

DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.20180224

# 城市道路轻型汽车行驶工况构建

张宏<sup>1,2</sup>, 姚延钢<sup>1</sup>, 杨晓勤<sup>1</sup>

(1. 内蒙古大学交通学院, 内蒙古 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古城市交通数据科学及应用工程技术研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010070)

**摘要:** 为了制定标准车辆能耗规范和标定车辆排放, 优化汽车使用性能, 以呼和浩特市市区道路上轻型汽车为研究对象, 对轻型汽车行驶工况进行了分析。首先通过 CATC 专用数据采集设备收集了 74 台车辆的行驶工况样本数据, 数据采集覆盖所有时段类型、道路类型、轻型车类型和驾驶员类型; 其次通过加权二次构建控制不同车辆类型的比例, 采用主成分分析和聚类分析预处理数据, 制定短行程规则; 最后将运动学片段进行裁剪和特征值分类, 构建了城市道路轻型汽车行驶工况。研究结果表明: CATC 平均速度为 25.87km/h, 运行平均速度为 33.92km/h, 匀速比例为 20.59%、怠速比例为 23.72%、加速比例为 28.56%、减速比例为 27.13%。与欧盟提出的轻型车循环测试工况相对比, 平均速度、运行平均速度、匀速比例低于欧洲工况, 加速比例、减速比例、怠速比例高于欧洲工况。

**关键词:** 轻型汽车; 行驶工况; 短片段; 工况规划; 城市交通

中图分类号: U461

文献标识码: A

## Light-duty Vehicles Driving Cycle Construction Based on Urban Roads

ZHANG Hong<sup>1,2</sup>, YAO Yangang<sup>1</sup>, YANG Xiaoqin<sup>1</sup>

(1. Transportation Institute of Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2. Inner Mongolia Urban Traffic Data Science and Applied Engineering Technology Research Centre, Hohhot, Inner Mongolia 010070, China)

**Abstract:** In order to set vehicles energy consumption standard and calibrating emission and optimize vehicle performance, light-duty vehicles driving cycle construction is proposed, taking the light-duty vehicles on the roads in Hohhot as a research object. Firstly, driving cycle data were collected through special data acquisition equipments of CATC. We select the valid light-duty vehicles road driving conditions data on typical urban roads, which covering all types of roads, light-duty vehicles and drivers. Secondly, we control different vehicle type proportion through giving different weights to different vehicles. The data are processed by Principal Component Analysis and Clustering Analysis, therefore the characteristics values of the kinematic fragments are classified and the short segment rules are formulated. Finally, the light-duty vehicles operating condition on urban roads are constructed. The results show that average speed is 25.87km/h, average running speed is 33.92km/h, uniform speed ratio is 20.59%, idling ratio is 23.72%, acceleration ratio is 28.56% and deceleration ratio is 27.13%. Compared to testing condition proposed by the European Union, average speed, average running speed and uniform speed ratio are lower than the European working conditions, while acceleration ratio, deceleration ratio and idling ratio are higher.

收稿日期: 2018-03-27

基金项目: 工业和信息化部中国新能源汽车产品检测工况研究和开发资助项目 (CATC); 内蒙古自治区交通运输厅科技资助项目 (NJ-2017-8); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (310822171134); 中国国家留学基金资助项目 (201806815002)

作者简介: 张宏(1981—), 女, 博士研究生, 研究方向为城市交通数据科学及应用, E-mail: zhang2001hong@126.com

通信作者: 张宏(1981—), 女, 副教授, 研究方向为城市交通数据科学及应用, E-mail: zhang2001hong@126.com

引用格式: 张宏, 姚延钢, 杨晓勤. 城市道路轻型汽车行驶工况构建研究[J]. 西南交通大学学报, 2020, 42(3): 1000-1009

ZHANG Hong, YAO Yangang, YANG Xiaoqin. Study on light-duty vehicles driving cycle construction based on urban roads [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2020, 42(3): 1000-1009

**Key words:** light-duty vehicles; driving cycle; short segment; vehicle driving cycle planning; urban transportation

汽车行驶工况研究作为汽车工业的一项共性核心技术,通过对车辆的实际行驶状况进行调查和实验数据进行分析,运用相关数学理论方法建立起来的典型道路车辆行驶状况的一种定量描述。研究汽车行驶工况的主要目的是确定车辆污染物排放量和燃油消耗量,为新型车的技术开发、评估以及交通风险测定与控制等提供参考依据。自从实施机动车排放测试标准以来,我国一直采用 NEDC 工况<sup>[1]</sup>,但多年的实践下来,暴露出了越来越多的问题,现有的欧洲工况也忽视了新能源汽车怠速启停、制动能量回收等新技术的节能效果<sup>[2]</sup>。NEDC 工况测试法基于多数匀速状态下的油耗和排放进行测试,结果与我国实际驾驶情况相差巨大,不仅影响相关部门掌握车辆的实际驾驶状态,也影响了政府的决策和公信力。

当前,制定和开发出适合我国国情道路工况的油耗标准和排放规范是当务之急,是国家汽车产业软实力的体现。近年来,新能源汽车发展迅速,其能量消耗一直是争论的焦点,评价新能源汽车能源消耗性能、节能减排与开发,汽车典型工况测试是基础。为了开发出因地制宜的汽车行驶工况和抢夺在国际市场上新能源汽车性能的领先地位,欧日美都已加快了新一代汽车典型工况的开发<sup>[4-10]</sup>,近些年国内学者也开始相应的研究<sup>[11-21]</sup>,部分城市拥有了代表本地区的行驶工况。例如,杜常清等<sup>[15]</sup>利用 GPS/GIS 数据筛选短行程基于加权因子方法分别构建了 4 种工况后进行组合后得到了完整工况;秦大同等<sup>[16]</sup>提出了一种较好的反映实际交通道路状况的  $K$ -均值聚类方法构建城市循环工况;石琴等<sup>[17]</sup>对构建的行驶工况进行了精度分析;胡志远等<sup>[18]</sup>构建了上海市乘用车行驶工况;潘登<sup>[19]</sup>、钟森鸣<sup>[20]</sup>、徐小俊<sup>[21]</sup>等对新能源汽车动态行驶工况进行了探讨。

## 1 城市道路轻型汽车行驶数据采集与预处理

本项目所采集的轻型汽车行驶工况数据的调查对象覆盖了不同特征的驾驶员和各类道路环境,并且考虑了驾驶习惯、地形条件和天气情况等,配合问卷调查获得实际能耗和活动水平,综

合的反映了内蒙古地区的车辆特征和外部环境特征,以保证样本数据的全面性。

### 1.1 前期准备与数据采集

前期准备阶段需在征用的轻型车上安装数据采集终端,中国汽车检测工况研究和开发(China Automotive Test Cycle, CATC)项目公共平台数据采集设备见图1所示。终端收到后,安装SIM卡,设置终端VIN码,修改原则为CATC10+11位SIM卡号,呼和浩特市征用车辆均使用联通4G的SIM卡和SD卡。确认征用车辆的OBD接口位置,将数据接线圆头一端与车辆终端接口相连,方头一端与OBD接口相连,整理好线速并固定终端。在CATC信息化系统www.chinacatc.cn平台中注册,完成SIM卡-终端-车辆编号对应关系表;安装现场打开笔记本电脑,或联系平台后台服务人员确认登陆及数据上传情况。收集的数据包括车辆行驶数据、车辆活动特征调查数据、企业历史数据收集、车载排放测试(PEMS测试)数据。



(a) CATC 数据采集设备



(b) 数据采集设备示例

图 1 数据采集设备与安装示意图

Fig. 1 Data acquisition equipment and installation

以内蒙古呼和浩特市征用的74台轻型汽车为数据采集对象，使用CATC项目提供的专用数据采集设备进行数据的收集，数据实时发送至数据采集平台——车辆远程管理服务平台数据库，平台注册后登陆页面，如图2所示。

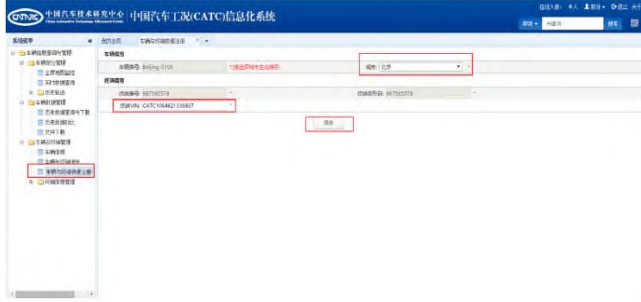


图 2 CATC 车辆远程管理服务平台

Fig. 2 CATC vehicle remote management service platform

CATC信息化系统框架主要有车辆管理、工况数据管理、排放数据管理以及手机APP管理功能。主要用于征用道路试验车辆的数据监控与数据管理。无线传输车载终端传输速率为1 Hz，可以实现车辆定位、行驶状态监控、历史轨迹回放、ECU数据监控、远程故障诊断、数据统计与分析、条件设定与报警等功能。菜单主要功能见表1所示，系统菜单中包含车辆监控、数据管理、车辆与终端和城市监控4个子系统模块。

表 1 CATC 信息化系统菜单功能

Tab. 1 Menu function of CATC information system

车辆监控	数据管理	车辆与终端	城市监控
实时数据查询 历史轨迹对比 历史轨迹查询与下载 全屏地图检测 文件下载	历史数据查询与下载 SIM卡流量流水查询 SIM卡管理	车辆与终端快速注册 终端管理 车辆信息管理 单车数据监控	全国城市监控 各城市监控详情 单车数据监控

在注册完车辆后，可通过“车辆定位管理”下的“实时数据查询”查看车辆的实时数据，对终端即车辆进行现场调试。在全屏地图监视中，“车辆查询”可对单个车辆进行状态查询，以及“定位该车”等操作，如图3所示。其中车辆状态包括行驶、停止、离线3种状态。

行驶（绿色）：车辆在行驶状态；

停止（红色）：车辆处于原地不动状态，终端仍在通电；

离线（灰色）：车辆熄火，终端断电状态。

通过“城市监控”菜单下的“单车数据监控”，依次选择车辆编号、开始时间、结束时间，可查看该段时间内的单车数据情况，包含总行驶里程、最大车速、平均车速以及各参数的正常情况等。



图 3 实时数据查询

Fig. 3 Real-time data query

截止到2018年6月30日平台已运行1033 d，全国41个城市车辆（轻型、重型）累计总行驶里程达46185471.5782 km，采集到的数据通过记录仪的远程通信功能实时发送到远程服务器，并按照车辆编号、时间段进行分类管理。

平台在有限时间内开放了车辆历史数据查询与下载服务，共收集了轻型汽车48种运行特征和分布特征参数。对于车辆上传后存储在系统内的数据，可通过“车辆数据管理”菜单栏下进行历史数据查询与下载，如图4所示，也可以通过“车辆定位管理”功能菜单下“实时数据”查看车辆的历史数据。首先选取车辆编号，查询历史数据的开始时间、结束时间，然后点击“参数选择”，勾选所有参数后点击确定。此外，点击图4中的“下载Excel”按钮，可将所选时间段内历史数据以Excel的格式下载到电脑上。

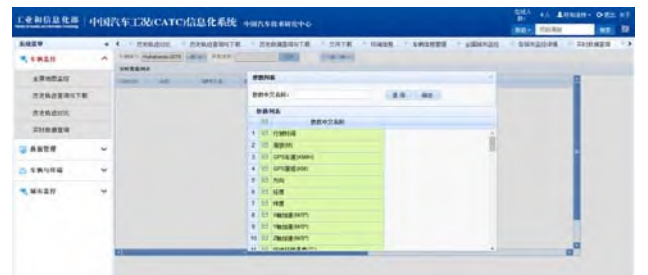


图 4 历史数据查询

Fig. 4 Historical data query

为统计准确和获得覆盖率高的完整数据，采集对象原则上不加限制，覆盖所有时段、车型、道路和驾驶员类型，轻型车分为节能与新能源汽车、常规车两大类，本文常规车类型所占比例如图5所示。优先选择新能源车辆，车辆来源方式有出租车公司、网上征集、项目单位职工用车、参与项目单位公用车，且控制出租车的总数量不超



过15辆。根据车辆清单表登记车辆信息、驾驶员信息，包括车型、排量、传动方式、日常驾驶区域、驾驶员年龄、性别等信息。

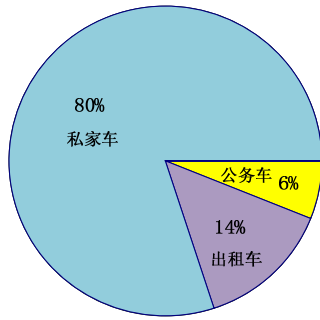


图 5 车辆类型选择比例

Fig. 5 Vehicle type selection ratios

轻型汽车数据采集利用自动驾驶法，要求驾驶范围尽可能覆盖呼和浩特市所有的区域。74辆轻型汽车不规划道路，自由驾驶，车辆运行一段时间后，通过CATC信息管理平台统计行驶路线对区域的覆盖情况，如果有区域不能覆盖完全，则对车辆进行动态调整，根据驾驶员出行区域的分布，有选择的轮换一批采集车辆，重新选择合理的驾驶员。

配合问卷调查500份，形成车辆活动特征数据库，重点调研日常出行习惯以及驾驶习惯、一次出行里程、出行时间、出行范围、空调使用率等；测量采集城市电能质量，调研充电设施以及充电桩规格和分布。

CATC信息化系统显示全部车辆的当前数据上传状态，以及最近7 d（含当天）的数据上传情况。为积极推进CATC项目，保证各子课题有序

进行，需每天通过数据平台管理车辆、终端的运行状态，发现故障及时处理。每周对车辆、终端的运行状态以及故障信息进行统计、总结；每两周提交下两周的工作计划，明确工作目标、内容，确保数据收集的完整与准确。车辆故障信息包括车辆编号、数据状态、最近7 d（含当天）数据异常情况以及周故障等级等统计参数。终端数据上传正常，故障灯标绿色；终端未有数据上传，故障灯标灰色；有数据上传但数据异常，故障灯标红色。GPS状态和CAN状态有一为红色则数据状态为红色。车辆行驶过程中或离线前，上传的最后一条数据对应的时间为最新数据时间。

## 2.1 车辆行驶数据预处理

本试验所选择的 74 个样本数据均为社会车辆，用于构建城市道路轻型汽车行驶工况和验证工况有效性。车辆行驶路线均由驾驶员根据自身需要做出选择，并未受到试验人员干预，非特殊情况下 24 h 不间断采集数据。考虑到近年来女性驾驶员数量不断攀升，所以随机选择性别比，驾驶员 25-45 岁比例最大，占 65%，25 岁以下和 45-55 岁各占 15%，55 岁以上占 5%，符合条件的驾驶员既有特定、专业驾驶员，也有普通驾驶员。典型的工况构建流程图见图 6 所示，数据处理是工况构建的关键环节，其预处理结果直接影响到工况构建成功与否，本文数据经过初选与精选两道程序控制数据质量，数据格式要求见表 2。

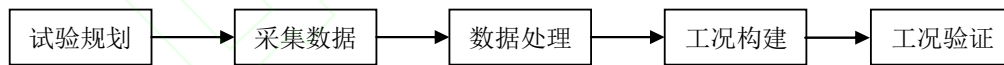


图 6 城市道路轻型汽车行驶工况构建基本过程

Fig. 6 Basic process of constructing the automobile driving cycle on urban roads

表 2 部分数据格式要求

Tab 2. Data format requirements

数据表示内容	数据类型	描述及要求
VIN	STRING	识别码是识别的唯一标识，由 17 位字码构成，不足 17 位后补“0”，例如车架号、产品条码、SIM 卡号等
经度	DWORD	以度为单位的经度值 $\times 10^6$ ，精确到百万分之一度
纬度	DWORD	以度为单位的纬度值 $\times 10^6$ ，精确到百万分之一度
方向	WORD	有效值范围：0-359，正北为 0，顺时针
速度	WORD	有效值范围：0~220 km/h，最小计量单元：0.1 km/h
CAN 车速	WORD	有效值范围：0~220 km/h，最小计量单元：0.1 km/h，“0xFF，0xFE”表示异常，“0xFF，0xFF”表示无效

里程	DWORD	GPS 车速积分累计里程, 有效值范围 0~429496729.5 km, 最小计量单元: 0.1 km
海拔	WORD	单位: m
电机转速	WORD	有效值范围: 0~65532 (数值变一辆 20000 表示-20000~45532 r/min), 最小计量单元: 1 r/min, “0xFF, 0xFE”表示默认值, “0xFF, 0xFF”表示无效
档位	WORD	0 表示空档, 1 表示 1 档, 2 表示 2 档, 3 表示 3 档, 4 表示 4 档, 5 表示 5 档, 6 表示 6 档, 254 表示自动挡, 255 表示倒退档
电机负荷百分比	BYTE	0~100, 最小计量单元 1%, 0xFE 表示默认值, 0xFF 表示无效
发动机转速	WORD	有效值范围: 0~65532 (数值偏移量 20000 表示-20000~45532r/min), 最小计量单元: 1 r/min, “0xFF, 0xFE”表示异常, “0xFF, 0xFF”表示无效
发动机扭矩百分比	BYTE	0~100, 最小计量单元 1%, 0xFE 表示默认值, 0xFF 表示无效
发动机负荷百分比	BYTE	0~100, 最小计量单元 1%, 0xFE 表示默认值, 0xFF 表示无效
电池电流	WORD	最小计量单元: 0.05A, 偏移-1600A, 有效范围: -80~1000A
电池电压	WORD	最小计量单元: 0.05A, “0xFF, 0xFE”表示默认值, “0xFF, 0xFF”表示无效
空调 on/off	BYTE	1 开, 0 关, 0xFE 表示默认值, 0xFF 表示无效
环境温度	BYTE	0~250℃, 最小计量单元 1℃ (数值偏移量 50 表示-50~200℃), 0xFE 表示默认值, 0xFF 表示无效
环境湿度	BYTE	0~100, 最小计量单元 1%, 0xFE 表示默认值, 0xFF 表示无效
大气压力	DWORD	单位 Pa
油门踏板开度	BYTE	有效范围: 0~200 (表示 0~100%), 最小计量单元 0.5%, “0xFE”表示异常, “0xFF”表示无效
空燃比	WORD	0~100, 最小计量单元 1%, “0xFF, 0xFE”表示默认值, “0xFF, 0xFF”表示无效
瞬时油耗	WORD	0~65532, 最小计量单元 0.01L, “0xFF, 0xFE”表示默认值, “0xFF, 0xFF”表示无效

实时监控车辆过程中出现的异常数据被视为无效数据, 例如非正常天气行驶、数据采集设备故障等。在数据预处理阶段为保障数据的有效性, 对异常数据会进行特殊处理, 统计后另行存放。

**无效片段数据采用去除方式处理, 重点关注两类异常情况: 第一类是 GPS 异常数据, 包括监控错误记录了较长时间的低速片段和某些原因通讯中断导致的断点片段; 第二类是人为干预交通产生的细碎停顿片段, 加减速异常情况。**

对呼和浩特市征用的 74 台轻型车连续不间断收集了 12 个月速度和加速度数据, 根据短行程和短片段划分标准, 总结如下: 超高速占比为 0.7%, 高速占比为 2.1%, 中速占比为 24.5%, 低速比例最大, 为 72.7%。试验车中新能源汽车实际行驶工况的加速度平均值为  $0.568 \text{ m/s}^2$ , 传统汽车实际行驶工况的加速度为  $0.433 \text{ m/s}^2$ 。

## 2.2 短片段筛选规则制定

车辆行驶过程中, 一个完整的运动学片段通常包含怠速、加速、减速、匀速 4 个过程。设置运动学片段的信息参数如最大车速、平均车速、运行平

均车速、加减速次数等, 可用于描述运动学片段的特征。**参考 WLTP 短片段筛选规则**, 结合车辆行驶工况的实际情况, 考虑到短片段选择的合理性和有效性, 从运行时间 (有效范围: 0~24 h)、速度 (有效值范围: 0~220 km/h, 最大速度范围: 5 ~150 km/h)、加速度 (有效范围:  $-8 \sim 6 \text{ m/s}^2$ )、数据缺失率 (GPS 数据缺失率 $<10\%$ ) 和匀速比例 (匀速时间不超过 10 s) **5 个参数设置了短片段筛选规则**, 依据此规则, 既筛选出了符合工况构建要求的短片段, 又控制了数据质量。

城市道路交通复杂, 交叉口数量较多, 轻型汽车保有量大, 在市区内行驶比例较大, 同时又呈现一定方向的流动性, 例如早晚高峰车流, 所以实际道路上的运动学片段往往是零碎的, 特征各不相同, 数据库存储的数据量庞大, 需对运动学片段进行裁剪、整理、分类, 然后将具有相同交通特征的运动学片段合成, 减少运动特征差异。从表 3 可以得出, 依据上述短片段筛选规则, 筛选前后得到的运动学片段参数差异性较小。

表 3 参数筛选前后的对比

Tab. 3 The parameters are compared before and after the screening

时间	筛选前总 速比例/%	筛选后 总速比 例/%	筛选前平 均加速度 /(m·s <sup>-2</sup> )	筛选后平 均加速度 /(m·s <sup>-2</sup> )	筛选前平 均速度 /(km·h <sup>-1</sup> )	筛选后平 均速度 /(km·h <sup>-1</sup> )	筛选前平 均减速度 /(m·s <sup>-2</sup> )	筛选后平 均减速度 /(m·s <sup>-2</sup> )
2016年11月	23.30	24.40	0.50	0.45	26.3	27.5	-0.55	-0.54
2016年12月	24.50	25.20	0.40	0.36	24.6	23.6	-0.50	-0.53
2017年01月	27.30	28.30	0.45	0.46	23.3	23.5	-0.56	-0.55
2017年02月	25.60	24.50	0.48	0.47	25.5	24.3	-0.52	-0.53
2017年03月	26.40	27.10	0.47	0.46	24.4	24.6	-0.51	-0.51
2017年04月	24.10	23.80	0.42	0.45	25.9	24.5	-0.52	-0.53
2017年05月	24.80	24.50	0.46	0.43	25.5	24.8	-0.54	-0.53
2017年06月	25.00	24.90	0.49	0.45	25.3	25.0	-0.52	-0.52
2017年07月	23.80	23.20	0.48	0.44	26.3	24.8	-0.53	-0.54
2017年08月	23.20	23.50	0.45	0.46	25.4	24.8	-0.51	-0.53
2017年09月	24.70	24.80	0.46	0.45	24.8	24.9	-0.52	-0.53
2017年10月	23.40	23.50	0.48	0.46	26.5	26.3	-0.53	-0.52

## 2 城市道路轻型汽车工况规划与构建

### 3.1 理论基础

在样本数据的预处理阶段, 48种运行参数数据量大且繁杂, 相关参数之间存在着千丝万缕的联系, 需区分区间进行降维处理, 筛选代表性变量, 降低计算复杂度。对预处理后的运动学片段特征值进行分类, 常见的有主成分分析法和比较成熟的  $k$ -means 聚类分析法。

#### 3.1.1 主成分分析

主成分分析法是将一组线性相关的特征值变量通过线性变换组合成另一组相互独立的综合指标<sup>[16]</sup>, 组合后的变量不相关。通过线性变换将样本数据预处理阶段得到的48个特征值参数变量用少数、关键的变量所取代, 从而减少了初始变量的数目, 得到的这个关键变量即为主成分, 将  $m$  个特征变量  $X_m$  线性组合成一个新的变量  $F_i$ , 称为主成分, 见式 (1)。

$$F_1 = l_{11}X_1 + l_{12}X_2 + \dots + l_{1m}X_m \quad (1)$$

设样本数据中有  $n$  组运动学片段特征,  $m$  组初始特征值变量  $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_m)^T$ , 设  $\mathbf{l}_i = (l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{im})^T$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 为  $m$  个常数向量, 用式 (2) 经线性变换组合后得到主成分。

$$\begin{cases} F_1 = l_{11}^T X = l_{11}X_1 + l_{12}X_2 + \dots + l_{1m}X_m \\ F_2 = l_{21}^T X = l_{21}X_1 + l_{22}X_2 + \dots + l_{2m}X_m \\ F_3 = l_{31}^T X = l_{31}X_1 + l_{32}X_2 + \dots + l_{3m}X_m \\ \dots\dots\dots \\ F_m = l_{m1}^T X = l_{m1}X_1 + l_{m2}X_2 + \dots + l_{mm}X_m \end{cases} \quad (2)$$

用Excel软件对样本的特征值  $\lambda_i$  重新排序,  $S_{F_i}$  表示第  $i$  个主成分的方差, 分配各主成分总方差, 即第  $i$  个成分分配的结果为第  $i$  个主成分的方差, 数值上与第  $i$  个特征值相等, 见式 (3)。

$$S_{F_i} = \frac{\sum_{i=1}^m (F_i - \bar{F}_i)^2}{n-1} = \lambda_i \quad (3)$$

计算各主成分的贡献率, 见式 (4):

$$\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} = \frac{S_{F_i}}{\sum_{i=1}^m S_{F_i}} = \frac{\lambda_i}{m} \quad (4)$$

计算前  $k$  个主成分的累计贡献率, 见式 (5):

$$\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} = \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{m} \quad (5)$$

运行PYTHON软件进行主成分分析, 贡献率从大到小依次排列并计算累计贡献率, 输出结果见表4所示, 前5个主成分累计贡献率达94.1%, 表明主成分 ( $Z_j, j=1, \dots, 16$ ) 具备代表性, 将48个特征值参数用11个特征值参数替换用于工况的构建。

表4 各主成分贡献率及累计贡献率

Tab. 4 Contribution rate and cumulative contribution rate of

each principal component		%
主成分排序	贡献率	累计贡献率
$Z_1$	45.900000	45.900000
$Z_2$	20.500000	66.400000
$Z_3$	13.800000	80.200000
$Z_4$	8.600000	88.800000

$Z_5$	5.300000	94.100000
$Z_6$	2.800000	96.900000
$Z_7$	1.400000	98.300000
$Z_8$	0.800000	99.100000
$Z_9$	0.600000	99.700000
$Z_{10}$	0.200000	99.900000
$Z_{11}$	0.090000	99.980000
$Z_{12}$	0.006000	99.980000
$Z_{13}$	0.000900	99.989000
$Z_{14}$	0.000010	99.989100
$Z_{15}$	0.000008	99.989170
$Z_{16}$	0.000000	100.000000

标准化各特征参数值,用系数 $l$ 表示标准化特征值与主成分 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$ 之间的相关关系,系数越大,表明二者之间的关系越密切,进而用主成分代替相关特征值。

### 3.1.2 聚类分析

聚类分析<sup>[16, 17]</sup>算法的核心是确定中心点,选取的 $k$ 值决定了样本的聚类效果。将主成分分析得到的运动学片段进行组合,提取相似交通类型的交通特征值,使其聚合为一类。

Excel 结合 SPSS 软件对样本数据统计和分析,采用合并层次聚类分析方法,得到反映某类交通特征的特征值曲线。例如分析图 5 中的私家车、出租车和公务车出行交通特征,以日均行驶里程为例,

表 5 聚类分析迭代表

Tab. 5 Cluster analysis

迭代次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
类 1	0.369	0.298	0.220	0.126	0.071	0.072	0.044	0.032	0.021	0.010	0				
类 2	4.235	0.296	0.196	0.135	0.056	0.055	0.033	0.024	0						
类 3	5.768	0.996	0.632	0.438	0.239	0.152	0.073	0.062	0.057	0.032	0.021	0.015	0.005	0.003	0

### 3.2 轻型汽车工况构建

短行程法将低速、中速、高速的行驶工况裁剪出来,可以对具体某类交通特征短行程片段进行针对性的分析,尤其在不限车型、不限时间、不限道路地理位置的情况下适用。分类得到的相同特征的运动学片段集合与实际交通状况某一类集合相对应,与计算获得的短行程法运动学片段速度-加速度( $v$ - $a$ )联合分布矩阵对比,确定最终的轻型汽车行驶工况。对建立的行驶工况进行评估,要求其总体样本工况数据拟合程度较好,需计算二者之间的相关系数。相关系数的计算采用计量经济学中的最小二乘法,取值为 $[0, 1]$ ,取值为0表示二者之间不相似,取值为1表示二者之间完全相关。实验中,取

出租车日均行驶里程最大,公务车次之,私家车日均行驶里程最短,图 7 反映了不同用途车辆的出行特征。车辆实际使用中,仅有 20%的用户每日出行里程(出行链)高于 40 km,私家车月均活动时间与月均工作日一致,公务车月均出行天数一般低于 15 d。虽然二者日均行驶里程之间差异较大,但在城市道路上行驶时,平均速度、速度区间比例、加速度比例等工况特征相似,区别在于片段数量不同。用类 1 表示低速区间,类 2 表示中速区间,类 3 表示高速区间。

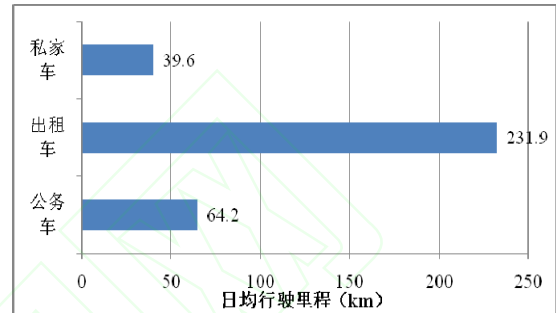


图 7 私家车、出租车、公务车出行特征分析图

Fig. 7 Travel feature analysis of private, taxi and financing vehicles

经过降维处理后,为加快聚类分析处理速度,设置最大迭代次数为 20,当距离中心点的距离是 0 时即可停止迭代,见表 5 所示,类 1 迭代 11 次停止,类 2 迭代 9 次停止,类 3 迭代 15 次停止。

相关系数最大的工况构建出如图 8 所示的城市道路轻型汽车行驶工况,10 个运动片段,10 个怠速片段,行驶工况总时长为 1200 s。

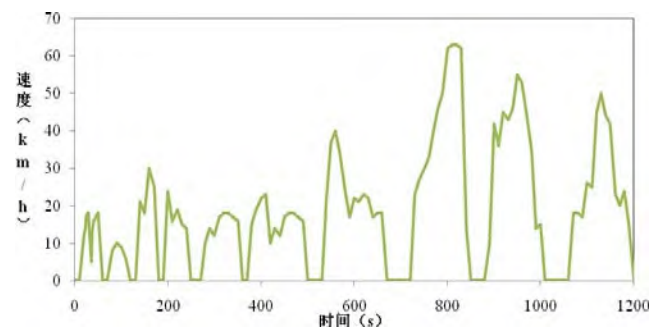


图 8 城市道路轻型汽车行驶工况



Fig. 8 Light-duty vehicles condition on urban roads

CATC 轻型汽车工况在平均速度、运行平均速度、匀速比例、怠速比例、加速比例、减速比例与实际采集数据吻合度较高, 见表 6 所示, 与欧洲工况差异较大, 例如运行平均速度, 实际采集数据为 32.6 km/h, CATC 为 33.92 km/h, 欧洲测试工况 NEDC 为 43.48 km/h, 欧盟轻型车测试程序 WLTP 为 53.15 km/h, FTP75 为 40.93 km/h。CATC 轻型汽车工况比 NEDC、WLTP、FTP75 与中国实际情况差异性最小, 拟合出的轻型汽车行驶工况能很好地反映真实数据特征, 符合中国城市道路实际工况。

表 6 实际采集数据与典型法规工况比较

Tab. 6 Comparison of actual data and typical statutory conditions

工况	平均速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	运行平均速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	匀速比例 %	怠速比例 %	加速比例 %	减速比例 %
实际采集数据	24.5	32.6	22.9	24.8 4	26.6	25.6 6
CATC	25.87	33.92	20.5 9	23.7 2	28.5 6	27.1 3
FTP75	33.89	40.93	24.6 5	17.2	31.1	27.0 5
WLTP	46.42	53.15	27.8 3	12.6 7	30.9 4	28.5 6
NEDC	33.34	43.48	37.5 4	22.6 3	23.2 2	16.6 1

将 CATC 工况与国内典型城市工况进行对比, 见表 7<sup>[22]</sup>所示。对比北上广深, 呼和浩特市轻型汽车平均速度低于深圳, 高于北上广; 匀速比例高于深圳, 低于北上广; 怠速比例高于北京、广州、深圳; 加速比例、减速比例各城市之间相差较小。

表 7 北上广深与呼和浩特市轻型汽车行驶工况对比

Tab. 7 Comparison of driving conditions in Beijing, Shanghai, Guangzhou, Shenzhen and Hohhot in China

参数	北京	上海	广州	深圳	呼和浩特
匀速比例/%	27.34	22.28	25.95	18.40	20.59
怠速比例/%	16.52	31.61	17.77	20.15	23.72
加速比例/%	25.29	22.83	29.11	32.30	28.56
减速比例/%	30.85	23.28	27.16	29.15	27.13
平均速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	19.98	14.96	14.14	32.39	25.87

从表 7 中, 可以得出我国城市道路轻型汽车行

驶工况的一般规律和特点: 加、减速比例普遍较高, 匀速比例较低。呼和浩特市作为欠发达的西部城市, 平均行驶速度仅为 25.87 km/h, 说明城市交通设施落后、交通管理不善, 特别是近几年汽车保有量增加迅速, 更突显了城市规划设计的不足。怠速比例占 13.72%, 燃油经济性差, 汽车尾气排放污染物增加; 匀速比例小于加速比例和减速比例, 说明车辆行驶不稳定, 道路交通情况复杂, 车辆经常处于加减速状况, 道路平面交叉口数量多, 立体交通数量少。

### 3 结论

(1) CATC 数据采集设备采用 GPS 无线传输方式, 方便快捷, 适合样本车辆工况大数据采集。

(2) 根据我国国情确定短片段划分方法, 从运行时间、速度、加速度、数据缺失率和匀速比例 5 个参数设置了短片段筛选规则

(3) CATC 轻型汽车工况在平均速度、运行平均速度、匀速比例、怠速比例、加速比例、减速比例与实际采集数据吻合度较高, 比 NEDC、WLTP 与中国实际情况差异性小, 拟合出的轻型汽车行驶工况能很好地反映真实数据特征, 符合城市道路实际工况。

### 参考文献:

- [1] 孙强, 白书战, 韩尔樑, 等. 基于试验测量的瞬时行驶工况构建[J]. 吉林大学学报(工学版), 2015, 45(2): 364-370.  
SUN Qiang, BAI Shuzhan, HAN Erliang, et al. Instantaneous driving cycle construction based on experimental measurement [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2015, 45(2): 364-370.
- [2] 杨正军. WLTP 用于中国道路轻型车测试循环可行性研究[D]. 清华大学, 2014.
- [3] BIELACZYK P, WOODBURN J, SZCZOTKA A. A comparison of carbon dioxide exhaust emissions and fuel consumption for vehicles tested over the NEDC, FTP-75 and WLTC chassis dynamometer test cycles [J]. SAE Technical Papers, 2015 (1): 1065-1076.
- [4] GALGAMUWA U, PERERA L, BANDARA S. Developing a general methodology for driving cycle construction: comparison of various established driving cycles in the world to propose a general approach [J]. Journal of Transportation Technologies, 2015, 05(4):



- 191-203.
- [5] MINGYUE M, BENEDIKT W, FERIT K, et al. A statistical method for driving cycle construction based on path geometry[C]// Proceedings of 2013 the International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering. Nanjing: Atlantis Press, 2013: 890-893.
- [6] GAO X, ZHANG B, XIONG X, et al. Construction and analysis of the dalian driving cycle[J]. International Journal of Control & Automation, 2015, 8(6): 363-368.
- [7] 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.
- [8] DIMARATOS A, TSOKOLIS D, FONTARAS G, et al. Comparative evaluation of the effect of various technologies on light-duty vehicle CO<sub>2</sub>, emissions over NEDC and WLTP[J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14: 3169-3178.
- [9] PREVEDOUROS P, MITROPOULOS L. Life cycle emissions and cost study of light duty vehicles[J]. Transportation Research Procedia, 2016, 15: 749-760.
- [10] DEMUYNCK J, BOSTEELS D, PAEPE M D, et al. Recommendations for the new WLTP cycle based on an analysis of vehicle emission measurements on NEDC and CADC[J]. Energy Policy, 2012, 49(1): 234-242.
- [11] 沈姝, 田冬莲, 杜常清, 等. 国 V 在用车实际道路下 IUPR 分布特征研究[J]. 汽车技术, 2016, (06): 45-48.
- SHEN Shu, TIAN Donglian, DU Changqing, et al. The research on IUPR distribution characteristic of China V vehicles based on the real road conditions [J]. Automobile Technology, 2016, (06): 45-48.
- [12] 路尧. 中国轻型汽车行驶工况开发[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
- [13] 石琴, 郑与波. 因子分析在汽车行驶工况构建过程中的应用[J]. 中国机械工程, 2011, (9): 1123-1127.
- SHI Qin, ZHENG Yubo. Application of factor analysis in driving cycle development[J]. China Mechanical Engineering, 2011, (9): 1123-1127.
- [14] 王中奇, 关伟, 毕军, 等. 基于短时实际行驶工况的机动车微观排放模型[J]. 环境工程学报, 2016, (10): 5803-5807.
- WANG Zhongqi, GUAN Wei, BI Jun, et al. Microscopic emission model of motor vehicle based on short-time real driving cycle[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, (10): 5803-5807.
- [15] 杜常清, 汪雨航, 张佩. 基于 GPS/GIS 数据的短行程工况构建方法研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2016, 40(5): 803-808.
- DU Changqing, WANG Yuhang, ZHANG Pei. Research on short trip driving cycle development based on GPS/GIS data [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2016, 40(5): 803-808.
- [16] 秦大同, 詹森, 漆正刚, 等. 基于 K-均值聚类算法的行驶工况构建方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2016, 46(2): 383-389.
- QIN Datong, ZHAN Sen, QI Zhenggang, et al. Driving cycle construction using K-means clustering method [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2016, 46(2): 383-389.
- [17] 石琴, 仇多洋, 周洁瑜. 基于组合聚类法的行驶工况构建与精度分析[J]. 汽车工程, 2012, 34(2): 164-169.
- SHI Qin, CHOU Duoyang, ZHOU Jieyu. Driving cycle construction and accuracy analysis based on combined clustering technique[J]. Automotive Engineering, 2012, 34(4): 164-169.
- [18] 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.
- HU Zhiyuan, QIN Yan, TAN Piqiang, et al. Large sample based car driving cycle in Shanghai city [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2015, 43(10): 1523-1527.
- [19] 潘登. 混合动力汽车城市循环工况构建及运行工况多尺度预测[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
- [20] 钟森鸣, 黄坚, 吴嘉健, 等. 新能源汽车动态工况 EMI 测试系统构架设计与关键技术分析[J]. 中国测试, 2017, 43(08): 76-79.
- ZHONG Senming, HUANG Jian, WU Jiajian, et al. Frame design and key technical analysis of EMI test system for new energy vehicle dynamic condition[J]. China Measurement & Test, 2017, 43(8): 76-79.
- [21] 徐小俊, 李君, 刘宇, 等. 电动汽车城市行驶工况构建[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(35): 330-336.
- XU Xiaojun, LI Jun, LIU Yu, et al. The development of electric vehicles urban driving cycle[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(35): 330-336.
- [22] 姚延钢. 城市道路轻型汽车运行工况构建[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.