

Research on the Subjective Evaluation of Seat Short-Term Static Comfort

Huichen Liu^{1*}, Yuanlin Xu¹, Xu Li², Rong Ai², Jindong Ren²

¹Changchun FAWSN Research & Development Co., Ltd., Changchun Jilin

²College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun Jilin

Email: freehuichen@126.com, renjindong@163.com

Received: Dec. 9th, 2019; accepted: Dec. 23rd, 2019; published: Dec. 30th, 2019

Abstract

The hardness of the seat regions has great impact on seat comfort in the seat comfort design. In application, direct evaluation of seat is usually adopted, and few study cover the influence of the hardness of seat regions on seat comfort and the quantitative relationship between them, which is wished to be known in the seat design. Studies show that short-term comfort contributes a great extent to the medium- and long-term comfort. And by short-term comfort study, test cost can be saved when adopting high volume test subjects. Subjective evaluation tests were conducted about the hardness and short-term comfort of five sedan seats. The questionnaires were designed. The test subjects were recruited. The test arrangements were designed. The test data were collected and statistically analyzed. The frequency of scores about the hardness and the body region comfort were analyzed, from which the hardness tendency could be observed. The average and the total score of the hardness and the comfort were computed. The results show perfect accordance of the hardness scores of the seat with the comfort scores of the human body. Finally, the relationship between the hardness score and the comfort score was analyzed quantitatively.

Keywords

Seat, Static Comfort, Subjective Evaluation, Test, Statistical Analysis

短时间座椅静态舒适性主观评价研究

刘慧忱^{1*}, 徐源林¹, 李旭², 艾荣², 任金东²

¹长春富晟汽车技术研发有限公司, 吉林 长春

²吉林大学汽车工程学院, 吉林 长春

Email: freehuichen@126.com, renjindong@163.com

收稿日期: 2019年12月9日; 录用日期: 2019年12月23日; 发布日期: 2019年12月30日

*通讯作者。

摘要

座椅舒适性设计中整椅各部位的软硬度对舒适性影响很大。实用中常常直接针对座椅舒适度进行评估,而各部位软硬度对人体舒适度影响、以及二者的数量关系却少有研究;然而,这却是座椅设计所希望明确的。研究表明:短时间舒适性对于中长时间舒适性有很大的贡献,且短时间舒适性研究能在采用大样本的情况下节省实验成本。对五款轿车座椅的软硬度和短时间舒适性进行了主观评价实验研究,设计了主观评价实验问卷,招募了被试人员,设计了实验方案,通过实验的实施收集到主观评价数据,并进行了统计分析,包括座椅和人体各分区的得分分布和平均得分、综合得分、软硬度倾向等。结果还显示了座椅软硬度得分与人体舒适度得分很好的一致性;研究了软硬度对舒适度的影响。

关键词

座椅, 静态舒适性, 主观评价, 实验, 统计分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

座椅静态舒适性通常包括两种情况:短时间舒适性和长时间舒适性[1] [2] [3]。短时间舒适性适用于上下班乘车时间半小时左右的情况。长时间舒适性则对应于长时间乘车的情况,一般乘车时间不小于一个小时。研究表明,短时间舒适性对于长时间舒适性有很大的贡献[2]。此外,用户对座椅的评价几乎都是通过短时间舒适性进行评价的,短时间舒适性很大程度上决定了用户的选择[3]。因此,短时间舒适性研究很有价值,不仅能评价舒适性,还相比长时间舒适性研究而言大大节省实验成本。

对座椅设计开发而言,希望能够从座椅因素方面研究改进舒适性的方法。对于短时间舒适性研究,行业常常采用主观评价方法进行。从座椅设计及改善的角度出发,在主观评价方面,现有研究大多在局部或整体水平上把舒适性和不舒适性看作是同一维度上的一维变量,采用量表对舒适性做出评价[4]。问卷则比较灵活,可通过采用经过统一设计的问题,将涉及到的有关座椅舒适性的影响因素考虑进去,以问题的方式让受试者回答[5] [6]。于是,问卷相比量表更能获得丰富、准确的结果。

座椅各部位的软硬度反映的是人体入座后座椅变形-恢复的能力。受载荷之后的座椅形状形成了对人体的支撑面。因此,座椅各部位的软硬度是和座椅型面一样至关重要的舒适度影响因素。决定座椅各部位软硬度的因素主要是海绵发泡的弹性特性和蒙皮的材料特性。可以说,整椅各部位的软硬度对舒适性影响很大[7]。实用中常常直接针对座椅舒适度进行评估,而各部位的软硬度对人体舒适度影响、以及二者的数量关系却少有研究涉及。但从设计者角度看,这却是座椅设计所希望明确的。

本研究采用主观评价法,对五款轿车座椅的软硬度和短时间舒适性进行了主观评价实验研究,设计了问卷,招募了被试人员,设计了实验方案,通过实验的实施收集到评价的数据,并进行了统计分析,并研究了软硬度对舒适度的影响。

2. 主观评价实验

2.1. 实验方案

1) 评价内容及问卷

实验需要评价座椅的软硬度和短期乘坐的舒适度。座椅软硬度需要考察座椅不同部位的主观感受,因此,对座椅进行分区(编号 A~F), 见图 1(a)。同样, 将人体可能与座椅接触的部位分区(编号 1~9) [8], 见图 1(b)。

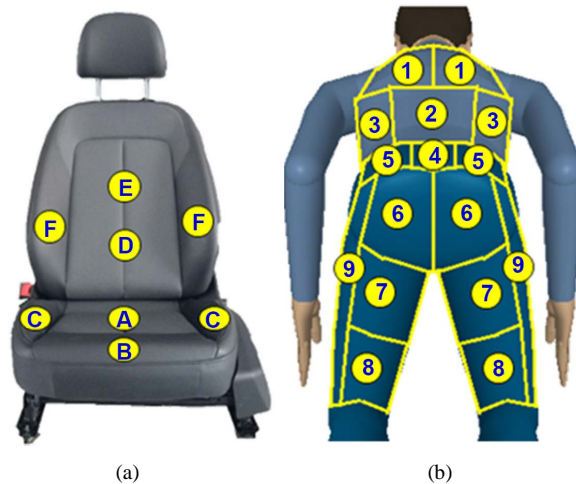


Figure 1. Area definitions of human body and seat surfaces
图 1. 座椅和人体表面分区

软硬度备选得分为 5 个语义等级, 即: 太软(1 分)、稍软(2 分)、适中(3 分)、稍硬(2 分)、太硬(1 分), 并用正负号区分偏软还是偏硬, 例如: 同样给出 2 分的得分, +2 为偏硬, -2 为偏软。人体部位舒适度备选得分为 5 个等级, 即: 很差(1 分), 过得去(2 分), 一般(3 分), 好(4 分), 非常好(5 分)。根据上述设计问卷, 包括软硬度问卷和舒适度问卷。

2) 实验座椅及展架

选取 5 把轿车座椅作为研究对象, 车型覆盖 A 级~B 级轿车范围。座椅基本参数参见表 1, 其中软硬度数值为芯部区域的数据, 不包含侧翼区域。5 号座椅为外公司座椅, 没有压缩硬度值, 只测量得到了压陷硬度毫米值, 与 B 级车两个座椅毫米值的对比参见表 2。可见, 座椅 5 芯部的软硬度处于 2、3 号座椅之间。

Table 1. Seat parameters
表 1. 座椅基本参数

座椅	座垫硬度(kPa)	靠背硬度(kPa)
1	8.83	4.56
2	7.30	4.20
3	7.20	4.20
4	7.86	4.34
5	-	-

Table 2. Comparisons of indentation hardness of seat 5 with those of seat 2 and seat 3
表 2. 座椅 5 与座椅 2、3 的毫米值对比

座椅	座垫硬度(mm)
5	15.00
2	13.95
3	15.94

为了保证乘坐环境尽可能接近驾驶环境，设计制造了可调节座椅展架，根据驾驶室布置尺寸将座椅固定在展架上面，保证了座椅与脚踏板之间的关系与实车基本一致。展架结构示意图见图 2。

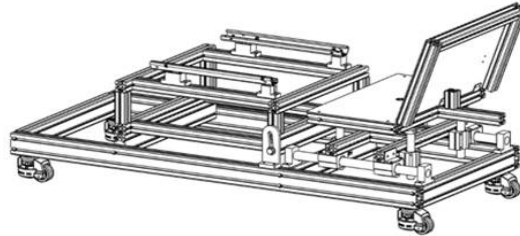


Figure 2. Adjustable seating bulk
图 2. 可调节座椅展架

3) 被试人员

被试人员样本是根据中国最新人体数据库(数据来自中国标准化研究院 2016~2018 中国人体计测)抽样得到，样本容量为 188 名，其中男性 143 人，女性 45 人；包括学生、教师、工程师、职员、工人等，被试人员身高频次分布见图 3，图中虚线为根据 GB10000-1988 做出的频次分布正态分布曲线，可见，根据最新人体数据库抽样得到的被试人员身高有了较大的提高。图 4 为身高和体重两变量的联合分布情况。

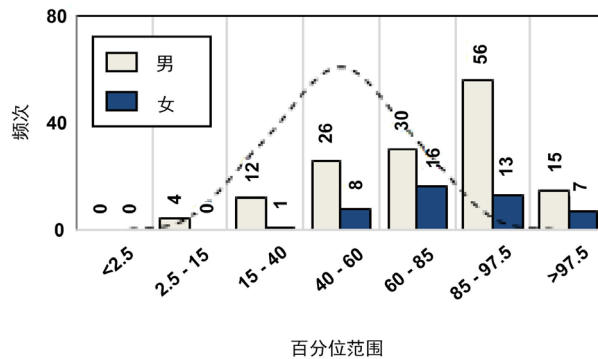


Figure 3. Frequencies of the stature of the subjects
图 3. 被试人员身高频次分布

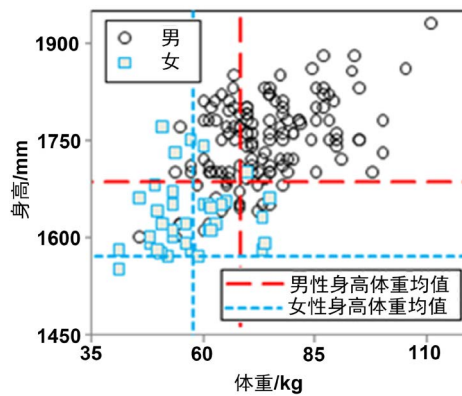


Figure 4. Joint distribution of the subjects' stature and body weight
图 4. 被试人员身高体重联合分布

2.2. 实验过程

实验开始前, 被试人员接受简单的培训, 并按要求入座进行体验, 并填写问卷。被试人员可随意调节座椅的位置和角度以获得舒适的状态, 还模拟转弯工况的姿势以感受侧翼对人体的支撑, 对各部位软硬度和舒适性有准确的了解和评价[9]。工作人员对被试人员的身高、体重、坐高等基本人体特征进行统计。

实验采取纸质和电子问卷调查相配合的方式。当使用电子问卷时, 扫描座椅前方二维码来获得电子问卷, 其中包括三把实验座椅的信息, 对应于相邻的三把座椅, 以便于这三把座椅互为参照, 以对座椅软硬度、舒适度有一个比较, 防止评分不准确。

3. 数据处理

3.1. 软硬度得分计算

统计每把座椅的各区域评价结果, 得到各座椅各区域的软硬度得分分布。再计算每把座椅各区域的平均得分, 并对所有座椅进行排序。平均得分计算如下:

$$S_k = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N} |i| \quad (1)$$

式中, S_k 为区域 k 的平均得分; n_i 为得分为 i 的人数; N 为总人数; m 为语义级别数, 这里取 5。在此基础上, 对座椅各区域对于舒适性的重要程度进行两两比较, 根据层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)确定权重[10], 进而计算出每把座椅总的软硬度得分值。

3.2. 舒适度得分计算

计算人体各区域的平均舒适度:

$$C_k = \frac{1}{N} \sum C_{ki} \quad (2)$$

其中, C_k 为人体区域 k 的舒适度得分; C_{ki} 为第 i 个个体区域 k 的舒适度得分; N 为总人数。同样根据 AHP 法确定人体各部位对于整体舒适度的权重, 并计算每个个体总体舒适度得分。

3.3. 统计分析

统计每把座椅各区域软硬度得分频次, 从中可以看出总体上对于软硬度评价的倾向。

统计每个被试者评价每把座椅时身体各区域舒适度得分频次, 从中可反映出总体上被试者对于舒适度评价的倾向。

如前述, 计算出座椅各区域软硬度的平均得分, 并对所有座椅进行排序, 以筛选出各区域最佳的软硬度。

根据座椅各区域软硬度得分加权计算出软硬度综合得分。同样的办法计算出人体舒适度综合得分。理论上, 座椅软硬度评价与舒适度评价是有关联的, 但关联度有多大, 是否具有统计学意义, 实际应用价值又是怎样非常值得研究。因此, 计算了所有座椅软硬度综合评分与舒适度综合评分的相关系数, 以量化地研究二者的关系。

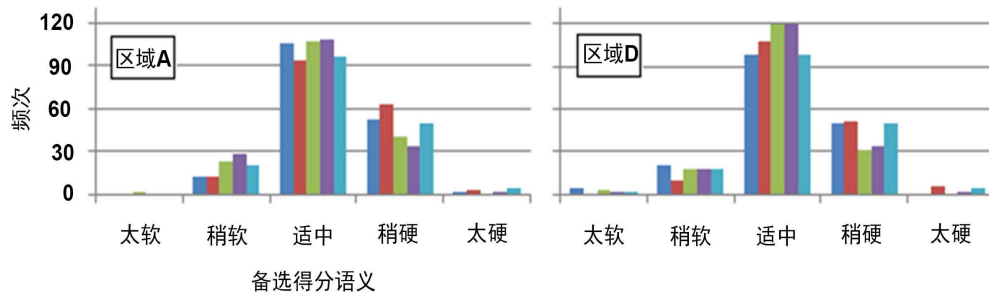
4. 结果及分析

4.1. 得分频次分布

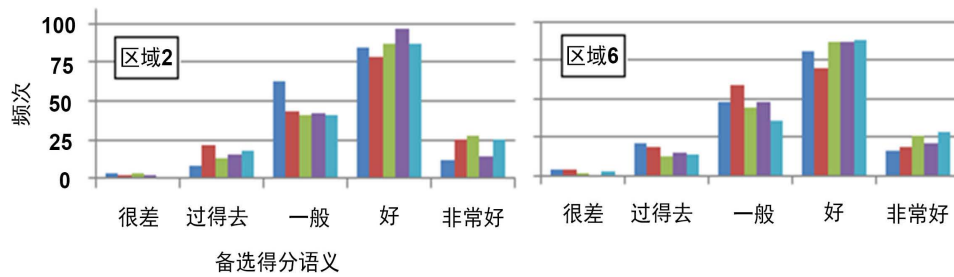
图 5(a)为关系乘坐舒适性的区域 A、D 的得分频次分布。可见, 总体上每把座椅的软硬度还不错,

但仍然有不少人觉得偏硬。图 5(b)为对应于座椅区域 A、D 的人体区域 2、6 的得分频次分布。可见，总体上每把座椅的舒适度还不错，但仍有进一步提升的空间。

其它座椅区域的软硬度和人体区域的舒适度趋势大致相同，限于篇幅，下面仅再列出座椅座垫和靠背的侧翼区域(区域 C、F)和相应人体区域(区域 9、3)的得分频次分布，见表 3。



(a) 软硬度评价



(b) 人体舒适度评价

Figure 5. Frequencies of the hardness scores of seat area A and D and body comfort scores for body area 2 and 6

图 5. 座椅区域 A、D 的软硬度、人体舒适度得分频次分布

Table 3. Frequencies of seat area C and F and body area 3 and 9

表 3. 座椅区域 C、F 和对应的人体区域 3、9 的得分频次

座椅	软硬度										舒适度									
	区域 C					区域 F					区域 3					区域 9				
	-1	-5	10	5	1	-1	-5	10	5	1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	0	19	95	53	5	0	10	70	85	7	6	17	62	78	10	4	24	60	74	11
2	0	10	83	75	4	0	11	76	78	7	4	18	66	69	16	4	18	68	68	15
3	0	20	92	57	2	1	11	89	67	3	3	18	55	81	16	2	16	61	74	20
4	0	8	94	66	4	0	13	85	67	7	4	15	63	79	12	4	21	57	83	8
5	2	23	100	41	4	1	8	90	66	5	4	20	44	69	35	6	19	47	70	29

4.2. 平均得分

区域 A、D 的软硬度平均得分及排序参见表 4。可见，4 号座椅的人体主要接触区软硬度得分是最好的。表中还列出了对应的人体区域(区域 6、2)的舒适度平均得分。可见，这两个人体部位舒适度的座椅排序与座椅软硬度的排序并不完全一致。软硬度排序中座椅 4、3 是比较好的，而舒适度排序中座椅 3、5 是比较好的。总体而言座椅 1、2 都较差。由于上述区域软硬度和舒适度二者并不完全一致，最终的评价必须再考虑其他区域的规律。表 5 列出了座椅侧翼和对应的人体区域的评分结果。从中可见，5 号座椅侧翼得分无论是软硬度还是舒适度都是最好的。总体而言 3 号座椅平均得分仅次于 5 号座椅。再次就是 4 号座椅了。

4.3. 综合得分

如前述，综合评价需要考虑各区域的得分情况，为此，计算软硬度和人体舒适度综合得分，结果参见图 6。可见，在综合了各个座椅部位得分情况之后，3 号座椅的软硬度和舒适度是最佳的，其次是 4 号和 5 号座椅。4、5 号座椅之间，如果侧重侧翼比较舒服的，可选择 5 号座椅，例如轿跑车；如果侧重芯部区域的舒适性，可选择 4 号座椅。

对软硬度和舒适度进行相关分析，发现二者存在很强的相关性(相关系数 $r = 0.634$ ，显著性水平 $p = 0.001$)。这说明软硬度评分很大程度上与身体舒适度评分趋势是一致的。某种程度上说，由于舒适度因素非常复杂，由软硬度评价来衡量舒适度有时更为客观。

Table 4. Hardness values of seat area A and D, together with the corresponding body comfort scores of area 6 and 2
表 4. 座椅芯部区域 A、D 的软硬度及对应的人体部位区域 6、2 的舒适度综合得分

软硬度						舒适度			
区域 A			区域 D			部位 2		部位 6	
得分	座椅	硬度值(kPa)	得分	座椅	硬度值(kPa)	得分	座椅	得分	座椅
2.771	4	7.86	2.995	4	4.34	3.388	3	3.391	5
2.521	3	7.20	2.989	3	4.20	3.350	5	3.382	3
2.287	1	8.83	2.335	2	4.20	3.301	4	3.330	4
2.059	5	-	2.064	5	-	3.281	2	3.174	1
1.734	2	7.30	2.032	1	4.56	3.213	1	3.159	2

Table 5. Average scores of seat side-wing areas and the corresponding body areas
表 5. 座椅侧翼及对应的人体区域的平均得分

软硬度				舒适度			
区域 C		区域 F		部位 3		部位 9	
得分	座椅	得分	座椅	得分	座椅	得分	座椅
2.266	5	1.489	5	3.297	5	3.233	5
1.973	1	1.468	3	3.222	3	3.230	3
1.782	3	1.410	4	3.167	4	3.125	4
1.670	4	0.936	2	3.136	2	3.123	2
1.186	2	0.628	1	3.102	1	3.064	1

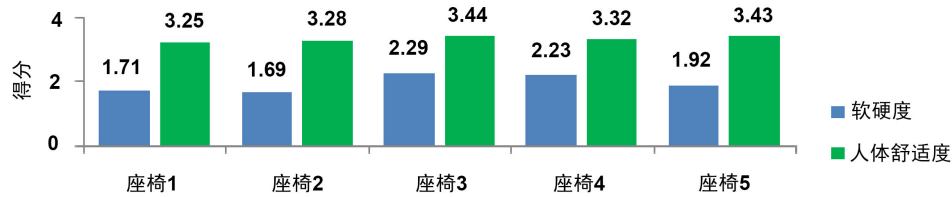


Figure 6. Seat hardness and the overall score of body comfort

图 6. 座椅软硬度 and 人体舒适度综合得分

5. 结论

五款轿车座椅的软硬度和短时间舒适性主观评价实验研究表明, 目前五款座椅整体设计较为舒适, 但仍存在较大的提升空间。软硬度评分和舒适性评分存在很大的关联性, 通过对各个部位硬度的调整, 未来有可能进一步提升舒适性。同时, 软硬度的评分和舒适度评分结果存在很强的相关性, 未来将有针对性地深入研究二者的数量关系。

尽管短时间舒适性对于座椅设计和舒适性分析很重要, 但还不足以准确分析座椅实际应用中的舒适性特性, 以及疲劳和长时间舒适性[11][12], 因此, 下步研究还将着眼于座椅的长时间与短时间舒适性关系研究。

参考文献

- [1] Mansfield, N., Sammonds, G. and Nguyen, L. (2015) Driver Discomfort in Vehicle Seats: Effect of Changing Road Conditions and Seat foam Composition. *Applied Ergonomics*, **50**, 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.03.010>
- [2] Kolich, M. (2003) Automobile Seat Comfort: Occupant Preferences vs. Anthropometric Accommodation. *Applied Ergonomics*, **34**, 177-184. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(02\)00142-4](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(02)00142-4)
- [3] Kamra, A., Raina, S., Maheshwari, P., Agarwal, A., et al. (2017) Study and Proposals for Improving Static Comfort in Automotive Seating. SAE Technical Paper, No. 2017-01-1389. <https://doi.org/10.4271/2017-01-1389>
- [4] 刘志平, 王健. 座椅舒适性及其评价理论和方法[J]. 航天医学与医学工程, 2010, 23(4): 62-68.
- [5] Smith, D.R., Andrews, D.M. and Wawrow, P.T. (2006) Development and Evaluation of the Automotive Seating Discomfort Questionnaire (ASDQ). *International Journal of Industrial Ergonomics*, **36**, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2005.09.005>
- [6] Rhimi, A. (2017) Concepts for the Reduction of the Discomfort Generated by the Prolonged Static Posture during the Driving Task, Part II: Experiments and Validations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **57**, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.11.006>
- [7] 金晓萍, 袁向科, 王波, 等. 汽车泡沫坐垫舒适性的客观评价方法[J]. 汽车工程, 2012, 34(6): 551-555.
- [8] Mergl, C., Klendauer, M., Mangen, C. and Bubb, H. (2005) Predicting Long Term Riding Comfort in Cars by Contact Forces between Human and Seat. SAE Technical Paper, No. 2005-01-2690. <https://doi.org/10.4271/2005-01-2690>
- [9] Hiemstra-van Mastrigt, S., Kamp, I., van Veen, S.A.T., et al. (2015) The Influence of Active Seating on Car Passengers' Perceived Comfort and Activity Levels. *Applied Ergonomics*, **47**, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.10.004>
- [10] Reed, M.P., Saito, M., Lee, N.S., et al. (1991) An Investigation of Driver Discomfort and Related Seat Design Factors in Extended-Duration Driving. SAE Technical Paper, No. 910117. <https://doi.org/10.4271/910117>
- [11] Sammonds, G.M., Fray, M. and Mansfield, N.J. (2017) Effect of Long Term Driving on Driver Discomfort and Its Relationship with Seat Fidgets and Movements (SFMs). *Applied Ergonomics*, **58**, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.05.009>
- [12] 常建娥, 蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2007, 29(1): 153-156.