

基于JACK的汽车座椅的舒适度仿真分析与调整建议

刘安玲, 朱盈霏*, 王卫星

贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年10月26日; 录用日期: 2023年11月25日; 发布日期: 2024年1月11日

摘要

随着科学技术的发展, 人们对美好生活的追求已逐渐成为社会关注的焦点, 人机工效也将越来越受人们关注, 汽车是当今社会尤为重要的交通工具, 在汽车的部件中, 座椅是汽车与人的人机关系最为紧密的要素, 现基于JACK软件针对汽车座椅舒适与否进行仿真分析, 结合具体座椅模型, 通过虚拟人的不舒适度, 反应汽车座椅的问题, 并针对不合理的设计提出调整建议。

关键词

JACK, 汽车座椅, 舒适性, 人机工程学, 仿真分析

Comfortability Simulation Analysis and Adjustment Suggestions for Car Seats Based on JACK

Anling Liu, Yingfei Zhu*, Weixing Wang

School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Oct. 26th, 2023; accepted: Nov. 25th, 2023; published: Jan. 11th, 2024

Abstract

With the development of science and technology, people's pursuit of a better life has gradually become a focus of social attention, and human-machine efficiency will also receive more and more attention. Cars are a particularly important means of transportation in today's society. Among the components of cars, seats are the most closely related element of the human body system between

*通讯作者。

cars and people. Based on JACK software, simulation analysis is conducted on the comfortability of car seats, combined with specific seat models. The problem of car seats is reflected through the discomfort of virtual humans, and the adjustment suggestion is put forward for the unreasonable design.

Keywords

JACK, Car Seats, Comfortability, Ergonomics, Simulation Analysis

Copyright © 2024 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

汽车座椅是人与汽车接触的直接载体，也是汽车中人机关系最为紧密的一部分。当前，工程技术人员和学者广泛地研究汽车座椅的人机工程设计问题。例如：王遵铭[1]等人对汽车座椅的动静态客观特性的定量分析与评估和仿真分析提出可行方法，同时也对影响主观舒适性的物理量进行了深入研究。王艺权[2]和杜长江[3]等人分别从感官评价技术和感知舒适性评价体系方面深入研究座椅舒适性和实施方法，张程[4]等人结合对汽车座椅总成的主观与客观评价方法，对提升座椅舒适性设计水平提供理论依据。由此可知，汽车座椅舒适性的研究广受关注并且其涉及的评价方法丰富多样。

传统的汽车座椅舒适性的测试方法都是基于实车的试验方法，依靠试验人员实时记录汽车的客观评价指标，这种方法成本巨大，不适用于设计师进行初步构想，由此 JACK 作为一个人体建模与仿真以及人机工效评价软件便应运而生。JACK 提供了人机工程建模环境，帮助各类企业提升在产品设计和工作环境设计中的人机功效。本文则基于 JACK 的基本功能，对座椅的舒适度进行分析。

2. 座椅舒适度的影响因素

座椅舒适度是影响人们使用座椅感受的重要因素，其研究现状受到广泛关注。座椅舒适度的影响因素有客观因素和主观因素。

2.1. 影响汽车座椅舒适性的客观特性

座椅舒适度涉及了多个方面的研究，例如座椅的材质、硬度、弹性、形状、结构设计等问题。有研究表明，不同座椅材质对舒适度有明显影响，例如绒布、真皮和人造革材质的座椅较硬质塑料和合成纤维材质的座椅舒适性更好；同时，座椅的硬度和弹性也会影响舒适度，太硬或太软的座椅都会让人感到不舒适；此外，座椅的设计也需要考虑人的感官和行为特性，以及车辆的震动频率和内部环境等因素。例如，座椅的设计需要符合人的身材比例，尤其是腰和后背，使驾驶者就算驾驶时间较长的前提下也不会感觉到不适。在座椅舒适度的研究中，还有一些研究关注了座椅的调节功能，如高度、角度、前后位置等。有研究表明，可调节的座椅可以更好地适应不同驾驶者的需求，提高驾驶舒适度。

总之，座椅舒适度的研究涉及到的问题具有多样性，包括材质、设计、调节功能等方面的问题。

2.2. 影响汽车座椅舒适性的主观特性

汽车座椅舒适性还跟人的主观因素有关，客观特性适用于所有人，而主观因素却是个人主观感知和喜好的体现，具有个性化的座椅往往能吸引人的注意，这一般体现在概念车方面。

3. 仿真基本流程

汽车座椅用户人群涵盖了不同职业, 不同性别以及不同年龄的人, 为此从人机工程的角度对汽车座椅的舒适性进行分析显得尤为重要。本文以某款汽车座椅为例, 利用 JACK 软件对使用者正常休息坐姿进行舒适度分析, 按照 1:1 的尺寸在 CATIA 软件中建立汽车座椅模型, 在 JACK 软件中选择并建立适合的虚拟男性模型而后进行人机耦合, 再对舒适度、下背部受力以及工作姿势进行分析。如图 1 所示为该汽车座椅仿真分析流程步骤。

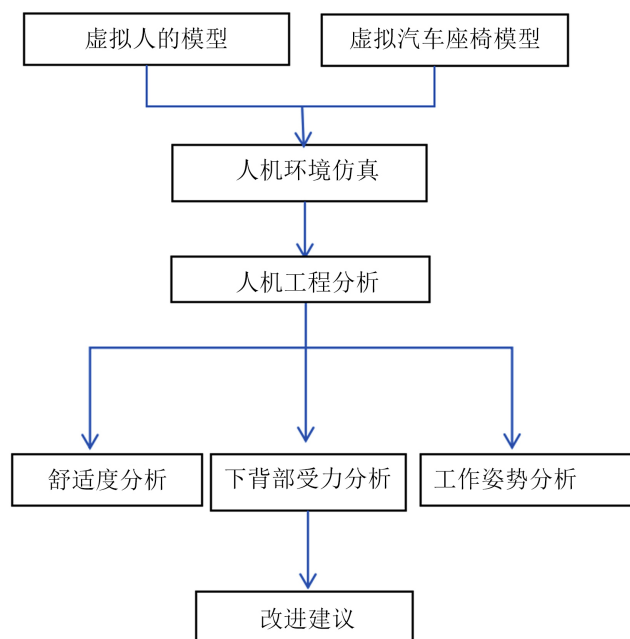


Figure 1. Simulation system process steps
图 1. 仿真系统流程步骤

4. 人机仿真环境的建立

人机仿真环境的前期准备是模型的建立, 本文主要需要建立人体模型和汽车座椅模型。

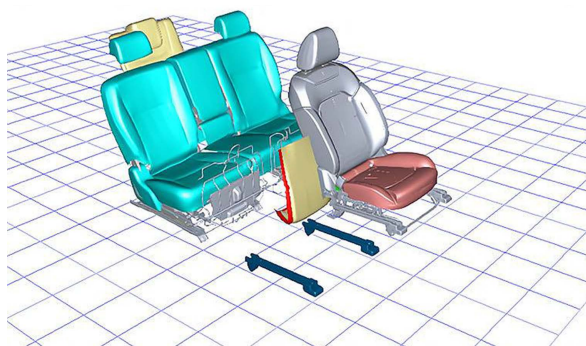


Figure 2. The model shows of JACK
图 2. JACK 模型显示

作为 Siemens Tecnomatix 产品线中的重要组成部分, JACK 能够在虚拟环境中添加各种尺寸的人体模型, 为其赋予特定的任务, 从而分析其操作效能, 但是目前在 JACK 软件中, 针对中国人体特征的座椅

舒适性仿真研究还比较欠缺, 由于缺乏最新的中国人数据, 所以该仿真为美国人体数据库中身高 174.2 cm, 体重 77.7 kg 的男性模型。

市面上的汽车座椅品牌多样, 本文针对某型汽车驾驶座座椅, 使用实车扫描的方式得出真实数据, 以确保实验的准确性, 以 1:1 的尺寸进行建模, 将模型导入到 JACK 软件当中, 如图 2 所示。图中有驾驶座椅和乘客座椅, 本文针对驾驶座椅进行仿真分析。

模型建立完毕并且导入到 JACK 仿真软件中之后, 建立人-机-环境的关键的一步便是人机耦合。

JACK 仿真软件中的人机耦合是指将人类动力学模型与机器人动力学模型相连接, 以实现人与机器之间的和谐关系。人机耦合是 Jack 仿真软件中关键的一步, 通过人机耦合建立人机虚拟仿真环境。本文通过调整驾驶员的姿势, 移动人体模型的位置, 微调人体关节模拟出人坐在座椅上的场景, 如图 3 和图 4 所示。

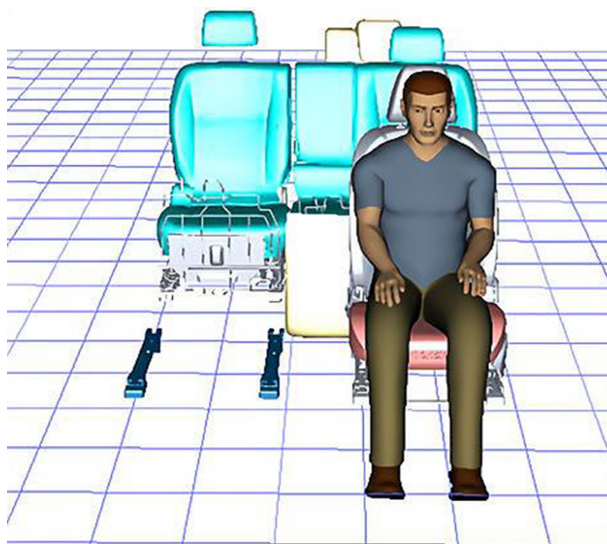


Figure 3. Man-machine coupling model (front)

图 3. 人机耦合模型(正面)

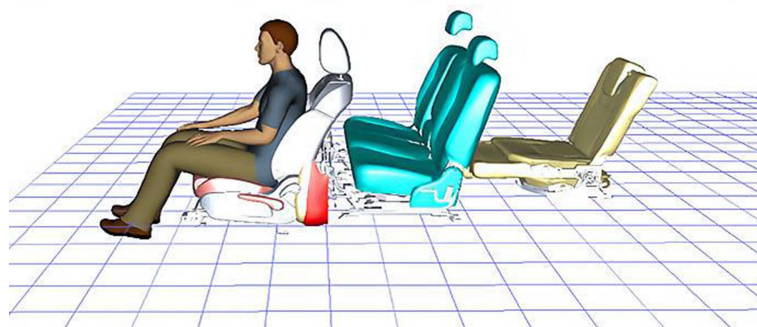


Figure 4. Man-machine coupling model (side)

图 4. 人机耦合模型(侧面)

5. 有关舒适性人机工程分析

5.1. 舒适度分析

在 Analysis 里面有个 Comfort assessment 可以通过测量人体关节角度去判断人体在这个姿势状态下的舒适度, 选择人体模型, 即可对人体模型进行舒适度分析, 分析结果如图 5 所示。

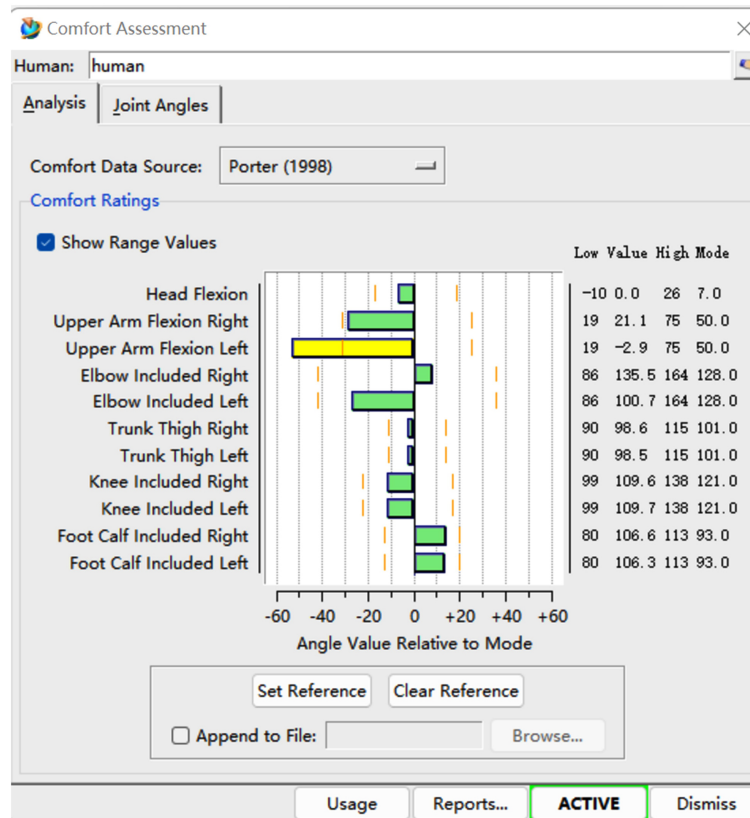


Figure 5. Comfortability analysis results
图 5. 舒适度分析结果

舒适度分析范围包括头屈曲，右上臂屈曲，左上臂屈曲，右肘，左肘，右大腿，左大腿，右膝关节，左膝关节，右足小腿，左足小腿的分析。表 1 所示为 JACK 舒适度分析结果数据，结果表明头屈曲，右上臂屈曲，右肘，左肘以及下肢各个关节的舒适度都在舒适范围之内，说明该座椅对短暂休息者来说没有问题；只有上肢左肩关节舒适度数值范围不在舒适范围之内，说明保持正常坐姿形态，长期使用该座椅可能会造成左肩酸痛，由于分析的为驾驶员的座椅，驾驶员需要经常活动上肢，驾驶员座椅的舒适度主要看的是下肢关节的舒适情况，上肢正常情况下是可以自由动作的。对此提出两点结论：可使用该座椅作短暂休息，短暂休息时该座椅舒适性没有问题；长期以该姿势坐在该座椅上休息，则会对人的左肩造成负担，休息者可能会有左肩酸痛的情况。

Table 1. Comfortability analysis results
表 1. 舒适度分析结果

身体部位	最低舒适值	最高舒适值	当前舒适值	标准舒适值
头屈曲	-10	26	0.0	7.0
右上臂屈曲	19	75	21.1	50.0
左上臂屈曲	19	75	-2.9	50.0
右肘	86	164	135.5	128.0
左肘	86	164	100.7	128.0
右大腿	90	115	98.6	101.0

续表

左大腿	90	115	98.5	101.0
右膝关节	99	138	109.6	121.0
左膝关节	99	138	109.7	121.0
右足小腿	80	113	106.6	93.0
左足小腿	80	113	106.3	93.0

5.2. 下背部受力分析

下背部受力分析主要涉及腰椎 L4 和 L5 关节的承力分析。这种分析的目的是为了评估特定操作下脊椎的受力对下背部的影响是否符合 NIOSH (美国国家职业安全卫生研究所) 的标准, 以及是否会增加工人下背部受伤的概率。JACK 仿真软件在 Analysis 里面有个 Lower Back Analysis 可以测量在某一个姿势下人体腰椎 L4/L5 处的受力大小, 用于分析腰椎在各种坐姿和操作条件下的受力情况, 以评估背部压力和不适感; 还用于坐姿评估, 评估坐姿的舒适度和正确性; 或者分析背部和坐垫的角度、腰椎的弯曲程度等参数, 判断坐姿是否符合人体工程学原理, 是否能够有效减轻背部压力。张亚萍[5]等人的《汽车座椅舒适性静态评价研究》一文中指出: 解剖学的研究发现, 当椅背为垂直时, 腰部所承受的压力比站立时增加 40%, 而当椅背为内凹的弧形时, 腰部所承受的压力则比站立时增加 90%。因此, 在座椅的设计中座椅靠背的设计对人的腰部影响极大。可通过对腰椎处的分析反映出座椅靠背角度调节是否合理。一般来说, 座椅的支撑面越贴合腰间盘的区域, 则该区域所承受的压力就越小。分析结果如图 6 所示。

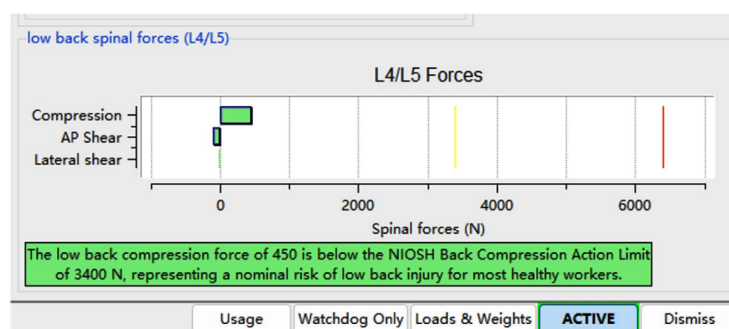


Figure 6. Lower back force analysis

图 6. 下背部受力分析

在图表中, 黄色竖线表示压缩力的警告值 3400 N, 压缩力一旦超过这个值, 人体腰椎受力就会受伤的风险。分析数据显示, 腰椎 L4 和 L5 处的压力值和剪切力值都远远小于黄线代表的警告值, 由此可知腰椎所受的力都在安全范围之内, 座椅的高度和靠背的角度正好合适, 该姿势下有利于驾驶员长途驾驶。

5.3. 工作姿势分析

工作姿势分析是人机工程学重要的研究对象, 在 Analysis 里面有个 Ovako Working Posture Analysis 可以分析人体模型在该姿势下长期保持这种状态的风险程度, OWAS 分析法将人体的工作姿势分为背部、手臂、腿部及负荷四部分作观察分析, 每一部分又依其工作姿势状态予以编码, 依照这些姿势状态来判断工作姿势是否处于正常或危害等姿势(如 AC1、AC2、AC3、AC4 等正常或危害等级)。将工作姿势风险按 1 (AC1)~4 (AC4) 级进行划分。四个级别如下: 1) 级别 1 (AC1): 姿势正常, 无危害, 不须改变工作姿势; 2) 级别 2 (AC2): 姿势有轻微的危害, 虽不需立即改变工作姿势, 但近期必须采取改善措施; 3) 级

别 3 (AC3): 有明显危害肌肉骨骼系统, 必须尽快改善工作姿势或采取改善措施; 4) 级别 4 (AC4): 姿势对肌肉骨骼系统有极度危害, 必须立即改善工作姿势或立即采取改善措施。图 7 为工作姿势分析结果。

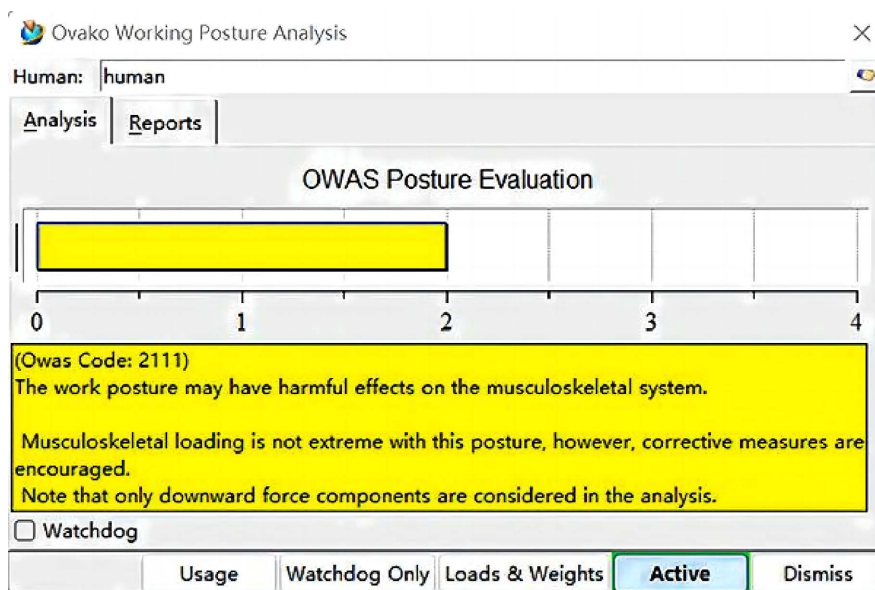


Figure 7. Analysis of improved preworking posture
图 7. 改善前工作姿势分析

数据显示, 工作姿势可能对肌肉骨骼系统有害的影响。该工作姿势需要改善, 不能长期保持, 可能原因就是座椅靠背的角度太靠后, 将座椅靠背的角度都进行调整之后在进行分析, 同时对图 4 的舒适度分析提出的该座椅不适合长期休息的结论进一步进行验证。

基于 JACK 仿真软件的特点, 为了方便验证, 通过等效实验的方法, 将人体角度向前倾可以达到将座椅靠背向前调的效果, 现将上文的人体的关节弯曲度从调节前 10.40 调整成为 28.90, 身体旋转度数据保持不变, 后进行工作姿势的分析, 改善后分析结果如图 8 所示。

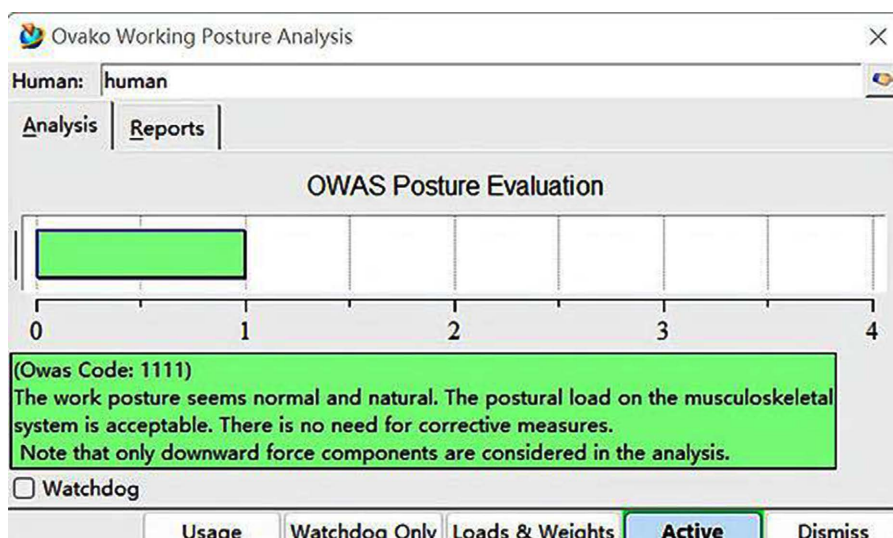


Figure 8. Working posture analysis after the improvement
图 8. 改善后工作姿势分析

改善后得出的分析结果可得知, 工作姿势正常而自然。在肌肉骨骼上的姿势负荷处于可接受范围。所以若要满足长期休息的条件, 就需要将座椅靠背的角度向前调节。将座椅的靠背向前调节之后, 该座椅有利于人长期在座椅上休息。改善前后工作姿势风险级别如表 2 所示。

Table 2. Adjust before and after working posture risk level

表 2. 调节前后工作姿势风险级别

状态	关节弯曲度	工作姿势风险级别
调整前	10.40	级别 2 (AC2)
调整后	28.90	级别 1 (AC1)

6. 结论

为了验证人体在正常坐姿下该汽车座椅的舒适性情况, 本文基于 JACK 仿真软件, 对软件中的舒适度, 下背部受力以及工作姿势模块进行了分析。分析表明该座椅总体舒适性较好, 但在考虑到能否用于长期休息时, 舒适度有所欠缺。

以下是分析得出结论: 人体以正常坐姿坐在座椅上, 对该姿势的舒适度进行仿真分析时, 下肢各个关节的舒适度都在舒适范围之内, 说明人体可以在该驾驶座椅上进行简单休息, 但是鉴于该坐姿下人体上肢左肩关节舒适度数值不在舒适范围之内, 说明长期保持该姿势会导致人体上肢左肩酸痛, 不能达到长期休息的目的, 还会对人体颈椎造成一定的伤害; 下背部受力仿真分析的结果良好; 工作姿势风险评估等级为级别 2, 表明该驾驶座座椅姿势有轻微的危害, 不需立即改变工作姿势, 但近期必须采取改善措施, 若长期使用座椅休息会对肌肉骨骼系统产生伤害。为了减轻这一状况, 对该汽车驾驶座座椅的调整建议是: 将该驾驶座座椅靠背适当向前调节, 并且再次通过仿真分析, 最终得出工作姿势分析结果为级别 1, 表明该方案可行。列出结论如表 3 所示。

Table 3. Comfortability simulation analysis conclusion

表 3. 舒适度仿真分析结论

有关分析	主要部分	座椅调节前	是否需调整	座椅调节后
舒适度分析	头屈曲, 右上臂屈曲, 右肘, 左肘以及下肢各部分	良好	不需要调整	无
	左肩	不在舒适范围内	短期不需要调整	无
下背部受力分析	腰椎 L4 和 L5 关节	腰椎所受的力在安全范围之内	不需要	无
工作姿势分析	背部、手臂、腿部及负荷	分析级别为 2 (AC2) 不能用于长期休息	需要	分析级别为 1 (AC1), 可以用于长期休息

7. 结语

人体工程学在汽车座椅设计中的应用可以帮助提高座椅的舒适性和易用性, 从而提供更好的使用体验。例如, 座椅的设计可以参考人体测量学数据, 以贴合人体曲线, 减少长时间驾驶引起的肌肉疲劳。针对汽车座椅人体工程学舒适性, 本文运用 JACK 仿真技术对汽车座椅的静态的乘坐舒适性进行了研究, 分别对仿真人的上肢以及下背部进行受力分析, 并对舒适性进行受力分析, 调节人体模型的姿势运用控制变量的方法对舒适范围逐一排查, 提出的调整建议方案是建立在等效实验的基础上的。仿真结果表明

改进后的结构设计能让乘坐者以及驾驶员减轻负担，提高舒适性，确定了座椅舒适性的客观测试数据。本次仿真分析能够较为有效评价座椅的舒适性，并为座椅的优化提供依据，帮助汽车制造商或座椅制造商提升座椅舒适性评价的有效性和专业性。

致 谢

经过这段时间的努力，我总算是收到了一个喜讯，我的论文终于定稿了。在这个过程中，我遇到了很多未曾遇到过的困难和挑战，幸运的是，我得到了许多人的帮助和支持，让我能够顺利地完成这篇论文。我想将这个喜讯向帮助过我的人分享，同时，我也想在这里向他们表示最诚挚的感谢。首先，我要感谢我的指导老师王卫星老师。在整个论文撰写过程中，他给予了我无私的指导和支持。其次，我要感谢朱盈霏学姐、工作室的同学和同门兄弟姐妹们，他们抽出了宝贵的时间为我答疑解惑，为我的论文添砖加瓦。他们的建议和帮助让我克服了许多困难和挑战，让我的论文有条不紊地进行着。此外，我还要感谢陪伴我的家人和朋友们，没有他们的关心，我无法完成这篇论文。最后，我要感谢评审老师们。他们给予了我宝贵的意见和建议，让我能够更好地完善这篇论文。在这篇论文定稿之际，我再次向所有帮助和支持过我的人表示最诚挚的感谢。我会继续努力学习，不辜负大家的期望和信任。谢谢！

参考文献

- [1] 王遵铭. 汽车座椅动静态客观特性及主观舒适性研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2022.
- [2] 王艺权, 马志勇, 陈曦, 等. 汽车座椅静态舒适性感官评价技术[J]. 时代汽车, 2021(19): 155-156.
- [3] 杜长江, 马秀英, 从云鹏, 等. 汽车座椅感知舒适性评价体系研究[J]. 上海汽车, 2020(7): 13-18.
- [4] 张程. 汽车座椅系统舒适性设计及评价方法[J]. 汽车与配件, 2020(23): 53-55.
- [5] 张亚萍. 汽车座椅舒适性的静态评价研究[J]. 汽车与配件, 2022(9): 68-70.