

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.01.008

办公椅联动机构的参数优化设计研究

谢 巍¹, 秦宝荣^{1*}, 曾 健¹, 王郑兴², 俞鹏飞²

(1. 浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室, 浙江 杭州 310014;

2. 浙江恒林椅业股份有限公司, 浙江 安吉 313300)

摘要:针对办公椅座背联动过程中的“搓背”现象的分析,得到了实现办公椅“零搓背”的条件。在 ADAMS/View 中对办公椅联动机构进行了参数化建模,以实现联动过程中的“零搓背”性能,以人与靠背接触的背靠点和腰靠点分别与座板上坐点建立了连线,以连线长度在联动过程中为给定标准值为目标,并将诸多变量对目标函数的影响程度进行了分析,确定了主要设计变量。使用规格化加权法进行了优化和验证。优化结果表明:办公椅靠背在联动过程中的实现了零搓背,提高了办公椅联动过程中的舒适性。

关键词:办公椅;靠背联动;多目标参数优化;ADAMS

中图分类号:TH112;TP242

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)01-0039-05

Parameter optimization design of the linkage structure of office chair

XIE Wei¹, QING Bao-rong¹, ZENG Jian¹, WANG Zheng-xing², YU Peng-fei²

(1. Key Laboratory of E&M, Ministry of Education&Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Zhejiang Henglin Chair Industry Co., Ltd., Anji 313300, China)

Abstract: Aiming at analyzing the phenomenon of “back rub” in the process of the chair linkage, the condition of achieving the “zero back rub” of the office chair was obtained. The parametric modeling of the linkage mechanism of the office chair was carried out on ADAMS/View to realization the performance of “zero back rub” in the process of linkage. and connections between point1 with point3 and point2 with point3 was established. The point1 is both on the back of the chair and on the back of people. The point2 is both on the back of the chair and on the waist of people. The point3 is both on the board of seat and on the hips of people. In the process of linkage, the line length is the known standard value, and the influence degree of many variables on the objective function was analyzed, and the main design variables were determined. The normalized weighting method was used to optimize and validate. The optimization results show that in the process of linkage, the chair achieves the target of “zero rub back” and the comfort of the office chair was increased.

Key words: office chair; seat plate linkage; multi-objective parameter optimization; ADAMS

0 引 言

具有靠背座板联动的办公椅成为办公人群主要选择,这种办公椅靠背能够后倾一定的角度并带动座板一起运动,可以给上班族短暂的休息提供相对健康舒适的位姿^[1]。现今带有靠背座板联动的办公椅普遍都存在“搓背现象”,即靠背在向后转动一定

角度时带动座板运动,这时人的背部与靠背接触面或坐点与座面产生一定滑动,产生一种摩擦感,并且腰部在联动过程中逐渐与椅背分离,得不到椅背有效的支撑,即称为“跑腰”现象^[2]。传统的办公椅设计大多都只考虑功能及强度要求,而对要实现人机工程学要求的最佳的结构尺寸参数往往考虑的较少^[3-4]。

收稿日期:2016-08-01

作者简介:谢 巍(1991-),男,湖南永州人,硕士,主要从事机械设计理论方面的研究. E-mail: xw392341761@163.com

通信联系人:秦宝荣,男,教授,硕士生导师. E-mail: 454301212@qq.com

在人机工程学理论并结合研发经验的基础上,本研究设计一种具有“零搓背”功能的靠背座板联动的办公椅,并绘制机构简图,分析实现“零搓背”的条件。“零搓背”问题为多目标优化问题,借助 ADAMS 软件建立参数化模型,对结构的关键联动点的位置进行优化设计^[5]。

1 靠背座板联动机构

靠背座板联动机构包括靠背、椅脚架、座板,联动办公椅示意图如图 1 所示。



图 1 联动办公椅示意图

靠背座板联动机构的简化模型为连杆机构。靠背可绕椅脚架连接点旋转,座板的一端与靠背连接,座板可绕着该连接点旋转,座板的另一端由椅脚架支撑,并可绕支撑点转动和滑动。靠背座板联动的工作原理为:靠背向后倾仰一定角度时,靠背带动座板绕着两者的连接点旋转,座板的另一端可绕着椅脚架支撑点转动和滑动,从而实现联动功能。

2 靠背座板联动机构“零搓背”分析

联动座椅的机构简图如图 2 所示。

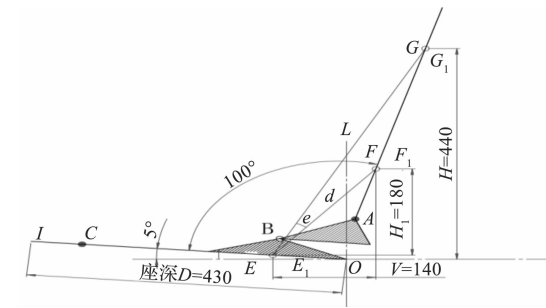


图 2 联动座椅机构简图

G_1AB —椅背; A —靠背与椅脚架连接的支撑点;
 C —椅脚架对座板的支撑点; B —座板靠背联动点
根据人机工程学理论结合办公椅设计经验,座板

的初始时角度为 5° ,并且要求靠背向后倾仰 12° ,同时座板的运动角度保持在 5° 以内^[6]。本研究以座面端点 O 为原点建立坐标系,并进行如下假设,椅背与人背部接触为一条线段。定义接触线的最低点 F 为人背部的腰点,最高点 G 为人背部的背靠点, E 为人体上的座点, F_1 、 G_1 、 E_1 为座椅上相对应的接触点,此时 $\triangle GEF$ 为人与座椅的人机交互三角形。

如图 2 所示,在联动过程中,本研究将 G 、 F 及 E 视为与椅子上对应的点 G_1 、 F_1 、 E_1 不发生滑动点,“零搓背”条件可视为在联动过程中保证交互三角形 $\triangle GEF$ 面积不变即可。由 $\triangle GEF$ 面积公式:

$$s_{\triangle GEF} = 1/2 * dL * \text{sine}, \text{sine} = \sqrt{1 - \cos^2 e} \tag{1}$$

$$\text{cose} = (d^2 + L^2 - l_{FG}^2)/(2dL) \tag{2}$$

求得:

$$s_{\triangle GEF} = \sqrt{p(p-L)(p-d)(p-l_{FG})} \tag{3}$$

式中:

$$p = (d + L + l_{FG})/2, e = \angle GEF \tag{4}$$

$$d = L_{FE}, L = L_{GE} \tag{5}$$

在联动过程中 l_{FG} 不变,由上述面积公式分析,只要保证腰靠点 F 到座点 E 及靠背点 G 与坐点 E 的长度不变即可,即保证了动态 $\triangle GEF$ 面积不发生变化。由人机工程学及设计经验,正常坐姿下,座点与腰靠点的尺寸关系为 $L_{FE} = 228 \text{ mm}$, $L_{GE} = 481 \text{ mm}$ 时,为较舒适的人机交互参数,这也是参数化优化设计的目标^[7-8]。

3 靠背座板联动机构仿真分析

根据图 2,可以在 ADAMS/View 中建立参数化模型。在 ADAMS 运行分析前,需要建立几何点、添加约束和力、添加驱动等步骤。初始时座椅关键点设计参数如表 1 所示。

表 1 模型关键几何点的坐标

关键点	X/mm	Y/mm	Z/mm
O	0	0	0
支撑点 A	16	62	0
联动点 B	- 110	43	0
座板支撑点 C	- 278. 93	20	5
座板支撑点 D	- 278. 93	20	- 5
坐点 E	- 110. 61	9. 68	0
腰靠点 F	29. 39	189. 68	0
背靠点 G	96. 46	440	0

其中杆 CD 为座板转动滑移点 C 的支撑杆。虚拟样机的模型如图 3 所示。

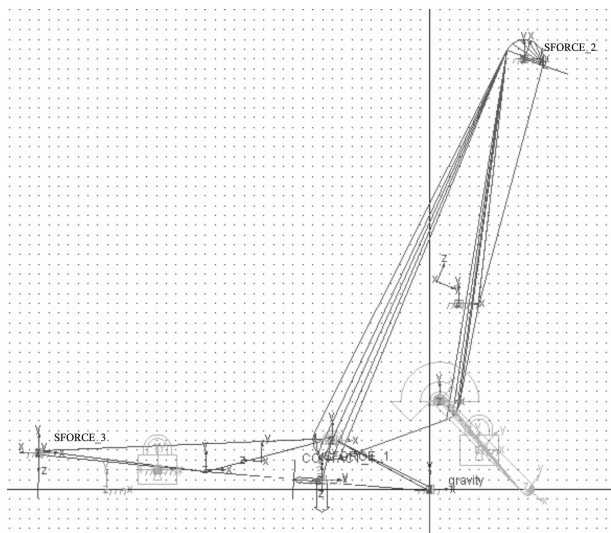


图3 虚拟样机模型图

本研究在ADAMS中分别建立联动过程中点F点、G点与E点的距离测量,并将测得的距离与228 mm、481 mm这组人机工程学较佳的数据作差建立测量函数。运行仿真,得到腰靠点、背靠点和坐点连线FE与GE的测量函数变化曲线如图4所示。

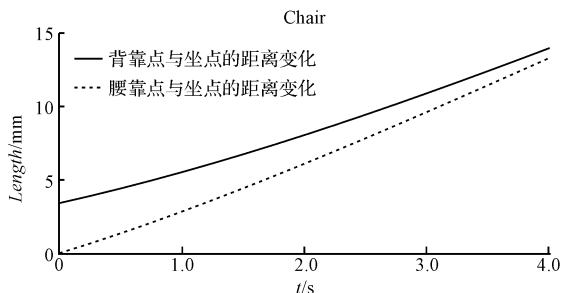


图4 腰靠、背靠与坐点距离变化曲线

靠背、座板角度变化曲线如图5所示。

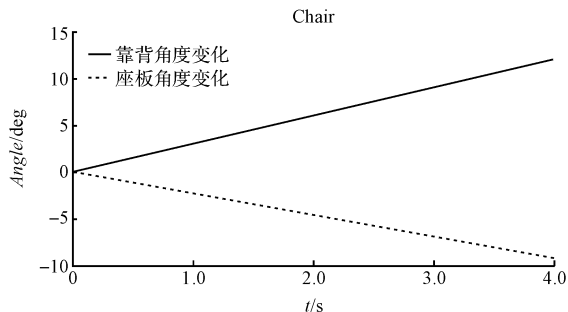


图5 座板靠背角度变化曲线

由图4、图5可知,当靠背从初始位置向后运动12°过程中,腰靠点与坐点距离与标准值差值从初始时的0增加到了13.27 mm,背靠点和坐点与舒适尺寸481 mm差值由初始时的3.45 mm增加到了13.95 mm。随着这两连线距离的增加,会使人在向后

靠的过程中背部的接触面与靠背产生滑动,会有明显的“搓背感”,让人产生不适感。同时在靠背后倾12°运动过程中,座板向上运动了9°,此时相对于水平面有4°的前倾量,让人有前倾的趋势,不符合人机工程学座板相应的运动角度在5°以内的要求,因此需要对A点和B点坐标进行优化。

4 靠背座板联动机构参数优化设计

4.1 点的参数化及优化建模

本研究通过参数化点的方式建立机构的参数模型,当点的坐标变动时,联动机构的模型也会发生相应的变化,使构件的运动轨迹也发生变化^[9]。参照图2、图3,将A点和B点的坐标参数化,得到A点坐标(DV_1,DV_4),B点为(DV_2,DV_3),模型中其余各点为定点保持不变。

ADAMS/view中优化时,目标函数只能是一个,而联动机构需要保持两条动态线段的长度不变,属于多目标优化问题。对于多目标优化问题,采用规格化加权法进行优化计算,将多目标问题转化为单目标方法,并选取最优结果。

由上述分析,优化模型的分目标函数可表示为:

$$\text{Min}(\text{MEA}(L_{G_1E_1}) - 481) \quad (6)$$

$$\text{Min}(\text{MEA}(L_{F_1E_1}) - 228) \quad (7)$$

使用规格化加权法总的目标函数为^[10]:

$$F(x) = 0.368 \cdot (\text{MEA}(L_{G_1E_1}) - 481) + 0.632 \cdot (\text{MEA}(L_{F_1E_1}) - 228) \quad (8)$$

式中:MEA(L_i)—运行过程中 L_i 的动态测量值,下同。

约束条件可表示为:

(1) 将各单目标函数作为约束条件:

$$\text{MEA}(L_{G_1E_1}) - 481 \leq 0 \quad (9)$$

$$\text{MEA}(L_{F_1E_1}) - 228 \leq 0 \quad (10)$$

(2) 座板角度约束条件:

$$\text{MEA_ORINT_zuoban} - 3 \leq 0 \quad (11)$$

式中:MEA_ORINT_zuoban—座板测量角度值。

(3) 为保证联动旋转轴正确安装:

$$\text{DV}_1 - \text{DV}_2 \leq 30 \quad (12)$$

$$|\text{DV}_3 - \text{DV}_4| \leq 30 \quad (13)$$

(4) 为保证联动过程中的力学性能:

$$L_{G_1A} \cdot G_1 = F_B \cdot L_{AB} \quad (14)$$

$$G \cdot X_{E_1C} < F_B \cdot \cos\theta \cdot X_{BC} \quad (15)$$

于是:

$$G \cdot X_{E_1C} - L_{G_1A} \cdot G_1 / L_{AB} \cdot \cos\theta \cdot X_{BC} < 0 \quad (16)$$

式中:

$$X_{E_1C} = X_{E_1} - X_C; X_{BC} = DV_2 - X_C \quad (17)$$
$$L_{G_1A} = \sqrt{(DV_1 - X_{G_1})^2 + (DV_4 - Y_{G_1})^2} \quad (18)$$
$$L_{AB} = \sqrt{(DV_1 - DV_2)^2 + (DV_4 - DV_3)^2} \quad (19)$$
$$\cos\theta = (DV_1 - DV_2)/L_{AB}; \quad (20)$$

式中: L_i —线段*i*的长度; G_1, G —联动时人对靠背的作用力,取 $G_1 = 245\text{ N}$, $G = 770\text{ N}$; F_B — B 点的作用力; θ — L_{AB} 与*X*轴的夹角; X_I — I 点的横坐标。

4.2 联动机构优化分析

ADAMS中优化分析是在约束条件下,通过改变参数点的数值进行迭代运算,以寻求目标函数最优解。ADAMS中优化分析的流程为:设计研究、试验设计、优化设计^[11-15]。

4.2.1 设计研究

为衡量各变量对目标函数的影响程度,变量取值变化时目标函数值同样发生变化,可得到各变量的敏感度,从而将对目标函数影响大的变量进一步研究^[16]。设计变量的初值及变化范围和对目标函数的敏感度值如表 2 所示。

表 2 各变量取值及敏感度值

变量参数	DV_1	DV_2	DV_3	DV_4
对应坐标点	POINTA_X	POINTB_X	POINTB_Y	POINTA_Y
初始值/mm	16	-110	43	62
取值范围/mm	(-80,25)	(-160,-20)	(15,90)	(15,150)
敏感度	-0.024 3	0.320 4	-0.103 1	-0.004 6

从表 2 可以得知,设计变量 DV_2, DV_3 对目标函数的影响最大。

4.2.2 试验设计

本研究将 DV_2, DV_3 进行组合,分析对目标函数的影响,可缩小优化分析时变量的取值范围,提高优化效率。为了更直观地进行分析,笔者将迭代过程中的数据输入到 Matlab 中进行绘图,得到目标函数关于两个设计变量的影响如图 6 所示。

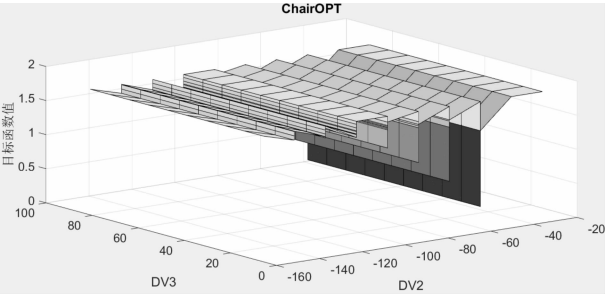


图 6 目标函数关于组合变量影响图

设计变量 DV_2 取值范围为 $(-100, -40)$, 同时 DV_3 取值范围为 $(15, 90)$ 时, 目标函数处于取值最小

的区域。

4.2.3 优化设计

根据上述分析,本研究将 DV_2, DV_3 作为最终设计变量,同时将其取值范围进行相应的调整。同时对约束条件函数进行添加,运行优化设计。优化后 DV_2、DV_3 的取值分别为 -53.31 mm 、 72.95 mm 。优化前后两分目标函数及角度的对比曲线如图(7~9)所示。

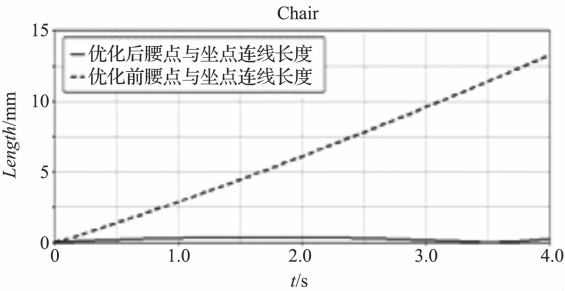


图 7 优化前、后腰点与坐点连线变化

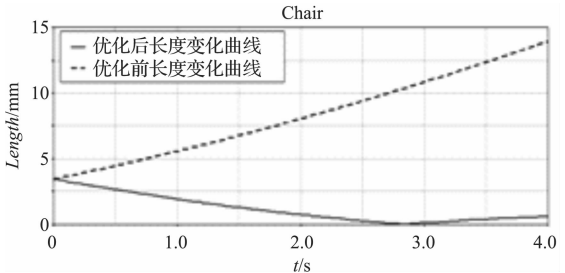


图 8 优化前、后背靠点与坐点连线变化

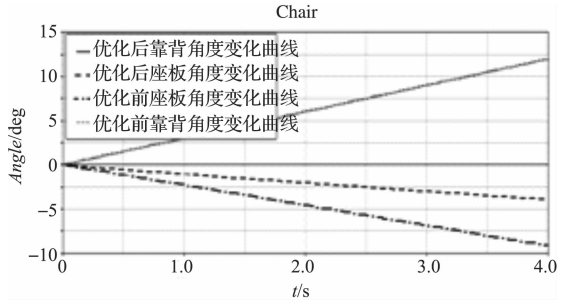


图 9 优化前、后靠背座板运动角度曲线

优化前、后 DV_1、DV_2、DV_3、DV_4 的值如表 3 所示。

表 3 优化前、后参数对比

变量参数	优化前	优化后
DV_1/mm	16	16
DV_2/mm	-110	-53.31
DV_3/mm	43	72.95
DV_4/mm	62	62
腰靠与标准值最大差值/mm	13.27	0.42
背靠与标准值最大差值/mm	13.95	3.45
座板最大运动角度/(°)	9	3.9

由图(7~9)及表3可知,优化前腰点、背靠点与坐点的连线与标准值的差值在联动过程中最大值分别为13.27 mm和13.95 mm,优化后两目标函数最大值分别为0.42 mm和3.45 mm。优化前靠背在向后运动 12° 过程中座板最大运动角度为 9° ,优化后最大值为 3.9° 。因此实现了“零搓背”的条件,使联动过程中的舒适度得到了提升。

4.3 样机制作及验证

本研究通过上述优化分析和仿真验证,确定靠背座板联动的最佳关键点A、B的位置后,根据简图中的尺寸关系建立三维模型,并进行实物样机的制作,相对普通考虑结构强度的办公椅,这种具有“零搓背”性能的办公椅联动过程中的舒适有较大的提升,样机实物如图10所示。



图10 “零搓背”办公椅样机

5 结束语

具有靠背座板联动功能的办公椅在靠背后倾一定角度的过程中“不搓背”这是提高联动办公椅联动过程中舒适性的关键因素。本研究根据人机工程学和设计经验,通过对办公椅联动过程进行图解分析,得到实现“零搓背”的条件。为实现“零搓背”,本研究借助ADAMS软件对办公椅关键联动点进行参数化优化分析,同时采用加权法将多目标转化为单目标问题进行了优化求解,最终确定了联动点最佳的位置参数。结果表明,优化后的机构在联动过程中的“搓背”现象得到了很好的改善。同时座板在运动过程中的角度变化范围也符合人机工程学要求。

研究结果表明,相比传统的设计方法,使用虚拟样机技术对一些工程问题进行优化分析更加方便快捷,同时可为类似问题的求解提供参考。

参考文献(References):

- [1] 刘志平. 动态界面座椅改善坐不舒适性的工效学研究[D]. 杭州:浙江大学教育学院,2011.
- [2] 刘志伟. 高端办公休闲座椅的研究与开发[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2013.
- [3] 王科中. Sooth 多功能办公椅的开发研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2013.
- [4] 蔡 欢. 多功能办公休闲椅的设计与研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2015.
- [5] 李进吉. 六足机器人结构参数优化与控制系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学机电工程学院,2012.
- [6] 阮宝湘. 人机工程基础及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [7] 陈蓉蓉. 基于维持健康坐姿的工作椅设计研究[D]. 杭州:浙江大学机械工程学院,2007.
- [8] 张丹丹. 办公座椅设计中的人机工程学应用[D]. 北京:北京林业大学材料科学与技术学院,2008.
- [9] 董恩国. 基于 ADAMS 的车轮定位参数及转向机构优化设计[D]. 天津:天津大学机械工程学院,2006.
- [10] 郭仁生. 基于 MATLAB 和 Pro/E 优化设计实例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [11] 周辉,秦宝荣等. 老人椅辅助站立机构参数优化设计[J]. 机械传动,2016,40(2):91-94.
- [12] 杨旭志,陆华中,等. 农用沙滩车的悬架与转向系统优化研究[J]. 机电工程,2015,32(9):1214-1217.
- [13] 晏祖根,杨 华,张云秀,等. 鲜肉分拣夹持器的机构优化[J]. 包装与食品机械,2016,34(3):30-32.
- [14] 赵登华. 微动摩擦测试仪施力机构研究[J]. 机械,2015,42(11):31-33.
- [15] 袁炜彬,陈新度,夏鸿建,等. 一种减轻纯电动中巴前悬轮胎磨损的优化方法[J]. 机电工程技术,2015,44(4):52-56,132.
- [16] 徐银. 注塑机合模机构的多目标性能优化研究[D]. 广州:广东工业大学机电工程学院,2013.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

谢 巍,秦宝荣,曾 健,等. 办公椅联动机构的参数优化设计研究[J]. 机电工程,2017,34(1):39-43.

Xie Wei, Qing Baorong, Zeng Jian, et al. Parameter Optimization Design of the Linkage Structure of Office Chair[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(1):39-43.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>