

电动汽车低速提示音室内测试分析^{*}

夏小均, 陈德兵

(重庆车辆检测研究院有限公司, 重庆 401122)

摘要: 加装具有提示功能的发声装置已成为电动汽车的基本要求, UN regulation No.138 标准对纯电动车提示音提出了详细技术要求。对于提示音检测, 相较于通过噪声测量, 采用室内试验方式, 背景噪声更小, 对测试结果的影响更小, 试验结果的一致性更好。文中依据该标准, 对某型国产纯电动车进行低速提示音室内测试及分析。结果表明, 前进工况时声压级均存在 1 600 Hz 以下满足要求的 1/3 倍频带, 且总的计权声压级满足最低、最高限制; 倒车时的总计权声压级满足最低、最高限制; 频移速度均在标准范围内。

关键词: 汽车; 电动汽车; 低速提示音; 测试分析

中图分类号: U469.72

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)02-0012-04

随着新能源汽车产业的高速推进, 电动汽车消费比例逐年提升。由于采用安静的电机驱动, 电动汽车的行驶噪声远低于传统燃油车, 是一种“安静汽车”。然而, 过低的运行噪声使电动汽车丧失了对行人、骑行者的安全提醒作用, 特别是对于专注的交通参与者或有视觉障碍的人员, 电动汽车更易导致事故。美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)的一项针对 8 000 台混合动力车和 6 万台内燃机汽车的统计数据表明, 在低于一定行驶速度的条件下, 混合动力车和行人间发生交通事故的概率比内燃机汽车高 50%。因此, 欧美、日本等一致认为需在电动汽车上配备低速行驶时可发出提示音的系统。近年来, 加装具有提示功能的发声装置成为电动汽车必须实现的新要求。

对于低速提示音装置的安装, 美国联邦机动车安全标准 FMVSS 141 要求在 2019 年 9 月对新制造汽车开始执行。2016 年 3 月, 联合国欧洲经济委员会(UNECE)世界车辆法规协调论坛(WP29)制定并执行 UN regulation No.138 标准。参照该标准, 中国于 2018 年底发布 GB/T 37153-2018《电动汽车低速提示音》。但当前国内对低速提示音的研究仍较少, 主要集中在对低速提示音的声品质设计和提示音系统的开发流程等方面。该文以某型国产纯电动乘用车为对象, 采集其低速提示音, 依据 UN regulation No.138 标准对各频带声压分布和频移特征进行分析, 进一步阐述低速提示音的测试流程与

性能要求。

1 试验要求

为使电动汽车在低速行驶时能有充分的提示功能, 标准对各工况总的声压级提出了最低要求, 要求其大于 50 dB(A)且不能超过 75 dB(A); 匀速行驶工况下, 各 1/3 倍频程的计权声压级最低要求见表 1, 且试验结果中至少有 2 个频带的声压满足最低声级要求, 其中至少有 1 个 1/3 倍频程中心频率不超过 1 600 Hz。

表 1 最低声压级要求

频率/ Hz	最低计权声压/dB(A)			频率/ Hz	最低计权声压/dB(A)		
	10 km/h	20 km/h	倒车		10 km/h	20 km/h	倒车
总声压级	50	56	47	1 000	46	51	
160	45	50		1 250	46	51	
200	44	49		1 600	44	49	
250	43	48		2 000	42	47	
315	44	49		2 500	39	44	—
400	45	50	—	3 150	36	41	
500	45	50		4 000	34	39	
630	46	51		5 000	31	36	
800	46	51					

2 测试环境

由于室外试验场的背景噪声偏高, 为 50~60 dB(A), 且易受环境干扰。测试选择在整车半消声

^{*} 基金项目: 重庆车辆检测研究院基金项目(20AKCS)

室进行。整车半消声室截止频率 40 Hz,可调轴距 2.2~4.2 m,自由声场尺寸大于 20 m×20 m,满足对于半消声室的最小尺寸要求(见图 1)。环境温度 为 24 ℃,湿度 81%,风速为 0.04 m/s。

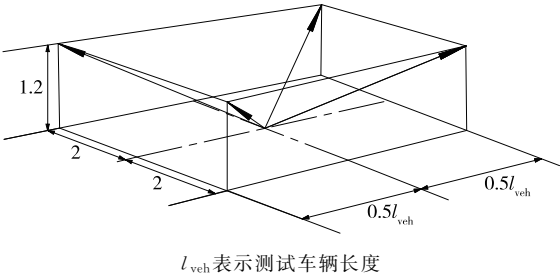


图 1 半消声室最小尺寸(单位:m)

背景噪声大小决定测试结果的有效性,在测试结果不高于背景噪声 3 dB(A)时,测试结果将无效;在高于背景噪声 10 dB(A)时,测试结果受环境噪声影响可忽略,测试结果无需修正。测试时的环境噪声见表 2。

表 2 背景噪声结果 dB(A)

传声器位置	背景噪声声压		
	最大值	最小值	差值
左侧传声器	25.6	23.1	2.5
右侧传声器	26.0	23.1	2.9

对于关注重点 1/3 倍频程的背景噪声声压级,应低于试验过程中低速提示音对应 1/3 倍频程测试 量不少于 6 dB。背景噪声 1/3 倍频程声压级如表 3 所示。

表 4 10 km/h 速度下提示音声压级测试结果

中心频率/Hz	左侧传声器声压级/dB(A)					右侧传声器声压级/dB(A)				
	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均
160	36.4	36.4	36.1	36.3	36.3	25.5	25.1	25.9	26.0	25.6
200	50.0	50.4	50.3	50.1	50.2	47.9	48.9	48.1	49.1	48.5
250	48.7	48.9	49.3	49.1	49.0	47.8	47.2	48.0	47.4	47.6
315	38.1	38.2	38.5	38.3	38.3	37.2	37.1	37.8	37.2	37.3
400	36.6	36.8	37.2	36.9	36.9	37.9	37.3	37.0	37.7	37.5
500	42.7	43.4	43.0	40.5	42.4	50.4	49.3	50.4	48.0	49.5
630	38.1	38.3	38.1	36.9	37.9	42.2	43.0	43.8	42.2	42.8
800	36.5	36.5	36.5	36.6	36.5	36.7	37.1	37.3	37.1	37.1
1 000	39.9	39.9	40.1	39.9	40.0	42.1	41.8	41.9	42.2	42.0
1 250	37.9	37.5	37.8	37.8	37.8	37.6	37.7	37.5	37.5	37.6
1 600	37.1	37.0	37.1	37.0	37.1	39.2	39.4	39.3	39.2	39.3
2 000	38.3	38.4	38.4	38.6	38.4	39.2	39.4	39.4	39.3	39.3
2 500	36.6	36.5	36.5	36.6	36.6	38.3	38.6	38.5	38.6	38.5
3 150	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	35.0	35.2	35.0	35.2	35.1
4 000	33.0	32.7	32.8	32.9	32.9	34.9	34.9	34.9	35.2	35.0
5 000	31.5	31.7	31.8	31.8	31.7	33.3	33.4	33.3	33.6	33.4
计权总声压级	54.2	54.5	54.5	54.2	54.4	55.2	55.2	55.3	54.8	55.2

表 3 背景噪声 1/3 倍频程声压级

1/3 倍频程中心频率/Hz	声压级/dB(A)		1/3 倍频程中心频率/Hz	声压级/dB(A)	
	左侧传声器	右侧传声器		左侧传声器	右侧传声器
160	15.6	13.1	1 000	10.7	12.7
200	7.7	8.1	1 250	9.8	10.6
250	8.0	7.1	1 600	10.3	10.0
315	9.3	8.9	2 000	8.7	9.8
400	4.7	6.2	2 500	8.3	9.3
500	6.2	6.7	3 150	8.4	8.5
630	7.0	6.1	4 000	7.8	8.5
800	11.1	10.1	5 000	7.5	8.3

3 测试结果分析

3.1 10 km/h 匀速行驶工况

对于匀速前向行驶和后退的工况,传声器布置在车辆前端水平线上,离车辆中心线左右 2 m(见图 2)。关闭车窗、顶窗,停用空调等其他辅助设备,将挡位置于前进挡,稳定车速在(10±0.5) km/h,提示音声压级测试结果见表 4。

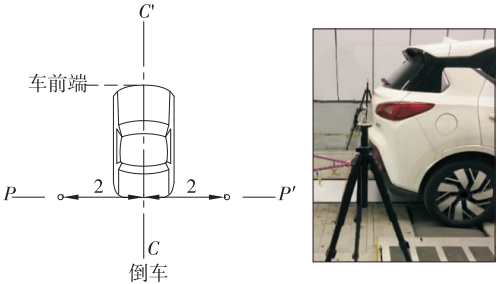


图 2 前进行驶时传声器布置(单位:m)

从表4可看出:10 km/h匀速行驶工况下,低速提示音在200和250 Hz频带的测试结果满足最低声压级要求,总的声压级也均大于50 dB(A)且小于75 dB(A)。

3.2 20 km/h 匀速行驶工况

在10 km/h试验工况的基础上,调整车速,稳定车速在 (20 ± 0.5) km/h,提示音声压级测试结果见表5。

表5 20 km/h速度下提示音声压级测试结果

中心频率/Hz	左侧传声器声压级/dB(A)					右侧传声器声压级/dB(A)				
	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均
160	36.4	36.4	36.5	36.3	36.4	26.7	27.5	27.1	27	27.1
200	39.6	40.7	40.2	40.5	40.3	42.0	41.0	41.6	41.8	41.6
250	55.8	57.7	57	57.4	56.9	59.3	58.2	58.8	58.8	58.8
315	45.7	44.5	44.8	45.0	45.0	43.3	43.5	44.3	43.9	43.8
400	43.9	43.7	43.7	43.8	43.8	45.4	45.4	45.4	45.6	45.5
500	44.3	44.4	44.4	44.4	44.4	46	46	46	46.3	46.1
630	51.7	51.9	51.9	52.2	51.9	52.4	52.5	52.7	53	52.7
800	48.6	48.6	48.4	48.6	48.6	48.6	48.6	48.2	48.4	48.5
1 000	51.8	51.7	51.8	51.9	51.8	54	53.8	53.9	54.2	53.9
1 250	49	49	49	48.9	48.9	48.8	48.8	48.7	48.6	48.7
1 600	47.6	47.7	47.6	47.8	47.7	48.3	48.3	48.2	48.3	48.3
2 000	47.9	47.9	47.9	48	47.9	48.4	48.2	48.4	48.3	48.3
2 500	44.2	44.4	44.2	44.4	44.3	45.1	45.3	45.4	45.5	45.3
3 150	40.4	40.6	40.6	40.6	40.6	41.1	40.9	41.1	41.1	41.1
4 000	39	38.9	38.9	38.9	38.9	40	40.1	40.2	40.2	40.1
5 000	37.4	37.6	37.5	37.8	37.6	38.7	38.9	38.9	38.9	38.9
计权总声压级	60.7	61.5	61.2	61.5	61.1	62.6	62.2	62.7	62.7	62.5

从表5可看出:20 km/h匀速行驶工况下,低速提示音在250、630和1 000 Hz 3个频带的测试结果满足最低声压级要求,总的声压级也均大于55 dB(A)且小于75 dB(A)。

3.3 倒车行驶工况

传声器布置在车辆后端水平线上,离车辆中心线左右2 m(见图3 PP')。将挡位置于后退挡,稳定车速在 (6 ± 0.5) km/h,提示音声压级测试结果见表6。倒车工况未对各倍频程的声压级作要求,仅要求总的声压级大于47 dB(A)且小于75 dB(A),

满足规范设定。

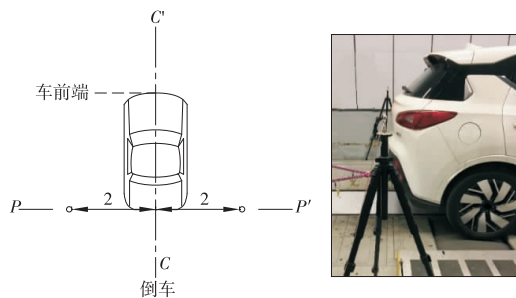


图3 倒车时传声器布置(单位:m)

表6 倒车工况下提示音声压级测试结果

测试项目	左侧传声器声压级/dB(A)					右侧传声器声压级/dB(A)				
	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均
计权总声压级	54.3	54.5	54.6	54.3	54.5	55.7	55.5	55.7	55.4	55.6

3.4 频率漂移

频率漂移用于模拟传统燃油车的噪声表现,要求随着车速增加,对应频率也增加,通过增加人耳对高频的不舒适来提升其对道路参与者的提示作用。

对左、右两侧采集的5、10、15、20 km/h信号进行自功率谱分析,结果见图4、图5。从图4、图5可看出:各速度下整个频域内的声压分布趋势一致。

选择5 km/h速度下180、244和488 Hz处频率作为参考频率,其他速度在该频谱趋势下存在明

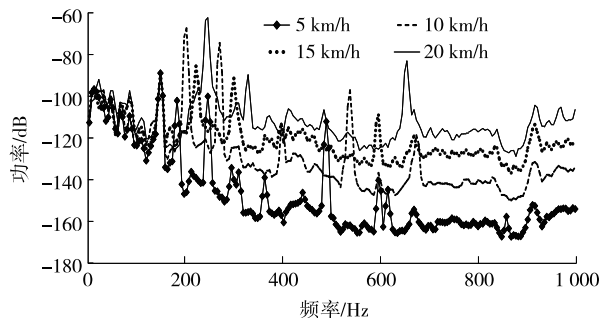


图4 左侧功率谱图

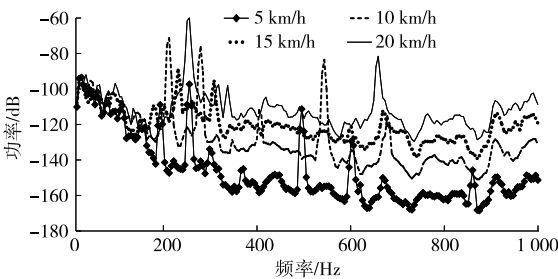


图 5 右侧功率谱图

显的频率漂移。提取对应的频率,按式(1)计算频移

率,结果见表 7。从表 7 可看出:3 个频移率均大于 1.8 %/(km/h)。

$$del_f=(f_i-f_{ref})/(v_i-v_{ref})\times 100 \tag{1}$$

式中: f_i 为试验车速下频率; f_{ref} 为参考车速下频率; v_i 为试验车速; v_{ref} 为参考车速。

4 结论

结合 UN regulation No.138 标准的要求,运用室内方法而非通过噪声方法对某型电动汽车低速提

表 7 1/3 倍频程频移结果

编号	频移频率	5 km/h 下频率	不同试验车速(km/h)下频移结果		
			10	15	20
1	左频率/Hz	180	200	220	244
	右频率/Hz	180	200	220	244
	左频移率/[% · (km · h ⁻¹) ⁻¹]	—	2.2	2.2	2.4
	右频移率/[% · (km · h ⁻¹) ⁻¹]	—	2.2	2.2	2.4
2	左频率/Hz	244	269	299	327
	右频率/Hz	244	269	298	308
	左频移率/[% · (km · h ⁻¹) ⁻¹]	—	2.1	2.3	2.3
	右频移率/[% · (km · h ⁻¹) ⁻¹]	—	2.1	2.2	1.8
3	左频率/Hz	488	537	596	654
	右频率/Hz	488	537	596	654
	左频移率/[% · (km · h ⁻¹) ⁻¹]	—	2.0	2.2	2.3
	右频移率/[% · (km · h ⁻¹) ⁻¹]	—	2.0	2.2	2.3

示音进行测试分析,结论如下:前进工况 10 和 20 km/h 时,其声压级均存在 1 600 Hz 以下满足要求的 1/3 倍频带,且总的计权声压级满足最低、最高限制;倒车时总的计权声压级满足最低、最高限制;通过自功率谱对比,其低速提示音存在 3 处显著频移,且频移率均大于 1.8 %/(km/h)。虽然该车满足规范要求,但其提示音声压级偏小,考虑到实际使用环境噪声会比半消声室大幅增加,在背景噪声达到 50 ~ 60 dB(A)时,系统将难以对行人起到提示作用。

参考文献:

[1] 陆春,谢东明,徐金国,等.电动汽车低速提示音标准与试验研究[J].中国汽车,2018(12):49—53.
[2] 高岳.安静行驶车辆低速提示音标准法规国际状况及发展趋势分析[J].科技创新与应用,2013(19):44—45.
[3] KAI Xu, YUE Gao. The State of art of quiet road transport vehicle minimum noise requirement standards and regulations//ITEC (IEEE Transportation Electrification Conference and Expo), Asia-Pacific, 2014.

[4] 全国汽车标准化技术委员会.纯电动乘用车技术条件:GB/T 28382—2012 [S].北京:全国汽车标准化技术委员会,2012.
[5] 全国汽车标准化技术委员会.插电式混合动力电动乘用车技术条件:GB/T 32694—2016[S].北京:全国汽车标准化技术委员会,2016.
[6] 闫明亮,高粹勤.电动汽车 AVAS 系统 ECE 法规分析与应用[J].汽车实用技术,2018(2):1—3.
[7] 全国汽车标准化技术委员会.电动汽车低速提示音:GB/T 37153—2018[S].北京:全国汽车标准化技术委员会,2018.
[8] 陈燕虹,赵健,梁杰,等.电动轿车警示声设计方法研究[J].汽车工程,2018,40(4):482—487+456.
[9] 汤海洋,刘永.某客车低频噪声测试与改进[J].客车技术与研究,2019,41(1):52—55.
[10] 葛林鹤.AVAS 行人警示音系统设计方法研究[D].长春:吉林大学,2018.