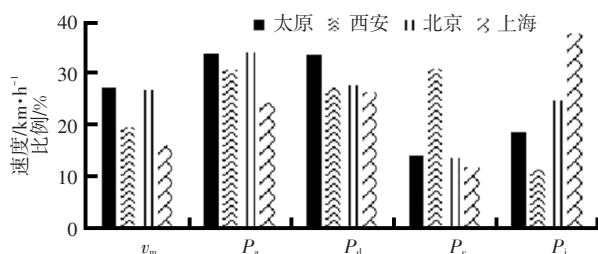


图3 国内部分城市道路行驶工况对比

图4所示为所构建的行驶工况与目前国外使用的一些标准测试工况的对比结果。与欧洲NEDC相比,太原市轻型车行驶工况的加减速行驶比例很高,匀速行驶比例约为其1/2,二者差别较大。与美国FTP75工况相比,太原市轻型车行驶工况的平均速度和各种行驶状态的比例均较为近似。与Japan15工况相比,太原市轻型车行驶工况的减速行驶比例明显较高,怠速比例明显较低,二者差别较大。与WLTC循环工况相比,太原市轻型车行驶工况平均车速和匀速行驶比例很低,减速行驶和怠速的比例均较高,两者加速行驶的比例基本相同。

与以上4种标准工况相比,太原市轻型车的实际行驶工况中平均车速和匀速行驶的比例较低。

目前,我国轻型车的生产和认证所采用的工况等同于欧洲NEDC工况,即将施行的中国第六阶段排放标准采用的是WLTC循环工况。分析表明,太原市轻型车实际工况与NEDC工况差别较大,且与WLTC循环工况也有明显差异,故NEDC工况和WLTC循环工况并不适用于太原市。与其他城市行驶工况的对比同样说明,对于不同的城市,道路行驶工况亦不同。

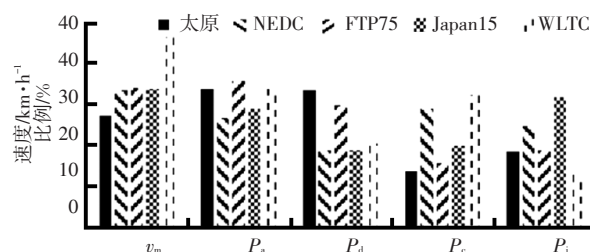


图4 太原市轻型车行驶工况与国际常用标准测试工况对比

5 结束语

a. 本文采用自主行驶法采集数据,取得2 208个运动学片段,运用Java语言通过MyEclipse编写程序计算获得各片段的特征值,将所有特征值通过因子分析及K-means聚类分析并通过相关系数的比较构建了长度为1 184 s的太原市轻型车道路行驶工况。

b. 通过太原市轻型车实际行驶工况与西安、北京和上海市的道路行驶工况的对比可知,太原市轻型车实际行驶工况具有其独特性,其他城市的道路行驶工况并不适用于太原。将所构建的行驶工况与国际常用的欧洲NEDC、美国FTP75、日本Japan15工况和WLTC循环工况进行对比,结果表明太原市轻型车行驶工况具有其独特的特点并不能由某种标准工况完全体现。

参考文献

- 张翠平,王铁,徐妙侠,等.内燃机排放与控制[M].北京:机械工业出版社,2013.
- Andre M. Driving Cycles Development: Characterization of the Methods[J]. Sae Technical Papers, 1996.
- Nesamani K S, Subramanian K P. Development of a driving cycle for intra-city buses in Chennai, India[J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(31): 5469-5476.
- Ho S H, Wong Y D, Chang W C. Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions[J]. Atmospheric Environment, 2014(97): 353-362.
- Knez M, Muneer T, Jereb B, et al. The estimation of a driving cycle for Celje and a comparison to other European cities[J]. Sustainable Cities & Society, 2014, 11(2-3): 56-

- 60.
- 6 李宁.城市道路车辆行驶工况的构建与研究[D].保定:河北农业大学,2013.
- 7 石琴,马洪龙,丁建勋,等.改进的FCM聚类法及其在行驶工况构建中的应用[J].中国机械工程,2014,25(10):1381-1387.
- 8 蔡锴,李阳阳,李春明,等.基于K-均值聚类算法的西安市汽车行驶工况合成技术研究[J].汽车技术,2015(8):33-36.
- 9 胡志远,秦艳,谭丕强,等.基于大样本的上海市乘用车行驶工况构建[J].同济大学学报(自然科学版),2015,43(10):1523-1527.
- 10 刘大海.SPSS 15.0统计分析从入门到精通[M].北京:清华大学出版社,2008.
- 11 中华人民共和国环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段)[S].北京:中国环境科学出版社,2016.
- 12 宋宝珍.西安市实际道路车辆行驶工况的研究[D].西安:长安大学,2009.
- 13 王军方,丁焰,王爱娟,等.北京市机动车行驶工况研究[J].环境工程技术学报,2012,2(3):240-246.

(责任编辑 斛 畔)

修改稿收到日期为2017年6月23日。

《汽车文摘》征稿启事

自1963年《汽车文摘》创刊以来,她一直为读者提供单一的文献检索。在知识和信息大爆炸的新时代,她将华丽转型,《汽车文摘》将成为读者的眼睛和大脑,为读者提供综合技术信息,提供专业领域技术信息总结,整合碎片的技术信息,为汽车技术创新提供支撑,据此也希望为我国汽车工业做强做大贡献一份力量。

《汽车文摘》的愿景就是要成为中国汽车创新技术的传播与交流平台。我们始终秉承“览全球汽车技术之文献,指中国汽车技术之道”的使命,我们要深入研究国际上汽车强国的技术创新成果与动向,我们坚信他山之石可以攻玉。我们将在低碳化、智能化、信息化和智能制造四个方向和十大领域,联合广大作者,为读者提供国际汽车强国的创新成果纵览、创新动向与趋势,特别是要关注具有颠覆性的技术创新,如智能网联汽车技术等。

我们真诚接受广大作者的综述类文章的投稿,聚焦近1-2年内国际上低碳化、智能化、信息化和智能制造方面的创新动向与趋势,形成某个技术领域的综述,引文要源自国际上影响力领先的学术期刊,一般要求在10篇以上,要求综述篇幅在5000~8000字。

诚挚欢迎广大作者为本刊投稿!

稿件请发至:wangyj_qy@faw.com.cn

咨询电话:0431-82028070

《汽车文摘》编辑部