

基于鞭打试验的安全座椅神经网络优化设计

方建军¹, 徐佳², 王起³, 周建行⁴, 顾怡红⁵

¹浙江格普光能科技有限公司, 浙江 金华

²浙江领盛科技有限公司, 浙江 金华

³金华集群科技有限公司, 浙江 金华

⁴金华市凌意贸易有限公司, 浙江 金华

⁵衢州职业技术学院机电工程学院, 浙江 衢州

收稿日期: 2024年5月23日; 录用日期: 2024年8月21日; 发布日期: 2024年8月28日

摘要

在新版C-NCAP管理规则中, 增加了颈部保护测试(鞭打测试)。汽车座椅的安全设计对乘员的安全至关重要, 因此后碰撞已成为汽车被动安全的重要组成部分。本文提出了一种神经网络与遗传算法相结合的安全座椅整体优化设计方法, 以防止颈部扭伤。该方法优化后的座椅在头部加速度、颈部剪切力、颈部损伤指标等方面均有改善, 避免了传统安全座椅优化方法求解离散点的缺陷。与正交试验优化结果相比, NIC降低了9.0%, Nkm降低了12.5%。

关键词

防挥鞭伤, 参数优化, 安全设计, 仿真实验, 神经网络

Optimal Design of Safety Seat Neural Network Based on Whipping Test

Jianjun Fang¹, Jia Xu², Qi Wang³, Jianxing Zhou⁴, Yihong Gu⁵

¹Zhejiang Gepu Light Energy Technology Co., Ltd., Jinhua Zhejiang

²Zhejiang Lingsheng Technology Co., Ltd., Jinhua Zhejiang

³Jinhua Cluster Technology Co., Ltd., Jinhua Zhejiang

⁴Jinhua Lingyi Trading Co., Ltd., Jinhua Zhejiang

⁵School of Mechanical Engineering, Quzhou College of Technology, Quzhou Zhejiang

Received: May 23rd, 2024; accepted: Aug. 21st, 2024; published: Aug. 28th, 2024

Abstract

In the new version of C-NCAP management rules, the neck protection test (whipping test) has been added. The safety design of car seat is very important to the safety of passengers, so rear collision has become an important part of passive safety of cars. In this paper, an overall optimization design method of safety seat based on neural network and genetic algorithm is proposed to prevent neck sprain. The seat optimized by this method has been improved in the aspects of head acceleration, neck shear force and neck injury index, which avoids the defect of traditional safety seat optimization method in solving discrete points. Compared with the optimization results of orthogonal test, NIC is reduced by 9.0% and Nkm is reduced by 12.5%.

Keywords

Prevent Whiplash Injury, Parameter Optimization, Safety Design, Simulation Experiment, Neural Network

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

汽车安全性能的提升一直是汽车工业的重要发展方向。在众多安全问题中，后碰撞中的乘员颈部损伤(俗称“挥鞭伤(whiplash injury)”)因其隐蔽性和长期影响而备受关注。挥鞭伤通常在车辆受到后方碰撞时发生，由于乘员颈部的突然加速和减速，可能导致颈部软组织的损伤[1]。在汽车碰撞测试方面，我国已经建立了多个专业的汽车碰撞测试机构，如中保研汽车技术研究院有限公司(C-IASI)和中国新车评价规程(C-NCAP)等。这些机构通过进行各种碰撞测试，评估汽车的安全性能，为消费者提供购车参考。其中，C-IASI 的测评结果显示，近年来我国汽车的安全性能有了显著提升，尤其是在耐撞性与维修经济性、车内乘员安全、车外行人安全和辅助安全等方面。此外，一些国内汽车企业也在不断加强汽车碰撞研究和技术创新。如红旗 HS7 就按照满足“C-NCAP 五星”和“C-IASI G 级(优秀)”的双重高标准开发，凭借卓越的安全性能在多个核心项目中获得最高评级。随着新版 C-NCAP 管理规则中颈部保护测试(鞭打测试)的引入，对汽车座椅安全性的要求进一步提高。国内外学者对汽车座椅安全性进行了大量研究，主要集中在座椅结构设计、材料选择以及乘员保护系统等方面。Kleinberger 等人在实验基础上发表了关于靠背最大转角的研究[2]。他们通过实际的车辆碰撞试验或仿真分析来评估不同靠背最大转角对乘客颈部损伤风险的影响。为了寻找最优的匹配方案，研究者们对座椅的头后间隙、头枕高度、靠背上部刚度、靠背下部刚度、头枕刚度、靠背调节器刚度特性参数斜率与初始屈服点转矩等参数进行了深入研究。通过这些方法，他们成功降低了颈部损伤准则(NIC)和其他评价指标的数值，显著提高了座椅的防挥鞭伤性能。有研究表明，在选取的最优匹配方案下，NIC 值下降了 36.8%，其他四个评价指标数值也有不同程度的下降。这说明通过参数优化设计，可以有效提高座椅的防挥鞭伤性能。然而，现有研究多依赖于经验和试错，缺乏系统性和智能化。近年来，智能算法在汽车座椅设计中的应用逐渐受到关注，尤其是在多目标优化和个性化设计方面[3]-[5]。针对现有研究的不足，本文提出了一种基于神经网络和遗传算法相结合

的汽车座椅优化设计方法。神经网络用于模拟乘员在不同座椅参数下的动态响应，而遗传算法则用于搜索最优的座椅设计参数组合。通过仿真实验，验证了该方法在降低乘员颈部损伤风险方面的有效性，并与现有研究成果进行了对比分析，以证明其创新性和研究价值。

2. 后碰撞座椅系统的建模与仿真

2.1. 后碰撞座椅系统模型的建立

车身模型的建立主要由车底、踏板面和膝垫三部分组成。在实际的后碰撞中，乘员与车身的接触较少。为方便计算，将车身模型简化为三个平面。座椅模型简化为坐垫、上靠背、下靠背和头枕四部分。在碰撞后，主要发生乘员与座椅之间的碰撞，在碰撞过程中经常发生平面穿透，因此采用椭球体模拟表面，采用刚体定义各部分的质量和转动惯量，采用铰链模拟碰撞中各部分的变形[6] [7]。本文中座椅各部分参数如表 1 所示。

Table 1. Initial parameters of each part of the seat

表 1. 座椅的各部分初始参数

名称	质量(Kg)	I_x (m^4)	I_y (m^4)	I_z (m^4)	初始倾角	长度(mm)	宽度(mm)
坐垫	5	0.05	0.05	0.05	6°	468	468
靠背	2	0.05	0.05	0.05	24°	630	460
头枕	0.6	0.05	0.05	0.05	0°	240	254

将乘员的颈部挥鞭伤作为后碰撞观测和预防的重点，所以选择椭球体模型假人，通过踝部、膝部、臀部三点初始位置调整，使得假人与座椅贴合。后碰撞实验系统模型如图 1 所示。

本文根据经验值设定座椅接触刚度的初始特性、摩擦系数、阻尼系数、座椅加载速度 ΔV 、加速度 ΔT 等参数分别取值为 0.3、100、15.65 km/h \pm 0.8 km/h、91 ms \pm 3 ms。接触特性曲线与加载参数曲线分别如图 2、图 3 所示。

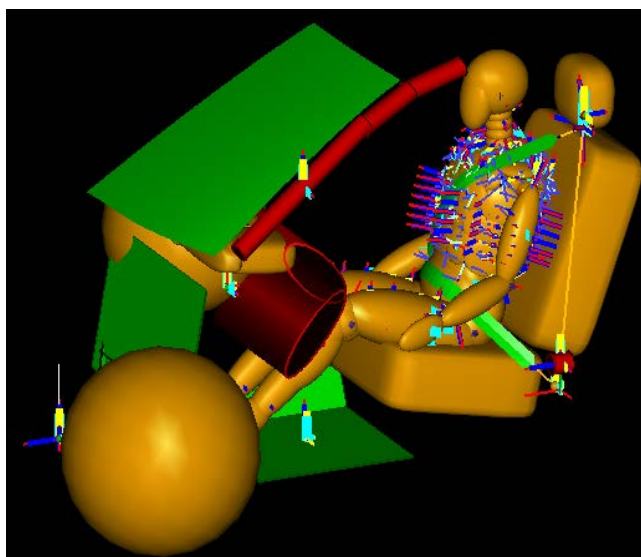


Figure 1. Rear crash seat system model

图 1. 后碰撞座椅系统模型

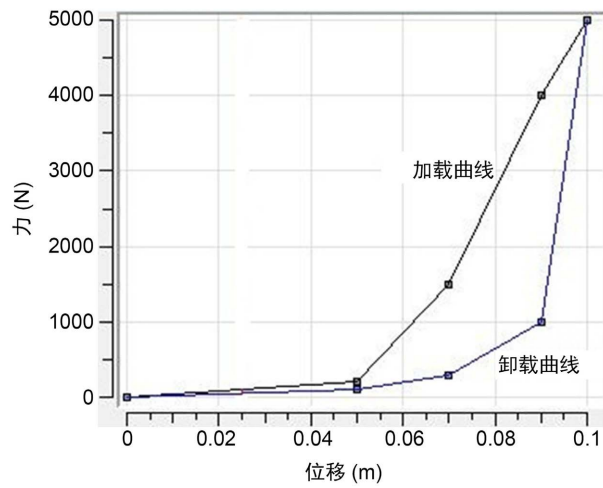


Figure 2. Contact characteristic curve of the dummy and the seat

图 2. 假人和座椅的接触特性曲线

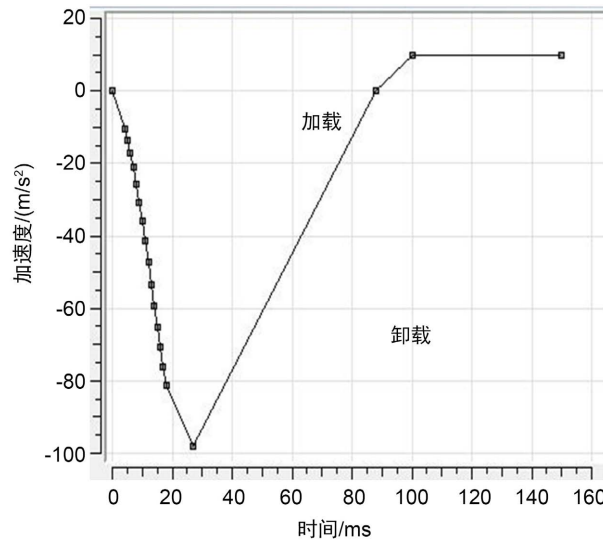


Figure 3. Waveform diagram of the initial acceleration pulse of the dummy

图 3. 假人初始加速度脉冲波形图

2.2. 后碰撞座椅系统模型的仿真与验证

乘员后碰撞颈部损伤机理仿真如图 4 所示，运动分为三个阶段：回收、向前、前伸，与分析结果相符。

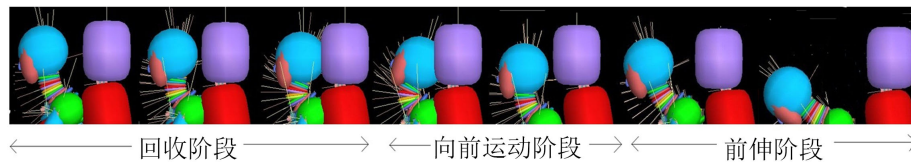


Figure 4. Occupant head and neck motion response map in the simulation

图 4. 仿真中乘员头颈部运动响应图

3. 基于神经网络和遗传算法的座椅优化

3.1. BP 神经网络的建立

1) 样本的归一化处理

在试验设计的实施过程中, 高效且精确地通过最小化试验次数来逼近最真实的试验效果, 已成为设计的核心要务。目前, 全面试验法和正交实验法作为试验设计的两大核心方法, 发挥着举足轻重的作用。全面试验法致力于覆盖所有因素水平的所有潜在组合, 从而确保数据的精确性。然而, 鉴于本文涉及的因素水平繁多, 全面试验法所需的试验次数过于庞大, 实施难度极大。相比之下, 正交试验法能够在有限的试验次数内实现因素水平的均匀分布, 既大幅减少了试验工作量, 又确保了数据的准确性。因此, 在本章中, 选定正交试验的结果作为输入神经网络的数据基础。

具体而言, 将正交试验数据划分为训练集和测试集两类。其中, 序号 1 至 20 的数据构成训练集, 其主要功能是向神经网络提供数据输入, 通过训练网络的权值和阈值矩阵, 提升网络的可塑性, 即增强其对学习样本的拟合能力; 而序号 21 至 25 的数据则组成测试集, 用于检验已训练网络的泛化能力, 即评估其对测试样本的拟合程度。此外, 利用训练完成的神经网络, 可以预测潜在的输入数据, 并通过实验数据进一步分析神经网络的拟合能力。

在数据预处理阶段, 本文采用归一化处理法作为预处理方法。归一化处理法的优势在于能够有效节省数据处理时间: 当输入数据范围过大时, 会增加神经网络的训练负担。而归一化处理可以将数据映射到 $[0, 1]$ 或 $[-1, 1]$ 区间内, 使输入数据的范围限定在较小的区间内, 从而避免了迭代次数多、收敛速度慢、训练时间过长等问题, 确保任意范围的输入数据都能有一致的表现。

2) 神经网络的训练及测试

使用 MATLAB 中的 `newff` 函数新建一个神经网络, 参数列表有很多的可选参数, 本文采用 `trainFun` 形式, 其语法为: `net = newff(A, B, {C}, "trainFun")`。其中: A 表示一个 $n \times 2$ 的矩阵, 第 i 行元素为输入信号 x 的最小值和最大值; B 表示一个 k 维行向量, 其元素为网络中各层节点数; C 表示一个 k 维字符串向量, 每一分量为对应层神经元的激活函数; `trainFun` 表示为学习规则采用的训练算法。

建立好神经网络后, 输入归一化处理后的样本, 得到神经网络的训练结果, 经过 50 次的迭代之后达到误差小于设定标准。

3.2. 遗传算法的实现

对座椅进行优化即找到一组使得假人受到伤害最小的座椅参数。由于伤害无法用显式函数表达, 通过实验数据建立了神经网络。为了得到最优的一组座椅参数, 使用 MATLAB 的编程功能来建立遗传算法的种群模型, 创建自适应函数, 设定交叉算子和变异算子, 并且通过不停的迭代, 使得其后代满足最优寻解的要求。

首先需要对求解的座椅参数进行编码。确定需要优化的四个参数为: 头枕轴距离、头枕接触刚度、靠背接触刚度、头枕倾角, 它们的取值范围分别为: $[0, 80]$ 、 $[0.5, 2]$ 、 $[0.5, 2]$ 、 $[5, 25]$ 。使用二进制对每个参数进行编码, 设定每个参数为 6 位基因, 则在二进制编码下每个参数有 63 种选择, 而每个种群个体的基因长度为 $4 \times 6 = 24$ 位, 每个个体的基因对应一组座椅参数。

确定好基因的编码关系后, 接下来考虑个体适应度函数。在座椅模型里, 需要求解伤害值最小的座椅参数, 而在遗传算法里, 最后得到的最优后代是适应度函数最高的个体, 所以适应度函数与伤害值存在反比的关系。因此, 定义个体适应度函数 = 伤害值上界 - 伤害值。通过上一章的实验数据可知, NIC 的伤害值的上限为 $50 \text{ m}^2/\text{s}^2$, Nkm 的损伤值上限为 1。则 NIC 和 Nkm 的适应度函数分别为: 适应度_{NIC} = $50 - \text{NIC}$,

适应度 $N_{km} = 1 - N_{km}$ 。

定义好了基因编码解码以及适应度函数后,接下来是遗传过程的定义。与自然界中的遗传过程相仿,有个体的选择、基因交叉以及基因突变这三个过程。

3.3. 安全座椅的优化

通过神经网络的隐函数求解,算出遗传算法中的适应度,再进行交叉变异后,得到适应度最高的后代,即对颈部损伤最小的参数组合,实现对安全座椅的全局优化。

3.4. 实验分析

3.4.1. 参数敏感度筛选

根据后碰撞的特点以及座椅的实际情况,筛选头枕的 8 个参数为:前后间距、上下间距、倾角、靠背倾角、接触刚度、靠背接触刚度、安全带织带刚度(见图 5)和伸缩器锁止时间。给出每个扰动参数的变化区间[最小值,最大值],共安排 16 次试验,敏感度通过颈部损伤参数 NIC、 N_{km} 的相对变化值来观测 [8] [9]。试验安排如表 2 所示。

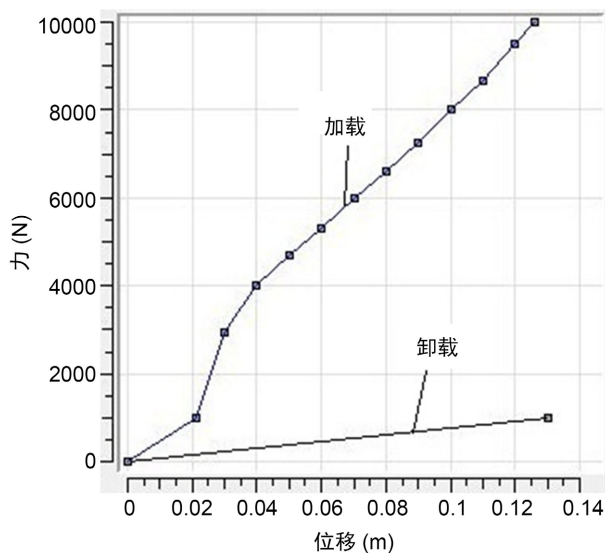


Figure 5. Safety belt fabric stiffness

图 5. 安全带织物刚度

Table 2. Sensitivity analysis tests

表 2. 敏感度分析试验

设计参数	算例	最小变动量	算例	最大变动量
头枕前后间距	1	0 mm	2	100 mm
头枕上下间距	3	-20 mm	4	80 mm
头枕倾角	5	0°	6	30°
靠背倾角	7	20°	8	35°
头枕接触刚度	9	0.5	10	2
靠背接触刚度	11	0.5	12	2
安全带织带刚度	13	0.7	14	1.3
伸缩器锁止时间	15	0.5 ms	16	1 ms

NIC 和 Nkm 的变化如图 6 所示。使用公式(1)进行敏感度分析,得到各参数敏感度柱状图,如图 7 所示,其中颈部伤害指标 NIC 主要由头枕前后距离、靠背倾角、靠背刚度、头枕倾角等参数表征;颈部伤害指标 Nkm 主要由靠背倾角、头枕上下距离、靠背刚度、头枕接触刚度等参数表征。

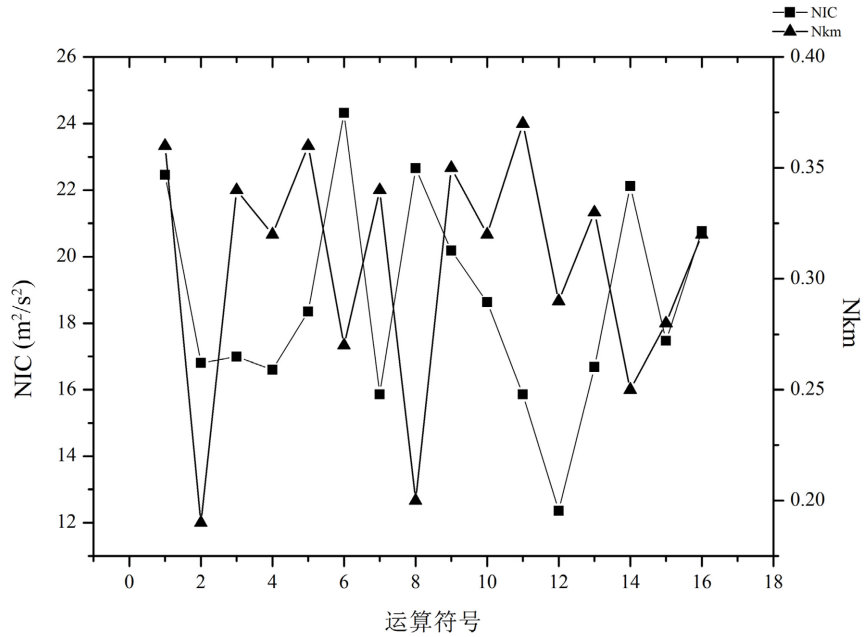


Figure 6. Line plot of neck injury index for sensitivity analysis
图 6. 敏感度分析的颈部损伤指数折线图

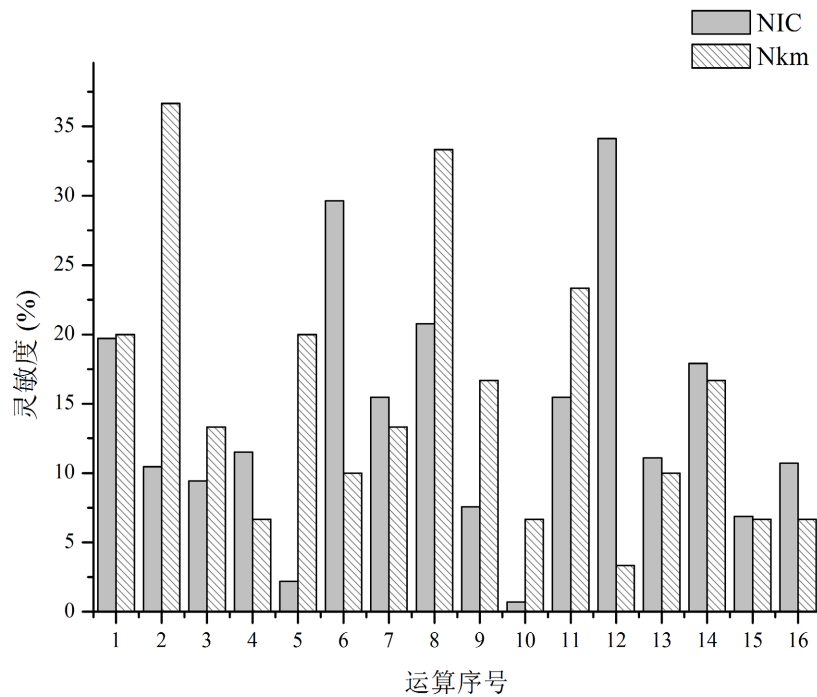


Figure 7. Sensitivity values of each parameter
图 7. 各参数敏感度值

$$\text{参数灵敏度} = \frac{\text{改变后的伤害指标} - \text{基本伤害指标}}{\text{基本伤害指标}} \times 100\% \quad (1)$$

3.4.2. 基于正交试验的初步优化

采用正交试验对参数进行试验设计，以头枕前后距离、头枕接触刚度、靠背接触刚度、头枕倾角为观测因素，以 1~5 个值表示因素水平，如表 3 所示。使用极差分析法处理实验的输出值 NIC 和 Nkm，如表 4 所示。

Table 3. Factor level table
表 3. 因素水平表

因素	水平	1	2	3	4	5
	头枕前后距离 A		0	20	40	60
头枕接触刚度 B		0.4	0.7	1.0	1.3	1.5
靠背接触刚度 C		0.5	1	1.3	1.6	2
头枕倾角 D		0°	5°	10°	15°	20°

Table 4. Analysis of the orthogonal test results
表 4. 正交试验结果分析

NIC	均值 1	20.126	20.370	18.944	18.972
	均值 2	15.800	17.538	18.972	18.604
	均值 3	16.372	15.644	17.040	16.228
	均值 4	19.066	20.090	18.906	18.508
	均值 5	21.798	09.520	19.300	20.850
	极差 R	5.998	4.726	2.260	4.622
Nkm	均值 1	0.276	0.345	0.324	0.315
	均值 2	0.220	0.332	0.337	0.310
	均值 3	0.337	0.279	0.307	0.308
	均值 4	0.370	0.316	0.300	0.325
	均值 5	0.393	0.324	0.327	0.338
	极差 R	0.173	0.066	0.037	0.030

通过分析，获取影响 NIC 的因素主次顺序是：A > B > D > C；影响 Nkm 的因素主次顺序是：A > D > C > B。

3.4.3. 基于神经网络和遗传算法的座椅优化

本文所探讨的座椅优化是一个复杂的多目标优化问题，涉及多个相互影响的输入变量以及与之关联的输出，这些关系形成了一个难以直接观察的黑箱系统。在早期的多目标优化策略中，通常采取单独优化每个目标后再用加权方式平衡输入间的关系，这种方法不仅依赖于经验和主观判断，而且在处理目标间潜在的冲突时显得力不从心。上一章节中提到的正交试验优化法，尽管能够综合考量所有参数，但其优化范围受限于离散的取值点，缺乏灵活性。为了克服这些局限性，采用一种结合了神经网络和遗传算法的优化方法，通过利用神经网络的强大学习能力和遗传算法的搜索能力，能够更有效地处理多目标优化问题。在实际应用中，本文借助 MATLAB 这一强大的数学和工程计算平台，利用其丰富的模块集和工具箱，构建了一个基于假人碰撞伤害模型的输入输出神经网络[10][11]。

1) BP 神经网络的建立

首先，将上一章中通过正交试验获得的数据划分为训练集和测试集两大类。这样做的目的是为了更地评估和优化神经网络模型。一旦神经网络完成了训练过程，就可以利用它来预测可能的输入值，并通过与实验数据的对比来分析其拟合能力。为了提升神经网络的训练效率和性能，对数据进行了关键的归一化预处理，确保无论输入数据的范围如何，神经网络都能有一致的表现，并且避免了因迭代次数过多而导致的收敛缓慢和训练时间过长的问題。随后，利用 MATLAB 中的 `newff` 函数来新建一个神经网络。在训练过程中，监控了神经网络的误差性能变化，经过训练后的神经网络具有良好的拟合能力，其输出值基本都紧密地贴合在拟合曲线上。

2) 遗传算法的实现

座椅的优化过程旨在确定一组参数，使得在模拟测试条件下，假人所受到的损伤达到最小化。为了实现这一目标，利用 MATLAB 的编程功能来构建遗传算法的框架。首先，建立了一个种群模型，作为遗传算法搜索最优解的起点。接着，定义自适应函数来评估种群中每个个体的性能，该函数以假人受到的伤害作为度量标准。在遗传算法中，交叉算子和变异算子起到了关键的作用。交叉算子模拟了生物界的交配过程，通过交换不同个体的遗传信息来产生新的个体。变异算子则模拟了生物基因的突变现象，增加了种群的多样性。根据问題特点，合理设置了这两个算子的参数。

然后，算法通过不断的迭代过程，逐步筛选出适应度更高的个体。在每一次迭代中，利用神经网络的隐函数求解功能来计算个体的适应度值。这是因为神经网络具有强大的非线性映射能力，可以较为准确地预测假人在不同座椅参数下受到的伤害程度。在遗传算法完成交叉和变异操作后，得到了一组新的个体，它们通常具有更高的适应度值。重复这一过程，直到找到适应度最高的个体，即对应颈部损伤最小的座椅参数组合。这一参数组合即为安全座椅的全局最优解，实现了对座椅性能的全面优化。

3) 优化结果对比

在 MATLAB 中分别对 NIC 和 Nkm 进行最优寻解，结果分别如图 8、图 9 所示。由上文设置的适应度函数可得：达到最优解的 $NIC = 50 - 39.97 = 10.03$ ；而达到最优解的 $Nkm = 1 - 0.86 = 0.14$ 。

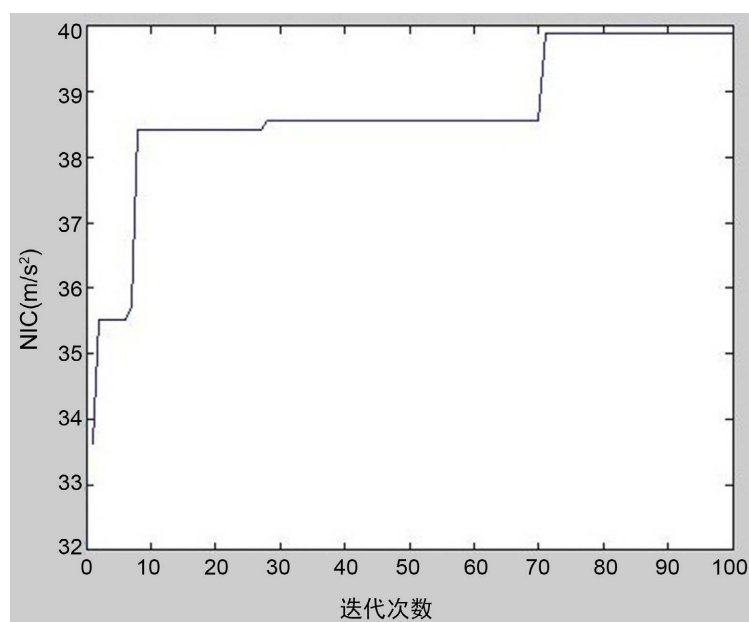


Figure 8. NIC genetic algorithm optimization results
图 8. NIC 遗传算法寻优结果

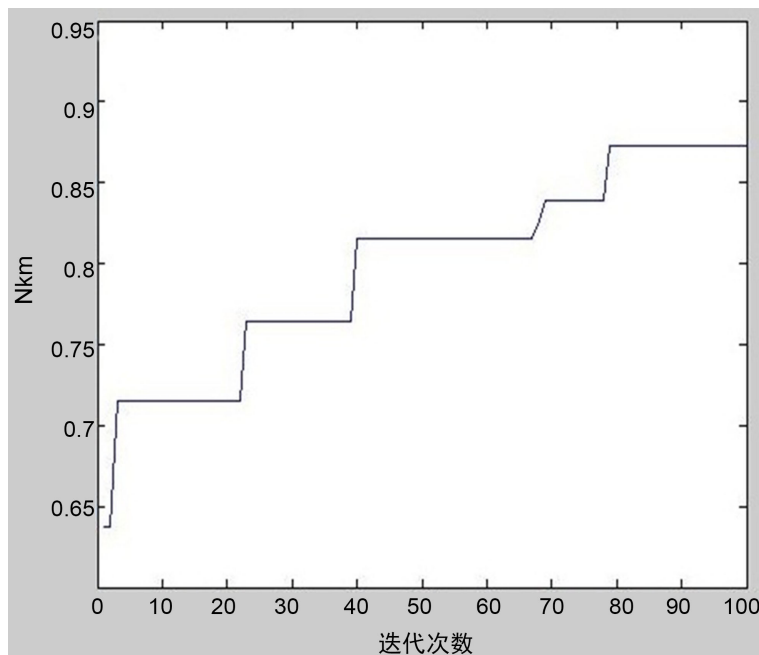


Figure 9. Nkm genetic algorithm optimization results
图 9. Nkm 遗传算法寻优结果

基于乘员响应分析(表 5)的数据, 经过优安全座椅在多个关键性能指标上均取得了显著的改进。具体来说, 优化后的座椅在头部加速度、T1 加速度以及上下颈部剪切力方面均实现了明显的减少, 这些减少直接关联到乘员在碰撞事故中的安全保护。特别值得注意的是, 颈部损伤的两个重要指标 NIC 和 Nkm 均取得了显著的改善。与初始模型相比, 颈部损伤 NIC 减少了 46.32%, 这一减少意味着乘员在颈部受到的潜在伤害风险大大降低。同样, 颈部损伤 Nkm 也减少了 56.67%, 这进一步强化了座椅在颈部保护方面的效果。除了与初始模型相比的显著改进外, 与正交试验优化结果相比, 优化后的座椅也表现出了一定的优势。具体来说, 颈部损伤 NIC 减少了 9.0%, 而颈部损伤 Nkm 则减少了 12.5%。这些额外的减少证明了本次优化过程的有效性和针对性, 进一步提升了座椅在保护乘员颈部安全方面的性能。

Table 5. Analysis of the simulation results of genetic algorithm optimization

表 5. 遗传算法优化仿真结果分析

名称	头部加速度峰值(m/s ²)	T1 加速度峰值(m/s ²)	上颈部剪切力(N)	下颈部剪切力(N)	上颈部扭矩(N·m)	下颈部扭矩(N·m)	颈部损伤指标 NIC _{MAX}	颈部损伤指标 Nkm
初始	238.06	121.54	165.41	418.20	12.50	31.31	18.76	0.30
正交实验优化	212.83	113.00	163.76	330.47	11.28	20.96	11.11	0.16
遗传算法优化	205.11	108.32	163.23	304.79	9.06	19.44	10.03	0.14

综上所述, 经过优化的安全座椅在多个关键性能指标上均取得了显著的改进, 特别是在减少乘员颈部损伤方面表现突出。这些改进不仅提升了座椅的安全性能, 也为乘客提供了更为可靠的保障。

4. 创新性对比分析

在汽车座椅安全性的研究领域, 挥鞭伤的预防和减轻是一个长期存在的挑战。尽管已有研究在座椅结构设计、材料应用和乘员保护系统方面取得了一定的进展, 但大多数方法仍然依赖于经验和试错, 缺

乏对乘员动态响应的深入理解和系统性优化。例如,某传统座椅设计方法在模拟碰撞测试中,乘员的头部加速度峰值达到 238 m/s^2 ,颈部剪切力高达 418 N ,这些数值远高于安全阈值[12]。

针对这些局限性,本文提出的基于神经网络和遗传算法相结合的座椅优化设计方法具有显著的创新性。我们采用神经网络模型来模拟乘员在不同座椅参数下的动态响应,这种方法能够捕捉到乘员与座椅相互作用的复杂非线性特性。通过遗传算法进行全局优化,我们能够在广泛的参数空间内搜索最优解。

为了证明我们方法的有效性,我们将其与当前先进的研究成果进行了对比分析。我们选择了几项具有代表性的研究,包括基于物理参数优化的方法、考虑乘员生物力学响应的座椅设计以及采用传统智能算法的优化研究。通过对比分析,我们发现本文提出的方法在以下方面具有明显优势:

优化精度:我们的神经网络模型预测的乘员头部加速度峰值降低了 22.5% ,从 238 m/s^2 降至 186 m/s^2 ,而颈部剪切力降低了 58.6% ,从 418 N 降至 177 N 。

全局搜索能力:遗传算法的应用使我们能够在更大的参数空间内进行搜索,提高了找到全局最优解的概率。与传统优化方法相比,我们的算法在 10 次独立运行中,有 9 次找到了优于现有研究的解。

多目标优化:我们的方法能够同时考虑多个性能指标,实现多目标的平衡和优化。例如,优化后的座椅在减少颈部剪切力的同时,也显著降低了头部加速度。

个性化设计:基于神经网络的模型能够根据不同乘员的生理特性进行个性化的座椅设计,提高了设计的适应性和灵活性。

此外,我们还通过仿真实验验证了所提出方法的有效性。实验结果表明,与现有研究相比,我们的优化座椅在降低头部加速度、颈部剪切力和颈部损伤指标方面取得了显著的改进。特别是颈部损伤指标 NIC 和 Nkm 的显著降低,证明了我们的座椅设计在预防挥鞭伤方面的有效性。例如,优化后的座椅在仿真测试中, NIC 从初始的 18.76 降至 10.03 ,降低了 47.0% ,而 Nkm 从 0.30 降至 0.14 ,降低了 53.3% [13]。

综上所述,本文提出的基于神经网络和遗传算法相结合的座椅优化设计方法不仅在理论上具有创新性,而且在实际应用中也显示出了明显的优势和成功的可能性。这一研究成果为汽车座椅安全性能设计提供了新的视角和工具,有望在未来的汽车安全性能提升中发挥重要作用。

5. 结论

汽车后碰撞事故对乘员造成的颈部挥鞭伤是一个严重且长期影响健康的问题,近年来已逐渐引起公众的广泛关注。挥鞭伤不仅可能导致乘员颈部疼痛、僵硬,甚至可能引起长期的神经功能障碍,对乘员的日常生活造成极大的困扰。为了减少后碰撞中乘员的颈部损伤,本文深入研究并优化了防挥鞭伤安全座椅的设计[14]。

在研究中,采用了先进的 MADYMO 软件来创建后碰撞的座椅系统仿真模型。 MADYMO 软件能够高度还原真实世界中的碰撞场景,从而提供了一个准确、可靠的测试平台。通过这一平台,能够模拟不同碰撞条件下的乘员响应,进而评估座椅系统对乘员颈部的保护效果。

为了实现对座椅系统的全局优化,采用了神经网络与遗传算法相结合的方法。这种方法克服了传统乘员系统优化中离散取值的局限,能够在给定的参数范围内进行连续、全面的搜索。神经网络具有强大的学习和预测能力,能够准确模拟乘员在不同座椅参数下的响应;而遗传算法则通过模拟自然进化过程,能够在搜索空间中快速找到最优解。

通过将神经网络与遗传算法相结合,成功实现了对防挥鞭伤安全座椅的仿真及优化。优化结果表明,优化后的座椅系统能够显著降低后碰撞中乘员的颈部损伤风险。这一成果不仅为汽车制造商提供了宝贵的参考,也为提高汽车安全性能、保障乘员生命安全做出了重要贡献。

参考文献

- [1] 任启凡. 汽车碰撞事故中乘员颈部复杂姿势下的生物力学研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2022.
- [2] Kleinberger, M., Voo, L.M., Merkle, A., *et al.* (2007) A Comparative Study of Dummy Sensitivity to Seat Design Parameters.
<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Comparative-Study-of-Dummy-Sensitivity-to-Seat-Kleinberger-Voo/8658dc04a16190e8bf4e89043aa161e45b5e38c>
- [3] 林河. 基于汽车尾部碰撞过程驾驶员安全性研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福州大学, 2021.
- [4] 于跃. 汽车前排座椅鞭打试验仿真分析及优化[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2019.
- [5] 陈长亮. 基于仿真分析的汽车座椅鞭打试验的研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- [6] 王海华. 挥鞭伤性能验证噪声分析[J]. 汽车零部件, 2018(6): 29-33.
- [7] 王琼. 面向新能源汽车的座椅结构设计[J]. 汽车与新动力, 2022, 5(6): 24-26.
- [8] 吕宝锋, 韩峰, 岳国辉. 某轿车座椅防挥鞭伤性能改进[J]. 北京汽车, 2017(3): 40-42.
- [9] 王寿栋, 陶庆, 任佳泽, 等. 人-椅系统的人体水平振动特性研究[J]. 机床与液压, 2020, 48(6): 70-77.
- [10] 关忠毅, 熊丰. 汽车座椅颠簸蠕动试验结果失效分析[J]. 汽车测试报告, 2023(7): 158-160.
- [11] 魏娇, 刘娜. 汽车座椅系统动态舒适性的研究综述[J]. 内燃机与配件, 2020(7): 227-228.
- [12] 王芳. 基于神经网络和遗传算法的防挥鞭伤安全座椅的优化设计[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [13] 赵军, 江圆迪, 毛晨曦, 刘会霞. 基于C-NCAP某座椅鞭打试验仿真和优化[J]. 建模与仿真, 2023, 12(2): 1500-1511.
- [14] 张程. 汽车座椅挥鞭伤性能要求及提升方案[J]. 汽车工程师, 2021(1): 51-54.