

·智能驾驶“人-车-环境”安全风险分析专题综述·

驾驶疲劳在人机共驾环境中的检测与缓解研究综述*

唐帮备^{1,2} 李衍¹ 王盛学¹ 朱明鑫³ 陈胜男¹ 胡志安²

(1.重庆文理学院智能制造工程学院,重庆 402160;2.陆军军医大学生理教研室,重庆 400038;3.四川轻化工大学机械工程学院,宜宾 643002)

【欢迎引用】唐帮备,李衍,王盛学,等.驾驶疲劳在人机共驾环境中的检测与缓解研究综述[J].汽车文摘,2024(8):9-16.

【Cite this paper】TANG B B, LI Y, WANG S X, et al. A Review of Driver Fatigue Detection and Mitigation in Man-Machine Co-Driving Environment[J]. Automotive Digest (Chinese), 2024(8): 9-16.

【摘要】为减少人机共驾环境下驾驶员驾驶疲劳对驾驶安全的影响,首先阐述了人机共驾环境下驾驶疲劳产生的机理,然后从主观和客观两个方面分析驾驶疲劳的检测方法,从主动疲劳和被动疲劳两个方向介绍疲劳的缓解方法,最后提出了当前驾驶疲劳检测与缓解研究的不足,并从多特征、多模式融合的角度对人机共驾环境下驾驶员驾驶疲劳检测与缓解进行了展望。

关键词:智能汽车;人机共驾;疲劳检测;疲劳缓解

中图分类号:U463.6 文献标志码:A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20240110

A Review of Driver Fatigue Detection and Mitigation in Man-Machine Co-Driving Environment

Tang Bangbei^{1,2}, Li Yan¹, Wang Shengxue¹, Zhu Mingxin³, Chen Shengnan¹, Hu Zhian²

(1. School of Intelligent Manufacturing Engineering, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160;
2. Physiology Teaching and Research Section, Army Medical University, Chongqing 400038; 3. School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin 643002)

【Abstract】In order to reduce the influence of driving fatigue on drivers in man-machine co-driving environment, this paper elaborates the mechanism of driving fatigue in man-machine co-driving environment, then analyzes the detection methods of driving fatigue from subjective and objective aspects, and introduces the alleviation methods of driving fatigue from active fatigue and passive fatigue. Finally, the deficiency of current research on driving fatigue detection and alleviation in man-machine co-driving environment is pointed out, and the prospect of research on driving fatigue detection and alleviation in man-machine co-driving environment is presented from the perspective of multi-feature and multi-mode fusion.

Key words: Intelligent vehicle, Man-machine co-driving, Fatigue detection, Fatigue relief

0 引言

自动驾驶在提升驾驶效率、减少能源消耗等方面发挥着积极作用^[1],国际自动机工程师学会(SAE International)将自动驾驶系统(Autonomous Driving System,ADS)分为6级,L0级~L5级逐渐从手动驾驶向完全自动驾驶过渡,主要区别为驾驶员的监控任务逐

渐减少直至完全自动驾驶中无须驾驶员进行监控与参与^[2-4]。然而,受制于技术、法规等诸多因素,L3级自动驾驶即人机共驾阶段,依然属于较长时间内汽车领域研究及发展重心。L3级自动驾驶系统能够在其设定的操作设计域内执行动态驾驶任务,但当自动驾驶系统发生故障或失效时,需要驾驶员立即进行人工接管^[5]。在人机共驾环境下,驾驶员的主要任务是监

*基金项目:重庆市博士后研究项目(2023CQBSHTB3133);重庆市教委科学技术研究项目(KJQN202201345);重庆市永川区自然科学基金项目(2022yc-jckx20039);重庆市自然科学基金(cstc2021jcyj-msxmX0386);重庆市自然科学基金(cstc2021jcyj-msxmX0766)。

视自动驾驶系统工作,驾驶员会更容易进入疲劳驾驶的状态,进而影响驾驶行为和接管反应时间,导致严重交通事故^[6-7]。因此,研究人机共驾环境下驾驶疲劳检测、驾驶疲劳缓解方法,对于提高驾驶安全性、减少交通事故、推动智能汽车的普及具有重要意义。冯舒等^[8]通过模拟驾驶试验,发现长时间单调驾驶会增加驾驶员的生理、心理疲劳,并降低操控效率,进而对行车安全构成威胁。Kirber等^[9]研究表明自动驾驶的单调性会导致驾驶员警觉性降低、产生被动疲劳,这可能对驾驶安全构成威胁。Schmig等^[10]发现高度自动驾驶与驾驶员嗜睡相互影响,长时间的自动驾驶可能使驾驶员嗜睡,而嗜睡又可能影响驾驶员接管车辆的反应时间和决策能力。Vogelpohl等^[11]利用先进的视频处理技术、机器学习方法和生物信号监测技术,分析驾驶员面部特征、生理信号和驾驶行为。研究发现与手动驾驶相比,监督自动驾驶车辆的驾驶员更容易感到困倦,并出现更多的无意识睡眠过渡现象。目前大多数学者对人机共驾模式下驾驶疲劳的研究主要集中在疲劳的产生机制与监测手段上,在探讨疲劳缓解方面仍有不足,主动疲劳与被动疲劳方面的研究也相对匮乏。

本文首先研究人机共驾模式下驾驶疲劳中主动疲劳和被动疲劳的产生机理,并从主观、客观两个方面分析驾驶疲劳的检测方法,最后从主动疲劳和被动疲劳2方面介绍了驾驶疲劳缓解方法。

1 人机共驾模式下驾驶疲劳的产生原因

1.1 手动驾驶模式下驾驶疲劳的产生原因

引起手动驾驶疲劳的原因很多,睡眠不充足、昼夜规律改变、剧烈运动、长时间持续驾驶均是引起驾驶疲劳的潜在因素^[12]。

我国职业人群每天睡眠不足的比例为11.6%^[13]。睡眠不足已成为手动驾驶疲劳的重要原因,对驾驶安全有严重影响。研究表明,缺乏睡眠驾车和酒后驾车一样存在风险,一个17~19 h没有睡眠的驾驶员,其行为能力与一个血液中酒精浓度为0.05%的驾驶员相差无几(在许多国家,这种浓度的酒精含量已经达到了醉驾的标准)^[14]。

其次,昼夜节律改变会影响人体的活动能力、体温、睡眠/觉醒机制、血压、工作效率等,从而使人的警觉性、工作效率、情绪下降,出现疲劳感^[15],对驾驶安全也有很大的影响。

在睡眠充足和昼夜节律良好的前提下,驾车时长

也是导致疲劳驾驶的重要原因,随着驾车时间的延长会增加驾驶员驾驶疲劳程度,驾驶风险也随之增大。

最后,驾驶员在驾驶前若进行了剧烈运动,运动性疲劳不仅会导致外周疲劳,还会影响中枢神经细胞代谢,进而产生中枢疲劳和疲劳感。当驾驶员疲劳或即将入睡时,控制车辆的能力将大大降低。

1.2 人机共驾环境下驾驶疲劳的产生原因

2020年5月,沪武高速发生了一起单方事故,驾驶员开启自动驾驶模式,因路障太小汽车没有成功感应,导致车辆冲入施工区域,当时驾驶员认为自动驾驶正常都会自动制动,并没有进行接管操作,导致车辆在冲入施工区域后,前挡风玻璃破碎,车头部位受损,高速路上施工设施也被撞坏。现阶段的自动驾驶技术还不够成熟,所以,按照现行法规的规定,驾驶员在自动驾驶过程中仍有必要对车辆进行监视,随时对车辆进行人工接管。而当驾驶员进行自动驾驶监管任务时,持续的低负荷工作、缺乏刺激和激励,可能会因为长时间单调乏味的监管任务而产生被动疲劳。Larue等^[16]发现,无外界刺激时,驾驶员警觉度下降,其警觉度下降可引起被动疲劳。Vogelpohl等^[17]的研究显示,在自动驾驶模式下,大多数驾驶员在15~35 min内就会感觉到明显疲劳,甚至有可能直接进入睡眠状态。Feldhütter等^[18]的研究表明,25%的受试者在自动驾驶模式下运行15 min后,显示出明显的疲劳迹象。

Desmond^[19]在2001年提出了主动疲劳和被动疲劳概念。主动疲劳是由驾驶员长期超负荷驾驶所致,被动疲劳是由驾驶员长期低负荷驾驶所致。主动疲劳和被动疲劳都会削弱驾驶员的注意力。

手动驾驶会因为不同的驾驶环境和路况产生不同类型的驾驶疲劳,在城区等交通拥堵的区域中驾驶会产生主动疲劳,在高速等单调区域下驾驶会产生被动疲劳。在驾驶员采用自动驾驶模式时,一般产生被动疲劳,但在切换驾驶模式人为控制车辆驾驶之后,也有可能出现主动疲劳。当路面条件较好且自动驾驶时,由于监控条件下作业量较少,驾驶员会出现被动疲劳。在复杂的道路环境中,驾驶员往往会因工作负荷过大而出现主动疲劳。所以,在人机协同驾驶的状态下,会出现被动疲劳,也有可能出现主动疲劳,但是多数情况下产生被动疲劳。

有时被动疲劳所造成的伤害要大于主动疲劳。Saxby^[20]等通过仿真试验表明,在无人驾驶条件下,驾驶员的被动疲劳加剧、警惕性下降、危险反应能力下

降。Feldhütter等发现在被动疲劳状态下面临接管任务时,驾驶员将会承担更多的负荷与压力,并且在接管后驾驶的安全性会降低。Linehan等^[21]的研究表明,当驾驶员收到接管请求并试图重新手动操控时,被动疲劳会导致驾驶员反应迟钝,从而可能导致严重的交通事故,而主动疲劳容易让驾驶员快速地反应,降低事故的概率。虽然主动疲劳跟高载荷、高强度相关,但其对驾驶安全性的影响相对较小。

综上所述,手动驾驶与人机共驾在疲劳致因方面既有区别又有联系。手动驾驶的疲劳主要由直接驾驶行为引起(如长时间驾驶和在复杂环境驾驶),而人机共驾环境下产生的疲劳则更多由自动驾驶模式下的持续监控和低负荷工作导致,产生被动疲劳。两者共同受驾驶员生理、心理状态、驾驶环境和任务负荷的影响,且疲劳类型可能互相转化。因此,针对人机共驾环境下驾驶疲劳的研究应聚焦于驾驶员状态监测、驾驶员主导权切换机制,以提高驾驶安全性。

2 人机共驾环境下驾驶疲劳检测方法

目前,国内外学者主要从主观、客观两个方面来评估驾驶员的疲劳状态。主观方法主要通过疲劳量表来测量疲劳程度,而客观方法则涵盖了基于生理信号、行为特征和面部特征的检测技术。这些方法于同样也适用于在人机共驾环境下检测驾驶员的疲劳状态。人机共驾既包含手动驾驶也包含自动驾驶,不同的检测方法对于手动驾驶和自动驾驶适用场合不一样,所以仍需分情况分析。

2.1 主观检测法

主观评价检测是通过问卷量表让被试者根据当下的精神状态以一定的方式表达自己的主观感受,从驾驶安全的角度考虑,相对更适用于自动驾驶。这种测量方法既可用于定量测量,也可用于定性测量。在实践中,主观评价检测方法有着简单易懂、成本低、有效性高,对驾驶员正常操作的干扰少等优点,常见的疲劳量表简述如下。

2.1.1 艾斯沃斯困倦量表

如表1所示,艾斯沃斯困倦量表(Epworth Sleepiness Scale, ESS)共有8个假设场景,对应8个问题,每个问题有4个选项:不打瞌睡、打瞌睡的概率低、打瞌睡的概率适中、打瞌睡的概率高。4个选项分别对应0分、1分、2分、3分。量表总分为24分,被试者填写量表合计总分为0~5分时,为不嗜睡;合计总分为6~10分时,为轻度嗜睡;合计总分为11~16分时,为

中度嗜睡;合计总分为17~24分时,为严重嗜睡。分数较低代表被试者白天嗜睡的可能性较低,分数较高则代表被试者白天嗜睡的可能性较高。

表1 艾斯沃斯困倦量表

场景	瞌睡程度评分			
	0	1	2	3
坐着阅读时	0	1	2	3
看电视时	0	1	2	3
公共场合坐着不动时	0	1	2	3
连续乘车1小时	0	1	2	3
下午静卧休息时	0	1	2	3
坐着与人交谈时	0	1	2	3
饭后静坐时	0	1	2	3
开车等红绿灯或遇堵车停几分钟时	0	1	2	3

2.1.2 斯坦福嗜睡量表

斯坦福嗜睡量表旨在衡量受试者在某一时刻的睡眠状况,它让受试者从7种最适宜于他们现在清醒着的状态中做出选择。从“醒着”到“困”、“醒”、“不睡”到“迅速睡着”等7种选择,得分也会随之提高。这个量表的总得分从1到7分不等。分数越高代表被试者当时越无精打采,而分数越低代表被试者越清醒,见表2。

表2 斯坦福嗜睡量表

嗜睡程度	评分
感觉有活力生机、生机、警觉、清醒	1
身体机能处于极高水平,不过不在峰值,可以集中注意力	2
很清晰,不过身体及思维都比较放肆,能够及时反映但不够灵敏	3
有些倦意,松懈	4
充满倦意,不想保持清醒,非常松懈	5
开始打瞌睡,头晕眼花,不再与睡意斗争,只想躺下来休息	6
睡眠初期,开始出现梦境	7

2.1.3 日间嗜睡感知量表

日间嗜睡感知量表主要测量被试者睡眠的主观感知。量表总共有4个问题,每个问题分别对应着5个选项:从来没有、很少有、经常有、几乎总是、一直都是。5个选项同样也分别对应着5个等级:0分、1分、2分、3分、4分。量表的总分为16分,总分越高,表示被试者的困意越明显;总分越低,表示被试者越清醒,见表3。

除以上3个量表之外,常见量表还有睡眠质量量表、匹兹堡睡眠质量指数、Karolinska嗜睡量表和清晨型-夜晚型量表等。

表3 日间嗜睡感知量表

被试者根据自己状况,对每个场景可能出现睡意的情况进行打分(输入分值0—4分):0从来没有;1很少有;2经常有;3几乎总是;4一直都是	
在白天,您感到困倦的情况如何?	
当您坐着不动(如阅读、看电视)时感到困倦的情况如何?	
在您需要保持清醒和专注的时候,您感到困倦的情况如何?	
如果您有机会躺下休息,您需要睡觉的情况如何?	

2.2 客观检测法

2.2.1 基于生理信号的检测方法

生理指标能反映人的精神状态^[22],利用被试的脑电图(Electroencephalography, EEG)、皮肤导电率(Electrodermal Activity, EDA)、光电容积脉搏(Photo-Plethysmo, GraphyPPG)和呼吸频率(Respiration, RE-SP)等生物电信号可以有效地检测驾驶者的疲劳状态。这些生物电信号能够反映驾驶者的生理变化,从而评估其疲劳程度,为驾驶安全提供重要依据,其中驾驶员脑电采集如图1所示。



图1 脑电信号采集

然而,采集生理信号需要在驾驶员身上安装监测传感器,不利于驾驶员安全行车,所以这种方法更适用于人机共驾中的自动驾驶。研究表明,疲劳驾驶会导致驾驶员的生理指标异常^[23]。因此,驾驶员的生理信号完全可以作为有效衡量驾驶疲劳状态的重要指标。通过监测这些信号,可以更准确地评估驾驶员的疲劳程度,从而确保驾驶安全。Lal等^[24]发现脑电图与驾驶疲劳程度有很高的相关性。研究表明,驾驶员出现驾驶疲劳时,其 δ 波和 θ 波增加, α 波和 β 波变化不明显。Wang等^[25]研究了基于无线干电极脑电图的疲劳检测方法,提出了一种结合谱密度和样本熵的疲劳检测方法。王玉化等^[26]通过模拟驾驶后休息时的心电信号变化研究,发现心电图的心率、间隔标准差、低高频比率及样本熵等指标与驾驶员疲劳状态恢复时间存在关联。Cai等^[27]提出了一种前额叶眼信号采

集方法,将水平眼信号和垂直眼信号从前额叶眼信号中分离出来。生理信号测量是评估驾驶员真实状态的有效手段,其准确性和可靠性高,有助于及早发现驾驶疲劳。

2.2.2 基于驾驶员行为特征的检测方法

驾驶员从驾驶模式转为人工接管车辆驾驶后,也可以通过分析驾驶员行为特征对其疲劳状态进行检测。通过检测汽车行驶速度、加速度、转向盘角度、车道偏离及制动踏板变化,精准判断驾驶员是否存在疲劳驾驶。石磊^[28]开发了驾驶员疲劳报警程序,通过对转向盘转速、加速度、驾驶舱声音和车辆位置进行分析,可以成功识别、报警驾驶员疲劳。牛清宁^[29]等通过采集转向盘参数,运用Fisher线性判别算法实时识别驾驶员疲劳状况,算法准确率高达82%。Li^[30]等通过分析不同驾驶阶段握力的差值及标准差,有效判断驾驶员的疲劳程度。

基于驾驶员操作行为的疲劳检测方法具有数据采集和处理简便、客观的优点,能实时监测汽车运行中的各项数据(如制动、油门、转向盘转角、速度和加速度等),有效预防交通事故发生。

2.2.3 基于面部特征的检测方法

当驾驶员进入疲劳状态时,其面部会出现很多视觉特征显示其疲劳程度,例如瞳孔大小和视线方向的变化、头部姿势和面部表情的变化、眨眼和打哈欠以及局部运动的其他面部特征。王富强等^[31]提取了驾驶员的眼睛和嘴巴特征,并通过这些特征来检测驾驶员的疲劳状态。Liu^[32]等提出了一种基于深度学习和模糊推理系统的疲劳检测算法,该算法主要聚焦于通过面部表情分析来评估驾驶员的疲劳程度,能够在实时条件下快速、准确地检测驾驶员的疲劳程度,为疲劳驾驶预警系统提供了一种有效且准确的技术手段。Chen^[33]等提出了一种基于人脸疲劳状态识别算法,该方法通过结合多任务卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNN)和长短期记忆(Long Short-Term Memory, LSTM)网络,实现了对驾驶员人脸疲劳状态的准确识别,平均准确率高达93%,运行时间不到普通开发学习图像库方法的一半。Fang等^[34]建立基于面部特征的驾驶员疲劳评估系统,提出了一种新的驾驶员和控制器权限分配策略,用于构建驾驶员与车辆交互系统,所提策略能够根据疲劳状态对人机权限进行自适应优化,全面提升车辆性能。

通过实时检测驾驶员的疲劳状态并自适应调整人机权限,可以使自动驾驶系统更加智能、高效,推动

自动驾驶技术的发展和應用。未来的人机交互系统将能够更加智能地感知和适应驾驶员状态的变化,从而提供更加安全、高效和舒适的驾驶体验。

基于驾驶员面部特征的检测方法属于非接触式检测,不干扰正常驾驶,在驾驶员接管手动驾驶和自动驾驶时均适用。且驾驶员面部的运动特征是最明显的疲劳症状,更加直观、实用,因而倍受关注。

综上,主观评价检测和基于驾驶员生理信号的检测方法更适合在自动驾驶的情况下使用,基于驾驶员行为特征的检测方法更适合在手动驾驶的情况下使用,基于驾驶员面部特征的检测方法在2种驾驶情况下都能很好地检测驾驶员的疲劳状态。

3 人机共驾环境下驾驶疲劳缓解研究

在人机共驾环境下,驾驶员既会产生被动疲劳,也有产生主动疲劳的可能性,从主动疲劳和被动疲劳2个角度来分析缓解驾驶疲劳的方法。

3.1 主动疲劳的缓解研究

基于耶基斯·多德森定律和“疲劳自控”理论,提出睡眠不足、连续驾驶、超载驾驶等因素诱发的持续高唤醒需求,引发机体抗疲劳,进而造成身心机能的衰退,也就是持续时间长的高注意能耗、高生理唤醒程度,诱发脑内抵抗,使机体的生理机能受到永久性损害。

当频繁的手操纵和脚操纵使驾驶员在驾车过程中感觉到疲惫时,驾驶员需要立即睡觉、休息,通过睡觉、休息来消除主动疲劳。在开长途车之前,驾驶员也要保证充足的睡眠时间,保证睡眠时间充足是及时消除主动疲劳、恢复体力和精力的重要保证,也是最有效避免疲劳驾驶的方法。

此外,可以通过制定相应的法律、规章来降低因驾驶而引发的意外事故。柴晓军^[35]在对比分析了国内外有关疲劳驾驶的相关法律和政策后,就如何细化驾驶员的行车时长、如何对疲劳驾驶进行有效管理与控制等方面,提出了相应对策,并对乘客进行了相关的培训与教育,增强驾乘人员安全意识。

3.2 被动疲劳的缓解研究

多巴胺疲劳生成理论也可解释被动疲劳的发生机制。当人在执行一项任务时,大脑会先对任务进行评估,如果结果是高投入低回报,多巴胺活动减少,大脑就会进入疲劳状态。在自动驾驶模式下,驾驶员虽然不用手动控制车辆行驶,但需要一直处于监管状态,时刻准备接管操作,长时间自动驾驶时,驾驶员不

用接手,容易导致多巴胺活动减少,驾驶员进入被动疲劳状态。此时可以对驾驶员各感觉器官进行刺激,使驾驶员保持清醒状态。当前,国内外研究人员对于被动疲劳刺激缓解的研究大致可分为听觉、视觉、嗅觉等。

3.2.1 通过听觉刺激缓解被动疲劳的研究

运用音乐来刺激缓解被动疲劳十分便捷,相关研究也比较广泛。胡佳斌^[36]等选取10名驾驶员进行模拟驾驶试验,疲劳时分别给予流行乐和摇滚乐刺激,以瞳孔直径和眨眼时间均值作为疲劳程度评价指标,发现,流行音乐和摇滚音乐对缓解驾驶疲劳的效果差异不大。胡志刚^[37]等研究发现,驾驶员在单调声音环境下易疲劳,但可通过放松的旋律或中高音刺激来缓解疲劳,但如果没有外部刺激就不能缓解疲劳。Yokoyama等^[38]研究发现响度对驾驶疲劳有影响,高响度音乐能缓解驾驶疲劳。周春远等^[39]研究在不同道路上音乐对于疲劳驾驶的唤醒作用,发现音乐对驾驶员疲劳状态下的唤醒作用显著,乡村道路和城市道路驾驶疲劳的唤醒作用没有明显差异。

3.2.2 通过视觉刺激缓解被动疲劳的研究

驾驶员在行驶时,视觉是获取外界环境信息的主要方式。通过输入可视信息可以减轻驾驶疲劳,继而降低道路事故的发生率。国内外多名学者对疲劳唤醒机理进行了研究,根据相关文献统计分析^[40],驾驶员在行驶过程中从感官上获得的交通信息量所占的比例分布,视觉占比80%,目前高速公路采用的疲劳唤醒技术方案大多从刺激驾驶员视觉的角度出发进行设计。周建等^[41]提出了针对环境单调地区公路驾驶疲劳的安全对策,这些对策主要在不直接影响驾驶操作和车辆行驶轨迹的情况下,通过改善安全设施与路侧环境,包括安装彩色护栏、划彩色标线等,形成对驾驶员的视觉刺激,从而缓解驾驶疲劳。解松芳等^[42]研究草原公路景观下驾驶员的眼动特性,采用眼动仪收集相关指标,并进行了统计分析。研究发现,单调的景观对驾驶员的视觉刺激较小,容易引起视觉疲劳。Larue^[43]等分析了路面结构等因素对驾驶员疲劳及行车表现的影响。单调的路面及路旁环境可使驾驶员感到疲劳。

3.2.3 通过嗅觉刺激缓解被动疲劳的研究

随着汽车的普及,汽车不再是一种简单的交通工具,而是继家庭和办公之后的第三居住空间,汽车消费者对汽车内部环境质量的要求也在不断提高^[44],车主一般会使用车载香氛来改善汽车内部的空气环境,

以此提升嗅觉的愉悦感。梁浩明^[45]等研究鼻吸入薄荷油对小鼠精神疲劳行为和脑内氨基酸类神经递质的作用,发现鼻吸入薄荷油能缓解精神疲劳,具有显著抗疲劳效果,其机制在于通过嗅觉系统调节相关脑区氨基酸类神经递质的含量。赵燕琳^[46]等人通过脑电波测试,分析了受试者在嗅吸不同配方香柠檬精油前后的脑电波变化,发现柠檬精油可以在一定程度上影响人的脑电波,帮助减轻大脑疲劳,提升精神。贾毅超^[47]等人提出了一种针对提神香氛有效性的科学验证方法,通过人体主观感受和人体脑电波信号客观数据变化综合验证思路,提升了试验结果的准确性,也确保了香氛提神的可靠性。重庆交互科技有限公司发明了一种嗅觉体验测试仪^[48],嗅觉体验测试仪如图2所示,拥有8个通道可根据需求自动或手动释放香氛。唐帮备等人^[49]则使用嗅觉体验仪研究了一种基于嗅觉等刺激的驾驶疲劳唤醒方法,采用主观疲劳问卷和心电图(Electrocardiogram, ECG)、光电容积脉搏(PhotoPlethysmography, PPG)以及呼吸频率(Respiration, RESP)生理信号作为疲劳唤醒有效性判断指标,发现使用薄荷气味能有效干预驾驶疲劳。



图2 嗅觉体验测试仪

4 结束语

本文对人机共驾中驾驶疲劳的产生原因、检测及缓解方法进行了全面分析,总结了现有的理论、方法和技术,并得出以下结论与展望。

首先,在人机共驾环境下,驾驶员在自动驾驶阶段容易陷入被动疲劳状态,而在接管操作后,高任务要求会迅速引发主动疲劳。被动疲劳可能会导致驾驶员反应迟钝,增加事故风险;而主动疲劳虽与高载荷、高强度相关,但驾驶员能迅速应对,降低事故概率。人机共驾环境下驾驶疲劳的演化规律已成为当前研究焦点。其次,在驾驶疲劳的检测方法上,主观检测法适用于自动驾驶阶段,但可靠性较差;生理信

号测量法准确可靠,但相对不适用于行车过程中;基于驾驶员行为特征的检测方法适用于人机共驾下的手动驾驶模式;基于面部特征的检测方法则适用于各种驾驶模式,但在受光照强度大、驾驶员佩戴墨镜或脸部有遮挡等情况下的影响较大。采用多特征融合的检测方法将成为人机共驾环境下检测驾驶员疲劳状态的有效手段。这种方法结合多种生理信号和驾驶行为特征,能够全面分析驾驶员状态、为驾驶安全提供更全面的保障。同时,将检测设备的便携化也非常值得研究。

在驾驶疲劳的缓解方式上,充足的睡眠和及时休息是避免主动疲劳的关键,但在特定驾驶环境下可能受限。通过听觉、视觉、嗅觉等多种感官刺激可以缓解疲劳,但每种方法都有其局限性。因此,未来研究应进一步探索多感官联合刺激的缓解调控方法,为人机共驾环境下的驾驶疲劳问题提供更有效的解决方案。

参 考 文 献

- [1] 李磊磊. 自动驾驶汽车产业发展研究及展望 [J]. 汽车文摘, 2023(9): 1-10.
- [2] 智能汽车人机交互专题介绍 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2024, 52(6): 826.
- [3] 张晖,倪定安,曾科,等. 人机共驾环境下驾驶疲劳研究综述 [J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(3): 204-211.
- [4] SAE International. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles: J3016_202104[S/OL]. [2021-04-30] (2024-05-28). https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/.
- [5] 张文颖,周诗婕,金海亮,等. 自动驾驶系统中人机协同的认知决策一体化机制研究[J]. 汽车文摘, 2023 (9): 11-18.
- [6] 陈虹,郭露露,边宁. 对汽车智能化进程及其关键技术的思考[J]. 科技导报, 2017, 35(11): 52-59.
- [7] 张大权,张惠,杨冬雨,等. 关于L3自动驾驶的人机交互设计研究[J]. 汽车文摘, 2020(1): 32-35.
- [8] 冯舒,段靓瑜,江朝晖,等. 长时间单调模拟驾驶对疲劳的影响研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(2): 66-71.
- [9] KIRBER M, CINGEL A, ZIMMERMANN M, et al. Vigilance Decrement and Passive Fatigue Caused by Monotony in Automated Driving[J]. Procedia Manufacturing, 2015, 3: 2403-2409.
- [10] SCHMIG N, HARGUTT V, NEUKUM A, et al. The Interaction between Highly Automated Driving and the Development of Drowsiness[C]//6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015)

- and the Affiliated Conferences, 2015.
- [11] VOGELPOHL T, KUEHN M, HUMMEL T, et al. Asleep at The Automated Wheel—Sleepiness and Fatigue During Highly Automated Driving [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2018, 126:70–84.
- [12] 向洪义. 驾驶疲劳生理特征及识别方法研究[D]. 重庆: 中国人民解放军陆军军医大学, 2023.
- [13] ZHENG W L, GAO K, LI G, et al. Vigilance Estimation Using a Wearable EOG Device in Real Driving Environment[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020, 21(1): 170–184.
- [14] 原鸣. 睡眠不足驾驶与酒驾同样危险[N]. *中国科学报*, 2014–03–21(013).
- [15] MOMOSE H, MORIMITSU N, IKEDA E, et al. Eyes Closing and Drowsiness in Human Subjects Decrease Baseline Galvanic Skin Response and Active Palmar Sweating: Relationship Between Galvanic Skin and Palmar Perspiration Responses[J]. *Frontiers in Physiology*, 2020, 11: 558047.
- [16] GIMENO T P, PASTOR G, CHOLIZ M. On the Concept and Measurement of Driver Drowsiness, Fatigue and Inattention: Implications for Countermeasures[J]. *International Journal of Vehicle Design*, 2006, 42(1–2): 67–86.
- [17] VOGELPOHL T, KITIHN M, HUMMEL T, et al. Asleep at the Automated Wheel—Sleepiness and Fatigue During Highly Automated Driving [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2019, 126: 70–84.
- [18] FELDHITTER A, HECHT T, KALB L, et al. Effect of Prolonged Periods of Conditionally Automated Driving on the Development of Fatigue: with and without Non-Driving-Related Activities[J]. *Cognition Technology and Work*, 2019, 1(21): 33–40.
- [19] DESMOND P A, HANCOCK P A. Active and Passive Fatigue States[M]//Hancock P A, Desmond P A. *Stress, Workload, and Fatigue*. London: LEA Publishers, 2001: 455–465.
- [20] SAXBY D, MATTHEWS G, WARM J, et al. Active and Passive Fatigue in Simulated Driving: Discriminating Styles of Workload Regulation and Their Safety Impacts[J]. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2013, 19(4): 287–300.
- [21] LINEHAN C, MURPHY G, HICKS K, et al. Handing Over the Keys: a Qualitative Study of the Experience of Automation in Driving[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2019, 35(18): 1681–1692.
- [22] 陈哲见. 疲劳驾驶检测方法研究进展 [J]. *汽车实用技术*, 2023, 48 (21): 179–186.
- [23] Shen K Q, Li X P, Ong C J, et al. EEG-Based Mental Fatigue Measurement Using Multi-Class Support Vector Machines with Confidence Estimate[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2008, 119(7):1524–1533.
- [24] Lal S K L, Craig A. Driver Fatigue: Electroencephalography and Psychological Assessment[J]. *Psychophysiology*, 2002, 39(3): 313–321.
- [25] WANG H T, DRAGOMIR A, ABBASI N I, et al. A Novel Real-Time Driving Fatigue Detection System Based on Wireless Dry EEG[J]. *Cognitive Neurodynamics*, 2018, 12 (4): 365–376.
- [26] 王玉化, 戚春华, 朱守林, 等. 驾驶疲劳恢复时间的心电信号分析[J]. *中国安全科学学报*, 2017, 27(8): 7–12.
- [27] CAI H, MA J, SHI L, et al. A Novel Method for EOG Features Extraction from the Forehead[C]//Proceedings of 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2011:3075–3078.
- [28] 石磊. 基于 Android 智能移动终端的汽车疲劳驾驶预警系统的研究与实现[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
- [29] 牛清宁. 基于信息融合的疲劳驾驶检测方法研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2014.
- [30] LI R, CHEN Y V, ZHANG L H. A Method for Fatigue Detection Based on Driver's Steering Wheel Grip[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2021, 82 (3): 103083.
- [31] 王富强, 刘德胜, 刘云鹏. 基于面部特征的疲劳驾驶检测技术研究[J]. *现代计算机*, 2021(7): 121–124.
- [32] LIU Z M, PENG Y X, HU W J. Driver Fatigue Detection Based on Deeply-Learned Facial Expression Representation[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2020, 71: 102723.
- [33] CHEN L, XIN G J, LIU J W, et al. Driver Fatigue Detection Based on Facial Key Points and LSTM[J/OL]. *Security and Communication Networks*, 2021[2024-06-28]. <https://dl.acm.org/doi/10.1155/2021/5383573>.
- [34] FANG Z W, WANG J X, WANG Z J, et al. Human-Machine Shared Control for Path Following Considering Driver Fatigue Characteristics[J/OL]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2024[2024-06-28]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10400980>.
- [35] 柴晓军. 客运驾驶员疲劳驾驶监管技术及政策研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- [36] 胡佳斌, 胡志刚. 不同风格音乐对驾驶疲劳缓解试验[J]. *明日风尚*, 2017(1):135.

- [37] 胡志刚,胡佳斌,乔现玲.不同响度音乐对单调声音环境下驾驶疲劳缓解试验研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2017,36(9):73-79.
- [38] YOKOYAMA M, OGURI K, MIYAJI M. Effect of Sound Pressure Levels of Music on Driver's Drowsiness[C]// Proceedings of the World Congress on Intelligent Transport Systems and IT'S America's Meeting, 2008: 16-20.
- [39] 周春远,柯畅,肖冰,等.基于音乐对不同道路驾驶疲劳的唤醒作用[J].人类工效学,2021,27(6):46-51.
- [40] 安林轩,段阳阳.疲劳唤醒技术在高速公路上的应用[J].大众标准化,2022(20):142-144.
- [41] 周建,刘清霞,柴华,等.环境单调地区公路驾驶疲劳外部致因与安全对策[J].公路,2014,59(7):270-273.
- [42] 解松芳,朱守林,戚春华,等.草原公路路侧景观对驾驶员眼动特性影响研究[J].中国安全科学报,2014,24(8):62-67.
- [43] LARUE G S, RAKOTONIRAINY A, PETTITT A N. Driving Performance Impairments Due toHypo-Vigilance on Monotonous Roads[J]. Accident Analysis & Prevention, 2011, 43(6): 2037-2046.
- [44] 贾毅超,李俊贤,袁磊磊,等.车内气味设计研究[J].汽车实用技术,2018(21):115-119.
- [45] 梁浩明,龙晓英,卢耀文,等.鼻吸入薄荷油对小鼠精神疲劳行为及脑内氨基酸类神经递质的影响[J].中药新药与临床药理,2015,26(5):649-654.
- [46] 赵燕琳.基于嗅吸法的香柠檬精油对人体脑电波的影响[D].上海:上海交通大学,2012.
- [47] 贾毅超,袁磊磊,李俊贤.某车载提神香氛功效验证及应用[J].汽车实用技术,2022,47(10):28-32.
- [48] 唐帮备,郭钢,夏进军.汽车内饰材料气味的用户嗅觉体验测评及装置[J].中国机械工程,2017,28(2):206-214.
- [49] 朱明鑫,唐帮备,胡志安,等.基于嗅觉和听觉刺激的驾驶员疲劳唤醒方法研究[J].汽车工程学报,2024,14(3):405-411.

(责任编辑 明慧)

《汽车技术》征稿启事

《汽车技术》杂志是中国第一汽车集团有限公司主办的国内外公开发行的汽车前瞻与应用技术类月刊,为我国高质量科技期刊分级目录入选期刊、中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊(A)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)收录期刊、日本科学技术振兴机构数据库入选期刊、EBSCO学术数据库收录期刊、欧洲学术出版中心(EuroPub)数据库收录期刊。

《汽车技术》杂志以报道汽车整车及其零部件设计、研究、试验等方面的前瞻与应用技术为主,并兼有理论研究内容,是中国汽车行业核心学术和知识传播与共享的平台。

《汽车技术》将在国家提出的“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念的指引下,把握《节能与新能源汽车技术路线图》和“低碳化、信息化、智能化”的汽车技术主流发展趋势,努力在传统内燃机汽车高效动力系统、轻量化、低阻力领域,新能源汽车和互联智能汽车技术领域,大力吸收优质稿源,为广大科研和工程技术人员服务,为我国汽车工程技术创新能力提升贡献力量。

《汽车技术》欢迎高等院校师生、研发工程技术人员、技术管理人员及相关人员不吝赐稿,反映国家重点扶持项目、自然科学基金项目和其他重点项目等研究成果的稿件将被优先选择刊登。

投稿要求:

1. 文章字数最好控制在6 000~8 000字范围之内;
2. 请按科技论文要求撰写文章摘要,摘要中文字数控制在180字左右;
3. 文章必须附有公开发表的、体现本领域最新研究成果的参考文献,且在文中应标注文献引用处;
4. 文章主要作者应提供其简介,包括出生年、性别、职称、学历、研究方向及技术成果等;
5. 来稿的保密审查工作由作者单位负责,确保署名无争议,文责自负;
6. 请勿一稿多投;
7. 本刊使用网站投稿,请先登陆网站注册成功后投稿,详细投稿要求见本刊网站中“下载中心”栏的“作者指南”,

网址:<http://qcjs.cbpt.cnki.net>。

《汽车技术》编辑部