

汽车车内气味客观化评价方法研究

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。



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，大幅提升了检测效率。

GC-IMS 是一种融合气相色谱高分离能力与离子迁移谱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。

试验过程

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：GC-IMS、预处理舱、采样舱、气味袋、Tenax 管、2,4-二硝基苯肼管、GC-MS、高效液相色谱仪等。



试验过程

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。

样品采集

整车样品按 HJ/T400—2007 要求完成开、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。

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。

试验结果与应用气味客观评价结果

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，该指标在食品、环境等领域已得到广泛应用，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 $OAV \geq 1$ 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 $OAV \geq 1$ 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 1 所示，各气味物质对应的嗅阈值、阈值来源及气味特性如表 2 所示。

表 1 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	195.7	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	
	苯甲醛	100-52-7	0.01	0.09	0.09	0.38	0.19	溶剂味、苦杏仁味
	癸醛	112-31-2	0.00	4.80	6.28	4.22	6.72	
	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 2 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/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	气味特性	备注	嗅阈值来源
芳香烃类	甲苯	108-88-3	1300 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)
	乙苯、二甲苯		200-800	芳香气味、溶剂味		Cometto-Muñiz & Abraham (2009b)
	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	5300	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	5600	无明显气味		Nagata(2003)
酸酯类	乙酸乙酯	141-78-6	3100	无明显气味	酯类物质嗅阈值相对较低，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、油漆味		Ziermer et al. (2000)
	其他酯类		大部分酯类阈值均较低，酯阈值在10左右	大部分酯类为涂料溶剂，主要为溶剂味、油漆味等较刺激气味		
	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、酸味		Nagata(2003)
	2-丁酮	78-93-3	1300	溶剂味		Nagata(2003)
	丙酮	67-64-1	1000	溶剂味、苦杏仁味		Cometto-Muñiz & 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。

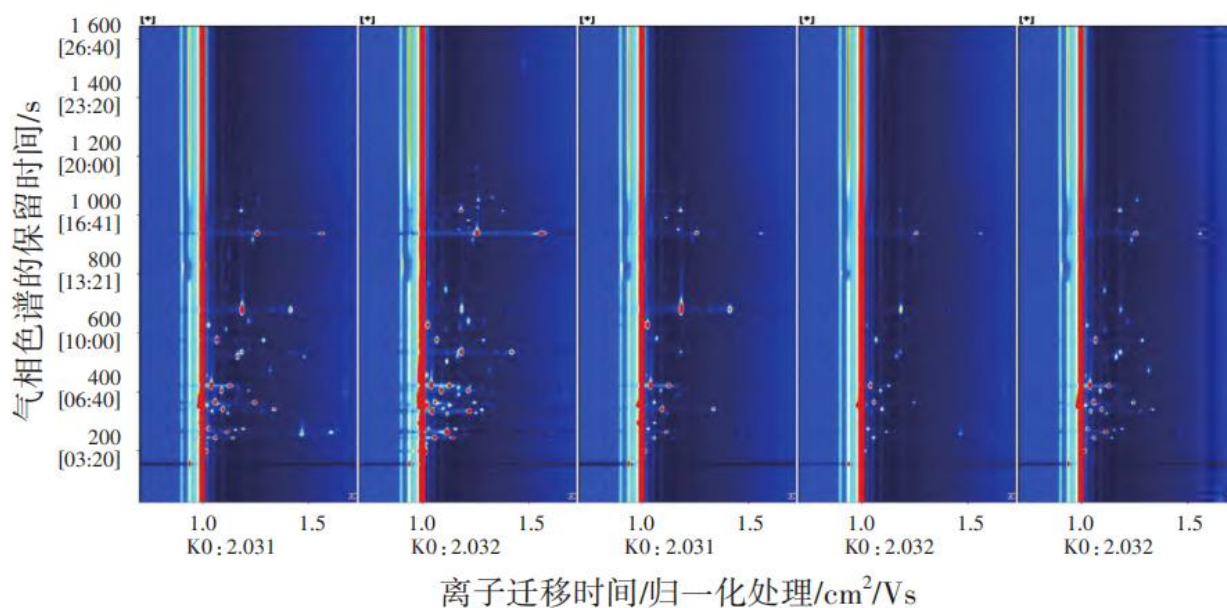


图1 整车及总成样品 GC-IMS 分析谱图（色谱图顺序为整车、门板、二排、主驾、仪表）

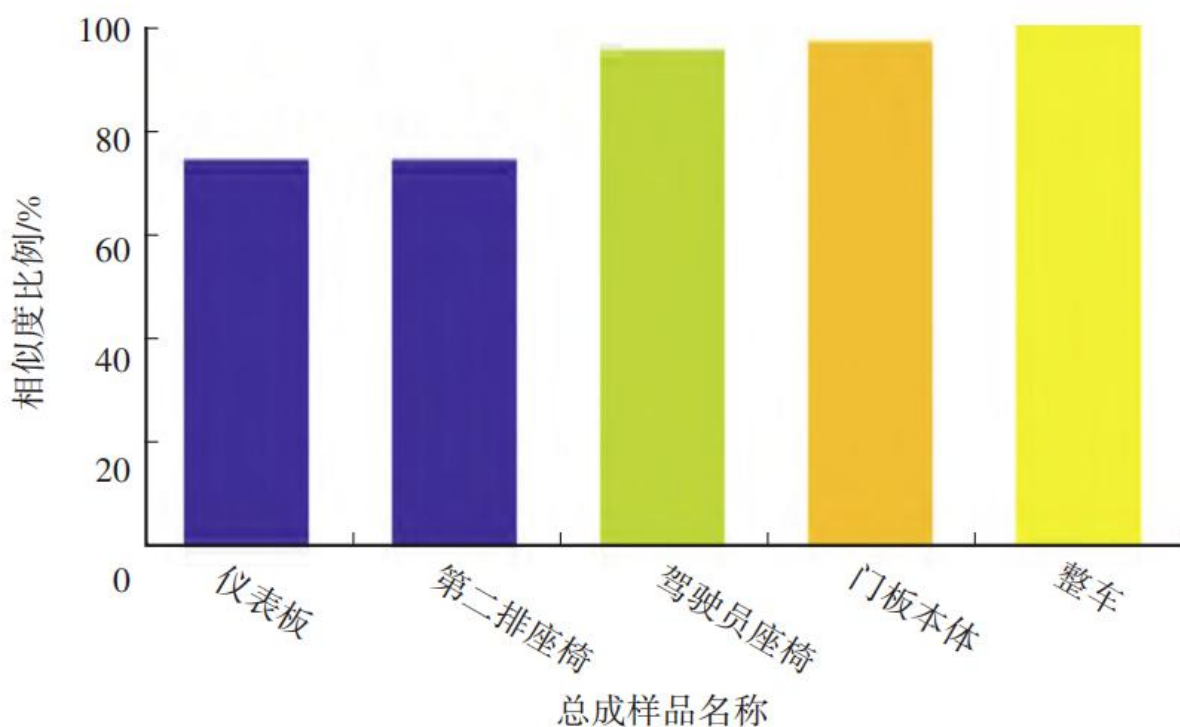


图2 整车与总成样品气味匹配度

结果分析

由 GC-MS 及 HPLC 分析结果可知，气味活度值 $OAV \geq 1$ 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。

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。