

基于 2023 EB-PAC 的新能源公交车 性能评价与结果解析

赵永刚, 尚志诚, 张超, 司电成

(招商局检测车辆技术研究院有限公司, 重庆 401329)

摘要:介绍新能源公交车性能评价赛评价体系及其演变过程,基于 2023 EB-PAC 测试结果,分析比赛的各米组纯电动公交车在节能、续航、舒适性、动力性、EMC 等方面的平均水平,并为纯电动公交车的技术研发提供建议。

关键词:2023 EB-PAC; 新能源公交车; 性能评价; 结果解析

中图分类号:U469.72

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2023)05-0034-05

Performance Evaluation and Result Analysis of New Energy City Buses Based on 2023 EB-PAC

ZHAO Yonggang, SHANG Zhicheng, ZHANG Chao, SI Diancheng

(China Merchants Testing Vehicle Technology Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401329, China)

Abstract:The authors introduce the evaluating system and evolution process for new energy city bus performance assessment competition, analyze the average level of energy-saving, driving range, dynamic performance, comfort, electromagnetic compatibility of different length buses in competition based on the test results, and give some suggestions on the technological development of pure electric city bus.

Key words:2023 EB-PAC; new energy city bus; performance evaluation; results analysis

由交通运输部科学研究院、中国公路学会客车分会、中国道路运输协会城市客运分会、西部科学城重庆高新区管理委员会、招商局检测车辆技术研究院有限公司等单位联合主办的 2023 全国新能源公交车性能评价赛(EB-PAC)圆满落幕。该比赛自 2018 年首次举办以来,已成功举办四届,累积共有来自全国的 50 家企业、80 款车型参赛。通过比赛测评,反映了近年来我国新能源公交车技术进步和质量提升情况^[1]。本文结合 2023 年 EB-PAC 测试结果,分析比较新能源公交车在节能、续航、舒适性、动力性、EMC 等方面的平均水平和差异情况,并为新能源公交车的技术研发提供建议。

1 评价项目演变历程

经多年发展,结合公交车的应用场景,依据现行国家标准,逐步确定了节能、动力、续航、安全、舒适、EMC 等评价项目,完善了相关测试方法和测试设备,形成了 EB-PAC 评价体系^[2-3],相关评价项目演变过程见表 1。前三届相关评价项目主要变化详见参考文献[3],2023 年的主要变化为:

- 1) 节能行驶工况方面。按 GB/T 38146.2—2019^[4]中国城市客车行驶工况(CHTC-B)行驶 32.9 km(6 个循环)。
- 2) 舒适性方面。增加 30 km/h 脉冲输入平顺性项目。

收稿日期:2023-08-16。

第一作者:赵永刚(1982—),男,硕士;高级工程师;主要从事新能源汽车整车及核心部件技术研究、试验检测、缺陷分析、标准制修订等工作。E-mail:zhaoyonggang@cmhk.com。

3) 电磁兼容性方面。2020 年为附加摸底项, 不
进行评分^[3]; 2023 年进行驾驶员处和后排座椅处的

表 1 EB-PAC 评价项目演变过程

| 年份 | 节能 | 续驶 | 动力 | 舒适 | 安全 | EMC | |
|------|------------------------|-------------------|----------|---|---------------------|---|---|
| 2018 | 自定工况百 公里电耗 | 自定工况续 驶里程 | 爬坡 时间 | 0 ~ 50 km/h 加速时间 50 km/h 匀速噪声 | - | - | |
| 2019 | 自定工况百 公里电耗 | 自定工况续 驶里程 | 爬坡 时间 | 30 ~ 60 km/h 加速时间 50 km/h 匀速噪声 | - | 30 km/h 随机 输入平顺性 涉水 安全 | |
| 2020 | CHTC-B 工 况百公里电 耗 | CHTC-B 工 况续驶里程 | 爬坡 时间 | 30 ~ 60 km/h 加速时间 50 km/h 匀速噪声 | 0 ~ 50 km/h 加速噪声 | 40 km/h 随机 输入平顺性 涉水 安全 | 驾驶员头部 1 测点。测 试 0 ~ 60 km/h 加速、40 km/h 低频磁场发射强度 |
| 2023 | CHTC-B 工 况百公里电 耗 | CHTC-B 工 况续驶里程 | 爬坡 时间 | 30 ~ 60 km/h 加速时间 50 km/h 匀速噪声 | 0 ~ 50 km/h 加速噪声 | 40 km/h 随机 输入平顺性; 30 km/h 脉冲 输入平顺性 涉水 安全 | 驾驶员脚部 1 测点、后排 3 测点。测试 0 ~ 60 km/h 加速、40 km/h 低频 磁场发射强度 |

2 赛事概况

赛前对所有参赛车辆型号、车长、整备质量、轮胎气压、动力电池、生产企业、总储电量、驱动电机及整车绝缘报警信息等参数进行核查。按规定进行配载, 5~7 m 车型装载 1.5 t; 8~10 m 车型装载 2 t; 10 m 以上车型按 3 t 装载。

比赛所用测试设备及仪器均在检定/校准有效期内, 测试设备主要包括车辆综合性能测试仪、汽车噪声测试系统、功率分析仪、温度计、振动分析仪和 EMC 测试系统等。

2023 年 7 月 16 日, 来自全国各地的 11 家主流客车生产企业携 17 款各型新能源公交车参加了评价赛。赛前抽签确定参赛车辆出发顺序和测试小组。进行车内噪声、平顺性、加速性能、爬坡性能、涉水安全、EMC 性能、节能和续驶里程相关项目的比赛测试。

3 综合性能评分规则

根据节能、续驶、动力、舒适和 EMC 性能评价项目相关指标测试结果, 对各单项性能进行评分。然后按表 2 的权重系数, 进一步对车辆性能进行综合评分。

表 2 评分权重分配表

| 一级指标 | | 二级指标 | | 三级指标 | |
|----------------|-----|------------------|------|---------|-----|
| 项目 | 权重 | 项目 | 权重 | 项目 | 权重 |
| 节能 | 40% | 百公里电耗 | 100% | - | - |
| 续驶 | 20% | 续驶里程 | 100% | - | - |
| 动力 | 15% | 爬坡时间 | 40% | - | - |
| | | 加速时间 | 60% | - | - |
| 舒适 | 20% | 匀速车内噪声 | 40% | 驾驶员耳旁噪声 | 60% |
| | | | | 后桥上方噪声 | 40% |
| | | 加速车内噪声 | 30% | 驾驶员耳旁噪声 | 60% |
| | | | | 后桥上方噪声 | 40% |
| 平顺性 | 30% | 随机输入后桥 上方座椅振动 | 60% | | |
| | | 脉冲输入后桥 上方座椅振动 | 40% | | |
| EMC | 5% | 匀速低频磁场 发射强度 | 50% | 驾驶员脚部 | 50% |
| | | 最后-排座椅位置 | 50% | | |
| 加速低频磁场 发射强度 | 50% | 驾驶员脚部 | 50% | | |
| | | 最后-排座椅位置 | 50% | | |
| 安全 | 否决项 | 涉水安全 | 否决项 | - | - |

4 测试结果分析

沿用上一届分析方法^[3],即通过对比各米组内车型测试结果的平均值、测试结果最大值与最小值的比值(简称“最大值/最小值”),来分析相关技术的基本情况和车型间差异性,以及历年的变化情况。

4.1 节能性分析

赛事在7月高温酷暑下开展,全程试验开启空调调整车内前、中、后温度至 $26\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,各米组车型百公里耗电量较往届增加明显,反映了车辆的季节适应性^[5]。8~10 m组、10~11 m组、11~12 m组百公里电耗平均值见表3,较往届最高值分别高出16.1%、22.9%、0.2%。百公里电耗最大值/最小值见表3,组内车辆耗电量差距变大,10~11 m组为3.84,表明节能技术差距在扩大。

表3 百公里电耗平均值(kW·h)与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|---------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2018年 | — | — | 87.91 | 100.21 |
| | 2019年 | — | 56.97 | 65.66 | 74.04 |
| | 2020年 | — | 48.07 | 61.45 | 72.87 |
| | 2023年 | 56.86 | 66.13 | 108.03 | 100.37 |
| 最大值/最小值 | 2018年 | — | — | 1.54 | 1.73 |
| | 2019年 | — | 1.42 | 1.71 | 1.82 |
| | 2020年 | — | 1.40 | 1.65 | 1.43 |
| | 2023年 | 1.45 | 1.75 | 3.84 | 2.05 |

4.2 续驶里程分析

各米组动力电池储电量平均值较往届最高值变化不明显(在 $\pm 2\%$ 以内),因百公里电耗增加,8~10 m组、10~11 m组、11~12 m组CHTC-B工况推算续驶里程分别较上一届下降了9.2%、29.0%、22.1%,具体数据见表4。推算续驶里程最大值/最小值见表4,10~11 m组差距变大。

4.3 动力性分析

爬坡时间平均值见表5,各米组爬坡时间整体上略有增加。爬坡时间最大值/最小值见表5,8~10 m组差距较大。

加速时间平均值见表6,整体上各米组加速时间呈降低趋势。10~11 m组加速性能近年来持续提升,

加速时间整体降低了24.1%。加速时间最大值/最小值见表6。

表4 推算续驶里程平均值(km)与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|---------|-------|--------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2018年 | — | — | 258.82 | 296.61 |
| | 2019年 | — | 318.59 | 434.20 | 454.98 |
| | 2020年 | — | 313.05 | 479.56 | 463.05 |
| | 2023年 | 182.40 | 284.00 | 340.30 | 360.50 |
| 最大值/最小值 | 2018年 | — | — | 2.71 | 3.12 |
| | 2019年 | — | 2.57 | 2.31 | 1.82 |
| | 2020年 | — | 2.01 | 2.54 | 1.48 |
| | 2023年 | 2.45 | 2.02 | 5.26 | 1.98 |

表5 爬坡时间平均值(s)与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|---------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2018年 | — | — | 8.39 | 8.90 |
| | 2019年 | — | 7.15 | 7.47 | 7.48 |
| | 2020年 | — | 7.52 | 7.86 | 7.78 |
| | 2023年 | 8.4 | 9.29 | 8.64 | 8.52 |
| 最大值/最小值 | 2018年 | — | — | 1.36 | 1.78 |
| | 2019年 | — | 1.25 | 1.22 | 1.26 |
| | 2020年 | — | 1.28 | 1.26 | 1.37 |
| | 2023年 | 1.28 | 1.68 | 1.41 | 1.28 |

表6 加速时间平均值(s)与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|---------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2018年 | — | — | 10.90 | 11.05 |
| | 2019年 | — | 10.62 | 10.06 | 11.65 |
| | 2020年 | — | 9.96 | 9.37 | 8.53 |
| | 2023年 | 8.78 | 10.18 | 8.28 | 8.88 |
| 最大值/最小值 | 2018年 | — | — | 2.19 | 1.78 |
| | 2019年 | — | 2.54 | 2.41 | 2.64 |
| | 2020年 | — | 2.23 | 2.04 | 1.55 |
| | 2023年 | 1.09 | 2.54 | 1.95 | 2.37 |

4.4 舒适性分析

4.4.1 匀速行驶噪声

1) 匀速行驶驾驶员耳旁噪声平均值见表7,10~11 m组较上一届降低了1.9%,最大值/最小值见表7。

表7 匀速行驶驾驶员耳旁噪声平均值(dB(A))
与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|-------------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2018年 | — | — | 66.12 | 65.17 |
| | 2019年 | — | 67.74 | 65.56 | 64.92 |
| | 2020年 | — | 66.47 | 66.43 | 65.09 |
| | 2023年 | 68.7 | 68.2 | 65.2 | 65.45 |
| 最大值/ 最小值 | 2018年 | — | — | 1.13 | 1.09 |
| | 2019年 | — | 1.03 | 1.08 | 1.12 |
| | 2020年 | — | 1.07 | 1.12 | 1.10 |
| | 2023年 | 1.09 | 1.09 | 1.14 | 1.14 |

2) 匀速行驶后桥上方噪声平均值见表8, 10~11 m、11~12 m 组后桥上方匀速噪声降低趋势明显, 较首届分别降低了 5.0%、8.9%。后桥上方噪声最大值/最小值见表8。

表8 匀速行驶后桥上方噪声平均值(dB(A))
与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|-------------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2018年 | — | — | 67.89 | 69.25 |
| | 2019年 | — | 69.94 | 66.46 | 67.47 |
| | 2020年 | — | 67.32 | 66.04 | 65.44 |
| | 2023年 | 67.7 | 69.5 | 64.5 | 63.08 |
| 最大值/ 最小值 | 2018年 | — | — | 1.14 | 1.08 |
| | 2019年 | — | 1.13 | 1.13 | 1.19 |
| | 2020年 | — | 1.15 | 1.19 | 1.15 |
| | 2023年 | 1.09 | 1.16 | 1.16 | 1.11 |

4.4.2 加速行驶噪声

1) 加速行驶驾驶员耳旁噪声平均值见表9, 10~11 m 组驾驶员耳旁加速噪声降低了 3.6%。驾驶员耳旁噪声最大值/最小值见表9。

表9 加速行驶驾驶员耳旁噪声平均值(dB(A))
与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|-------------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2020年 | — | 70.18 | 68.68 | 66.74 |
| | 2023年 | 70.3 | 69.7 | 66.2 | 67.89 |
| 最大值/ 最小值 | 2020年 | — | 1.14 | 1.17 | 1.13 |
| | 2023年 | 1.12 | 1.15 | 1.15 | 1.24 |

2) 加速行驶后桥上方噪声平均值见表10, 8~10 m 组降低了 4.8%。后桥上方噪声最大值/最小值见表10。

表10 加速行驶后桥上方噪声平均值(dB(A))
与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|-------------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2020年 | — | 74.06 | 71.98 | 70.78 |
| | 2023年 | 71.8 | 70.5 | 71 | 73.88 |
| 最大值/ 最小值 | 2020年 | — | 1.21 | 1.17 | 1.14 |
| | 2023年 | 1.15 | 1.22 | 1.34 | 1.25 |

4.4.3 平顺性

1) 随机输入平顺性平均值见表11, 各米组随机输入平顺性改善趋势明显, 较上一届提升了 22.2%~37.9%。随机输入平顺性最大值/最小值见表11, 2023年 8~10 m、10~11 m 组内部差距减小。

表11 随机输入平顺性平均值(m/s^2)与最大值/最小值

| | 年份 | 5~7 m | 8~10 m | 10~11 m | 11~12 m |
|-------------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 平均值 | 2019年 | — | 0.147 | 0.106 | 0.094 |
| | 2020年 | — | 0.135 | 0.116 | 0.107 |
| | 2023年 | 0.098 | 0.105 | 0.072 | 0.08 |
| 最大值/ 最小值 | 2019年 | — | 7.92 | 3.59 | 1.66 |
| | 2020年 | — | 2.02 | 1.95 | 1.80 |
| | 2023年 | 2.48 | 2.82 | 1.77 | 2.26 |

2) 30 km/h 脉冲输入平顺性为 2023 年新增测评项目。5~7 m、8~10 m、10~11 m、11~12 m 组脉冲输入平顺性平均值分别为 $9.77 m/s^2$ 、 $9.26 m/s^2$ 、 $10.13 m/s^2$ 、 $10.54 m/s^2$, 组内最大值/最小值分别为 2.03、2.17、4.94、2.6。脉冲输入平顺性 8~10 m 组表现较好。

4.5 EMC 分析

匀速和加速行驶低频磁场发射强度最小裕量(简称“裕量”)为 2023 年新增测评项目。

4.5.1 匀速行驶裕量

1) 5~7 m、8~10 m、10~11 m、11~12 m 组驾驶员处匀速行驶裕量平均值分别为 38.94 dB、38.38 dB、47.02 dB、42.82 dB, 组内最大值/最小值分别为 1.16、1.83、1.08、1.43。

2) 5~7 m、8~10 m、10~11 m、11~12 m 组后排座椅处匀速行驶裕量平均值分别为 35.93 dB、34.85 dB、34.70 dB、38.59 dB, 组内最大值/最小值分别为 2.04、2.33、1.96、1.57。

可见, 驾驶员处表现优于后排座椅处, 驾驶员处 8~10 m 组较好, 而后排座椅处 11~12 m 组较好, 8~10 m 组内差距较大。

4.5.2 加速行驶裕量

1) 5~7 m、8~10 m、10~11 m、11~12 m 组驾驶员处加速行驶裕量平均值分别为 35.11 dB、38.43 dB、46.14 dB、39.87 dB, 组内最大值/最小值分别为 1.41、1.84、1.1、1.28。

2) 5~7 m、8~10 m、10~11 m、11~12 m 组后排座椅处加速行驶裕量平均值分别为 16.48 dB、26.28 dB、27.81 dB、28.03 dB, 组内最大值/最小值分别为 15.17、3.47、4.48、3.51。

可见, 驾驶员处加速行驶裕量优于后排座椅处, 5~7 m 组后排座椅处最大值/最小值为 15.17, 表明组内车型车尾部的电磁防护技术水平差距较大。

4.6 相关建议

1) 提高能量管理的季节适应性水平。根据使用需求, 对不同温度、环境、使用工况等开展研究, 包括降低行驶阻力、制动能量回馈、提高动力系统效率、降低附件的能耗、提升整车能量管理智能化控制水平等。

2) 结合电动汽车特点, 除了关注整车相关性能外, 还需进一步关注与乘客体验密切相关的车内附

件、座椅、空调等在各工况下的品质表现, 缩小电磁兼容技术差距, 提升车辆的综合性能和乘客体验。

5 结束语

发展新能源汽车是我国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路。自 2018 年首届 EB-PAC 举办以来, 我国新能源汽车由弱到强, 进入加速发展的新阶段。通过分析各届 EB-PAC 的能耗水平、续航里程、动力性、舒适性和 EMC 等测试结果, 可从新能源公交车的角度反映出我国新能源汽车技术的发展。后续 EB-PAC 将根据新能源汽车技术的发展情况和趋势, 动态优化相关评价规则和项目, 引领我国新能源公交车高质量发展。

参考文献:

- [1] 叶磊, 李成, 白崑, 等. 纯电动公交车测评体系简介[J]. 客车技术与研究, 2020, 42(4): 57-59.
- [2] 叶磊, 彭冲, 张涛, 等. 基于 EB-PAC 的纯电动城市客车性能水平分析[J]. 客车技术与研究, 2020, 42(5): 52-53.
- [3] 马琦媛, 杨超. 基于 EB-PAC 的纯电动公交车测试结果对比分析[J]. 客车技术与研究, 2022, 44(6): 56-60.
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部. 中国汽车行驶工况 第 2 部分: 重型商用车辆: GB/T 38146.2—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019: 3-4.
- [5] 刘鹏, 李成, 崔丁松, 等. 纯电动城市客车实际能耗及影响因素大数据分析[J]. 客车技术与研究, 2022, 44(1): 56-59.