零重力座椅安全性研究

刘息宇[1]　刘春萌[2]　徐海祥[2]　崔渊博[2]　王阔[2]

（1.卓骏投资控股（长春）集团有限公司，长春 130033；2.长春卓骏汽车技术研发有限公司，长春 130033）

【欢迎引用】刘息宇，刘春萌，徐海祥，等．零重力座椅安全性研究[J]．汽车文摘，2026(5)：35-40.

【Cite this paper】LIU X Y, LIU C M, XU H X, et al. Research on Zero-Gravity Seat Safety[J]. Automotive Digest (Chinese), 2026(5): 35-40.

【摘要】为了提高乘员在零重力姿态下的碰撞安全，基于零重力座椅应用场景和技术现状的分析，提出一种可快速回位的零重力座椅方案。该方案通过增加靠背与坐垫快速回位机构，使座椅快速回到合适的靠背角度和坐垫角度，且原有的保护系统可正常执行功能。虚拟仿真和带Thor-AV假人的前撞试验结果显示，乘员颈部、背部、腹部伤害值降低至安全范围，有效提升了零重力座椅安全性。

关键词：零重力座椅；碰撞安全；快速回位

中图分类号：U461.91；U462.1　　**文献标志码：**A　　**DOI:** 10.19822/j.cnki.1671-6329.20240184

Research on Zero-Gravity Seat Safety

Liu Xiyu[1], Liu Chunmeng[2], Xu Haixiang[2], Cui Yuanbo[2], Wang Kuo[2]

（1. Zhuojun Investment Holdings (Changchun) Group Co., Ltd , Changchun 130033; 2. Changchun Zhuojun Automotive Technology Research and Development Co., Ltd., Changchun 130033）

【Abstract】To enhance the crash safety of occupants in the zero-gravity posture, a zero-gravity seat design with a rapid return mechanism is proposed based on the analysis of application scenarios and the current techinal status of zero-gravity seats. The proposed scheme employs rapidreturn structures for the seat back and cushion, allowing the seat to promptly restore to appropriate backrest and cushion angles. In this configuration, the conventional occupant restraint system can operate as intended. Results from virtual simulations and frontal crash tests using Thor-AV dummies demonstrate that the occupant injury criteria for the neck, back, and abdomen are reduced to safe range, thereby effectively improving the safety performance of zero-gravity seats.

Key words: Zero-gravity seat, Crash safety, Rapid return

0　引言

汽车座椅作为座舱内的核心部件，成为提升汽车品质的关键环节。随着汽车的自动化和智能化的发展，各种全新的座舱应用场景不断出现，零重力座椅也逐渐进入市场。零重力概念源于美国航空航天局（National Aeronautics and Space Administration，NASA）针对宇航员在太空失重环境下的研究，具体对应宇航员呈现的自然漂浮的中性身体姿态（Neutral Body Posture，NBP）[1]。在此姿态下，宇航员能够获得舒适、放松的体验。将此概念应用于汽车座椅，便形成了零重力座椅。通过大角度调节功能与合理的座椅表面设计，让乘员保持仰卧姿势，使重心集中于臀部，实现其身体其余各处所受压力均衡。

目前，对汽车零重力座椅的研发重点主要集中在如何实现大角度调节、多调节机构联动、座椅表面形状和硬度优化等方面，以满足驾乘人员的舒适性要求。然而，除了舒适性外，汽车座椅还需在行驶过程中为乘员提供安全防护。由于无法确保乘员在零重力姿态下的碰撞安全，各大车企规定仅允许在停车时使用此功能，这不仅限制了零重力座椅的应用前景，也给乘员的安全带来了隐患。本文将结合零重力座椅的应用场景和技术现状，提出一种实用的解决方案，以提升零重力座椅的安全性。

1 零重力座椅现状及安全风险

1.1 市场现状

座椅厂商将零重力座椅作为重要的研究方向。早在2006年，日产汽车公司推出了第一款零重力座椅。自2022年起，问界M7、蔚来ES7、岚图梦想家、捷尼赛斯G90、智己LS7、魏牌蓝山、极氪X、腾势D9、福特锐界L以及合创V09等国内外量产车型也相继推出了零重力座椅。

1.2 技术现状

1.2.1 现有技术特点

目前，已量产或已申请专利的零重力座椅一般为副驾座椅或者二排右侧座椅，上述2个位置的空间比较大，且不影响驾驶。为实现舒适的躺卧姿势，目前的零重力座椅一般配备可大角度调节的靠背、腿托或脚踏等调节机构。部分代表性零重力座椅的布置位置及功能如表1所示。

表1 部分零重力座椅位置及功能统计

车型	位置	大角度	腿托	脚踏
问界M7	二排右侧	有	有	无
捷尼赛斯G90	二排右侧	有	有	有 一排靠背后部
智己LS7	二排右侧	有	有	一排靠背放平，充当脚踏
岚图梦想家	二排右侧	有	有	无
蔚来ES7	一排右侧	有	有	有 仪表板下部
极氪X	一排右侧	有	有	无
魏牌蓝山	二排左侧 二排右侧	有	有	无
腾势D9	二排左侧 二排右侧	有	有	无

截至2024年底，零重力座椅相关的专利数已超过100项，其中已获得授权的发明专利超过10项[2-13]。目前已授权的12个零重力座椅发明专利中，8个与如何实现调节功能相关，4个与安全相关。

现有文献对零重力状态下的人体姿势以及座椅造型表面也进行了大量研究。文献[2]聚焦汽车安全工程领域，为座椅系统的基础安全设计与架构搭建提供了理论参考。文献[3]研究了座椅构型对人体坐姿姿态、驾乘交互体验与交流舒适度的影响规律，明确了座椅造型布局与人体姿态的强关联性。文献[4]针对汽车座椅腰骶部仿生支撑结构开展研究，验证了贴合人体曲面的座椅形态设计对乘坐舒适性的显著提升作用，为座椅表面造型优化提供了设计依据。文献[5]提出了座椅姿态关键影响因子校验方法，为座椅人机坐姿参数的合理性评估提供了标准化分析手段。文献[6-7]以交通场景碰撞事故为研究对象，通过动力学仿真、数据挖掘与耦合模型，深度解析了驾乘人员颈部损伤机理、碰撞事故严重程度的影响逻辑，为座椅被动安全参数优化提供了损伤防控的数据支撑。文献[8]依托磁流变悬架系统，完成了驾驶座椅动态行驶平顺性与乘坐舒适度的专项分析，丰富了座椅动态人机适配的研究维度。文献[9-10]完成了汽车座椅的系统性开发设计，为零重力座椅整体人机尺寸、布置参数的规范化设计提供了参考。

上述文献覆盖了座椅构型设计、人体姿态适配、舒适性能优化、碰撞安全防护、参数设计方法5大核心方向，系统论证了座椅人机布置参数、人椅适配关系对乘坐体验与使用安全的决定性影响，为零重力座椅的人机参数标定、人椅交互关系研究奠定了理论与技术基础。

表2 零重力座椅人机参数 (°)

参数代号	名称	推荐值	零重力座椅设计值
α_1	靠背角	40~70	55±2
α_2	臀部角	128~145	125±2
α_3	膝部角	130~150	138±8
α_4	踝部角	90~130	110±6
α_5	坐垫角	16~30	24±1
α_6	小腿角	25~45	34±3

表3 零重力座椅布置设计参数 mm

参数代号	名称	零重力座椅设计值
L_8	大腿压入坐垫有效距离	390~420
L_9	坐垫压陷量	20~35
L_{10}	靠背压入座椅靠背有效距离	490~510
L_{11}	靠背压陷量	25~30
L_{12}	头压入头枕有效长度	50~90
L_{13}	头压入头枕有效压陷量	2~10
L_{14}	大腿压入腿托有效长度	90~150
L_{15}	大腿压入腿托有效压陷量	2~16

1.3 零重力座椅安全风险分析

1.3.1 现有技术层面的安全风险

（1）控制逻辑不完善风险：部分零重力产品的控制逻辑存在缺陷，启动零重力模式后，座椅无法在空间受限时及时停止运动，存在夹伤乘员的隐患；而控制逻辑成熟的产品可通过传感器实时采集环境信息、判断空间适宜性，空间不足时会中止姿态调节[11]。

（2）传统保护系统适配不足风险：零重力座椅的

调节范围超出了传统乘坐姿态下乘客保护系统的覆盖范围，即使佩戴安全带，现有系统对零重力姿态下的乘员保护仍存在明显不足[12]。行业普遍采用“仅限停车使用”的规避策略，但乘员在不了解风险的情况下，仍可能在长途行驶中使用该功能；若直接限制零重力功能使用，又会降低产品竞争力，无法满足长途驾驶消除疲劳的需求。

（3）自动驾驶场景下的衍生风险：未来无人驾驶场景中，主驾驶也会有零重力座椅的布置需求。虽然智能交通和自动驾驶技术可降低驾驶员失误风险，但系统的可靠性、信息安全性、信息传递通畅性，以及道路交通复杂性、硬件失效等问题，会让自动驾驶存在判断失误或失效的可能，零重力姿态下的碰撞安全风险仍需进一步研究。

1.3.2　乘员损伤层面的安全风险

（1）传统约束系统的局限性：传统乘员约束系统无法适配零重力坐姿，会对乘员造成更大的锁骨伤害、脊椎伤害，甚至出现安全带勒伤颈部等问题。

（2）不同靠背角度的损伤风险：以SUV副驾零重力座椅为研究对象，在50 km/h正面碰撞工况下：靠背角大于45°时，存在较大的下潜及颈部勒伤风险；大靠背角状态下，颈部C4–T1段、腰椎T11–L4段椎间盘应力较大，颈部与腰椎部位存在较大损伤，胸部第1,3,7~10根肋骨骨折风险较高，易导致胸腹软组织二次损伤；座椅坐盆抬高会使小腿与仪表板撞击严重，膝部滑移量明显增大，60°靠背角时小腿胫骨存在骨折风险[13]。

（3）零重力姿态的通用损伤风险：相较于常规坐姿，零重力姿态下乘员更易发生下潜，会造成腹部、胸部、颈部等部位损伤，同时脊柱承受较大的轴向加速度载荷，整体损伤风险显著提升[14]。

综上，零重力座椅在控制逻辑、保护系统适配、场景适配等技术层面，以及乘员多部位损伤等生理层面，均存在多维度安全风险，亟需从技术层面探索针对性的安全提升路径，明确安全性优化的核心方向。

2　零重力座椅安全性提升方向

2.1　躺卧碰撞保护

文献[15]采用四点式安全带代替三点式安全带，并搭载Hybrid Ⅲ 50th型假人进行正面碰撞试验，分别采集处于正常姿态（座椅靠背角25°）和零重力姿态（座椅靠背角55°）时的试验数据。试验结果表明，虽然配备四点式安全带的假人向前滑移量更小，但其对人体的伤害与三点式安全带造成的伤害相比并无改善。除上述方案之外，文献[5]提出通过布置环绕式气囊、增加腿部气囊等方式阻挡躺卧姿势下的头部或者臀部前冲，该方案理论可行，但受限于座椅内部空间，其可行性仍需进一步验证。

2.2　坐姿碰撞保护

躺卧姿势下，现有安全带、气囊等因作用方向受限无法发挥有效保护作用。在惯性、摩擦力或约束力的共同作用下，乘员身体可能承受较大的局部载荷，易导致严重伤害。文献[16]提出了一种将乘员上躯干调整为到坐姿状态的策略，该方案通过在膝部施加近距离约束（如放置挡板），同时松弛上躯干约束，利用惯性力将乘员的后倾姿态调整为竖直状态，再实施对上躯干的约束。在约30 km/h的低速碰撞下，使用限力为1.0 kN的安全带配合膝部挡板，可以有效减少后倾50°乘员的下潜量，在一定程度上降低风险，但该方案在高速碰撞中的表现有待进一步研究。高速碰撞时，乘员和膝部约束之间的相互作用力显著增大，存在导致下肢损伤的潜在风险[28]。

基于类似原理，本文提出了一种旨在恢复乘员坐姿的优化方案。该方案采用一种带有快速回位机构的零重力座椅，当发生碰撞时，该机构能够驱动座椅按照既定轨迹迅速复位至适宜的靠背角度和坐垫角度，通过优化乘员坐姿提高对其的约束保护效果。

3　可快速回位的零重力座椅

3.1　主要结构

本文提出的可快速回位的零重力座椅骨架的主要结构包括：背骨架上安装电机以驱动调角器，同时在靠背骨架与调角器之间安装靠背快速回位机构。坐垫骨架的后端铰接在底部座椅滑轨上，前端装有一组前部角度调节机构，以进行坐垫角度调节。坐垫前部角度调节机构上安装坐垫快速回位机构。靠背快速回位机构与坐垫快速回位机构的结构相同。可快速回位的零重力座椅骨架及结构，如图1、图2所示。

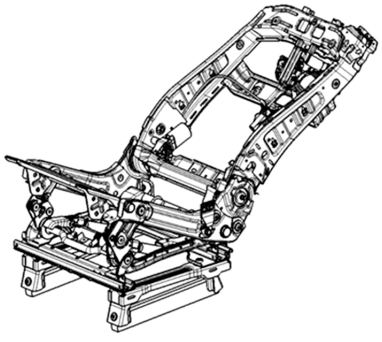


图1　可快速回位的零重力座椅骨架

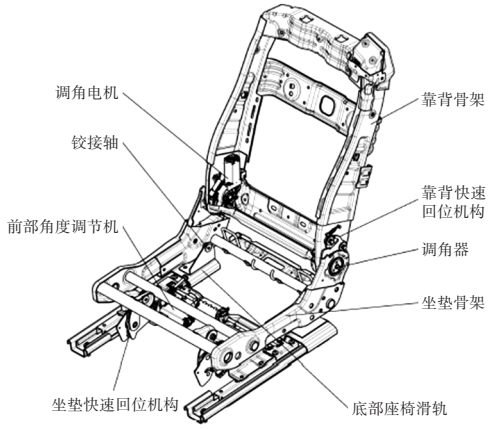


图2　可快速回位的零重力座椅骨架结构

3.2　工作原理

本文描述的坐垫(或靠背)快速回位过程对乘员伤害有降低的趋势。靠背快速回位机构(图3)与坐垫快速回位机构(图4)可对未回位的靠背骨架和坐垫骨架进行快速回位。

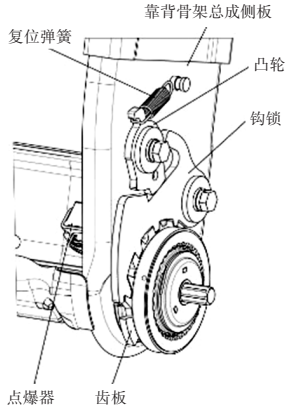


图3　靠背快速回位机构总成示意

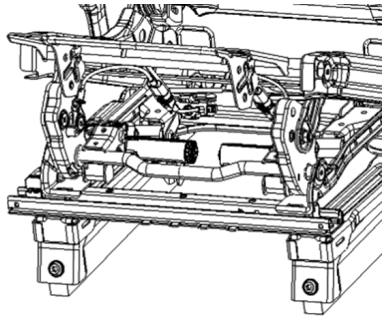


图4　坐垫快速回位机构

靠背快速回位机构详细结构如图5所示。靠背快速回位机构安装于靠背骨架与调角器之间,齿板与调角器焊接,吸能器与靠背骨架焊接,吸能器通过转轴与齿板焊接。吸能器外壳与转轴发生旋转时可以吸能。常规工作状态靠背通过钩锁与齿板啮合锁止,使靠背与调角器锁止,在车辆发生碰撞后,点爆器通过凸轮销带动凸轮旋转,凸轮撞击钩锁挡点,带动钩锁解锁,实现靠背骨架与调角器解锁分离,最终使靠背骨架在碰撞冲击下快速回位。回位过程中,吸能器发生作用,避免过大的能量冲击伤害乘员,并且靠背骨架在回位后通过棘爪进行靠背锁死固定(图6),防止靠背回位后受惯性向后躺倒,防止乘员受到二次伤害。

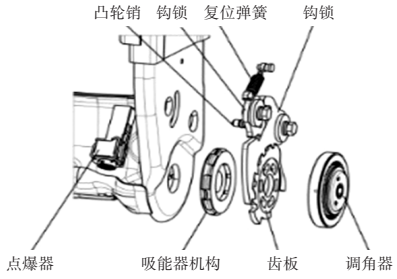


图5　靠背快速回位机构

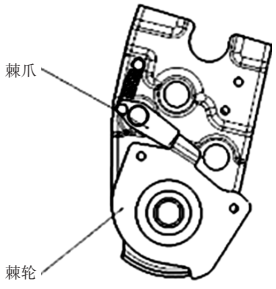


图6　靠背防回弹结构

坐垫快速回位机构安装在坐垫骨架前部角度调节机构上,齿板、吸能器转轴、驱动管焊接,钩锁与齿板啮合锁止,吸能机构可带动连杆,进行坐垫角度调整,使得坐垫骨架在具备角度调节的基础上还可以快速回位。坐垫连杆在乘员处于不同姿态下的原理如图7~图8所示。在车辆发生碰撞后,通过锁钩与齿板解锁后,使驱动管与坐垫连杆系统分离,进行回位吸能(图9)。同时,棘轮与棘爪咬合锁止,进行坐垫锁死固定,防止坐垫回位后受惯性向上翘起,防止乘员受到二次伤害(图10)。

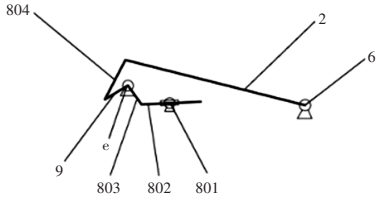


图7　基准姿态坐垫连杆

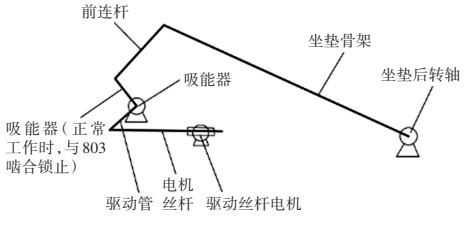


图8　零重力姿态坐垫连杆

如图11~图12所示,吸能器是座椅回位中关键部件,主要内外侧壳体与波形片相对旋转产生的摩擦力

以及变形力来对冲靠背回位过程带来的惯性能量。座椅增加快速回位机构，前提要保证座椅常规调节应用，所以在未发生碰撞时，快速回位机构处于锁止状态，无法触发吸能器；发生碰撞后，利用图13中点爆器进行点爆，通过闸线解锁凸轮带动钩锁旋转，使整套机构解锁，触发吸能器旋转以实现吸能。点爆器总成如图14所示。

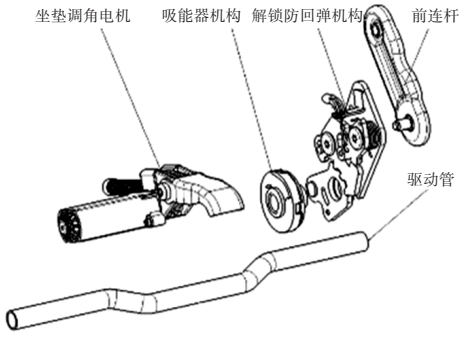


图9　坐垫快速回位机构

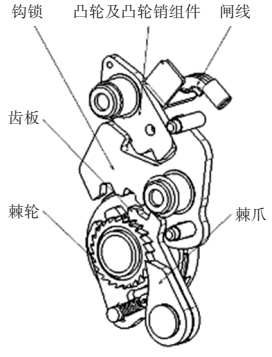


图10　坐垫防回弹机构

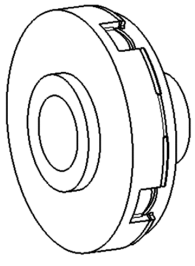


图11　吸能器总成示意

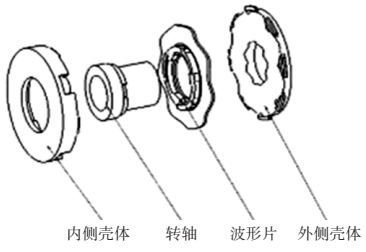


图12　吸能器爆炸图

3.3　方案验证

经过实物验证，此快速回位装置可以使零重力座椅回位速度从3 (°)/s~5 (°)/s提高至27 (°)/s~29 (°)/s，可以满足碰撞中对人体姿势改变速度的要求。

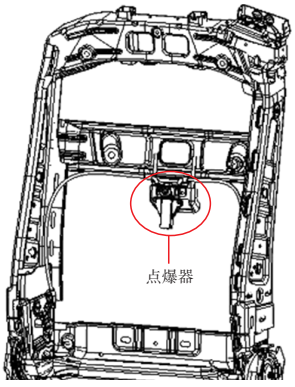


图13　点爆器布置位置

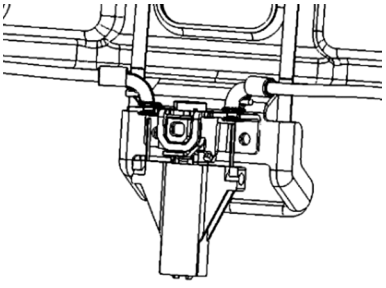


图14　点爆器总成示意

对上述零重力座椅方案进行前撞试验验证。试验采取Thor-AV假人，靠背角度61°，坐垫角度25°，腿托处于展开位置。对照试验采用不带快速回位机构的零重力座椅。

试验结果表明，带快速回位机构的零重力座椅对乘员颈部和腰椎的保护效果更强，乘员颈部和腰椎受力峰值显著下降，如图15和图16所示。快速回位过程中，腹部压力反而升高，但均小于0.05 MPa，且并未由于回位速度提高带来新增伤害，如图17所示。

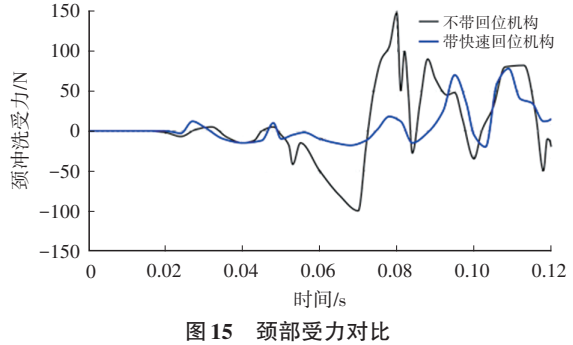


图15　颈部受力对比

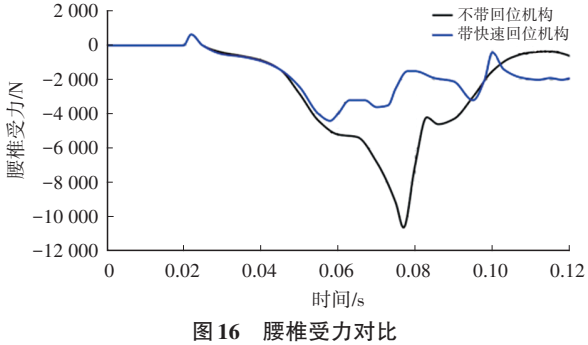


图16　腰椎受力对比

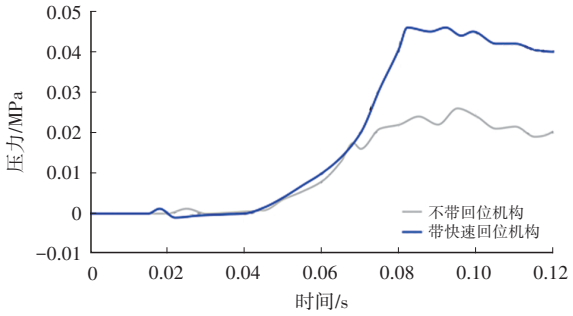


图 17　腹部压力对比

4　结束语

本研究针对行车过程中零重力姿态座椅存在的安全防护难题，提出了一种可快速回位的零重力座椅，为行车过程中零重力姿态的人员防护提供了新方案。本研究通过“快速回位”的主动干预策略，可以使传统的安全带、气囊等约束系统重新有效工作，从而提升了行车零重力姿态下的乘员防护能力。

尽管本研究提出的快速回位方案取得了预期的防护效果，但研究过程中也发现了一些值得深入探讨的问题。例如，试验结果显示，座椅的快速回位过程可能会引起乘员腹部压力的瞬时升高（增幅小于 0.05 MPa），虽然该幅值不构成伤害风险，但其产生的具体机理以及对不同体型乘员（如小身材女性或大尺寸男性）的潜在影响，仍有待进一步研究。未来的研究方向应重点关注以下方面：首先，优化座椅的回位轨迹和速度控制策略，以期在实现快速响应的同时，最大限度地减少对乘员的附加影响；其次，开展更广泛的乘员模型和不同碰撞工况的仿真与试验，以全面验证该技术的普适性；最后，探索将乘员状态感知与自适应回位策略相结合，实现更智能、更个性化的安全防护。

参　考　文　献

[1] 杜长江, 乔宇, 彭伟强, 等. 基于工况分析的零重力座椅乘坐姿态研究[J]. 中国汽车, 2023(10): 61-64.

[2] GE R H, LIU Z Q, CHEN X D. Automobile safety Engineering[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005(6): 341-343.

[3] FIORILLO I, PIRO S, ANJANI S, et al. Future Vehicles: the Effect of Seat Configuration on Posture and Quality of Conversation[J]. Ergonomics, 2019, 62(11): 1400-1414.

[4] NADDEO A, BRIGIDA L D, FONTANA C, et al. A Bodyshaped Lumbar-Sacral Support for Improving Car-Seat Comfort[J]. Work, 2021, 68(1): S129-S138.

[5] FIORILLO I, ANZISI F J, CARBONE A, et al. A Method for Postural Critical Factors Checking: The Case of Library Chairs[J]. Work, 2020, 68(3): S87-S100.

[6] HOU L, PENG Y, SUN D. Neck Injury Mechanisms in Train Collisions: Dynamic Analysis and Data Mining of the Driver Impact Injury[J]. Accident Analysis & Prevention, 2020, 146(10): 105725.1-105725.12.

[7] TAMAKLOE R, HONG J, PARK D. A Copula-Based Approach for Jointly Modeling Crash Severity and Number of Vehicles Involved in Express Bus Crashes on Expressways Considering Temporal Stability of Data[J]. Accident Analysis & Prevention, 2020, 146(10): 105736.1-105736.24.

[8] SOOSAIRAJ A S, KANDAVEL A. Ride Comfort Analysis of Driver Seat Using Super Twisting Sliding Mode Controlled Magneto Rheological Suspension System[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2021, 235(14): 3606-3618.

[9] SHIN M K, KIM Y I, KANG B S, et al. Design of an Automobile Seat with Regulations Using Axiomatic Design[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering, 2006, 220(3): 269-279.

[10] 张程. 乘用车零重力座椅布置及优化设计[J]. 汽车文摘, 2023(4): 35-39.

[11] 佚名. 专家详解零重力座椅的安全性[J]. 世界汽车, 2023(2): 58-59.

[12] 周青, 姬佩君, 黄毅, 等. 未来交通事故场景中乘员智能保护的挑战与机遇[J]. 汽车安全与节能学报, 2017, 8(4): 333-350.

[13] 鞠春贤, 张耀辉, 王刚, 等. 基于 HBM 人体模型对大角度座椅的伤害评估[C]// 第十七届国际汽车交通安全学术会议（INFATS2023）论文集, 2023: 36-44.

[14] 许泽亚, 谢金萍, 雷飞兵, 等. 基于 THUMS 数字人体模型的大倾角座椅正面碰撞乘员损伤分析[J]. 汽车技术, 2024(4): 15-23.

[15] 陈勇旭, 于振波, 刘东春, 等. 碰撞工况下零重力姿态 Hybrid Ⅲ 50 th 型假人损伤及约束系统分析[J]. 汽车与新动力, 2023, 6(6): 35-37.

[16] 姬佩君. 均衡约束概念的乘员碰撞保护研究[D]. 北京: 清华大学, 2016.

（责任编辑　**梵玲**）