

# 深圳市公交车行驶工况研究

张 超<sup>1</sup> 徐 鹏<sup>2</sup> 李程宇<sup>2</sup> 吴正斌<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(重庆车辆检测研究院有限公司 国家客车质量监督检验中心 重庆 401122)

<sup>2</sup>(中国科学院深圳先进技术研究院电动汽车研发中心 深圳 518055)

**摘 要** 车辆在特定道路工况条件下的性能能够为汽车系统的设计和改进提供参考。目前,深圳市还没有建立起典型的城市道路工况。文章基于深圳市 M347 路公交车的行驶数据,利用主成分分析法和聚类分析法来构建公交线路行驶工况。由聚类分析将原始短行程数据分为两类,可以体现公交线路中拥挤和畅通两种不同行驶状况。文章所构建的综合工况能较好地反映该线路的道路工况,对于研究分析具有深圳特点的行驶工况和优化车辆性能具有一定参考意义。

**关键词** 公交车; 行驶工况; 主成分分析; 聚类分析; 短行程

**中图分类号** TG 156 **文献标志码** A

## Study on Shenzhen Bus Route Driving Cycle

ZHANG Chao<sup>1</sup> XU Peng<sup>2</sup> LI Chengyu<sup>2</sup> WU Zhengbin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Chongqing Vehicle Test & Research Institute CO., LTD, National Coach Quality Supervision and Test Center, Chongqing 401122, China)

<sup>2</sup>(Electric Vehicle Research and Development Center, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

**Abstract** The performance of automotive under specific drive cycles can provide a reference for the development and improvement of vehicle systems. At present, there is no representative typical driving cycle in Shenzhen. In this paper, the development of M347 bus route driving cycle in Shenzhen was reported, combining principal component analysis and clustering analysis methods, and the rationality and the validity of the driving cycle were tested and verified. The original micro-trips are divided into two series by the clustering analysis method, which may explain traffic jam and smooth traffic driving conditions of M347 bus route. The M347 route multiple driving cycle constructed at last can reflect the real-world road conditions.

**Keywords** bus; driving cycle; principal component analysis; clustering analysis; micro-trip

## 1 引 言

行驶工况是一系列的数据点,代表着车辆速

度随时间的变化情况。它是由各个国家和组织建立的,用于评估车辆的性能。目前,行驶工况在交通、环境科学、车辆试验等领域广泛地应用。

不同地区和典型城市都有着各自的实际行驶工

收稿日期: 2014-10-21 修回日期: 2014-10-29

基金项目: 国家新能源汽车产业技术创新工程整车项目(Y3Z0221001); 广东省省院合作项目(2011B090300095, 2012B09040018); 深圳市科技研发项目(CXZZ20130322161447244)

作者简介: 张超, 中级工程师, 研究方向为新能源汽车检测与研究; 徐鹏, 硕士研究生, 研究方向为道路工况研究; 李程宇, 高级工程师, 研究方向为电动汽车动力系统集成与测试; 吴正斌(通讯作者), 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为动力和储能电池系统集成和应用技术、新能源汽车动力系统和整车集成与优化技术, E-mail: zb.wu@siat.ac.cn.

况, 这种工况对研究特定地区或城市环境具有特殊的指导意义<sup>[1]</sup>。公交车是城市最为普遍的大众运输工具。随着我国城市化的进展, 城市交通的压力随之上升, 公交车的数量也在不断增加。国外常见的行驶工况有 US06、UDDS、JA1015、ECE、HWFET、FTP、CBD、Manhattan、NYCC 等。目前我国大部分城市, 对公交车的经济性、动力性和排放等各项性能指标的评估, 都是采用城市四工况 CYC\_4STATUS<sup>[2]</sup>。此方法于上世纪 70 年代制定, 虽于 2001 年进行少量修改, 但它仍是以 70 年代各个城市道路实测数据的统计为基础而建立。我国近几十年发展迅速, 城市规模、道路交通状况与车辆保有量等都有了很大的变化, 继续采用四工况显然不能满足实际公交车开发的需要。因此, 开发基于我国城市现阶段实际道路状况的公交车行驶工况具有重要的意义。

国内外对于道路工况构建方法的研究由来已久, 且方法多样。由于研究目的及评价目标的不同, 形成了种类繁多、不同用途的工况。Neubauer 等<sup>[3]</sup>通过道路工况的研究方法来对比电动汽车与传统汽车的经济性。Fan 等<sup>[4]</sup>通过研究实际工况下动力系统和车辆结构各个特征参数的变化, 提出优化方案。即使是相同城市, 由于研究的方法和目的不同, 所构建出的工况也有所区别<sup>[5]</sup>。在构建工况方面, 有利用分割运动学片段, 找出与整体特征参数相近的运动学片段, 然后直接随机构建工况的方式<sup>[6]</sup>; 也有从运动学片段中匹配速度加速度联合分布于整体样本最相近的进行构建; 还有直接截取一定长度原始数据, 并与真实道路特征相比较, 选出特征值相关性最大的作为其工况。但现在国内外对于工况构建更倾向于分割短行程与统计学方法相结合的方式。如 Bishop 等<sup>[7]</sup>提出数据驱动的马尔可夫链方法来获取真实行驶工况; Lin 等<sup>[8]</sup>结合最大似然估计法提出新的随机方法构建加州行驶工况。

目前中国各城市公交工况的研究已陆续展

开<sup>[9]</sup>, 但针对深圳地区的公交工况构建及分析, 特别是在 M347 线路运行的这种新能源公交车并未多见。本文以公交车实际行驶数据为基础, 建立深圳市 M347 公交线路的行驶工况。构建过程主要包括原始数据的采集、短行程分割、特征值计算、主成分分析、聚类分析, 最后构成工况。

## 2 构建方法

### 2.1 数据获取和短行程分割

本文中原始数据来自 M347 路公交车车载 GPS, 行驶数据共采集 5 天, 包括星期六、星期天和三个工作日。线路单程约 42 公里, 平均单程行驶耗时约 130 分钟, 每天三个往返, 包含了上下班高峰时段与夜晚低峰时段。路线连接深圳市月亮湾综合车场站和深圳北站, 途经宝安区、罗湖区和南山区(如图 1 所示), 既有沿海较为通畅路段, 又有市区比较拥堵的路段, 是一条很具有代表性的公交行驶路线<sup>[10]</sup>。



图 1 M347 路线

Fig. 1 M347 bus route

采集得到的原始数据是很多组时间-速度的对应序列。为了后文的数据分析和最终工况的构建需要, 先将原始数据分割为若干个短行程。以一个速度为 0 的时间点为开始, 经过一个或几个加速、减速和匀速过程, 到速度再次降到 0 的时间点结束, 为一个短行程。每个短行程都包含了怠速、加速、匀速和减速四个基本的运动状

态<sup>[11]</sup>。图 2 为短行程分割的一个截取样本, 此段行驶过程被分为 6 个短行程。

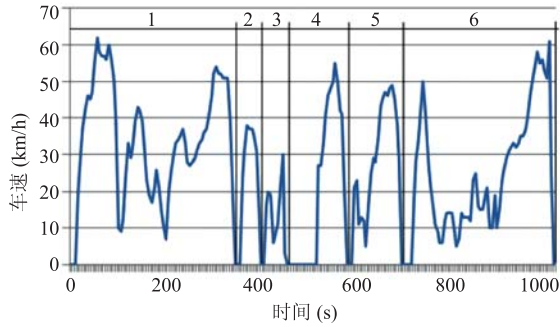


图 2 短行程样本

Fig. 2 Sample micro-trips

本文所测得的全部数据最后被分为 1560 个短行程, 并计算各个短行程的特征值, 特征值的类型如表 1 所示<sup>[12]</sup>。这些短行程及其特征值将会用于后面的主成分分析、聚类分析和最后的工况构建。

表 1 短行程特征值及其意义

Table 1 Characteristic values of micro-trips

序号	特征值	特征值意义
1	$T$ (s)	运行时间
2	$T_d$ (s)	减速时间
3	$T_a$ (s)	加速时间
4	$T_c$ (s)	匀速时间
5	$T_i$ (s)	怠速时间
6	$S$ (m)	运行距离
7	$V_{\max}$ (km/h)	最大速度
8	$V_m$ (km/h)	平均速度
9	$V_{mr}$ (km/h)	平均运行速度
10	$V_{sd}$ (km/h)	速度标准偏差
11	$a_{\max}$ (m/s <sup>2</sup> )	最大加速度
12	$a_{\min}$ (m/s <sup>2</sup> )	最大减速度
13	$a_a$ (m/s <sup>2</sup> )	加速段平均加速度
14	$a_d$ (m/s <sup>2</sup> )	减速段平均加速度
15	$a_{sd}$ (m/s <sup>2</sup> )	加速度标准偏差

## 2.2 主成分分析

主成分分析法是一种分析、简化数据的统计学方法。影响研究结果的变量往往很多, 而这些变量之间具有一定的相关关系。当两个变量之间

有相关关系时, 可以解释为这两个变量反映所研究问题的信息有一定的重叠。主成分分析方法就是为了消除这种重叠, 将原来的变量线性组合成相互不相关的新变量<sup>[13]</sup>。

本文对工况数据分析计算了 15 个特征值。过少的特征值并不能完整地反映完整道路状况, 而太多特征值又会增加计算分析的复杂性, 主成分分析法正是解决此类问题非常有效的多元统计方法<sup>[14]</sup>。文中主成分分析主要包括以下四个步骤:

(1) 标准化原数据中的特征值;

(2) 将标准化后的数据组成矩阵, 并求出其协方差和相关阵;

(3) 求出协方差矩阵的特征值及其特征向量;

(4) 确定主成分, 并根据数据实际情况找出各主成分所代表的意义。

由于数据量较大, 在对特征值进行主成分分析时, 采用专业统计学软件 SPSS 进行分析<sup>[15]</sup>, 得到的 15 个特征值方差、贡献率及累计贡献率结果如表 2 所示。

表 2 主成分分析结果

Table 2 Results of principal component analysis

主成分	方差	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	6.649	44.327	44.327
2	3.493	23.285	67.612
3	1.512	10.081	77.694
4	1.298	8.651	86.344
5	0.746	4.976	91.320
6	0.452	3.012	94.333
7	0.285	1.898	96.231
8	0.210	1.401	97.632
9	0.113	0.754	98.386
10	0.085	0.569	98.955
11	0.067	0.447	99.401
12	0.044	0.396	99.697
13	0.035	0.232	99.929
14	0.011	0.071	100
15	0	0	100

表 2 中的主成分都是由原变量经过线性组合

而成,使各主成分在相互不相关的情况下反应工况数据的信息,其累计贡献率达到 80% 以上即可代表原数据。前四个主成分的累计贡献率达到 86.34%,显然可以反映原数据特征。

表 3 特征值主成分得分

Table 3 Principal component scores of characteristic values

特征值	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
$T$	0.747	0.502	0.398	-0.044
$S$	0.897	0.278	-0.030	0.102
$V_m$	0.870	-0.190	-0.366	0.102
$V_{max}$	0.899	-0.295	0.049	-0.024
$a_{max}$	0.333	-0.517	0.419	0.557
$a_{min}$	-0.536	0.582	-0.121	0.414
$T_a$	0.866	0.279	-0.112	-0.157
$T_d$	0.744	0.411	-0.045	0.285
$T_i$	-0.013	0.257	0.911	-0.244
$T_c$	0.715	0.423	-0.013	0.117
$V_{mr}$	0.903	-0.299	0.048	0.008
$a_a$	-0.379	-0.455	0.346	0.576
$a_d$	-0.081	0.726	-0.158	0.515
$V_{sd}$	0.737	-0.537	0.036	0.002
$a_{sd}$	0.005	-0.912	-0.183	0.127

各特征值的主成分得分如表 3 所示,可以看出各个主成分与原特征值呈线型关系。根据特征值的主成分得分能够得到各个主成分所代表的特征值信息,如表 4 所示。

表 4 各主成分反映特征值

Table 4 Characteristic values

主成分	代表特征值
主成分 1	运行时间、运行距离、平均速度、最大速度、加速时间、减速时间、匀速时间、平均运行速度、速度标准偏差
主成分 2	最小加速度、减速段平均加速度、加速度标准偏差
主成分 3	怠速时间
主成分 4	最大加速度、加速段平均加速度

表 5 为部分短行程主成分得分,原始特征值

信息被成功降维为 4 个主成分信息,全部短行程主成分得分组成的主成分得分矩阵将被用来做进一步的聚类分析。

表 5 主成分得分矩阵

Table 5 The score matrix of principal components

短行程	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
短行程 1	-0.279	-1.924	0.435	-1.510
短行程 2	1.123	-1.686	-1.127	0.090
短行程 3	0.688	1.147	-0.895	-0.479
短行程 4	-1.416	-0.718	-0.542	1.115
短行程 5	-0.304	-2.270	-1.153	-0.061
...	...	...	...	...
短行程 1559	-1.076	-0.293	-0.373	1.094
短行程 1560	0.159	-0.704	-1.208	0.091

### 2.3 聚类分析

聚类分析就是通过各种描述距离和相似性的方法区分各聚点元素间的差异性,从而实现分类的目的。在统计学中,聚类分析是通过数据建模简化数据的一种方法。本文使用 K 均值聚类法。SPSS 聚类过程中默认采用这种距离度量。具体的步骤如下:

(1) 先确定所需聚类的类型数量,这里对应公交行驶实际情况分为两类;

(2) 根据数据结构,确定初始中心点;

(3) 计算每个点到各类别中心点的距离,离得最近的归为这一类,然后计算形成类别的新的中心点,用平均数表示;

(4) 重新计算各点到新的中心点的距离,并重新形成中心点。反复计算指定次数后,或达到收敛标准为止。迭代过程中聚类中心的变化如图 3 所示。

由图 3 可知,在第 16 次迭代后,聚类中心没有改动或者改动较小达到收敛。

将主成分分析得到的主成分矩阵进行聚类分析后,短行程被分为两类。根据公交车道路工况数据分析可知,公交车行驶一般可分为通畅路段

和拥挤路段两种, 所以其分类数是合理的。

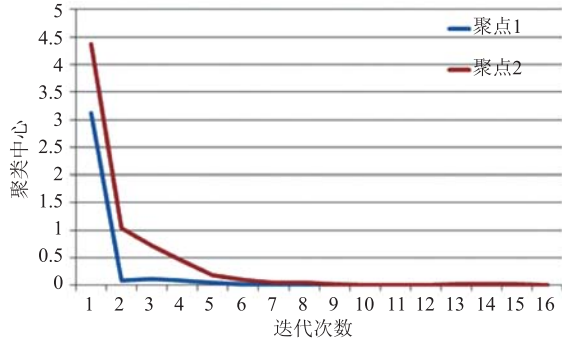


图 3 迭代过程

Fig. 3 Iteration history

由表 6 可以看出, 第一类短行程为通畅类工况, 其平均速度较高, 达到 23.43 km/h, 运行时间占比 82%; 第二类短行程为拥挤状况下的工况, 怠速时间达到 57%, 平均速度远低于第一类, 仅为 12.1 km/h。由这两类聚类点的特征值亦可知聚类分析结果正确。

表 6 两类工况特征值

Table 6 Characteristic values of two driving cycle classes

参数	单位	聚类 1	聚类 2
平均速度	km/h	23.43	12.10
最大速度	km/h	75.00	71.00
加速时间占比	%	30	16
减速时间占比	%	27	14
匀速时间占比	%	25	17
怠速时间占比	%	18	57
运行速度	km/h	28.74	28.12
速度标准偏差	km/h	18.70	17.32
最大加速度	m/s <sup>2</sup>	2.67	3.56
最小加速度	m/s <sup>2</sup>	-2.67	-2.28
加速段平均加速度	m/s <sup>2</sup>	0.56	0.63
减速段平均减速度	m/s <sup>2</sup>	-0.62	-0.67
加速度标准偏差	m/s <sup>2</sup>	0.49	0.39

## 2.4 构建工况

由聚类分析所得到的两类短行程及其特征值, 从各类短行程中随机抽取并计算其同类特征

值, 各项误差在 10% 之内的便可作为此类的代表性短行程, 为构建工况的备选短行程<sup>[16]</sup>。由备选短行程中选出总时长满足标准工况 1200 s 的短行程, 作为最后所构建的道路工况<sup>[17]</sup>。最终构建出的工况参数见表 7, 其速度时间图像如图 4 所示。

表 7 深圳 M347 路公交工况参数

Table 7 Driving cycle characteristic values of M347 bus route

参数	数值
时长(s)	1400
平均速度(km/h)	22.76
最大速度(km/h)	56
加速时间占比(%)	24.7
减速时间占比(%)	25.9
匀速时间占比(%)	17.7
怠速时间占比(%)	31.7
运行速度(km/h)	23.76
速度标准偏差(km/h)	15.98
最大加速度(m/s <sup>2</sup> )	1.56
最小加速度(m/s <sup>2</sup> )	-1.61
加速段平均加速度(m/s <sup>2</sup> )	0.59
减速段平均减速度(m/s <sup>2</sup> )	-0.58
加速度标准偏差(m/s <sup>2</sup> )	0.45

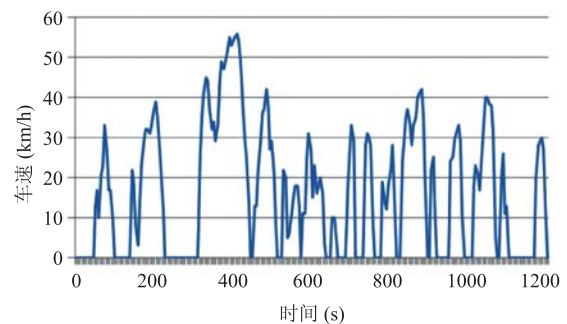


图 4 M347 路公交工况

Fig. 4 Driving cycle of M347 bus route

为验证所构建工况的有效性, 计算得出表 7 中除时长外所有参数的相对误差都在 10% 之内, 说明所构建的工况能较为真实的反映 M347

路公交车的行驶工况<sup>[18]</sup>。

### 3 结果与讨论

表 8 是所构建工况与各城市综合公交工况的对比表。可见,与其它工况相比,深圳市 M347 路公交车具有以下特点:平均车速较其他城市高,达到 22.76 km/h;最大车速低于武汉与南京两个城市,但高于广州和上海,且高于平均水平,这与城市的类型相符,也表明这条公交线路在同等城市中属较通畅线路;匀速时间占比最小,怠速时间占比 31.7%,超过其他城市,表明该线路在居民区交通拥堵,停车十分频繁。

### 4 结 论

由 M347 路公交工况构建过程及与各城市工况数据对比可以得出以下结论:

(1) 利用主成分分析法和聚类分析法相结合最后所构建的公交工况参数与实际道路工况相对比误差值在 10% 以内,能很好代表此线路道路状况。

(2) 由所构建工况可知,深圳 M347 路公交车具有总体怠速时间长、平均车速高、最大车速高的特点,与实际情况接近。

(3) 由聚类分析方法将原始短行程数据自动分为两类,很好地体现了公交车路况中郊区通畅、居民区拥堵的特点。

表 8 各公交工况特征参数对比

Table 8 Characteristic values of different driving cycles

特征参数	武汉	广州	南京	上海	M347	4STATUS
平均速度(km/h)	19.10	14.14	16.20	14.90	22.76	19.13
最大速度(km/h)	59.90	50.38	64.00	44.00	56.00	35.14
加速时间占比(%)	43.30	29.11	34.90	22.80	24.70	56.39
减速时间占比(%)	33.30	27.16	32.20	23.30	25.90	39.85
怠速时间占比(%)	23.50	17.77	17.90	31.60	31.70	3.76
最大加速度(m/s <sup>2</sup> )	1.83	—	2.30	—	1.56	0.36
最小加速度(m/s <sup>2</sup> )	-3.30	—	-2.4	—	-1.61	-0.18

### 参 考 文 献

- [1] 李孟良,李洧,方茂东,等.道路车辆实际行驶工况解析方法研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2003,27(1):69-72.
- [2] 骆元,王杰,王犹松.武汉城市公交车工况测定及分析[J].机械工程学报,2005,41(12):96-100.
- [3] Neubauer J, Brooker A, Wood E. Sensitivity of battery electric vehicle economics to drive patterns, vehicle range, and charge strategies [J]. Journal of Power Sources, 2012, 209: 269-277.
- [4] Fan JX, Zhang CN, Wang ZF, et al. Thermal analysis of permanent magnet motor for the electric vehicle application considering driving duty cycle [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2010, 46(6): 2493-2496.
- [5] Tong HY, Hung WT, Cheung CS. Development of a driving cycle for HongKong [J]. Atmospheric Environment, 1999, 33(15): 2323-2335.
- [6] Kamble SH, Mathew TV, Sharma GK. Development of real-world driving cycle: case study of Pune,

- India [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2009, 14 (2): 132-140.
- [7] Bishop JDK, Axon CJ, McCulloch MD. A robust, data-driven methodology for real-world driving cycle development [J]. *Transportation Research part D: Transport and Environment*, 2012, 17 (5): 389-397.
- [8] Lin J, Niemeier DA. An exploratory analysis comparing a stochastic driving cycle to California's regulatory cycle [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36 (38): 5759-5770.
- [9] 潘姝月. 城市公交车行驶工况的研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [10] 张全, 靳文舟. 大城市公交车行驶工况研究中的实验路线选择 [J]. *华南理工大学学报: 自然科学版*, 2005, 33 (4): 59-62.
- [11] 姜平, 石琴, 陈无畏, 等. 基于小波分析的城市道路行驶工况构建的研究 [J]. *汽车工程*, 2011, 33 (1): 70-73.
- [12] Fotouhi A, Montazeri-Gh M. Tehran driving cycle development using the k-means clustering method [J]. *Scientia Iranica*, 2013, 20 (2): 286-293.
- [13] 黄万友, 程勇, 李闯. 基于车辆能耗状态的济南市道路行驶工况构建 [J]. *西南交通大学学报*, 2012, 47 (6): 989-995.
- [14] 郑与波. 城市道路汽车行驶工况的仿真与分析 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2011.
- [15] 张文彤. *SPSS 11 统计分析教程* [M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002.
- [16] 杜爱民, 步曦, 陈礼璠, 等. 上海市公交车行驶工况的调查和研究 [J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2006, 34 (7): 943-946.
- [17] 庄继晖, 谢辉, 严英. 基于 GPRS 的电动汽车道路行驶工况自学习 [J]. *天津大学学报(自然科学版)*, 2010, 43 (4): 283-286.
- [18] Hung WT, Tong HY, Lee CP, et al. Development of a practical driving cycle construction methodology: a case study in Hong Kong [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2007, 12 (2): 115-128.