头戴式耳机耳垫材质舒适性评价指标体系研究

田婧娴，谭征宇，王海宁，张瑞佛
（湖南大学，长沙 410006）

摘要：目的 基于服装材质舒适性研究，建立头戴式耳机耳垫材质舒适性指标评价体系。**方法** 通过桌面研究的方法，分析服装材质的相关文献，提取服装材质舒适性的各项性能，并根据服装材质的各项性能，分析各项性能的相关指标。首先通过层次分析法，构建基于材质基本性能的头戴式耳机耳垫材质舒适性递阶层次结构模型，通过比较判断矩阵同一层次各指标的相对重要性，进行指标权重分析，得到各个指标的权重。其次通过桌面研究的方法，将耳垫材质进行分类，并总结性能指标的最优测量方法。将耳垫的测量数据进行数据标准化处理，通过 Min-max 标准化方法，得到所有耳垫材质测量值的标准化数值，将各个指标的权重与每个材质的标准化数值相乘后求和，得到每个材质的舒适性得分。最后对耳垫材质舒适性评价指标体系进行效度分析。**结论** 通过构建头戴式耳机耳垫材质舒适性指标评价体系，确定了 8 个耳垫材质舒适性指标，得到了各个指标的权重，并系统地总结了各个指标的测量方法和耳垫材质的分类，最后根据 Min-max 标准化方法进行数据归一化，通过加权得到耳垫材质舒适性的评分，对该评价体系进行验证，验证结果具有有效性。该指标体系能够为头戴式耳机整体舒适性提供材质选择的参考标准，并为耳垫新材质的开发和改进找到具体的指标方向，从而辅助头戴式耳机佩戴舒适性设计辅助系统的建设。

关键词：头戴式耳机；耳垫材质；舒适性评价；层次分析法（AHP）；Min-max 标准化
中图分类号：TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2022)10-0129-07
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.10.015

Evaluation Index System of the Comfortability of Headphone Earpad Material

TIAN Jing-xian, TAN Zheng-yu, WANG Hai-ning, ZHANG Rui-fo
(Hunan University, Changsha 410006, China)

ABSTRACT: Based on the research on the comfort of clothing materials, to establish an index evaluation system for the comfort of the ear cushions of headphones. Through the desktop research method, the relevant literature of clothing materials was analyzed, and the various properties of clothing material comfort were extracted. According to the various properties of clothing materials, the relevant indexes of each performance were analyzed. Through the analytic hierarchy process, a hierarchical structure model of the comfort of the headphone ear pads based on the basic properties of the material is constructed, and the two indicators are compared and assigned, and the indicator weights are analyzed to obtain the weight of each indicator. Secondly, through the desktop research method, the ear pad materials are classified, and the optimal measurement method of performance indicators is summarized. Standardize the measurement data of the ear pads. Through the Min-max standardization method, the standardized values of all the measured values of all ear pad materials are obtained. The weight of each index is multiplied by the standardized value of each material and then the sum is obtained. The comfort score of each material. Finally, the validity of the evaluation index system of ear pad material comfort is analyzed. By constructing the evaluation system for the comfort index of the ear cushion material of the headphone, 8 ear cushion material comfort indexes are determined, the weight of each index is obtained, and the measurement method of each index and the classification of the ear cushion material are systematically summarized. Finally, the data is nor-

收稿日期：2021-12-19
作者简介：田婧娴（1996—），女，硕士生，主攻设计学。
通信作者：谭征宇（1979—），女，博士，副教授，主要研究方向为设计学。

malized by the Min-max standardization method, and the comfort score of the ear pad material is obtained by weighting, and the evaluation system is verified to verify the validity of the results. This index system can provide a reference standard for material selection for the overall comfort of the headset, and find specific index directions for the development and improvement of new materials for ear pads, and finally assist the construction of the headset wearing comfort design assistance system.

KEY WORDS: headphone; earpad material; comfort evaluation; analytic hierarchy process(AHP); Min-max standardization

头戴式耳机凭借其优质的音效和沉浸式的体验感，一直是影音极致体验者和音乐发烧友不可或缺的产品。由于工作或生活的需要，人们佩戴头戴式耳机的时间越来越多，头戴式耳机的佩戴舒适性成为比美观外形、优质声音更重要的设计要素[1]。头戴式耳机分为非罩耳式耳机（On-the-ear/On-ear Headphones）和罩耳式耳机（Around-the-ear/Around-ear Headphones）[2]。用户在佩戴 2 种头戴式耳机时，除了人体头部尺寸、耳机结构外，耳垫也会对用户的佩戴舒适性产生影响[3]。耳垫形状和材质都对舒适性有影响[2-3]，耳垫形状对舒适性的影响主要体现在压力感方面，耳垫材质对舒适性的影响表现在压力感和温湿度。目前，对于头戴式耳机耳垫舒适性，并没有单独从耳垫材质进行的研究，没有探究不同材质的性能指标对舒适性的影响程度，往往只能依靠经验和直觉，因此，为了能够客观地评判不同性能指标对耳垫舒适性的影响，需要建立一个头戴式耳机耳垫材质舒适性评价指标体系，得到不同指标的权重，并得到一个可以量化的数学工具，进而辅助头戴式耳机佩戴舒适性设计辅助系统的建设。头戴式耳机耳垫材质以下均称为耳垫材质。

1 耳垫材质舒适性与服装材质舒适性

1.1 耳垫材质舒适性与服装材质舒适性的关系

头戴式耳机作为一种可穿戴设备，与人体关系密切，由于耳垫材质直接与皮肤接触，并由柔软的材质制成[2-3]，所以在耳垫材质的舒适度研究中，可参考服装材质舒适性研究。

服装舒适性研究较早且体系较为健全，在研究中整理出服装舒适性的研究内容，结合耳垫材质的舒适性研究与头戴式耳机的使用场景，从而建立符合头戴式耳机耳垫材质舒适性指标体系。

1.2 服装材质舒适性研究内容

服装的舒适性分为生理舒适性和心理舒适性，在服装生理舒适性研究中，服装材质舒适性占主要作用[4]，国内外研究学者将服装生理舒适性分为 3 类：热湿舒适性、接触舒适性和压感舒适性[5-6]。热湿舒适性包括热舒适性和湿舒适性 2 个方面；接触舒适性，即织物或服饰与人体相互作用时的一种生理感觉[7]，织物的力学性能和表面性能是接触舒适性的研究重点[8]；压感舒适性，即人体穿着服装时，服装与人体皮肤相互作用产生的皮肤压感/束缚感，织物延展性是确保压感舒适性的重要因素[5]。服装材质舒适性研究内容见图 1。

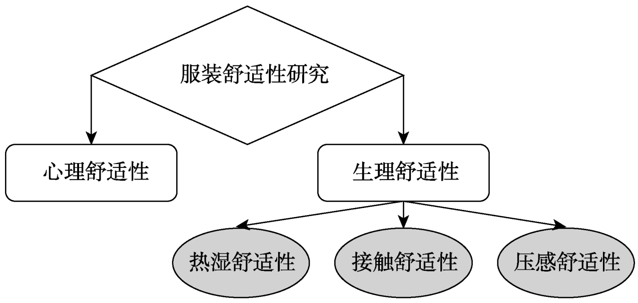

图 1 服装材质舒适性研究内容
Fig.1 Research content of clothing material comfort

2 耳垫材质舒适性指标

服装材质舒适性研究的 3 个方面包括热湿舒适性、接触舒适性和压感舒适性研究，热湿舒适性研究的是材质的热传递性能、湿传递性能和空气传递性能，将其统称为温湿度；接触舒适性与压感舒适性研究的是材质的力学性能，将其统称为压力感。材质的力学性能对压力感具有重要影响[6]，将服装材质舒适性中的力学性能进行性能指标的具体化，转化为实际可测的指标，分别为弹性模量、弹性回复率和单位质量[5]。同理，材质的热传递性能、湿传递性能和空气传递性能对温湿度具有重要影响[6]，转化为实际可测的指标，分别为导热性、接触冷感、透湿性、吸湿性、透气性[5]。

2.1 耳垫材质的压力感

头戴式耳机作为与耳部接触非常密切的电子产品之一，耳垫舒适性的高低会直接影响耳廓周围压力感的大小[2]。Gerges[3]研究发现头戴式耳机对皮肤、皮下组织和骨骼施加的压力可能是不舒适最常见的直接原因之一；冉令鹏等[9]将耳机通过与耳道接触来产生接触压强，接触压强幅值及压强分布合理与否直接决定了佩戴者舒适与否；林欢等[2]认为耳机设计参数需要参考相适应的头部尺寸，用户佩戴耳机时的受力情况直接影响着耳机的舒适性，并发现耳机的夹紧力越小，长时间佩戴的舒适度越高；在耳机的各部分质量上，过重的耳机会引起区域应力集中，导致用户头部不适。因此，压力感在头戴式耳机舒适性设计中具有非常重要的作用（功能尺寸上和材料性能上的综合作用）[2,3,10]。头戴式耳机对人体皮肤的压力，受到

耳垫对皮肤的总作用力和压力分布 2 个方面因素的影响，增加接触面积有助于降低皮肤所受的压力。因此，为了确保与皮肤的大面积接触，耳垫不仅应该具有与耳朵和头部结构相适应的尺寸和形状，而且还应该由有助于增加接触面积的柔性材料制成[3]。耳垫采用羊皮等特殊材质进行包裹，也可以提高佩戴舒适性[1]。因此，耳垫材料作为人体皮肤与头戴式耳机直接接触的媒介，从压力感的角度而言，其力学性能是重要的因素[5]，耳垫材质的压力感指标关系见图 2。

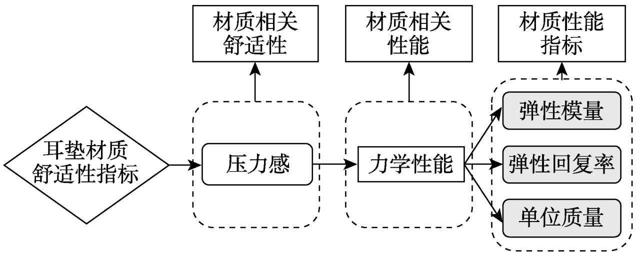

图 2　耳垫材质的压力感指标关系
Fig.2 The relationship between the pressure index of the ear pad material

2.2　耳垫材质的温湿度

头戴式耳机耳垫包裹在人耳部，耳朵处在狭小、受挤压的环境中，长时间佩戴耳机会导致耳廓闷热不透气，在佩戴过程中，由于人体会自然分泌汗液，水分长时间滞留在耳垫内，不仅会导致舒适度降低，耳垫内也容易滋生细菌，从而引起皮肤健康问题[5,9]。Davis 等[11]发现，在行走过程中佩戴头戴式耳机，人体热量会以大约 0.3 ℉/h 的速度增加，湿度以大约 0.5%/min 的速度增加，舒适性明显下降；刘宗明等[12]对耳罩结构进行了重新设计，使耳罩可与耳廓分离，耳廓与空气进行充分接触，有效解决了闷热问题；林欢等[2]发现，在长时间佩戴耳机时，透气性差的材料会导致耳部温度升高，脱离人体的热舒适环境。材质的热传递性能、湿传递性能与空气传递性能互相影响，在服装材质舒适性研究中，以温湿度来概括此类材质研究，耳垫材质的温湿度指标关系见图 3。

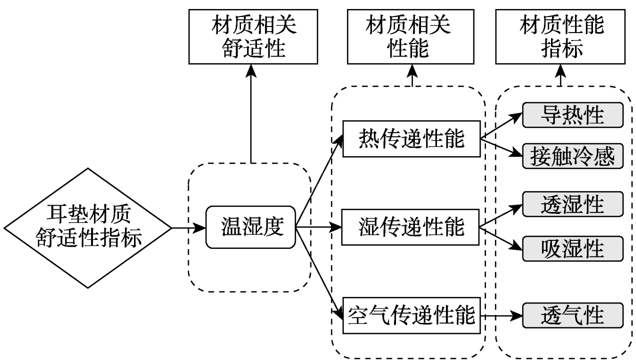

图 3　耳垫材质的温湿度指标关系
Fig.3 The relationship between the temperature and humidity index of the ear pad material

2.3　耳垫材质舒适性递阶层次模型

文中旨在构建耳垫材质舒适性指标。以服装材质舒适性研究为基础，确立一级指标压力感和温湿度，并进一步提取耳垫材质舒适性相关的舒适性指标（N=8）。其中，压力感指标（M=3）为单位质量、弹性模量和弹性回复率；温湿度指标（L=5）为导热性、透气性、接触冷感、透湿性和吸湿性。

基于 AHP（层次分析法），建立一个递阶层次结构模型——耳垫材质舒适性指标 M-HTCI（Material-Headphone Total Comfort Index）。层次分为 3 类：最高层（目标层）、中间层（一级指标）、最底层（二级指标），耳垫材质舒适性指标 M-HTCI 见图 4。目标层指解决问题的最终目的，在文中指耳垫材质舒适性指标 M-HTCI；一级指标指最终目的实现的准则，在文中指压力感和温湿度；二级指标指促使目的实现的可测指标，即压力感和温湿度下对应的具体指标。

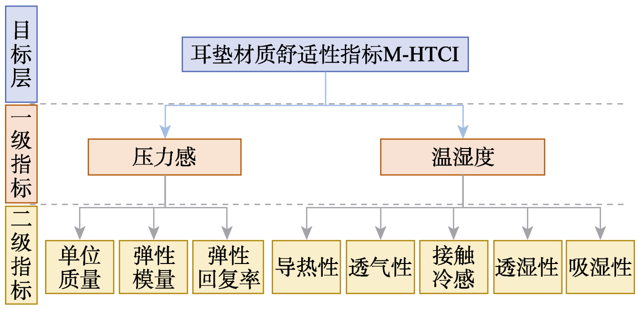

图 4　耳垫材质舒适性指标 M-HTCI
Fig.4 Headphone ear cushion material comfort index M-HTCI

3　耳垫材质舒适性指标的权重研究

3.1　耳垫材质舒适性指标判断矩阵

笔者对两大类 8 个指标构造了 3 个判断矩阵：A-B、B_1-(C_1-C_3)、B_2-(C_4-C_8)。在递阶层次结构模型——耳垫材质舒适性指标 M-HTCI 的基础上，通过比较判断矩阵同一层次各指标的相对重要性，就能够综合计算出指标的权重系数，耳垫材质舒适性指标递阶层次结构见图 5。

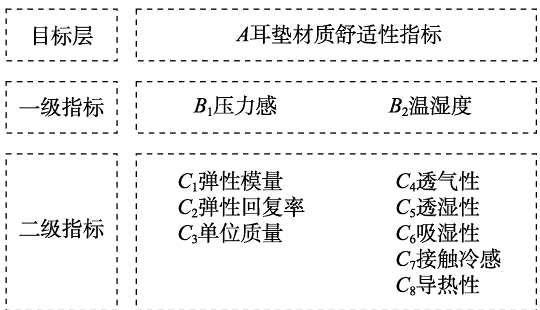

图 5　耳垫材质舒适性指标递阶层次结构
Fig.5 The hierarchical structure of the comfort index of the ear cushion material of the headset

3.2 问卷数据的获取

为了确保权重的可信度，以专家赋值的方式开展权重获取实验。被试者选取的是 31 位湖南大学工业设计方向的在读博士及研究生，均有头戴式耳机的佩戴经历，其中 25 人为头戴式耳机舒适性研究专员，采用 Yaahp 软件标准化问卷作为评判取值标准，在解释指标含义并让被试者理解后，要求各位被试者以逐层逐项两两比较的方式，分别对 3 个判断矩阵的指标变量进行评判取值，2 个准则层指标，8 个方案层指标，删除同样的对比问卷，共产生了 14 组评价表，并获取了相应的问卷数据，问卷评价见图 6—8。

B_1	对于材质整体舒适度来说，B_1相对于B_2哪个更重要									B_2
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
压力感										温湿度

图 6 对一级指标重要性评价
Fig.6 Evaluation of the importance of primary indicators

C_1	对于压力感来说，C_1相对于C_2哪个更重要									C_2
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
单位质量										弹性模量

图 7 对二级指标压力感重要性评价
Fig.7 Evaluation of the importance of the secondary index pressure

C_4	对于温湿度来说，C_4相对于C_5哪个更重要									C_5
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
导热性										透气性

图 8 对二级指标温湿度重要性评价
Fig.8 Evaluation of the importance of secondary index temperature and humidity

3.3 问卷数据一致性检测

为了对问卷数据能否接受进行鉴别，对判断矩阵进行一致性检测。计算一致性指标：$CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$，$CR=CI/CR$，当 $CR<0.10$ 时，表明判断矩阵有较满意的一致性，对于不一致的判断矩阵，可通过 Yaahp 软件进行自动修正，最后确定的一级指标权重见表 1。

表 1 一级指标权重
Tab.1 First-level indicator weight

一级指标	权重值
压力感	0.687 1
温湿度	0.312 9

3.4 问卷数据权重计算结果

将修正后的问卷结果输入层次分析法软件 Yaahp 软件中，以幂法为计算方法，分别计算判断矩阵的最大特征根 λ_{max} 及对应的最大特征向量 W,$W=[w_1, w_2\cdots w_n]^{\mathrm{T}}$。采用专家数据集结法将各专家排序向量进行加权几何平均后，得到 8 个耳垫材质舒适性指标的权重，并进行权重排序，耳垫材质舒适性指标的权重见表 2。

从表 2 的排序结果来看，耳垫材质舒适性指标综合权重从高到低依次为弹性模量、弹性回复率、单位质量、透气性、透湿性、吸湿性、接触冷感和导热性。

通过分析耳垫材质舒适性指标权重可以得出以下结论：

1）压力感指标的重要度大于温湿度指标的重要度，且重要度超过 2 倍。耳机设计师在选取耳垫材料时应优先考虑压力感指标。

2）在压力感指标的重要程度中，弹性模量的重要度大于弹性回复率的重要度，弹性回复率的重要度大于单位质量的重要度。耳机设计师需要首要考虑材料的弹性模量，再考虑材料的弹性回复率，最后考虑材料的单位质量。头戴式耳机用户更在意的是材质的弹性，材料的重量其次。

3）在温湿度指标的重要程度中，透气性重要程度最高，且透气性重要程度大于透湿性，吸湿性、接触冷感和导热性的权重很低。头戴式耳机的应用场景大部分为沉浸式非运动状态，流汗较少。头戴式耳机用户更注重的是耳垫的透气性，而不是透湿性。

表 2 耳垫材质舒适性指标的权重
Tab.2 The weight of the comfort index of the ear cushion material of the headset

目标层	一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	权重排序
耳垫材质舒适度指标权重（A）	压力感（B_1）	0.6871	弹性模量（C_1）	0.298 8	1
			弹性回复率（C_2）	0.200 0	2
			单位质量（C_3）	0.188 3	3
	温湿度（B_2）	0.3129	透气性（C_4）	0.127 0	4
			透湿性（C_5）	0.061 9	5
			吸湿性（C_6）	0.045 0	6
			接触冷感（C_7）	0.041 3	7
			导热性（C_8）	0.037 6	8

4　耳垫材质舒适性的评价方法

4.1　耳垫材质的分类

将耳垫分为耳垫外皮和耳垫垫芯，并进行桌面调研及文献研究，总结了国内外 18 个主流头戴式耳机品牌、53 个市面上在售的耳机型号，以获取耳垫材质分类，见图 9。其中耳垫外皮材质一共 8 类，分为真皮、人造皮革、海绵、硅胶、织物、塑料、泡沫和生物基材料；耳垫垫芯一共 4 类，分为海绵、EVA、泡沫和生物基材料[13]。

4.2　耳垫材质性能指标的测量方法

在参考的服装材质性能指标评价方法中，通过仪器测量服装材质的基本性能（如力学性能和热湿性能等），并将其转化成一定的指标，以评价服装材质的穿着舒适性[5]。基于前期获得的与耳垫材质舒适性相关的性能指标，结合桌面调研，参考国家标准和行业规范，进行测量方法的总结，耳垫材质舒适性指标测量方法总结见图 10。

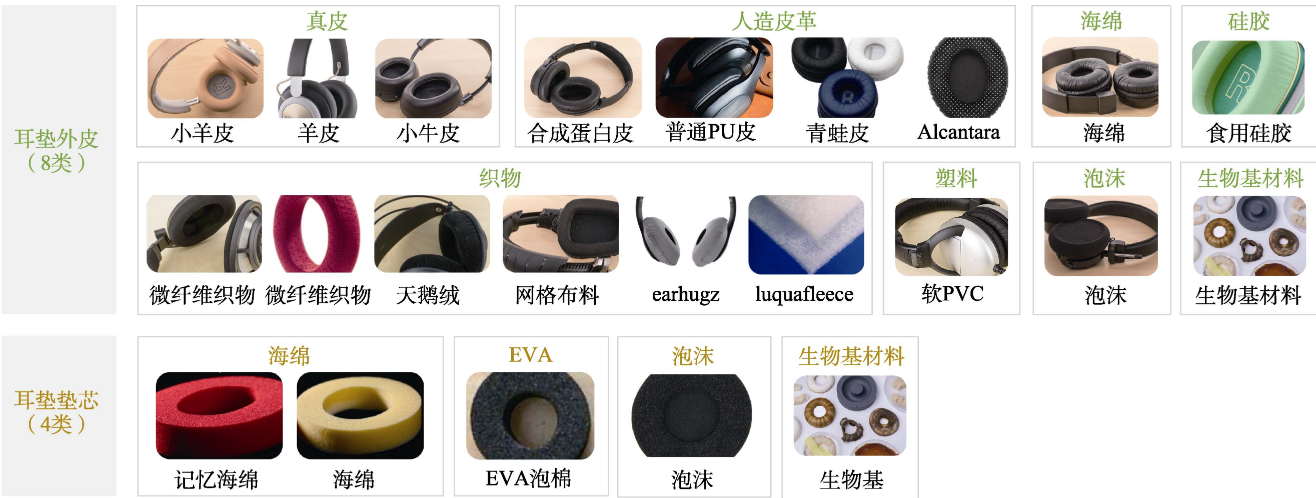

图 9　耳垫材质分类

Fig.9 Ear pad material classification

图 10　耳垫材质舒适性指标测量方法

Fig.10 Measurement method of comfort index of ear cushion material

4.3 耳垫材质性能评价方法

此文的目的是得到耳垫材质舒适性评价体系，以用来评价耳垫材质舒适性。提供一个耳垫材质，通过此体系可以得到量化的舒适性得分，得分考虑到了耳垫不同指标的值，以及不同指标的重要程度。指标值通过对耳垫的测量得到，重要程度在上文中，通过层次分析法已经得到。由于每个指标的单位不同，所以耳垫材质舒适性得分不能通过加权得到。为了解决这个问题，需要对测量结果进行数据标准化处理[14]。

数据标准化（归一化）处理是数据挖掘的一项基础工作，不同评价指标往往具有不同的量纲和量纲单位，这样的情况会影响到数据分析的结果，为了消除指标之间的量纲影响，需要进行数据标准化处理，以解决数据指标之间的可比性。原始数据经过数据标准化处理后，各指标处于同一数量级，适合进行综合对比评价。这里采用 Min-max 标准化处理。Min-max 标准化也称离差标准化，是对原始数据的线性变换，可以使特征值都一一映射在[0,1]，其转换函数：

$$X = \frac{x - min}{max - min} \tag{1}$$

式中，x 为原始数值；max 为数据集最大值；min 为数据集最小值； X 为转换后的值。

将所有需测的耳垫材质，用 8 个指标进行测量，以此得到每个指标在所有材质下的最大值和最小值。随后，通过 Min-max 标准化方法，得到所有耳垫材质测量值的标准化数值。最后将各个指标的权重与每个材质的标准化数值相乘后求和，得到每个材质的舒适性得分。

数学化表达和参数解释（见表 4）如下：

表 4 参数解释
Tab.4 Parameter explanation

参数名称	参数含义
i	指标编号
m	材质
M	所有被测材质的集合
c_i^m	材质 m 的第 i 个指标的直接测量值
c_i^{max}	第 i 个指标的最大值
c_i^{min}	第 i 个指标的最小值
$\tilde{c}_i^m$	材质 m 的第 i 个指标的标准化数值
k_i	指标 i 的权重
$S(m)$	材质 m 的舒适度得分

$$\sqrt{c_i^{\max} = \max\{c_i^m \mid m \in M\}} \quad c_i^{\max} = \max\{c_i^m \mid m \in M\} \tag{2}$$

$$c_i^{\min} = \max\{c_i^{\min} \mid m \in M\} \tag{3}$$

$$\sqrt{\tilde{c}_i^m = \frac{c_i^m - c_i^{\min}}{c_i^{\max} - c_i^{\min}}} \quad \tilde{c}_i^m = \frac{c_i^m - c_i^{\min}}{c_i^{\max} - c_i^{\min}} \tag{4}$$

$$\sqrt{S(m) = \sum_{i=1}^{8} k_i * \tilde{c}_i^m} \quad S(m) = \sum_{i=1}^{8} k_i * \tilde{c}_i^m \tag{5}$$

5 耳垫材质舒适性效度分析

为了验证该评价指标体系的有效性，选取了 3 个耳垫外皮材质不同、耳垫垫芯相同的耳机型号：Beoplay H9i、Sony WH-H910N 和 KOSS Qzpro。文中选择了 4 个能够从公开资料中查找到的材质参数，耳垫材质参数见表 5。

表 5 耳垫材质参数
Tab.5 Ear pad material parameters

耳机型号	材质	弹性模量（N/mm）	单位质量（g/m²/厚度 2.3 mm）	透气性（mL（cm²*h））	透湿性（g/（m²*24 h））
Beoplay H9i	羊皮	26.39	1 248	521	0.32
Sony WH-H910N	PU 皮	19.46	208	5.1	0.125
KOSS Qzpro	PVC	13.48	3 174	0	0.005

对材质参数进行归一化处理，归一化处理结果见表 6。

表 6 材质参数归一化结果
Tab.6 Material parameter normalization results

耳机型号	材质	弹性模量	单位质量	透气性	透湿性
Beoplay H9i	羊皮	1	0.64	1	1
Sony WH-H910N	PU 皮	0.46	1	0.01	0.38
KOSS Qzpro	PVC	0	0	0	0

由于只用到了 4 个指标参数，所以将权重按照原有比例进行重新计算，结果见表 7。

表 7 重新计算后的权重
Tab.7 Recalculated weight

	弹性模量	单位质量	透气性	透湿性
重新计算后的权重	0.462 5	0.291 5	0.196 6	0.049 4

将归一化结果进行权重计算，Beoplay H9i 得分为 0.895 1、Sony WH-H910N 得分为 0.636 2，KOSS Qzpro 得分为 0。在耳垫材质舒适性得分中，分值从大至小依次为羊皮>PU 皮>PVC。以上得分结果与专业评测网站 RTINGS.com 中这 3 款耳机的舒适性得分一致，因此该指标评价体系具有很强的有效性，舒适

性得分对照见表 8。

表 8 舒适性得分对照
Tab.8 Comfort score comparison

耳机型号	评测网站舒适性得分	舒适性评价体系得分
Beoplay H9i	8	0.895 1
Sony WH-H910N	7.5	0.636 2
KOSS Qzpro	5.5	0

6 结语

笔者以服装材质舒适性研究为基础，分析了相关文献，从中分析得出，服装舒适性可分为热湿舒适性、接触舒适性和压感舒适性，为贴身产品头戴式耳机耳垫材质舒适性的研究提供了参考。另外，笔者构建了头戴式耳机耳垫材质舒适性指标评价体系，并运用层次分析法求出了头戴式耳机耳垫材质舒适性的指标权重，通过桌面调研，将耳垫材质进行了分类，对耳垫材质的各项指标提供了测量方法，并通过数据标准化，消除了指标之间的量纲影响，解决了数据指标之间的可比性。最终通过 3 款耳机耳垫材质进行了舒适性效度测试，测试结果与评测网站结果一致，证明该体系具有有效性。

从结果和意义来看，头戴式耳机耳垫材质舒适性指标评价体系的建立，为舒适性提供了一个除传统的主观评价方法外的量化标准，为后续耳垫材质的研发与改进提供了更加明确的改进方向。耳机开发人员拿到一款材质，该材质是否适合作为头戴式耳机耳垫材质，可以通过文中的方法得到一个量化的得分，若得分高，则该材质适合作为头戴式耳机耳垫材质。如果想对某款耳垫材质舒适性进行提高改进，通过该方法可以知道哪种指标的提高可以很大程度地提高舒适性。文中旨在提供一种更加科学有效的评价方法，为头戴式耳机佩戴舒适性设计辅助系统的建设提供耳垫材质方面的参考。

参考文献：

[1] 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. Human-machine Relationship and Acoustic Design of Earphones[J]. Loudspeakers and Microphones, 2011, 35(10): 25-29.

[2] 林欢，邓小雷，林丽，等．基于人机工程学的头戴式耳机舒适性设计[J]．包装工程, 2018, 39(20): 171-175.
LIN Huan, DENG Xiao-lei, LIN Li, et al. The Comfort Design of Headset Based on Ergonomics[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(20): 171-175.

[3] GERGES S N Y. Earmuff Comfort[J]. Applied Acoustics, 2012, 73(10): 1003-1012.

[4] 王立新，范雪荣，孙友昌，等．基于纤维孔隙状况的皮革服装材料热湿舒适性的比较[J]．纺织学报，2012, 33(8): 97-102.
WANG Li-xin, FAN Xue-rong, SUN You-chang, et al. Comparison of Thermal and Moisture Comfort of Leather Clothing Materials Based on Fiber Porosity[J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(8): 97-102.

[5] 王飞．内衣用 PTT 混纺针织面料的舒适性研究[D]．苏州：苏州大学, 2012.
WANG Fei. Study on the Comfort of PTT Blended Knitted Fabric for Underwear[D]. Suzhou: Suzhou University, 2012.

[6] FAN J, HUNTER L. Physiological Comfort of Fabrics and Garments[J]. Engineering Apparel Fabrics and Garments, 2009(1): 201-250.

[7] 吴湘济，周晓鸣．服装里料服用舒适性及发展趋势[J]．上海工程技术大学学报, 2005(4): 366-370.
WU Xiang-ji, ZHOU Xiao-ming. Comfortability and Development Trend of Clothing lining[J]. Journal of Shanghai University of Engineering Science, 2005(4): 366-370.

[8] 吴小娜，夏蕾，胡婉月，等．弹性面料着装压力分布的研究进展[J]．上海纺织科技, 2016, 44(2): 12-14.
WU Xiao-na, XIA Lei, HU Wan-yue, et al. Research Progress on the Pressure Distribution of Elastic Fabrics[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2016, 44(2): 12-14.

[9] 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 Ling-peng, WANG Wei, DING Rixian, et al. Study on Optimization of Semi-parametric Design of Comfortable Earphones[J]. Journal of Audiology and Speech Pathology, 2015, 23(6): 646-650.

[10] BERGER E H, MITCHELL I. Measurement of the Pressure Exerted by Earmuffs and Its Relationship to Perceived Comfort[J]. Applied Acoustics, 1989, 27(2): 79-88.

[11] DAVIS R R, SHAW P B. Heat and Humidity Buildup under Earmuff-type Hearing Protectors[J]. Noise and Health, 2011, 13(51): 93.

[12] 刘宗明，李健国．基于人机工程学的头戴式耳机造型设计[J]．包装学报, 2018, 10(5): 39-45.
LIU Zong-ming, LI Jian-guo. The Shape Design of Headset Based on Ergonomics[J]. Packaging Journal, 2018, 10(5): 39-45.

[13] SCHMIDT A, BJARNOV E, NIELSEN T B, et al. Survey of Chemical Substances in Headphones and Hearing Protection Aids[M]. Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency, 2008.

[14] 肖湘文，沈校熠，柯长青，等．基于 Sentinel-1A 数据的多种机器学习算法识别冰山的比较[J]．测绘学报，2020, 49(4): 509-521.
XIAO Xiang-wen, SHEN Xiao-yi, KE Chang-qing, et al. Comparison of Multiple Machine Learning Algorithms Based on Sentinel-1A Data to Identify Icebergs[J]. Journal of Surveying and Mapping, 2020, 49(4): 509-521.

责任编辑：马梦遥