弹射座椅的静态舒适性仿真

黄加阳 邱义芬 颜吟雪 姜 南

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院，北京 100191) (中国航空救生研究所，襄樊 441003)

摘 要：针对弹射座椅舒适性存在的不足，基于 Poser 软件，首先以中国男性飞行员尺寸为依据，建立了三维静态人体模型，保证了人体主要部位尺寸的准确性；然后把 AutoCAD 中的弹射座椅导入 3Dmax 软件中，结合飞机座舱的几何尺寸及各操纵机构的几何尺寸，建立弹射座椅-座舱操纵机构模型. 最后把该模型导入 Poser 软件中，利用人机工效学的相关理论，建立弹射座椅-飞行员-座舱操纵机构系统平台模型. 在系统平台中对飞行员进行操纵仿真和分析，讨论了影响弹射座椅舒适性的因素并提出了优化设计方法. 由于系统平台中参数的准确性和可调节性，提高了弹射座椅舒适性研究的标准化和通用化程度.

关 键 词：Poser 软件；人机工效学；舒适性；操纵机构；弹射座椅

中图分类号：V 244

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)10-1168-04

Simulation of ejection seat's static amenity

Huang Jiayang Qiu Yifen Yan Yinxue

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Jiang Nan

(Aerospace Life-support Institute Ltd, Xiangfan 441003, China)

Abstract: Aiming at the problems in the amenity of the ejection seat, based on the Poser software, the 3D static manikins of chinese male pilots was established, insuring the veracity of the main parts of the human body. Secondly, the ejection seat model was imported to 3Dmax, and established a ejection seat-control equipment model, according to geometry size of plane cabin and control equipment. At last, a ejection seat-pilot-control equipment system model was established by utilizing the theory means of ergonomics. By taking a movement simulation and analysis for the pilot on the platform, some amenity factors was discussed and the optimization designing method was provided. The platform can increase the degree of standardization and generalization of the amenity study, because of the veracity and adjustment of the parameter.

Key words: Poser software; ergonomics; amenity; steering apparatus; ejection seat

火箭弹射座椅由于其特殊的使用场合及目的，长期以来，研究领域都集中在弹射救生性能方面，现代弹射座椅的救生性能已日益先进和完善. 近年来，其乘坐舒适性问题引起了空军使用部门及研制单位的高度重视. 从目前所做的工作及效果来看，国内在弹射座椅舒适性设计方面面临的最大问题是基础性的研究不够，未能将人、座椅和座舱环境作为一个人机系统[1]来加以考虑，对乘坐舒适性的研究缺乏必要的基础理论以及有效的研究手段.

本文首先结合中国飞行员的人体尺寸，基于 Poser 软件的基础上建立了“弹射座椅-飞行员-飞机座舱操纵机构”系统平台. 然后在系统平台中对操纵机构进行操纵仿真，讨论了影响弹射座椅舒适性的因素，并提出优化设计方法. 这为操纵和乘坐的舒适性研究提供重要的理论基础，提高了操

收稿日期：2007-10-25

作者简介：黄加阳(1983—)，男，福建晋江人，硕士生，sky796234@163.com.

纵机构和弹射座椅的设计水平,以满足飞行员长期飞行需求.

1　操纵装置空间布置优化

飞行员通过座舱主操纵装置中的驾驶杆、油门杆、航向操纵脚蹬等其他控制按钮来操纵、控制飞机.因此,飞行员在驾驶飞机时,操纵是否安全、舒适、高效,大都与飞机座舱中脚蹬、操纵杆、油门杆等的布置有着密切的关系[2].

飞机座舱中这些主要操纵机构的合理布置,需要根据飞机座舱几何尺寸和军事装备和设施的人机工程设计准则[3]中对于操纵机构的有关要求和规定标准来共同确定.

1.1　人体运动解析

人体模型在模拟飞行员驾驶飞机时,飞行员背靠座椅,目视前方,右手握驾驶杆、左手持油门杆.模拟人体运动时,按照飞行员处于自然直立坐姿平视时的状态,设定整个躯干不动,只是手脚关节在合理的范围内运动.

人体运动解析中手或脚在任一空间的位置由式(1)确定,其方法是先建立一个三维坐标系(X,Y,Z),然后再建立固定于每一个运动肢体上的相对坐标系(x_n,y_n,z_n),人体运动时,手或脚在基坐标系下的空间位置表示如下.

$$\begin{Bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{Bmatrix} = \boldsymbol{T}_n \begin{Bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{Bmatrix} + P_n \tag{1}$$

$$\boldsymbol{T}_n = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中,P_n 为坐标系(x_n,y_n,z_n)原点在基坐标系(X,Y,Z)中的坐标;$\boldsymbol{T}_n$ 为相对坐标系至基坐标系的转换矩阵,计算过程如式(2);φ,θ,ψ 为相对坐标系至基坐标系的转换欧拉角.

1.2　飞机座舱航向脚蹬优化布置

对于脚蹬的行程和调节量,要运用不同百分位的人体尺寸模拟出腿部运动范围才能确定[4].可以结合人体的尺寸、座椅参考点的位置和人体腿部各关节的舒适性角度,利用式(3)来求解出脚蹬转轴的舒适性范围,对脚蹬进行优化布置.

$$\left.\begin{aligned} &\alpha+\beta+\gamma=180^\circ \\ &B\times\sin\gamma=A\times\sin\alpha+C+E \\ &F=D+A\times\cos\alpha+B\times\cos\gamma \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

式中,α 为大腿切角;β 为大腿与小腿轴线夹角;γ 为小腿轴线与过脚蹬转轴点水平线的夹角;A 为大腿长;B 为小腿长;C 为髋关节至参考点纵向距离;D 为横向距离;E 为参考点至脚蹬垂直距离;F 为参考点至脚蹬水平距离.

1.3　侧式驾驶杆或油门杆的优化布置

这些操纵机构的最佳位置的确定首先要确定左右控制台的位置、高度和形状.而要确定控制台的位置、高度和形状需通过不同百分位飞行员的手部活动来确定;然后,以座椅参考点为坐标原点建立坐标系,以肩关节和肘关节为原点建立两个固接坐标系,结合人体模型尺寸、座椅的布置和手部关节的舒适性角度,利用式(1)和式(2),分别考察偏离座椅中心线的几个位置,就可以分析出能够使飞行员舒适操纵这些操作机构的布置情况[4].

2　系统平台模型的建立

2.1　人体建模

本文采用的是基于 Poser 人体模型库模型的局部尺寸调节的方法[5]来建立人体模型.首先选用软件 Poser 中的人体模型作为操作对象,然后严格参照中国男性飞行员的人体尺寸对这些模型进行分析和尺寸调整,最终建立坐姿下第 5,50,95 百分位中国男性飞行员的三维静态人体模型,保证了人体主要部位尺寸的准确性.

2.2　弹射座椅建模

本文要建立的“弹射座椅-飞行员-操纵机构”系统平台中,弹射座椅的头靠、背靠和坐垫与飞行员相应身体部位的接触情况,才是所关心的目标,而弹射座椅是在 AutoCAD 软件绘制而成,且结构比较复杂,因此应对弹射座椅模型结构进行精简.

本文建立的是第 5,50,95 百分位的飞行员人体模型,由于存在着身高方面的差别,不能保证飞行员眼位的合理布置,这个要求可以通过调整弹射座椅椅盆位置来实现.弹射座椅的椅盆是可调的,其调节量是 ±45 mm,具体操作为:打开 AutoCAD 中的弹射座椅模型,输入“移动”命令,选择椅盆为操作对象,以坐标原点为基点,输入位移量,按照弹射轴线方向移动就可以得到调节后的座椅模型.

2.3　座舱操纵机构建模

飞机座舱内的各操纵机构在任何一空间的位置由以下公式确定.

$$P_A = P_B + P_{AB} \tag{4}$$

其中，点 P 表示中立位置时各操纵机构的位置；坐标系{B}和坐标系{A}分别表示座椅最高点的坐标系和座椅参考点的坐标系；P_A 和 P_B 分别表示各操纵机构 P 在坐标系{A}和坐标系{B}的位置；而 P_{AB} 表示{B}相对于{A}的位置.

根据优化后操纵机构相对座椅参考点的位置关系，结合座椅中位参考点坐标，利用此公式就可以计算出各操纵机构的位置坐标.

当各位置坐标确定后，就可根据 GJB2873-97 中有关操纵机构的尺寸要求，利用 3Dmax 的绘图工具建立起“弹射座椅-操纵机构”模型.

2.4 系统平台模型建立过程

在启动 Poser 软件之后，首先打开“显示”菜单中“显示地面”命令，让 Poser 界面中有种真实的地面效果，然后将“弹射座椅-操纵机构”几何模型导入 Poser 中，选择“放置到地面”功能将模型的底座表面放置在 Poser 中的“地面”高度，通过 X，Y，Z 方向的平移将座椅模型调节到能够符合座高的位置.

同样选择“放置到地面”功能将建好的三维人体模型准确地放置在“地面”，通过 X，Y，Z 平移和改变大腿与躯干、大腿与小腿等的关节角度，在软件作自带的运动干涉检查功能的帮助下，以座椅参考点为基准点，根据臀部参考点、靠背角和坐面角以及驾驶杆握点、油门杆握点、脚蹬受力点等的要求，将人体放置到合适的操纵位置上，这样一个逼真的“弹射座椅-飞行员-操纵机构”系统平台就建立起来了，如图 1 所示.



图 1 “弹射座椅-飞行员-操纵机构”系统平台模型

3 仿真及结果分析

基于 Poser 软件开发的“弹射座椅-飞行员-操纵机构”系统平台，为弹射座椅的舒适性研究提供了一个良好人机界面.

为进一步分析影响弹射座椅舒适性问题的因素，进而提出优化设计方案，采用了在系统平台中对人体进行操纵仿真. 以飞行员处于中立位置操作各操纵机构时为原始状态，在舒适性操纵角度范围内，改变飞行员的手和脚的操纵情况（以先操纵脚后操纵手为例），整个仿真过程分为 30 等份（即为 30 帧），其中横坐标表示时间，纵坐标表示弯曲角度或位移（正值表示向前，负值表示向后），仿真结果如图 2 和图 3 所示.

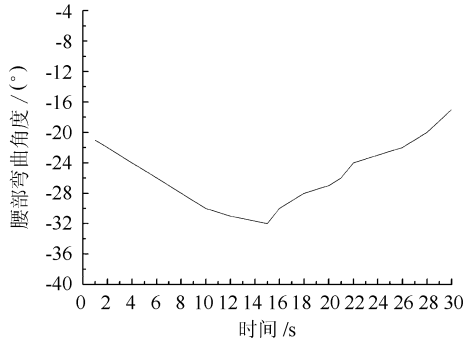

图 2 舒适操纵下腰部弯曲角度变化图

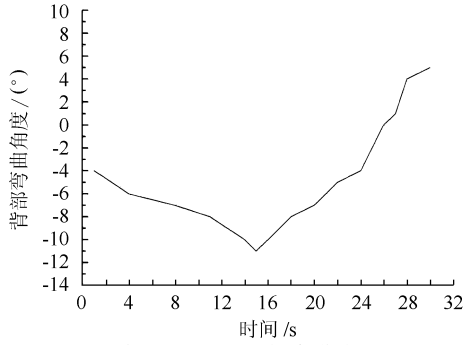

图 3 舒适操纵下背部弯曲角度变化图

通过对仿真结果分析，背部和腰部的弯曲变化程度又比较大，那么在飞行员长时间的飞行过程中，飞行员的脊柱不能保持自然状态，躯干的重量在靠脊柱承受的同时，也要靠脊柱肌肉的受力来平衡. 脊柱偏离自然状态的程度越大，则背部脊柱肌肉所要提供的平衡力也越大，这势必会造成背部和腰部的肌肉疲劳和损伤. 而且从操纵过程中，飞行员与座椅的匹配图中也可以看出，飞行员的腰部和背部处于很不舒适的状态，有悬空感觉，如图 1 所示.

因此影响飞行员乘坐舒适性的最重要的因素之一是座椅的靠背中下部的设计问题，而问题的解决就是要设计出符合人体舒适性的腰靠[6].

从仿形思路出发，在“弹射座椅-飞行员-操纵机构”系统平台中模拟出舒适状态下飞行员腰背中下部分的生理曲面图，如图 4 所示. 把该曲面和座椅靠背结合起来，通过格式转换导入 3Dmax 中测量计算就可以得出一些腰靠的表面形状数据

来.由于系统中各尺寸的准确性,从而达到了仿形的目的.从图 5 中还可以看出,本系统中的参数是可以调节的,从而解决了要从众多飞行员身上采集数据造成工作量太大的问题,具有较大的通用性.

仿形表面形状数据得出后,就可以设计出符合人体舒适性的腰靠.



图 4　第 50 百分位飞行员腰背曲线模拟图



图 5　腰背曲线模拟界面

4　结 束 语

不论是从产品人性化设计的角度出发,还是从高效发挥武器装备作战效能的需求出发,舒适性设计日益成为重要研究内容之一.本文主要是基于 Poser 等三维软件开发了"弹射座椅-飞行员-座舱操纵机构"系统平台,可视化显示了弹射座椅与飞行员、操纵机构之间的位置匹配关系,并对飞行员的操纵和乘坐舒适性进行了仿真分析,初步地了解了影响飞行员舒适性的主要因素,对此提出了建设性的意见,为以后的进一步研究打下了良好的基础.

本研究方法对军用飞机弹射座椅的舒适性研究具有工程应用参考价值.

参考文献(References)

[1] Bernotat R K. Human-machine-systems research and application [M]. Wachtberg F R G: Research Institute for Human Engineering, 1990

[2] 王睿,庄达民.基于 SimMechanics 的飞行员操作仿真[J].北京航空航天大学学报,2007,33(7):765－768
Wang Rui, Zhuang Damin. Simulation and analysis of pilots's manipulation based on SimMechanics[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2007,33(7):765－768(in Chinese)

[3] GJB 2873-97,军事装备和设施的人机工程设计准则[S]
GJB 2873-97,Ergonomics design standards of military equipment and facilities [S] (in Chinese)

[4] 袁修干,庄达民,张兴娟.人机工程计算机仿真[M].北京:航空航天大学出版社,2005:2－8
Yuan Xiugan, Zhuang Damin, Zhang Xingjuan. Ergonomics computer simulation [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press,2005:2－8 (in Chinese)

[5] Coquillart S. Eextended free-form deformations:a sculpturing tool for 3D geometric modeling[J]. Computer Graphics, 1990,24(4):187－193

[6] 姜南.座椅设计中的人体仿形问题[J].中航救生,2004(2):22－25
Jiang Nan. Human profile modeling of ejection seat design [J]. China Aeronautical & Astronautical Life-support,2004(2):22－25(in Chinese)

(责任编辑:娄　嘉)