

# 汽车座椅对驾驶疲劳作用的研究进展

杨昌林

西华大学汽车与交通学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年2月5日; 录用日期: 2026年3月13日; 发布日期: 2026年3月25日

## 摘要

驾驶疲劳是影响道路交通安全的重要因素之一, 其形成机制涉及生理负荷累积、姿态稳定性下降、神经警觉性减弱以及肌肉代谢失衡等多重因素。作为驾驶员与车辆之间最直接的人机界面, 汽车座椅在缓解驾驶疲劳、提升驾驶舒适性及保障行车安全方面具有关键作用。本文系统梳理了近年来国内外关于汽车座椅对驾驶疲劳影响机制的研究进展, 围绕疲劳形成机理、静态几何参数与材料特性优化、动态机械结构调节技术以及智能感知与主动控制技术等方面进行了综合分析。在此基础上, 对不同疲劳评价方法的适用性与局限性进行了对比, 探讨了材料软硬差异、支撑结构设计分歧以及实验条件差异对研究结论的影响机制。研究表明, 单一结构优化难以全面缓解驾驶疲劳, 材料性能、支撑结构及智能调节技术的协同设计是未来发展方向; 多模态生理信号融合与预测性主动控制将成为智能座椅系统的重要技术趋势。最后, 本文总结了当前研究存在的标准缺失、样本规模有限与工程转化不足等问题, 并提出构建材料-结构-算法一体化设计框架的建议。本文可为汽车座椅人机工程优化及智能化发展提供理论参考。

## 关键词

驾驶疲劳, 汽车座椅, 人机工程, 多模态感知, 主动控制, 智能座椅

# Research on the Role of Automobile Seat in Driving Fatigue

Changlin Yang

School of Automotive and Transportation, Xihua University, Chengdu Sichuan

Received: February 5, 2026; accepted: March 13, 2026; published: March 25, 2026

## Abstract

Driving fatigue is a critical factor affecting road traffic safety. Its formation mechanism involves the accumulation of physiological load, decline in postural stability, reduction of neural alertness, and imbalance in muscular metabolism. As the most direct human-machine interface between the driver

and the vehicle, the automotive seat plays a pivotal role in mitigating driving fatigue, improving comfort, and enhancing driving safety. This paper systematically reviews recent domestic and international research progress on the effects of automotive seats on driving fatigue. The discussion focuses on fatigue formation mechanisms, optimization of static geometric parameters and material properties, dynamic mechanical adjustment technologies, and intelligent sensing and active control strategies. Furthermore, the applicability and limitations of different fatigue evaluation methods are comparatively analyzed, and the underlying causes of inconsistent findings—such as differences in material stiffness, support structure design, and experimental conditions—are examined. The review indicates that single structural optimization is insufficient to comprehensively alleviate driving fatigue; instead, coordinated design integrating material performance, support structure, and intelligent control technologies represents the future development direction. Multimodal physiological signal fusion and predictive active control are expected to become key technological trends in intelligent seat systems. Finally, existing challenges, including the lack of standardized evaluation criteria, limited sample sizes, and insufficient engineering validation, are identified. The establishment of an integrated material-structure-algorithm design framework is proposed. This study provides a theoretical reference for ergonomic optimization and intelligent development of automotive seats.

## Keywords

Driving Fatigue, Automobile Seat, Ergonomics, Multimodal Sensing, Active Control, Intelligent Seat System

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

根据《中国统计年鉴 2024》数据显示, 2023 年我国共发生 25.5 万起道路交通事故, 造成 6 万多人死亡, 导致的直接经济损失高达 11.8 亿元。众多引发交通事故的因素中, 驾驶疲劳显得尤为突出。据不完全统计, 至少 21% 的交通事故的诱因是驾驶疲劳。因此, 驾驶员在疲劳状态下行车已然成为造成交通事故最主要的原因之一。

汽车座椅作为驾驶者在行车过程中直接接触的部件, 其设计合理性对于缓解驾驶疲劳起着至关重要的作用。合理的座椅设计能够有效支撑人体、调节坐姿, 减少肌肉疲劳和不适感, 从而提高驾驶者的舒适度和注意力。近年来, 关于汽车座椅对驾驶疲劳作用的研究逐渐增多, 旨在通过不断优化座椅的各项参数, 如座椅形状、材料特性、调节功能等, 以最大程度地减轻驾驶疲劳, 提升驾驶安全性和舒适性。本文将对汽车座椅在缓解驾驶疲劳方面的研究进展进行综述, 以期对相关领域的进一步研究和实践提供参考。

## 2. 疲劳驾驶的形成机制与评估方法

### 2.1. 疲劳驾驶的形成机制

翁东凯等[1]研究了驾驶肌肉疲劳的生理学机制及其干预技术。驾驶肌肉疲劳的诱发原因包括神经控制失能、肌肉代谢产物堆积、臀部肌肉组织压迫、腰椎间盘突出内压增高以及下肢血液回流受阻等, 涉及颈肩、腰和小腿等部位的肌肉。停车休息、座椅加热、座椅按摩等手段可以有效缓解驾驶肌肉疲劳。

在神经认知层面, 持续注意力集中会加速脑力资源耗竭, 前额叶皮层代谢活跃度降低, 导致警觉性

下降和反应时延长。在环境交互层面，座椅支撑性不足、震动传递异常等设计缺陷会加剧人体生物力学负荷，破坏脊柱自然曲度，加速椎间盘压力累积。现有研究表明，优化座椅的人机适配参数(如压力分布、振动衰减特性)可显著延缓驾驶疲劳进程。

驾驶疲劳的形成机制主要有生理因素、心理因素和环境交互因素。目前导致驾驶疲劳的原因主要是生理方面的因素，长时间的驾驶汽车会导致身体的机能下降，从而出现疲劳状态。

## 2.2. 疲劳驾驶的评价方法

陈飞等[2]选取脑电信号与心率作为驾驶疲劳表征指标，分析驾驶员进入疲劳状态全过程的指标变化规律。采用聚类分析方法，将高原环境下驾驶疲劳状态细分为清醒、轻度疲劳和重度疲劳 3 种状态。根据 CIDEF 值可对高原地区驾驶员疲劳状态进行有效划分。清醒和轻度疲劳状态下的 CIDEF 阈值分别为 0.34 和 0.50，CIDEF 值大于 0.50 则表示驾驶员处于重度疲劳状态。

张会等[3]采用层次分析法对驾驶疲劳影响因素进行研究。从安全人机工程学的角度构建了人-机-环-管系统，通过对驾驶疲劳产生过程的分析，给出了影响驾驶疲劳的主要因素。研究表明：准则层中的安全管理对运营车辆驾驶疲劳影响较大；指标层中对运营车辆驾驶疲劳影响最大的五个因素为温度湿度、驾驶时间、自我管理、气候条件、座椅舒适度。

祝荣欣等[4]通过驾驶疲劳监测实验采集了 10 名联合收获机驾驶人 120 min 的心电和颈部、腰部表面肌电数据，提取心率变异性和表面肌电信号的非线性特征参数 C0 复杂度和样本熵，探究特征参数随驾驶时间的变化规律；划分疲劳状态为轻度和重度 2 个等级，采用主成分分析法对特征参数降维，基于支持向量机建立了联合收获机驾驶人疲劳状态识别模型。结果表明：心率变异性、颈部和腰部表面肌电信号的 C0 复杂度和样本熵随驾驶时间的增加均呈下降趋势，并在 1 时段和 12 时段存在显著性差异。基于心电的联合收获机驾驶疲劳检测方法可以有效识别联合收获机驾驶人的疲劳状态。

在驾驶疲劳的评价方法研究方面，不同学者进行了多维度的探索。总体而言，现有研究从不同角度、运用多种方法对驾驶疲劳评价进行了有益尝试，但仍需进一步整合多源数据、优化评价模型，以提高驾驶疲劳评价的准确性和普适性。

## 3. 基于疲劳缓解的座椅设计关键技术

驾驶疲劳是神经认知衰减、肌肉代谢失衡与生物力学负荷累积共同作用的结果，其形成具有明显的多因素耦合特征[5]。传统座椅设计更多关注“静态舒适性”，而在长时间驾驶情境下，人体持续处于相对固定姿态，肌肉长期处于低幅等长收缩状态，血液循环受限、局部压力集中以及脊柱力线偏移等问题逐渐显现，最终表现为疲劳累积与注意力下降[6]。因此，面向驾驶疲劳缓解的座椅设计，应从静态几何适配、材料性能匹配、动态结构响应以及智能感知控制四个层面进行系统重构。

基于现有研究进展，本章从“静态几何参数与材料特性”“动态机械结构与调节机制”“智能感知与主动控制技术”三个维度进行系统论述。

### 3.1. 静态几何参数与材料特性

#### 3.1.1. 几何参数的生物力学适配机制

座椅几何参数是影响驾驶疲劳的重要基础变量，其核心在于维持脊柱自然曲度与下肢血流通畅。靠背角度、座高、坐垫倾角、坐垫深度及腰托位置等因素直接决定人体姿态的稳定性与生物力学负荷分布状态[7]-[10]。

从脊柱力学角度分析，当靠背角度过小(接近 90°)时，躯干呈直立状态，椎间盘承受较高轴向压力，

竖脊肌持续激活以维持姿态稳定；当靠背角度过大时，虽然椎间盘轴向压力下降，但骨盆后倾可能导致腰椎生理曲度变平，进而引发局部应力集中。因此，靠背角度并不存在单一“最优值”，而是需结合人体体型、驾驶任务特征及驾驶时间进行综合优化[10]-[15]。

M.A. Eltayeb 等[16]在 100 km 驾驶实验中对 90°与 144°靠背角度下竖脊肌表面肌电信号进行比较，发现 MNF 与 MDF 呈现波动性变化且个体差异显著。这一结果说明：单纯从角度数值出发难以准确预测疲劳程度，个体差异、实验持续时间及测量误差均会影响结果稳定性。

Katsuhiko Asano 等[17]通过改变腰部支撑位置进行长时间模拟驾驶实验，结果显示不同支撑点位置会显著影响主观疲劳评分及生理指标匹配度。其研究提示：支撑“位置精度”较单纯角度调节更为关键，尤其在腰椎区域，支撑高度的微小变化即可引起力线分布的明显改变。

综合分析，几何参数优化应遵循以下原则：

- (1) 维持脊柱自然 S 形曲度，防止腰椎塌陷；
- (2) 保证股骨与躯干夹角维持在生理舒适区间；
- (3) 避免膝关节过度屈曲导致下肢血液回流受阻；
- (4) 实现坐骨结节区域稳定支撑。

但目前多数研究存在样本量偏小、实验时间不足等问题。短时实验往往只能反映初始舒适性，而难以揭示疲劳累积过程。未来研究应建立长时间驾驶实验范式( $\geq 3$  h)，并结合连续生理数据监测，以提高结果外推性。

### 3.1.2. 材料硬度、压力分布与疲劳关联机制

材料力学性能直接决定接触压力分布与软组织受压状态。现有研究中关于“软材料优于硬材料”或“硬材料优于软材料”的结论存在明显分歧[18]。

支持高硬度材料的研究认为，较高弹性模量可有效维持姿态稳定，减少骨盆后倾和腰椎塌陷，适用于长时间驾驶情境；支持低硬度材料的研究则指出，其可降低接触压力峰值，减轻局部组织压迫，提高初始舒适性。

这种分歧的本质在于研究场景与评价指标的差异。其差异归纳如表 1 所示。

**Table 1.** Factors influencing differences in material property research conclusions

**表 1.** 材料性能研究结论差异的影响因素

| 因素   | 高硬度材料优势情境 | 低硬度材料优势情境 |
|------|-----------|-----------|
| 驾驶时间 | 长时间驾驶     | 短途驾驶      |
| 评价指标 | 姿态保持能力    | 压力峰值降低    |
| 受试体型 | BMI 较高    | 体重较轻      |
| 测量方法 | 姿态 + 肌电   | 压力传感矩阵    |

由此可见，材料优劣取决于“生理负荷匹配度”。在长时间驾驶中，姿态塌陷导致的慢性应力累积往往比初始压力峰值更具影响。因此，近年来分区硬度设计逐渐成为主流，即通过不同区域弹性模量梯度控制，实现压力连续分布。

该设计思路强调：

- (1) 坐骨区域采用中高硬度支撑；
- (2) 大腿区域采用渐变软化结构；
- (3) 腰部区域设置可调弹性模块。

这种“压力梯度连续控制”模式相比单一材料结构更有利于维持长时间驾驶的生物力学稳定性。

## 3.2. 动态机械结构与调节机制

### 3.2.1. 主动形变技术的生理调节机理

静态支撑无法避免肌肉持续等长收缩所带来的代谢堆积问题。主动形变技术通过周期性微幅变形实现“动态支撑”。

马晓兰等[15]通过肌电实验发现，低频动态支撑可降低竖脊肌持续激活水平。其机理在于打破肌肉持续等长收缩状态，使肌肉纤维获得短暂放松机会，从而促进血液循环和乳酸代谢。

张勇[19]的研究进一步指出，规律性支撑形变可改变椎间盘压力分布路径，减少局部应力集中。

从生理机制上看，主动形变的作用可归纳为：

- (1) 降低肌肉持续负荷；
- (2) 促进组织血液循环；
- (3) 改善椎间盘受力分布；
- (4) 增强神经警觉水平。

但当前研究仍存在三方面不足：第一，动态频率缺乏统一标准，不同研究采用 0.02~0.2 Hz 不等；第二，驱动机构能耗较高，影响商业化应用；第三，未充分考虑个体差异。未来应构建基于生理反馈的闭环控制模型，实现个体化频率调节。

### 3.2.2. 参数协同优化与结构耦合问题

传统座椅设计往往采用单变量优化方法，但实际上座高、靠背角度与扶手高度存在明显耦合关系。

例如，当靠背角度增大时，股骨受力方向发生变化，如未同步调整座高，可能增加膝关节压力[20]。

三维支撑平衡理论指出，座椅各参数需协同优化，避免单参数调节引发新的负荷问题。当前研究存在的不足包括：多因素交互研究不足；缺乏系统响应面分析模型；实车验证数据有限[21]。

未来可采用多变量响应面模型或机器学习算法建立参数优化数据库，实现智能匹配。

## 3.3. 智能感知与主动控制技术

随着传感技术、嵌入式系统及人工智能算法的快速发展，汽车座椅已逐步由被动支撑装置演变为具备“感知-决策-执行”能力的智能系统。在驾驶疲劳缓解领域，智能座椅系统的核心目标不再局限于物理结构优化，而是通过实时监测驾驶员生理与行为状态，实现疲劳状态的动态识别与主动干预，从而形成闭环调节机制[22]。

从系统架构层面看，智能座椅通常包括三大模块：(1) 状态感知模块；(2) 疲劳识别与决策模块；(3) 主动调节执行模块。

三者协同构成完整的“人-机-环境”反馈系统。

### 3.3.1. 疲劳检测方法比较与融合趋势

疲劳检测技术主要包括生理信号监测与行为识别两类[23]。不同方法优劣对比如表 2。

**Table 2.** Comparison of driver fatigue detection methods

**表 2.** 驾驶疲劳检测方法对比

| 方法      | 优势     | 局限性   | 工程适用性 | 准确率区间   |
|---------|--------|-------|-------|---------|
| 脑电(EEG) | 灵敏度高   | 设备复杂  | 低     | 85%~95% |
| 心电(HRV) | 便携     | 情绪干扰  | 高     | 75%~90% |
| sEMG    | 反映肌肉疲劳 | 个体差异大 | 中     | 70%~85% |
| 面部识别    | 非接触    | 光照敏感  | 高     | 70%~90% |

可以看出,单一方法难以全面反映疲劳状态。多模态融合成为趋势,如结合 HRV、座椅压力分布与驾驶行为参数建立综合识别模型,可提高稳定性。

### 3.3.2. 多模态疲劳感知技术及其融合机制

#### (1) 生理信号感知技术

驾驶疲劳的本质表现为中枢神经警觉性下降与周围肌肉系统代谢失衡,因此生理信号监测成为当前研究的重要方向。主要包括脑电(EEG)、心电(HRV)、表面肌电(sEMG)及皮肤电反应(EDA)等。

脑电信号能够直接反映中枢神经系统兴奋水平变化。当  $\theta$  波与  $\alpha$  波功率增加时,通常被认为驾驶员警觉性下降。然而脑电设备对电极稳定性和抗干扰能力要求较高,在车载环境中易受振动、电磁噪声及运动伪影影响,因此目前更多应用于实验室研究[24]。

心率变异性(HRV)作为交感-副交感神经平衡的反映指标,具有设备便携、抗干扰能力较强等优点。在长时间驾驶中,HRV 低频/高频比值(LF/HF)变化趋势能够反映神经系统疲劳累积状态。但 HRV 亦易受到情绪波动和环境压力影响,因此需要结合其他指标进行交叉验证。

表面肌电信号(sEMG)主要反映局部肌肉疲劳程度。随着驾驶时间延长,肌电信号均方根值(RMS)通常升高,而中位频率(MDF)下降。但不同个体肌肉纤维类型比例不同,导致信号特征存在显著个体差异。总体而言,单一生理指标难以全面刻画驾驶疲劳状态,因此多模态融合成为趋势。

#### (2) 行为特征与环境特征感知

除生理信号外,驾驶行为特征亦是疲劳识别的重要依据。典型指标包括:

方向盘操作频率;

车辆横向偏移率;

眨眼频率与闭眼时长;

头部姿态变化。

视觉识别系统可通过摄像头捕捉面部特征,分析 PERCLOS (眼睛闭合比例)指标,该指标在商业化应用中已较为成熟。但该方法对光照环境及遮挡情况敏感,在夜间或强光条件下识别准确率下降。

此外,座椅压力分布变化也可作为疲劳间接指标。当驾驶员姿态频繁调整或长时间维持单一姿态时,压力分布图呈现特定模式变化。因此,将压力传感矩阵嵌入座椅内部成为近年来研究热点。

#### (3) 多模态融合算法框架

多源数据融合的核心在于提高识别稳定性与抗干扰能力。常见融合方法包括:

特征级融合:将不同信号特征向量拼接后输入分类模型;

决策级融合:各子模型独立输出后进行加权决策;

深度学习融合:采用多输入神经网络自动提取特征。

近年来,支持向量机(SVM)、随机森林及卷积神经网络(CNN)等算法被广泛应用。研究表明,多模态融合模型较单一指标模型识别准确率可提升 5%~15%。

但当前仍存在问题:缺乏统一疲劳标签标准;样本量不足导致模型泛化能力有限;实时计算能力与车载硬件匹配问题尚未完全解决。

未来应建立大规模真实驾驶数据集,提高模型鲁棒性。

### 3.3.3. 主动控制与分级干预机制

智能感知的最终目标在于实现主动调节[19] [25]-[28]。主动控制系统需解决三个核心问题:干预时机判定、干预强度调节以及干预模式选择。

#### (1) 分级干预策略设计

基于疲劳程度划分，当前系统通常采用分级干预策略：

轻度疲劳阶段：进行微幅腰托调整或姿态优化；

中度疲劳阶段：启动动态支撑系统、温控系统或振动提示；

重度疲劳阶段：触发警示提示或建议停车休息。

这种渐进式干预机制有助于避免突兀调节引发的不适感，提高驾驶员接受度。

### (2) 主动形变与温控协同机制

主动形变系统通常采用电机驱动或气囊调节方式，实现微幅周期性支撑变化。温控系统通过加热或通风模块改善局部血液循环。

研究表明，温度变化可影响血流速度与组织代谢率。在低温环境中适度加热可促进血液循环，而在高温环境中通风系统可降低热应激负荷。因此，温控系统与形变系统协同作用，可在不同环境下优化疲劳缓解效果。

### (3) 预测性控制与闭环调节

现有系统多为被动响应型，即在疲劳指标达到阈值后启动干预。未来发展趋势应为预测性控制，即通过时间序列模型预测疲劳发展趋势，在疲劳形成前提前干预。

预测模型可采用：

长短期记忆网络(LSTM)；

卡尔曼滤波；

贝叶斯动态模型。

通过连续监测 HRV 与压力分布变化趋势，系统可提前识别疲劳上升阶段，实现前馈控制。

闭环调节机制强调“感知-判断-执行-再感知”的循环过程，确保调节效果实时验证。如果干预后生理指标未改善，则自动调整干预强度或模式。

### 3.3.4. 工程实现挑战与未来发展方向

尽管智能感知与主动控制技术发展迅速，但在工程化应用中仍面临多重挑战：传感器长期稳定性与耐久性问题；数据隐私与安全性问题；系统成本控制；不同体型驾驶员适配问题。未来发展方向包括：

(1) 开发柔性传感材料，实现无感嵌入式监测[29]；

(2) 建立个体疲劳数据库，实现个性化阈值设定；

(3) 结合车联网技术，实现云端数据分析；

(4) 构建材料-结构-智能控制一体化设计平台。

从长远看，智能座椅将不再是独立系统，而是与整车驾驶辅助系统深度融合，成为智能驾驶安全体系的重要组成部分。

## 4. 结语

驾驶疲劳的形成具有复杂性与累积性，其本质既包含中枢神经警觉性下降，也涉及局部肌肉代谢紊乱与姿态稳定性失衡。因此，从单一物理支撑角度出发的传统座椅设计已难以满足现代驾驶安全需求。本文通过系统梳理现有研究成果发现，汽车座椅在缓解驾驶疲劳方面呈现出由“静态结构优化”向“动态调节控制”再向“智能感知干预”演进的发展路径。

在静态层面，座椅几何参数、支撑曲面形态及材料硬度对压力分布与脊柱力学状态具有显著影响，但不同研究结论存在差异，其原因可能源于实验时长、样本体型差异以及疲劳评价指标选择不一致等因素。在动态结构层面，主动形变结构与周期性支撑调节能够改善局部血液循环与肌肉负荷分布，但其舒适阈值与干预频率仍需进一步量化研究。在智能感知层面，多模态融合算法显著提高了疲劳识别准确率，

预测性控制机制为提前干预提供了技术可能,但算法泛化能力与车载应用稳定性仍有待提升。

总体来看,未来汽车座椅设计应坚持系统工程思维,构建材料-结构-智能控制协同优化体系,实现从“被动支撑”向“主动健康管理”的转型。同时,应建立统一的驾驶疲劳评价标准,开展长时真实道路实验,提升研究结果的工程可推广性。随着人工智能与车联网技术的不断成熟,智能座椅有望成为整车安全辅助系统的重要组成部分,为驾驶安全提供更加精准和个性化的支持。

## 参考文献

- [1] 翁东凯,白婧媛,罗昕,等. 驾驶肌肉疲劳及干预技术与展望[J]. 应用心理学, 2025, 31(5): 406-417.
- [2] 陈飞,徐爽,李存孝,等. 基于心生理指标的高原驾驶疲劳综合评价方法[J]. 东南大学学报(英文版), 2024, 40(4): 355-362.
- [3] 张会,张春. 基于层次分析法的运营车辆驾驶疲劳影响因素分析[J]. 中国科技论文在线精品论文, 2020, 13(2): 227-233.
- [4] 祝荣欣,王金武. 基于心肌电的联合收获机驾驶人疲劳检测研究[J]. 农机化研究, 2020, 42(2): 8-14+43.
- [5] 李健,吴小青,许海霞,马广义,俞荣贵. 汽车零重力座椅的设计分析和发展趋势[J]. 汽车零部件, 2023(2): 76-79.
- [6] 汤威. 汽车座椅设计中的人体工程学原理研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(S1): 37-39+43.
- [7] 岑伟州,方俊露. 电动汽车热舒适性国内外研究进展综述[J]. 上海节能, 2025(4): 559-565.
- [8] 杨神林. 汽车座椅设计及模态分析[J]. 南方农机, 2025, 56(7): 153-155+167.
- [9] 辛兢泽,牛慧军. 汽车自适应座椅的应用与研究[J]. 上海汽车, 2025(3): 36-43.
- [10] 顾杉杉,赵汝涛,李涵宇. 汽车座椅模拟进出试验对座椅功能部件性能影响的研究[J]. 质量与标准化, 2025(2): 62-65.
- [11] 胡小文,董志鸿,王匡义,宋纪侠. 座椅安装点疲劳试验和仿真分析[J]. 专用汽车, 2023(2): 60-62.
- [12] 王艳飞,黄玉强,王长余. 汽车座椅靠背对驾乘者腰部支撑强度的压力特征及演变[J]. 汽车工程学报, 2022, 12(3): 335-340.
- [13] 毕思刚,侯坤,沈洪析,于大川,王迦. 座椅静态舒适性控制方法研究[J]. 世界汽车, 2022(4): 96-97.
- [14] 颜朕朕,丁晓红,马曼,等. 汽车座椅骨架焊接结构疲劳寿命评估[J]. 农业装备与车辆工程, 2022, 60(2): 109-113.
- [15] 马晓兰,潘杨玲,李伟,邓梦蝶,李岚. 基于关键断面因素的座椅舒适性研究与分析[J]. 时代汽车, 2023(15): 144-146.
- [16] Eltayeb, M.A., Azmi, N.L., Md Nor, K.A., Toha, S.F., Hashim, A. and Nordin, N.H.D.B. (2024) Investigating the Effects of Backrest Angle on Driver Erector Spinae Muscle Fatigue during Long Drives: A Preliminary Study. 2024 9th International Conference on Mechatronics Engineering (ICOM), Kuala Lumpur, 13-14 August 2024, 454-458. <https://doi.org/10.1109/icom61675.2024.10652536>
- [17] Asano, K., Yamamoto, K., Hayakawa, S., Tsutsumi, S., Ikeura, R., Yamakawa, T., et al. (2019) Verification of the Driver's Fatigue Accumulation Reduction Effect at the Long-Time Driving by Back Support Position Change. 2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Dali, 6-8 December 2019, 438-443. <https://doi.org/10.1109/robio49542.2019.8961479>
- [18] 李少焯,凌峰,童云涛,等. 汽车智能座椅防疲劳驾驶功能的设计[J]. 内燃机与配件, 2023(2): 97-99.
- [19] 张勇. 汽车座椅调角器关键零部件优化及可靠性分析[J]. 汽车测试报告, 2023(11): 139-141.
- [20] 刘达春. 基于人体工程学的汽车座椅设计优化研究[J]. 汽车测试报告, 2024(17): 17-19.
- [21] 潘星辰,郜红合,陈旭辉,等. 乘用车座椅材料加工工艺与结构设计[J]. 材料导报, 2023, 37(22): 174-180.
- [22] 王兴博. 汽车驾驶座椅的舒适度评价与优化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 齐鲁工业大学, 2022.
- [23] 赵娅,江流洋,贾迪,等. 疲劳驾驶检测研究综述[J/OL]. 计算机科学与探索, 1-18. <https://link.cnki.net/urlid/11.5602.TP.20251106.1640.007>, 2026-03-20.
- [24] 刘成昊,罗义凯,陈邦举,等. 面向短时心电信号的驾驶疲劳检测方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2025, 21(8): 29-37.
- [25] 彭强,袁欢,郭巍,周蒙蒙,阮金伟. 汽车座椅体压分布变化规律和调节策略[J]. 机械设计与研究, 2023, 39(3):

185-192.

- [26] 王艳飞, 王长余, 黄玉强, 王欢. 基于汽车座椅面套拉伸性能的柔软性分析[J]. 皮革科学与工程, 2023, 33(3): 57-60.
- [27] 孙环. 汽车座椅抗疲劳设计研究[J]. 山东工业技术, 2017(4): 212.
- [28] 郭昕刚, 李航. 驾驶疲劳检测系统的研究与设计[J]. 长春大学学报, 2017, 27(10): 1-6.
- [29] 何泽夏. 基于安全性的汽车座椅系统参数设计分析[J]. 汽车测试报告, 2025(21): 13-15.