

哈尔滨城市公交工况的构建

胡 宸¹, 吴晓刚¹, 李晓军², 王晓光²

(1. 哈尔滨理工大学 电气与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 唐山市科学技术情报研究所, 河北 唐山 063000)

摘 要: 针对哈尔滨市开展新能源公交客车示范运行, 客车动力系统的匹配及其优化问题, 采用 GPS 设备对哈尔滨城市公交典型线路的运行工况进行了实测, 将记录的车速曲线分割成运动片段, 采用主成分分析法和聚类技术提炼了运动片段的特征, 进而建立了哈尔滨城市公交工况, 并分别与中国城市公交工况和曼哈顿城市公交工况的特征值进行对比分析. 分析结果表明, 哈尔滨城市公交工况的平均车速低于中国城市公交道路工况, 平均加、减速等特征值则高于中国城市公交道路工况. 怠速比例低于曼哈顿城市公交工况. 建议公交车生产及研发部门采用哈尔滨市自身的公交行驶工况, 匹配设计出更符合实际的新能源公交客车动力系统, 并通过优化控制策略, 进一步提高车辆行驶的经济性.

关键词: 公交工况; 构建方法; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: U469.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2014)01-0085-05

Construction of Harbin City Driving Cycle

HU Chen¹, WU Xiao-gang¹, LI Xiao-jun², WANG Xiao-guang²

(1. School of Electrical and Electric Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2. Tangshan Science and Technology Information Institute, Tangshan 063000, China)

Abstract: Aiming at the problems of demonstrating operation new energy vehicle in Harbin, powertrain system matching and optimizing methods of the bus, actual speed of Harbin city bus is measured by GPS and divided into kinematics sequences. The characteristic of the kinematics sequence is analyzed by principal component analysis and cluster analysis. Harbin city driving cycle is constructed and compared with Chinese city driving cycle and Manhattan city driving cycle. The results show that the average speed of Harbin city driving cycle is lower than Chinese city driving cycle, the average acceleration and deceleration speeds are higher than Chinese city driving cycle, and the idle proportion is lower than Manhattan city driving cycle. The bus production and development department in Harbin should use the Harbin city driving cycle to design and match more suitable powertrain system of the new energy bus, and improve the driving economy by optimizing control strategy.

Key words: driving cycle; construction method; principal component analysis; cluster analysis

收稿日期: 2013-07-24

基金项目: 国家自然科学基金(51105220); 黑龙江省博士后科研启动基金(LBH-Q12068).

作者简介: 胡 宸(1991—), 男, 硕士研究生, E-mail: xgwu@hrbust.edu.cn;

吴晓刚(1981—), 男, 博士, 副教授;

李晓军(1963—), 男, 教授级高级工程师.

0 引言

行驶工况用于确定车辆污染物排放量和燃油消耗量、新车型的技术开发和评估以及测定在交通控制方面的风险等,是汽车工业一项核心技术^[1].而对于城市新能源汽车动力系统匹配的研究,构建适用于本地的行驶工况有着很大意义.在不同地区工况构建以及工况构建方法的问题上,已有相关报道.文^[2]中指出欧洲工况不适用于印度金奈的汽车排放和燃油消耗的分析,因此根据实测数据构建了金奈的行驶工况.文^[3-6]皆通过对合肥市道路交通状况的调查,运用不同的多元统计学方法进行了道路汽车行驶工况的解析,建立了合肥市道路汽车行驶工况.文^[7]建立了北京市公交工况,分析指出北京市整体工况怠速比例较大,平均速度偏低.文^[8]对从GPS监测平台获取大量速度数据信息进行归纳分析合成了深圳市道路的综合行驶工况.文^[9]将SOFM神经网络算法和K均值聚类法相结合的组合聚类技术应用到工况构建的方法中,并且对所构建的工况进行了发动机载荷谱和燃油消耗量仿真分析,根据仿真结果验证了构建方法的正确性.文^[10]根据构建的某城市公交工况对混合动力公交车的控制策略进行了调整,调整后的油耗有了明显降低,从而验证了所用工况构造方法的可行性.文^[11-12]采用了马尔科夫随机过程分析法对道路工况进行了分析.文^[13]使用遗传算法对行驶工况

的构建方法进行了优化,降低了数据量,简化了运算过程.文^[4]提出将比功率加入道路工况分析的特征值中,建立了北京市的公交工况.

目前对于中国城市的公交工况研究已经涵盖大多数中国主要城市,但是对于哈尔滨市的公交工况的构建与分析还未见报道.特别是针对哈尔滨目前部分公交线路运行的新能源汽车而言,构建符合实际的哈尔滨城市公交工况,对于新能源汽车动力系统匹配及控制策略的优化有着重要的意义.本文利用GPS设备采集了哈尔滨城市典型公交线路运行工况的数据,利用主成分分析和聚类技术对工况数据进行分析处理,最终构建哈尔滨城市公交工况,并与中国城市公交工况和美国曼哈顿城市公交工况进行了对比分析,进而总结了哈尔滨城市公交道路工况的特点,为新能源公交客车动力系统匹配及控制策略优化提供一定依据.

1 公交数据采集及预处理

本文采用GPS设备,对哈尔滨目前运行新能源公交车的典型线路101和102路进行了工况的测试. GPS设备每隔1s对车辆的行驶速度进行记录,所得数据中获得大量的速度时间数据.对于原始数据段的划分,本文参考文^[15]的方法,以500s为一个数据段时长,剔除异常数据,分别计算各数据段的特征值.特征值描述如表1所示.

表1 数据特征值及其含义

特征值	a_a/s	a_d/s	a_c/s	a_i/s	S/km	$V_m/(km/h)$	$V_a/(km/h)$	$D_e/(km/h)$	$a_{m0}/(m/s^2)$	$a_{a0}/(m/s^2)$	$a_{d0}/(m/s^2)$	$a_{i0}/(m/s^2)$
特征值含义	加速时间 (加速度 $a \geq 0.1m/s^2$)	减速时间(加 速度 $a \leq -0.1m/s^2$)	匀速时间(加 速度 $-0.1m/s^2 < a < 0.1m/s^2$)	怠速 时间	行驶 距离	最大 速度	平均 速度	速度 标准差	最大 加速度	加速段平 均加速度	最大 减速度	减速段平 均减速度
特征值	$D_a/(m/s^2)$	$P_{0-10}/\%$	$P_{10-20}/\%$	$P_{20-30}/\%$	$P_{30-40}/\%$	$P_{40-50}/\%$	$P_{50-60}/\%$	$P_a/\%$	$P_d/\%$	$P_c/\%$	$P_i/\%$	
特征值含义	加速度 标准差	0-10km/h 速度比例	10-20km/h 速度比例	20-30km/h 速度比例	30-40km/h 速度比例	40-50km/h 速度比例	50-60km/h 速度比例	加速 比例	减速 比例	匀速 比例	怠速 比例	

2 主成分分析

主成分分析是一种常用的多元统计方法,其降维的思想与多指标评价序列化的要求非常接近^[14].这些主成分能够反映原始变量的大部分信息,通常表现为原始变量的线性组合,为使得这些主成分包含的信息互不重叠,要求各主成分之间互不相

关^[17]. 本文对于工况数据的分析计算了23个特征值,单一的特征值无法分析道路工况的特性,而多个特征值之间又具有一定的相关性,例如平均速度与行驶距离,这样就给特征值的分析带来一定的困难性.因此采用主成分分析方法,提取特征值的主成分进行分析.

在对特征值进行主成分分析的过程中,首先除去各速度阶段比例特征值及加减速比例,匀速比例

和怠速比例,在 Matlab 软件环境下,将剩余的 13 个特征值进行计算,得到 13 个主成分的方差,贡献率以及累计贡献率,结果如表 2 所示。

表 2 主成分贡献率

主成分	方差	贡献率 / %	累计贡献率 / %
1	6.447 7	49.6	49.6
2	3.047 3	23.44	73.04
3	1.151 9	8.86	81.9
4	0.883 3	6.8	88.7
5	0.590 4	4.54	93.23
6	0.407 6	3.14	96.37
7	0.195 3	1.50	97.88
8	0.158 6	1.22	99.1
9	0.076 4	0.59	99.68
10	0.033 7	0.26	99.94
11	0.007 2	0.06	100
12	0	0	100
13	0	0	100

主成分分析即构造原变量的一系列线性组合,使各线性组合在彼此不相关的前提下,尽可能多的反映原变量的信息,根据文 [8] 的研究可知,累计贡献率达到 80% 以上即可反映原变量的信息。从表 2 中可以看出,前四个主成分的累计贡献率以及达到 88.7% 说明这四个主成分即可代表工况特性。

表 3 显示了 13 个特征值的前 4 个主成分得分,第一主成分主要反映加速时间、减速时间、行驶距离、平均速度、最大加速度、加速度标准差。第二主成分主要反映匀速时间、加速段平均加速度、最大减速度、减速段平均减速度。第三主成分主要反映怠速时间、最大速度、速度标准差。可以得到前四个主成分的表达式如下:

$$y_1 = 0.374 6a_a + 0.349 5a_d + 0.166 2a_c - 0.365 a_i + 0.372 7S + 0.277 8V_m + 0.372 7V_a + 0.282 5D_v + 0.139 9a_{am} - 0.035 a_{aa} - 0.146 7a_{dm} - 0.063 8a_{da} + 0.308 6D_a \quad (1)$$

$$y_2 = 0.045 6a_a - 0.035 8a_d + 0.440 1a_c - 0.128 5a_i + 0.111 9S - 0.109 3V_m + 0.111 9V_a + 0.016 3D_v - 0.204 2a_{am} + 0.511 5a_{aa} + 0.292 5a_{dm} + 0.513 a_{da} - 0.311 1D_a \quad (2)$$

$$y_3 = -0.178 2a_a - 0.312 5a_d - 0.174 6a_c + 0.261 1a_i + 0.059 S + 0.543 9V_m + 0.059 V_a + 0.612 2D_v + 0.113 5a_{am} - 0.121 4a_{aa} + 0.114 2a_{dm} - 0.001 2a_{da} - 0.230 9D_a \quad (3)$$

$$y_4 = -0.001 4a_a + 0.021 2a_d + 0.034 a_c - 0.017 6a_i + 0.014 8S - 0.197 7V_m + 0.0148 V_a - 0.03 D_v - 0.818 2a_{am} - 0.088 2a_{aa} - 0.528 a_{dm} + 0.036 5a_{da} + 0.005 8D_a \quad (4)$$

式中各变量含义如表 1。

表 3 特征值主成分得分

特征值	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
a_a	0.374 6	0.045 6	-0.178 2	-0.001 4
a_d	0.349 5	-0.035 8	-0.312 5	0.021 2
a_c	0.166 2	0.440 1	-0.174 6	0.034 0
a_i	-0.365 0	-0.128 5	0.261 1	-0.017 6
S	0.372 7	0.111 9	0.059 0	0.014 8
V_m	0.277 8	-0.109 3	0.543 9	-0.197 7
V_a	0.372 7	0.111 9	0.059 0	0.014 8
D_v	0.282 5	0.016 3	0.612 2	-0.030 0
a_{am}	0.139 9	-0.204 2	0.113 5	-0.818 2
a_{aa}	-0.035 0	0.511 5	-0.121 4	-0.088 2
a_{dm}	-0.146 7	0.292 5	0.114 2	-0.528 0
a_{da}	-0.063 8	0.513 0	-0.001 2	0.036 5
D_a	0.308 6	-0.311 1	-0.230 9	0.005 8

表 4 为部分数据片段主成分得分,经过主成分分析后,将原有的数据片段特征值矩阵简化为维数更少的主成分得分矩阵,在聚类分析中将对所有数据片段的主成分得分进行分类。

表 4 部分数据片段主成分得分

片段	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
1	-7.140 2	1.948 1	-0.096 6	-0.034 9
2	-5.872 9	-2.967 2	0.562 8	0.963 5
3	-5.698 5	-1.267 8	-2.364 0	1.311 8
4	-4.629 1	-2.173 4	-0.365 3	-1.805 3
5	-4.302 1	-1.069 3	1.396 2	-1.716 1
6	-3.217 5	-0.201 3	-2.301 1	1.988 8
7	-3.137 6	1.350 9	0.573 1	0.698 6
8	-2.672 5	-2.690 9	-1.928 2	-1.175 9
9	-2.476 7	1.119 6	0.316 0	-1.196 8
10	-2.233 2	2.742 9	-1.379 1	-0.498 3

3 聚类分析

聚类分析是数据挖掘中的一种重要的计算方法,它利用样本数据变量之间的关系来表示样本之

间的关系. 通过聚类,可以将相同或者相似的对象划分到一个类或者簇中,计算这些属于同一个类的对象的平均中心可以作为该类的类中心. 类中心可以体现该类的对象的共同性质^[9]. 传统的统计聚类分析方法包括系统聚类、分层聚类法、动态聚类法、有序样品聚类、重叠聚类和模糊聚类等^[20]. 本文采用系统聚类中的类平均聚类法,利用 Matlab 软

件实现聚类. 聚类的对象为经过主成分分析后得到的各数据片段的主成分得分. 系统聚类法中需指定聚类数目,根据其他道路工况数据的分析得知,公交行驶工况一般可分为低速段、中速段和高速段,所以在聚类过程中将数据段的主成分得分分为 3 类,得到各类的平均行驶特征值如表 5 所示.

表 5 各类平均行驶特征值

特征值	a_u	a_d	a_c	a_i	S	V_m	V_a	D_c	a_{um}	a_{un}	a_{du}	a_{di}	D_a	$P_a/\%$	$P_d/\%$	$P_c/\%$	$P_i/\%$	$P_{0-10}/\%$	$P_{10-20}/\%$	$P_{20-30}/\%$	$P_{30-40}/\%$	$P_{40-50}/\%$	$P_{50-60}/\%$
第一类	89.43	93	23.29	293.29	0.63	31.29	4.54	6.95	1.79	0.74	-2.22	-0.77	0.52	17.92	18.64	4.67	58.77	81.46	12.86	4.14	1.37	0.17	0
第二类	158.92	146.56	47.44	146.08	1.89	44.85	13.61	12.5	1.87	0.66	-2.34	-0.7	0.62	31.85	29.37	9.51	29.27	46.77	21.45	17.29	11.01	3.19	0.29
第三类	198.25	178	63	59.75	2.86	47.38	20.57	12.68	1.91	0.65	-2.53	-0.75	0.72	39.73	35.67	12.63	11.97	23.75	21.2	26.38	21.93	6.5	0.25

经过处理后,得到了如图 1 所示的 3 类速度段比例. 图 2 为 3 类加速、减速、匀速、怠速比例.

由表 5 以及图 1、2 可以看出,聚类结果第一类为低速类,81.46% 左右的速度低于 10 km/h,怠速比例达到 58.77%,行驶距离仅为 0.63 km. 第二类为相对中速类,0-10 km/h 速度比例为 46.77%,加速、减速及怠速时间较接近,行驶距离为 1.89 km. 第三段为高速段,20-40 km/h 的速度占 48.31%,怠速时间仅为 11.97%,行驶距离为 2.83 km. 由三类的特征值结果也可以验证聚类分析的结果正确性.

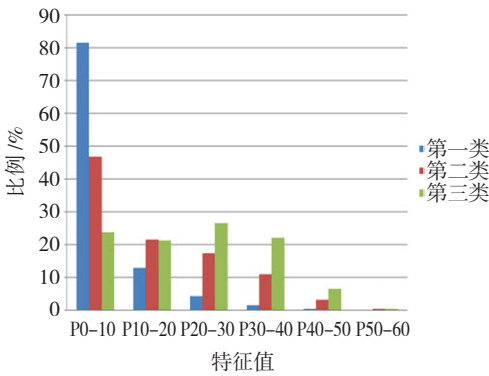


图 1 三类速度段比例

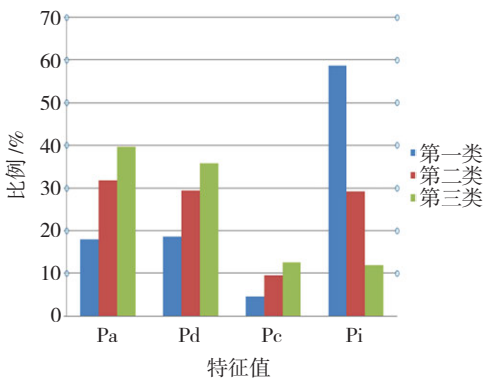


图 2 三类加速、减速、匀速、怠速比例

4 工况构建与结果分析

4.1 工况构建

对于行驶数据的分析最终目的是要合成出代表哈尔滨市公交运行的工况,根据聚类分析得到的各类平均特征值,分别计算每类中各数据片段与此类的平均特征值的相关系数,相关系数越接近 1 说明此段数据越能代表此类数据特性. 根据计算结果选出每类代表数据段. 从第一个怠速开始截取到最后一个怠速,对数据进行平滑处理后,最终截取 1400s 的工况数据,其速度时间图像如图 3 所示,工况特征值如表 6 所示.

表 6 哈尔滨市公交工况特征值

特征值	运行时间/s	a_u/s	a_d/s	a_c/s	a_i/s	S/km	$V_m/(km/h)$	$V_a/(km/h)$	$D_c/(km/h)$	$a_{um}/(m/s^2)$	$a_{un}/(m/s^2)$	$a_{du}/(m/s^2)$
结果	1 400	481	482	124	312	5.63	50	14.49	13.17	1.94	0.76	-2.22
特征值	$a_{di}/(m/s^2)$	$D_a/(m/s^2)$	$P_{0-10}/\%$	$P_{10-20}/\%$	$P_{20-30}/\%$	$P_{30-40}/\%$	$P_{40-50}/\%$	$P_{50-60}/\%$	$P_a/\%$	$P_d/\%$	$P_c/\%$	$P_i/\%$
结果	-0.75	0.72	45.57	21.21	15.71	13	4.29	0.21	34.38	34.45	8.86	22.3

由表 6 可以看出哈尔滨公交工况加减速频繁, 最大加速度值较大,怠速时间长,最大速度仅为

50 km/h, 平均速度小, 低速比例高。

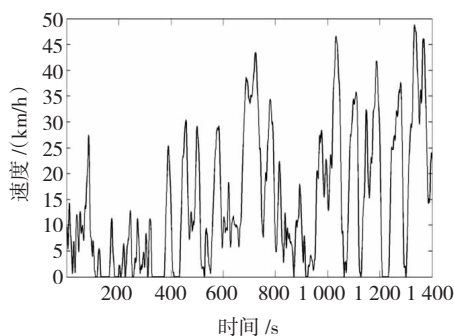


图 3 哈尔滨市公交工况

4.2 结果分析

曼哈顿公交工况是一种典型的拥堵工况, 中国公交城区工况是普遍代表中国公交情况的城市工况,

将所得的哈尔滨公交工况的部分特征值与曼哈顿公交工况、中国公交城区工况作比较可以进一步体现哈尔滨城市公交工况的特点。三种公交工况的比较结果如表 7 所示。

由表 7 可以看出, 哈尔滨城市公交工况与中国公交城区工况相比, 平均车速仅为 14.49 km/h, 低于中国城市公交道路工况。最大加速度为 1.94 m/s^2 , 高于中国公交城区工况。最大减速度 -2.22 m/s^2 , 低于中国公交城区工况。怠速时间达到了 312 s, 怠速比例为 22.29%, 略低于中国城区公交工况的 28.75%。与曼哈顿城市公交工况相比, 最高车速和平均车速均高于曼哈顿公交工况, 最大加、减速度均低于曼哈顿公交工况, 怠速比例低于曼哈顿公交工况 36.18% 的怠速比例。

表 7 不同公交工况的部分特征值对比

统计性能	循环时间/s	行驶距离/km	最高车速/(km/h)	平均车速/(km/h)	最大加速度/(m/s^2)	最大减速度/(m/s^2)	平均加速度/(m/s^2)	平均减速度/(m/s^2)	怠速时间/s
哈尔滨公交	140.0	5.63	50	14.49	1.94	-2.22	0.76	-0.75	312
曼哈顿公交	108.9	3.32	40.74	10.98	2.06	-2.5	0.54	-0.67	394
中国公交城区	130.4	5.83	59.98	16.1	1.25	-2.47	0.31	-0.43	375

5 结 论

1) 利用 GPS 设备采集哈尔滨城市公交运行工况数据, 采用主成分分析法和聚类技术对数据进行处理和分析, 构建了哈尔滨城市公交道路工况。

2) 所构建的哈尔滨城市公交道路工况与中国城市公交工况和美国曼哈顿公交工况的特征值进行对比分析, 结果表明, 不同城市公交运行工况存在一定差异。与中国城市公交工况相比, 哈尔滨城市公交工况平均车速低于中国城市公交工况, 平均加、减速度高于中国城区公交工况。与曼哈顿城市公交工况相比, 则两种工况各特征值存在差异较大。

3) 对于新能源公交所用发动机、电动机和动力电池等部件构成的动力系统而言, 不同的公交工况所匹配的结果不同, 其经济性差异也较大。因此本文所构建的工况对于哈尔滨市运行的新能源公交车动力系统匹配提供一定的依据。

参 考 文 献:

- [1] 李孟良, 张建伟, 张富兴, 等. 中国城市乘用车实际行驶工况的研究 [J]. 汽车工程, 2006, 28(2): 554-557.
- [2] 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.

- [3] 张锐. 合肥市道路行驶工况的开发与研究 [J]. 汽车科技, 2009(5): 14-18.
- [4] 郑与波, 石琴, 王世玲. 合肥市汽车行驶工况的研究 [J]. 汽车技术, 2010(10): 33-37.
- [5] ZHU Junhu, SHI Qin, ZHOU Jieyu. The City Bus Driving Cycle Construction [C] // 2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2011: 2687-2690.
- [6] 石琴, 郑玉波, 姜平. 基于运动学片段的道路行驶工况的研究 [J]. 汽车工程, 2011, 33(3): 256-261.
- [7] 刘跃明, 高谋荣, 李占玉. 深圳市城市道路汽车行驶工况调查分析 [J]. 深圳职业技术学院学报, 2010(1): 40-43.
- [8] 王鑫, 韩秀坤, 葛蕴珊, 等. 北京市公交典型行驶工况的构建 [J]. 汽车工程, 2010, 32(8): 703-706.
- [9] 石琴, 仇多洋, 周洁瑜. 基于组合聚类法的行驶工况构建与分析. 汽车工程, 2012, 34(2): 164-169.
- [10] 潘沫月, 周雅夫. 城市公交车行驶工况的研究 [J]. 机械设计与制造, 2010(2): 263-265.
- [11] JIANG Ping, SHI Qin, CHEN Wuwei, etc. Investigation of a New Construction Method of Vehicle Driving Cycle [C] // 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2009: 210-214.
- [12] LIU Li, HUANG Chaosheng, LU Bingwu, etc. Study on the Design Method of Time-variant Driving Cycles for EV Based on Markov Process, Vehicle Power and Propulsion Conference, 2012: 1277-1281.

(下转第 94 页)

- 研究进展 [J]. 中国塑料, 2009, 23(7): 12-17.
- [4] 张洪艳, 王海泉, 陈国华. 新型导电填料——纳米石墨微片 [J]. 塑料, 2006, 35(4): 42-45.
- [5] 张洪艳, 王海泉. 电场制备不饱和树脂/石墨微片复合材料的研究 [J]. 赤峰学院学报, 2009, 25(9): 165-166.
- [6] KUO W S, KO T H, LU H F. On the Thermally Conductive Behaviour of Compacted Graphite Nanosheets [J]. Micro&Nano Letters, 2010, 5(4): 219-221.
- [7] 吴新明, 齐暑华, 贺捷, 等. 高导电聚苯胺/纳米石墨微片复合材料的结构与性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2010, 26(4): 67-70.
- [8] 翁建新, 吴大军, 陈国华. 环氧树脂/石墨微片复合导电材料的导电性 [J]. 华侨大学学报, 2004, 25(4): 379-382.
- [9] 陈丹青, 蔡金超, 陈国华. 聚氨酯/纳米石墨微片复合泡沫塑料的制备及导电性能研究 [J]. 材料导报, 2009, 23(5): 21-22.
- [10] 吕明旭, 陈国华. 聚氨酯乳液/纳米石墨微片复合导电涂料的制备及其电磁屏蔽性能 [J]. 材料应用, 2008, 6: 69-72.
- [11] 翁建新, 陈国华. 环氧树脂/石墨微片复合导电材料的制备方法 [J]. 热固性树脂, 2004, 19(4): 13-15.
- [12] 张翼, 齐暑华, 段国晨, 等. 纳米石墨微片/聚丙烯酸酯导电电压敏胶的制备研究 [J]. 航空材料学报, 2011, 31(6): 62-67.
- [13] 应宗荣, 刘海生, 陈仁康, 等. 聚合物/石墨导电纳米复合材料制备方法进展 [J]. 中国塑料, 2008, 22(11): 9-14.
- [14] 陈国华, 吴翠玲, 吴大军, 等. 聚甲基丙烯酸甲酯/石墨薄片纳米复合及其导电性能研究 [J]. 高分子学报, 2003, (5): 742-745.
- [15] STANKOVICH S, DIKIN D A, DOMMETT G H B, et al. Graphene-based Composite Materials [J]. Nature, 2006, 442(1), 282-286.
- [16] ZHANG H B, ZHENG W G, YAN Q, et al. Electrically Conductive Polyethylene Terephthalate/graphene Nanocomposites Prepared by Melt Compounding [J]. Polymer, 2010, 51(5), 1191-1196.
- [17] 吴福荣. HDPE/石墨烯微片复合材料的导电性能及其 PTC 特性的研究 [J]. 厦门: 华侨大学, 2012: 30-34.
- [18] 程博, 齐暑华, 何栋, 等. 纳米石墨微片/聚氯乙烯复合材料的制备与性能 [J]. 复合材料学报, 2012, 29(1): 8-15.
- [19] 赵卫峰. 磁场诱导环氧树脂/纳米石墨微片有序复合材料及其各向异性研究 [J]. 厦门: 华侨大学, 2007: 48-52.
- [20] 王海泉, 张洪艳. 电场诱导纳米石墨微片/不饱和树脂复合薄膜的制备及其光学性能研究 [J]. 化学工程与装备, 2007(5): 21-23.

(编辑: 温泽宇)

(上接第89页)

- [13] MARIO G Perhinschi, CHRISTOPHER Marlowe, SERGIO Tamayo, etc. Evolutionary Algorithm for Vehicle Driving Cycle Generation [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2011, 61(9): 923-931.
- [14] LAI Jinxuan, YU Lei, SONG Guohua, et al. Development of City-Specific Driving Cycles for Transit Buses Based on VSP Distribution: Case of Beijing, Journal of Transportation Engineering, 2013, 139(7): 749-757.
- [15] 唐邦强, 尹志宏, 张炳力, 等. 合肥市纯电动公交工况研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2011, 35(2): 293-296.
- [16] 齐敏芳, 付忠广, 景源, 等. 基于信息熵与主成分分析的火电机组综合评价方法 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(2): 58-64.
- [17] 宋宝珍. 西安市实际道路车辆行驶工况的研究 [J]. 长安大学, 2009: 31.
- [18] 杨漪, 姚晓栋, 杨建国, 等. 基于主成分分析与 BP 神经网络相结合的机床主轴热漂移误差建模 [J]. 上海交通大学学报, 2013, 47(5): 750-753.
- [19] 陶思羽. 基于主成分分析和粗糙集的聚类分析在经济指标数据中的应用 [J]. 吉林大学, 2012: 13.
- [20] 姜洋. 聚类主成分回归在经济指标数据中的应用研究 [J]. 吉林大学, 2010: 13.

(编辑: 关毅)