

北京市纯电动城市客车内部职业卫生 噪声暴露水平测量与分析

马智慧, 李冬雪, 温亚男, 黄 伟

(北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所, 北京 100054)

摘 要:为了更好地了解纯电动城市客车内部职业卫生噪声暴露水平,本文基于声压级测量法和频谱分析法,对16个车次的北京纯电动城市客车内部的噪声水平进行测量。结果表明,从A计权看,车辆内部声环境与十年前相比已有明显改善,低频、中频噪声有明显降低,且中频及高频噪声覆盖范围未有较大变化;从C计权看,客车内部噪声中的低频噪声占比较大。

关键词:纯电动城市客车; 职业卫生; 噪声暴露水平

中图分类号:X593; U469.7 文献标志码:A DOI:10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.04.013

Measurement and Analysis of Occupational Health Noise Exposure Level of Pure Electric City Buses in Beijing

MA Zhihui, LI Dongxue, WEN Yanan, HUANG Wei

(Institute of Urban Safety and Environmental Science, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100054, China)

Abstract:To better understand the occupational health noise exposure levels of pure electric city buses, this paper measures the interior noise levels of 16 trips for Beijing's pure electric city buses based on sound pressure level measurements and spectral analysis. The results show that, from the perspective of A weight, the internal acoustic environment of the vehicles has significant improvement compared to ten years ago, with notable reductions in low-frequency and medium-frequency noise. The coverage of medium-frequency and high-frequency noise has not changed significantly. From the perspective of C weight, the low-frequency noise inside the vehicles has a relatively large proportion.

Key words:pure electric bus; occupational health; noise exposure level

目前,在北京城市客车运输队伍中,纯电新能源车辆所占比例较高,然而,无论是燃油、燃气城市客车,还是纯电动城市客车,其内部噪声都不容忽视。从职业卫生的角度看,噪声不仅会影响乘客间的正常交流,还可能对车内人员的身心健康造成危害。长期暴露于高强度噪声环境下,驾驶员易出现疲劳和注意力下降,从而增加交通安全隐患。此外,还可能导致高血压^[1]和听力损失^[2]。随着驾驶员年龄增长和工龄延长,高频听力损失的检出率显著增加^[3]。所以必须进一步针对当前占比大的纯电动城市客车,研究其

内部噪声暴露水平。

国内已针对客车内的噪声限值及测量方法制定了GB/T 25982—2024《客车车内噪声限值及测量方法》^[4]。该标准适用于传统内燃机客车、混合动力客车、纯电动客车等车型,这些车型均采用A声级计权方式进行噪声测量。

北京市传统内燃机动力城市客车内部噪声的测量结果显示其车内噪声污染较为严重^[5];另外,研究发现车辆内部噪声频率在125 Hz~2 kHz范围内,其对应声压级曲线均在70 dB(A)以上,该部分频率处

收稿日期:2024-11-14。

第一作者:马智慧(1987—),男,硕士,高级工程师,主要从事城市安全及职业卫生技术服务工作。E-mail:majhrabbit@163.com。

于人耳的听觉范围内,说明城市客车内部噪声对人体有明显影响。因此,需要对北京市纯电动城市客车内部噪声的声级和频谱开展进一步研究。

1 测量及分析评价方法

1.1 测量方法

首先,依据并参考 GB/T 25982—2024《客车车内噪声限值及测量方法》^[4]测量噪声基础数据。选取北京市海淀区 16 个车次的新能源城市客车作为研究对象,对其内部噪声进行测量。选取车次考虑了路面铺设类型相同、车型一致、客座率稳定等因素。考虑到新能源城市客车内部的噪声主要来源为车辆本身,故车辆外部的交通环境噪声、车内人声均不作为测量时的重点考虑因素。

噪声测量选择在天气晴朗、无风或者微风的工作日,每次测量前对声级计进行校准,并记录乘客上座情况(上座率为 10%~25%)。测量设备选用丹麦 BK (Brüel & Kjær)公司的 2250 型声级计(该设备能同时得到频谱和声级数据),频率计权选择“A、C”挡位,时间计权选择“F”挡位。测量高度为距地面 1.2 m 左右(坐姿时耳朵附近位置),针对同一辆车,在车头(靠近驾驶员位置)和车尾(后门附近)分别记录一次。每次新能源城市客车内部噪声测量均记录 10 min 左右的等效声级,不对道路条件^[4]、车速、车流情况等进行选择。

1.2 分析评价方法

测量数据分别采用 A 计权和 C 计权进行计算与分析。首先用 A 计权和 C 计权对所测噪声进行计算与分析;然后对 A 声级和 C 声级的频谱进行对比。有研究表明,A 计权对低频噪声的权重有衰减,不能准确反映车厢内的噪声状况,而 C 计权虽然没有关于职业卫生方面的接触限值和客车车内噪声限值要求,但可以很好地还原被测对象产生的低频噪声^[6-7]。通过两种计权方式的对比分析,可以更全面地反映车辆内部噪声暴露水平的真实情况。

噪声评价中,还可采用声级累计法进行统计分析。累计百分声级 L_{10} 是指在测量时间内有 10% 的时间 A 声级超过的值,相当于噪声的平均峰值; L_{50} 是指在测量时间内有 50% 的时间 A 声级超过的值,相

当于噪声的平均中值; L_{90} 是指在测量时间内有 90% 的时间 A 声级超过的值,相当于噪声的平均本底值^[8]。 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 共同使用,可以很好地反映噪声特性^[9]。

最后,再结合 GBZ 2.2—2007《工作场所所有害因素职业接触限值 第 2 部分:物理因素》^[10]和 GB/T 25982—2024《客车车内噪声限值及测量方法》^[4]对北京市新能源城市客车内部的噪声进行评价。

2 测量结果及分析

2.1 声压级测量结果及分析

1) 上述 16 个车次的测量及统计结果见表 1。其中, L_{Aeq} 为 A 计权等效连续声压级, L_{Aeq} 的范围是 70.8~79.5 dB(A); L_{Amax} 为 A 计权声压级最大值, L_{Amax} 的范围是 81.9~98.3 dB(A); L_{Ceq} 为 C 计权等效连续声压级, L_{Ceq} 的范围是 88.9~97.1 dB(C); L_{Cmax} 为 C 计权声压级最大值, L_{Cmax} 的范围是 104.3~113.1 dB(C); $L_{Ceq}-L_{Aeq}$ 中,除去 13.9 dB 外,范围是 17.3~24.0 dB。从 $L_{Ceq}-L_{Aeq}$ 的值几乎都大于 15 dB 这一结果可分析得出,新能源城市客车车厢内部噪声的 C 计权和 A 计权的差值较大,其主要原因是 A 计权对车厢内的中、低频段噪声的计算具有较大的衰减作用。被衰减的低频、中频噪声主要来源于新能源城市客车正常行驶中车厢结构件的松动、地板或顶板的振动以及窗户、车门的振动等^[6]。

按照参考文献[9]中的方法,对 16 个车次的 A 计权等效连续声压级进行累计统计的结果见表 1。另外,表 1 中 A 计权的等效连续声压级对应的 1/3 倍频程频谱见表 2。

2) 表 1 中 L_{10} 的范围为 72.7~83.9 dB(A), L_{50} 的范围为 66.6~77.1 dB(A), L_{90} 的范围为 58.9~73.5 dB(A),即车辆内部噪声的平均峰值范围是 72.7~83.9 dB(A),平均中值范围是 66.6~77.1 dB(A),噪声平均本底值范围是 58.9~73.5 dB(A)。

与十年前相比,目前北京市内城市客车内部噪声暴露水平已得到较为明显的改善,噪声平均本底值和平均中值均明显降低,这与新能源车辆的广泛应用有关,但噪声平均峰值未出现明显变化,说明高分贝声级噪声在新能源车辆上依然存在。

表 1 新能源城市客车内部噪声测量结果

序号	车辆编号	测量位置	$L_{Aeq}/dB(A)$	$L_{Amax}/dB(A)$	$L_{Ceq}/dB(C)$	$L_{Cmax}/dB(C)$	$L_{Ceq}-L_{Aeq}/dB$	$L_{10}/dB(A)$	$L_{50}/dB(A)$	$L_{90}/dB(A)$
1	902 路	车头	70.8	87.6	93.3	109.4	22.5	74.7	66.6	58.9
2	902 路	车尾	71.6	86.2	93.7	109.9	22.1	75.0	69.4	63.9
3	908 路	车头	74.4	90.8	93.8	109.8	19.4	77.9	69.7	65.8
4	908 路	车尾	73.0	94.4	94.4	111.7	21.4	76.0	69.4	63.1
5	448 路	车头	71.1	84.7	88.9	105.2	17.8	75.1	67.6	62.8
6	448 路	车尾	71.6	86.1	94.9	109.2	23.3	74.4	69.8	65.9
7	512 路	车头	76.2	91.4	93.7	105.9	17.5	80.2	71.7	66.8
8	512 路	车尾	79.5	97.4	93.4	113.1	13.9	83.9	70.9	64.3
9	专 99 路	车头	74.7	89.3	92.9	109.3	18.2	77.7	72.7	67.2
10	专 99 路	车尾	76.2	92.1	93.9	107.0	17.7	80.3	72.6	66.2
11	384 路	车头	75.2	98.3	93.7	107.6	18.5	77.1	71.7	64.7
12	384 路	车尾	78.2	94.4	97.1	112.5	18.9	80.9	77.1	73.5
13	365 路	车头	76.3	89.7	94.3	107.7	18.0	79.8	73.2	67.7
14	365 路	车尾	75.6	95.5	93.3	104.3	17.7	78.1	74.4	68.8
15	570 路	车头	75.8	91.0	93.1	107.6	17.3	78.6	74.2	68.5
16	570 路	车尾	71.3	81.9	95.4	110.3	24.1	72.7	70.9	69.8

表 2 新能源城市客车内部部分倍频程声压级

序号	车辆编号	测量位置	A 声级/dB(A)						C 声级/dB(C)					
			16 Hz	31.5 Hz	500 Hz	1 kHz	4 kHz	8 kHz	16 Hz	31.5 Hz	500 Hz	1 kHz	4 kHz	8 kHz
1	902 路	车头	44.7	49.7	64.5	64.4	58.0	55.9	92.9	86.1	67.7	64.4	56.2	54.0
2	902 路	车尾	45.3	52.1	66.4	66.5	58.0	51.0	93.5	88.5	69.6	66.5	56.2	49.1
3	908 路	车头	44.2	52.7	65.8	68.2	63.2	59.4	92.4	89.1	69.0	68.2	61.4	57.5
4	908 路	车尾	46.0	47.9	67.0	67.8	58.6	52.9	94.2	84.3	70.2	67.8	56.8	51.0
5	448 路	车头	40.6	46.6	64.7	66.6	57.9	51.9	88.8	83.0	67.9	66.6	56.1	50.0
6	448 路	车尾	46.8	52.6	65.3	66.9	59.1	52.6	95.0	89.0	68.5	66.9	57.3	50.7
7	512 路	车头	42.3	53.6	71.1	71.6	63.2	52.7	90.5	90.0	74.3	71.6	61.4	50.8
8	512 路	车尾	43.9	49.5	75.1	74.7	66.2	57.3	92.1	85.9	78.3	74.7	64.4	55.4
9	专 99 路	车头	43.1	49.8	68.5	67.9	62.2	56.6	91.3	86.2	71.7	67.9	60.4	54.7
10	专 99 路	车尾	44.0	51.4	70.6	69.3	61.0	52.2	92.2	87.8	73.8	69.3	59.2	50.3
11	384 路	车头	43.3	51.8	70.7	69.7	62.1	51.9	91.5	88.2	73.9	69.7	60.3	50.0
12	384 路	车尾	47.7	54.3	71.4	70.5	63.9	55.4	95.9	90.7	74.6	70.5	62.1	53.5
13	365 路	车头	43.7	53.2	71.3	70.1	64.0	55.4	91.9	89.6	74.5	70.1	62.2	53.5
14	365 路	车尾	41.6	50.1	68.4	67.2	59.6	50.6	89.8	86.5	71.6	67.2	57.8	48.7
15	570 路	车头	42.8	50.5	69.5	70.8	61.4	56.9	91.0	86.9	72.7	70.8	59.6	55.0
16	570 路	车尾	45.1	52.6	66.4	65.4	54.8	45.9	93.3	89.0	69.6	65.4	53.0	44.0

2.2 频谱结果与评价

新能源城市客车内部声级倍频程频谱见表2、图1和图2。从16个测量对象的数据中可以得出:在倍频程频率范围内,A计权声压级与频率呈现出类似抛物线的关系(图1),在达到中频范围后开始下降;但从C计权频谱结果(图2)看,C计权测试结果的最高值已超过95 dB(C),考虑到C计权对低频噪声的衰减作用比A计权要小,与 L_{Aeq} 范围(70.8~79.5 dB(A))对比可知,实际噪声情况不容乐观。因此,需要针对车辆内部噪声进一步采取隔声、降噪、减振措施。

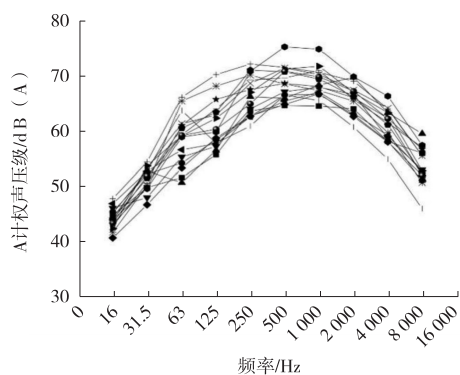


图1 16个车次的车内噪声 L_{Aeq} 频谱

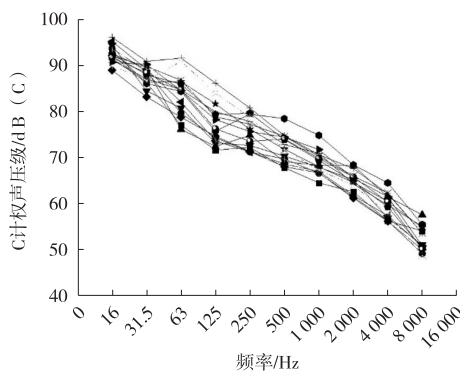


图2 16个车次的车内噪声 L_{Ceq} 频谱

对比图1和图2可以看出,在中低频范围内,A计权衰减比C计权大,因为A计权是考虑到人耳对声音的听觉特性而设计的一种计权方式。新能源城市客车内部噪声中不容忽视的中低频率部分,可能来自车辆行驶中结构件的松动、车体结构或门窗振动所产生的噪声。

另外,频谱结果与十年前^[6]相比,低频范围的声压级有明显降低。一方面是因为新能源车辆本身无较大的振动激励单元;另一方面是由于车体结构有所

改进,整体更为稳固,因车辆本体引起的振动比十年前小很多。

2.3 综合评价

从职业卫生角度分析,现在的北京市新能源城市客车内部噪声暴露水平与10年前的燃油城市客车相比有明显改善^[5],但是噪声污染仍然存在。GBZ 2.2—2007《工作场所有害因素职业接触限值 第2部分:物理因素》和GB/T 25982—2024《客车车内噪声限值及测量方法》均采用A计权的频率加权等效声压级作为评价指标。

从表1中 L_{Aeq} 测得范围可以看出,驾乘人员接触的噪声符合GBZ 2.2—2007中工作场所人员接触噪声的连续等效声压级限值为85 dB(A)的要求,但部分数据不符合GB/T 25982—2024中后置发动机驾驶室限值为78 dB(A)、乘客区为84 dB(A)的要求。这会增加驾驶员听力损失的风险,对长时间乘车的乘客也不友好,需要进行针对性改善。从职业健康噪声接触水平来看,新能源城市客车内部噪声检测结果符合职业卫生接触限值为85 dB(A)的要求。

另外,从A计权声压级与C计权声压级结果差值可知,车辆内部噪声中低频噪声明显,故如何降低车辆内部低频噪声,是将来改善车辆内部声环境的重点方向。

3 结束语

从新能源城市客车内部噪声的频谱图及测量数据可知,经过十余年的发展,新能源城市客车内部噪声中频及高频部分声压级覆盖范围未有较大变化,但低频、中频的声压级有明显降低。这说明新能源城市客车内部噪声有了明显改善。但车辆内部中低频噪声仍然存在,此部分噪声在路面崎岖不平、颠簸时会比较明显。

参考文献:

- [1] 冀芳,荣利,丁晓文,等. 职业性噪声性听力损伤与高血压的关联[J]. 新疆医科大学学报,2022,45(9):1041-1046.
- [2] 嘉世英,杨蓉. 某公交公司驾驶员纯音听力损伤调查[J]. 职业卫生与病伤,2012,27(2):72-74.
- [3] 张丽江,田冬林,刘军,等. 累积噪声暴露对作业工人高频

- 听力损失的影响[J]. 工业卫生与职业病, 2022, 48(5): 368-372.
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部. 客车车内噪声限值及测量方法: GB/T 25982—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024: 1-23.
- [5] 姜亢, 李杰, 郭建中, 等. 北京市公交车内噪声监测与分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(10): 164-168.
- [6] 刘君侠. 城市公交车厢内噪声监测与分析[J]. 中国环境监测, 2012, 28(1): 89-92.
- [7] 苏丽俐. 车内声品质主客观评价与控制方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [8] 中华人民共和国生态环境部. 声环境质量标准: GB 3096—2008[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008: 2.
- [9] 张德政. 浅谈城市公交车辆噪声与控制[J]. 城市公共交通, 2008(8): 16-17.
- [10] 中华人民共和国国家职业卫生标准. 工作场所有害因素职业接触限值 第2部分: 物理因素: GBZ 2.2—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 1.

《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, 是国内外公开发行的学术期刊。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)(2025)等, 是《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。

本刊主要刊登国家科技政策及国内外客(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, 使用和维修, 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: btrcq@163.com

Q Q: 1711088150

微信公众号: 客车技术与研究

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

地址、电话: 重庆市高新区新金大道 9 号 023-62653044

