

纯电动客车电耗测试研究

李伟聪, 李荣康, 雷代良

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要:分析电动汽车在实际道路上和在台架上的电耗测试结果偏差较大的影响因素,设计电耗测试对比方案。结果表明,更加准确的道路阻力系数测定、恰当的路谱数据处理方法,以及有经验的驾驶员,可有效降低实际道路测试电耗值与台架测试电耗值的相对偏差。

关键词:电动客车; 底盘测功机; 道路行驶; 电耗测试

中图分类号:U462.3⁺1

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2024)04-0024-04

Research on Power Consumption Test of Pure Electric Buses

LI Weicong, LI Rongkang, LEI Dailiang

(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: The authors analyze the influence factors of significant deviations for the power test results of electric vehicles on actual roads and on test benches, and design the comparison schemes of power consumption test. The results indicate that more accurate determination of the road resistance coefficient, appropriate road spectrum data processing methods, and the skilled driver can effectively reduce the relative deviation of the power consumption values between the actual road test and the bench test.

Key words: electric bus; chassis dynamometer; road driving; power consumption test

电量消耗量是电动汽车的关键指标之一,其影响着车辆的纯电续航里程,故受到广大用户的关注。电量消耗量既可以在实际道路上测试,也可以在底盘测功机台架上测试。台架测试具有可重复性高、不受试验道路限制等优势,但存在测试结果与实际道路测试结果偏差较大的问题。有关学者也开展了电动汽车电耗的实际道路测试研究^[1-2]。

本文基于实际公交工况和等速工况,通过实际道路和台架模拟两种方法测试某纯电动客车的电耗,并分析影响测试结果的主要因素,提出优化措施,最后对优化效果进行验证。这对提高电动汽车电耗测试结果的准确性具有积极意义。

数见表1。该车符合技术要求,运行状态正常,在相同的车辆状态下分别进行道路和台架测试。

表1 车辆主要配置参数

名称	数值
整车整备质量/kg	12 800
整车允许最大质量/kg	17 800
轴距/mm	5 900
驱动电机型号	GLMP250L2
车辆外形尺寸/mm	11 950×2 540×3 350
前/后轮距/mm	2 101/1 836
满载前/后轴载分配/kg	6 300/11 500
轮胎型号	275/70R22.5

1 电耗测试方案与结果

1.1 试验车辆

试验车辆为一辆12 m纯电动城市客车,主要参

1.2 道路测试

1.2.1 电耗测试

1) 选取某市1路公交线作为城市公交工况电耗

收稿日期:2024-05-29。

第一作者:李伟聪(1980—),男,工程师;主要从事车辆试验检测技术和标准化研究等工作。E-mail:liweicong@163.com。

测试道路,试验里程约为 17 km;选取某市环线作为等速工况电耗测试道路,试验里程约为 20 km。

2) 测试时,环境温度为 25.8~27.4℃,相对湿度 83%RH~87%RH,平均风速为 1.8~2.1 m/s。

3) 在 1 路线和环线上分别开展 4 次电耗测试。

1.2.2 路谱采集

道路测试时,同步采集含速度、坡度特征的路谱数据,用于台架电耗测试。路谱数据采集系统精度为 0.1%,采样频率设为 100 Hz。路谱数据如下:

1) 城市公交工况下的“速度-时间”曲线和“坡度-时间”曲线分别如图 1 和图 2 所示。整个工况的行驶时间共计 3 893 s,速度变化范围为 0~70 km/h,坡度变化范围为-10%~10%。

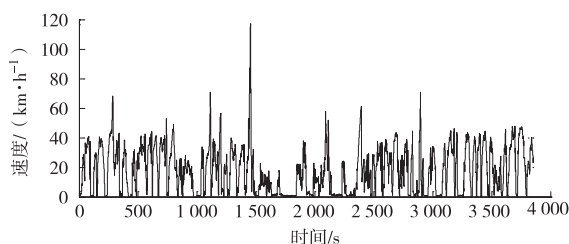


图 1 公交工况“速度-时间”曲线

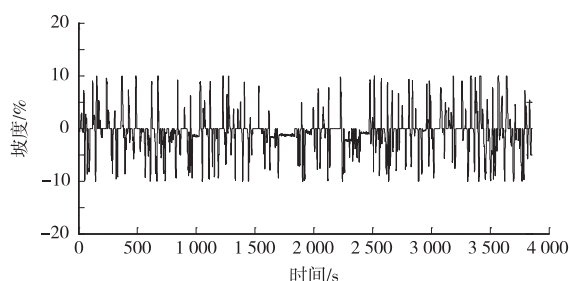


图 2 公交工况“坡度-时间”曲线

2) 等速工况下的“速度-时间”曲线和“坡度-时间”曲线分别如图 3 和图 4 所示。整个工况的行驶时间为 924 s,车辆速度在 35~40 km/h 之间,坡度变化范围为-5%~10%。

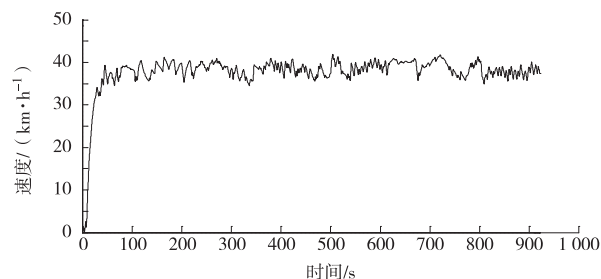


图 3 等速工况“速度-时间”曲线

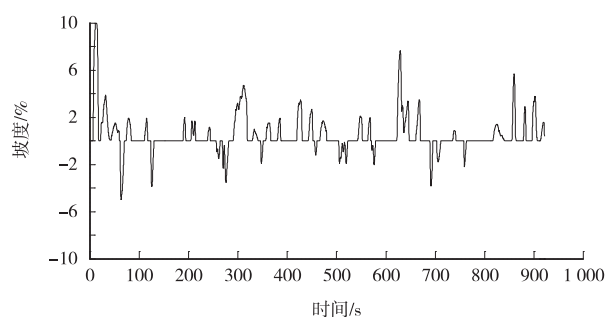


图 4 等速工况“坡度-时间”曲线

1.3 台架测试

1) 分别将道路测试时采集的城市公交工况和等速工况路谱数据导入底盘测功机台架,在两种工况下同样各开展 4 次电耗测试。

2) 底盘测功机的速度误差 ≤ 0.02 km/h,响应时间 ≤ 100 ms。

3) 测试时,室内温度为 22.3~23.7℃,相对湿度为 87%RH~89%RH,台架测试环境与道路测试环境接近。

1.4 测试结果

两种工况下的实际道路测试和台架测试电耗数据见表 2 和表 3,电量测量仪精度误差 $\leq 0.2\%$ 。

1) 在城市公交工况下,试验车辆的实际道路测试和台架测试电耗结果见表 2。

表 2 城市公交工况道路测试与台架测试电耗数据

次数	地点	输出电量/ kW·h	回收电量/ kW·h	电耗值/ kW·h
1	道路	15.722	-6.389	9.333
	台架	17.703	-8.881	8.822
2	道路	16.084	-6.817	9.267
	台架	18.363	-9.774	8.589
3	道路	15.055	-5.965	9.134
	台架	18.199	-10.133	8.066
4	道路	15.623	-6.366	9.257
	台架	17.555	-9.291	8.264

3) 在等速工况下,试验车辆的实际道路测试和台架测试电耗结果见表 3。

表 3 等速工况道路测试与台架测试电耗数据

次数	地点	输出电量/ kW·h	回收电量/ kW·h	电耗值/ kW·h
1	道路	11.365	-1.572	9.793
	台架	11.028	-0.983	10.045
2	道路	10.742	-1.340	9.402
	台架	10.362	-1.918	8.444
3	道路	11.553	-1.570	9.983
	台架	10.919	-1.386	9.553
4	道路	11.299	-1.642	9.657
	台架	10.524	-1.606	8.918

2 电耗结果及影响因素分析

2.1 电耗结果分析

在城市公交工况和等速工况下,计算试验车辆在实际道路和底盘测功机台架上的电耗值的相对偏差 δ ,计算公式如下:

$$\delta=\frac{E_r-E_b}{E_r}\times 100\%$$

式中: E_r 为实际道路测试的电耗值; E_b 为台架测试的电耗值。

根据表 2、表 3 数据,分别计算两种工况下 4 次电耗值的相对偏差,结果见表 4。

表 4 电耗相对偏差 %

次数	城市公交工况相对偏差	等速工况相对偏差
1	5.48	-2.57
2	7.32	10.19
3	11.69	4.51
4	10.73	7.65

由表 4 可知,台架测试与实际道路测试的车辆电耗值偏差较大,城市公交工况下的 4 组电耗测试数据平均误差为 8.8%;等速工况下的 4 组电耗测试数据平均误差为 6.23%。总体来说等速工况相对偏差小于城市公交工况相对偏差。

2.2 电耗影响因素分析

查阅相关文献^[3-5],结合电耗测试结果,发现引起台架测试结果与实际道路测试结果差异的主要因素有阻力系数、路谱采集及驾驶品质。

2.2.1 阻力系数的影响

在相对平坦的普通道路和试验场标准道路上,用试验样车进行滑行试验,分别获得滑行的道路阻力系数 1 和阻力系数 2。在台架上利用滑行的阻力系数 1 和 2,以及国家标准^[6]推荐的阻力系数 3,分别进行等速工况下的台架电耗测试(以排除路谱等其他因素的影响),结果见表 5。并在 1.2.1 节中的环线道路上进行等速工况的电耗测试,折算后的百公里电耗值为 55.12 kW·h。

表 5 不同阻力系数下台架电耗结果

系数	A	B	C	百公里电耗值/(kW·h)
系数 1	694.03	22.908	-0.1835	65.51
系数 2	726.15	11.543	0.1827	60.28
系数 3	828.18	3.876	0.1816	45.85

由表 5 可知,台架测试时,不同的阻力系数对电动汽车电耗测试结果影响明显。一方面准确的行驶阻力系数是台架准确模拟道路载荷的前提;另一方面,阻力系数测量对道路条件要求较高,在试验场标准道路上进行滑行试验,可以获得更准确的阻力系数,从而让台架测试结果与相应的实际道路测试结果更为接近。

2.2.2 路谱数据的影响

在路谱数据采集过程中,存在因信号干扰使采集数据超限而失真、路面颠簸导致采集速度数据跳变、加减速时车体俯仰带来坡度数据偏差等诸多问题。为减小采集的路谱数据对台架测试结果精度的影响,需要对采集的路谱数据进行进一步处理:通过参数限制处理以减小数据的失真;利用 5 点滑动平均法^[7]对速度曲线进行平均滤波处理以减小数据波动、消除随机误差;进行加减速坡度削弱处理,以提高路谱数据的准确性。通过以上方法处理 1 路线路谱数据(城市公交工况)后,再分别进行车辆实际道路和台架电耗测试,结果见表 6。

表 6 公交工况下路谱处理前后的电耗数据

地点	电耗值/kW·h	相对偏差/%
道路	9.257	—
台架	8.267(路谱处理前)	10.73
	9.958(路谱处理后)	7.57

由表6可知,基于处理后的路谱数据,车辆台架测试与相应的实际道路测试的电耗值的相对偏差得到较大改善,误差由10.73%下降至7.57%。

2.2.3 驾驶品质的影响

在进行台架测试时,由于驾驶场景改变,受驾驶习惯、驾驶预判等因素影响,车辆会发生试验曲线偏离实际路谱曲线的情况,从而导致台架测试和道路测试的电耗出现较大差异。针对该问题,考虑车辆行驶过程中受道路交通状况的影响,将加速、减速、匀速和

停车这4种行驶模式按以下规则进行划分^[8]:停车模式定义为动力电池组电源接通,给驱动电机系统供电,而实际车速为零的行驶状态;加速模式定义为车辆加速度 $>0.15\text{ m/s}^2$ 的连续行驶过程;减速模式定义为加速度 $<-0.15\text{ m/s}^2$ 的连续行驶过程;匀速模式定义为瞬时加速度 $\leq 0.15\text{ m/s}^2$ 的行驶过程。通过测试与计算,1路线公交工况和环线等速工况的4种模式结果见表7。

表7 车辆在道路与台架上的行驶参数对比

工况形式	测试方式	电耗值/kW·h	加/减速时间比例/%	匀速时间比例/%	停车时间比例/%	能量回馈比例/%
等速工况	道路试验	9.983	10.58/6.94	82.48	0	13.59
	台架试验	9.533	9.97/7.69	82.34	0	12.69
公交工况	道路试验	9.267	28.93/24.10	27.49	19.48	42.38
	台架试验	8.589	32.29/26.89	21.16	19.66	53.23

结合表2、表3和表7有关数据,可知:

1) 在等速工况(环线)下,车辆实际道路行驶过程车速基本稳定在40 km/h,匀速时间占比为82.48%;台架试验时,驾驶难度较小,台架实际匀速时间占比82.34%。台架电耗值为9.533 kW·h,实际道路电耗值为9.983 kW·h,二者相对偏差为4.31%。

2) 在公交工况(1路线)下,车辆实际道路行驶过程加/减速时间占比合计53.03%,路况复杂;台架试验时,驾驶员预判较为困难,车辆频繁加速和制动,驾驶难度较大,台架实际加/减速时间占比合计59.18%,较实际道路的加/减速时间占比高6.15%。台架测试电耗值为8.589 kW·h,道路测试电耗值为9.267 kW·h,二者相对偏差为7.31%。

3) 驾驶品质的改善主要依赖于驾驶员的经验,特别是在公交工况下的台架试验,需要驾驶员对照测试路谱曲线进行精准的驾驶预判,使得台架实际加/减速时间占比趋近于相应的道路行驶实际值,从而可以有效减少台架测试电耗值的相对偏差。

3 结束语

纯电动汽车的台架测试电耗值与相应的实际道路测试电耗值会存在一定偏差。通过更加准确的道路阻力系数测定、恰当的路谱数据处理方法,以及使用有经验的驾驶员,可有效降低台架测试电耗值的相

对偏差。建议进一步深入研究使用台架测试电耗的影响因素,如采用踏板执行器等自动执行机构代替驾驶员,不断提高台架测试结果的准确性。

参考文献:

- [1] 陈光,戴天禄,王晓兵,等. 基于实际道路的电动汽车能耗分析[J]. 交通技术,2019(6):376-386.
- [2] 高洁,肖宇,李长宇,等. 插电式混合动力汽车实际道路行驶的排放与能耗对比分析[J]. 资源与环境科学进展,2022(1):16-20.
- [3] 初亮,蔡健伟,富子丞,等. 纯电动汽车制动能量回收评价与试验方法研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2014,42(1):18-22.
- [4] 郑与波,石琴,王世龄. 合肥市汽车行驶工况的研究[J]. 汽车技术,2010(10):33-37.
- [5] 胥加林,王洪亮,谷文豪,等. 基于多信息融合的路面坡度识别研究[J]. 南京理工大学学报,2016,40(3):339-342.
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部. 重型商用车燃料消耗量:GB/T 27840—2021[S]. 北京:中国标准出版社,2021:1-36.
- [7] 马建明,周长城. 数据采集与处理技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,1999:255-260.
- [8] 黄万友,程勇,纪少波,等. 驾驶员的驾驶品质对纯电动汽车能耗的影响[J]. 北京理工大学学报,2013,33(2):144-150.