

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2024.01.020

基于大数据驱动的山地环境纯电动汽车运行工况

徐婷婷¹, 龙方家¹, 胡晓锐¹, 朱蜀江^{*2}

(1. 国网重庆市电力公司, 重庆 400015; 2. 中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122)

摘要: 针对纯电动汽车日益增多趋势, 采用传统燃油车工况的方式已经不再适用于纯电动汽车工况研究。为获取专用于纯电动汽车的行驶工况并从数据的角度将其与传统工况进行比较, 首先, 根据重庆地区的纯电动汽车行驶数据, 利用专有的大数据平台的整车和电池数据, 采用了改进的短行程法, 筛选出运动片段; 然后, 采用特征工程的相关方法构造运动片段特征, 对高维特征数据采用主成分分析方法进行数据降维并计算特征权重, 以消除特征的相关性影响; 之后, 采用 K-means++ 聚类方法对行车速度和电池电流曲线进行结构划分, 从而构建低速、中速、中高速、高速 4 种类型的工况类型。接下来, 通过对每一类工况以聚类中心点为原点进行距离排序, 筛选出最合适的短时工况, 以数据集中各类工况的总时长与数据集总时长的比值作为各类工况的权重, 采用加权组合的方式对工况进行拼接; 然后通过误差分析, 选取特征偏离误差最小的一条工况曲线作为代表工况, 从而确定整车和电池的代表工况。最后, 通过对比国际国内现有典型工况, 证明了在山地环境下纯电动汽车工况曲线的可靠性。结果表明: 与非山地环境相比, 山地环境下纯电动汽车匀速行驶时间更短, 怠速行驶时间更长, 减速度更大, 减速时间占比更小; 电池放电效能更高; 车速保持在适中水平。

关键词: 汽车工程; 行驶工况; 主成分分析; 运动学片段; K-means++ 聚类分析; 纯电动汽车; 山地环境

中图分类号: U467

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2024) 01-0177-09

Battery Electric Vehicle's Driving Cycle in Mountain Environment Based on Big Data

XU Ting-ting¹, LONG Fang-jia¹, HU Xiao-rui¹, ZHU Shu-jiang^{*2}

(1. State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 400015, China;

2. China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122, China)

Abstract: In view of the trend of battery electric vehicles increasing, it is no longer applicable to use traditional fuel vehicle's driving cycle for battery electric vehicle's driving cycle research. In order to obtain the driving cycle of the battery electric vehicle and compare with the traditional driving cycle from the data point of view, firstly, according to the driving data of the battery electric vehicle in Chongqing area, by using the whole vehicle and battery data of the proprietary big data platform, the short-stroke method is adopted to screen out the kinematic fragments. Then, the feature of kinematic fragments is constructed by the correlation method of feature engineering, and the dimension of high-dimensional feature data is reduced by principal component analysis and the feature weight is calculated to eliminate the influence of feature correlation. Next, K-means++ clustering method is used to partition the structure of the driving speed and battery current

收稿日期: 2022-08-01

基金项目: 国网重庆市电力公司科技项目 (5220002000C0)

作者简介: 徐婷婷 (1990-), 女, 重庆人, 硕士. (825328370@qq.com)

* 通讯作者: 朱蜀江 (1992-), 男, 重庆人, 硕士. (695699484@qq.com)

curves, and thus to construct 4 types of working conditions of low speed, medium speed, medium-high speed and high speed. Moreover, the most suitable short-time working conditions are selected by sorting the distance of each working condition with the cluster center as the origin, the ratio of the total duration of the data set to the total duration of the data set is taken as the weight of the data set. Then, through the error analysis, the characteristic deviation error of the smallest curve is selected as a representative of the working condition, so as to determine the representative of the vehicle and battery working conditions. Finally, the reliability of battery electric vehicle operating curve in mountain environment is proved by comparing the international and domestic typical operating conditions. The result shows that (1) compared to non-mountainous environments, in mountain environment, pure electric vehicles have shorter constant speed driving times, longer idling times, greater deceleration and a smaller proportion of deceleration time; (2) battery discharge efficiency is higher, and the vehicle speed is maintained at a moderate level.

Key words: automotive engineering; driving cycle; principal component analysis; kinematic fragment; K-means++ clustering analysis; battery electric vehicle; mountain environment

0 引言

汽车行驶工况是对汽车行驶过程中的速度时间关系的描述^[1],研究不同地区的汽车行驶工况,能够体现不同地貌环境、不同城市对汽车行驶的影响。

在我国工况研究发展的初期,引入欧洲的新欧洲驾驶循环周期(NEDC)工况对我国的汽车进行分析和认证^[2]。随着中国的汽车数量不断增多,中国广袤多样的地理环境以及车型对汽车行驶的影响愈发明显,NEDC工况对中国的行驶工况描述所产生的偏差也愈发明显。针对这个问题,大量学者结合不同的地理环境、车型等开展了大量的研究,推出了新的工况。

蔡锷等基于西安市的汽车数据,构建了西安市汽车行驶工况^[3];徐婷等采集G318川藏公路的试验车数据,利用马尔科夫链法构建了高原山区乘用车行驶工况^[4];孙骏等采用合肥公交数据进行聚类构建了电动运营客车工况^[5];刘昱等采集41个城市乘用车数据,利用加权组合构建了全国乘用车工况^[6],并作为“中国工况”的重要组成部分^[7];Tong在开发香港电力巴士工况时,增加了车辆功率特征^[8];胡正云使用片段划分和蒙特卡罗模拟优化方法,构建了高精度的西安市乘用车工况^[9];汪雯琦采用滑窗法对运动片段进行怠速处理,划分出3类最优片段类型,进行工况构建^[10];胡志远等利用10辆车连续12个月的行驶数据构建了大样本下的上海市乘用车行驶工况^[11]。

根据中国汽车工业协会数据显示,2019年及2020年的全国新能源车产销均在100万辆以上,预计2026年将达到280万辆^[12]。随着新能源汽车的发

展,针对新能源汽车工况开发的意义也越来越重要,余曼等采用均值聚类和SVM相结合的半监督学习方法构建了西安电动汽车工况^[13];阙海霞等^[14]使用多种方法分别对西安电动汽车进行工况开发;李耀华等^[15]对西安纯电动城市客车进行分类,解析出拥堵行驶、一般行驶、通常行驶3种典型工况;徐小俊等^[16]通过对电动车和传统车分别构建行驶工况进行对比,发现工况存在明显差异;潘登^[17]从运动学特征和统计学特征出发构建了插电式混合动力汽车循环工况^[17]。当前对新能源汽车特别是纯电动汽车的工况研究较浅,主要局限于数据量小,数据特征仍考虑传统汽车特征。

本研究对怠速片段和停车区间优化后,进行运动片段提取,并在车速特征基础上,增加了电池特征构建特征库,采用PCA降维、K-means++聚类、加权组合等方法构建整车和电池的工况,并进行多种工况对比分析,反映纯电动汽车在重庆山地环境下的真实行驶情况。

1 工况构建

利用自建的新能源汽车国家监测与管理平台西南分中心大数据分析平台(以下简称西南分中心大数据平台),实时采集一秒一帧的纯电动汽车行驶数据,纯电动汽车行驶工况开发流程如图1所示,首先对采集到的数据进行数据预处理操作,然后对清洗后的数据进行运动片段短行程划分,以运动片段为统计单元进行特征提取,并对构建的特征进行主成分分析,达到特征降维的目的,随后对运动片段进行聚类分析,根据聚类结果进行候选工况合成,最后对候选工况进行误差验证,筛选出误差最小的

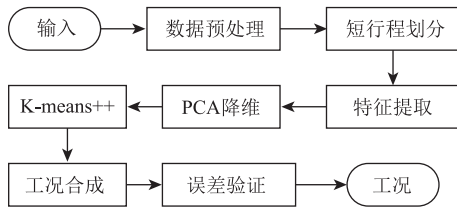


图1 行驶工况开发流程

Fig.1 Process of driving cycle development

最终工况曲线输出。

1.1 数据采集及数据预处理

重庆是典型的山地城市,山地面积超过75%,坡度25°以上的土地占20%。通过西南分中心大数据平台采集2020年8月16日至2021年2月7日的试验纯电动车在重庆地区的行驶数据,以及相同时段同款车型在北京地区的行驶数据。数据采集的时间间隔为1s,包含时间、里程、速度、经纬度、电流等参数。

由于环境变化以及设备误差等因素的影响,采集到的数据会存在一些异常值,需要经过必要的预处理之后才能使用。车速筛选步骤如下:

(1) 删除明显异常的数据项,如时间重复、经纬度异常、车速异常、加速度异常导致的毛刺等问题。

(2) 线性插值填补缺失数据。考虑到时间间隔越大,汽车行驶情况越复杂,仅对缺失1s的数据进行线性插值填补。

(3) 怠速异常处理。针对长时间车速<10 km/h且不全为0的行驶情况,作为怠速异常进行处理,仅保留前180s行驶数据。

(4) 停车异常处理。针对长时间车速为0的行驶情况,作为停车异常进行处理,仅保留前5s和最后5s的数据作为停车和起步阶段进行后续分析。

数据处理前后数据数量对比如表1所示,取数据预处理后的前2000s数据,绘制车速-时间曲线如图2所示。

表1 数据预处理前后数量对比

Tab.1 Quantity comparison before and after data preprocessing

数据处理阶段	数据数量/条
原始数据	949 601
删除异常值后	947 181
填补1s缺失后	947 424
处理异常怠速和停车后	350 207

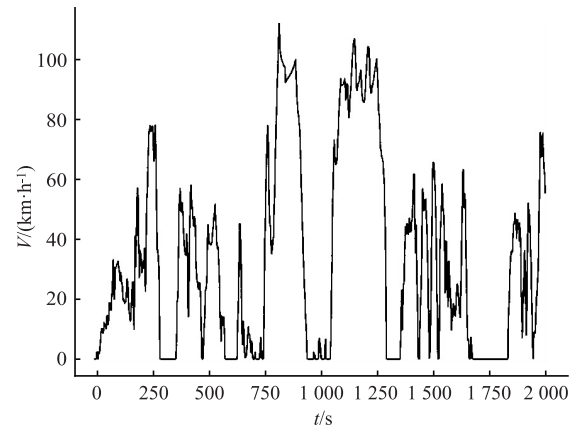


图2 车速-时间图

Fig.2 Velocity-time graph

1.2 运动学片段特征构建

1.2.1 运动学片段划分

运动学片段是指包含了汽车匀速、加速、减速、怠速4种运动状态的一段行驶数据区间^[18],划分运动学片段的最佳方式是以怠速状态开始为起点,并以下一个怠速状态开始前一时刻为终点。运动学片段示意图如图3所示。

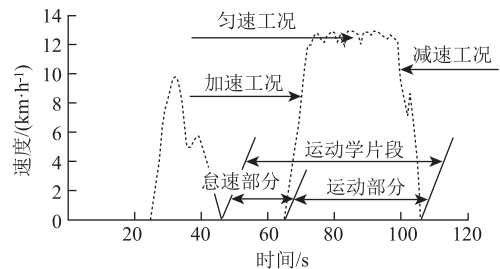


图3 运动学片段示意图

Fig.3 Schematic diagram of kinematic fragments

根据运动学片段定义,将预处理后的数据划分为多个候选片段,为了提高运动学片段对实际行驶情况的代表性,还需要对候选运动学片段进行筛选,仅保留片段时长大于20s、片段内时间缺失率小于10%,且片段内时间缺失不超过10s的运动学片段。运动学片段筛选前后数量变化对比如表2所示。

表2 运动学片段筛选前后数量对比

Tab.2 Quantity comparison of kinematic fragments before and after screening

阶段	运动学片段数量/条
筛选前	1 422
剔除时间长度少于20s后	1 398
剔除缺失时间大于10%后	1 233
剔除时间缺失超过10s后	1 161

1.3 特征降维与 K-means++聚类

1.3.1 PCA 特征降维

选取与整车运动相关的 12 个特征指标和 4 个统计学指标, 与电池运行相关的 12 个特征指标和 2 个统计学指标, 共 30 个指标。特征维度较高, 如表 4 所示运动学片段特征计算特征间相关系数矩阵, 表明部分特征存在一定的相关性, 故考虑对其进行特征降维。采用 PCA 主成分分析法对特征进行降维, 具体步骤如图 4 所示。

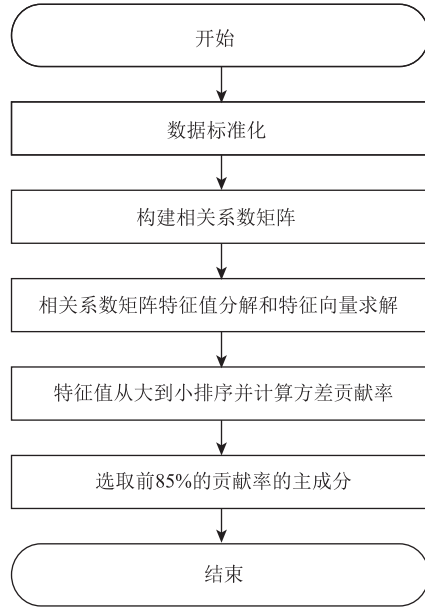


图 4 主成分分析步骤

Fig. 4 Steps for principal components analysis

经计算得到前 6 个主成分的方差贡献率达到 87%, 各个主成分方差贡献率如表 5 所示, 故取前 6 个主成分, 每一个运动学片段都由一个新的 6 维向量表示, 如表 6 所示。

表 5 各主成分方差贡献率

Tab.5 Variance contribution rate of each principal component

主成分	P1	P2	P3	P4	P5	P6	...
方差贡献率/%	51.62	12.65	9.89	5.69	4.86	2.93	...
累计贡献率/%	51.62	64.27	74.16	79.85	84.71	87.64	...

表 6 部分运动学片段主成分特征值

Tab.6 Principal component eigenvalues of partial kinematic fragments

运动片段序号	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	-3.58	-1.828	-0.18	-0.33	-0.45	1.25
2	4.92	-0.07	-1.25	0.28	0.35	0.16
3	1.35	2.22	0.26	-1.47	1.35	0.81
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 161	3.05	-1.43	-0.15	-0.20	0.81	-1.05

1.3.2 K-means++聚类

K-means 算法是最常用的无监督聚类算法, 需要先确定聚类的超参数 K 值和随机初始化质心, 并根据距离计算公式不断更新质心, 直至收敛。K-means 算法的初始质心选择是随机的, 这种方式对最后的聚类结果以及聚类算法运行的时间都有很大的影响。K-means++聚类方法对 K-means 算法的初始值选择方法进行改进, K-means++算法步骤如下:

(1) 确定聚类的类簇数 K 值;

(2) 随机选择一个数据点作为第一个质心 μ_1 ;

(3) 对剩余的每个数据点, 计算其与已确定的质心最小欧氏距离:

$$d(x_i) = \min \|x_i - \mu_s\|_2^2, s = 1, 2, \dots, K_{\text{selected}}; \quad (1)$$

(4) 根据 $d(x_i)$ 对剩余数据点进行加权, 确定一个新的质心;

(5) 重复步骤 (3) 和 (4), 直至确定 K 个质心;

(6) 将 K 个质心作为初始化质心进行 K-means 聚类。

对于超参数 K 值的确定, 采用轮廓系数 (Silhouette Coefficient) 和 SSE (组内误差平方和) 手肘法相结合来进行选择。轮廓系数图和 SSE 分布图如图 5 所示, 选择的原则为轮廓系数越大, SSE 值越小, 且类簇数适中。结合轮廓系数和 SSE 结果, 优先选择 5 个类簇对样本数据进行聚类, 但实际计算中, 5 类运动片段中, 其中 1 类片段不满足时长要求, 从而退化为 4 个类簇。取 $K=4$, 进行 K-means++聚类, 考虑到最大值类型的特征不适合进行取均值处理, 仅取其中 21 项特征值, 聚类中心如表 7 所示。

分析表 7 中不同类簇中的特征值可以发现:

第 1 类的运动学片段怠速时间比例、电池放电时间占比远高于其他 3 类, 但平均速度、平均行驶速度、电池充电时间占比、电池平均放电电流都小于其他 3 类。结合这些指标, 可以得到第 1 类运动学片段所描述的纯电动车的运动特征: 汽车运行速度较低, 长时间处于等候状态。第 1 类运动片段描述汽车在交通拥堵的情况下的低速行驶工况。

第 2 类的运动学片段在怠速时间比例、加速时间比例、减速时间比例、匀速时间比例、电池放电时间占比、电池充电时间占比 6 个指标中与第 3 类基本一致, 与第 4 类有部分相似, 但平均速度、平均行驶速度、速度标准差、平均加速度、加速度标准差、平均减速度、减速度标准差、电池相关特征指标均小于第

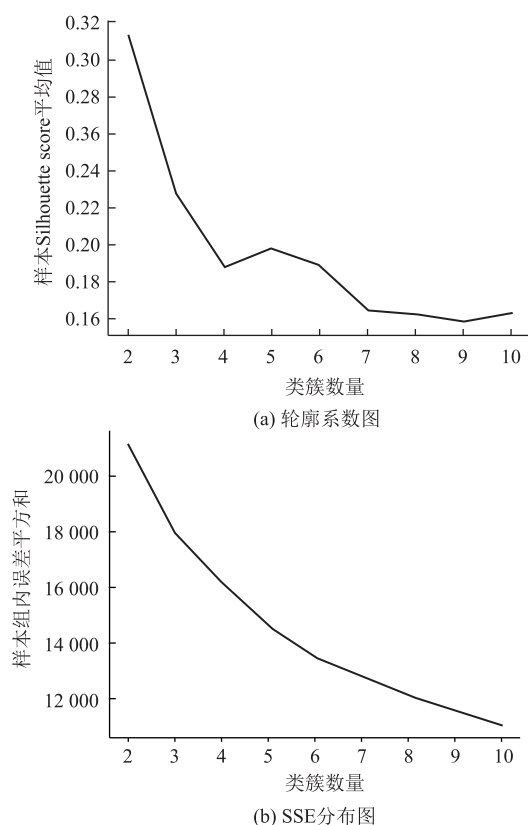


图5 轮廓系数图和SSE分布图

Fig. 5 Silhouette coefficients and SSE distributions

表7 K-means++聚类中心

Tab. 7 K-means++ clustering center

特征	类簇1	类簇2	类簇3	类簇4
T_i	0.55	0.13	0.15	0.07
T_a	0.20	0.36	0.37	0.40
T_d	0.17	0.34	0.34	0.37
T_e	0.08	0.17	0.14	0.16
V_m	12.13	22.89	35.08	53.68
V_{mr}	24.60	25.73	40.88	57.44
V_s	13.51	12.12	20.51	25.30
A_m	0.54	0.45	0.55	0.57
A_s	0.38	0.31	0.41	0.47
D_m	0.53	0.44	0.58	0.62
D_s	0.42	0.34	0.47	0.51
T_f	0.85	0.67	0.69	0.69
T_b	0.13	0.31	0.30	0.30
I_f^m	11.12	18.93	32.99	52.73
I_f^s	16.14	18.61	31.49	46.17
Ib_m	-9.75	-9.46	-20.28	-30.34
Ib_s	10.13	9.19	16.16	23.38
IA_m	6.25	8.18	15.03	25.26
IA_s	9.45	10.59	19.23	30.74
ID_m	-5.60	-10.42	-18.16	-28.98
ID_s	11.28	13.68	24.08	36.42

3类、第4类。结合这些指标,可以得到第2类运动学片段所描述的纯电动车的运动特征:汽车行驶速度较低,但并未遇到大量拥堵。第2类运动片段描述汽车在道路通畅的道路的安全中低速行驶工况,但速度较低,多与用户驾驶习惯有关,更加注重安全。

第3类的运动片段怠速时间比例是第4类的两倍,其余特征指标均小于第4类,结合这些指标,可以得到第3类运动学片段所描述的纯电动车的运动特征:汽车运行速度适中,且并未遇到大量拥堵。第3类运动片段与第2类运动片段相似,描述汽车在道路通畅的城区的中高速行驶工况。

第4类的运动片段怠速时间比例是4类运动片段中最小的,仅为0.07,其他指标均为4类运动片段中最大值,结合这些指标,可以得到第4类运动学片段所描述的纯电动车的运动特征:汽车行驶速度较高,且很少有遇到拥堵。第4类运动片段描述汽车在郊区或高速公路的高速行驶工况,车辆较长时间处于高速行驶状态。

1.4 候选工况合成及验证

1.4.1 运动片段提取及拼接

参考NEDC, WLTC以及中国CATC工况,并考虑到运动学片段完整性,将纯电动汽车的行驶工况时长限制在1 500~2 300 s。各类簇片段时长范围计算方式如式(2)所示:

$$T_k = T_{\text{total}} \times \frac{\sum_{i=1}^m t_{i,k}}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m t_{i,k}}, \quad (2)$$

式中, T_k 为候选工况中第 k 类运动片段时长; T_{total} 为最终工况总时长; $t_{i,k}$ 为第 k 类运动片段第 i 个片段时长。

将 T_{total} 等于1 500和2 300代入式(2),可计算出各类片段满足时长要求的时长范围,其中低速片段时长为173~266 s,中低速片段时长为267~410 s,中高速片段时长为575~880 s,高速片段时长为485~744 s。计算各类簇与该类质心的距离计算:

$$d_{i,k} = \|x_{i,k} - \mu_k\|, \quad (3)$$

式中, $d_{i,k}$ 为第 k 类运动片段第 i 个片段到质心的距离; $x_{i,k}$ 为第 k 类运动片段第 i 个片段的特征向量表达式; μ_k 为第 k 类运动片段第 i 个片段的质心向量表达式。

为避免选择到类别模糊的运动片段,在拼接每一类的运动片段时,根据质心距离选择离质心较近

的满足时长要求的片段, 进行组合拼接, 共构建 12 个候选工况。

1.4.2 工况误差分析验证

构建好候选工况集合后, 还需进行误差分析, 一方面是为了从候选工况中筛选出误差最小的工况作为最终工况, 另一方面是为了验证最终工况的准确性。误差分析的方法是计算各个合成工况的 21 个

显著特征指标, 并将计算出的指标分别与总体数据的相应指标值进行对比, 计算出候选工况与总体数据的平均误差率, 结果如表 8 所示。12 个候选工况与总体数据的各项指标值均不存在较大偏差, 平均误差在 5%~7% 之间, 说明构建的工况与实际运行特征拟合度较高。选取误差率最小的一个工况作为代表工况, 其平均误差率为 5.53%。

表 8 候选工况误差分析

Tab. 8 Error analysis on candidate driving cycles

特征	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总体数据
T_i	0.22	0.18	0.20	0.17	0.20	0.16	0.21	0.17	0.19	0.16	0.19	0.15	0.17
T_a	0.35	0.37	0.37	0.38	0.36	0.38	0.36	0.38	0.38	0.39	0.37	0.39	0.36
T_d	0.31	0.32	0.31	0.32	0.32	0.33	0.31	0.32	0.32	0.33	0.32	0.33	0.33
T_e	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14
V_m	34.3	36.9	34.2	36.7	34.8	37.0	33.7	36.4	33.8	36.2	34.3	36.5	36.2
V_{mr}	43.0	44.3	42.2	43.5	42.6	43.7	41.9	43.3	41.2	42.6	41.7	42.9	43.0
V_s	22.7	21.6	22.0	21.1	21.8	20.9	22.3	21.4	21.7	21.0	21.6	20.8	24.7
A_m	0.53	0.51	0.53	0.52	0.53	0.52	0.53	0.51	0.53	0.51	0.53	0.51	0.54
A_s	0.42	0.43	0.42	0.43	0.42	0.43	0.42	0.42	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42
D_m	0.59	0.58	0.61	0.60	0.58	0.58	0.58	0.58	0.60	0.59	0.57	0.57	0.57
D_s	0.45	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.46	0.45	0.46	0.46	0.45	0.45	0.47
T_f	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.74	0.74	0.73	0.73	0.71
T_b	0.26	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.26	0.26	0.28
$I f_m$	31.6	33.9	33.8	35.5	34.2	35.7	31.0	33.3	33.2	34.9	33.6	35.1	33.7
$I f_s$	34.6	34.3	35.2	34.8	34.7	34.4	34.0	33.9	34.7	34.4	34.2	34.0	36.9
$I b_m$	21.8	22.5	21.8	22.5	21.3	22.0	21.5	22.2	21.5	22.2	21.1	21.7	21.0
$I b_s$	18.1	17.8	18.1	17.8	17.3	17.2	17.8	17.6	17.8	17.6	17.1	17.0	19.5
$I A_m$	19.0	19.7	19.1	19.7	18.6	19.3	18.3	19.1	18.5	19.2	18.0	18.8	16.2
$I A_s$	23.5	23.3	23.1	23.0	22.7	22.7	22.9	22.9	22.7	22.7	22.2	22.3	23.0
$I D_m$	21.2	22.7	21.6	23.0	21.1	22.6	20.8	22.4	21.3	22.7	20.9	22.2	18.7
$I D_s$	27.9	27.3	27.7	27.0	27.0	26.5	27.5	26.9	27.3	26.8	26.6	26.2	27.6
误差率/%	6.19	6.51	6.44	7.0	5.53	6.54	6.47	6.34	6.91	6.95	5.99	6.44	—

1.5 工况输出

通过误差分析筛选出了代表工况, 代表工况时长为 1 589 s, 其中低速、中低速、中高速、高速时间分别为 189, 257, 853 s 和 290 s。根据工况的车速、电池电流分别绘制重庆山地环境纯电动汽车整车工况曲线和电池工况曲线, 如图 6、图 7 所示。

2 对比分析

利用上述构建工况的方法, 对北京地区的同款车型构建北京纯电动汽车整车工况和电池工况, 将重庆纯电动汽车整车工况与北京纯电动汽车整车工况以及现有的 NEDC, WLTC, CLTC-P 进行比较, 主要指标如表 9 所示。将重庆和北京纯电动汽车的电池工况进行比较, 主要指标如表 10 所示。

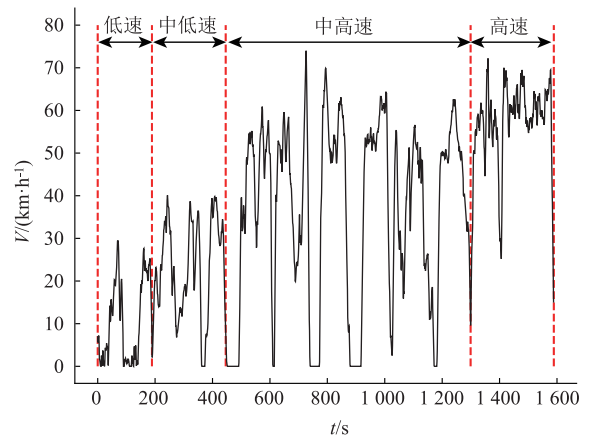


图 6 重庆纯电动汽车整车工况曲线

Fig. 6 Vehicle duty cycle curve of battery electric vehicles in Chongqing

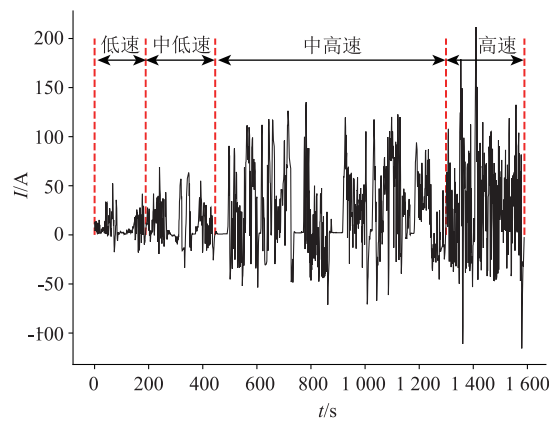


图7 重庆纯电动汽车电池工况曲线

Fig.7 Battery condition curve of battery electric vehicles in Chongqing

表9 重庆纯电动汽车整车工况与其他工况对比

Tab.9 Vehicle duty cycle v. s. other cycles battery electric vehicles in Chongqing

特征指标	重庆整车 合成工况	北京整车 合成工况	NEDC	WLTC	CLTC-P
总时长/s	1 589	2 035	1 180	1 800	1 800
总路程/m	15.36	19.67	11.00	23.20	14.48
平均车速/ (km·h ⁻¹)	34.80	34.80	33.60	46.40	28.96
平均运行车速/ (km·h ⁻¹)	42.60	40.1	43.50	53.20	37.18
平均加速度/ (m·s ⁻²)	0.53	0.54	0.53	0.53	0.45
平均减速度/ (m·s ⁻²)	-0.58	-0.52	-0.75	-0.58	-0.49
加速时间比例/%	36.00	36.50	23.30	30.90	28.61
减速时间比例/%	32.00	36.00	16.60	28.60	26.44
匀速时间比例/%	12.00	13.50	37.50	27.80	22.83
怠速时间比例/%	20.00	14.00	22.60	12.70	22.12

表10 重庆与北京纯电动汽车电池工况对比

Tab.10 Comparison of battery conditions of battery electric vehicles in Chongqing v. s. Beijing

特征指标	重庆电池 工况	北京电池 工况
总时长/s	1 589	2 035
平均放电电流/A	34.20	29.60
平均能量回收电流/A	21.30	17.90
平均放电加速度/(A·s ⁻¹)	18.60	15.90
平均能量回收加速度/(A·s ⁻¹)	21.10	18.80
放电时间比例/%	74	71
能量回收时间比例/%	26	29

对比分析发现,纯电动汽车整车工况与NEDC在平均车速、平均运行车速、平均加速度上相差不大,但在其他特征上差距明显;与WLTC相比,除了平均加速度和平均减速度相似,其他特征均存在明显差异;与CLTC-P相比,各项特征指标均存在显著差异。对比重庆和北京的纯电动汽车整车工况,重庆的平均减速度比北京大11.5%,且减速时间比例比北京小,怠速时间比例比北京大。从电池工况角度对比发现重庆的电池工况除了能量回收时间比例比北京低,其余各项特征均大于北京电池工况,存在明显的地理环境带来的差异。

3 结论

本研究利用改进的短行程法对运动片段进行分解,增加电池特征指标,采用主成分分析和K-means++聚类分析,加权组合构建山地环境纯电动汽车整车工况和电池工况。工况与实际行驶数据的平均误差为5.53%,说明了其对纯电动车实际行驶情况描述的准确性。通过对比分析,验证了本研究所构建的山地环境纯电动汽车工况与经典工况之间存在显著差异,并通过与所构建的北京地区的纯电动汽车工况进行对比,验证了山地环境对行驶工况存在的影响,证明了本研究所构建的工况的有效性。

在山地环境下,纯电动汽车行驶工况的特点是匀速行驶时间占比少,怠速行驶时间占比高,减速度相比非山地环境大,减速时间占比相比非山地环境小,电池放电过程效能比非山地环境大,车速保持在适中水平。后续在本研究基础上可以采集更多地区的纯电动车行驶数据,一方面可以构建不同地理环境纯电动汽车的行驶工况,另一方面可以验证山地环境与非山地环境的差异性。

参考文献:

References:

- [1] HUERTAS J I, DÍAZ J, CORDERO D, et al. A New Methodology to Determine Typical Driving Cycles for the Design of Vehicles Power Trains [J]. Springer Paris, 2018, 12 (1): 319-326.
- [2] 张建伟,李孟良,艾国和,等. 车辆行驶工况与特征的研究 [J]. 汽车工程, 2005, 27 (2): 220-224, 245.
ZHANG Jian-wei, LI Meng-liang, AI Guo-he, et al. A Study on the Features of Existing Typical Vehicle Driving Cycles [J]. Automotive Engineering, 2005, 27 (2): 220-224, 245.
- [3] 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.
- CAI E, LI Yang-yang, LI Chun-ming, et al. Research on Synthetic Technique of Driving Cycle in Xi'an Based on K-means Clustering [J]. Automobile Technology, 2015 (8): 33-36.
- [4] 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.
- [5] 孙骏, 方涛, 张炳力, 等. 基于改进 K-均值聚类算法的合肥市电动客车行驶工况构建[J]. 汽车技术, 2020 (8): 56-62.
- SUN Jun, FANG Tao, ZHANG Bing-li, et al. Construction of Hefei Electric Buses Driving Cycle Based on Improved K-means Clustering [J]. Automobile Technology, 2020 (8): 56-62.
- [6] 刘昱, 吴志新, 李孟良, 等. 中国乘用车工况构建[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20 (3): 233-240.
- LIU Yu, WU Zhi-xin, LI Meng-liang, et al. Development of China Light-duty Passenger Car Test Cycle [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20 (3): 233-240.
- [7] GB/T 38146.1—2019, 中国汽车行驶工况 第1部分: 轻型汽车[S].
- GB/T 38146.1—2019, China Automotive Test Cycle—Part 1: Light-duty Vehicles [S].
- [8] TONG H Y. Development of a Driving Cycle for a Super Capacitor Electric Bus Route in Hong Kong [J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 48 (7): 101588.
- [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] 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.
- [11] 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 Zhi-yuan, QIN Yan, TAN Pi-qiang, et al. Large-sampled-based Car-driving Cycle in Shanghai City [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2015, 43 (10): 1523-1527.
- [12] 高驰. 把握形势 聚焦转型 引领创新 记 2020 中国电动汽车百人会论坛[J]. 汽车与配件, 2020 (3): 26-29.
- GAO Chi. Grasp the Situation, Focus on Transformation, Lead Innovation: Recording 2020 China Electric Vehicle Hundreds Conference Forum [J]. Automobile & Parts, 2020 (3): 26-29.
- [13] 余曼, 赵炜华, 吴玲, 等. 基于 K-均值聚类和支持向量机的电动汽车行驶工况研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, 40 (5): 129-139.
- YU Man, ZHAO Wei-hua, WU Ling, et al. Working Condition of Electric Vehicle Based on K-mean Clustering and Support Vector Machine [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2021, 40 (5): 129-139.
- [14] 阙海霞, 宋若旻, 兰海潮, 等. 电动汽车城市行驶工况构建方法研究[J]. 汽车实用技术, 2020, 45 (22): 10-13.
- QUE Hai-xia, SONG Ruo-yang, LAN Hai-chao, et al. Research on Construction Method of Electric Vehicle Urban Driving Conditions [J]. Automobile Applied Technology, 2020, 45 (22): 10-13.
- [15] 李耀华, 刘鹏, 杨伟, 等. 西安市纯电动城市客车行驶工况研究[J]. 中国科技论文, 2016, 11 (7): 754-759.
- LI Yao-hua, LIU Peng, YANG Wei, et al. Research on Xi'an Pure Electric Bus Driving Cycle [J]. China Sciencepaper, 2016, 11 (7): 754-759.
- [16] 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 Xiao-jun, LI Jun, LIU Yu, et al. The Development of Electric Vehicles Urban Driving Cycle [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17 (35): 330-336.
- [17] 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.
- PAN Deng. Study on Urban Driving Cycle Construction and Its Multi-scale Prediction for Hybrid Electric Vehicles [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [18] 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 (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 (3): 182-184, 188.