

基于人机工程学的飞机经济舱座椅舒适性设计研究

徐江华^{1,2}, 邱吉尧¹

(1.上海工程技术大学, 上海 201620; 2.同济大学上海国际设计创新研究院, 上海 200092)

摘要: **目的** 通过实验得出乘客在睡眠、使用手机(阅读)和使用 IFE 三种行为下的最舒适静态坐姿与最佳压力值, 并提出针对性的座椅设计方案, 提高乘客乘机过程中的舒适度。**方法** 基于人机工程学理论, 结合观察法与压力分布实验, 借助 SPSS 统计软件, 得出乘客在三种常见行为下产生的最舒适静态坐姿与对应的最佳压力值。**结果** 睡眠的最舒适姿势为头部右偏, 躯干摆正, 双手交叉于胸前, 双腿伸展, 最佳压力值为 21.51 mmHg/32.20 mmHg; 使用手机(阅读)的最舒适姿势为头部居中, 躯干摆正, 双手持手机(书籍), 最佳压力值为 21.19 mmHg/34.43 mmHg; 使用 IFE 的最舒适姿势为头部居中, 躯干摆正, 双手交叉于胸前, 双腿弯曲, 最佳压力值为 21.34 mmHg/33.72 mmHg。**结论** 研究乘客乘机过程中不同行为产生的坐姿与压力值, 有助于细化乘客需求, 为飞机座椅设计提供新的思路。设计实例通过优化座椅调节方式, 提升了民航飞机乘客座椅的个性化需求。

关键词: 经济舱座椅; 乘客静态坐姿; 人机工程学; 舒适性

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)18-0403-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.18.051

Design and Research on Comfort of Economy Class Seat Based on Ergonomics

XU Jiang-hua^{1,2}, QIU Ji-yao¹

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

2.Shanghai International College of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

ABSTRACT: Through the experiment, the most comfortable static sitting posture and the best pressure value of passengers under the three behaviors of sleep, using mobile phone (reading) and using IFE are obtained, and the targeted seat design scheme is proposed to improve the comfort of passengers during the flight. Based on the theory of ergonomics, combined with observation method and pressure distribution experiment, and with the help of SPSS statistical software, the most comfortable static sitting posture and the corresponding optimal pressure value of passengers under three common behaviors are obtained. The most comfortable posture for sleep is the right deviation of the head, the straightening of the trunk, the crossing of both hands in front of the chest and the extension of both legs, with the optimal pressure value 21.51 mmHg/32.20 mmHg; The most comfortable posture for using the mobile phone (reading) is to center the head, straighten the trunk and hold the mobile phone (book) with both hands, with the best pressure value 21.19 mmHg/34.43 mmHg; The most comfortable posture for using IFE is to center the head, straighten the trunk, cross your hands in front of your chest and bend your legs, with the best pressure value 21.34 mmHg/33.72 mmHg. Studying the sitting posture and pressure values generated by different behaviors of passengers during the flight will help to refine passengers' needs and provide new ideas for aircraft seat design. The design example improves the personalized requirements of civil aviation aircraft passenger seats by optimizing the seat adjustment mode.

KEY WORDS: economy class seats; static sitting posture of passengers; ergonomics; comfort

收稿日期: 2021-06-19

基金项目: 2020 年度上海艺术科学规划项目一般项目(YB2020F02)

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, 同济大学上海国际设计创新研究院高水平研究员, 主要从事航空装备设计与飞机客舱舒适性设计方面的研究。

飞机座椅是乘客在乘坐飞机出行时需要长时间接触的客舱设施,其舒适与否将直接决定乘客的飞行体验。一份调查问卷显示,70%的被调查者认为飞机座椅设计迫在眉睫,特别是当使用者可以保持一个舒服的坐姿以及能够自由改变自己的坐姿时^[1]。现阶段,民航经济舱座椅很难让乘客获得舒适的飞行体验,并且其单一的调节方式也无法满足乘客对座椅的多元化需求。在飞机客舱环境中,乘客、设施、客舱环境三者之间的关系是乘客飞行体验舒适与否的关键,同时也是人机工程学研究的重点^[2]。钟媛以人机工程学理论为基础^[3],研究乘客的坐姿特点并对座椅结构进行优化;刘枫主要以人机数据建立数据库来改进飞机座椅^[4];阳娟等人则主要通过人机数据运算对座椅结构进行改良设计^[5];陆剑雄等人则是从人的生理结构角度对座椅的设计原则进行研究^[6]。大部分学者虽然都在论文中提及了乘客行为产生的坐姿对舒适性的影响,但是并未对其展开进一步研究。在人机关系中,人的物理尺寸是设计过程中关注的重点之一,人的行为特征也同样不可忽视。乘客在飞机座椅上进行的不同行为会产生不同的坐姿,不同的坐姿对飞机座椅的需求也不同。现有的经济舱座椅仅仅通过靠背角度的调节来满足乘客需求显然存在不足,因此,本实验以人机工程学理论为基础,从乘客行为产生的各类坐姿入手,通过图像数据与压力数据相结合的实验方法,统计乘客不同行为下的坐姿变化,确定乘客最常采用的坐姿,借此对飞机座椅的调节模式进行改良设计,优化乘客的乘机体验。

1 影响乘客坐姿变化的因素

飞机客舱内绝大部分坐姿的变化虽然是乘客主动发起的,但客舱内的诸多因素都可能导致乘客频繁改变坐姿从而产生不舒适感。具体影响因素如下。

1.1 座椅间距

座椅间距见图1,指的是相邻两排座椅相同位置点之间的前后距离^[7]。在 Blok 和 Richards 等人的研究中都提到了腿部空间对乘客坐姿变化的影响^[8],这一关系被认为是与舒适性相关的最重要因素之一。在一些乘客对座椅间距作出肯定评价的例子中,他们认为 33 in (即 83.82 cm) 的座椅间距是最舒适的座椅间距。

1.2 靠背角度

乘客在飞机上进行睡眠、阅读等行为时,所需要的座椅靠背角度略有不同。Stinson^[9]等人分析了四种不同靠背角度(0°、10°、20°、30°)对坐垫平均压力及舒适度的影响,结果表明 0°的结果与 10°、20°的结果没有显著区别,与 30°的结果有显著区别。Rosmalen 等人则在 2009 年的研究论文中指出 110°是观看屏幕的最佳视觉靠背角度^[10],而 Wilke 等人认为

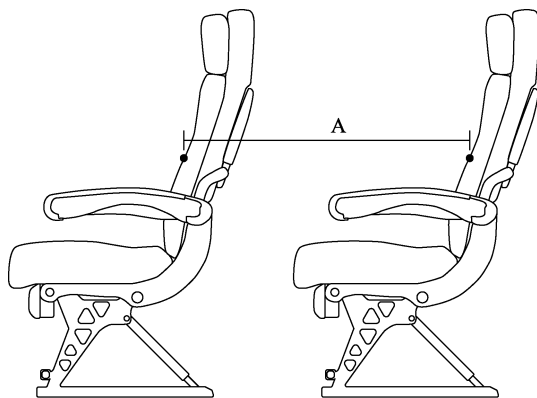


图1 座椅间距
Fig.1 Seat spacing

靠背向后倾斜的范围最好控制在 100°~120°之间^[11]。

1.3 坐姿与剪力

人在保持坐姿的时候,人体的体表力包括两种,一是座椅对人体的反作用力,其方向与人体体表垂直;另一个是座椅的摩擦导致的人体体表剪力,其方向与人体体表相切^[12]。在 Goossens 和 Snijders 的研究中发现,剪力太大会产生不适感,如果剪力持续时间太长或者强度太大,就会导致褥疮性溃疡^[13]。

1.4 体压分布

当乘客与飞机座椅产生接触后,就会产生压力。根据 Looze 等人的研究发现^[14],在所有衡量舒适与否的方法中,体压分布与不适感的关系最密切,合理的体压分布可减少不适感。Conine 等人的研究显示^[15],60 mmHg 是应当出现的最大压力,大部分通过血管运输的血液在超过这个压力值时会使其流动受阻。另外,Zenk 在他的博士论文中指出^[16],后仰式的靠背产生高度舒适感,同时,他也指出,腿前下方的支撑可分散负荷,降低压力,减少不适感。

从乘客的可操作性以及本次实验的可实现性角度考虑,本实验将选择靠背角度为变量,体压分布数据作为观测记录的重要数据之一,其余影响因素均参考现有双通道机型参数设定为不变常量。

2 最舒适静态坐姿研究实验

2.1 实验概述

乘客在飞机座椅上会产生各种行为,为保证实验的普遍性,本次实验选取了三项乘客在飞机上最常进行的活动,分别为睡眠、使用手机(或阅读)、使用机载娱乐设施(后简称 IFE)。实验将通过两种方式来记录数据:一种是利用摄像机记录下被测试人员在实验过程中的坐姿变化,为降低坐姿变化的随机性,同时便于记录被测试人员坐姿的变化次数,本次实验将经济舱座椅的四个重要组成部分,分别对应被测试人员的四个身体部位,实验观测分区与座椅对应关系

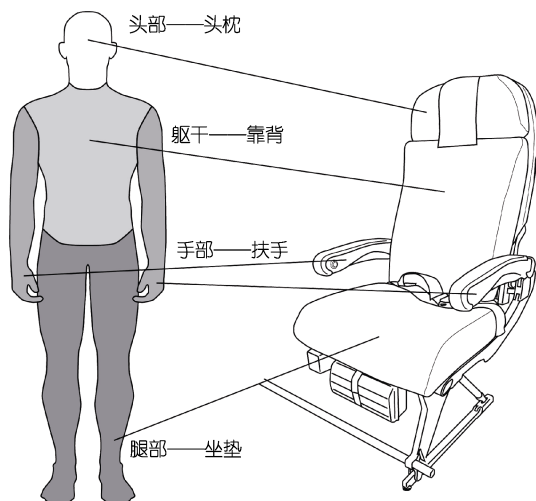


图 2 实验观测分区与座椅对应关系
Fig.2 Relationship between experimental observation zones and seats

见图 2。另一种方式是利用压力分布测试仪，记录被测试人员在实验期间的压力变化数据。将两种方法结合起来，借助 SPSS 软件对实验结果的分析，一方面可以得到被测试人员坐姿变化的次数与频率，为后续设计提供参考；另一方面，结合压力分布测试仪的数据，结合对应坐姿，计算最佳压力值。为保证相对真实的乘坐体验，实验室以现有双通道客机经济舱座椅及布局为参考，经济舱乘客座椅靠背后仰角度约为 16° ，最大倾角约为 106° ，座椅的间距设定为 30 in(约 76.2 cm)。在双通道民航客机的客舱中，三联座椅中间位置的乘客左右两侧均有其他乘客落座，因各种因素导致的不舒适体验最突出，因此，本实验将被测试人员位置设置在三联座椅的中间位置，以优先解决中间乘客面临的问题。

2.2 实验被测试人员

本次实验测试共选取了 24 名测试对象，其中男性测试对象 14 人，女性测试对象 10 人，年龄区间在 20~65 岁，男性测试对象的平均身高为 172.11 cm，女性测试对象的平均身高为 160.50 cm。所有的测试

对象都没有肢体疾病和残疾症状，并能对刺激作出正常反馈，其中仅有一人没有乘坐飞机的经历，其余测试对象均有过一次或多次乘坐飞机出行的经历。

2.3 实验目的

虽然理论上乘客在座椅上的坐姿变化是完全随机的，但在客舱环境、行为习惯、生理特征等因素的影响下，乘客的坐姿变化将会呈现一种循环的状态，即随着时间的推移，乘客最终会在多种坐姿之间切换。本次实验的目的就是找到被试人员采用最多的坐姿，理论上这就是乘客在某一行为下最舒适的静态坐姿。

2.4 实验过程

实验在飞机客舱模拟实验室进行，实验过程见图 3。被试人员将会坐在第二排中间位置的座椅上完成三项测试任务，即睡眠、使用手机（阅读）以及使用 IFE，同时被试人员的前后左右都会有实验人员落座，以模拟真实的乘机情景，测试时间为一小时。随后，被试人员还需在座椅靠背放倒状态下再次完成相应的测试任务，随即实验结束。相关的实验数据将会继续利用 SPSS 软件进行分析处理。

3 实验结果与分析

3.1 被测试人员总体坐姿变化分析

通过前文所设定的观测方式，被试人员产生的每个姿势都将由四个部分组成，即头部(H)、躯干(B)、手部(C)、腿部(L)，在计数时，任意一个部分姿势发生变化都会进行记录。每一个被测试人员进行实验的时候都会产生一定数量的姿势变化，对被测试人员的三项模拟行为进行初步评估，简单对比了三项活动中每位被试人员姿势变化数量情况，整体姿势变化次数汇总见表 1。

通过均值运算，对所得的数据进行整合归类，得到三项模拟行为在靠背调直和靠背放倒状态下的姿势变化数量，均值运算结果见表 2。



图 3 实验过程
Fig.3 The experimental process

表 1 整体姿势变化次数汇总
Tab.1 Summary of overall postural changes

	1	2	3	4	5	6	7	8
睡眠—靠背调直	15	13	17	24	21	24	18	20
睡眠—靠背放倒	22	22	22	6	15	18	20	16
	9	10	11	12	13	14	15	16
使用手机（阅读）—靠背调直	35	47	42	18	30	31	29	40
使用手机（阅读）—靠背放倒	7	11	9	8	19	8	10	9
	17	18	19	20	21	22	23	24
使用 IFE—靠背调直	27	20	14	20	18	15	7	16
使用 IFE—靠背放倒	26	15	20	17	19	21	24	16

表 2 均值运算结果
Tab.2 Result of mean operation

	靠背调直状态	靠背放倒状态
睡眠	19	17.625
使用手机（阅读）	34	10.125
使用 IFE	17.125	19.75

通过整体分析可知，在被试人员睡眠以及使用 IFE 时，靠背放倒状态的姿势变化数量与靠背调直状态的姿势变化数量相差不大；被试人员睡眠时，靠背放倒状态的姿势变化略低于靠背调直状态；被试人员使用 IFE 时，靠背调直状态略低于靠背放倒状态；被试人员使用手机（阅读）时，靠背放倒状态的姿势变化均值远低于靠背调直状态，说明被测试人员更偏向于在靠背放倒的状态下使用手机或是阅读。

3.2 被测试人员头部姿势变化分析

在所有的记录数据中，头部产生的姿势变化有三种，分别为头部左偏、头部摆正与头部右偏，通过对实验中产生的头部数据进行统计分析：L 表示头部左偏；C 表示头部摆正；R 则表示头部右偏。通过将数据输入到 SPSS 软件，可以呈现出头部姿势变化次数统计结果见图 4。

在睡眠时，无论在靠背调直还是放倒的状态下，R 值出现的次数远大于 L 值与 C 值，其中 C 值的数

量最小，这说明在进行睡眠行为时，被试人员的头部极大概率会出现偏倒的情况，并且偏向右侧概率较大。在使用手机（阅读）和使用 IFE 时，被试人员采用头部摆正的姿势次数远高于其他两种姿势。

3.3 被测试人员躯干姿势变化分析

在所有的记录数据中，躯干部分所产生的姿势变化也为三种，分别为躯干左倾、躯干居中以及躯干右倾，其中躯干左倾表示为 L；躯干居中表示为 C；躯干右倾表示为 R。将产生的数据输入到 SPSS 软件中，得到躯干姿势变化次数统计结果见图 5。

统计结果显示，在三种模拟行为中，被测试人员的躯干保持在靠背正中，即采取躯干居中的姿势均占大多数。

3.4 被测试人员手部姿势变化分析

与前文所述的两个观测区域相比，被试人员双手的姿势变化更加丰富，在进行测试的模拟行为中，需要双手参与进行的模拟行为只有一项，即使用手机（阅读），因此这项行为的手部姿势变化会被单独罗列出来分析。在睡眠行为和使用 IFE 行为下，双手的姿势变化总结为五种，即双手交叉置于胸前、双手环抱置于腹部、双手手指交叉置于腹部、双手置于大腿、单手支撑头部。对五种行为进行编号，即 A、B、C、D、E，并将统计结果导入 SPSS 软件进行分析处理，

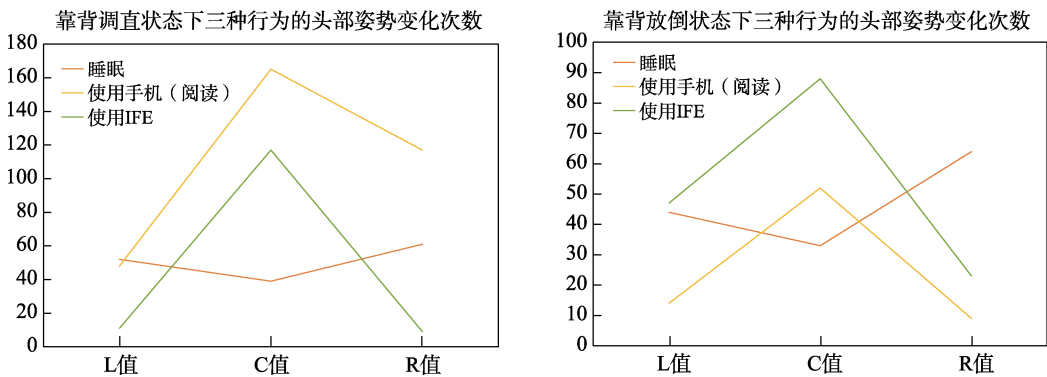


图 4 头部姿势变化次数统计结果
Fig.4 Statistical results of head posture changes

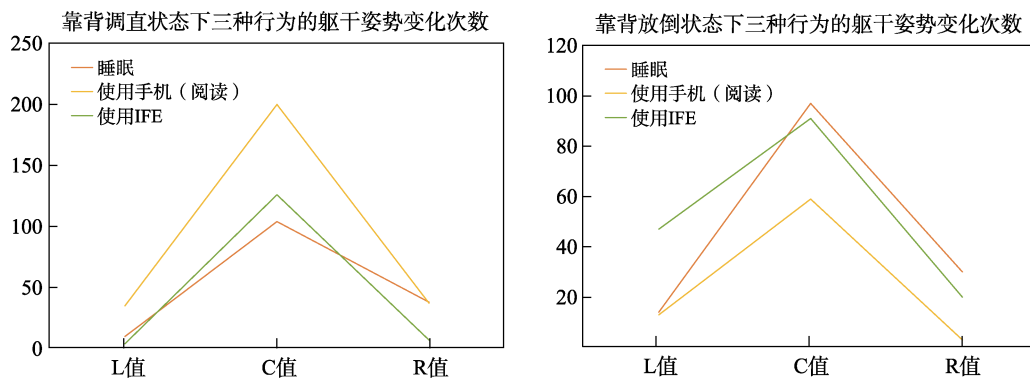


图 5 躯干姿势变化次数统计结果
Fig.5 Statistical results of trunk posture changes

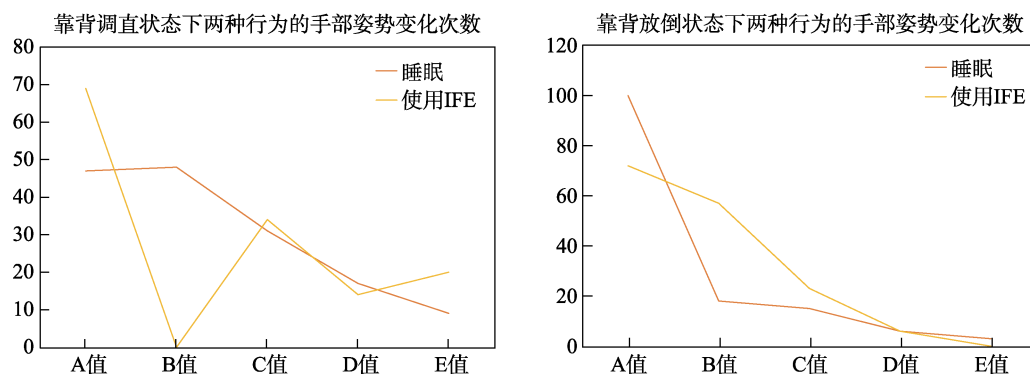


图 6 手部姿势变化次数统计结果 (1)
Fig.6 Statistical results of hand posture changes (1)

手部姿势变化次数统计结果 (1) 见图 6。

统计结果显示,在靠背调直状态下的睡眠和靠背放倒状态下的使用 IFE 中,双手交叉与双手抱腹是被测试人员采用最多的姿势,并且整体来看,双手交叉是被试人员采用次数最多的姿势。

对使用手机 (阅读) 行为的手部姿势变化总结下来有三种,双手持手机 (书籍)、左手持手机 (书籍)、右手持手机 (书籍),并对这三种行为分别赋值:双手持手机 (书籍) 为 D;左手持手机 (书籍) 为 L;右手持手机 (书籍) 为 R。将数据导入到统计软件中,对其进行分析,手部姿势变化次数统计结果 (2) 见图 7。

统计结果显示,双手持手机 (书籍) 是被试人员采用最多的姿势,同时在双手操作手机或拿取书籍时,手肘大部分时间都放置在扶手上形成支撑,因此可以对座椅的扶手进行设计优化,使其便于乘客阅读或使用手机。

3.5 被测试人员腿部姿势变化分析

相比于手部,腿部的变化相对简单,虽然有更多的变化类型,但基本都是单条腿部姿势变化的排列组合,其中主要的姿势变化有六种,分别为双腿弯曲 (A)、双腿伸展 (B)、左腿弯曲,右腿伸展 (C)、右腿弯曲,左腿伸展 (D)、二郎腿 (左腿翘起) (E)、二郎腿 (右侧翘起) (F)。将六种姿势变化分别赋值

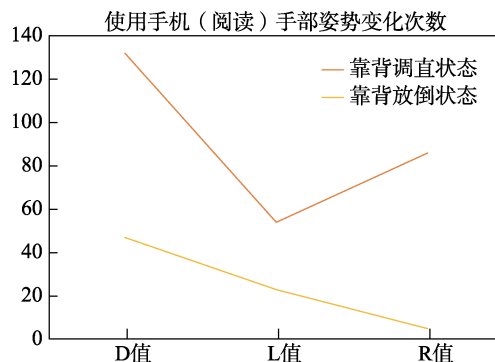


图 7 手部姿势变化次数统计结果 (2)
Fig.7 Statistical results of hand posture changes (2)

为 A、B、C、D、E、F。将数据导入到统计软件中对其进行分析,腿部姿势变化次数统计结果见图 8。

统计结果显示,当靠背放倒后,被试人员大概率会选择伸展腿部的姿势,同时,在靠背调直状态下进行睡眠和使用手机 (阅读),被试人员选择腿部弯曲的姿势与腿部伸展的姿势次数相差不大。

3.6 压力分布测试数据对比分析

前文是对图像数据进行的整理分析,结果显示:姿势变化次数是衡量舒适性的一种方式;压力分布测试仪所记录的压力变化数值则是另一种衡量方式。通过压力测试软件,可以得到每一个被测试人员进行实验时每个时间点的坐垫和靠背的压力数值,通过

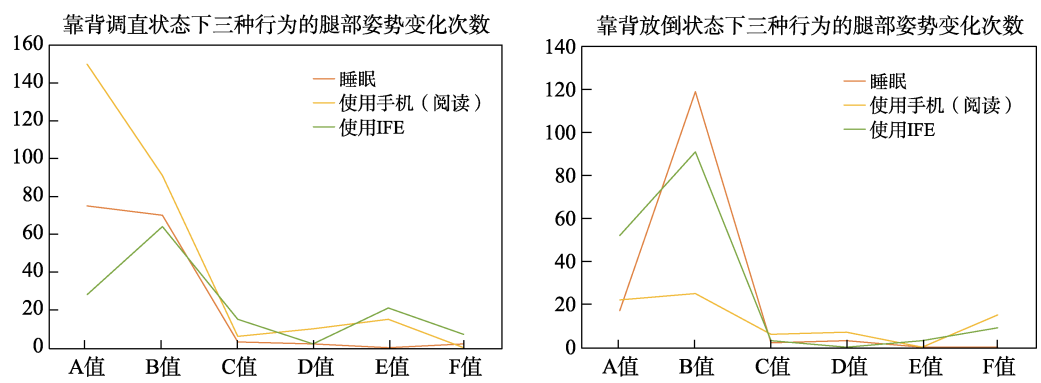


图 8 腿部姿势变化次数统计结果
Fig.8 Statistical results of leg posture changes

表 3 压力分布测试数据汇总
Tab.3 Summary of pressure distribution test data

	调直状态 (单位: mmHg)	放倒状态 (单位: mmHg)	最佳压力值 (单位: mmHg)
睡眠	21.32/23.59(0.903)	21.56/32.27(0.668)	21.51/32.20
使用手机 (阅读)	25.13/21.98(1.143)	21.24/34.51(0.615)	21.19/34.43
使用 IFE	21.04/24.06(0.874)	24.79/25.16(0.985)	21.34/33.72

SPSS 软件计算出相应的均值与最佳压力值, 压力分布测试数据汇总见表 3。表中的数值按照坐垫压力/靠背压力 (比例系数) 的形式表现, 可以看到当比例系数越小, 即分布在靠背上的压力越大, 对比前文的姿势变化次数, 被试人员改变姿势的次数会越少, 也从侧面反映了被试人员感受到的舒适性更高; 另一方面, 在睡眠和使用手机 (阅读) 两种行为都是在座椅放倒状态下比例系数更小, 说明这两种行为更适合较大的靠背角度, 而使用 IFE 在两种状态下, 比例系数差距不大, 但调直状态略小于放倒状态, 因此在这种行为下, 更适合较小的靠背角度。

4 实验结论

4.1 靠背角度调节对舒适感有所提升

通过实验测试所得的压力分布数据显示, 当座椅靠背呈现放倒状态时, 除去使用 IFE 时没有明显的变化外, 其余两种行为下的压力系数都有明显的上升, 这表明在座椅放倒后, 靠背分担了一部分压力, 坐垫上的压力减小, 对坐骨结节的压迫减小, 结合实验结果的坐姿变化次数来看, 放倒靠背后的坐姿变化次数相对靠背调直状态有所减少, 从侧面证明了靠背角度的调节对被试人员的舒适感有提升。

4.2 不同的模拟行为有不同的舒适姿势

通过前文对姿势变化整体与局部的分析整理后, 可以大致对每个模拟行为的舒适姿势进行一个组合, 即将观测分区的四个部分中出现最多的姿势进行组合, 可以得到此次实验所得到的对应模拟行为下的最

表 4 最舒适姿势汇总
Tab.4 Summary of most comfortable postures

	头部	躯干	手部	腿部
睡眠	右偏	摆正	交叉于胸前	双腿伸展
使用手机 (阅读)	居中	摆正	双手持手机 (书籍)	双腿伸展
使用 IFE	居中	摆正	交叉于胸前	双腿弯曲

舒适姿势, 最舒适姿势汇总见表 4。

4.3 优化设计方案

根据前文整理所得的最舒适坐姿, 为座椅预设三种模式, 根据乘客的最舒适坐姿, 参考人机尺寸数据对飞机座椅进行改良设计, 飞机座椅优化设计方案见图 9。在阅读模式下, 座椅后仰角度 8°, 靠背扶手位置的骨架突起, 在椅面形成突起, 方便乘客支撑手臂; 在睡眠模式下, 座椅后仰角度 16°, 两侧头枕由骨架带动向内翻折 30°, 满足大部分人头部右偏的习惯, 同时翻折的头枕起到一定的遮挡作用, 起到一定保护隐私的作用; 在娱乐模式下, 座椅后仰角度 10°。

5 结语

本文通过结合观察法与压力分布实验, 研究乘客乘机过程中最常进行的三项行为产生的最舒适静态坐姿与最佳压力值, 并以此为参考, 进行座椅优化方案设计。由于各方面的限制, 本次研究仍存在诸多不足之处, 如被试在测试过程中都使用了手机, 或在实验的过程中出现了与研究人员对话等会产生姿势不

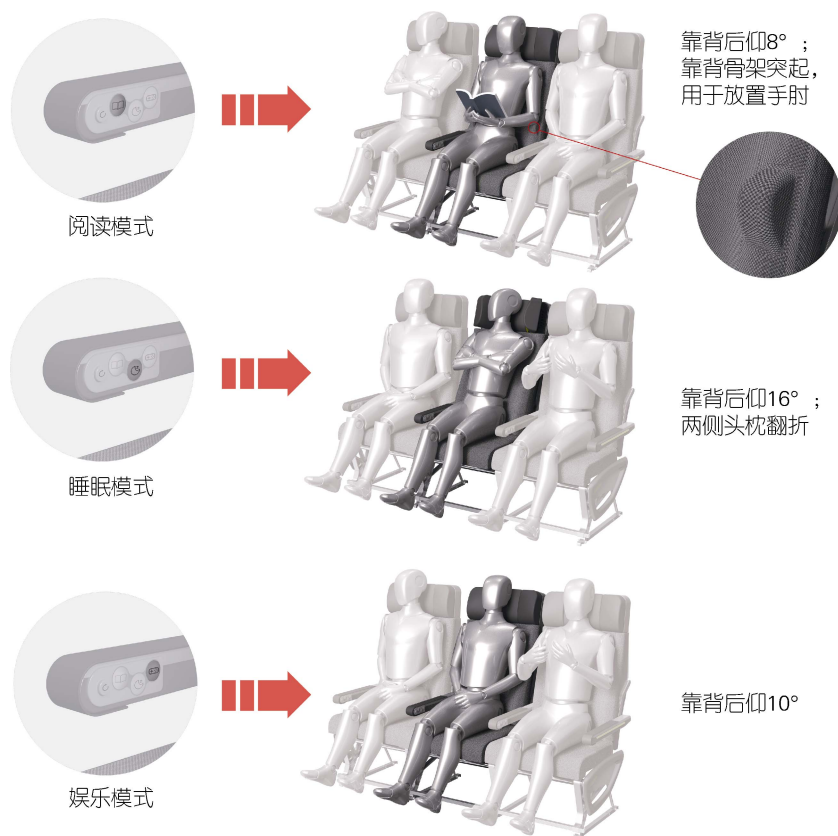


图9 飞机座椅优化设计方案

Fig.9 Optimization design scheme of aircraft seat

自然变化的因素。综上所述,本实验对不同行为产生的坐姿变化的分析研究不仅是针对于飞机座椅的优化设计,而且也对高铁乘客座椅、大巴乘客座椅设计有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] QUIGLEY C. Anthropometric Study to Update Minimum Aircraft Seating Standards[J]. Report Prepared for Joint Aviation Authorities, 2019(1): 142.
- [2] 徐江华. 飞机客舱设施造型安全人机设计研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2019.
XU Jiang-hua. Research on the Design of Mannequin Safety of Aircraft Cabin Facilities[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2019.
- [3] 钟媛. 民航座椅结构优化及造型设计研究[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2015.
ZHONG Yuan. Structural Optimization and Modeling Design of Civil Aviation Seats[D]. Shenyang: Shenyang University of Aeronautics and Astronautics, 2015.
- [4] 刘枫. 基于人机工程的民航座椅设计研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2018.
LIU Feng. Research on Civil Aviation Seat Design Based on Ergonomics[D]. Xi'an: Xi'an University of technology, 2018.
- [5] 阳娟, 刘仟. 基于人机工程学的新型轻薄航空座椅优化研究[J]. 科技展望, 2016(23): 177.
- [6] 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. Sitting Posture Theory and Seat Design Principle and its Application[J]. Journal of Jiangnan University, 2005(6): 620-625.
- [7] 彼得·温克, 克劳斯·布劳尔. 飞机客舱舒适性设计[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2013.
PETER V. Aircraft Interior Comfort and Design[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2013.
- [8] BLOK M. Comfortable Flying: Comfort in Aircraft Interiors Seen Through the Eyes of the Passengers[J]. Tijdschrift Voor Ergonomics, 2007, 32(4): 4-11.
- [9] STINSON M. Seat-interface Pressure: A Pilot Study of the Relationship to Gender Body Mass Index and Seating Position[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2003, 84(3): 405-409.
- [10] ROSMALEN D. Using Both Qualitative and Quantitative Types of Research to Design a Comfortable Television Chair[J]. Design Research, 2009, 8(1): 87-100.
- [11] WILKE H. New in Vivo Measurements of Pressures in the Intervertebral Disc in Daily Life[J]. Spine, 1999, 24(8): 755-762.

(下转第422页)