



电子鼻技术在办公家具用真皮气味检测中的应用

郭琼¹, 徐嘉俊¹, 左伯良², 吴思睿¹, 宋杰^{1*}

(1. 华南农业大学材料与能源学院, 广东 广州 510642; 2. 佛山市虹桥家具有限公司, 广东 佛山 528315)

摘要:在办公家具用真皮的评价中, 气味是其品质划分的重要指标之一。文章利用电子鼻技术和气味法, 结合现行皮革气味测定方法标准, 对 3 种气味较为明显的常用真皮样品进行了实验分析, 探究电子鼻技术与主观评价之间的关联性和差异性, 以期为办公家具用真皮气味检测方法的发展提供更好的思路 and 方向。结果表明: 所选的 3 种真皮, 其气味物质品类在醇醛醚成分和短链烷烃成分的相对含量上存在差异。针对真皮样品 2 进行主成分分析, 结果表明其气味与相对含量较高的醇醛醚成分和甲烷等短链烷烃成分有很大关联。对样品 2 进行 100 次有效湿态的电子鼻实验, 拟定了电子鼻法的皮革气味标准, 能为皮革气味的新技术检测提供一定指导。

关键词:电子鼻; 皮革; 办公家具; 气味

中图分类号:TS57 **文献标志码:**A

Application of Electronic Nose Technology in Odor Detection of Genuine Leather used in Office Furniture

GUO Qiong¹, XU Jiajun¹, ZUO Boliang², WU Sirui¹, SONG Jie^{1*}

(1. College of Materials and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Foshan Rainbow Furniture Co., Ltd, Foshan 528315, China)

Abstract: In the evaluation of genuine leather for office furniture, odor is one of the important indicators for its quality classification. This article used electronic nose technology and odor method, combined with the current leather odor detection method standards, to conduct experimental analysis on three commonly used leather samples with obvious odors, and explored the correlation and differences between electronic nose technology and subjective evaluation, in order to provide better ideas and directions for the development of leather odor detection methods for office furniture. The results showed that there were differences in the relative contents of alcohol, aldehyde, ether, and short chain alkane components among the three selected genuine leather samples. Principal component analysis was conducted on sample 2 of genuine leather, and the results showed that its odor was closely related to the relatively high contents of alcohol, aldehyde, ether components and short chain alkane components such as methane. We conducted 100 effective wet state electronic nose experiments on sample 2 and developed a leather odor standard for the electronic nose method, which can provide guidance for new technology detection of leather odor.

Key words: electronic nose; leather; office furniture; odor

收稿日期: 2024-11-05 修回日期: 2025-01-08 接受日期: 2025-01-10

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2020B0202010008); 基于青年群体午休需求的办公椅优化设计研究(h20240680)

第一作者简介: 郭琼(1977-), 女, 硕士研究生, 副教授, 研究方向: 家具与室内设计。E-mail: 157630392@qq.com。

* 通信作者: 宋杰(1981-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 家具设计、人体工程学。E-mail: 7592538@qq.com。

引言

皮革气味的成分复杂, 包含烷烃、烯烃、芳香烃及低沸点多环芳烃等^[1-2]。真皮从原皮到成品经历了鞣制、染色、加脂、涂饰等工序, 残留的化学物质与皮革本身产生的挥发性化合物导致办公家具真皮有一定的气味。办公家具真皮气味检测是品质评估的重要环节, 皮革异味问题在办公家具生产中较为普遍^[3]。目前, 我国大多数办公家具企业采用主观评价法检测真皮气味。该方法依赖感官判断, 容易受到人员、时间、环境等因素的影响, 导致结果差异较大。为克服上述问题, 需引入更为客观的评价方法, 以提供数据支撑和科学依据。

我国办公家具行业对皮革质量要求的主要标准为 GB/T 16799-2018《家具用皮革》^[4], 该标准规定气味指标要求为≤3 级, 采用的测试方法是 QB/T 2725-2005《皮革气味的测定》^[5], 该方法规定了 5 级制气味等级人工评价方法, 通过人工评价收集样品气味, 具体如表 1 所示。

目前皮革气味测试的标准主要应用于汽车行业

表 1 QB/T 2725-2005 中皮革气味等级描述^[5]
Tab. 1 Description of leather odor grade in QB/T 2725-2005

等级	描述
1	没有引人注意的气味。
2	稍有气味, 但不引人注意。
3	明显气味, 但不令人讨厌。
4	强烈的、讨厌的气味。
5	非常强烈的讨厌气味。

业, 测试方法多样。从表 2 可见, 汽车座椅气味检测标准相较于 QB/T 2725-2005 更加完善, 特别是在气味级别划分、实验人员选定及测定操作等方面, 美国通用汽车公司的标准提供了更为详尽的规定。

目前, 皮革中气味的测试方法主要借鉴汽车行业标准, 电子鼻法为测量气味方法的未来发展趋势。国内外的皮革气味检测研究主要集中在气味法、色谱法和光离子化法。气味法快速但主观性强, 色谱法虽然准确性高, 但其检测过程复杂, 耗时较长, 且需要专业的操作人员和设备, 难以在办公家具生产现场快速应用; 光离子化法虽然快速、半定量, 但其检测范围有限, 无法全面覆盖皮革气味的所有成分, 且易受环境因素干扰, 导致检测结果不稳定。现行气味法的 5 级制存在受人为因素影响大、不存在标准参考样品等问题^[3]。在进行高投入的定性分析之前, 可先采用电子鼻传感器技术对办公家具真皮的气味进行定性分析, 将气味法与电子鼻法两者结合应用有助于全面评估气味的主观感受和成分, 从而提升办公家具的品质和安全性^[7]。电子鼻是一种集成了常见气味数据库的气体检测装置, 使用半导体气体传感器^[8]。当气体通过其表面时, 特定的挥发性有机化合物(VOC)分子因氧化还原反应而被吸附在其表面, 导致半导体电阻发生相对应的变化, 从而实现了对特定 VOC 的准确测定^[9-10]。

本研究采用电子鼻技术对办公家具的真皮进行气味的定性分析, 提供客观的分析数据, 同时结合实验人员对真皮气味的主观评价, 探讨仿生技术与主观评价法相结合的分析模式, 旨在为真皮气味品质的判定提供参考依据。

表 2 气味测定方法对比
Tab. 2 Comparison of various methods for odor determination

标准名称	制定年份	检验人员要求	实验中对样品的处理方式	气味等级划分
QB/T 2725-2005 (我国现行皮革气味标准)	2005	试验人员应无嗅觉缺陷, 吸烟爱好者、用重香味化妆品者、传统的香味或烟草使用者等不适合作为试验人员。至少需要3名试验人员, 以半数以上一致的结果作为评定等级。	a、1 L样品气体 b、65 ℃ c、烘箱加热1 h	5级制
PV 3900 (大众汽车)	1993	评估必须由至少五名测试员。如果个人评估的分数相差超过2分, 则必须由至少5名主测试员重复测量。	a、21~25 ℃, 存放23~25 h, 管充50 mL水 b、保持65 ℃再80 ℃加热30 min	6级制
GMW 3205 ^[6] (美国通用汽车公司)	1980 (第一版)	任何气味应由3~6名测试人员使用以下给出的分类进行评估。汽车公司内部的气味委员会中化学家不得超过半数。	a、以mm ³ 为单位计算体积, 将试样体积乘以10 ⁻⁶ , 换算成L b、70 ℃ c、烘箱加热24 h	10级制

1 实验部分

采用气味法与电子鼻法对 H 公司提供的 3 种真皮样品进行检测,分析两种方法的关联与差异,旨在为现有真皮气味检测标准提供优化建议。

1.1 气味法检测实验

1.1.1 主要材料与仪器

实验装置:测试罐,采用金属罐或玻璃罐,容积为 1 L,在室温和 65 ℃ 条件下无明显气味。罐体应配备适合的盖子,且盖子应易于开启和更换。101-2AB 型烘箱,天津市泰斯特仪器有限公司,具有空气循环系统,能够稳定控制温度在 (65 ± 3) ℃。

试验环境:试验应在气味自由散发的环境中操作,调节的空间应尽量理想,但并非绝对必要^[11]。

试验人员:本实验选取 3 名试验人员,均符合 QB/T 2725-2005 标准,且为从业超过 5 年的试验员,实验场景为通过 CNAS 认证的实验室,试验人员应无嗅觉缺陷,且不为吸烟爱好者、重香味化妆品使用者或常规香味及烟草使用者^[12]。

取样与尺寸选取:样品由 H 公司提供,选取 3 种不同品类且有代表性的样品(其原料来源地、制作工艺和物理特性有差异,见(图 1)),每种样品切取具有代表性的试样两块,试样的尺寸为 125 mm×100 mm。

空气调节:试验前,试样应在温度 21~25 ℃ 和相对湿度 45%~55% 的环境中调节 24 h。

1.1.2 实验方法

对 3 种样品采用相同的实验方法,根据 QB/T

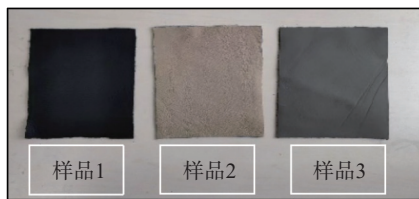


图 1 试验样品
Fig.1 Test samples

2725-2005 的实验方法进行,并根据上述标准筛选收集有效数据。

1.2 电子鼻法检测实验

1.2.1 主要材料与仪器

试剂:消毒试剂为无水乙醇($\geq 99.8\%$),由 H 公司提供。

仪器设备: SZ-93A 型纯水蒸馏器,上海亚荣有限责任公司; PEN3 型电子鼻,德国 Airsense 公司;烘箱,测试罐,同 1.1.1 节。取样与尺寸选取,与气味法检测试验相同。

实验中电子鼻主要参数:进样量 500 μL ,进样速度 500 $\mu\text{L/s}$,分析时间 120 s,检测器清洁时间 120 s。取传感器在 60~120 s 时的稳定值作为检测结果进行分析。每个样品平行检测 15 次,取 5 次稳定值(主成分分析的集中程度)作为检测数据,进行分析。

1.2.2 实验方法

1)为避免污染,试验前需要清理测试罐(包括盖子),先用热水冲洗,用适量的试验室清洁剂进行清洗,再用冷水冲洗、干燥,以保持洁净。

2)试样分别在干态和湿态条件下进行测试。于干态测试,将试样置于测试罐中并密封。湿态测试,将试样和 2 mL 蒸馏水(或去离子水)一同置于测试罐中并密封。同时,设置空罐作为对照组。

3)将对照组罐和测试罐一起置于预先温度为 (65 ± 3) ℃的烘箱中 1 h。

4)分别取出对照组罐和测试罐,分别对对照组、干态组、湿态组样品进行电子鼻分析。

2 结果与讨论

2.1 气味法实验结果和分析

表 3 是利用气味法对 H 公司的办公家具用真皮的气味测试结果。对于对照组样品,3 名试验员均未感知到明显的气味,表明该组可作为对照组;样

表 3 利用气味法的实验结果
Tab.3 Experimental results of the odor method

	样品						
	对照组	样品1		样品2		样品3	
	/	干态	湿态	干态	湿态	干态	湿态
试验员1	1级	2级	1级	3级	2级	3级	4级
试验员2	1级	2级	2级	2级	2级	3级	3级
试验员3	1级	3级	2级	2级	3级	3级	4级

品1只有一个结果为3级,明显气味,但不令人讨厌,表明气味较轻;相比之下,样品3稍强于其他样品,且3类样品的所有测试结果均存在差异,这表明气味的主观评价存在一定的变异性。样品3的气味评定结果大于3级,说明其气味较为显著。对于湿态样品,实验结果显示样品3在湿态下的气味明显强于其干态状态,表明湿态样品的气味通常较干态更为明显^[13]。

对气味的评定为主观判断,而感官评定受多方面因素影响。尽管多名实验员可能对气味作出一致评定,但同一试样的气味感知常存在差异^[14-16]。对照组的设定一定程度上提高了对实验结果的准确性,由于每个人对气味的敏感性和接受度不同,测得的实验结果仍有进一步提升的空间。5级制的评定等级表也导致了各级所代表的气味存在较大差异,尤其在2级和3级之间,试验员的主观感受可能出现重叠,从而引入一定误差,影响气味测试结果的精确性。

2.2 电子鼻法实验结果和分析

根据图2所示,以第一组样品1为例,传感器的初始状态均为0,在不同温湿作用下,各传感器在2~25 s内呈缓慢上升状态,约30 s后趋于平稳,横向对比电子鼻测试的物质可见,真皮气味的释放量相对较低。湿态下,响应值较高的传感器数量多于

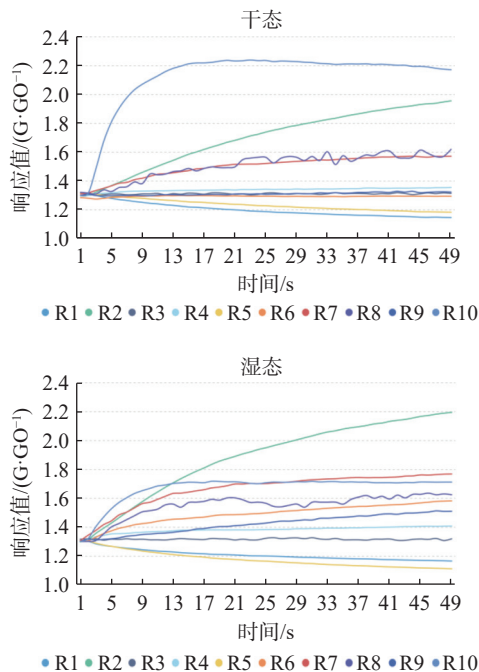


图2 样品1的电子鼻传感器阵列响应曲线
Fig.2 Response curves of electronic nose sensor array for sample 1

干态,主要原因是水分在湿态下作为溶剂,促进皮革中挥发性有机化合物(如甲酸、加脂剂等)释放^[17-18]。某些化合物在湿态下更活跃时,气味也就更加明显。

根据电子鼻输出数据绘制雷达图,按照电子鼻传感器阵列及其性能特性以及数据转化的示意图参照表(图3),对3种样品的电子鼻数据进行雷达图转换^[19]。其中1至10号传感器分别有相应的响应物质成分,其刻度为传感器响应值,在参照表中刻度选取0~2。

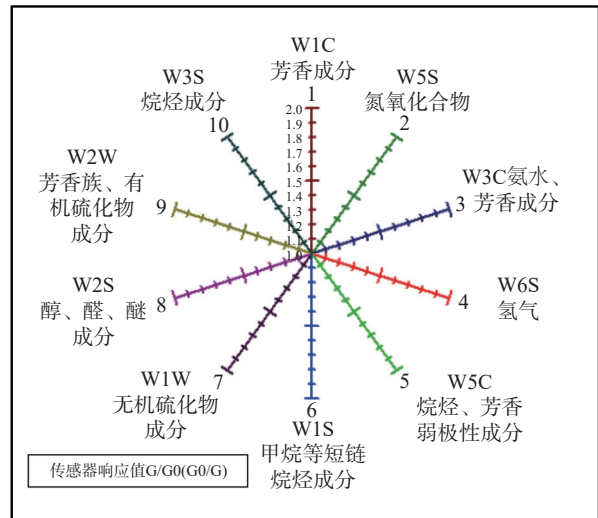


图3 电子鼻传感器响应物质成分示意图
Fig.3 Schematic diagram of the response substance composition of electronic nose sensor

提取3组平行组中一组的稳定阶段数据,对比不同样品的雷达响应图特征。比较干态与湿态的雷达图(图4),发现稳定阶段物质比例相似,图形形状大致相同。湿态样品的雷达图显示大部分传感器的响应值较低。对比3种样品的雷达图,发现其轮廓相似度低,即不同品质、不同工艺、不同原料来源地的真皮,在气味成分上存在差异,这可能与皮革制造过程中,脱灰、浸酸、鞣制、染色、加脂、涂饰等工艺对气味成分的影响有关。

此外,8号传感器在样品1和样品3中均有显著反应,表明其响应的成分与近年来社会关注的家具含醛类物质是否超标的问题相关。尽管人为测试并不能检测出是否含有甲醛,电子鼻技术能够间接揭示可能存在的甲醛相关成分,从而为后续的定量分析提供支持,进一步提升办公家具真皮的安全性。

2.3 针对样品2的主成分分析(PCA分析)

为了探究电子鼻技术与气味法测试的联系和差异,选取样品2作为研究对象,分析其气味法评定结

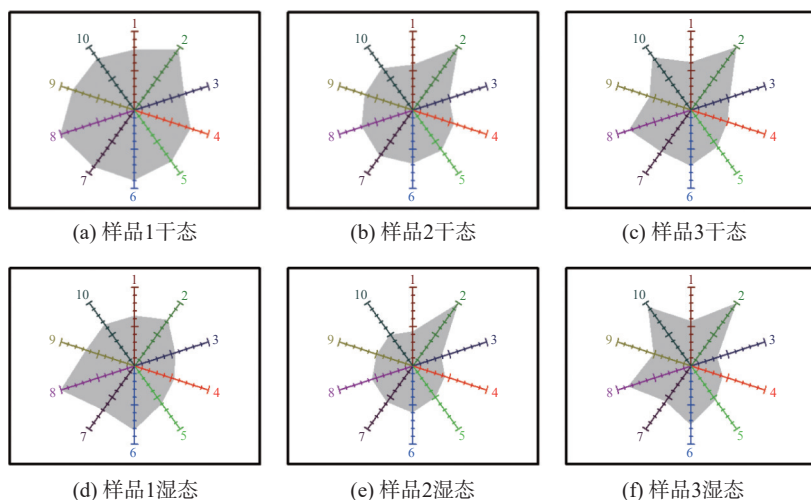


图4 不同样品的雷达响应图的分析对比

Fig.4 Analysis and comparison of radar response maps of different samples

果(气味级别为 2~3 级)与电子鼻检测数据之间的差异与关联。针对该样品,进行了 30 组重复实验,并对实验数据进行电子鼻分析,最终绘制 PCA 图(图 5)。

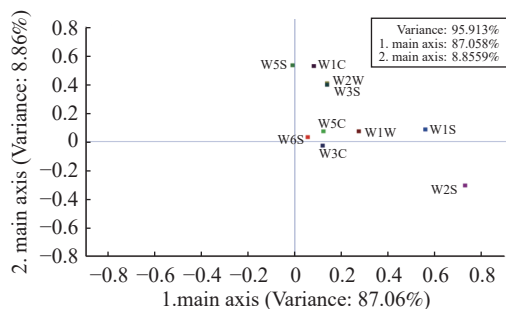


图5 样品 2 的电子鼻 PCA 图

Fig.5 PCA image of electronic nose for sample 2

第一主成分方差贡献率为 87.058%,第二主成分方差贡献率为 8.856%,累计方差贡献率 95.913%,表明电子鼻对处理后的样品 2 香气化合物的提取较为完整。由图可得,氢气(W6S)、烷烃芳香弱极性成分(W5C)、氨水芳香成分(W3C)更接近原点,表明这三个传感器所对应的物质类别在样品 2 这类真皮里,香气成分的贡献度低;反之,贡献度高的为无机硫化物(W1W)、甲烷等短链烷烃成分(W1S)的传感器,这也说明在样品 2 的气味检测中,气味法与相对含量较高的醇醛醚成分(W2S)和甲烷等短链烷烃成分(W1S)有很大关联。通过 PCA 图,可以直观地看到不同传感器对样品 2 气味特征的贡献,以及他们与气味法测试结果之间的关联。

2.4 气味法与电子鼻法的优缺点分析

1) 气味法

优点: 周期短、操作简单,是当前办公家具真皮

气味检测的主要方法,具有明确的执行标准和流程,且普及率较高。

缺点: 标准中采用 5 级评定,级别划分较少且不够明确,缺乏绝对参照物。此外,评价容易受到实验人员感官和心理因素的影响,仅能对气味强度进行定性评估,无法识别物质的类别和含量。

2) 电子鼻法

优点: 具有较高的客观性,能分析气味强度差异及其来源的化学物质,并通过雷达图直观显示不同化合物的比例,有助于更精确地区分气味级别。PEN3 型电子鼻设备相较于汽车行业的设备更轻便,投入较低。

缺点: 电子鼻测试输出为具体数据,缺乏针对真皮气味的标准化评定,且雷达图仅反映气味成分类别,而非具体物质的定量分析。电子鼻只能探测 10 类物质,限制了其检测的全面性。

3 电子鼻法的皮革气味评定参考标准

根据上述实验选取 H 公司中 10 组不同批次的样品 2 成品革,取样 100 组样品,按照 1.2.2 中的实验步骤和方法进行 100 次有效湿态的电子鼻实验,以拟定样品 2 的电子鼻技术检测气味评定参考标准^[20-22]。

如图 6 所示,116 组湿态的电子鼻实验数据大致呈“水滴型”,其中有效数据为 100 组。将 100 组数据雷达图覆盖,可观察样品 2 电子鼻检测结果。收集数据后,进行数据清洗,包括移除异常值、填补缺失值和平滑噪声等,以提高数据质量^[23]。由于标准拟定需要大量数据支持,本研究探究电子鼻

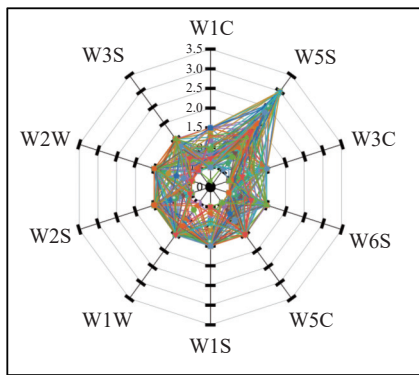


图 6 样品 2 的 100 组电子鼻分析雷达图汇总
Fig.6 Summary of 100 sets of electronic nose analysis radar images for sample 2

检测标准的可行性, 验证数据的有效性和稳定性, 并将数据集的基本特征进行总结导入 SPSS25.0 中进行分析, 结果如表 4 所示。

电子鼻实验数据呈“水滴型”分布, 说明在 10 组传感器中, 2 号传感器(W5S)输出的数据相对较高。根据表 4 可知, 所有变量的样本量均为 100, 确保数据集规模一致, 为分析提供了均衡的基础。在平均值方面, 各变量的均值在 0.77~1.83, 显示不同传感器间存在差异。其中 W5S 的平均值最高, 为 1.83, 而 W1C 的平均值最低, 为 0.77。标准差范围在 0.26~0.64, 其中 W5S 的离散程度最高(0.64), 而 W1W 的离散程度最低(0.26)。中位数方面, 大部分变量的中位数接近或等于平均值, 表明数据分布较为对称, 但 W1C 和 W6S 的中位数略低于平均值, 可能指示其分布略有偏左。所有变量的峰度值均小于 0, 说明分布相对于正态分布较为平坦, 尤其是 W1W 的峰度值最高(3.75), 表明其分布显著平坦。在偏度方面, 除了 W5C 外其余变量的偏度为正, 表明数据分布普遍向右偏, 尤其是 W1S 和 W1W 的偏度值较大(-1.72 和 -2.15), 显示出强烈的左偏特

性。在此, CV 值介于 0.17~0.43, 其中 W2W 的 CV 值最高(0.43), 表明该传感器的离散程度较大。

最后, 结合图 7 及上述气味检测法实验结果, 可以为样品 2 真皮气味拟定电子鼻数据标准:

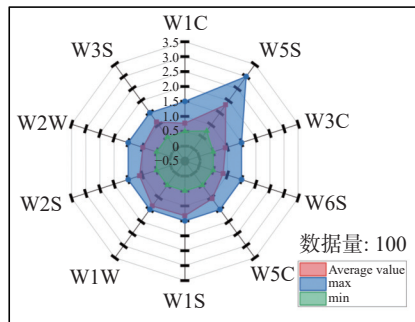


图 7 样品 2 的电子鼻分析数据描述雷达图
Fig.7 Electronic nose analysis radar image for sample 2

1) 针对样品 2 这种类的皮革进行电子鼻气味测试, 雷达图呈现“水滴状”分布, 表明 W5S(氮氧化物)传感器所输出的数据相对较高, 其余传感器所输出的数据在 0.77~1.37;

2) 雷达图数据超过平均值需进行人工进一步筛选;

3) 雷达图数据小于最小值或大于最大值时需进行再次测量并人工核查。

结合电子鼻技术检测气味拟定评定参考标准, 辅以定量分析, 有助于更全面地分析气味的主观感受和成分, 从而提升办公家具的品质和安全性, 为电子鼻气味评定标准的可行性及其实际应用价值提供支持。

4 结论

(1) 在本次实验中, 基于轻工行业标准 QB/T 2725-2005 优化的电子鼻气味测试方法, 得到 1~10 号传感器平均值分别为 0.77、1.83、0.93、0.85、

表 4 电子鼻响应值的数据分析
Tab. 4 Data analysis of electronic nose response values

变量名	样本量	最大值	最小值	平均值	标准差	中位数	方差	峰度	偏度	变异系数(CV)
W1C	100	1.53	0.15	0.77	0.34	0.62	0.12	-0.32	0.95	0.17
W5S	100	3.08	0.54	1.83	0.64	1.76	0.41	-0.74	0.19	0.35
W3C	100	1.51	0.47	0.93	0.38	0.88	0.14	-1.35	0.34	0.21
W6S	100	1.55	0.49	0.85	0.38	0.66	0.15	-1.19	0.63	0.45
W5C	100	1.48	0.51	1.07	0.40	1.06	0.16	-1.54	-0.23	0.38
W1S	100	1.51	0.45	1.33	0.30	1.50	0.09	1.66	-1.72	0.23
W1W	100	1.55	0.51	1.37	0.26	1.50	0.07	3.75	-2.15	0.19
W2S	100	1.51	0.50	1.10	0.40	1.23	0.16	-1.44	-0.46	0.36
W2W	100	1.47	0.53	0.99	0.42	0.96	0.18	-1.76	0.03	0.43
W3S	100	1.51	0.49	1.12	0.38	1.21	0.14	-1.23	-0.51	0.34

1.07、1.33、1.37、1.10、0.99、1.12,根据这些数据得出样品2气味的特征,可用于后续制定气味等级评定标准。

(2)在皮革的气味检测实践中,尽管气味法检测中评测等级相同,但通过电子鼻技术的多次实验可揭示气味成分的差异,从而更准确地分析气味来源,判断是否需要定量分析。采用电子鼻技术有助于完善皮革气味程度的客观评定标准,为皮革气味的消除与改善提供了理论基础。

(3)当下电子鼻技术仅能对真皮气味实施定性分析,更具标准性的定量分析需结合顶空固相微萃取-气相色谱质谱法技术。期待未来出现更快捷准确的技术用于办公家具用真皮的定性定量气味检测,为现行标准结合电子鼻传感器技术的创新升级提供支撑。

参考文献:

- [1] 王睿,桑军,黄志丁,等.皮革异味检测方法研究进展及其标准样品的研制初探[J].皮革科学与工程,2022,32(2):54-59,66.
WANG R, SANG J, HUANG Z D, et al. Review progress of assessing and preliminary research of certified reference material on odour of leather[J]. Leather Sci Eng, 2022, 32(2): 54-59, 66. (in Chinese)
- [2] 马贺伟,罗建勋.皮革与纺织品环保指标及检测[M].北京:中国轻工业出版社,2017.
MA H W, LUO J X. Ecological quality indicators and test for leather & textile [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2017. (in Chinese)
- [3] 刘珍珍,马贺伟,王荣娅,等.皮革中挥发性有机物的检测方法现状[J].中国皮革,2020,49(3):25-30.
LIU Z Z, MA H W, WANG R Y, et al. Review of the methods for determining volatile organic compounds in leather[J]. China Leather, 2020, 49(3): 25-30. (in Chinese)
- [4] 海宁瑞星皮革有限公司,浙江通天星集团股份有限公司,中国皮革和制鞋工业研究院. GB/T 16799-2018 家具用皮革[S].北京:中国标准出版社,2019:1-12.
Haining Ruixing Leather Co., Ltd., Zhejiang Tongtianxing Group Co., Ltd., China Leather and Footwear Industry Research Institute. GB/T 16799-2018 Furniture leather [S]. Beijing: STANDARDS PRESS OF CHINA, 2019: 1-12. (in Chinese)
- [5] 浙江卡森实业有限公司,中国皮革和制鞋工业研究院. QB/T 2725-2005 皮革气味的测定[S].北京:中国轻工业出版社,2005:1-4.
Zhejiang Kaisen Industrial Company Limited, China Leather and Footwear Industry Research Institute. QB/T 2725-2005 China light industry publishing house[S]. China Light Industry Publishing House, 2005: 1-4. (in Chinese)
- [6] General Motors. GMW 3205-2017 汽车内饰气味传播检测[S]. Detroit: General Motors, 2017: 1-6.
General Motors. GMW 3205-2017 Automotive interior odor emission testing[S]. Detroit: General Motors, 2017: 1-6.
- [7] 关社军.家具质量安全风险监测标准构建的研究[J].家具与室内装饰,2024,31(12):45-47.
GUAN S J. Study on the construction of furniture quality and safety risk monitoring standards[J]. Furnit Inter Des, 2024, 31(12): 45-47.
- [8] 穆申玲,沈文锋,吕大伍,等.电子鼻技术及其应用研究进展[J].材料导报,2024,38(14):52-65.
MU S L, SHEN W F, LV D W, et al. Advancements in electronic nose technology and its applications[J]. Materials Reports, 2024, 38(14): 52-65. (in Chinese)
- [9] 毛友安,刘巍,钟科军.电子鼻技术应用研究进展[J].化学传感器,2009,29(2):12-17.
MAO Y A, LIU W, ZHONG K J. Development of electronic nose applications[J]. Chemical Sensors, 2009, 29(2): 12-17. (in Chinese)
- [10] 方园,詹诗画,邹奉元.电子鼻技术及其在服装领域的应用[J].现代纺织技术,2017,25(2):76-80.
FANG Y, ZHAN S H, ZOU F Y. Electronic nose technology and its application in clothing field[J]. Adv Text Technol, 2017, 25(2): 76-80.
- [11] 王俊,崔绍庆,陈新伟,等.电子鼻传感技术与应用研究进展[J].农业机械学报,2013,44(11):160-167,179.
WANG J, CUI S Q, CHEN X W, et al. Advanced technology and new application in electronic nose[J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2013, 44(11): 160-167, 179. (in Chinese)
- [12] 中国合格评定国家认可委员会. CNAS-CL01-A016: 2018 检测和校准实验室能力认可准则在感官检验领域的应用说明[S].北京:中国合格评定国家认可委员会,2018:1-6.
China National Accreditation Service for Conformity Assessment. CNAS-CL01-A016: 2018 Guidance on the application of testing and calibration laboratory competence accreditation criteria in the field of sensory testing [S]. Beijing: China National Accreditation Service for Conformity Assessment, 2018: 1-6. (in Chinese)
- [13] 胡静,肖作兵,邓维钧,等.基于GC-MS对皮革特征气味的分析与模拟[J].中国皮革,2012,41(5):28-31.
HU J, XIAO Z B, DENG W J, et al. Leather odors analysis by GC-MS and simulation[J]. China Leather, 2012, 41(5): 28-31. (in Chinese)
- [14] DING W, CHENG Y H, WANG Y N, et al. Chrome-reduced combination tanning for cleaner dyed sheep fur processing[J]. J Am Leather Chem Assoc, 2015, 110(11): 363-371.
- [15] IN Y, LI D Y, AI M, et al. Correlation between volatile profiles and microbial communities: A metabonomic approach to study Jiang-flavor liquor Daqu[J]. Food Res Int, 2019, 121: 422-432.

[下转第91页]

- [12] 张会莲. 基于蜀锦纹样视觉符号的文创产品再设计研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2024.
ZHANG H L. Research on re-design of cultural and creative products based on the visual symbols of Shu brocade pattern[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2024. (in Chinese)
- [13] 刘凯雄, 潘邦龙. 龟形蛇纹寿图案的文化基因分析与设计应用研究[J]. 包装工程, 2023, 44(20): 414-425.
LIU K X, PAN B L. Cultural gene analysis and design application of turtle-shaped snake pattern for longevity[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(20): 414-425. (in Chinese)
- [14] 李淑乐, 曾春蓉, 张超. 台江苗绣纹样的基因谱系图构建及设计应用[J]. 包装工程, 2025, 46(2): 261-272.
LI S L, ZENG C R, ZHANG C. Construction and design application of gene pedigree map of Taijiang Miao embroidery patterns[J]. Packaging Engineering, 2025, 46(2): 261-272. (in Chinese)
- [15] 缪玲, 孙一义, 殷光吉. 基于形状文法的明式家具纹样再设计方法研究[J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(7): 63-67.
MIAO L, SUN Y Y, YIN G J. Research on the redesign method of Ming-style furniture pattern based on shape grammar[J]. Furnit Inter Des, 2022, 29(7): 63-67. (in Chinese)
- [16] 张书涛, 王洪倩, 王世杰, 等. 洮绣纹样文化意象基因提取及其应用[J]. 毛纺科技, 2024, 52(5): 38-47.
ZHANG S T, WANG H Q, WANG S J, et al. Extraction and application of cultural image gene of Tao embroidery patterns[J]. Wool Textile J, 2024, 52(5): 38-47. (in Chinese)
- [17] 王梦园, 弓太生. 基于形状文法的纹样衍生方法探究——以唐代陵阳公样在皮具中的应用为例[J]. 皮革科学与工程, 2021, 31(6): 70-75.
WANG M Y, GONG T S. Research on the method of pattern derivation based on shape grammar: Take the application of Lingyang gong pattern of Tang dynasty in leather goods as an example[J]. Leather Sci Eng, 2021, 31(6): 70-75. (in Chinese)
- [18] 唐亚娜, 王巍. 羌族挑花刺绣图案在皮革服装中的应用研究[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(3): 101-107.
TANG Y N, WANG W. Research on the application of Qiang cross stitch embroidery patterns on leather garments[J]. Leather Sci Eng, 2024, 34(3): 101-107. (in Chinese)
- [19] 吴晶, 马佳敏, 刘文庆, 等. 蜀锦团窠纹在女士手提包中的应用探析[J]. 皮革科学与工程, 2023, 33(3): 84-88.
WU J, MA J M, LIU W Q, et al. Application of Shu brocade Tuanke pattern in the design of female handbags[J]. Leather Sci Eng, 2023, 33(3): 84-88. (in Chinese)
- [20] 韦子番, 黎嘉珺, 陈硕. 基于形状文法的仡佬族刺绣纹样在包装设计中的再生应用[J]. 中国包装, 2022, 42(2): 51-54.
WEI Z F, LI J J, CHEN S. The regeneration of Mulao embroidery patterns in packaging design based on shape grammar[J]. China Packaging, 2022, 42(2): 51-54. (in Chinese)
- [21] 郭艳, 周小青. 《朝元图》人物服饰图案在现代女包设计中的创新应用[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(1): 109-113.
GUO Y, ZHOU X Q. Innovative application of "Chaoyuan map" character dress pattern in modern women's bag design[J]. Leather Sci Eng, 2024, 34(1): 109-113. (in Chinese)

[上接第 68 页]

- [16] KALMAN E L, LÖFVENDAHL A, WINQUIST F, et al. Classification of complex gas mixtures from automotive leather using an electronic nose[J]. Anal Chim Acta, 2000, 403(1/2): 31-38.
- [17] 虞德胜, 彭必雨. 皮革行业挥发性有机物的来源及防控[J]. 西部皮革, 2018, 40(15): 21-23.
YU D S, PENG B Y. Resource of volatile organic compounds in leather industry and the control[J]. West Leather, 2018, 40(15): 21-23. (in Chinese)
- [18] 董雪梅, 关红艳, 袁庆丹, 等. 多元材料组合 TVOC 的释放规律[J]. 环境化学, 2023, 42(4): 1389-1392.
DONG X M, GUAN H Y, YUAN Q D, et al. Determination of TVOC emission behavior after combination of various decorative materials[J]. Environmental Chemistry, 2023, 42(4): 1389-1392. (in Chinese)
- [19] 张良谊, 温丽菁, 周峰, 等. 用于测定空气中甲醛的电子鼻[J]. 高等学校化学学报, 2003, 24(8): 1381-1384.
ZHANG L Y, WEN L J, ZHOU F, et al. Electronic nose for the determination of formaldehyde in air[J]. Chem J Chin Univ, 2003, 24(8): 1381-1384. (in Chinese)
- [20] 徐耀宗, 崔晨, 童丽萍, 等. 用于车用材料 VOC 在线分析的便携式电子鼻设计[J]. 汽车实用技术, 2017, 14(23): 14-16, 19.
XU Y Z, CUI C, TONG L P, et al. Design of portable electronic nose for on-line analysis of VOC in automotive materials[J]. Automobile Technology, 2017, 14(23): 14-16, 19. (in Chinese)
- [21] 孙霞, 黄新霞, 沈云, 等. 顶空-气相色谱法检测皮革中挥发性有机物[J]. 中国皮革, 2014, 43(11): 40-43.
SUN X, HUANG X X, SHEN Y, et al. Analysis of volatile organic compounds in leather by headspace gas chromatography[J]. China Leather, 2014, 43(11): 40-43. (in Chinese)
- [22] 厦门 WTO 工作站. 美国修订消费品挥发性有机化合物限量要求[J]. 中国洗涤用品工业, 2014(1): 73.
WTO Working Station of Xiamen. Amendment of volatile organic compounds limit requirements for consumer goods in the United States[J]. China Clean Ind, 2014(1): 73. (in Chinese)
- [23] HIROHIKO W, OSAMU H, MASARU M. Analysis of characteristic odor compounds in leather by GC-MS and GC-Olfactometry[C]//The 33rd IULTCS Conference. Brazil: NOVOHAMBURGO, 2015, 11: 24-27.