

提示音警示性效果对驾驶反应的影响研究

钟韬¹, 方海¹, 郭嘉跃¹, 王巍²

(1. 广东工业大学, 广州 510006; 2. 佐治亚理工学院, 亚特兰大 30332)

摘要: **目的** 探究不同的提示音对于驾驶员正前方车辆警示性认知以及对驾驶反应时长的影响; 为安全性汽车提示音设计提供可行的设计方法以及参考。 **方法** 实验一: 通过行为学实验对 324 个车内提示音样本的警示性进行评测并选取出警示性效果较高的提示音样本。实验二: 使用 E-prime 软件编制实验程序, 进行了提示音刺激对驾驶视觉反应时长的实验。采用 SPSS 软件进行 ANOVA 分析。结果 根据 5 级评分量表选定 5 个警示性评价最高的提示音样本; 有提示音条件时对于在视觉中心突然有车出现的反应时间要快于无提示音条件; 其中高频率慢节奏的金属铃声的反应时长显著短于其他提示音 ($p < 0.05$)。 **结论** 在紧急情况下提示音可以加速视觉反应速度和加快驾驶反应; 对于道路正前方突然有车出现的情况下高频率的提示音警示性效果更好。

关键词: 驾驶; 听觉交互; 提示音; 警示性; 反应时间

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)18-0144-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.18.015

The Warning Effectiveness of Notification Sound on Driving Response

ZHONG Tao¹, FANG Hai¹, GUO Jia-yue¹, WANG Wei²

(1. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Georgia Institute of Technology, Atlanta 30332, USA)

ABSTRACT: To explore the effect of different notification sounds on driver's warning cognition of the vehicle in front of him and on the driving response time. It provides a feasible design method and reference for the design of safety car notification sound. Experiment 1: 324 notification sound samples was evaluated by behavioral experiment. According to the 5-grade scale, the most effective notification sound was selected. Experiment 2: The response time of alertness stimulus was tested by E-Prime software. And the experiment of the response time of notification sound stimulation to driving vision was carried out. SPSS software was used for ANOVA analysis. According to the 5-level rating scale, five notification sound samples with the highest evaluation were selected. The response time to the sudden presence of a car in the visual center was faster than that to the absence of a notification sound. Among them, the response time of the metal ring tone was significantly shorter than that of other warning tones ($p < 0.05$). In the case of emergency, the notification sound can accelerate the visual response speed and speed up the driving response, and the warning effect of the high frequency notification sound is better when there is a car suddenly in front of the road.

KEY WORDS: driving; auditory interaction; notification sound; warning effectiveness; response time

在智能化和体验化背景下, 听觉交互正在打破以视觉为主导的交互边界和驾乘体验模式, 成为了一个新的研究热点^[1-2]。警示性的提示音能够快速、准确

地提醒驾驶员道路状况以及车辆信息, 减小事故概率以及提高安全性^[3-4]。认知心理学研究表明, 声音利用的是边缘注意力, 是视觉的有效补充, 同时声音在

收稿日期: 2021-04-09

基金项目: 教育部人文社科研究青年基金资助项目 (17YJC760115); 广东省哲社科“十三五”规划项目 (GD18YXL01)

作者简介: 钟韬 (1978—), 男, 湖南人, 广东工业大学博士生、讲师, 主要研究方向为工业设计、声音交互设计。

通信作者: 郭嘉跃 (1985—), 男, 吉林人, 博士, 广东工业大学讲师, 主要研究方向为认知心理学、工业设计。

情感体验、便利交互和环境感知等方面有着视觉无法替代的作用^[5-7]。进入人脑的视觉、触觉信号总是先解码为听觉编码后再编码成语意，因此听觉是路径最短、最直接的认知通道。听觉的反应时间为 120~182 毫秒，快于视觉的反应时间，是紧急状况下的最优提示选择^[8]。在人机共驾或自动驾驶情境下，非驾驶任务将会占用更多的认知资源，而大多数事故都是在车辆行驶前方突然出现紧急状况而没有及时发现并采取措施造成的^[9]，因此警示性提示音有助于帮助驾驶员第一时间对于前方紧急事件作出快速反应并采取应对措施。

1 车内提示音分析及其警示性研究

汽车声音系统是指在用车过程中能够被感知、传递明确信息并且可以与之交互的声音信息集合。车内提示音是行驶过程中用于传递和反馈特定信息的提示性声音，其传递的信息内容往往与车辆安全驾驶密切相关，是汽车声音系统的重要组成部分，汽车声音系统见图 1。

行驶的安全性始终是汽车声音交互设计的首要前提。汽车使用场景和交互功能的多样化以及道路交通状况的复杂化，为安全性声音信息的有效传递及识别带来了新的问题，汽车提示音应用场景见图 2。

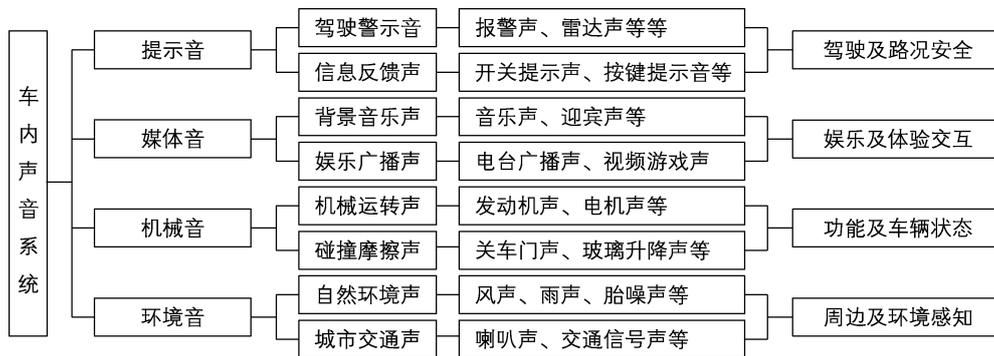


图 1 汽车声音系统
Fig.1 Classification of In-vehicle sound



图 2 汽车提示音应用场景
Fig.2 Application scenarios of automotive notification sound

Edworthy 等人对提示音信息的感知警示性与事件的紧急性之间的紧急映射关系的研究表明通过设置提示音的声学参数可以控制听觉警报的警示度,其实验研究揭示了客观声学参数变化对于主观警示度的影响^[10]。Katsuya Yamauchi 等人对警示音的主观感受进行研究,指出不同主观感受的声音只要响度等级相同被检测到的能力相同^[11]。EHellier 和 J Edworthy 对于客观声音预警参数变化与人的主观紧迫感变化之间的关系进行了研究并得出了 5 个主要的警告参数:音高、速度、重复、不和谐和长度^[12]。然而,目前相关的研究较多地集中在针对提示音的客观声学参数对警示性主观感受度的影响层面,而针对汽车的提示音警示性研究大多围绕电动车低速行驶时外部提示音对路人的安全警示^[13-14],较少涉及车内对驾驶员的提示音警示性效果研究。汽车交互设计人员大多根据自身的经验或者是沿用其他厂家的声音样本对车辆提示音进行设计。因此,本文选取汽车提示音作为研究对象,针对驾驶员驾驶过程中的听觉交互认知及行为进行分析,采用行为学实验方法进行了车内提示音警示性测评实验以及视觉正前方突然出现车辆时提示音对反应速度影响的实验,试图得到最具有警示性效果的提示音声学参数,期望可以为汽车交互设计人员提供设计参考。

2 提示音的警示性测评实验

实验收集了 324 个提示音声音样本。可以分为两类:一类是目前现有的汽车上正在使用的提示音声音样本。在市面量产的汽车品牌及车型中按照汽车价位的高中低 3 个档次挑选了包括奔驰、宝马、特斯拉、奥迪、沃尔沃、丰田、本田、广汽传祺、小鹏、蔚来、比亚迪等共计 12 个品牌 24 款车型进行提示音声音采集,涵盖电动汽车、混合动力汽车和传统燃油汽车。此类声音样本数为 144 个。另一类是未在汽车上使用,但是存在于人们日常生活中的提示音声音样本。例如自行车铃声、下课铃声、微波炉提示声、敲门声、鸟鸣声、拍照声等。此类声音样本数为 180 个。

2.1 被试

共有 69 名在校本科生和研究生(男 35 名,女 34 名)参与本次实验,被测者年龄为 22~40 岁,裸眼视力或矫正视力正常,色觉正常,双耳听力正常,无精神疾病。

2.2 实验材料与设备

实验材料:将提示音声音样本按照功能类型分为驾驶提示音、行为提示音、信息提示音以及状态提示音共计 4 类,通过专家用户(驾龄 3 年以上且有交互设计经验或用户体验设计经验)对提示音样本进行试听,通过对提示音样本的听觉警示感受、音色、辨识

度等的对比,最终从 4 类提示音中挑选出总计 23 个具有较好的警示性效果的声音样本进行汽车提示音警示性评测实验。这 23 个声音样本包括本田 Accord、本田 CRV、本田 Sensing、奔驰 GLS450 和沃尔沃 XC60 等 8 个现款车型提示音样本,还包括金属铃声、口哨声等 15 个生活提示音样本。实验开始前使用声音编辑软件 Adobe Premiere pro 和 Adobe Audition 对声音样本的节奏进行了调整,并将所有声音样本时长统一为 500 ms。另外,由于声音的响度会影响行驶中驾驶员的行为表现,因此将所有声音样本的响度统一设置为 70 分贝^[15]。

实验设备:采用广汽传祺半舱模型来模拟车内驾驶环境,LG60 英寸液晶电视用来进行驾驶前景显示道路模拟图像。松下音箱播放发动机声音(± 25 分贝)作为实验环境音。大疆手持云台设备用来做现场视听资料记录。在满足所有的条件下,汽车发动机声音(± 25 分贝)作为实验环境音始终保持存在,实验设备见图 3。

2.3 实验方法与结果

在被测进行实验前,工作人员先对被试进行正负情绪 PANAS 自省量表的测量,目的在于确保实验参与人员的情绪水平处于一个适合进行声音行为学实验的状态。确保情绪适合实验以及接受了简单的实验前培训后,被试被要求坐进汽车半舱模型内并对声音样本的警示性维度进行 5 点(1 表示毫无警示性,5 表示非常有警示性)等级评分,23 个声音刺激样本的播放顺序随机进行。收集被测的警示性评价结果,用 SPSS 软件对样本声音警示性的评分进行平均值统计和分析,提示音警示性平均值列表见表 1。

选定出 5 个等级平均分最高的声音样本,提示音警示等级测评见图 4。

提示音警示性评测实验(以下简称实验 1)结果表明,提示音主观警示性评价最高的前 5 个提示音依次为 Sound16、Sound21、Sound03、Sound09 和 Sound01。其中 Sound16 短促喇叭声警示性评分最高。警示性得分最高的 5 个提示音列表见表 2。从提示音声音样本声学基本参数分析中并未发现非常明显的影响主观警示性判断的客观参数依据,声学参数列表见表 3。



图 3 实验设备

Fig.3 Experiment equipments

表 1 提示音警示性平均值列表
Tab.1 The average value of warning effectiveness of notification sound

	平均值	标准偏差		平均值	标准偏差
Sound01	3.3478	0.85451	Sound13	2.1594	1.07953
Sound02	2.9420	1.04155	Sound14	2.5942	0.89638
Sound03	3.5217	1.17083	Sound15	3.0725	1.17972
Sound04	3.2319	0.98735	Sound16	3.5942	1.06161
Sound05	2.5217	1.09287	Sound17	2.0000	0.90749
Sound06	3.2754	1.29347	Sound18	1.8696	0.92216
Sound07	2.2899	1.01607	Sound19	2.0145	0.97758
Sound08	2.5217	1.29033	Sound20	1.8406	0.96441
Sound09	3.3768	1.22596	Sound21	3.5652	0.93113
Sound10	2.5217	1.15820	Sound22	2.2029	0.99380
Sound11	2.5652	0.99230	Sound23	2.4928	1.05193
Sound12	1.9130	0.99616			

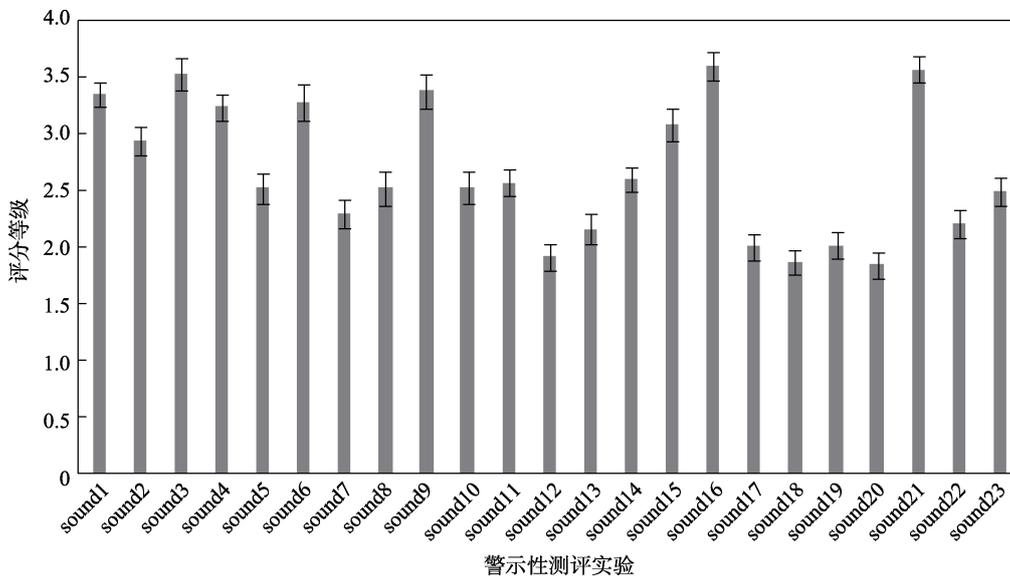


图 4 提示音警示等级测评 (误差线: ±SE)
Fig.4 Assessment of warning level of notification sound (Error bar: ±SE)

表 2 警示性得分最高的 5 个提示音列表
Tab.2 List of the top five notification sound

提示音	平均分
Sound16	3.5942
Sound21	3.5652
Sound03	3.5217
Sound09	3.3768
Sound01	3.3478

表 3 声学参数列表
Tab.3 Acoustic parameters of sound samples

	频率	节奏	速度
Sound16	422 Hz	120 BPM	0.5 s
Sound21	4000 Hz	63.6 BPM	0.94 s
Sound03	260 Hz	333 BPM	0.18 s
Sound09	315 Hz	171.4 BPM	0.35 s
Sound01	635 Hz	240 BPM	0.25 s

3 提示音对视觉反应时长影响的实验

3.1 被试

选取 30 名在校本科生和研究生(男女各 15 人), 年龄为 20~35 岁 (M=22.7, SD=±3.5 years)。裸眼视力或矫正视力正常, 色觉正常, 双耳听力正常, 无精神疾病。

3.2 实验材料与设备

实验材料: 声音提示材料包括 2.3 结果选定的警示性评价等级最高的 5 个提示声音, 分别为: Sound16 (短促喇叭声)、Sound21 (金属铃声)、Sound03 (叮咚声)、Sound09 (嗡鸣声) 和 Sound01 (铛铛声) 以及一个无声样本 Sound0 共计 6 个声音测试样本; 视觉材料车型共计 30 款, 其中 SUV10 款, 三厢车 10

款,二厢车10款,去色,亮度、对比度和尺寸统一,实验用车型图片见图5。实验背景色统一灰度为RGB125,车刺激呈现位置为显示器水平正中心、水平左侧以及水平右侧3个位置。选取提示视觉呈现的位置是短于交通法安全跟车距离进行计算的,在水平左侧以及右侧视野角度各 10° 的位置进行刺激的呈现。

实验设备:采用广汽传祺半舱模型用来模拟驾驶室环境,LG 60英寸、刷新率为85 Hz的液晶电视用来进行驾驶前景显示实验图像模拟,采用E-Prime编制实验程序并收集数据。松下音箱播放发动机声音(± 25 分贝)作为实验环境音。大疆手持云台设备用来做现场记录。声音编辑软件为Adobe Premiere pro和Adobe Audition。

3.3 实验设计及流程

实验首先呈现固视点650 ms,之后随机播放一个声音提示刺激(声音样本1—5以及无声刺激声音0),时长为500 ms,声音刺激后会有600 ms或1800 ms的随机间隔(ISI),然后显示1000 ms的视觉刺激图(位置为水平左、中、右随机呈现),最后进入1秒空屏后进入下一个循环,实验流程图见图6。实验任务刺激为当中心位置出现车刺激的时候,要求被试快速按下键盘空格键进行反应,左右位置呈现的刺激为干扰刺激。

3.4 实验结果

根据实验的反应时间结果,采用SPSS软件进行ANOVA分析,结果表明6种声音类别的主效应显著, $F(5, 5173) = 4.803, p < 0.001$ 。通过对于6种不同声音进行多重比较,结果表明,无声音Sound0的反应时间最长,最显著长于Sound21的反应时间($p < 0.001$),显著长于Sound03、Sound09、Sound16的反应时间($p < 0.05$),与Sound01的反应时间未见显著差异;Sound03提示音的反应时间显著长于

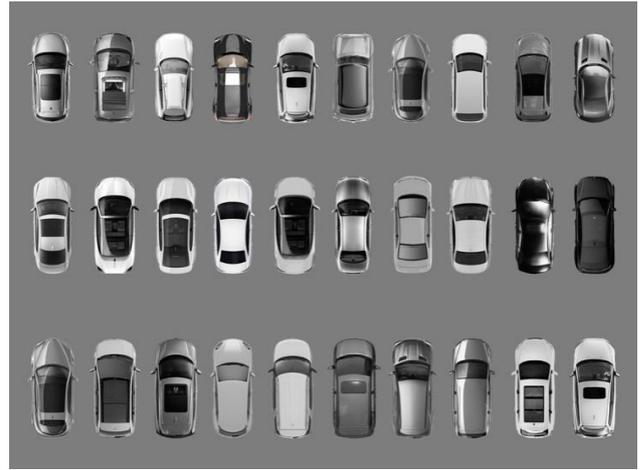


图5 实验用车型图片

Fig.5 Vehicle pictures of experiment

Sound21 ($p < 0.05$),与其他声音反应时长未见显著差异;Sound09提示音的反应时间显著长于Sound21 ($p < 0.05$),与Sound01、Sound16声音反应时间未见显著差异;Sound21提示音的反应时间显著快于所有声音材料的反应时间($p < 0.05$),非常显著快于Sound01的反应时间($p < 0.001$);Sound01提示音的反应时间与Sound16未见显著差异,6种声音条件下的中心刺激反应时比较,见图7。

提示音对视觉反应时长实验(以下简称实验2)的结果显示:(1)有提示音的驾驶情境下驾驶者对于车辆前方发生紧急事件的判断反应要快于没有提示音的驾驶环境;(2)有提示音比无提示音更能加速视觉反应速度,能够更好地引起驾驶过程中的警觉效果,进而达到提高操控行驶的安全性的效果;(3)提示音对视觉反应时长的排序从快到慢依次为Sound21、Sound03、Sound16、Sound09、Sound01和Sound0,其中Sound21反应最快。提示音反应时长对比见表4。

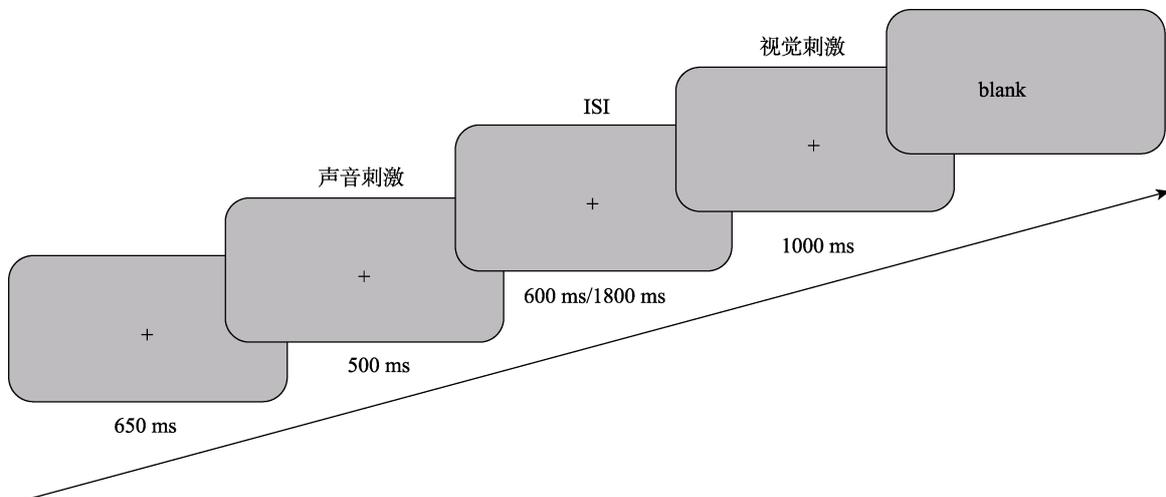


图6 实验流程图

Fig.6 Experiment procedure

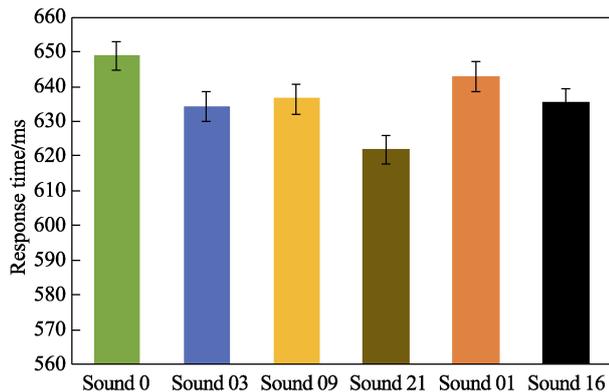


图 7 6 种声音条件下的中心刺激反应时比较
(误差线: \pm SE)

Fig.7 Comparison of response time with 6 different sounds
(Error bar: \pm SE)

表 4 提示音反应时长对比
Tab.4 Comparison of response time with
6 different sounds

提示音	反应时
Sound21	621.92 ms
Sound03	634.44 ms
Sound16	635.43 ms
Sound09	636.68 ms
Sound01	643.02 ms
Sound0	649.06 ms

4 讨论

通过对实验 1 和实验 2 的结果进行分析发现:

1) Sound21 (金属铃声) 对于在视觉中心突然出现紧急情况 (正前方突然出现车辆) 下, 被测者的反应时间要明显快于其他 5 种提示音情况。Sound21 的声音频率是 4000 Hz, 也是实验 2 中 6 类提示音条件下频率最高的提示音。验证了当声音频率介于 2000 Hz 到 4000 Hz 范围时人耳的听觉灵敏度最高, 当提示音的基础频率较高时其警示性效果相对较低频率声音更为明显的相关结论^[16-18]。因此, 研究者认为频率为 4000 Hz 左右的提示音在驾驶员驾驶车辆的过程中, 很有可能具有较好的警示性效果。此外, 为了更全面地分析和更好地设计出较好警示性效果的提示音, 在后续实验中将会重点针对 2000 Hz~4000 Hz 区间的提示音样本进行相关实验。

2) Navarro 等人的研究表明较快节奏的声音会影响驾驶的安全性^[19]。Sound21 的声音节奏为 63.6 BPM, 每节拍时长为 0.94 秒, 其速度要明显慢于其他 4 个被测提示音样本。因此, 提示音节奏的快慢对于警示性效果也有可能产生影响。本文中并没有针对提示音节奏对驾驶行为的影响进行实验测试, 这也是后续将会进行的实验研究内容之一。从提示音设计而言, 有理由认为对于提示音的设计需要从多维度的角度

进行考量, 而频率和节奏是影响紧急事件下反应时长的关键参数, 应该将频率与节奏结合起来进行提示音的设计。

3) 听标是自然声音而耳标是乐音, 前者来自生活容易理解而后者易于参数化^[20]。本文实验 1 中警示性评分最高的 Sound16 (短促喇叭声) 和实验 2 中反应时最快的 Sound21 (金属铃声) 均属于听标。虽然本文实验没有专门针对听标和耳标进行相关警示性以及反应时的测试, 但是也可以部分地反应出听标与耳标对提示音警示性效果的影响。Sound21 和 Sound16 的声音意义传递相较于耳标而言会较为容易理解和记忆, 从设计角度而言, 在警示性提示音的设计上可能听标会比耳标更为适合。设计师除了要注重提示音的物理属性外, 还要更加重视挑选日常熟悉的声音作为紧急事件下的提示音备选。另外, Sound16 虽然在实验 1 中得分最高, 但是其声音频率 422 Hz 位于中低频段, 因此这有可能是其在实验 2 中反应时间较 Sound21 慢的原因之一。

4) 研究表明, 随着汽车自动化程度的提高, 司机们会更地将注意力转移到其他任务上, 这会影响到他们的态势感知和正确反应的能力^[21]。在这种情况下, 延迟的视觉感知或行为反应受损可能是撞车的主要原因。基于这种理解, 从人的角度出发, 为了采取更有效的干预措施来减少撞车事故, 其中一种方法是增强驾驶员预见潜在危险的能力^[22]。在驾驶过程中具有高警示性的提示音无疑可以有效地提高驾驶反应速度以及行驶的安全性。

5 结语

实验证明高频率、慢节奏的提示音在紧急事件下很大程度上加速了驾驶员对于车辆行驶前方突发事件进行反应进而能够提高车辆驾驶安全性。作为视觉交互的有效补充, 汽车车内提示音在智能座舱应用领域可以发挥更大的作用。声音设计将直接对于汽车行驶安全和驾乘体验产生影响。汽车提示音实验研究表明未来声音设计将会成为汽车人机交互的重要组成部分, 其意义不仅限于行车安全, 更在自然交互、沉浸体验和空间感知方面拥有着广泛的研究及应用前景, 必将成为汽车交互系统的重要一环。

参考文献:

- [1] Wang W, Zhou F, Li W, et al. Designing the Product-service System for Autonomous Vehicles[J]. IT Professional, 2018, 20(6): 62-69.
- [2] 谭浩, 赵颖. 智能汽车的车内周边交互体验研究[J]. 包装工程, 2018, 39(16): 1-4.
TAN Hao, ZHAO Ying. Peripheral Interactive Experience in Intelligent Vehicle[J]. Packaging Engineering,

- 2018, 39(16): 1-4.
- [3] FraninovićK, SerafinS. *Sonic Interaction Design*[M]. Cambridge: Mit Press, 2013.
- [4] Van Egmond R. *The Experience of Product Sounds*[M]. Elsevier: Product Experience, 2008.
- [5] BacksRW, LennemanJ K, WetzelJM, et al. Cardiac Measures of Driver Workload During Simulated Driving with and without Visual Occlusion[J]. *Human Factors*, 2003, 45(4): 525-538.
- [6] YadavHC, JainR, ShuklaS, et al. Prioritization of Aesthetic Attributes of Car Profile[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2013, 43(4): 296-303.
- [7] Bregman A S. *Auditory Scene Analysis: the Perceptual Organization of Sound*[M]. Cambridge: MIT press, 1994.
- [8] 陈素华, 谢永清, 杨仲乐. 解决反应时实验数据可比性的一种新方法[J]. *医疗设备信息*, 2006, 4(4): 18-20.
- CHEN Su-hua, XIE Yong-qing, YANG Zhong-le. A Novel Method of Solving the Problem of Comparability of Experiment Data about Response Time[J]. *China Medical Devices*, 2006, 4(4): 18-20.
- [9] KLAUER S G, DINGUS T A, NEALE V L, et al. The Impact of Driver Inattention on Near-crash/Crash Risk: an Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data[R]. Washington DC: NHTSA, 2006.
- [10] Edworthy J. *Urgency Mapping in Auditory Warning Signals*[M]. *Human Factors in Alarm Design*: CRC Press, 1994.
- [11] Katsuya Yamauchi, Takaichi Sano, Shin Hasegawa, et al. Detectability and Hearing Impression of Additional Warning Sounds for Electric or Hybrid Vehicles[J]. *Inter-noise*, 2014(1): 1-7.
- [12] Hellier E, Edworthy J. On Using Psychophysical Techniques to Achieve Urgency Mapping in Auditory Warnings[J]. *Applied Ergonomics*, 1999, 30(2): 167-171.
- [13] 陈燕虹. 电动轿车警示声设计方法研究[J]. *汽车工程*, 2018, 40(4): 482-487.
- CHEN Yan-hong. A Study on Design Method of Warning Sound for Electric Cars[J]. *Automotive Engineering*, 2018, 40(4): 482-487.
- [14] PARIZET, Etienne. Detectability and Annoyance of Warning Sounds for Electric Vehicles[M]. *Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013: Acoustical Society of America*, 2013.
- [15] Dalton BH, BehmDG. Effects of Noise and Music on Human and Task Performance: a Systematic Review[J]. *Occupational Ergonomics*, 2007(7): 143-152.
- [16] Standard ISO226. *Acoustics-Normal Equal-loudness Level Contours*[J]. *International Standards Organization*, 1987(1): 10.
- [17] SuzukY, TakeshimaH. Equal-loudness-level Contours for Pure Tones[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2004, 116(2): 918-933.
- [18] LewisBA, EisertJ L, BaldwinCL. Validation of Essential Acoustic Parameters for Highly Rrgent in-Vehicle Collision Warnings[J]. *Human Factors*, 2018, 60(2): 248-261.
- [19] NavarroJ, OsiurakF, ReynaudE. Does the Tempo of Music Impact Human Behavior Behind the Wheel[J]. *Human Factors*, 2018, 60(4): 556-574.
- [20] Lucas P A. *An Evaluation of the Communicative Ability of Auditory Icons and Earcons*[C]. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 1994.
- [21] De Winter J C F, Happee R, Martens M H, et al. Effects of Adaptive Cruise Control and Highly Automated Driving on Workload and Situation Awareness: a Review of the Empirical Evidence[J]. *Traffic Psychology and Behaviour*, 2014(27): 196-217.
- [22] Ba Y, Zhang W, Chan A H S, et al. How Drivers Fail to Avoid Crashes: a Risk-Homeostasis/Perception-Response (RH/PR) Framework Evidenced by Visual Perception, Electrodermal Activity and Behavioral Responses[J]. *Traffic Psychology and Behaviour*, 2016(43): 24-35.