

基于 EB-PAC 的纯电动公交车测试结果对比分析

马琦媛¹, 杨 超²

(1. 中国公路车辆机械有限公司, 中国公路学会客车分会, 北京 100013;

2. 招商局检测车辆技术研究院有限公司, 电动汽车安全评价重庆市工业和信息化重点实验室, 重庆 401329)

摘 要:对比分析前三届全国新能源公交车性能评价赛(简称 EB-PAC)的评价项目、规则及测试结果,并提出有关建议。

关键词:纯电动公交车; EB-PAC; 性能评价; 对比分析

中图分类号:U469.72

文献标志码:B

文章编号:1006-3331(2022)06-0056-05

Comparative Analysis on Test Results of Pure Electric Buses Based on EB-PAC

MA Qiyuan¹, YANG Chao²

(1. China Highway Vehicle & Machinery Co., Ltd., China Highway and Highway Society Bus Branch, Beijing 100013,

China; 2. China Merchants Testing Vehicle Technology Research Institute Co., Ltd., Safety Evaluation of Electric

Vehicles Chongqing Key Laboratory of Industry and Information Technology, Chongqing 401329, China)

Abstract:The authors compare and analyze the evaluation projects, rules and test results of the first three sessions of national Electric Bus Performance Assessment Competition (EB-PAC) and provide relevant suggestions.

Key words:pure electric bus; EB-PAC; performance evaluation; comparative analysis

自 2016 年起,每年新增及更换的公交车辆中电动公交车占比均超过 85%,2021 年占比达 98.9%。截至 2021 年底中国电动公交车超过 50 万辆、占比超过 65%^[1-2]。文献[3]、[4]明确提出到 2025 年城市电动公交车辆占比提高到 72%。为持续深入贯彻“绿色出行和公交优先”发展战略,落实《打赢蓝天保卫战三年行动计划》^[5],推动电动公交车技术进步。由交通运输部运输服务司指导,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、国家客车质量监督检验中心等机构联合主办的全国新能源公交车性能评价赛(简称 EB-PAC)已于 2018 年至 2020 年成功举办了三届^[6-9]。本文对这三届的评价项目、评价结果进行对比分析,并提出有关建议。

1 评价项目差异

三届 EB-PAC 评价赛结合公交行业电动车辆的应用场景,选取最具代表性的公交实际运行工况,聚焦用户关心的技术性能,从节能水平(百公里电耗)、续驶里程、动力性、舒适性、EMC(电磁兼容)及安全性等方面对电动公交车进行综合测评。其中,动力性包括爬坡性能和加速性能;舒适性包括匀速、加速行驶车内噪声和平顺性;EMC(电磁兼容)包括匀速、加速行驶低频磁场发射强度。这三届的评价项目主要差异如下:

1) 节能水平(百公里电耗)、续驶里程的行驶工况及能耗测量方式不同。电动公交车法规检测时按 GB/T 18386—2017 的规定进行 40 km/h 等速法试验^[10],与实际运行工况存在一定的差异,故 2018 及

收稿日期:2022-10-12。

第一作者:马琦媛(1989—),女,硕士;工程师;主要从事客车市场分析、行业会议会展和技术咨询等工作。E-mail:maqiyuan@ccccltd.cn。

2019 采用自行定义的模拟城市公交运行工况(即自定义工况)行驶 12 个循环、共 55.4 km,按标准规定的方法在循环工况前后将车辆充电至满电量状态、记录测试充电量来测量能耗;2020 按 GB/T 38146.2—2019 规定的中国城市客车行驶工况(CHTC-B)^[11]行驶 10 个循环、共 54.9 km,使用功率分析仪在循环工况中测量能耗,并增加模拟上下客工况、轮换驾驶员降低驾驶员操作影响等内容。自定义工况与 CHTC-B 每个循环的主要差异见表 1。

表 1 自定工况与 CHTC-B 标准工况的主要差异

	自定工况	CHTC-B
运行时间/s	700	1 310
行驶距离/km	4.6	5.49
平均速度/(km·h ⁻¹)	23	15.08
最高车速/(km·h ⁻¹)	60	45.6
最大加速度/(m·s ⁻²)	0.85	1.26
最大减速度/(m·s ⁻²)	1.5	1.32
怠速时间比例/%	22.2	22.37

2) 动力性能加速时间测试方法不同。2018 采用 0~50 km/h 加速时间,电动公交车这种加速工况较少,2019 及 2020 更新为 30~60 km/h 加速时间。

3) 舒适性中车内噪声、平顺性不同。2019 及 2020 增加了平顺性项目,2019 平顺性的测试车速为 30 km/h 匀速,2020 平顺性的测试车速更新为 40 km/h 匀速。2020 增加了 0~50 km/h 加速行驶车内噪声项目。

4) 安全性项目不同。2019 及 2020 增加了涉水安全测试项目,并作为否决项,出现安全性故障便不进行各单项奖和全能奖的评比。

5) EMC(电磁兼容)项目不同。2020 增加了低频磁场发射强度 EMC(电磁兼容)测试项目,作为附加项、不进行评分。参照 GB/T 37130—2018 进行 0~60 km/h 加速、40 km/h 匀速两种工况测试^[12]。为以后是否将 EMC 纳入 EB-PAC 正式评价项目作技术摸底。

6) 评价规则不同。2018 各单项奖、全能奖之间无相互关联;2019 续驶里程评奖的车型,其节能水平的排名须位于节能平均水平及以上,综合性能评奖的车型,其各单项成绩的排名须位于各单项的平均水平

及以上;2020 的关联规则更严格,续驶里程评奖的车型,其节能水平的排名须位于节能平均水平及以上,节能评奖的车型,其动力性水平的排名不能为最后一名,综合性能评奖的车型,其各单项成绩的排名须位于各单项的平均水平及以上。

2 评价结果差异及建议

2.1 节能水平

三届 EB-PAC 评价赛,各组车型的百公里电耗平均值、组内最大值与最小值的比值见表 2。

表 2 百公里电耗部分数据

		8~9 m 组	10~11 m 组	11~12 m 组
平均值/ (kW·h·100 km ⁻¹)	2018	—	87.91	100.21
	2019	56.97	65.66	74.04
	2020	48.07	61.45	72.87
最大值与 最小值之比	2018	—	1.54	1.73
	2019	1.42	1.71	1.82
	2020	1.40	1.65	1.43

各组节能水平逐届均有所提高,2020 年 8~9 m 组节能水平较显著、提高约 15.6%。各组内差距较大,最大值与最小值之比处于 1.40~1.82 之间,2020 年组内车辆差距有所减小、11~12 m 组较为明显。

2.2 续驶里程水平

续驶里程水平与车辆总储电量、节能水平相关。三届 EB-PAC 评价赛,各组车型车辆总储电量及续驶里程的平均值、组内最大值与最小值的比值分别见表 3、表 4。

表 3 车辆总储电量部分数据

		8~9 m 组	10~11 m 组	11~12 m 组
平均值/kW·h	2018	—	232.62	298.46
	2019	187.46	292.19	340.49
	2020	156.80	298.70	349.18
最大值与 最小值之比	2018	—	2.22	2.32
	2019	1.83	1.93	1.06
	2020	2.00	1.69	1.05

各组车辆总储电量呈增长趋势,但 8~9 m 组除外(降低 16.4%);各组内差距较大,最大值与最小值之比处于 1.05~2.32 之间,2019 年、2020 年 11~12 m 组差距较小。

表 4 续驶里程部分数据

		8~9 m 组	10~11 m 组	11~12 m 组
平均值/km	2018	—	258.82	296.61
	2019	318.59	434.20	454.98
	2020	313.05	479.56	463.05
最大值与 最小值之比	2018	—	2.71	3.12
	2019	2.57	2.31	1.82
	2020	2.01	2.54	1.48

各组续驶里程呈增长趋势,但 8~9 m 组除外(降低 1.7%)。组内差距大,最大值与最小值之比处于 1.48~3.12 之间,2020 年 11~12 m 组组内车辆差距相对较小。

2.3 动力性能水平

动力性能水平包括爬坡性能和加速性能。三届 EB-PAC 评价赛,各组车型爬坡时间及加速时间的平均值、组内最大值与最小值的比值分别见表 5、表 6。

表 5 爬坡时间部分数据

		8~9 m 组	10~11 m 组	11~12 m 组
平均值/s	2018	—	8.39	8.90
	2019	7.15	7.47	7.48
	2020	7.52	7.86	7.78
最大值与 最小值之比	2018	—	1.36	1.78
	2019	1.25	1.22	1.26
	2020	1.28	1.26	1.37

各组爬坡性能有变好后又变差的趋势。组内差距较大,最大值与最小值之比处于 1.22~1.78 之间,2018 年 11~12 m 组差距较大。

表 6 加速时间部分数据

		8~9 m 组	10~11 m 组	11~12 m 组
平均值/s	2018	—	10.90	11.05
	2019	10.62	10.06	11.65
	2020	9.96	9.37	8.53
最大值与 最小值之比	2018	—	2.19	1.78
	2019	2.54	2.41	2.64
	2020	2.23	2.04	1.55

2020 年较 2019 年加速性能提升显著,11~12 m 组加速时间降低 26.8%。组内差距较大,最大值与最小值之比处于 1.55~2.64 之间,2020 年 11~12 m 组组内车辆差距相对较小。

2.4 舒适性能水平

舒适性能水平包括匀速行驶车内噪声、加速行驶车内噪声和平顺性。

2.4.1 匀速行驶车内噪声

匀速行驶车内噪声包括驾驶员耳旁噪声和后桥上方噪声。三届 EB-PAC 评价赛各组车型驾驶员耳旁和后桥上方匀速行驶车内噪声的平均值、组内最大值与最小值的比值分别见表 7、表 8。

表 7 驾驶员耳旁匀速行驶车内噪声部分数据

		8~9 m 组	10~11 m 组	11~12 m 组
平均值/dB(A)	2018	—	66.12	65.17
	2019	67.74	65.56	64.92
	2020	66.47	66.43	65.09
最大值与 最小值之比	2018	—	1.13	1.09
	2019	1.03	1.08	1.12
	2020	1.07	1.12	1.10

各组驾驶员耳旁匀速行驶车内噪声变化不大,8~9 m 组降低 1.9%。组内差距不大,组内最大值与最小值之比处于 1.03~1.13 之间,8~9 m 组组内车辆差距较小。

表 8 后桥上方匀速行驶车内噪声部分数据

		8~9 m 组	10~11 m 组	11~12 m 组
平均值/dB(A)	2018	—	67.89	69.25
	2019	69.94	66.46	67.47
	2020	67.32	66.04	65.44
最大值与 最小值之比	2018	—	1.14	1.08
	2019	—	1.14	1.08
	2020	1.15	1.19	1.15

各组后桥上方匀速行驶车内噪声均有所提升,8~9 m 组降低 3.8%。组内差距不大,组内最大值与最小值之比处于 1.08~1.19 之间,8~9 m 组组内车辆差距相对较小。

2.4.2 加速行驶车内噪声

加速行驶车内噪声为 2020 新增项目,包括驾驶员耳旁噪声和后桥上方噪声。

8~9 m 组、10~11 m 组、11~12 m 组各组车型驾驶员耳旁加速行驶车内噪声的平均值分别为 70.18 dB(A)、68.68 dB(A)、66.74 dB(A),组内最大值与最小值的比值分别为 1.14、1.17、1.13。各组驾驶员

耳旁加速行驶车内噪声差异不大,组内最大值与最小值之比处于 1.13~1.17 之间,11~12 m 组更优。

8~9 m 组、10~11 m 组、11~12 m 组各组车型后桥上方加速行驶车内噪声的平均值分别为 74.06 dB(A)、71.98 dB(A)、70.78 dB(A),组内最大值与最小值的比值分别为 1.21、1.17、1.14。各组后桥上方加速行驶车内噪声差异不大,组内最大值与最小值之比处于 1.14~1.21 之间,11~12 m 组更优。

2.4.3 平顺性

2019、2020 两届 EB-PAC 评价赛,各组车型平顺性的平均值、组内最大值与最小值的比值见表 9。

表 9 平顺性部分数据

		8~9 m 组	10~11 m 组	11~12 m 组
平均值/(m·s ⁻²)	2019	0.147	0.106	0.094
	2020	0.135	0.116	0.107
最大值与最小值之比	2019	7.92	3.59	1.66
	2020	2.02	1.95	1.80

各组平顺性变化较大,仅 8~9 m 组提升 8.2%。各组内差距极大,组内最大值与最小值之比处于 1.66~7.92 之间,2020 年处于 1.80~2.02 之间,相对较小。

2.5 EMC(电磁兼容)性能水平

EMC(电磁兼容)性能水平为 2020 新增附加项目,包括 40 km/h 匀速、0~60 km/h 加速工况驾驶员头部低频磁场发射强度,各工况的最小裕量(dB)均满足 GB 8702—2014 的限值要求^[13]。

1) 40 km/h 匀速行驶。8~9 m 组、10~11 m 组、11~12 m 组各组车型驾驶员头部低频磁场发射强度最小裕量的平均值分别为 43.46 dB、43.59 dB、43.52 dB,组内最大值与最小值的比值分别为 1.04、1.06、1.04;各组驾驶员头部低频磁场发射强度最小裕量差异极小,最大值与最小值的比值不超过 1.06。

2) 0~60 km/h 加速行驶。8~9 m 组、10~11 m 组、11~12 m 组各组车型驾驶员头部低频磁场发射强度最小裕量的平均值分别为 43.18 dB、43.08 dB、43.29 dB,组内最大值与最小值的比值分别为 1.03、1.03、1.02;各组驾驶员头部低频磁场发射强度最小裕量差异极小,最大值与最小值的比值不超过 1.03。

2.6 有关建议

结合三届 EB-PAC 评价赛的结果分析,提出以下建议:

1) 进一步优化 EB-PAC 评价赛的评价项目和规则。建议增加车内其他位置(如车内中后部、驱动电机及控制系统附件处等)的低频磁场发射强度 EMC 项目及驾驶员操作方面的主观评价项目;进一步完善评价规则,适当加强有关奖项间的关联性,不断提升评价赛的合理性和公平性。

2) 进一步提升车辆能量利用率。生产企业可根据实际公交运营线路,在车辆轻量化设计的同时,适当降低车辆总储电量、合理确定续驶里程。

3) 建议有关企业加大舒适性(特别是平顺性)等行业先进水平差距较大项目的研发力度,切实提升电动车辆的综合性能和乘客体验。

3 结束语

通过分析三届 EB-PAC 评价赛的评价项目及规则,解析能耗水平、续驶里程、动力性、舒适性和 EMC(电磁兼容)等评价结果,提出 EB-PAC 评价赛不断完善及电动公交车有关性能提升的有关建议。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 中国城市客运发展报告(2020)[M]. 北京:人民交通出版社, 2021.
- [2] 中国汽车工业协会, 中国汽车工程研究院股份有限公司, 一汽解放汽车有限公司. 中国商用汽车产业发展报告(2022)[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2022.
- [3] 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于印发《“十四五”新型城镇化实施方案》的通知(发改规划[2022]960号)[Z/OL]. [2022-10-20]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/12/content_5700632.htm.
- [4] 交通运输部. 交通运输部关于印发《绿色交通“十四五”发展规划》的通知(交规划发[2021]104号)[Z/OL]. [2022-10-20]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content_5669662.htm?utm_medium=Email&utm_campaign=IEA+newsletters.
- [5] 国务院. 国务院关于印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的通知(国发[2018]22号)[Z/OL]. [2022-10-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_

5303158. htm.

- [6] 叶磊,张国振,李成,等. 基于用户视角的纯电动城市客车性能测试评价[J]. 客车技术与研究,2019,41(4):52-55.
- [7] 叶磊,李成,白崤,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.
- [8] 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.
- [9] 李成,叶磊,刘好德,等. 纯电动公交车技术性能标准化测试方法[J]. 交通运输研究,2021,7(1):56-64.
- [10] 中华人民共和国工业和信息化部. 电动汽车能量消耗率和续驶里程试验方法:GB/T 18386—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [11] 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.
- [12] 全国无线电干扰标准化技术委员会. 车辆电磁场相对于人体暴露的测量方法:GB/T 37130—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [13] 环境保护部科技标准司、辐射源安全监管司. 电磁环境控制限值:GB 8702—2014[S]. 北京:中国环境出版社,2014.

《客车技术与研究》征稿启事

《客车技术与研究》创刊于1979年,双月刊,是国内目前唯一公开发行的客车领域学术期刊。本刊由重庆市交通局主管,重庆交通科研设计院、重庆车辆检测研究院有限公司和中国公路学会客车分会主办,现已被国内外多家检索机构收录,包括中国核心期刊(遴选)数据库、万方数据——数字化期刊群、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、中国学术期刊综合评价数据库、JST 日本科学技术振兴机构数据库(日)(2018)等,是《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。在“中国知网”收录的与汽车相关的近70种学报和期刊中,本刊的复合影响因子位列前十,具有较高的学术影响力。

本刊主要刊登内容为国家科技政策及有关国内外客(汽)车技术等方面的学术论文,包括科研成果和实践经验,标准,新技术、新工艺及新材料,客车市场,客车检测,使用与维修,经营与管理等。欢迎相关领域的专家、学者赐稿。

本刊重点关注的研究方向:

- | | | |
|------------|-----------|----------|
| ◆智能网联客(汽)车 | ◆新能源客(汽)车 | ◆节能与排放 |
| ◆安全与碰撞 | ◆振动与噪声 | ◆新工艺与新材料 |
| ◆客(汽)车电子 | ◆设计与计算 | ◆标准解读 |

E-mail:btreq@163.com

Q Q:1711088150

微信公众号:客车技术与研究

网址(在线投稿):<http://www.bus-in.cmct.cn>(中交客车网)

地址、电话:重庆市高新区新金大道9号 023-62653044

