

# 汽车人机接触界面体压分布的实验与评价研究

张鄂, 洪军, 梁建, 李彦山, 陈娟

(西安交通大学现代设计及转子轴承系统教育部重点实验室, 710049, 西安)

**摘要:** 针对汽车驾驶人机接触界面中的乘坐舒适性问题, 依据人体生理学、解剖学和生物力学原理, 通过对臀部和股区的解剖结构分析, 提出了汽车人机界面的舒适体压分布的一般准则. 在研制的汽车乘驾体位生物力学特性实验台上, 进行了汽车驾驶环境的人机界面的体压分布实验和主观评价研究. 4种曲面座垫的主观评价实验结果表明, 座椅形面是影响乘坐舒适性的重要因素, 不同形面特征的座椅具有不同的乘坐舒适性. 客观评价实验结果证明, 所提出的人机接触界面的体压分布准则是正确的, 依据该准则能够评价人机接触界面中的乘坐舒适性问题. 实验台中的分布式体压测试系统能够有效地测绘出不同座垫实验中的人机接触界面的体压分布曲线, 并发挥出很好的测试作用.

**关键词:** 汽车; 人机接触界面; 体压分布; 生物力学; 乘坐舒适性

**中图分类号:** TB18; R741.044 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)05-0538-05

## Experiments and Evaluation of Body Pressure Distribution in Automobile Man-Machine Interface

Zhang E, Hong Jun, Liang Jian, Li Yanshan, Chen Juan

(Key Laboratory of Education Ministry for Modern Design and Rotor-Bearing System, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** According to the theory of human physiology, anatomy and biomechanics, the anatomical structure at buttocks and thigh area is analyzed to propose a general criteria on the comfortable body pressure distribution in man-machine interface. The experiments for body pressure distribution in driving environments and subjective evaluation are performed on a specially designed test stand. The experimental results from subjective assessment on four kinds of seat cushion indicate that the chair seat is an important factor affecting seating comfort, different chair seats are endowed with the corresponding seating comfort. The experimental results from objective assessment indicate that the presented criteria for the body pressure distribution in man-machine interface is sufficiently accurate to evaluate the seating comfort in man-machine interface. The distributed test system enables to survey and protract the body pressure distribution curve of different seat cushion effectively.

**Keywords:** automobile; man-machine interface; body pressure distribution; biomechanics; seating comfort

汽车人机界面设计的合理与否, 不仅影响汽车驾驶员的乘坐舒适性和工作效率, 而且还会导致驾驶员的身体疾病, 严重的甚至引起交通事故. 因此, 进行汽车人机界面设计方法的研究已成为国内外人机工程学研究的一个重要课题<sup>[1]</sup>. 关于汽车人机界

面的研究国际上已进行了较多的工作<sup>[2-6]</sup>, 但从生物力学机理方面的研究还不深入. 由于我国的轿车车型主要以国外引进为主, 现有的人机界面设计只是参照传统人机工程学中的一些经验数据和通用规则, 没有从生物力学的理论机理上形成指导汽车

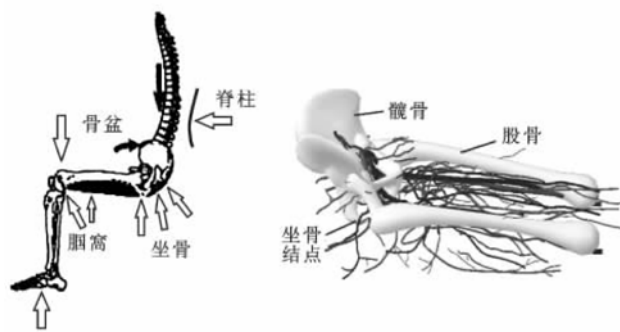
人机界面设计的方法,同时缺乏对个性化人体差异的考虑.汽车驾驶中的人体生物力学特性又是导致驾驶疲劳、影响乘坐舒适性和人机工效的主要原因,因此研究汽车驾驶中人机界面人体生物力学特性就显得尤为重要.本文针对汽车驾驶中人机接触界面中的乘坐舒适性问题,依据人体生理学、解剖学和生物力学原理,通过对臀部和股区的解剖结构分析,提出了汽车人机接触界面的舒适体压分布的一般准则.在研制的汽车乘驾体位生物力学特性实验台上,进行了人机接触界面的体压分布实验和主观评价研究,进而为汽车人机界面的优化设计提供分析基础.

## 1 基于生物力学特性的体压分布准则

人在坐姿状态下,体重作用在座椅面和座椅靠背上的压力分布称为体压分布.体压分布是人车接触界面最重要的生物力学特性指标之一,它与人体坐姿和座椅的形面结构密切相关.从生物力学的角度看,人机接触界面的乘坐舒适性问题主要由人椅间的体压分布决定.

在坐姿状态下,支持人体的主要结构是脊柱、骨盆、腿和脚(见图 1a).脊柱位于人体背部中线处.人体结构在骨盆下面有两块圆骨,称为坐骨结节.坐姿时这两块面积很小的坐骨结节能支承上身的大部分重量.坐骨结节下面的座面呈近似水平时,可使坐骨结节外侧的股骨处于正常的位置而不受过分的压迫,固而人体感到舒适.由人体解剖学可知,人体坐骨粗壮,与其周围的肌肉相比,能承受更大的压力,而大腿底部有大量血管和神经系统(见图 1b),压力过大会影响人体血液循环和神经传导而感到不适.因而,依据人体生理学和解剖学原理,汽车人机界面中的体压分布应具有一定的分布特性,即在坐骨处压力最大,然后向四周逐渐减小,至大腿部位时压力降至最低值,这是基于生物力学特性的人车接触界面体压分布不均匀性的一般规律.由于汽车座椅是影响驾驶员乘坐舒适性的重要部件,所以座椅上的压力应按照臀部不同部位承受不同压力的原则来设计,由此可以得到汽车座椅人机接触界面的舒适体压分布的一般准则:① 坐骨附近压力最高,向四周逐渐减小;② 股后区压力递减,与座垫前缘接触的大腿下表面压力最低;③ 腘窝(膝部后面)处不受压;④ 臀大肌中部位置压力不能过大;⑤ 无明显的异常峰值,即没有使人有异物感的峰值压力;⑥ 压力分布应左右对称.依据这一准则,理想而舒适的汽车座垫体压分布曲线应如图 2 所示(图中的封闭曲

线为等压力线).本文将用这一准则进行汽车乘坐舒适性的主观和客观评价实验研究.



(a) 人体受力

(b) 人体腿部结构

图 1 坐姿中的人体受力及人体腿部结构

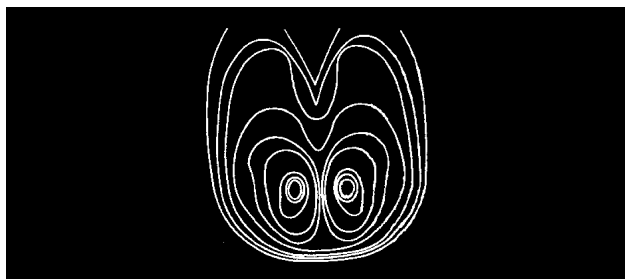


图 2 舒适座垫的体压分布曲线

## 2 汽车乘驾体位生物力学实验台

### 2.1 实验台组成

本文进行的汽车人机接触界面体压分布实验与评价研究工作是在作者自行设计的汽车乘驾体位生物力学实验台<sup>[7]</sup>上进行的.该实验台主要由可调制乘驾环境和人体生物力学特性测试系统两大部分组成,其中生物力学特性测试系统包括分布式体压测试系统和人体肌电信号测试系统.图 3 为分布式体压测试系统工作原理图.

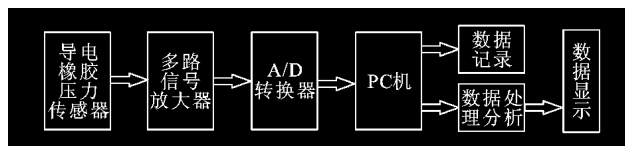


图 3 体压分布测试系统的结构示意图

### 2.2 实验座垫曲面形状的生成

汽车人机接触界面的体压分布特性是影响乘坐舒适性的重要因素,合理的体压分布有利于驾乘员全身肌肉放松,保证正常的血液循环和神经传导.不同的体压分布特性表征着不同的座椅舒适性.当驾乘员落座后,除了人的坐姿外,人机接触界面的体压分布特性很大程度取决于座椅的表面形状和座垫的刚度.汽车座椅一般由座垫、靠背、侧背支撑和头枕等组成,它们具有一定的表面形状.依据人机工程

学、人体生理学和生物力学原理,当座垫和靠背的外形曲线与人体放松状态下的背部曲线相吻合时,驾乘人员入座后座椅的表面形状与体压分布能使驾乘人员的肌肉处于最放松的状态,并能支撑到腰椎部位,不会因血液循环不良而引起肢体麻木,而且稍长时间的乘坐不易感到疲劳。人体臀部和股区分布着大量的血管和丰富的神经,如果压力分布不合理,则会影响血液循环和神经传导而使人体感到不适。为了研究体压分布特性与座椅乘坐舒适性间的关系,本文设计了4种不同曲面形状的座垫并对其进行乘坐舒适性的主、客观评价实验,通过对比分析来研究二者间的关系。

上述人体放松状态是指人体正常腰曲弧线是松弛状态下侧卧的曲线。在坐姿状态下,支持人体的主要结构是脊柱、骨盆、腿和脚等。脊柱位于人体背部中线处,由33块短圆柱状椎骨组成,包括7块颈椎、12块胸椎、5块腰椎和下方的5块骶骨及4块尾骨,相互间由肌腱和软骨连接。正常的姿势下,脊柱的腰椎部分前凸,而至骶骨时则后凹。在良好的坐姿状态下,压力适当地分布于各椎间盘上,肌肉组织上承受均匀的静载荷。当处于非自然姿势时,椎间盘内压力分布不正常,产生腰部酸痛、疲劳等不适应。

4种不同曲面座垫的快速生成通过对三维可调座椅上的形面可调螺钉的调节来实现。具体过程为:①首先在计算机上进行座垫的理论曲面建模,即依据研究需要,采用三维实体造型软件UG来获得所需的座垫曲面;②依据三维建模出的曲面来求解所需的座垫曲面型值点,具体方法是先根据三维可调座椅上的形面可调螺钉的排列情况( $12 \times 12$ ),在UG中建立相应网格,其中网格的节点构成形面可调螺钉点阵,然后沿网格面法矢量方向,在UG中将整个网格向现有曲面投影,形成形面可调螺钉的支撑端点,接着将曲面上的形面可调螺钉支撑端点构成点集,并获取每个端点的信息,再从坐标信息中提取型值点信息,即可得到形面可调螺钉的调整高度;③依据螺钉的调整高度数据进行其高度的调节,生成所需实验座垫的曲面形状。

### 3 座椅乘坐舒适性的主观评价实验

从生物力学的角度来看,汽车座椅的乘坐舒适性主要由人椅间的体压分布决定。当人坐着的时候,人体重量的65%是由座面承担的<sup>[8]</sup>,因此研究座椅的舒适度显得尤为重要。为研究体压分布特性与座椅乘坐舒适性间的关系,本文对上述4种不同曲面

形状的座垫进行了乘坐舒适性的主观和客观评价实验。其中,主观评价实验主要采用人机工程学的研究方法之一——心理学研究中常用的尺度法<sup>[9]</sup>在汽车驾乘位生物力学实验台上进行。4种实验曲面座垫分别为:①形面1座垫,即常规的汽车座椅垫,椅垫面具有前沿稍微翘起而整体平坦光滑的外形曲面;②形面2座垫,座垫面周围凸起,中部凹陷;③形面3座垫,座垫面中部凸起,椅面形状不平滑;④形面4座垫,椅面为平面。座垫形面生成后,参试人员进行着坐舒适性的主观评分。主观评价实验流程图见图4。

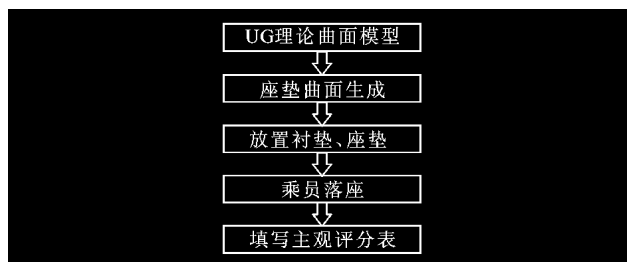


图4 主观评价实验流程图

进行主观评价实验时,参试人员共20名,他们具有不同的体形和身高特征,身体健康,无任何骨骼、肌肉疾病,年龄在20至60岁之间。参试人员的基本情况统计见表1,各项指标用均值和标准差列出。实验时,主观评价指标主要有3项:臀部舒适度、腿部舒适度和总舒适度。该评价实验的评分尺度分为5级10分,具体见图5。

表1 参试人员的基本情况统计

|       |                   |
|-------|-------------------|
| 人数/名  | 20                |
| 年龄/岁  | $24.65 \pm 2.13$  |
| 身高/cm | $168.95 \pm 6.53$ |
| 体重/kg | $59.33 \pm 9.67$  |

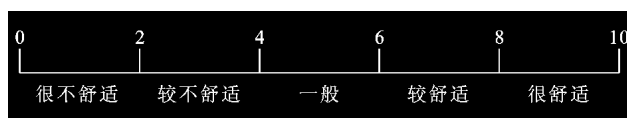


图5 主观评价实验的评分尺度

参试人员对4种实验座垫着坐后的主观评分统计结果见表2,表中各项统计指标以“平均值±标准差”的形式给出。由表中可以看出:形面1座垫的总体舒适度为 $8.15 \pm 0.75$ ,评分值最高,为很舒适;形面4座垫的总体舒适度为 $6.78 \pm 1.13$ ,次之,为较舒适;形面2座垫的总体舒适度为 $4.58 \pm 0.85$ ,其

舒适度为一般;形面3座垫的总体舒适度为 $2.28 \pm 0.79$ ,评分值最低,为不舒适。

表2 对4种形面座垫的主观评分统计结果

| 评价指标  | 形面1座垫           | 形面2座垫           | 形面3座垫           | 形面4座垫           |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 臀部舒适度 | $7.68 \pm 1.20$ | $5.33 \pm 1.00$ | $2.35 \pm 1.14$ | $7.00 \pm 1.03$ |
| 腿部舒适度 | $8.30 \pm 0.75$ | $3.95 \pm 1.05$ | $2.30 \pm 0.86$ | $6.60 \pm 1.27$ |
| 总体舒适度 | $8.15 \pm 0.75$ | $4.58 \pm 0.85$ | $2.28 \pm 0.79$ | $6.78 \pm 1.13$ |

#### 4 人机界面体压分布特性的客观评价实验

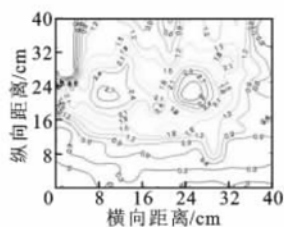
体压分布特性的客观评价实验也在汽车乘驾体位生物力学实验台上进行,针对上述4种实验座垫,通过分布式体压测试系统来测量人椅接触界面的体压分布。当驾乘员落座后,座椅压力测量垫中均匀布置的256个微型片状压力传感器将各点压力的电压信号经多路信号放大器和A/D转换器传输至计算机,然后由计算机中的专用软件进行信号的处理和分析,并将分析出的各种体压分布的特性指标显示出来,内容包括人椅接触界面的平面等压线图和三维压力分布图等。

客观评价实验过程与主观评价基本相同。为了保证测试结果的准确性,要求参试人员落座后坐姿

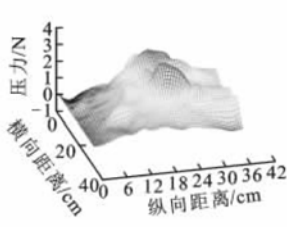
端正,先打开仪器,分布式体压测量系统进入工作状态,实时记录并存储体压分布实验的各项数据,然后参试人员离座。实验研究先后完成了上述4种座垫的4组实验。

图6为上述客观评价实验所得出的平面等压线图和三维体压分布图,它们是经计算机分析、处理并由MATLAB软件处理而得出的。由图可以看出:①形面1座垫的体压分布特征为坐骨处力最大,向四周逐渐减小,至大腿部位和腘窝处时压力降至最低值;②形面2座垫的体压分布特征为坐骨处和大腿下部压力都很大,且都有应力集中;③形面3座垫的体压分布特征则和预想的一样很不规则,多处形成应力集中,大腿下表面出现多个异常峰值;④形面4座垫的体压分布特征与形面1座垫有些相似,只是在大腿下表面压力较大一些。

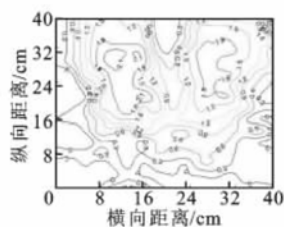
对照主、客观评价实验结果不难看出:①座垫1和座垫4人车接触界面的体压分布特征与本文提出的体压分布准则所描述的特征一致,而且主观评价实验结果显示其具有较高的乘坐舒适度;②座垫2和3的体压分布特征则与本文准则相差甚大,即在人体大腿下表面处有应力集中,主观评价结果也显示了较差的舒适度。实验结果证明了本文提出的舒适体压分布准则的正确性。



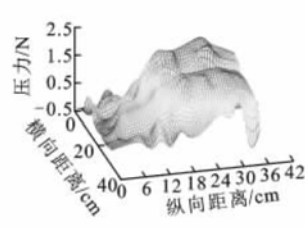
(a)形面1座垫的平面等压线图



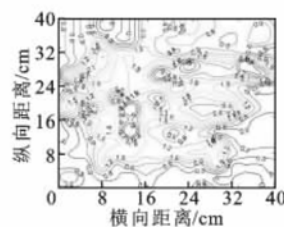
(b)形面1座垫的三维压力分布图



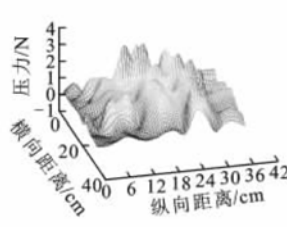
(c)形面2座垫的平面等压线图



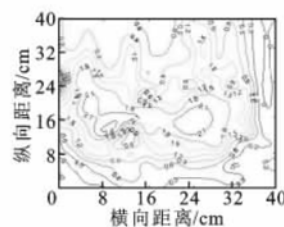
(d)形面2座垫的三维压力分布图



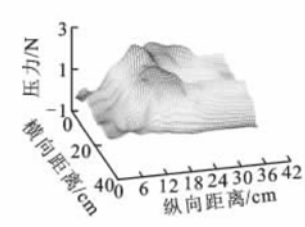
(e)形面3座垫的平面等压线图



(f)形面3座垫的三维压力分布图



(g)形面4座垫的平面等压线图



(h)形面4座垫的三维压力分布图

图6 4种实验座垫的平面等压线图和三维压力分布图

## 5 结 论

(1)上述客观评价实验结果证明,本文提出的人机界面体压分布准则是正确的.这一准则能够有效地评价人机接触界面中的乘坐舒适性问题,进而可为人车接触界面的优化设计提供分析基础.

(2)4种形面实验座垫的主观评价实验结果表明,座椅形面是影响乘坐舒适性的重要因素,不同形面特征的座椅具有不同的乘坐舒适性,因而汽车座椅设计应根据不同人群选用舒适度最佳的座椅形面.

(3)本项研究的主、客观评价实验均在作者自行设计的汽车乘驾体位生物力学实验台上进行.实验研究表明,该实验台设计合理,具有较好的实用性,能够满足相关汽车乘驾体位生物力学特性实验的需要,其生物力学特性测试系统中的分布式体压测试系统发挥了很好的测试作用.

### 参考文献:

- [1] 张鄂,洪军,梁建,等.机械系统人机界面生物力学特性测定研究[J].机械设计,2005,22(特刊):188-190.  
Zhang E, Hong Jun, Liang Jian, et al. Study and measurement on the biomechanic performances for man-machine interface in mechanical system[J]. Journal of Machine Design, 2005, 22(special supplement): 188-190.
- [2] Pitzen T, Geisler F, Matthis D, et al. A finite element model for predicting the biomechanical behaviour of the human lumbar spine[J]. Control Engineering Practice, 2002, 10(1): 83-90.
- [3] Acobson L D, Richards L G. Models of human reaction to vehicle environments[J]. Applied Ergonomics, 1978, 9(3): 169-172.
- [4] Mike K. Automobile seat comfort: occupant preferences vs. anthropometric accommodation[J]. Applied Ergonomics, 2003, 34(2): 177-184.
- [5] Carrier R, Castillo V D, Ruisseau J Y, et al. Virtualman: a high precision, fully articulated human model [C]// Proceedings of the 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Tampere, Finland: Helsinki Press, 1997: 28-30.
- [6] Mehata C R, Helsinki Tewari V K. Seating discomfort for tractor operators: a critical review[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 25(6): 661-674.
- [7] 张鄂,洪军,吴文武,等.汽车乘驾体位生物力学实验台的设计与分析[J].西安交通大学学报,2006,40(5): 531-535.  
Zhang E, Hong Jun, Wu Wenwu, et al. Design and analysis of a test stand for biomechanics of man-machine interface in automobile driving[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006, 40(5): 531-535.
- [8] Branton P. Behavior, body mechanics and discomfort [J]. Ergonomics, 1969, 12(2): 316-327.
- [9] 曹琦.人机工程学[M].成都:四川科技出版社,1991: 189-195.

(编辑 荆树蓉)