

基于人机工程学的头戴式耳机造型设计

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.05.007

刘宗明 李健国

湖南工业大学

包装设计艺术学院

湖南 株洲 412007

摘要:针对长时间佩戴头戴式耳机时出现的耳廓疲劳、疼痛、闷热等问题,从人机工程学角度出发,对头戴式耳机提出了结构设计思路,并通过造型设计目标形成初步方案;运用 ANSYS 有限元仿真分析法,找出初步方案的不足,再次通过优化设计完善方案,并验证优化方案的可行性。通过对头戴式耳机人机工程等方面的改进,能够为用户提供较为满意的定制化方案,且能为同类产品的设计提供参考。

关键词:人机工程学;头戴式耳机;造型设计;ANSYS 有限元仿真

中图分类号: TB472.2

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2018)05-0039-07

1 研究背景

头戴式耳机凭借其优质的音效,成为娱乐影音领域不可或缺的配套产品。尽管头戴式耳机造型千变万化,但结构上却大同小异,整体呈倒 U 型。用户佩戴时头戴式耳机会发生形变,应力作用使两边耳罩夹住耳廓,重力作用使耳机的头带压住头顶,形成三点受力结构以保持用户佩戴时的稳定性。

耳廓皮肤薄弱,由软骨组织支撑,厚度约为 1.3 mm^[1],其间布满了神经和血管(如图 1 所示),特殊的生理特性决定了耳廓是人体易受损伤的器官。人类耳廓的形状较多,具体可分为猕猴型、长尾猴型、尖耳尖型、圆耳尖型、耳尖微显型、缺耳尖型等 6 种耳型^[2]。由于耳廓的尺寸不一,大小各异,耳罩尺寸无法适合所有消费者耳廓的大小,佩戴耳机时难免会出现如下问题:1)耳罩对耳廓接触部位压力过大,长时间佩戴头戴式耳机会造成耳廓肿胀、疼痛,甚至会造成耳部伤害;2)耳廓被耳罩包裹,处在狭小的受挤压空间中,长时间佩戴耳机会导致耳廓闷热不透气。

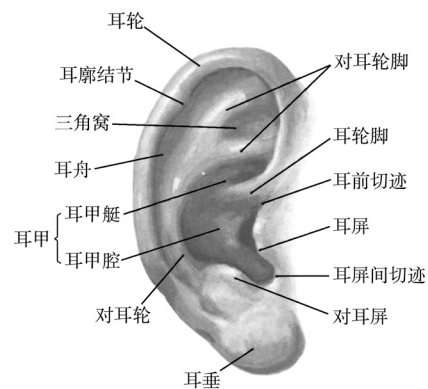


图 1 耳廓示意图

Fig. 1 Sketch map of auricle

通过对市场众多品牌头戴式耳机进行信息采样和归纳分析,发现此类产品均存在结构方面的问题,影响用户佩戴时的舒适性,从而降低了其工作效率,甚至引发耳部疼痛。调查表明,45%耳机用户认为耳机的佩戴舒适性是购买耳机时考虑的首要因素^[3]。因此,如何从设计的角度考虑,提高长时间佩戴头戴式耳机时的舒适性,最大程度降低耳机对耳部的物理性伤害^[1],是头戴式耳机设计过程中需要关注的关键

收稿日期: 2018-07-03

基金项目: 湖南省社会科学基金资助项目(17YBA135)

作者简介: 刘宗明(1978-),男,江西吉安人,湖南工业大学副教授,硕士生导师,主要从事产品设计方面的教学与研究, E-mail: 109835841@qq.com

问题。

本研究从人机工程学角度出发,以用户佩戴过程中存在的问题为导向,在现有头戴式耳机的基础上进行结构改进,并进一步优化产品造型,从而满足用户个性化定制需求。

2 问题解决思路

针对佩戴头戴式耳机过程中存在的问题,提出相应解决思路。

1) 对头带进行结构改进。用户佩戴头戴式耳机时,将原本耳罩对耳廓的压力转移到颞骨部位(如图2所示)。颞骨部位被皮肤包裹坚硬而平坦,可有效承受头戴式耳机对其产生的压力。耳罩由原来的夹住耳廓变为贴住耳廓,使耳廓受力变小,一定程度上减轻耳廓因局部压力过大而导致的疼痛问题。

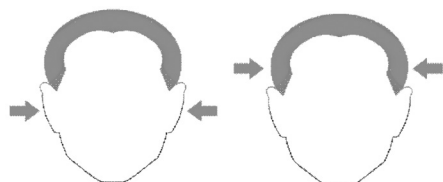


图2 受力部位对比分析

Fig. 2 Comparative analysis of stress positions

2) 在头带两边与耳罩衔接处增设两个旋转轴,耳罩具有单轴旋转自由度,可向外侧旋转一定角度,如图3所示。当耳罩外翻时,耳罩与耳廓分离,耳廓不受任何外力并可与空气充分接触,处于自然放松的状态;用户在不摘掉头戴式耳机的情况下,可缓解因长时间佩戴耳机所致的耳廓疲劳、疼痛、闷热等问题。

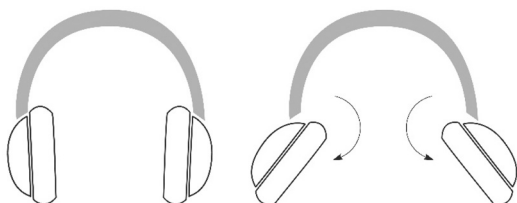


图3 耳罩旋转对比分析

Fig. 3 Comparative analysis of earshield rotation

3 造型设计

3.1 造型设计目标

头戴式耳机发展至今,越来越重视造型设计。造型设计是将设计语言与产品定位相结合,融入产品品牌因素,形成大众普遍接受的造型形式,达到吸引消费者眼球的目的。除此以外,现代耳机的设计越来越注重造

型的整体性,色彩的统一与搭配,通过用料表面的物理特征,传递给消费者视触觉俱佳的质感体验^[4]。

本研究从人机工程学角度出发,通过市场调查及数据分析,结合生产工艺和成本,确定了头戴式耳机的造型设计目标,具体如下^[5]。

1) 整体造型浑然一体、圆滑顺畅,部件之间过渡自然,体现稳重舒适感和现代科技感。

2) 选择色彩鲜艳,视觉冲击力强的单色调或者双色调,体现活力感和时尚性。

3) 选择具有质感的金属或塑料材质,耳垫选择透气性好,柔软耐用的人造皮质。

4) 采用椭圆形耳罩,即在垂直方向上呈顺时针15°旋转,与耳廓轮廓相吻合,如图4所示。

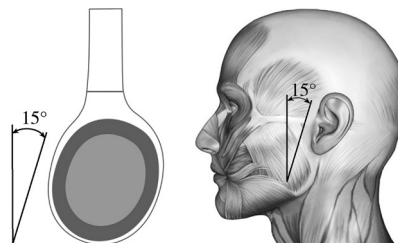


图4 耳罩夹角示意图

Fig. 4 Diagram of angle between the earshields

3.2 产品主要部件及尺寸设计

通过查阅文献,了解了头戴式耳机的内部结构,以及对比同类产品的设计构成,确定了产品的外部件和内部件两大类,外部件包括耳壳、头带、耳垫等,内部件包括解码器、电路板、驱动器等,具体如图5所示。

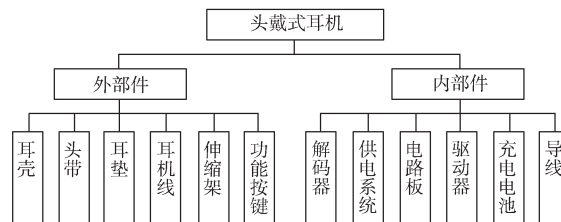


图5 头戴式耳机部件构成

Fig. 5 The components of the headphone

以相关产品的设计参数为基础,结合文献[7]的研究成果,为满足造型设计目标,本研究设定了头戴式耳机基本尺寸如表1所示。

表1 头戴式耳机基本尺寸

Table 1 Basic size of headphone mm

头带		伸缩架	耳罩	
长度	长度		长度	厚度
120~140	135~155	25~35	85~95	35~50

3.3 方案设计

根据造型设计目标, 通过头脑风暴法、模拟情境等方法绘制草图, 经归纳对比, 去粗取精, 选出最终的草图设计方案。利用 Alias 软件, 结合优化过的方案草图作为数字建模的参考依据, 然后经多次方案迭代设计, 确定了最终设计方案^[6], 并渲染出效果图, 如图 6 所示。

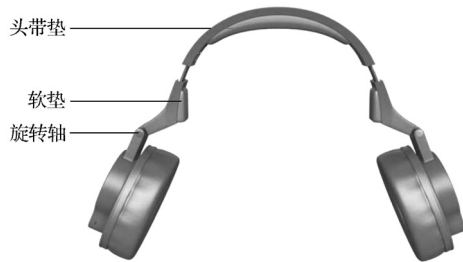


图 6 头戴式耳机效果图

Fig. 6 Rendering of headphone

3.4 功能与结构设计

通过参考市场的同类产品, 确定了头戴式耳机的实际尺寸, 其中头带宽度为 145 mm, 头带长度为 130 mm, 两侧伸缩架最大调节长度可延长至 30 mm, 以适应不同用户头部的尺寸; 在头带伸缩时加入限位设计, 使伸缩架伸缩一定长度时便会卡住, 避免头带松动^[7]。

耳罩采用包耳式设计, 耳垫采用高档 PU 皮包裹, 弹性好透气性强。耳罩通过旋转轴可向外旋转 60°, 可缓解长时间佩戴耳机所致的耳廓不适。耳壳上印有大写字母 R 和 L (如图 7 所示), 指示正确佩戴方向; 还印有红色艺术化的卡通标识, 具有自然舒适的寓意, 与头戴式耳机的创新点相契合。左耳壳集成 3.5 mm 音频插口, 右耳壳集成多功能按键 (电源键、指示灯)、音量键、Micro USB 充电孔等功能部件。



图 7 头戴式耳机细节图

Fig. 7 Details of headphone

4 ANSYS 有限元仿真分析

开发设计产品的过程中, 采用 ANSYS 有限元仿真分析法可以节省大量的试验成本和缩短设计周期^[8], 并且修正设计缺陷、优化设计参数, 使所设计的产品更加安全可靠^[9]。本研究运用 ANSYS 有限元仿真分析法, 具体论述了头部模型的建立、模型材料的定义、ANSYS 有限元仿真模型的前处理、边界条件的设定、舒适性评价等步骤。

4.1 逆向获取头部模型

运用逆向工程, 可以获得支持工程 CAD 软件的头部模型^[10], 用于后续的 ANSYS 有限元仿真分析。将符合 GB/T 2428—1998《成年人头面部尺寸》规范的成年男性的头部作为扫描对象, 采用非接触式激光扫描仪对头部进行三维点云获取, 利用 UG/Imageware 软件对所获三维点云进行重构, 再利用 CATIA 软件对重构后的三维点云进行自由曲面重建, 即获得重构的头部模型如图 8 所示。

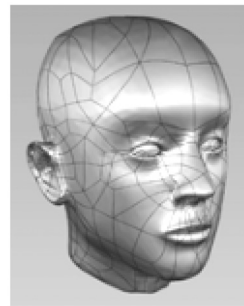


图 8 逆向重构的头部模型

Fig. 8 Head model of reverse reconstruction

4.2 定义材料属性

材料属性的定义, 是根据研究对象的特性而赋予模型相应的材质, 以模拟真实材料的物理属性, 为仿真分析做前期准备。本研究为了降低实验复杂程度, 将头部模型看作封闭实体, 赋予其没有皮肤包裹的头骨材质; 头戴式耳机简化为包含 2 种材料属性的部件, 分别为塑料材质的头带、耳壳、伸缩条等部件, 以及海绵材质的头带垫、软垫, 上述材料具体参数如表 2 所示。

表 2 模型中所用材料的参数
Table 2 The parameters of the materials used in the model

材料	材料属性	密度 / (kg·m ⁻³)	弹性模量 / MPa	泊松比
头骨	弹性	950.0	10 000	0.250
塑料	弹性	1 111.0	3 150	0.325
海绵	弹性	48.4	10	0.100

4.3 ANSYS 有限元仿真模型的前处理

利用 ANSYS Workbench18.2 的 Static Structural 模块将头部-头戴式耳机的模型导入 Geometry 中。为了更好地模拟头戴式耳机实际佩戴的情况，在 ANSYS 有限元仿真模型中头部与耳机的接触方式采用 Frictional (摩擦) 接触。在有限元仿真分析前，还需要对头部-头戴式耳机模型进行网格划分，网格划分是有限元分析的关键步骤之一，网格划分的好坏直接影响有限元分析的精度^[11]。为了得到头部-头戴式耳机模型中接触区域较精确的解，并尽量减少数据运算负担，本研究采取在主要接触区域局部细化网格，其他区域粗化网格的处理方法^[1]，如图 9 所示。从图 9 可以看出，网格划分较精确的区域主要分布在头顶和颞骨部位，以及耳机的头带和软垫部位。

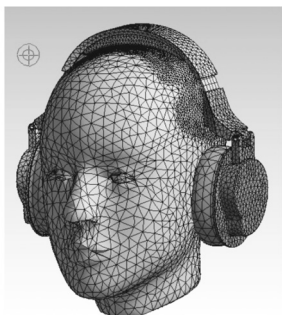


图 9 头部-头戴式耳机网格划分
Fig. 9 Head-headphone grid partitioning

4.4 设定边界条件

ANSYS 有限元仿真模型的前处理完毕后，即进入边界条件的设定。边界条件决定了头部-头戴式耳机之间的物理约束关系，包括头戴式耳机对头部的受力方向、受力部位以及摩擦接触类型等方面。ANSYS 有限元仿真模型的边界条件设定中，所用头戴式耳机模型的初始状态为头带发生弹性形变后，其应力与重力通过头戴式耳机作用于头部，以此模拟现实情况下用户佩戴头戴式耳机时头部的受力位置，以及头部-头戴式耳机的接触情况。

在 ANSYS 有限元仿真分析中，由于头部模型为没有皮肤包裹的头骨材质，质地较为坚硬，为了获得现实使用情况下头部-头戴式耳机的接触效果，研究所设定的压力值相较于现实情况会大得多，在设定具体数值时应当以等效应力云图上的接触效果为导向。

在 ANSYS 有限元仿真分析模型中，头部模型与头戴式耳机模型模拟组装过程与实际佩戴过程相似，

因此边界条件定义 (示意图见图 10) 如下: 头部最底端的脖颈横截面采取 Fixed Support (全约束)，以固定整个头部模型; 因头带与耳罩有旋转轴连接，耳机佩戴后可自行调整耳罩角度，头带对头部的压力不会影响到耳罩，所以设定整个耳罩 Frictionless Support (无摩擦接触); 载荷主要是头戴式耳机的重力 (耳机质量约为 230 g) 和头带对头部的压力 (预设为 30 N); 重力作用点在头顶部位，重力方向垂直向下，如图 10 中字母 A 旁箭头所示，压力作用点位于头部两边的颞骨部位，压力方向如图 10 中字母 E、F 旁箭头所示。

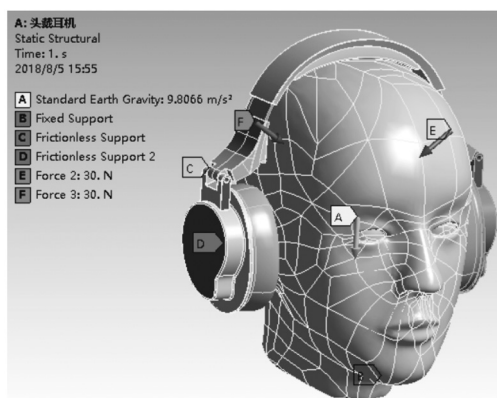


图 10 边界条件示意图
Fig. 10 Diagram of boundary conditions

4.5 舒适性评价

在 ANSYS 有限元仿真分析过程中，初始参数设置完成后，将头部模型与头戴式耳机模型模拟组装后进行有限元仿真分析，即可获得头部等效应力云图，如图 11 所示，图中绿色区域即为头戴式耳机与头部的接触区域。

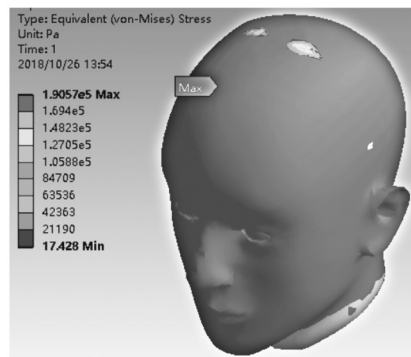


图 11 等效应力云图
Fig. 11 Equivalent stress cloud map

从图 11 可以看出，耳廓没有受到压力的影响，

颞骨部位仅有一小块绿色接触区域,由此可见预设压力过小,软垫与颞骨部位接触效果不符合用户佩戴头戴式耳机时的现实使用情况。

根据以上分析,将头带对头部的压力由 30 N 渐渐增大,递增式地取几个数值如 60 N、80 N 等并运算求解,得出相应的接触效果与现实使用情况均不符;直至压力增大为 200 N 时,颞骨部位的绿色区域较为显著(如图 12 所示),此时头戴式耳机与头部有充分的接触,符合现实使用情况。

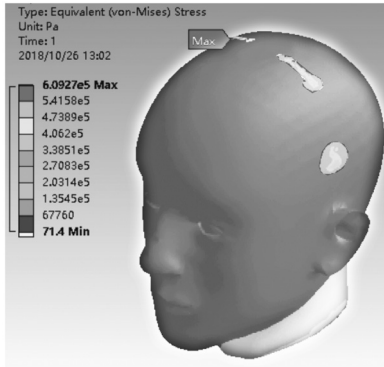


图 12 调整后的等效应力云图

Fig. 12 Adjusted equivalent stress cloud map

从图 12 可以看出,耳廓与耳垫没有接触,头部 - 头戴式耳机的接触部位分布在头顶处与颞骨处。颞骨部位绿色区域中的深绿色区域较小,这表明应力比较集中,若长时间佩戴耳机头部集中受力部位会出现不适;并且耳机与头部接触位置距离头顶较近,不能形成稳定的三点受力结构,从而导致头带不容易夹住头部,有向头部前后滑落的可能。

以上舒适性评价反映出头戴式耳机的软垫尺寸较小以及软垫在头戴式耳机上的位置设计的不够合理,从而导致用户佩戴耳机时可能出现舒适性与稳定性的问题。因此,本研究需对头戴式耳机进行设计优化及再次仿真分析。

5 优化设计

5.1 结构优化

本研究对头戴式耳机软垫的尺寸与位置进行了优化设计,优化前后的对比图如图 13 所示。

1) 软垫尺寸方面。在保证伸缩架两端造型过渡顺畅的情况下,软垫高度增加了 3 mm,达到 30 mm,从而增大了软垫与颞骨部位的接触面积。

2) 软垫位置方面。软垫的水平高度降低了 12

mm,伸缩架最大延长后,软垫与头带的垂直最大距离为 106 mm,软垫更靠近耳罩。

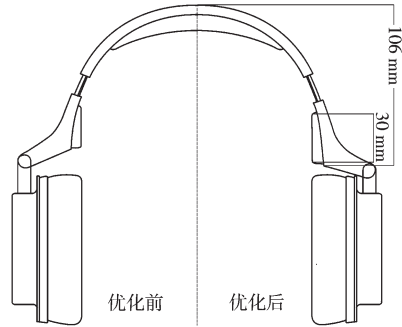


图 13 结构优化前后的对比图

Fig. 13 Comparison diagram before and after structure optimization

5.2 优化后仿真分析

将优化后的头戴式耳机模型重新导入 ANSYS Workbench18.2 的 Static Structural 模块 Geometry 中,利用原来设定的头部 - 头戴式耳机边界条件,再进行 ANSYS 有限元仿真分析,获得等效应力云图,如图 14 所示。

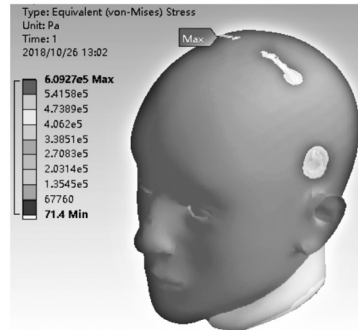


图 14 优化后的等效应力云图

Fig. 14 The optimized equivalent stress cloud Map

对比图 12 和 14 可以看出,头戴式耳机对头部的受力主要分布在头顶与颞骨处,优化前后的等效应力云图变动主要在于颞骨部位。优化后颞骨部位的绿色区域以及绿色区域中深绿色区域都相应增大,这表明受力更加分散,避免因局部应力集中而引起的不适;接触区域明显下移,形成稳定的三点受力结构,从而提高了佩戴耳机时的稳定性。除此以外,用户佩戴头戴式耳机时,耳罩不会夹住耳廓;用户可以通过调整旋转轴使耳罩轻贴耳廓,也可使耳罩外翻,确保耳廓的舒适性。优化后的等效应力云图验证了头戴式耳机结构优化的可行性。

5.3 颜色与材质设计

为了提高头戴式耳机独特质感的视觉效果,本研究除了对头戴式耳机进行结构优化外,还对耳机的颜色及材质进行了优化。

1) 颜色方面。头戴式耳机模型中机身初始渲染的黑色效果略显沉闷,不能突出设计亮点,故将耳机的机身颜色由黑色改为红色,以增强耳机的视觉冲击与时尚感。

2) 材质方面。伸缩架的材料由原来的塑料材质变为划痕金属材质,在增加了伸缩架耐用性的同时,也提升了头戴式耳机的整体质感。

头戴式耳机经上述结构、颜色和材料优化设计后,不仅增加了耳机的美观性,更重要的是提高了佩戴耳机的舒适性与稳定性。优化后头戴式耳机的最终渲染效果图如图15所示。



图15 优化后的头戴式耳机效果图

Fig. 15 Optimized rendering of headphone

6 结语

从人机工程学角度出发,通过分析头部-头戴式耳机的人机关系,发现长时间佩戴耳机时,用户会出现耳廓疲劳、疼痛、闷热等问题,据此提出结构解决思路,并设定造型设计目标形成初步方案。利用ANSYS软件对头部-头戴式耳机模型进行有限元仿真分析,找出初步方案的不足;并通过等效应力云图的问题反馈,优化了头戴式耳机的设计方案,验证了头戴式耳机结构优化的可行性;并对耳机的颜色和材质进行设计优化,提升了头戴式耳机的整体质感,从而满足了用户舒适性和个性化定制需求。为同类产品开发设计提供了思路,为耳机的可定制性,提供了新的设计方向与商业模式。

参考文献:

- [1] 冉令鹏,王 崴,丁日显,等.舒适性耳机半参数化设计优化研究[J].听力学及言语疾病杂志,2015,23(6):646-650.
- RAN Lingpeng, WANG Wei, DING Rixian, et al. The Optimization of Comfortable Earphone Designed by the Method of Semi-Parametric[J]. Journal of Audiology and Speech Pathology, 2015, 23(6): 646-650.
- [2] 齐 娜,李 莉,赵 伟.中国成年人耳廓形态测量及分类[J].声学技术,2010,29(5):518-522.
- QI Na, LI Li, ZHAO Wei. Morphometry and Classification of Chinese Adult's Auricles[J]. Technical Acoustics, 2010, 29(5): 518-522.
- [3] 杨 磊.耳机的人机关系及声学设计[J].扬声器与传声器,2011,35(10):25-29.
- YANG Lei. Man-Machine Relationship and Acoustic Design of Headset[J]. Loudspeaker and Microphone, 2011, 35(10): 25-29.
- [4] 姚 君,袁文昱,李向洲.基于感质理论分析的产品设计方法研究[J].包装工程,2016,37(24):28-33.
- YAO Jun, YUAN Wenyu, LI Xiangzhou. Product Design Methods Based on Qualia Theory[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(24): 28-33.
- [5] 韩 鹏.手持锂电充电钻造型设计研究[J].机械设计,2015,32(9):120-122.
- HAN Peng. Modeling Design of Handheld Rechargeable Drill with Lithium Battery[J]. Journal of Machine Design, 2015, 32(9): 120-122.
- [6] 侯建军,申黎明,刘庆鹏.基于人机工程学的多功能鼠标笔设计研究[J].机械设计,2014,31(5):111-114.
- HOU Jianjun, SHEN Liming, LIU Qingpeng. Research on the Multifunctional Pen Mouse Design Based on Ergonomics[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(5): 111-114.
- [7] 李和森.体验台式无线耳麦造型创新设计[J].装饰,2013(11):89-90.
- LI Hesen. Desktop Wireless Headset Modeling Innovative Design Experience[J]. Art & Design, 2013(11): 89-90.
- [8] 彭国谱,贺 翔,唐华平,等.矿用自卸车车架的有限元分析及优化设计[J].湖南工业大学学报,2014,28(3):35-40.
- PENG Guopu, HE Xiang, TANG Huaping, et al. Finite Element Analysis on Mining Dump Truck Frame and Its Optimization Design[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(3): 35-40.
- [9] 张 磊,张芳燕,刘洋铭.自行车鞍座设计的人机工程学分析及测评方法研究[J].包装工程,2012,33(6):118-120,142.
- ZHANG Lei, ZHANG Fangyan, LIU Yangming.

- Research on Ergonomic Analysis and Evaluation Methods of Bicycle Saddle Design[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(6): 118-120, 142.
- [10] 孙文涛, 董 斌. 产品设计中逆向工程技术应用研究[J]. 包装工程, 2014, 35(12): 80-83, 91.
SUN Wentao, DONG Bin. The Reverse Engineering Applied in Craft Design[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(12): 80-83, 91.
- [11] 樊炳辉, 焦 浩, 贾 娜. 基于 Ansys WorkBench 的排爆机器人机械手静力学分析 [J]. 制造业自动化, 2014, 36(2): 34-36.
FAN Binghui, JIAO Hao, JIA Na. Statics Anaylsis for an Explosive-Handling Robot Manipulator Based on Ansys Workbench[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(2): 34-36.

Headphone Modeling Design Based on Ergonomics

LIU Zongming, LI Jianguo

(School of Packaging Design and Art, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In view of the problems such as fatigue, pain and stiffness of auricle when wearing headphone for a long time, the idea of structure design for headphone from the perspective of ergonomics was put forward with a preliminary scheme formed through modeling design. Using ANSYS finite element simulation analysis method, the deficiency of the design scheme was found out, then the feasibility of the optimization scheme was verified after improving the design scheme through optimization design once again. Through the improvement in ergonomics of headphone, users would be provided with satisfactory customized solutions which could be of reference for the design of similar products.

Keywords: ergonomics; headphone; modeling design; ANSYS finite element simulation