汽车车内气味客观化评价方法研究

徐卉[1] 刁洪军[1] 冉晓旭[1] 董航[1] 胡俊艳[2] 姚谦[2]

（1. 中国第一汽车股份有限公司研发总院，长春 130013；2. 中汽研汽车检验中心（天津）有限公司，天津 300300）

摘要：为解决车内气味主观评价波动性大、溯源与整改难度高的问题，开展汽车座舱气味客观化评价研究。采用气相色谱-质谱联用仪（GC-MS）、高效液相色谱仪与气相色谱-离子迁移谱联用仪（GC-IMS）对整车及其座椅、门板、仪表板等内饰总成进行测试，通过气味活度值筛选关键气味物质。结果表明，醛酮类、酸酯类物质为核心气味贡献组分，门板与整车气味相似度最高，建立了主观气味感知与客观物质含量的对应关系。GC-MS与GC-IMS可实现气味精准溯源与整改效果验证。

关键词：气味 客观评价 整车 气味整改 GC-IMS

中图分类号：U465；X821 **文献标志码：**B **DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20250212

Research on Objective Evaluation Methods for Automotive Interior Odor

Xu Hui[1], Diao Hongjun[1], Ran Xiaoxu[1], Dong Hang[1], Hu Junyan[2], Yao Qian[2]

(1. Global R&D Center, China FAW Group Co., Ltd., Changchun 130013; 2. CATARC Automotive Test Center (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 300300)

Abstract: To address the issue of large fluctuations in subjective odor evaluation within vehicles and the high difficulty in tracing the source and making rectifications, research on the objective evaluation of vehicle cabin odors is conducted. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), high-performance liquid chromatography, and Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS) are employed to test the entire vehicle and its interior components such as seats, door panels, and instrument panels. Key odor-contributing substances are screened out through odor activity values. The results indicate that aldehydes, ketones, and acid esters are the core odor-contributing components, and the door panels have the highest odor similarity to the entire vehicle. A corresponding relationship between subjective odor perception and objective substance content is established. GC-MS and GC-IMS are able to achieve precise odor source tracing and verification of rectification effects, providing technical support for the control of in-vehicle air quality.

Key words: Odor, Objective evaluation, Vehicle, Odor rectification, GC-IMS

1 前言

随着汽车工业的持续发展与用户对车内环境健康关注度的不断提升，汽车座舱气味品质已成为评价整车内饰健康性能的核心指标之一。传统座舱气味评价高度依赖人工嗅辨，该类主观评价方法存在评价人员感官差异显著、评价结果不可量化、重复性与可比性差等问题，无法满足现代汽车内饰品质精细化管控的需求。

气相色谱-质谱联用仪（Gas Chromatography-Mass Spectrometry，GC-MS）、电子鼻等分析仪器的普及推动了汽车气味客观化评价技术的快速发展。该技术通过精准检测汽车内饰及整车释放的醛类、芳香烃等挥发性有机化合物的浓度，将气味物质定量数据与人体主观感知建立关联数学模型，实现了汽车气味评价从人工经验判断向数据

作者简介：徐卉（1990—），女，高级工程师，学士学位，研究方向为车内空气质量分析与评价技术。

参考文献引用格式：

徐卉，刁洪军，冉晓旭，等.汽车车内气味客观化评价方法研究[J]. 汽车工艺与材料，2026(5): 40-46.

XU H, DIAO H J, RAN X X, et al.Research on Objective Evaluation Methods for Automotive Interior Odor[J]. Automobile Technology & Material, 2026(5): 40-46.

驱动决策的转变。

气味客观化评价体系不仅可为汽车内饰材料选型、生产工艺优化、零部件质量管控提供依据，更通过构建“物质含量-感官体验-改善措施”的全流程闭环管理模式，显著提升整车企业座舱气味管控的精准性与工作效率，为汽车座舱健康品质升级提供重要技术支撑。

2　气味客观化评价技术原理

气味客观化评价是通过专业仪器检测与精准数据分析技术，将人工主观嗅觉感知转化为可量化、可追溯指标的科学方法，其核心在于建立气味物质含量与人体感官体验之间的稳定映射关系。目前在汽车行业中，实现气味客观化评价的核心设备主要包括GC-MS、电子鼻等，可完成挥发性有机物（Volatile Organic Compound，VOC）的快速检测与特征解析。本文将系统介绍上述2种经典分析方案，并探究气相色谱-离子迁移谱联用仪（Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry，GC-IMS）在气味客观化评价中的应用价值与技术优势。

2.1　GC-MS在气味客观化中的评价应用

GC-MS在汽车座舱气味客观化评价中主要承担全谱分析任务，通过解析Tenax采样管采集的样品数据，为整车、零部件总成及内饰材料样品提供精准的气味物质含量数据，是气味客观化评价中物质定性定量分析的经典手段。该仪器的分析效果受限于Tenax采样管可吸附的物质种类，且完整分析流程需30~60 min，检测周期较长，难以满足汽车产线批量样品快速筛查的高效性需求。此外，若针对特定异味物质进行精准分析，还需配套使用嗅辨系统，需专业嗅辨人员在嗅辨口前持续进行精准主观嗅辨，结合质谱谱库解析谱图特征，才能最终确定异味物质的种类与含量，专业嗅辨人员培养周期长、难度大，进一步限制了其在产线现场的规模化应用。

2.2　电子鼻在气味客观化中的评价应用

电子鼻作为一种新型气味数字化分析设备，凭借其快速响应特性，在食品、医疗、环境监测及安全防控等领域已展现出较高的应用价值，近年来逐步被引入汽车座舱气味评价领域。其核心工作原理是通过阵列传感器、光离子化（Photo Ionization Detector，PID）传感器等器件结合模式识别算法，将复杂气味信号转化为可量化的客观数据，有效解决了传统人工感官评价主观性强、重复性差的问题。电子鼻的技术优势突出，具体表现为响应速度快（秒级响应）、可实现非破坏性检测，且具备多组分气味综合影响解析能力。然而，电子鼻设备购置与维护成本高、低浓度气味物质识别精度不足、无法解析单一气味物质的具体浓度及单独影响、难以排除挥发但无气味物质的干扰。在汽车行业中，电子鼻多应用于成分单一的均质化内饰材料样品气味评价场景，难以满足整车及复杂总成的气味全面评价需求。当前相关研究正通过采用纳米材料传感器、优化深度学习算法等方式提升其检测性能。

2.3　GC-IMS在气味客观化中的评价应用

近年来，GC-IMS检测技术因其高灵敏度、检测速度快、操作便捷等特点，在汽车气味客观化评价领域备受关注。该技术可高效捕捉痕量小分子VOC，且样品无需复杂预处理即可检测[1-3]，大幅提升了检测效率。GC-IMS是一种融合气相色谱（Gas Chromatography，GC）高分离能力与离子迁移谱（Ion Mobility Spectrometry，IMS）高灵敏度的新型分析仪器，最初主要应用于食品科学技术领域，近年来逐步拓展至汽车、环境等领域，尤其适配汽车座舱气味痕量物质检测需求。

GC-IMS的核心检测原理为：样品中的VOC经载气（如高纯氮气）携带进入色谱柱，基于不同组分与色谱柱固定相的相互作用差异实现初步分离，保留时间可作为化合物的初步身份标识；分离后的各化合物进入离子迁移管，在高电压作用下发生电离形成带电离子，离子在均匀电场中依据迁移率差异实现二次分离（迁移时间与离子的质量/电荷比相关），最终由法拉第盘检测器生成包含保留时间、漂移时间及信号强度的三维谱图，为气味物质的定性定量分析提供依据。GC-IMS的离子化过程基于质子亲和力差异，而汽车座舱气味相关的VOC通常具有不同的质子亲和力，如表1所示，因此可实现气味物质的高效分离与精准识别。

表1 典型挥发性有机物的质子亲和力 kJ·mol^{-1}

典型物质	质子亲和力	化合物类别
吡啶	930.0	芳香胺类
甲胺	899.0	有机胺类
三甲基磷酸酯	890.6	含磷化合物
二甲亚砜	884.4	含硫化合物
氨	853.6	
2－戊酮	832.7	酮类
乙酸乙酯	821.6	酯类
1－己烯	805.2	烯烃
丁醛	792.7	醛类
丁醇	789.2	醇类
苯	750.4	芳香族化合物
水	691.0	
甲烷	543.5	烷烃类

综上，与GC-MS和电子鼻相比，GC-IMS在汽车座舱气味物质分析中具有显著的独特优势。首先，电子鼻定性模糊、无法解析单一物质，GC-IMS可提供精确的化合物分离效果及迁移时间数据，实现气味物质的准确定性分析。其次，GC-MS设备成本高、操作流程复杂、检测周期长，GC-IMS无需真空系统，可在常温常压条件下运行，检测限可达1×10^{-9}，更适配汽车产线现场快速检测需求，且对气味物质的识别难度更低、效率更高。此外，GC-IMS生成的二维谱图（保留时间×迁移时间）可直观区分同分异构体，电子鼻无法实现该功能，GC-MS则需通过复杂的质谱解析才能完成。同时，其非破坏性检测特性可有效保留样品完整性，弥补了GC-MS样品消耗量大、检测重复性差的缺陷，成为汽车座舱气味指纹分析的理想技术工具。本研究将对GC-MS与GC-IMS在汽车座舱气味客观化评价中的结果进行分析。

3 试验部分

3.1 试验对象与试验设备

试验对象为某品牌整车及关键内饰零部件。试验设备包括：预处理舱（昇微）、采样舱（昇微）、气味袋（大连德霖）、Tenax管（PE）、2,4-二硝基苯肼（2,4-Dinitrophenylhydrazine，DNPH）管（岛津）、GC-MS（PE/安捷伦）、高效液相色谱仪（High Performance Liquid Chromatography，HPLC）（安捷伦）、GC-IMS（德国G.A.S.）。

3.2 试验过程

3.2.1 样品预处理

选取某品牌整车及其同批次、同配置的关键内饰总成（驾驶员座椅、第二排座椅、门板、仪表板）作为试验样品，分别进行针对性预处理，确保样品状态统一，保障试验结果的准确性与可重复性。

整车样品预处理严格按照HJ/T 400—2007《车内挥发性有机物和醛酮类物质采样测定方法》[4]中4.4.1~4.4.2条款的要求执行，规范控制整车密闭、环境条件等关键预处理参数。

将内饰总成样品放入预处理舱中静置至少24 h，预处理舱环境温度控制在(23±2) ℃，环境相对湿度控制在50%±10%，环境污染物背景质量浓度需满足甲苯≤0.02 mg/m^3、甲醛≤0.02 mg/m^3。

3.2.2 样品采集

整车样品按HJ/T 400—2007要求完成敞开、密闭流程后，将车内空气采集至10 L气味袋中密封保存，作为GC-IMS分析样品；同时，通过Tenax吸附采样管采集VOC样品，用于GC-MS全谱分析；通过DNPH采样管采集醛酮类物质样品，用于HPLC分析。内饰总成样品经恒温恒湿预处理后，放入2 000 L气味袋中，经过3次充换气操作后，向袋内充入1 000 L高纯氮气，置于采样舱中，在65 ℃条件下加热2 h；随后将样品袋内空气采集至10 L气味袋中密封，作为GC-IMS分析样品；同步通过Tenax吸附采样管、DNPH采样管分别采集样品，用于GC-MS全谱分析及醛酮类物质HPLC分析。常温条件下，内饰总成样品释放的气味物质含量较低，检测难度较大，因此建议总成样品在高温加热条件进行样品采集，以提升气味物质浓度，保障检测准确性。

3.2.3 评价员主观测试

由5名气味评价员，按6级气味等级对整车及总成分别进行主观气味评价，气味评价员培训方法参考ISO 12219-7: 2017《Interior Air of Road Vehicles - Part 7: Odour Determination in Interior Air of Road Vehicles and Test Chamber Air of Trim Components by Olfactory Measurements》[5]执行，确保评价员的评价

一致性与专业性,主观评价结果如表2所示。

表2　整车及内饰总成样品主观评价结果

序号	样品名称	气味强度/分	气味方向
1	整车	3.5	香味、溶剂味、皮革味
2	驾驶员座椅	3.0	香味、溶剂味、酸味
3	第二排座椅	3.5	香味、皮革味、溶剂味
4	仪表板	3.5	溶剂味、塑料味
5	门板	3.0	香味、皮革味

4　试验结果与应用

4.1　气味客观评价结果

首先,将整车及各内饰总成采集的样品分别通过GC-MS进行挥发性有机物全谱分析,通过HPLC进行醛酮类物质定量分析,获取各样品的气味物质组成及含量数据。其次,为筛选对整车或内饰总成气味具有显著贡献的物质,引入气味活度值(Odor Activity Value,OAV),该指标在食品、环境等领域已得到广泛应用[6],其定义为气味物质的实际含量与该物质嗅阈值的比值,当某气味物质的OAV≥1时,表明该物质在样品整体气味中起主导作用。因此,本试验选取OAV≥1的物质作为各样品的关键气味物质,整车及内饰总成样品的气味活度值分析结果如表3所示,各气味物质对应的嗅阈值、阈值来源及气味特性如表4所示。

表3　整车及内饰总成样品气味活度值分析结果

物质类别	物质名称	CAS号	气味活度值					气味特性
			整车	主驾座椅	二排座椅	门板	仪表板	
芳香烃类	甲苯	108-88-3	0.33	0.04	0.05	0.04	0.03	溶剂味、塑料味
	乙苯、二甲苯		0.43	0.28	0.81	1.14	0.45	芳香气味、溶剂味
	苯乙烯	100-42-5	0.00	0.00	0.00	0.34	0.18	甜味、塑料味、溶剂味、刺激性气味
烷烃类	己烷	110-54-3	0.05	0.06	0.46	0.05	1.80	塑料味糊味或汽油味
酸酯类	乙酸乙酯	141-78-6	0.52	0.02	0.01	0.37	0.29	无明显气味
	乙酸	64-19-7	0.41	1.68	0.00	0.22	0.22	酸味
	乙酸仲丁酯	105-46-4	0.00	0.00	2.79	2.23	0.46	溶剂味、水果香味
	乙酸丁酯	123-86-4	0.44	0.32	1.35	8.03	0.36	果香气味
	丙二醇甲醚醋酸酯	108-65-6	0.42	2.33	0.00	12.08	0.00	指甲油、油漆气味
胺类	二甲基甲酰胺	68-12-2	0.11	0.00	0.02	0.01	1.22	纯品几乎无味,工业级有鱼腥味、臭味
醛酮类	辛醛	124-13-0	0.00	23.81	98.93	32.58	43.37	水果气味、溶剂气味
	己醛	66-25-1	19.82	120.06	204.71	126.10	195.66	水果和蔬菜气味
	甲醛	50-00-0	0.03	0.21	0.13	0.21	0.66	刺激性气味
	乙醛	75-07-0	33.85	59.39	106.67	41.88	35.34	辛辣、刺激气味
	丁醛	123-72-8	5.93	9.21	12.12	6.63	6.23	刺激性气味
	2-丁酮	78-93-3	0.14	0.03	0.04	1.63	3.85	溶剂味
	丙酮	67-64-1	4.50	0.96	0.57	7.76	0.74	溶剂味
	苯甲醛	100-52-7	0.01	0.09	0.09	0.38	0.19	溶剂味
	癸醛	112-31-2	0.00	4.80	6.28	4.22	6.72	溶剂味、苦杏仁味
	戊醛	110-62-3	0.00	13.07	14.81	0.00	16.58	花香-橙香复合香气
	庚醛	111-71-7	1.48	26.31	40.71	17.17	17.28	刺激性气味
	壬醛	124-19-6	2.16	63.98	79.50	24.12	26.76	微的果香或蔬菜香气

表4 各气味物质嗅阈值及气味方向

物质类别	物质名称	CAS号	气味阈值/μg·m^{-3}	气味特性	备注	嗅阈值来源
芳香烃类	甲苯	108-88-3	1 300	溶剂味、塑料味	芳香烃物质阈值较高，且其气味主要表现为溶剂气味	Nagata(2003)
			300			Cometto-Mufiz & Abraham (2009b)
	乙苯二甲苯		200~800	芳香气味、溶剂味		Nagata(2003)
	苯乙烯	100-42-5	150	甜味、塑料味、溶剂味、刺激性气味		Nagata(2003)
烷烃类	己烷(仅作为参考)	110-54-3	5 300	类似石油气味	车内烷烃主要为C8-C16间，主要为塑料味糊味或汽油味。	Nagata(2003)
	十一烷(仅作为参考)	1120-21-4	5 600	无明显气味		Nagata(2003)
酸酯类	乙酸乙酯	141-78-6	3 100	无明显气味	酸酯类物质嗅阈值相对均较低，且其气味较明显，主要为酸味、溶剂味、涂料味、油漆味等	Nagata(2003)
	乙酸	64-19-7	15	酸味		Nagata(2003)
	乙酸仲丁酯	105-46-4	12	溶剂味、水果香味		Nagata(2003)
	乙酸丁酯	123-86-4	77	果香气味		Nagata(2003)
	丙二醇甲醚醋酸酯	108-65-6	16	指甲油、油漆气味		Ziemer et al. (2000)
	其他酸酯类		大部分阈值均较低，部阈值在10左右	大部分酸酯为涂料溶剂，主要为溶剂味、油漆味等较刺激气味		
胺类物质	二甲基甲酰胺	68-12-2	140	纯品几乎无味，工业级有鱼腥味、臭味		Odoshashvili (1962)
醛酮类	辛醛	124-13-0	0.5	水果气味、溶剂气味	醛酮类物质浓度低为溶剂味、甜味或香味、浓度较高均为刺激性气味、部分物质随着浓度增加气味转化为刺激性气味、臭味，且会出现明显的身体反应，如眼、鼻粘膜出现刺激性	Nagata(2003)
	己醛	66-25-1	1.1	水果和蔬菜气味		Nagata(2003)
	甲醛	50-00-0	600	刺激性气味		Nagata(2003)
	乙醛	75-07-0	2.7	辛辣、刺激气味		Nagata(2003)
	丁醛	123-72-8	1.9	刺激性气味、醛味		Nagata(2003)
	2-丁酮	78-93-3	1 300	溶剂味		Nagata(2003)
	丙酮	67-64-1	100 000	溶剂味		Nagata(2003)
			1 000	溶剂味		Cometto-Mufiz & Abraham (2009b)
	苯甲醛	100-52-7	85	溶剂味、苦杏仁味		Yang et al. (2008)
	癸醛	112-31-2	2.6	花香-橙香复合香气		Nagata(2003)
	戊醛	110-62-3	1.4	刺激性气味		Nagata(2003)
	庚醛	111-71-7	0.85	微的果香或蔬菜香气		Nagata(2003)
	壬醛	124-19-6	2	有点刺激、不明显香味		Nagata(2003)

将整车及总成样品的气味袋样品分别接入GC-IMS进行物质分析，可获得各总成与整车气味物质的谱图，如图1所示。基于谱图数据可进一步对比整车与总成样品的气味相似度，结果如图2所示。各气味物质对整体气味的贡献度如图3所示。

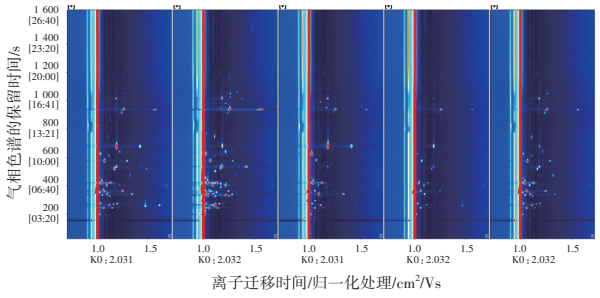


图1　整车及总成样品GC-IMS分析谱图(色谱图顺序为整车、门板、二排、主驾、仪表)

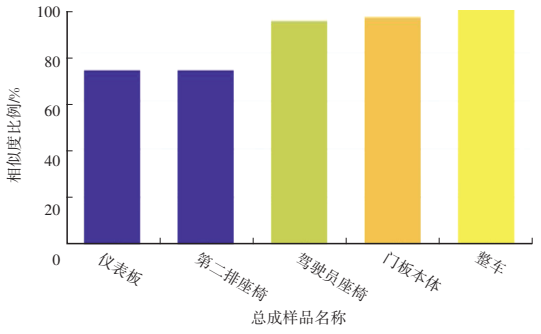


图2　整车与总成样品气味匹配度

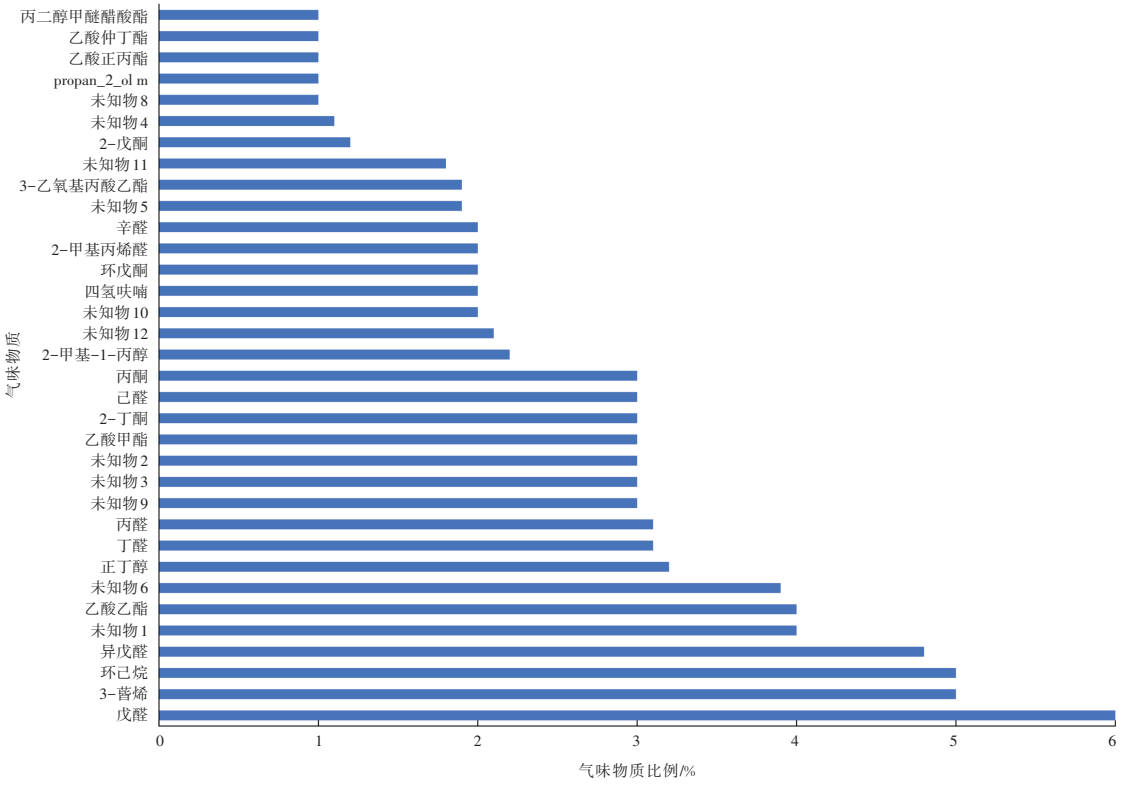


图3　气味物质贡献度排序

4.2　结果分析

由GC-MS及HPLC分析结果可知,气味活度值OAV≥1的物质主要为芳香烃、烷烃、酸酯类、二甲基甲酰胺、醛类及酮类物质。整车气味主要来源于醛酮类物质,内饰总成的溶剂味及香味同样以醛酮类物质为主要贡献来源,芳香烃、烷烃、酸酯类物质对溶剂味亦有一定贡献。从物质来源来看,芳香烃主要来源于座椅、门板,烷烃主要来源于仪表板,酸酯类物质主要来源于座椅和门板,胺类物质主要来源于仪表板,醛酮类物质在各类内饰总成中均有释放,对整体气味贡献突出。从气味特征对应关系来看,塑料味主要来源于烷烃,溶剂味主要来源于酸酯类、醛酮类及芳香烃类,酸味来源于乙酸,刺激性气味主要来源于醛类物质。

由GC-IMS分析结果可知,各内饰总成与整车的气味相似度由高到低依次为:门板总成、驾驶员座椅、二排座椅、仪表板本体总成。从气味物质组成来看,整车及各总成气味以酸酯、醛、酮类物质的散发为主。

4.3　拓展应用案例

GC-IMS分析方法在5台整车及50余件总成上依次开展了分析与验证,客观物质分析结果与主观气味分析结果对应性较好。针对同类型总成中气味表现存在差异的样品,其物质分析结果也能较好地说明产生气味差异的原因,不同气味强度及特征的行李箱地毯样品客观物质分析结果如图4所示,各样品主观气味评价结果如表5所示。

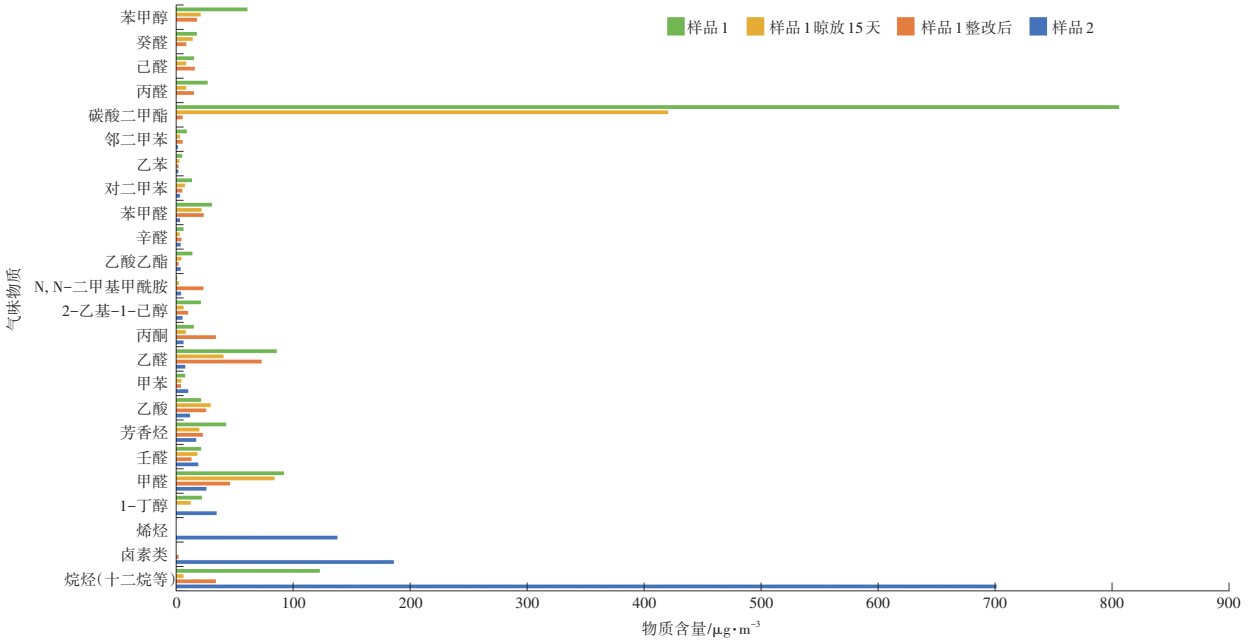


图 4 行李箱地毯样品气味物质分析结果

表 5 行李箱地毯样品主观气味评价结果

样品名称	气味强度/分	气味特性
样品 1	4.0	溶剂味、刺激
样品 1 晾放 15 天	3.5	溶剂味
样品 1 整改后	3.0	毛毡味、溶剂味
样品 2	3.0	毛毡味

样品 1 中酸酯类、醇醚类、醛类、烷烃类物质含量较高，整体呈现溶剂味，其中，醛类物质提升气味强度并带来刺激性；样品 1 经 15 天晾放及工艺整改后，产生溶剂味的关键物质含量显著下降，气味强度随之降低。样品 2 主观气味表现为毛毡味，客观物质分析显示其以烷烃、烯烃类物质为主，该类物质多呈现塑料味、糊味，卤素类物质无明显气味，主观评价与客观检测结果一致性良好。

5 结束语

在车内空气质量管控领域，气味客观化评价可有效解决传统主观评价波动性大、结果可重复性差导致的样品对比困难、异味整改方向不明确等问题。GC-IMS 在样品气味差异性分析中表现突出，可精准识别各内饰总成及材料对整车气味的贡献程度，为异味靶向整改提供依据；同时可通过对比整改前、后样品的气味物质变化，验证整改方案的科学性与有效性。将 GC-MS 与 GC-IMS 相结合，实现 2 种技术的互补验证与综合分析，可为整车座舱空气质量的科学评价与精准管控提供技术支撑。

参考文献：

[1] 姜鹏飞, 柳杨, 张浩, 等. 气相色谱-离子迁移谱在水产领域的应用[J]. 中国食品学报, 2023, 23(6): 431-440.

[2] 刘强, 倪小颖, 丁海臻, 等. 基于气相离子迁移谱技术的稻谷中玉米象快速定量检测分析[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(6): 162-169.

[3] 陈东杰, 李惠生, 隋青, 等. 七种榴莲成熟期采后品质及挥发性气味分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(14): 257-264.

[4] 生态环境部. 车内挥发性有机物和醛酮类物质采样测定方法: HJ/T 400-2007[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.

[5] Interior Air of Road Vehicles Part 7: Odour Determination in Interior Air of Road Vehicles and Test Chamber Air of Trim Components by Olfactory Measurements: ISO 12219-7: 2017[S]. [2025-08-14]. https://www. iso. org/standard/62641.html.

[6] 陈芝飞, 蔡莉莉, 郝辉, 等. 香气活力值在食品关键香气成分表征中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 329-335.

AT&M