

基于方差分析法的飞机乘客座椅 IFE 舒适性设计研究

徐江华¹, 桂翔先²

(1.上海工程技术大学, 上海 201620; 2.南昌航空大学, 南昌 330063)

摘要: **目的** 提出一种基于方差分析预测经济舱乘客所倾向座椅间距与 IFE 显示器高度的方法。**方法** 通过辨识影响乘客座椅 IFE 舒适性体验的因素, 对十六名对象进行测试, 采用双因素重复实验方差法分析两个因素在三个不同条件下的变化, 列出九种情况下乘客使用 IFE 显示屏舒适性评估的均值和标准差, 得出自变量与因变量关系, 从而得出经济舱乘客座椅间距与 IFE 显示器高度最佳值、适合值与经济值。**结果** 舒适的座椅间距与理想的显示屏高度对舒适性有着显著影响, 并且存在交互作用。经济舱乘客座椅间距为 91 cm, 显示屏上端距地面高为 126 cm, 乘客对 IFE 舒适性体验最佳; 其次是座椅间距为 86 cm, IFE 高度为 126 cm; 最不舒适的是座椅间距 81 cm, 显示屏高度 138 cm。**结论** 研究结果对座椅间距与 IFE 显示屏高度进行了优化, 为乘客座椅舒适性设计提供了参考。

关键词: 飞机乘客座椅; 方差分析; 座椅间距; 显示屏高度; 舒适性

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)14-0149-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.14.022

Comfort Design of Aircraft Passenger Seat IFE Based on Analysis of Variance

XU Jiang-hua¹, GUI Xiang-xian²

(1.Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2.Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an approach for predicting the seat spacing and the IFE display height that economy class passenger prefers based on the analysis of variance. In the test on 16 subjects, the variation of two factors in three different conditions were analyzed in the method of double-factor repeated test variance, by identifying the factors affecting the IFE comfort experience of passenger seats. The average and the standard deviation of evaluated comfort of the IFE display screen used by passengers in nine conditions were listed to work out the relationship between independent variables and dependent variables, thereby figuring out the optimal value, suitable value and economic value of passenger seat spacing and the IFE display height in economy class. Comfortable seat spacing and ideal height of display screen affected the comfort significantly and there was an interaction between them. Passengers had the best IFE comfort experience when the economy class passenger seat spacing and the distance from the upper end of display screen to the ground were respectively 91 cm and 126 cm, followed by 86 cm seat spacing and 126 cm IFE height; while the worst case occurred when the seat spacing and display screen height were 81 cm and 138 cm, respectively. The results of research optimize the seat spacing and IFE display screen height and provide reference for the comfort design of passenger seats.

KEY WORDS: aircraft passenger seat; analysis of variance; seat spacing; display screen height; comfort

乘客乘坐飞机出行, 至少 90%的时间都是在座椅上度过的, 因此乘客在飞机客舱中的舒适体验与航空座椅密切相关。根据 Luian Zhang 和 Martin G 等人研

究发现, 乘客与航空座椅的不适主要体现在生物力学因素、舒适主要体现在放松与幸福感等因素^[1]。飞机客舱娱乐设施系统(简称 IFE)是飞机乘客座椅的组

收稿日期: 2020-06-21

基金项目: 上海市高校紧缺艺术人才项目“高端航空装备创意设计工作室”(2020 文教办 3-1-13)

作者简介: 徐江华(1977—), 男, 湖北人, 博士, 上海工程技术大学副教授, 主要从事高端航空装备设计与飞机客舱舒适性设计研究。

成部分,在使用 IFE 时,显示屏与座椅之间不恰当的位置关系,不仅容易使乘客的眼睛产生疲劳感,影响视力,甚至会间接引起不当的坐姿,长时间不正确的坐姿很可能引起一些显性与隐性疾病。因此,本文结合乘客主观坐姿舒适度的评价,采用方差分析法,从人机工程学的角度,为飞机乘客座椅的间距与显示屏高度的最佳值提供了参考理论依据。

1 IFE 舒适性的影响因素

舒适性是一种心理放松状态,它是对人的生理和心理结合的共同产物的一种反馈^[2]。IFE 给乘客带来心理上舒适的同时,也带来了一些生理上的危害。根据对显示屏的研究(Jaschinski-Kruza, 1991),人在使用显示屏时的舒适性与视觉上的负荷呈显著相关,而影响视觉负荷的这些因素有视距离^[3],屏幕的颜色(Matthews, Lovasik & Mertins, 1989)^[4]以及周围环境与身体状况等,在这些条件下获得的视觉疲劳症状的主观报告有时与视觉系统的生理反应相关。这些都会影响乘客在使用 IFE 时的主观舒适度评价。

1.1 视距离

视距离是影响视觉疲劳的主要因素之一,它决定着焦点位置,是睫状肌和水平眼外肌承受负荷的主要因素。人的睫状肌可以改变眼睛晶状体的光功率,从而在视网膜上形成清晰的图像,水平的眼外肌汇聚眼睛的轴线来融合两个视网膜图像。随着视距的缩短,这些调节和动觉的动眼神经机制变得越来越紧张,因此在短视距时易引起眼睛疲劳,在字符高度为 3.5 cm 的条件下,实验者自由选择的适宜的视距离为 53~93 cm^[3];舒适的视距也会因显示器的大小和使用方式(如看视频、阅读、购物等)的不同而略有变化,童时中认为 21 寸的显示器的视距范围为 75~100 cm^[5];而根据调查发现 14 寸的舒适视距为 56~93 cm。

1.2 IFE 显示器的高度

IFE 显示器的高度不仅决定着视距离,乘客的视线高度也会随它高度的增加而增加,其眼表暴露面积也随之加大,从而导致泪液的蒸发量也增加。根据 Kazuo Tsubota 的研究发现,人的仰视和直视的泪液蒸发量是俯视的 3.4 倍和 2.5 倍^[6]。泪液不仅可以杀菌,还可以清洗眼睛内的尘污和提高光学性能,泪液的蒸发量增加是乘客眼睛发干的主要原因之一。因此,IFE 显示器的高度最好与乘客坐姿时的水平视线向下成 10°~20°;屏幕略微向上倾斜 10°。这样不仅可以减少眼角膜的暴露面积来减少视觉疲劳,还可以使颈部肌肉达到放松状态来减少肌肉紧张感。

1.3 眩光、照明条件、温度

良好的环境在飞机旅途中对乘客起着必不可少的作用。Collins 研究发现眩光、照明条件和字符清晰

度与主观视觉疲劳有显著的关系^[7],当乘客受到飞机客舱眩光的影响时,乘客会因无法看清屏幕上的内容而潜意识地拉近距离,长时间受眩光影响更易引发眼干、眼疲劳等症状。在不同的照明亮度条件下,为了实现更好的视觉效果,显示器的视觉功效也必须与乘客的需求相匹配^[8]。飞机客舱温度与乘客的生理健康和心理舒适密切相关,尤其是温差较大的环境,乘客在客舱恒温 25 °C 时感觉最舒适,并且观看 IFE 显示器的乘客有心理放松的体验。

1.4 座椅靠背角度

飞行旅途中,乘客在进行阅读、休息、看视频等行为时往往会变换坐姿,不同的坐姿对于靠背角度也略有差别。陆剑雄认为要使坐姿形成接近于正常的腰弯形态,躯干与大腿间约为 115°时较为健康^[9]。Grandjean 在关于不同场合下靠背最佳角度的研究中,提到阅读时的最佳角度为 101°~104°,在休闲放松状态下的最佳靠背角度是 105°~108°^[10]。对于装有 IFE 显示器的座椅,靠背角度的选取就显得至关重要,要尽可能减少影响乘客 IFE 显示器体验的舒适性,还要提升乘客坐姿的舒适性。

虽然飞机上影响乘客 IFE 显示器舒适性体验的因素众多,但从舒适性与显性、隐性的健康角度考虑,座椅间距和 IFE 高度是影响眼疾病和视线角度的主要因素,因此本文选取座椅间距与 IFE 高度两个因素进行研究。

2 方差分析法

方差分析是用于检验不同水平下某因变量的均值变化是否显著的一种检验方法,利用此方法可以分析出影响因素的影响贡献力度。而在这项实验中,处理多于一个因素的实验统计推断方法被称为多因素方差分析法。倘若这些因素处于不同水平下的搭配也影响着实验结果,在统计学中称为交互作用;若每组实验次数相同,则称为等重复实验^[11]。多因素方差分析法在实际解决问题中应用较为广泛,该方法经常应用在产品开发中用户倾向的差异化研究^[12]及减少产品设计师与消费者之间的认知偏差研究^[13],提高产品开发效率。

2.1 双因素方差分析的数学模型

首先假设 $X_{ijk} \sim N(\mu_{ij}, \sigma^2)$ (各 X_{ijk} 独立且 μ_{ij} 和 σ^2 未知); ($i=1,2,\dots,r; j=1,2,\dots,s; k=1,2,\dots,t$)。由于考虑到两个因素联合起来产生交互效应,如下式:

$$X_{ijk} = \mu_{ij} + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$$

$$\sum_{i=1}^r \alpha_i = 0, \sum_{j=1}^s \beta_j = 0, \sum_{i=1}^r \gamma_{ij} = \sum_{j=1}^s \gamma_{ij} = 0 \quad (1)$$

其中: $\mu = \frac{1}{r_s} \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^r \mu_{ij}$ (μ 称为总平均)

$$\begin{aligned} \mu_{i\cdot} &= \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s \mu_{ij}, \mu_{\cdot j} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \mu_{ij} \\ \alpha_i &= \mu_{i\cdot} - \mu, \beta_j = \mu_{\cdot j} - \mu \\ \gamma_{ij} &= \mu_{ij} - \mu_{i\cdot} - \mu_{\cdot j} + \mu \end{aligned} \quad (2)$$

式中： α_i 表示因素 A_i 的水平效应； β_j 表示因素 B_j 的水平效应； γ_{ij} 表示因素 A_i 、 B_j 的水平交互效应；表示 ε_{ijk} 水平组合 (A_i, B_j) 下第 k 次重复实验随机误差。

2.2 双因素等重复实验的方差分析步骤

首先,根据数学模型检验以下三个假设。假设一:不同水平下的因素 A 对实验影响是否显著;假设二:不同水平下的因素 B 对实验影响是否显著;假设三:不同水平下的因素 A 和 B 的交互效应对实验结果影响是否显著。

然后,根据样本数据与总离差平方和的分解计算出 F_A, F_B, F_{AxB} 。

$$F_A = \frac{S_A}{S_e}; F_B = \frac{S_B}{S_e}; F_{AxB} = \frac{S_{AxB}}{S_e} \quad (3)$$

最后,通过计算出的三个 F 的值及其对应的 P 值 (F 和 P 是一种检验假设的统计量),对比 P 值与 0.05 的大小,并根据 F 值进行判别,若 F 值很大且 $P < 0.05$,则认为此因素的不同水平对观测变量有极其显著的影响,反之与观测变量不显著。从而验证假设。

3 经济舱乘客座椅 IFE 双因素重复实验的方差分析

为了提升乘客乘机过程中的舒适体验,以经济舱乘客座椅上的 IFE 显示器最优布局为目的,研究舒适的座椅间距与理想的 IFE 显示器高度之间的关系。采用双因素等重复实验的方差分析法进行分析研究,在实验中设有两个影响因素 (A 座椅间距)、 B (IFE 高度)。因素 A 有三个不同水平,记作 (A_1, A_2, A_3) ; 因素 B 有三个不同水平,记作 (B_1, B_2, B_3) ; 现对各水平下的因素 A, B 进行不同的组合记作 (A_i, B_j) ($i=1,2,3; j=1,2,3$) 都做 $(n \geq 2)$ 次独立重复实验。

3.1 数据收集

本次实验在模拟飞机经济舱进行,有六十四位受试者(经常乘坐飞机)参与。其中,年均在 25 岁左右的男女各三十二名,采用 7 点量表进行评估,见图 1。经济舱乘客座椅间距采用各大航空公司常用的三组间距(32 英寸、34 英寸和 36 英寸);由于近十几年来人的身高显著增长,本次测试依据中国成年人人体尺寸 95 百分位(GB10000-1988)为基础作为参照;显示器高度采用它的上端高度离地面 150 cm(坐姿高)^[14]、138 cm(坐姿眼高)和 126 cm(与视线水平呈 10°~15°),在此高度下,乘客坐直时眼睛呈自然放松状态,视中心大概在显示器中心位置,可减少干

眼症和颈椎病的发生。在每次实验前都要进行以下测试:(1)对所有受试者进行视力测试,约 5.0 左右(包括矫正视力);(2)对受试者的心情、身体健康等进行询问,确保这些因素不会影响实验评估;(3)讲授一些关于舒适评价的知识;(4)每次实验时的室内温度为 27 °C,空气湿度为 50%。这些测试项目可能干扰对 IFE 显示器使用的舒适性评估结果,通过测试,受试者均满足实验条件。在实验中,通过前后移动乘客座椅来改变座椅间距,IFE 显示器(14 寸)的高度用支架来调整。测试者坐在座椅上使用(也可用鼠标操作),进行 4 h 的自由娱乐,在此过程中分别进行看视频、购物、阅读及玩游戏等,并且通过腰靠、颈靠和坐垫来调整在使用不同 IFE 显示器时的坐姿及座椅高度,以获得舒适体验。为了防止前一组对下一组的影响,实验工具与模拟舱环境每次测试前都保持一致。每个星期进行不同组合的测评,并进行三个周期。以对应每个组的平均值作为最终结果,并记录每个参与者实验后的感受。最终只有二十五名受试者完成了全部测评,根据身高、性别挑选出最具有代表性的十六组数据,分别是身高 160 cm 的受试者四名,160~170 cm 的受试者四名,170~180 cm 的受试者四名,180 cm 以上的受试者四名,且每组男女各两名。部分受试者对 IFE 显示器体验舒适性评价见表 1。表 1 中, A_1, A_2, A_3 分别表示座椅间距 81 cm、86 cm、91 cm, B_1, B_2, B_3 分别表示 IFE 高度 150 cm、138 cm、126 cm。



图 1 舒适性 7 点量表
Fig.1 Comfort 7-point scale

表 1 部分受试者对 IFE 显示器体验舒适性评价
Tab.1 Partial subjects' evaluation on IFE display experience comfort

编号	A_1B_1	A_1B_2	A_1B_3	A_2B_1	A_2B_2	A_2B_3	A_3B_1	A_3B_2	A_3B_3
1	2	2	3	3	3	6	5	4	7
2	3	1	2	2	3	7	5	5	6
3	1	2	4	3	4	6	4	3	5
4	1	1	3	2	4	6	6	6	7
5	2	3	4	3	4	6	4	5	5
6	1	3	4	3	4	5	4	6	7
7	1	1	2	2	2	5	3	4	6
8	2	2	4	3	3	6	2	5	7
9	2	3	4	3	4	6	4	5	6
10	3	4	5	4	4	6	6	6	7
11	3	3	4	4	4	5	3	5	6
12	4	3	4	2	4	5	4	5	6
13	2	2	4	1	6	6	5	6	7
14	2	2	3	2	5	5	4	7	6
15	3	3	4	2	5	4	3	6	7
16	2	1	4	2	4	6	4	6	6

3.2 数据处理

在本次实验中有两个因素在三种不同条件下变化,为了验证经济舱乘客座椅间距与显示器的高度对乘客舒适性的影响是否显著,以及两者是否存在交互作用,以求得最佳的搭配,依据表1测试数据,通过Spss软件进行双因素重复实验方差分析,得出描述性统计量,见表2,其中列出了九种情况下乘客使用显示器舒适性评估的均值和标准差。

由于自变量水平超过两个,所以需进行球形度检验。Mauchly的球形度检验见表3。其结果表明,“乘客座椅间距”、“显示器高度”和“乘客座椅间距×显示器高度”的显著性水平均大于0.05($P_1=0.128$ 、 $P_2=0.217$ 、 $P_3=0.680$),因此满足球形假设。本次选用“采用的球形度”法计算,见表4,“乘客座椅间距”主效应 $F_{(2,30)}=93.839$,显著性 $P<0.001$,偏Eta方值为0.862,结合表1可知,乘客座椅间距对舒适性具有显著影响。“显示器高度”的主效应 $F_{(2,30)}=97.786$,显著性水平 $P<0.001$,偏Eta方值为0.867,表明“显示器高度”对舒适性也有显著影响。

表2 描述性统计量
Tab.2 Descriptive statistics

组合	均值	标准偏差	N
A ₁ B ₁	2.1250	0.88506	16
A ₁ B ₂	2.2500	0.93095	16
A ₁ B ₃	3.6250	0.80623	16
A ₂ B ₁	2.5625	0.81394	16
A ₂ B ₂	3.9375	0.92871	16
A ₂ B ₃	5.6250	0.71880	16
A ₃ B ₁	4.1250	1.08781	16
A ₃ B ₂	5.2500	1.00000	16
A ₃ B ₃	6.3125	0.70415	16

表3 Mauchly的球形度检验
Tab.3 Mauchly's sphericity test

主体内效应	Mauchly的W	近似卡方	df	Sig	Epsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-feldt	下限
乘客座椅间距	0.746	4.110	2	0.128	0.797	0.877	0.500
显示器高度	0.804	3.056	2	0.217	0.836	0.929	0.500
乘客座椅间距×显示器高度	0.611	6.615	9	0.680	0.829	1.000	0.250

表4 主体内效应
Tab.4 Main body's internal effects

源	平方和	df	均方	F	Sig	偏Eta方
乘客座椅间距	157.875	2	78.938	93.839	0.000	0.862
误差(座椅间距)	25.236	30	0.841			
显示器高度	123.500	2	61.750	97.786	0.000	0.867
误差(IFE高度)	18.644	30	0.631			
乘客座椅间距×显示器高度	12.250	4	3.063	5.015	0.000	0.251
误差(乘客座椅间距×显示器高度)	36.639	60	0.611			

乘客座椅间距和显示器的高度存在显著的交互作用($F_{(4,60)}=5.015, P<0.01$),需要进行简单效应分析,见表5。在乘客座椅间距一定的情况下,三种显示器的高度的舒适性体验显著($F_{(2,30)}=28.10, 46.98, 29.17, P<0.001$)。结合表2,可得出自变量与因变量关系,见图2。从中可知,当座椅间距分别在91 cm、86 cm、81 cm时,所对应的舒适性显示屏高度依次为126 cm、138 cm、150 cm。

3.3 实验总结

结合以上分析结果,可得出受试者更倾向于经济舱乘客座椅间距较大的91 cm。这和Florian Kremser等人发现的“在34~40英寸的座椅间距上具有最大程度的总体幸福感”相似^[15]。当乘客座椅间距为81 cm时,受试者的幸福感明显降低。同时,在测试的整个过程中,有十五名受试者在看视频、玩游戏或阅读时,坐姿或多或少地发生了变化,其中十二名受试者指出,在间距81 cm时,改变坐姿比较困难。一些使用IFE玩游戏的受试者更倾向于86 cm的距离,其原因是当人的注意力高度集中,坐姿会稍微前倾,处于86 cm的距离时,手臂只要稍微向前就可触摸屏幕。通过观察发现,受试者使用IFE更多的是为了看视频,但当看视频时,86 cm的座椅距离会让人觉得视距很短,时间长会更加容易产生视觉疲劳。从IFE显示器的高度对舒适性进行分析,大部分受试者更倾向于显示器的高度为126 cm。当显示器的高度为126 cm时,受试者与显示器垂直面的视野角度范围为10°~20°,视距离在60~70 cm,颈部也呈放松状态。对那些高个乘客就比较满意150 cm的高度,当显示器150 cm高度时,大多数受试者由于视线角度高于自然水平视线,以致受试者眼球暴露面积较大,长时间易引起眼睛疲劳酸痛,相比于前两种高度较为不适。而当显示器高度为138 cm时,趋于这两种之间。

表 5 简单效应分析
Tab.5 Simple effect analysis

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHUN+RESIDUAL	11.83	30	0.39		
B WITHIN A(1)	22.17	2	11.08	28.10	0.000
WITHUN+RESIDUAL	24.04	30	0.80		
B WITHIN A(2)	75.29	2	37.65	46.98	0.000
WITHUN+RESIDUAL	19.71	30	0.66		
B WITHIN A(3)	38.29	2	19.15	29.14	0.000

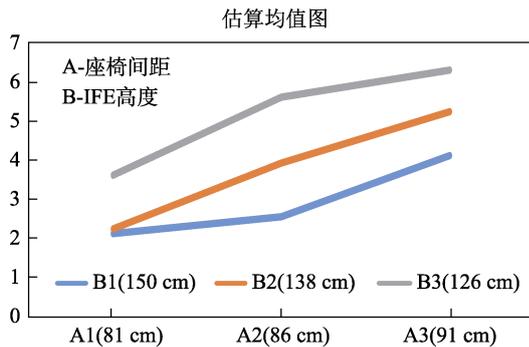


图 2 自变量与因变量关系

Fig.2 The relationship between independent variables and dependent variables

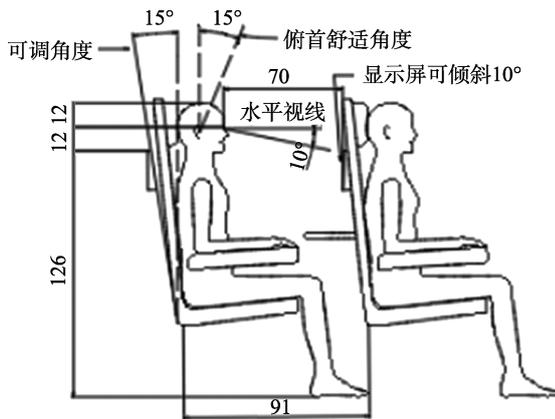


图 3 理想的经济舱乘客座椅设计 (单位: cm)

Fig.3 Ideal passenger seat design of economy class (Unit: cm)

因此，当乘客座椅间距为 91 cm，显示器高度为 126 cm 时，乘客观看显示器体验最舒适，可以确定为最佳值，这一般可以作为长途航班或双通道商务经济舱座椅布局与 IFE 设计的参考。而乘客座椅间距为 86 cm，显示器高度为 126 cm，乘客观看显示器舒适性体验次之，一些座椅间距较小的廉价经济舱也可考虑采用这种显示器高度，可以提高舒适性。采用这种显示器高度时，乘客的头部在自然放松状态下会略微向下倾斜 5°~15°，显示屏向上倾斜 10°，且视距离大于 65 cm，达到了安全视距离，这样有利于乘客更加舒适地体验 IFE，理想的经济舱乘客座椅设计见图 3。

4 结语

近年来各大航空公司竞争激烈，乘客对机上服务

的要求也越来越高，航空公司在经济舱乘客座椅上配置 IFE 越来越常见，可调节的乘客座椅间距与理想的显示器高度明显提升乘客在乘机过程中的舒适性。符合安全人因学的经济舱乘客座椅也越来越受旅客的青睐，这在无形中增加了航空公司经济效益与品牌效益。近年来，中国人体尺寸存在较大差异，这对于经济舱乘客座椅设计也是重大挑战之一。本次研究也存在些不足之处，第一，测试数据不多，存在一些巧合性；第二，没有考虑受试者的工作性质，测试评估可能受平时习惯的影响；第三，可能与其他影响因素存在着交互作用并影响分析结果。

参考文献:

- [1] ZHANG L, HELANDER M G, DRURY C G. Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting[J]. Human Factor, 1996, 38(3): 377-389.
- [2] 孙守迁, 吴群, 吴剑锋, 等. 一种基于支持向量回归的驾驶座椅舒适度评价方法[J]. 中国机械工程, 2008, 19(11): 1326-1330.
SUN Shou-qian, WU Qun, WU Jian-feng, et al. An Evolution Method of Driving Seat Comfort Based on Support Vector Regression[J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19(11): 1326-1330.
- [3] JASCHINSKI-KRUZA W. Eyestrain in VDU Users: Viewing Distance and the Resting Position of Ocular Muscles[J]. Human Factors, 1991(33): 69-83.
- [4] MATTHEWS M L, LOVASIK J V, MERTINS K. Visual Performance and Subjective Discomfort in Prolonged Viewing of Chromatic Displays[J]. Human Factors, 1989(31): 259-271.
- [5] 童时中. 人机工程设计与应用手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
TONG Shi-zhong. Manual of Ergonomic Design and Application[M]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [6] TSUBOTA K. Tear Dynamics and Dry Eye[J]. Progress in Retinal & Eye Research, 1998, 17(4): 565-596.
- [7] COLLINS M, BROWN B, BOWMAN K. Workstation Variables and Visual Discomfort Associated with VDTs[J]. Applied Ergonomics, 1990(21): 157-161.
- [8] 许为, 朱祖详. VDT 屏面亮度和文件背景照度对视觉核读作业的影响[J]. 心理学报, 1989, 22(4): 355-369.
XU Wei, ZHU Zu-xiang. Influence of VDT Screen Brightness and Document Background Illumination on Visual Operations[J]. Journal of Psychology, 1989, 22(4): 355-369.
- [9] 陆剑雄, 张福昌, 申利民. 坐姿理论与座椅设计原则及其应用[J]. 江南大学学报, 2005(6): 620-625.
LU Jian-xiong, ZHANG Fu-chang, SHEN Li-min. The Theory of Sitting Posture and the Principle of Seat Design and Its Application[J]. Journal of Jiangnan University, 2005(6): 620-625.

(下转第 173 页)

- Military Systems Engineering, 1996(1): 5-7.
- [4] 蔡文, 杨春燕. 可拓学的基础理论与方法体系[J]. 科学通报, 2013, 58(13): 1190-1199.
CAI Wen, YANG Chun-yan. Basic Theory and Method System of Extenics[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(13): 1190-1199.
- [5] 吕健, 谢庆生, 黄海松, 等. 基于图解特征语义认知的产品设计过程知识模型[J]. 图学学报, 2015, 36(5): 703-711.
LYU Jian, XIE Qing-sheng, HUANG Hai-song, et al. Product Design Process Knowledge Model Based on Graphical Feature Semantic Cognition[J]. Journal of Graphics, 2015, 36(5): 703-711
- [6] 金颖磊, 潘伟杰, 吕健, 等. 基于可拓语义分析的文化创意产品设计方法研究[J]. 工程设计学报, 2017, 24(1): 27-33.
JIN Ying-lei, PAN Wei-jie, LYU Jian, et al. Research on Cultural Creative Product Design Method Based on Extension Semantic Analysis[J]. Journal of Engineering Design, 2017, 24(1): 27-33.
- [7] 刘翔. 基于用户体验的家用智能音响系统设计与研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
LIU Xiang. Design and Research of Home Intelligent Sound System Based on User Experience [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [8] 罗仕鉴, 潘云鹤, 朱上上. 产品设计中基于图解思维的隐性知识表达[J]. 机械工程学报, 2007, 43(6): 93-98.
LUO Shi-jian, PAN Yun-he, ZHU Shang-shang. Tacit Knowledge Expression Based on Graphic Thinking in Product Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(6): 93-98.
- [9] 李砚祖. 设计新理念: 感性工学[J]. 新美术, 2003, 24(4): 20-25.
LI Yan-zu. New Design Concept: Perceptual Engineering[J]. New Art, 2003, 24(4): 20-25.
- [10] 卢兆麟, FRENKLER F. 基于产品语义分析的新能源汽车造型设计研究[J]. 机械设计, 2017(3): 111-116.
LU Zhao-lin, FRENKLER F. Research on New Energy Vehicle Model Design Based on Product Semantic Analysis[J]. Mechanical Design, 2017(3): 111-116.
- [11] 陈香, 吴剑斌. 基于可拓语义分析的有轨电车造型设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(3): 119-123.
CHEN Xiang, WU Jiang-bin. Tramcar Modeling Design Based on Extension Semantic Analysis[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(3): 119-123.
- [12] 顾亦鸣, 梁嘉. 图解思维[M]. 北京: 北京大学出版社, 2014.
GU Yi-ming, LIANG Jia. Graphic Thinking[M]. Beijing: Peking University Press, 2014.
- (上接第153页)
- [10] GRANDJEAN E, HUNTING W, WOTZKA G, et al. An Ergonomics Investigation of Multipurpose Chairs[J]. Human Factors, 1973, 15(3): 247-255.
- [11] 游士兵. 统计学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.
YOU Shi-bing. Statistics[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001.
- [12] 沈琼, 王淑敏, 谢田甜. 基于用户分层的手持工具感知差异的研究[J]. 机械设计, 2018, 35(12): 116-119.
SHEN Qiong, WANG Shu-min, XIE Tian-tian. Perception Differences of Handled Tools Based on User Layering[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(12): 116-119.
- [13] 周小溪, 梁惠娥. 基于感性意向的服装面料设计效果评价[J]. 纺织学报, 2015, 36(4): 60-64.
ZHOU Xiao-xi, LIANG Hui-e. Evaluation of Fabric Design Based on Perceptual Image[J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(4): 60-64.
- [14] 孙芹. 电脑放低点眼睛不累[J]. 建筑工人, 2006(5): 53.
SUN Qin. Eyes Are Not Tired with Computer Put Low[J]. Construction Workers, 2006(5): 53.
- [15] KREMSER F, GUENZKOFER F, SEDLMEIER C, et al. Aircraft Seating Comfort: the Influence of Seat Pitch on Passengers' Well-being[J]. Work: a Journal of Prevention, Assessment, and Rehabilitation, 2012, 41(1): 4936-42.