

低速提示音声品质研究及设计方法探索

张 硕 李均成

重庆长安凯程汽车科技有限公司 重庆 401135

【摘 要】：本文研究分析了低速提示音的声品质以及设计方法。首先，选取 10 台电动车在 10kph 工况下的数据，采用成对比较法进行主观评价；然后，通过小波分析、频谱分析以及乐理内容进行客观数据分析；最后，形成了低速提示音设计方法用于提升声品质。本文提出的声音设计方法既能提升低速提示音音效品质，同时也能满足法规要求，减少对环境噪声的影响。

【关键词】：新能源汽车；低速提示音；声品质；声音设计

DOI:10.12417/3041-0630.25.24.040

在全球能源转型与环境保护的双重背景下，我国新能源汽车的发展迎来了前所未有的历史机遇。随着科技的不断进步和消费者对环保出行方式的日益关注，新能源汽车作为绿色、智能的未来交通出行方式，正逐渐成为我国汽车工业发展的重要方向。从政策扶持到市场需求的推动，从产业链完善到技术创新的突破，我国新能源汽车产业在快速发展的道路上不断取得新的突破和进展^[1]。

新能源汽车（纯电动、混合动力、燃料电池等）在纯电驱动模式下低速行驶时，车外平均噪声相较于传统内燃机车辆显著降低。这一变化使得道路上的其他使用者，特别是行人和自行车骑手，以及盲人和视觉障碍者难以察觉车辆的接近，从而增加了发生交通事故的风险。针对这一问题，美国国家高速公路安全委员会（NHTSA）、日本国土交通省（MLIT）、联合国欧洲经济委员会（UNECE）以及世界车辆法规协调论坛（WP29）等权威机构近年来进行了广泛的研究与探讨。他们一致认为，在具备纯电行驶功能的电动汽车上，应安装低速行驶时发出警示提示音的装置，以降低与行人发生交通事故的可能性。随着我国电动汽车产业的迅速发展和投入产出的不断增加，为了避免因过于安静而引发的意外事故，我国也已采纳了配备低速提示音装置的做法，以发出警示声音^[2]。

2011 年日产汽车公司的 Heather Konet 等人，经过深入研究，提出了行人警示声音的概念设计目标，并据此总结出行人警示声音设计的指导原则。他们的研究成果展现了一条独特的“双峰”形状频谱曲线，为 Leaf 电动汽车的行人警示声音系统发声策略奠定了坚实基础^[3]。德国奥迪汽车公司声学工程师在奥迪 E-tron 电动汽车上创新性地研发了一种融合音乐元素的独特行人警示声音，旨在以这种声音塑造并彰显奥迪品牌的独特形象^[4]。2015 年问世的奥迪 A3 电动版，并未内置模拟内燃机的轰鸣之声，反而别出心裁地选择了小鸟的叽喳与树叶的沙沙声等自然之音作为替代^[5]。

目前我国车企大部分 AVAS 声源都采用模拟发动机阶次声音的方式，声音品质千差万别，有的声音还会对车内乘员，

车外行人以及环境造成较大的影响。本文选取十种车外低速提示音声音样本作为研究对象，通过主客观分析评价，并结合音乐声学理论，提出了提升低速提示音声品质的设计方法，减少对人和环境的影响，提升感官体验。

1 声品质主观评价

1.1 声品质的重要性

声品质可诠释为听觉体验与个人需求的和谐共鸣。Blauert 所提出的声品质定义备受推崇，他将其诠释为：“在特定的技术追求或任务脉络中，声音的贴切与适宜^[6]。”

人们对声音的烦恼感受，不仅与声音的频率和强度等客观因素紧密相连，更受到认知、期望和社会属性等心理因素的深刻影响。在追求低噪声的同时，人们更渴望从声音中汲取愉悦与舒适，期盼拥有一个和谐而美好的声音环境。声品质的研究涵盖了两个维度：一是环境声品质，它关联着工作、学习和生活环境的主观感受，尤其关注环境噪声的烦恼程度，与声景设计紧密相连；二是产品声品质，它主要研究产品噪声所反映的产品质量、品位、功能和用户偏好等信息。当前，声品质的研究主要聚焦于主观评价方法，特别是心理声学的基础研究、环境中低频噪声评价模型的构建，以及噪声声品质与不同人群特征之间的关联分析。

1.2 主观评价结果

本次声品质主观评价数据选取 10 台车辆的测试数据，低速提示音数据均按照法规测试，选取 10kph 工况数据，共 10 个样本，每个样本截取时长 10 秒，并对各样本实施响度均衡化处理。为消除评价者因经验及主观臆测对声音样本判断的干扰，在主观评价试验期间，评价者不得获悉各样本所属车型信息，分别编号 A-J，其中 A 为间断型，B、C 为旋律型，D-J 为传统型。参与评价人数为 50 人，行业背景为汽车相关人员，年龄在 22-40 岁之间。

本次主观评价试验在中汽中心工程院听音室进行，采用某

评价系统以及高保真回放耳机进行。8人一组，共计7组，分别进行测试评价，最终经过数据处理得出图2主观评价结果，分数越高，表示声品质越优。

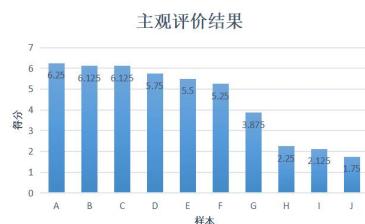


图2 主观评价排序结果

如图所示，根据主观评价结果分析，最高分为A样本6.25分，最低为J样本1.75分。样本A为间断型得分最高，但是间断型提示音主要用于倒车工况，故此数据在此排名并无太大意义；其次是旋律型B和C，主观感受音效更为悦耳，科技感更强，但是由于本次研究主要研究对象为传统型（模仿发动机音效），故而后续不对其分析；最后是传统型，更贴近真实传统车效果，传统型提示音音效得分也有很大差别，D样本最高为5.75，J样本最低为1.75，相差4分。J样本的音效响度偏低，这可能在一定程度上影响了其评分结果的客观性，因此，对J样本的深入分析亦将暂时搁置。综上所述，下文将重点聚焦于传统型D至I的6个样本，进行深入的分析与讨论。

2 声音设计方法探索

2.1 客观数据分析

小波分析，在声音分析领域展现出了其独特的魅力。其优势不仅在于其精准的分析能力，更在于其能够捕捉到声音信号中的细微变化。同时多分辨率特性，使得它能够在不同的频率和时间尺度上揭示声音信号的内部结构。这一特性使得小波分析在声音信号的处理中，能够更深入地挖掘出隐藏在其中的信息。通过图3小波分析可以直观的看出样本的频率分布主要集中在200-2000Hz范围内。A样本为间断型；样本B、C旋律型其成分主要由旋律部分和基础音两部分合成，其中旋律部分主要用于体现品牌的声学特性，基础音主要用于满足相关法律的各项指标；D-J样本主要频率集中在200-1700Hz范围内。

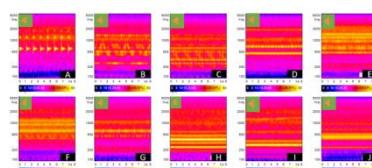


图3 样本A-J小波分析图

2.2 声音设计方法

基于此理论，分析如图4频谱结果，样本D主要是由457Hz和685Hz基频组成，其比率为1.5，属于完全协和音程；样本E主要由475Hz和597Hz组成，比率为1.26，属于不完全协和；样本F主要由300Hz和380Hz组成，比率为1.27，属于不完全协和；样本G主要有426Hz和621Hz组成，比率为1.34，属于完全协和；样本H主要由187Hz和234Hz组成，属于不完全协和；样本I主要由263Hz和334Hz组成，属于不完全协和。统计结果如表4所示。

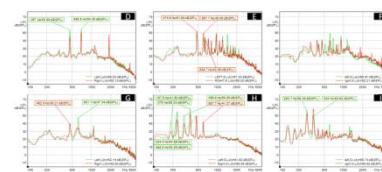


图4 样本D-I频谱图

表2 样本D-I音程统计表

样序	名称	基频1 Hz	基频2 Hz	基频3 Hz	比率1	比率2	音程	音程类别	声压级
1	D	457	685	/	1.50	/	无音程	完全协和	58
2	E	474	597	/	1.26	/	300, 600, 900	不完全协和	57
3	F	300	380	460	1.27	1.21	300, 600, 900 380, 760, 1150	近似不完全协和1.6	56
4	G	462	621	/	1.34	/	187, 375	完全协和	52
5	H	187	234	288	1.25	1.27	234, 468 298, 597	近似不完全协和1.6	62
6	I	263	334	/	1.27	/	无音程	近似不完全协和1.6	59

分析结果可知，样本D主观评价最高，采用完全协和音程设计，样本G虽然采用同样的设计方法，但是由于声压级较低，测试人员可能由于听不清，从而导致分数较低。而其它4个样本，均采用的是不完全协和音程。综合上述分析，低速提示音设计方案主要采用协和音程。

3 总结

本文主要通过十种样本，对其进行主客观评价分析，采用音乐理论对其设计方法进行探究。本文可以得到以下结论：在传统型低速提示音设计时，建议依据音乐理论，采用完全协和音程进行频率比设计，从而提高音效设计品质，而不要采用不协和音程。

参考文献：

- [1] 新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjzxgh/202111/t20211101_1302487.html.
- [2] 汽车推荐性国家标准《电动汽车低速行驶提示音技术要求》征求意见的函,汽标委网站.
- [3] Konet H,Sato M,Schiller T,et al.Development of Approaching Vehicle Sound for Pedestrians(VSP)for Quiet Electric Vehicles[J].SAE International Journal of Engines,2011,4(1):1217-1224.
- [4] 冯波.奔驰为电动车装模拟声音系统保障安全.环球网,http://auto.huanqiu.com/globalnews/2014-01/4718117.html,2014-01-03.
- [5] https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=Mzg4MDU1NzM0NQ==&mid=2247524051&idx=3&sn=16527a59a866b8877ced4f08524dc4f6&chksm=cf71b29df8063b8b04b97a745815fb14021a190256b6292ad97720f88542b1f43792c3ef5e49&scene=2.