

智能座舱睡眠舒适度的实证研究

刘键, 鲁艺, 许泽君, 邹锋, 韩宇翔

(北京工业大学, 北京 100124)

摘要: **目的** 基于生物力学原理, 评价自动驾驶情景中座椅靠背和座面的多种组合对睡眠舒适度的影响, 从而指导智能座舱的设计研发。**方法** 基于 Tekscan 的 CONFORMat 座椅压力分布测量系统, 设计了座面角度 (15°, 25°, 35°) 和靠背角度 (140°, 150°, 160°) 的实验装置, 获取了 20 位被试的客观多维数据与主观评价数据, 随后应用人工神经网络构建了舒适度预测模型。**结果** 重复测量方差分析表明, 随着座面平移角度的增加, 可有效地均衡界面接触压力分布, 座椅靠背角度为 160°与座面角度 35°的组合设计, 其压力的加权平均值、总接触面积、界面压力分布指数、适应性等级与其他实验条件有显著性差异。**结论** 最后应用人工神经网络预测模型的精确验证, 研究建议将 35°的座面角度与 160°的椅背应用于智能座舱的睡眠位置。

关键词: 生物力学反馈; 自动驾驶; 神经网络; 睡眠

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)22-0066-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.22.010

Empirical Study on Sleep Comfort of Intelligent Cockpit

LIU Jian, LU Yi, XU Ze-jun, ZOU Feng, HAN Yu-hong

(Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

ABSTRACT: The work aims to evaluate the effect of different combinations of backrest and seat surface on sleep comfort during autopilot based on the artificial neural network, so as to guide the design and development of intelligent cockpit. Based on CONFORMat seat pressure distribution measurement system of Tekscan, the experimental devices of seat surface angle (15°, 25°, 35°) and backrest angle (140°, 150°, 160°) were designed, and the objective multi-dimensional data and subjective evaluation data of 20 subjects were obtained. Then, the comfort prediction model was constructed by artificial neural network. According to the repeated variance measurement and analysis, with the increase of the translation angle of the seat surface, the contact pressure distribution at the interface could be effectively balanced. The combination design of the backrest angle of 160° and the seat surface angle of 35° had significant differences with other experimental conditions in terms of the WAP, A_{total} , IPD and SR. Finally, the accuracy of the prediction model is verified by the artificial neural network. It is suggested that the seat surface angle of 35° and the backrest of 160° can be applied to the sleeping positions of intelligent cockpit.

KEY WORDS: biomechanical response; autopilot; neural network; sleep

自动驾驶已成为潮流趋势, 未来智能座舱设计已然成为了各大车厂和制造商们争夺的关键点。关于智能座舱, 目前学术界和企业界一直没有明确的定义, 本研究界定的智能座舱为: 在未来 L4 级自动驾驶级

别中, 其汽车内部空间通过附加各种智能化手段, 主动的满足不同用户在车内的多样化需求, 提升车内空间的可用性和智能化水平。因此, 面对未来汽车自动驾驶化的新趋势, 如何才能让车内空间得到最大化的

收稿日期: 2020-08-25

基金项目: 北京市工业设计促进专项-优秀青年设计人才 (Z201100007120033); 北京市社科基金项目 (20191102987778)

作者简介: 刘键 (1987—), 男, 山东人, 博士, 北京工业大学副教授, 主要研究方向为工业设计、交互设计。

通信作者: 鲁艺 (1983—), 女, 湖南人, 博士, 北京工业大学副教授, 主要研究方向为工业设计、交互设计。

应用,达到效率的最大化,从而更好的促进车内乘客的休息与娱乐,是汽车设计师面临的主要问题。目前多个研究表明,当用户拥有了一辆无需监督驾驶任务、且去除了方向盘和踏板就能实现安全驾驶的智能座舱之后,睡眠和休息就成为了大多数用户的普遍诉求^[1-4]。对于睡眠而言,人们习惯于在平铺的床垫上采用仰卧、俯卧或侧卧^[5],其表面可支撑身体重量,从而使肌肉达到放松状态以及促进新陈代谢^[6]。然而遗憾的是,大多数个人交通工具受限于空间约束,用户无法在车内实现完全平坦或仰卧的姿势。同时,有研究表明,用户在车内采用 180°的仰卧睡姿会增加腹部和头部受伤的风险^[7]。也有研究表明,用户在车内平躺容易造成前庭、本体觉与视觉系统三者无法匹配,从而增加了晕动症的风险^[8]。然而目前尚无相关的研究成果可以支持智能座舱的睡眠研究,因此本研究旨在平躺与传统驾驶坐姿之间寻找一个满意答案。

1 相关研究

生物力学是基于力学原理和方法对生物体中的力学问题进行定量研究的生物物理学分支,目前,多项研究基于静态座椅压力分布 (Seat Pressure Distribution, 以下简称 SPD),来评估支撑系统的舒适性和生物力学质量^[9],因此本研究也选取这一指标,力求客观性和普适性。其次,均匀的接触压力分布可以减少组织应力和预防压疮的发生,这也表明扩大接触面积,且压力值降低时,用户乘坐舒适性体验会得到提升,因此对压力进行加权平均数处理可以客观地评价生物力学反馈^[7]。人体部位的的压力分布研究表明,可将大腿远端、肩部、臀部、腰部分解成 7 个部分,其相对应的接触压力值可以客观地反映舒适程度^[9]。霍笑^[10]、Vink^[11]等人给出了身体各部位压力阈值的详细数据,以及界定了不同座面与靠背的组合可能引起身体不适的参数。然而,由于现有研究和人机数据库主要集中在传统坐姿、后排航空座椅配置、以及静态躺椅的人因工程研究上,仅靠这些研究成果不足以设计出可应用于智能座舱的最佳睡眠姿势,所以本研究的目的是借助 Tekscan 的压力测试系统以及人工神经网络的研究方法,基于压力的加权平均值、界面压力分布、适应性等级的多维数据为主要指标,评估动态条件下智能座舱睡眠位置的生物力学质量,以此指导设计师开展创新设计实践。

2 实证研究

为了揭示肩背部、腰部、臀部、大腿部的用户—座椅接触界面压力之间分配比例较舒适的量化关系,研究应用了 7 处人体部位分布方法表征用户—座椅接触界面压力,通过主客观评价相结合的方法,选择 20

名被试者参与座椅靠背舒适性试验。

2.1 被试

本研究选了 20 位中国男性(平均 $\pm$ SD:年龄 21 $\pm$ 5 岁;身高 1718 $\pm$ 37 mm;体重 69.2 $\pm$ 1.9 kg)作为研究被试。在招募前,通过身体检查和口头询问,确认了本研究所招募的所有被试无任何肌肉骨骼损伤、以及未患有影响睡眠的疾病。为了确保被试同质性,并达到可比的座位尺寸,实验选择了臀部到膝盖长度为 513~545 mm 范围内的男性参与者,代表了中国标准化研究院人类功效标准化研究中心 2010 年中国成年男性的 20%至 70%的数据^[12]。根据文献[10]的研究建议,研究采用了马丁尺提前进行测量,以确保所选被试的参数与数据库相匹配。在实验之前,告知被试的实验内容和程序,并获得知情同意。

2.2 实验装置

实验装置是根据现有座椅改装的,装置采用了下凹适中的坐垫曲面,从而最大限度排除因装置的差异影响实验结果。该装置包括靠背(长 $\times$ 宽:66 cm $\times$ 52 cm),座面(61 cm $\times$ 60 cm)和小腿靠垫(62 cm $\times$ 70 cm),并将其布置在副驾驶位置,见图 1。为了统一所有被试的标准化条件,力求最大程度地减少其他外在因素的干扰,实验装置的轴承表面没有附带侧面支撑或腰部支撑的配件,并去除了原座椅的扶手和头枕两侧包裹,实验装置表面为柔性薄膜传感器,下面一层在原座椅上套上了织物覆盖层。座椅角度可以手动定位在 15°、25°和 35°,靠背设置为 140°,150°和 160°。小腿搁板位于座板的末端,将小腿支撑在水平位置。同时,为了给被试营造舒适且愉悦的氛围,研究人员在车内播放了低节奏的催眠音乐(Kiss The Rain)。

2.3 界面压力和适应性等级

研究采用的柔性薄膜传感器(0.7 mm)为电容式压力垫(CONFORmat, Tekscan Technology Corporation, USA),以此用来记录座面和靠背上的接触压力值。实验装置上的柔性薄膜传感器包含 2207 (56 cm $\times$ 56 cm)个感测点,覆盖面积为 61.8 cm $\times$ 61.8 cm。同样,放在靠背上的压力垫包含 2360 (60 cm $\times$ 75 cm)个感测点,覆盖面积为 60.1 cm $\times$ 79.3 cm。每个垫子的传感器间距为 11.2 mm,测量范围为 0.06~3.1 N/cm²(准确度: $\pm$ 5%)。使用软件 Tekscan 的 CONFORmat 座椅压力分布测量系统,以 10 Hz 的频率同步记录压力,并自动输出适应性等级指数,该指标越高则表明相应实验条件的生物压力分布越均匀。为了评估每种睡姿的主观舒适度,研究人员采用 7 分制的李克特量表,要求被试对“当前睡姿是否适合睡眠”这一状态进行主观评价,1 分制表示完全不同意,7 分制表示完全同意。

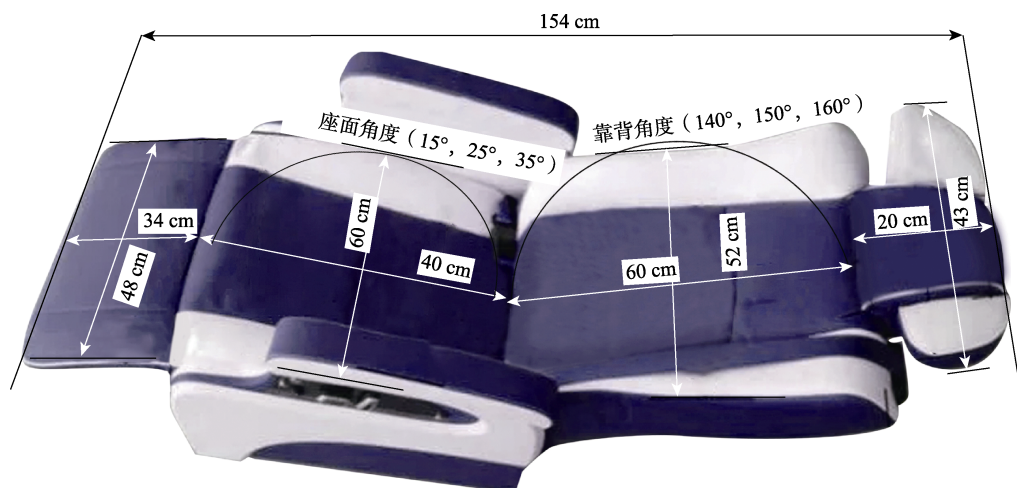


图1 实验装置设计

Fig.1 Experimental device design

2.4 实验方案

实验采用了随机顺序,基于9种不同的座椅配置条件(3个靠背角度×3个座椅角度),对于每种配置,研究人员根据被试的初始需求调整实验装置的靠背、座板、小腿支撑的部分。在实验前,研究人员将柔性薄膜传感器放置在靠背和座椅上并确保正常工作,随后要求被试采用仰卧姿势躺在实验装置上,保持双腿平行,双手折叠在膝盖上。当被试采取了一个自认为舒适的姿势,研究人员则要求其放松并禁止过度的活动。同时,为了避免测量误差,研究团队在实验开始前,确保了垫子上没有任何皱纹,从而排除了主观评价过程中的外因干扰。基于文献[7]的实验时间,本研究的每种实验条件的时间为3 min,随后同步记录座椅水平面与靠背的接触压力约用时50 s,然后评估其睡眠适应性。研究采用了动态舒适性评价,实验开始后,车辆以60 km/h加速,车辆保持匀速形式,减少加减速从而避免被试进入晕车振动频率(0.16 Hz)。每次驾驶完成之后,座椅闲置15 min后再进行下一轮的实验。

2.5 数据分析

研究使用了软件Tekscan PRO L6分析人一椅界面活动压力分布,在对每个实验条件的分析过程中,研究人员获取了每个感测点的压力值的平均值,并手动排除了肩部、臀部、大腿远端、腰部之外的压力分布值,具体数据如下。

总接触面积。总接触面积($A_{\text{contact area}}$,以下简称Aca)通过将0.07 N/cm²以上的传感点数量乘以1.61 cm²(传感器尺寸)。

压力的加权平均值。最大压力、平均压力、最大压力梯度、平均压力梯度、不对称系数、纵向压力分布曲线系数是常用的指标,文献[10]指出相比较以上指标,压力的加权平均值(Average Pressure,以下简称AP)具备更好的灵活性和普适性,该数值越小代表

舒适程度高。在此基础上,研究基于文献[7]中,7个应用于表征人椅界面压力分布测试的分区。

其次,具体的加权因子(w_i)计算是基于Vink等人^[11]根据人体压力灵敏度系数矩阵的测量方法开展的。在这里,通过选择最小的阈值,将压力灵敏度系数缩至7×1的网格矩阵,通过($\min_t_i$)计算每一行的比例(w_i):

$$W_i = \frac{\min_t_{\text{overall}}}{\min_t_i} \quad (1)$$

再次,将压力灵敏度系数分配到压力分布的相应区域,见图3。最后,加权平均数的压力根据公式(2),7个分区的加权系数以及各区域的平均压力(P_i)和接触面积(A_i)来计算得出:

$$AP = \sum_{i=1}^7 w_i \times P_i \times \frac{A_i}{A_{\text{total}}} \quad (2)$$

静态座椅压力分布(SPD)。界面压力分布不均匀是导致乘坐不适感的重要生物力学因素之一。多个研究表明,界面接触压力分布指数是一种有效、客观的舒适性表征手段。本研究基于Aca和AP定义了SPD,进而可应用方程式比较不同靠背—座面角度组合的生物力学质量,如公式(3)。考虑到基于两个方面的最佳生物力学界面压力分布定义,该指数涵盖了两个因素:(1)支撑身体的面积是否合理;(2)压力分布是否均匀。为了使这两个因素的测量在一个共同的尺度上具有可比性,研究对所有条件下的平均值及其标准偏差进行了z变换。此外,为了能够揭示生物力学反馈与IPD之间的相关性,通过 WAP_{zscore} 乘以-1即可求逆。

$$PD = \frac{\text{Area}_{\text{zscore}} + (-1) \times AP_{\text{zscore}}}{2} \quad (3)$$

2.6 数据分析

首先,将获取的数据导入至IBM SPSS Statistics26。其次,研究使用KS-检验,检验了本研究的

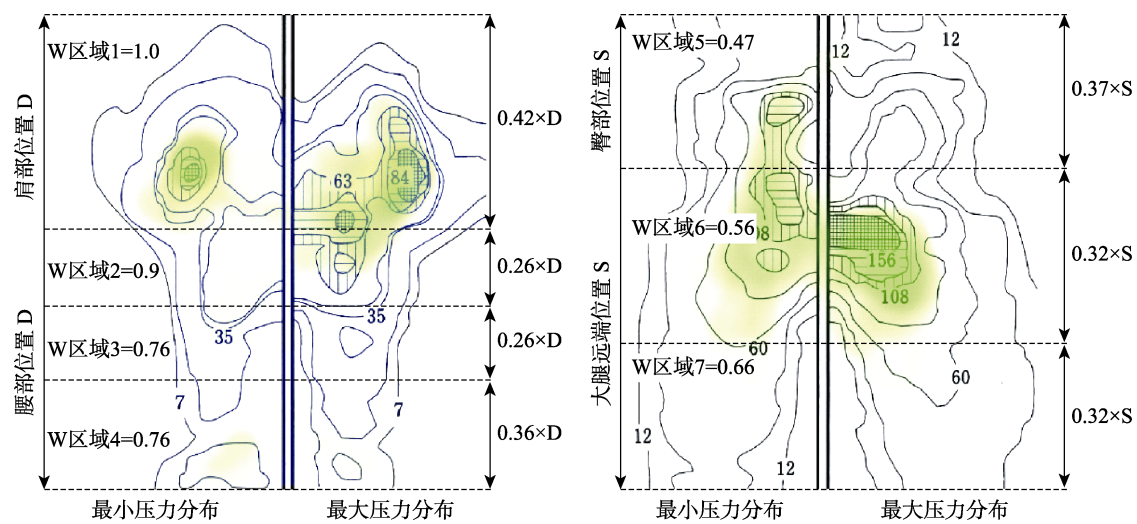


图 3 接触界面压力分布的部分数据
Fig.3 Exemplary IPD of body zones.

表 1 Aca、AP、SPD、SR 的数据
Tab.1 Data of Aca, AP, SPD, SR

座面	15°			25°			35°		
	140°	150°	160°	140°	150°	160°	140°	150°	160°
Aca(cm²)	2252.3 (291.9)	2288.2 (279.1)	2280.1 (249.2)	2349.3 (291.6)	2381.2 (268.2)	23893 (271.2)	2469.6 (282.1)	2521.1 (286.6)	2581.2 (283.3)
AP(N/cm²)	0.19(0.03)	0.18(0.03)	0.17(0.03)	0.20(0.03)	0.19(0.03)	0.18(0.03)	0.17(0.03)	0.17(0.03)	0.15(0.03)
SPD	-0.96(0.67)	-0.06(0.47)	0.11(0.35)	-0.51(0.61)	0.33(0.41)	0.22(0.38)	-0.16(0.59)	0.83(0.28)	0.22(0.72)
适用性等级(SR)	4.8(1.5)	56(1.3)	5.8(1.2)	4.7(1.1)	5.3(1.3)	5.8(1.3)	4.2(1.5)	5.3(1.7)	5.6(1.7)

数据未能呈现出正态分布，针对此，本研究在最后使用了事后多重比较中的 Bonferroni 法。而后使用重复测量方差分析，对不同椅背的（140°，150°，160°）和座面角度（15°，25°，35°）进行了分析，最后利用偏 Eta 平方得到面积（ η_p^2 ）的主效应。在分析过程中，当检验不满足球形假设时，研究人员应用了 Huynh Feldt 法对其开展了校正。

3 结果

通过数据分析表明，座面角度和靠背角度的总接触面积、压力的加权平均值、界面压力分布指数、适用性等级指数之间具有统计学意义上的显著性差异，表 1 与表 2 列出了所有分析数据的平均值，括号内的数据表示标准偏差。

座面的主效应。Aca 指标方面，35°座面角度明显大于 25°（ $p<0.005$ ）以及 15°（ $p<0.001$ ），说明当座面角度设计为 35°时，被试的臀部、大腿远端处与实验装置的总接触面积大于其他实验条件。此外，在 AP 中发现，座面角度 35°与 25°（ $p=0.004$ ）、15°（ $p=0.0048$ ）之间存在统计学意义上的显著性差异。关于 SPD，35°的实验条件与 25°（ $p=0.011$ ）之间未发现显著性差异，但在 35°与 25°之间存在显著性差

表 2 不同实验条件的主效应和效应值
Tab.2 Main effect and effect size under different experimental conditions

座面	座面角度		椅背角度	
	椅背	主效应 效应值	主效应 效应值	
Aca(cm²)		$F=101.332$ $P<0.005$ $\eta_p^2=0.901$	$F=7.951$ $P=0.002$ $\eta_p^2=0.193$	
AP (N/cm²)		$F=6.121$ $P=0.021$ $\eta_p^2=0.221$	$F=75.877$ $P<0.005$ $\eta_p^2=0.769$	
SPD (SD)		$F=20.529$ $P<0.005$ $\eta_p^2=0.423$	$F=34.223$ $P<0.005$ $\eta_p^2=0.623$	
适用性等级		$X^2(6)=66.1$ $P<0.005$		

异（ $p<0.001$ ）。以上统计表明，当把座面设计为 35°时可以均衡压力的分布，并提高舒适度体验，其适用性等级也显著高于其他实验条件。

椅背的主效应。Aca 指标方面，160°与 150°之间无显著差异（ $p=0.029$ ），160°与 140°之间存在统计学意义上的显著性差异（ $p<0.001$ ），说明当椅背角度设计为 160°时，被试的背部与实验装置的总接触面积大于其他实验条件。AP 指标方面，在 140°明显高于 150°（ $p<0.005$ ）和 160°（ $MD=0.021\text{ N/cm}^2, p<0.001$ ），此

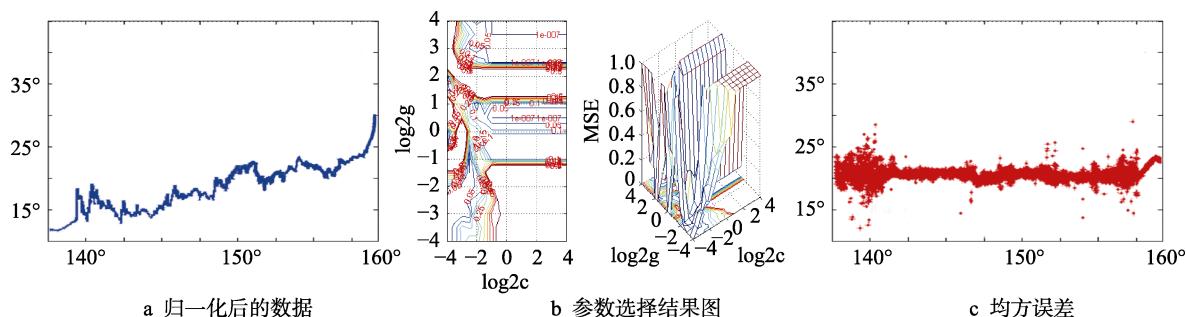


图4 神经网络预测模型
Fig.4 Neural network prediction model

外, AP 的值在 150° 时高于 160° ($MD = 0.003 \text{ N/cm}^2$, $p = 0.012$), 说明 160° 的实验条件下, 其压力的加权平均值最小。SPD 指数方面, 140° 的实验条件远低于 150° ($MD = 0.921SD$, $p < 0.005$) 和 160° ($MD = 0.716SD$, $p < 0.001$)。以上统计表明, 当把椅背设计为 160° 时, 可以均衡压力的分布, 并提高舒适度体验, 其适应性等级也显著高于其他实验条件。

主观评价。实验完成之后, 对所有被试进行了舒适度的主观评价, 其数据分析表明, 被试更偏向于 160° 的椅背角度与 25° 、 35° 的座面角度组合设计, 其主观舒适度显著高于 25° — 140° ($z = 2.197$, $p = 0.032$), 35° — 140° ($z = 2.651$, $p = 0.013$), 45° — 140° ($z = 4.015$, $p < 0.001$) 的实验条件。其次, 所有实验条件均没有引起晕动症的迹象。

4 神经网络预测模型

BP 神经网络预测模型。研究将 20 位被试中 9 个实验条件所获得的 Aca、AP、SPD、SR 数据进行归一化处理, 见图 4a, 并作为神经网络的输入层神经元, 用 Matlab R2019a 神经网络工具箱函数 newrb 对模型进行训练, 并设定训练精度为 $goal=0.001$, 隐含层的传递函数为 tansig 函数, 输出层的传递函数为 purelin 函数, 训练部分经过 5000 次迭代后, 通过参数选择结果的图 4b, 最后得到了 167 个预测样本数据, 且预测结果与真实值对比的均方误差仅为 0.0011, R^2 为 0.912, 见图 4c。通过神经网络预测模型得知, 本研究的数据精度可以满足创新设计需求, 对在智能座舱开发的前期阶段评估座椅睡姿的舒适性提供参考。

5 结语

研究方法的创新。体现在: (1) 相对于过往研究大多数基于静态条件下对传统坐姿的舒适评价, 本研究基于生物力学反馈的 Tekscan 评测系统, 对动态条件下用户在车内副驾驶位置进行睡眠时的不同实验条件进行了评估, 构建了面向智能座舱的睡姿舒适度实证方法; (2) 基于最佳生物力学反馈原理选取了多

维客观评价指标, 应用重复测量设计的方差分析提炼了设计结果, 从而提出了能够降低和均衡分布睡姿界面接触压力的人机参数; (3) 最后通过构建人工神经网络预测模型, 论证了方法的可行性和数据的可靠性。

设计实践的创新。对相关文献进行分析, 挖掘数据来源 CNKI 数据库, 在核心期刊收录期刊中分别对关键词“生物力学”、“舒适度”、“自动驾驶”、“座椅”、“睡眠”, 进行了文献检索, 并在检索结果中继续针对设计学、工学及相关知识领域进行了精细化筛选, 最终收集了 3026 篇文献数据, 而后使用 VOSviewer 软件, 采用科学计量、知识图谱以及数据可视化等方法, 通过对目标文献数据的作者分布、机构分布、期刊来源分布、研究热点、研究领域和研究前沿分析等, 绘制了汽车座椅研究的知识图谱, 未发现基于生物力学自动驾驶睡姿相关文献, 印证了研究成果是面向智能座舱的中国人睡姿舒适度评价的首次尝试, 见图 5。本研究表明, 将 35° 座面角度和 160° 椅背角度的组合设计方案, 可提供生物力学意义上的最优压力特性。另外, 该组合适合于车内睡眠和休息, 其长度仅为 1540 mm, 相比常规睡眠所需的 1950 mm, 节省了更多的空间, 这可为汽车设计师开展设计实践时提供有效的事实依据, 可以匹配多种使用场景, 从而为每个不同的用户实现同样丰富的功能, 见图 6。

研究的局限性和未来课题。(1) 选取被试的典型性有待提高。受限于人力物力的制约, 本研究仅选取了 50 百分位的 20 位成年男性作为被试, 没有针对 5 百分位、95 百分位的男性, 以及女性、老年人等群体开展实验。研究表明, 65 岁以上的老年人骨骼中骨密质随年龄增加而缺失^[13], 以及软组织等方面产生的变化都会使其生物力学质量产生显著变化, 因此智能座舱的座椅在设计上必须针对此类产品迥异的特性, 从“安全性”和“舒适性”两个维度开展符合老年人乘客真实需求的生物力学研究, 以实现该群体希望被注意、重视和尊重的心理愿望。此外, 研究表明女性坐姿时骨盆前旋多于男性, 且腰椎屈曲更少, 女性对接触压力更为敏感, 而对不适感的发生阈值较低^[14], 这些性别差异势必会产生不同的界面接触压力分布, 在将来的研究中需要进一步验证, 从而为

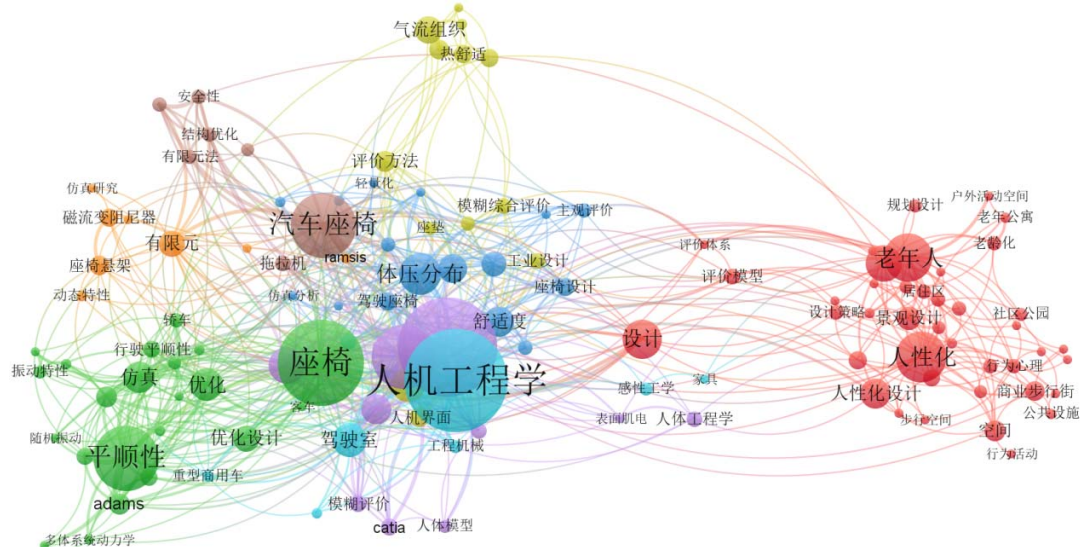


图 5 基于生物力学的座椅舒适相关知识图谱构建

Fig.5 Construction of knowledge map of seat comfort based on biomechanics

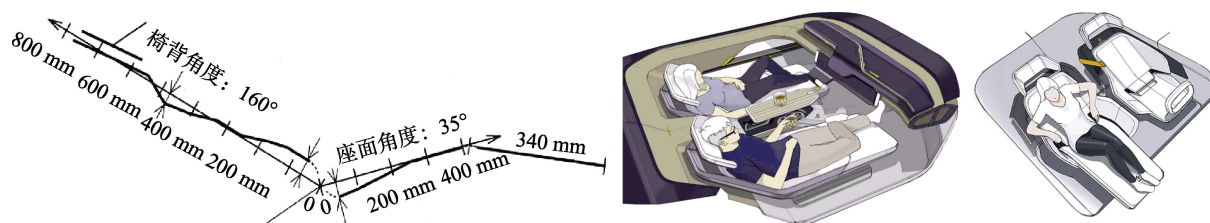


图 6 研究结论支撑设计方案

Fig.6 Design scheme supported by research conclusion

不同人群提供个性化的服务。(2) 实验时间。虽然本研究的实验时间是基于文献[7]所设定的,但更长的时间跨度势必有助于准确地评估生物力学与睡眠质量的关系,因此适当延长实验时间,并增加女性被试会得出新的设计知识。另外颈部、小腿部的生物力学支撑参数也应当进行实证研究。(3) 座椅角度的因素。本研究选定的实验装置为面朝前方的副驾驶位置,且座椅不能转动。JORLÖV 等人^[15]通过定性研究,以致力于挖掘未来智能座舱情景中,用户在乘车时的偏好,研究发现有助于交流的座舱设计也是影响体验品质的重要因素之一,其中多数用户偏爱的座椅朝向是将前排座椅旋转 90°~180°,从而确保车内所有用户可以彼此面对面交流,因此,座椅的旋转角度与主观舒适度评价、晕动症之间的交互关系也是未来值得探究的课题之一。

参考文献:

- [1] 覃京燕, 郝泽宇, 无人驾驶车多种空间人类移动性交互设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39 (14), 70-76.
QIN Jing-yan, HAO Ze-yu, Autonomous Vehicle Interaction Design Method Based on Human Mobility in Cyberspace and Information Space[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(14): 70-76.
- [2] Ingrid Pettersson. Travelling from Fascination to New Meanings: Understanding User Expectations Through a Case Study of Autonomous Cars[J]. International Journal of Design, 2017, 11(2): 1-16.
- [3] 刘键, 刘凯威, 严扬. 知识图谱与情景构建协同优化的自动驾驶用户需求挖掘[J]. 装饰, 2020(6): 102-105.
LIU Jian, LIU Kai-wei, YAN Yang. A Collaborative Optimization of Mining Method for Autonomous Vehicle User Needs Based on Knowledge Mapping and Qualitative Analysis[J]. Zhuangshi, 2020(6): 102-105.
- [4] 谭浩, 孙家豪, 关岱松, 等. 智能汽车人机交互发展趋势研究[J]. 包装工程, 2019, 40(20): 32-42.
TAN Hao, SUN Jia-hao, GUAN Dai-song, et al. Development Trend of Human-Computer Interaction in Intelligent Vehicles[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(20): 32-42.
- [5] AESCHBACH D, CAJOCHEN C T. Sleep in a Sitting Position: Effect of Triazolam on Sleep Stages and EEG Power Spectra[J]. Psychopharmacology, 2018, 114(2): 209-214.
- [6] ALEXANDRA E S, SALLY A F, SARAH M J. Sleep Hygiene in Shift Workers: a Systematic Literature Review[J]. Sleep Medicine Reviews, 2019(10): 237-251.

(下转第 82 页)