

基于多项 Logistic 回归的座面材质预测模型

杨韞仪^{1,2}, 裴卉宁², 李书航², 娄紫涵², 李苑漠²

(1.北京交通大学, 北京 100044; 2.河北工业大学, 天津 300401)

摘要: **目的** 为促进我国邮轮市场的进一步发展, 提高乘客的乘坐舒适度, 对不同体态特征的乘客进行座面材质的个性化推荐。**方法** 提出基于多项 Logistic 回归的邮轮座面材质预测模型方法。**结果** 选择 PP 棉、聚氨酯泡沫塑料、乳胶 3 类市场上常见材质作为实验样本, 通过 TACTILUS 人体压力分布测量系统采集了 60 位实验对象的人体压力分布数据; 计算出 SPD 值用以反应压力分布的均匀程度, 从而确定对应的推荐座面材质; 依此数据进行回归模型的监督学习, 将预测结果与真实结果比较, 该模型结果的混淆矩阵体现了较优的模型精度。**结论** 将多项 Logistic 回归与经典模型进行比较, 利用多项 Logistic 回归建立的预测模型能够获得各类别座面材质的推荐概率, 模型结果更加直观且预测正确率略高, 是适配于不同座面材质压力分布参数预测问题的研究方法, 并且可推广该模型用于剔除舒适度水平较低的材料, 缩小座面材质的备选范围, 在乘客选择座椅时起到辅助设计优化的作用, 帮助提高乘客对乘坐舒适性的满意程度。

关键词: 多项 Logistic 回归; 座椅材质; 人体压力分布; 预测模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)16-0182-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.16.025

Seat Surface Material Prediction Model Based on Multiple Logistic Regression

YANG Yun-yi^{1,2}, PEI Hui-ning², LI Shu-hang², LOU Zi-han², LI Yuan-mo²

(1. Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

ABSTRACT: In order to promote the further development of China's cruise market and improve passenger comfort, personalized recommendations for seat materials are made for passengers with different physical characteristics. The paper proposes a prediction method of cruise seat surface material prediction based on multiple logistic regression. Three kinds of common materials on the market, such as PP cotton, polyurethane foam and latex, are selected as the experimental samples. The body pressure distribution data of 60 experimental subjects were collected through the TACTILUS body pressure distribution measurement system; the SPD value is calculated to reflect the uniformity of the pressure distribution to determine the corresponding recommended seat surface material; the supervised learning of the regression model is carried out based on this data, and the prediction results are compared with the real results. The confusion matrix of the model results reflects the better model accuracy. Comparing the multiple Logistic regression with the classic model, the prediction model established by the multiple Logistic regression can obtain the recommended probability of each type of seat surface material. The model results are more intuitive and the prediction accuracy is slightly higher, which is suitable for different seat surface materials. The research method of the pressure distribution parameter prediction problem, and the model can be generalized to remove materials with lower comfort levels, narrow the choice of seat surface materials, play a role in assisting design optimization when passengers choose seats, and help improve passenger satisfaction with ride comfort.

KEY WORDS: multiple Logistic regression; seat material; body pressure distribution; prediction model

收稿日期: 2021-04-09

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目 (G2021202008)

作者简介: 杨韞仪 (1999—), 女, 河北人, 北京交通大学硕士生, 主攻数据建模。

通信作者: 裴卉宁 (1986—), 女, 山东人, 博士, 河北工业大学讲师, 主要研究方向为人因工程学、舒适度。

近年来,全球邮轮市场规模持续火热,亚洲市场尤其是中国已成为最具发展潜力的市场之一^[1]。我国人口占世界人口的 1/5,海岸线长达 18000 多公里,邮轮旅游发展空间巨大,被国际大型邮轮跨国公司普遍看好。高速客船及豪华邮轮的运行,对旅客的乘坐的舒适性要求更加严格。舒适性作为重要的人机工效判断标准,是各类产品设计是否成功的一项重要检验内容^[2]。目前,中国的邮轮旅游产业还处在初级阶段,基础设施和配套设施均不够完善,尤其是针对邮轮座椅舒适度的研究与评价甚少^[3]。在如此大的市场需求之下,作为影响用户体验的关键因素之一,提升座椅舒适度尤为重要。研究认为,座椅—人体界面的压力分布与座椅舒适度之间存在一定的相关性,通过压力分布特征来评价座椅舒适性是较综合、客观的方法^[4-5]。因此,本文从工业设计学科角度出发,针对中国人体态特征,利用人体压力分布测量系统获取交互面压力分布情况,运用人机工程学学科中的工效学负荷理论对“人”的乘坐舒适度进行评估,从而针对人体数据推荐合适的座面材质。在此基础上,建立多项 Logistic 回归模型,用于预测舰船舱室中的可推荐座面材质。针对不同体态特征的受用者对邮轮座面材质进行个性化推荐,提高乘客对于乘坐舒适性的满意程度。

1 实验流程及舒适度评价指标

所谓人体压力分布 (Body Pressure Distribution),即乘坐者以某种姿势坐于座椅上,所反应的座椅—人体界面各部位的压力大小。压力分布是决定座椅舒适性的重要因素^[6]。交互界面压力分布均匀程度越大,座椅的舒适度水平越高^[7]。故可以通过衡量交互面压力分布的均匀程度来进行座面材质的预测推荐。

实验选取 60 位实验对象,其中男性 30 人,女性 30 人,年龄 19~26 岁,身高 1.55~1.93 cm,体重 39.2~83.3 kg,能够覆盖中华人民共和国国家标准规定的中国成年人人体尺寸^[8]。通过对我国市面上常见的座面材质进行研究和收集,实验最终选取 3 种不同座面材质作为实验样本,备选材质依次为 PP 棉、聚氨酯泡沫塑料和乳胶。为保证实验数据的准确性,材质样本的基本参数保持一致(长度 45 cm,宽度 45 cm,厚度 5 cm)。

实验对象依次试坐 3 种坐垫,使用 TACTILUS (Sensor Products Inc. Madison, NJ, USA) 人体压力分布测量系统,采集背部直立坐姿时人体臀部与座面接触部分的压力分布数据,可以得到 32 行×66 列的压力分布矩阵。根据前人的研究,对人体—座面压力分布均匀程度的指标进行界定^[9]:

$$SPD = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - p_{av})^2}{4np_{av}^2} \times 100\% \quad (1)$$

式中, p_i 为第 i 个单元上的压力,单位为 kPa; p_{av} 为非零值压力点的平均压力,单位为 kPa; 为非零值的压力点总数。

采用 SPD 值对一个平面二维数据阵进行降维,以单一数值的形式刻画了座椅上压力分布的均匀程度,方便不同种类座面材质之间进行均匀程度的比较。SPD 数值越大,表明压力分布的均匀程度越低,对应座面材质越不舒适;SPD 数值越小,表明压力分布的均匀程度越高,对应座面材质越舒适。

2 座面材质预测模型构建

2.1 多项 Logistic 回归原理

研究对象座面材质为定性因变量,并且为多个水平,可采用多项 Logistic 回归模型进行模型建立及问题分析。多项 Logistic 回归模型是一种用于分析多分类情况被解释变量(或者因变量)与解释变量(自变量)之间关系的多元统计分析方法^[10]。当定性被解释变量 y 取 k 个类别时,记为 $1, 2, \dots, k$, 此处数字 $1, 2, \dots, k$ 仅为符号表示,无数值含义,被解释变量 y 的各类别概率取值与一组解释变量 x_1, x_2, \dots, x_n 有关。对于样本数据 $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}; y_i) (i = 1, 2, \dots, n)$, 多项 Logistic 回归模型第 i 组样本的被解释变量 y_i 取第 j 类别的概率为:

$$\pi_{ij} = \frac{\exp(\beta_{0j} + \beta_{1j}x_{i1} + \dots + \beta_{pj}x_{ip})}{\exp(\beta_{0j} + \beta_{1j}x_{i1} + \dots + \beta_{pj}x_{ip}) + \dots + \exp(\beta_{0k} + \beta_{1k}x_{i1} + \dots + \beta_{pk}x_{ip})} \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$

上式中各回归系数并非唯一确定,每个回归系数同时加减一个常数后 π_{ij} 的数值保持不变。为此,把分母的第一项 $\exp(\beta_{0j} + \beta_{1j}x_{i1} + \dots + \beta_{pj}x_{ip})$ 中的系数都设为 0, 得到回归函数的表达式:

$$\pi_{ij} = \frac{\exp(\beta_{0j} + \beta_{1j}x_{i1} + \dots + \beta_{pj}x_{ip})}{1 + \exp(\beta_{02} + \beta_{12}x_{i1} + \dots + \beta_{p2}x_{ip}) + \exp(\beta_{03} + \beta_{13}x_{i1} + \dots + \beta_{p3}x_{ip})} \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$

这个表达式中每个回归系数都是唯一确定的,第一个类别的回归系数都取 0, 其他类别的回归系数数值大小都以第一个类别为参照^[11]。

应用多项 Logistic 回归构建座面材质预测模型具有如下合理性:

1) 模型返回结果是数值介于 0 至 1 之间的概率。不同于判别分析、决策树等其他经典模型, 多项 Logistic 回归模型的返回结果是概率值。作为辅助推荐模型, 返回概率值相较于返回类别更加直观, 提高了结果可信度, 使用者在运用模型处理问题时可以得到一个精确的辅助信息。

表1 实验测量数据(部分)
Tab.1 Experimental measurement data (partial)

序号	测试类别	性别	坐高/cm	身高/cm	体重/kg	身高的平方	BMI	上半身重量
1	1	0	126.6	176.0	68.0	3.0976	21.9525	37.4819
2	1	0	93.7	173.0	72.0	2.9825	24.1406	20.6116
3	1	1	85.8	160.0	62.0	2.5600	24.2188	35.1080
4	1	1	88.2	158.0	51.2	2.4964	20.5095	33.6829
5	2	0	96.5	178.0	61.0	3.1684	19.2526	26.2615
6	2	0	93.1	171.0	75.8	2.9241	25.9225	33.0702
7	2	0	93.5	179.0	54.8	3.2041	17.1031	26.7047
8	2	1	87.4	170.0	52.8	2.8730	18.3778	27.0179
9	3	1	85.0	160.0	51.0	2.5600	19.9219	34.5364
10	3	1	81.5	155.0	39.2	2.4025	16.3163	33.2475
11	3	0	93.6	172.0	72.6	2.9584	24.5403	27.2255
12	3	0	94.2	175.0	67.9	3.0625	22.1714	22.3061

2) 变量类型所研究问题的需求。所研究问题中的被解释变量座面材质种类为定性变量,解释变量包括定性变量和定量变量。多项 Logistic 回归模型可以满足研究中所涉及的变量类型。

3) 多项 Logistic 回归模型训练高效,适用于特征空间较小时的拟合;模型结果易于解释,是基础的统计学方法,有着完善的理论体系。

2.2 模型解释变量选取

首先,测量实验对象的坐高、身高、体重,并以此为依据计算出身高的平方、身体质量指数 $BMI = \text{体重}(\text{kg}) \div \text{身高}^2(\text{m})$,对实验对象的上半身重量进行估算,对人体重量做出均匀分布的假设,用坐高与身高的比例乘以体重,将此值作为上半身重量的估计值。其次,对 60 名实验对象依次进行不同材质座面的压力分布测试,每一次测试均可获取人体压力分布测量系统的压力分布数据反馈值,即 32 行×66 列的压力分布矩阵。依据拉以达准则,对测量异常值进行剔除处理。计算不同材质座面对应的 SPD 值,SPD 数值最小的对应材质定为测试类别。为方便后续计算机操作,对数据中的定性变量做出以下规定:性别一项中,数字 0 代表男性,数字 1 代表女性;测试类别一项中,数字 1、2 和 3 代表不同的座面材质,依次为:PP 棉、聚氨酯泡沫塑料和乳胶。最终,实验获取有效数据 51 组,实验测量数据(部分)见表 1。

基于多项 Logistic 回归方法,邮轮座面材质预测模型中的解释变量为性别、坐高、身高、体重、BMI、身高的平方和上半身重量,但不能确定所有解释变量对被解释变量都有显著性影响,故需要对模型的解释变量进行选择。解释变量的合理选择对建立高精度回

归预测模型有重要意义,如果缺失了某些重要解释变量,数据信息损失严重,回归模型的效果必将会不理想;但如果模型包含了过多不必要或是提供较小信息量的解释变量,模型在进行预测时会受到次要信息的干扰,模型的预测精准度将会下降。综上所述,在建立回归模型时,首先全面考虑可能对预测结果产生影响的解释变量,建立解释变量包含数据信息较为完整的全模型,进而对全模型中各解释变量进行筛选,保留重要信息,建立基于“少而精”基本思想的选模型,作为最终的预测模型^[11]。

当解释变量个数较少时,可以采用计算所有选模型的自由度的方法,调整复决定系数、赤池信息量或 Cp 统计量来进行最佳模型的选择。对于本实验中选取的解释变量个数,显然是低效且难以实现的,应选择一个简便、实用的选择最优模型的方法,主流选择是逐步回归法。经过逐步回归,使得最后保留在选模型中的解释变量可以包含大比例的重要信息,同时解释变量不显得冗杂,即没有严重多重共线性。通过 R 语言程序实现逐步回归对解释变量的选择,剔除身高变量,保留其余 6 个变量,模型的解释变量依次为:性别 x_1 、坐高 x_2 、体重 x_3 、BMI 值 x_4 、身高的平方 x_5 和上半身重量 x_6 。

3 座面材质预测模型结果分析

3.1 模型系数求解

以实验数据为依托,考虑经过逐步回归选择后的解释变量,借助 R 语言程序对多项 Logistic 回归模型的模型系数进行求解,从而得到座面材质预测模型。备选座面材质有 3 类,各类别材质被推荐的概率表达式如下:

$$\pi_1 = \frac{1}{1 + \exp(44.005 - 1.252x_1 - 25.474x_2 + 0.624x_3 - 4.754x_4 - 1.921x_5 - 0.088x_6) + \exp(95.129 - 0.538x_1 - 8.564x_2 + 1.536x_3 - 27.757x_4 - 4.479x_5 - 0.190x_6)} \quad (3)$$

$$\pi_2 = \frac{\exp(44.005 - 1.252x_1 - 25.474x_2 + 0.624x_3 - 4.754x_4 - 1.921x_5 - 0.088x_6)}{1 + \exp(44.005 - 1.252x_1 - 25.474x_2 + 0.624x_3 - 4.754x_4 - 1.921x_5 - 0.088x_6) + \exp(95.129 - 0.538x_1 - 8.564x_2 + 1.536x_3 - 27.757x_4 - 4.479x_5 - 0.190x_6)} \quad (4)$$

$$\pi_3 = \frac{\exp(95.129 - 0.538x_1 - 8.564x_2 + 1.536x_3 - 27.757x_4 - 4.479x_5 - 0.190x_6)}{1 + \exp(44.005 - 1.252x_1 - 25.474x_2 + 0.624x_3 - 4.754x_4 - 1.921x_5 - 0.088x_6) + \exp(95.129 - 0.538x_1 - 8.564x_2 + 1.536x_3 - 27.757x_4 - 4.479x_5 - 0.190x_6)} \quad (5)$$

其中， π_1 、 π_2 和 π_3 依次表示材质为 PP 棉、聚氨酯泡沫塑料、乳胶时的被推荐概率， $x_i (i=1, 2, \dots, 6)$ 表示该回归模型的解释变量。

3.2 模型精度评价

根据上述回归模型可以分别计算出 3 类材质的概率，其中最大概率值对应的座面材质即为适合该实验对象体态特征的预测类别。部分预测结果展示见表 2，展示了部分实验对象的材质选择概率值及推荐材质模型预测类别，同时标记出实验测试类别与预测类别做比较。

建立座面材质预测模型的主要目的在于给不同体态特征的人群进行座面材质的辅助推荐，更高效便捷地完成座面材质的选择。为扩大座面材质预测模型的受用范围，提升用户的使用满意程度，模型的预测准确率需要达到一个合理的水平，这要求对模型精度进行准确评价。混淆矩阵又称误差矩阵，是用以评价模型精度的一种标准格式，主要适用于分类型的预测模型。预测类别共有 3 类，混淆矩阵见表 3，应表示为一个 3 行 3 列的方阵，用模型回测现有样本，借助 R 语言程序计算出座面材质预测模型的混淆矩阵：

混淆矩阵的每一行代表的测试类别即真实观测数据，每一行的数值之和表示该类别的数据实例的数目；每一列代表预测类别，每一列中的数值表示真实数据被预测为该类的数目。混淆矩阵主对角线上的数值代表正确预测的数目，每一类别正确预测的数目与

表 2 部分预测结果展示
Tab.2 Partial prediction results display

序号	测试类别	材质一 概率	材质二 概率	材质三 概率	预测类别
1	1	0.9621	0.0007	0.0372	1
2	1	0.0648	0.2873	0.6479	3
3	1	0.6914	0.2808	0.0278	1
4	1	0.5705	0.2820	0.1475	1
5	2	0.0989	0.6732	0.2279	2
6	2	0.4188	0.3358	0.2454	1
7	2	0.0572	0.8780	0.0648	2
8	2	0.0354	0.7727	0.1918	2
9	3	0.2780	0.5812	0.1408	2
10	3	0.0544	0.4216	0.5240	3
11	3	0.1892	0.3651	0.4458	3
12	3	0.0548	0.4284	0.5167	3

表 3 混淆矩阵

Tab.3 Confusion matrix

测试类别	预测类别			预测正确的百分比
	1	2	3	
1	6	5	1	50%
2	3	27	0	90%
3	0	6	3	33.3%

该类别的数据实例的数目的比值即为预测正确的百分比。预测模型对 PP 棉、聚氨酯泡沫塑料和乳胶的预测正确的百分比分别为 50%、90% 和 33.3%。

假设没有任何实验数据，不进行预测模型的建立，则对于每个类别的预测正确的百分比应该都是 1/3，预测的总正确率应为 33.3%。通过建立多项 Logistic 回归模型进行辅助推荐，在全部 51 个实验对象预测类别中，有 36 个预测正确，15 个预测错误，总正确率为 70.6%，相较于不借助模型时提高了 37.3%。

在对 3 种材质类别的预测中，第 3 种材质乳胶的预测效果较差，预测正确率为 33.3%，该准确率等于在没有任何模型辅助情况下的预测正确的百分比。查看原始测试数据，测试类别为乳胶的样本量为 9，占总样本的 17.6%，样本量较小，故模型对于第 3 类别的训练效果不佳。较小的样本量同时可以反映出乳胶材质的座面舒适度不如其他两种材质，故应着重对 PP 棉和泡沫进行推荐。

3.3 模型适配度分析

针对不同实际问题会有对应适配的统计模型构建方法，合理的模型构建方法具有更高的结果预测正确率。现选取 3 种较为常见的模型构建方法：判别分析、BP—神经网络和决策树，分别建立座面材质预测模型，利用该模型回测现有样本，得到各模型构建方法对应的混淆矩阵，计算出预测正确的百分比，与多项 Logistic 回归模型精度做比较。模型精度比较见图 1。

将 3 种模型构建方法的预测正确百分比与多项 Logistic 回归模型的预测正确百分比作比较：判别分析对第 1 类和第 2 类材质的预测正确百分比恰为 33.3%，模型没有起到辅佐推荐的作用，且对第 3 类材质的预测结果缺失，故舍弃该模型构建方法；BP—神经网络对第 1 类材质的预测结果缺失，对第 2 类材质的预测正确百分比为 50%，对第 3 类材质的预测正确百分比为 25%（低于 33.3%），预测效果较差，故舍弃该模型构建方法；决策树对第 1 类材质的预测正确百分

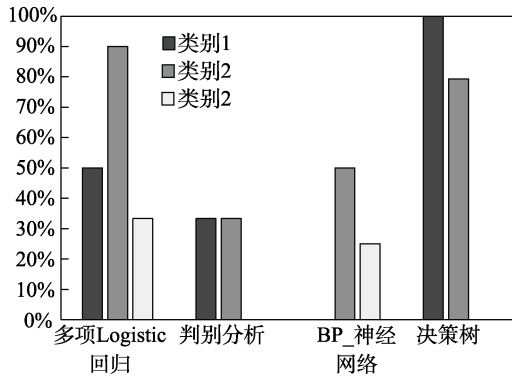


图1 模型精度比较

Fig.1 Model accuracy comparison

比为100%，对第2类材质的预测正确百分比为79%，但对第3类材质的预测结果缺失，故舍弃该模型构建方法。

多项 Logistic 回归的工作机理是通过 Sigmoid 函数，将特征值映射为取值范围(0,1)的结果概率值，来刻画解释变量与被解释变量之间的对应关系。Sigmoid 函数图像见图 2。Sigmoid 函数连续且单调递增，是一个理想的阈值分类器。但 S 型曲线两端的边际变动不敏感，对极端数据的预测效果欠佳。考虑极端情况总体占比较小，整体上对模型应用效果的影响可以忽略。另外，由于多项 Logistic 回归模型的决策面为线性，对部分非线性数据存在欠拟合的情况。相较于使用决策树等其他非线性模型，在模型中添加多项式形式提高模型泛化能力的改进方法更加便捷，且保留了原有模型的优势。解释变量中 BMI 值 x_4 、身高的平方 x_5 和上半身重量 x_6 正是初始变量的多项式表达，可以在一定程度上克服欠拟合的问题，提高模型准确度。

3.4 局限性分析

1) 目前，邮轮消费市场存在一定的成长潜力，市场的需求增加了邮轮舒适性研究的必要性，故本实验以邮轮为对象展开研究。但由于实验条件的限制，实验未能在真实的邮轮环境中进行采集，未能较好地体现“邮轮”的特殊性。在未来的实验研究中将模拟邮轮行驶状态，进而对其特殊性进行考量。

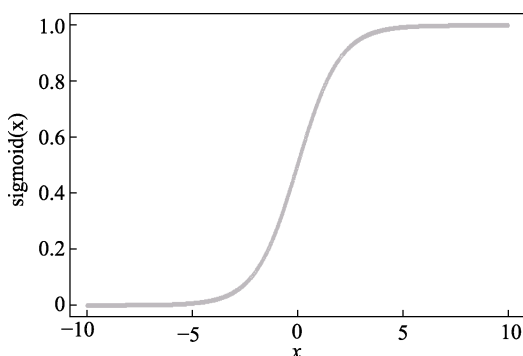


图2 Sigmoid 函数图像

Fig.2 Sigmoid function image

2) 本文通过预测结果回测和模型精度比较的方法进行预测模型准确性的检验，是较为常用的理论模型验证方法。为对预测模型的准确性进行进一步的求证，在未来的研究中将通过实际的设计案例进行验证。

3) 影响座椅舒适度的因素较为复杂，尽管实验室制备的多种座面模型已基本满足测试需求，但若增加对不同材质的密度、硬度、表面触感等物理属性的考虑，将有助于对座椅舒适度进行更深层面的研究。

4 结语

研究基于多项 Logistic 回归的方法建立邮轮座面材质的人体压力分布数据预测模型，能够直观地获取各备选材质被推荐的概率，为乘客选择合适的座面材质提供帮助和保障。以性别、坐高、体重、BMI 值、身高的平方和上半身重量 6 项人体数据为预测模型的输入值，采用基于多项 Logistic 回归构建的预测模型对备选材质进行辅助设计，选择概率值最大的类别为推荐材质。作为邮轮座面材质的定性推荐方法，该辅助设计模型客观便捷，可以直观地展示出各备选材质被选择的概率，从而在进行材质选择时起到辅助推荐的作用。对于备选材质种类较多的情况，可以依据概率值选择剔除推荐概率较小的座面材质，缩小材质的备选范围，从而达到更具个性化的辅助推荐，完成最大化乘客对于乘坐舒适性的满意程度的研究初衷。

通过构建预测模型，对第 3 类材质乳胶的预测正确百分比没有明显提升作用，主要原因是实验观测数据不足。查看原始数据分析可知，该座面材质主要受用者的体态特征较为极端，在人群中占比较小，故可减少该座面材质的预备量。同时，增加这类体态特征实验者的数据，对模型进行完善。另一方面，论文所述模型对不同座面材质的人体压力分布数据进行预测，将为建立人体乘坐舒适度评估模型提供输入变量数据，并为最终构建人体乘坐舒适度辅助设计决策系统提供人体反应数据参考。

参考文献:

- [1] 李慧. 中国豪华邮轮的配套困境[J]. 船舶工程, 2017(12): 126-130.
LI Hui. Dilemma of Chinese Luxury Cruise Ships[J]. Ship Engineering, 2017(12): 126-130.
- [2] 牛晰. 小型民用客机座椅舒适性设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(12): 140-144.
NIU Xi. Research on Seat Comfort Design of Small Civil Airliner[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(12): 140-144.
- [3] 孙晓东, 冯学钢. 中国邮轮旅游产业: 研究现状与展望[J]. 旅游学刊, 2012, 27(2): 101-112.
SUN Xiao-dong, FENG Xue-gang. China's Cruise Tourism Industry: Research Status and Prospect[J]. Tourism Tribune, 2012, 27(2): 101-112.

- [4] 贾丰源, 陈君毅, 吴海波, 等. 基于静态体压分布的座垫舒适度影响因素分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015, 43(4): 611-616.
JIA Feng-yuan, CHEN Jun-yi, WU Hai-bo, et al. Analysis of Factors Influencing Comfort of Cushion Based on Static Body Pressure Distribution[J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition), 2015, 43(4): 611-616.
- [5] Kolich M, Seal S Taboun. Automobile Seat Comfort Prediction: Statistical Model vs. Artificial Neural Network[J]. APPLIED Ergonomics, 2004, 35(3): 275-284.
- [6] 郑娜. 汽车座椅的舒适性评价[J]. 汽车科技, 1995(6): 16-23.
ZHENG Xun. Comfort Evaluation of Car Seats[J]. Auto Mobile Science & Technology, 1995(6): 16-23.
- [7] 李娟, 徐伯初. 基于人体压力分布的座椅形面优化设计[J]. 汽车工程, 2017, 39(12): 1457-1463.
LI Juan, XU Bo-chu. Optimal Design of Seat Surface Based on Human Body Pressure Distribution[J]. Automotive Engineering, 2017, 39(12): 1457-1463.
- [8] 国家技术监督局. 中国成年人人体尺寸(GB/T 10000-1988)[M]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
CSBTS (State Bureau of Technical Supervision). Chinese Adult Body Size (GB/T 10000-1988)[M]. Beijing: China Standards Press, 1989.
- [9] Ahmadian M, Seigler T M, ClaPPER D, et al. Alternative Test Method for Long Term Dynamic Effects of Vehicle Seat[J]. SAE Transactions, 2002(111): 5.
- [10] 王世通, 杨艳红. 基于多项 Logistic 回归的地铁应急疏散行为影响因素分析[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(5): 73-76.
WANG Shi-tong, YANG Yan-hong. Analysis of Influencing Factors of Subway Emergency Evacuation Behavior Based on Multiple Logistic Regression[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(5): 73-76.
- [11] 何晓群, 刘文卿. 应用回归分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2001.
HE Xiao-qun, LIU Wen-qing. Applied Regression Analysis[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2001.

(上接第 181 页)

- [18] 韩煜东. 面向商业模式创新的移动智能终端用户消费行为研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2013.
HAN Yu-dong. Consuming Behavior on Users of Mobile Intelligent Terminals Oriented to Business Model Innovation[D]. Chongqing: Chongqing University, 2013.
- [19] 郁舒兰, 吴智慧. 基于 SPSS 联合分析和系统聚类的 MC 模式橱柜用户群细分[J]. 包装工程, 2011, 32(24): 58-60.
YU Shu-lan, WU Zhi-hui. Subdivision for User Groups under MC Mode Based on SPSS Conjoint and System Clustering[J]. Packaging Engineering, 2011, 32 (24): 58-60.
- [20] 周橙旻, KANER J, 梁爽, 等. 基于交互技术的家具展示创新设计探讨[J]. 包装工程, 2015, 36(14): 18-22.
ZHOU Cheng-min, KANER J, LIANG Shuang, et al. Furniture Showcase Innovative Design Based on Interactive Technology[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(14): 18-22.
- [21] 李雪莲, 关惠元. 差异化养老模式下老年人用储存类家具功能需求实证研究[J]. 装饰, 2015(6): 142-144.
LI Xue-lian, GUAN Hui-yuan. Empirical Research on Functional Requirements of Storage Furniture for Senior Citizens in Different Pension Model[J]. Zhuangshi, 2015(6): 142-144.