

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.09.022

红外光谱技术检验汽车保险杠塑料^{*}

宋小娇

(南京森林警察学院刑事科学技术系,南京 210023)

摘要:为建立交通事故现场遗留的汽车保险杠塑料物证的快速检验方法及推断肇事逃逸车辆的信息,采集了53个不同厂家、不同车型的汽车保险杠塑料样品,用红外光谱法对样品中的主要成分进行定性和半定量分析。定性分析结果表明,所有样品的主要有机成分均为聚丙烯;但样品中添加的无机助剂的种类有差异,其中不添加助剂的样品4个、滑石粉为助剂的样品30个、滑石粉和碳酸钙的混合物为助剂的样品19个。半定量分析结果表明,对于以滑石粉为助剂样品, A_{670}/A_{1376} 和 A_{1016}/A_{2917} 值的范围分别为0.5280~1.4681和1.5350~3.9334;对于以滑石粉和碳酸钙为助剂的样品, A_{670}/A_{1376} , A_{1016}/A_{2917} , A_{876}/A_{1376} , A_{876}/A_{2917} 值的范围分别为0.2890~1.2736, 0.8851~2.6423, 0.0405~0.9250, 0.0101~0.2532,即测定特征峰面积的比值可以进一步区分汽车保险杠。因此,红外光谱技术分析汽车保险杠塑料主要成分的种类及相对含量,可以较好地区分不同厂家汽车的保险杠。

关键词:汽车保险杠;塑料;红外光谱;定性分析;半定量分析

中图分类号: O657.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)09-0105-06

Application of Infrared Spectroscopy in Plastics Automobile Bumper Examination

Song Xiaojiao

(Department of Criminal Science and Technology, Nanjing Forest Police College, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to establish a method for detecting bumper plastic evidence in traffic accidents rapidly and obtain information of automobiles in hit-and-run incidents, 53 plastics automobile bumper samples of different typological automobiles which made by different manufacturers were collected and determined by infrared spectroscopy. According to the result of the qualitative analysis, the main organic components of all samples are polypropylene. However, the inorganic additives are different. The number of samples in which without additive, talcum powder as additive, mixtures of talcum powder and calcium carbonate as additives is 4, 30 and 19, respectively. From the semi-quantitative perspective, the ranges of values for A_{670}/A_{1376} and A_{1016}/A_{2917} are 0.5280–1.4681 and 1.5350–3.9334 respectively in the samples with talcum powder; the ranges of values for A_{670}/A_{1376} , A_{1016}/A_{2917} , A_{876}/A_{1376} and A_{876}/A_{2917} are 0.2890–1.2736, 0.8851–2.6423, 0.0405–0.9250 and 0.0101–0.2532 respectively in the samples with talcum powder and calcium carbonate. Furthermore, automobile bumpers can be distinguished through mensurating the ratios of characteristic peaks area. Consequently, bumpers made by different manufactures can be distinguished through analyzing the main components and relative content of additives in samples by the infrared spectrum technology.

Keywords: automobile bumper; plastics; infrared spectroscopy; qualitative analysis; semi-quantitative analysis

汽车保险杠具有缓和外界冲力、防护车身、保护车内成员安全的功能。20世纪80年代以后,具有成本低、密度小、耐腐蚀、设计自由度大等优点的塑料材料逐步替代金属材料,被广泛应用于制造汽车保险杠^[1-4]。随着我国汽车保有量急剧增加,道路交通事故数量呈逐年增长之势。位于汽车车身前后最外侧的保险杠外壳,常因碰撞而破裂成碎片散落在事故现场,或因刮蹭而附着在被撞客体的表面。建立可靠的汽车保险杠塑料的快速检验方法,可为交通事故中碰撞事实的确定、事故责任认定提供有力证据。分析遗落在肇事现场的保险杠塑料碎片的

成分,有助于推断肇事逃逸车辆的生产厂家、车型等信息,可为案件的及时侦破提供线索和方向。

塑料物证的分析方法有红外光谱法^[5]、拉曼光谱法^[6]、裂解气相色谱法^[7]、扫描电镜/能谱法^[8]等。红外光谱法具有检测样品速度快、样品用量少、无需繁琐的前处理等特点,而被广泛应用于交通事

^{*} 中央高校基本科研业务费专项资金项目(LGYB201610, LGYB201711),公安部技术研究计划项目(2015 JSYJC48)

联系人:宋小娇,博士,讲师,主要从事微量物证、毒物毒品物证分析方面的研究

收稿日期:2017-06-19

故中油漆、塑料等常见微量物证的检验^[9]。迄今,国内外,采用红外光谱法检验车身油漆物证的研究已经比较深入,许多国家已建立了其国内常见汽车车身油漆信息数据库^[10-13]。与之相较,汽车车身塑料物证的红外光谱特征的研究不够深入。国外,R. D. Blackledge^[14]将衰减全反射红外光谱技术应用于交通肇事逃逸案件中,通过对事故现场采集的保险杠碎片和嫌疑车辆保险杠的红外谱图的分析 and 比对,确定了肇事车辆,为案件侦破提供了有力支撑。A. E. Parybyk 等^[15]采集了澳大利亚主要的五个汽车制造商(丰田、三菱、通用、霍顿、福特)生产的28款汽车的保险杠,收集并分析样品的红外光谱图,可将样品分成8大类,其中主要成分为聚丙烯的样品所占比例最大。国内,卞新伟等^[16]采用红外光谱法检验了三起交通事故中的塑料物证,来确定或排除嫌疑肇事车辆。然而,国内常见车型的保险杠的红外光谱特征尚且缺乏系统性的分析研究。因此,笔者采用红外光谱技术分析53个不同厂家、不同品牌、不同车型的汽车保险杠,获得每个样品中主成分的种类及其相对含量的信息,为交通事故中保险杠塑料物证的检验提供方法和参考。

1 实验部分

1.1 汽车保险杠样品的采集

通过汽车4S店、汽车二手配件市场、汽车拆解厂、汽车报废公司等途径采集了53个不同汽车的保险杠塑料样品。收集的样品涵盖了国产、进口以及中外合资品牌汽车的保险杠,详细信息见表1。

1.2 主要仪器

傅里叶变换红外光谱仪:Nicolet iS10型,DTGS检测器,ATR附件,美国Thermo Scientific公司。

1.3 样品制备及实验方法

将采集的汽车保险杠样品用纯水清洗干净,自然晾干,待测。由于塑料是高分子材料,不容易磨碎,采用溴化钾压片法制备样品较难。因而选用样品制备简便的衰减全反射法采集样品的红外谱图。样品制备及测试条件如下:用手术刀片在体视显微镜下切除样品表层部分,切取样品内部干净、厚薄均匀、表面平整的塑料小片,置于ATR附件的样品台上,压紧,采集样品的红外光谱数据。扫描次数为32次,分辨率为 4 cm^{-1} ;自动增益为2,扫描范围为 $4000\sim 525\text{ cm}^{-1}$ 。采集的所有光谱数据均选用OMINIC软件进行处理和分析。

表1 汽车保险杠塑料样品的详细信息表

样品编号	品牌	生产厂商	车型
1 [#]	尼桑	东风日产	天籁
2 [#]	尼桑	东风日产	骐达
3 [#]	尼桑	东风日产	玛驰
4 [#]	尼桑	东风日产	轩逸
5 [#]	尼桑	东风日产	骊威
6 [#]	尼桑	东风日产	逍客
7 [#]	尼桑	东风日产	蓝鸟
8 [#]	尼桑	东风日产	奇骏
9 [#]	尼桑	东风日产	楼兰
10 [#]	尼桑	东风日产	阳光
11 [#]	大众	上汽大众	双塔纳
12 [#]	大众	上汽大众	朗行
13 [#]	大众	上汽大众	朗逸
14 [#]	大众	上汽大众	帕萨特
15 [#]	大众	上汽大众	凌渡
16 [#]	斯柯达	上汽大众	晶锐
17 [#]	斯柯达	上汽大众	明锐
18 [#]	别克	上汽通用	英朗
19 [#]	别克	上汽通用	金威
20 [#]	别克	上汽通用	威朗
21 [#]	别克	上汽通用	君越
22 [#]	雪佛兰	上汽通用	乐风
23 [#]	雪佛兰	上汽通用	迈锐宝
24 [#]	雪佛兰	上汽通用	埃唯欧
25 [#]	雪佛兰	上汽通用	赛欧
26 [#]	雪佛兰	上汽通用	科沃兹
27 [#]	雪佛兰	上汽通用	新科鲁兹
28 [#]	雪佛兰	上汽通用	老科鲁兹
29 [#]	起亚	悦达·起亚	福瑞迪
30 [#]	起亚	悦达·起亚	K3
31 [#]	起亚	悦达·起亚	K4
32 [#]	雪铁龙	东风汽车	C4L
33 [#]	雪铁龙	东风汽车	C5
34 [#]	雪铁龙	东风汽车	老世嘉
35 [#]	雪铁龙	东风汽车	新世嘉
36 [#]	雪铁龙	东风汽车	老爱丽舍
37 [#]	雪铁龙	东风汽车	新爱丽舍
38 [#]	雪铁龙	东风汽车	C3-XR
39 [#]	雪铁龙	东风汽车	C4毕加索
40 [#]	北京	北汽汽车	绅宝 D50
41 [#]	北京	北汽汽车	绅宝 x25
42 [#]	铃木	长安汽车	奥拓
43 [#]	铃木	长安汽车	雨燕
44 [#]	吉利	吉利汽车	博越
45 [#]	吉利	吉利汽车	小熊猫
46 [#]	吉利	吉利汽车	GC7
47 [#]	奇瑞	奇瑞汽车	瑞虎 3
48 [#]	长城	长城汽车	风骏 5
49 [#]	三菱	日本三菱	帕杰罗
50 [#]	三菱	广汽三菱	欧蓝德
51 [#]	三菱	广汽三菱	劲炫 ASX
52 [#]	奔驰	奔驰	s600
53 [#]	宝马	华晨宝马	523

2 结果与讨论

2.1 汽车保险杠塑料成分的定性分析

选用衰减全反射红外光谱法测定了 53 个不同汽车保险杠塑料样品。分析所得的红外谱图,发现所有样品的主要有机成分相同,均为聚丙烯,但添加的无机助剂不同(滑石粉或滑石粉和碳酸钙的混合物)。谱图中 2950, 2917, 2867, 2850, 1456, 1376, 1359, 1303, 1255, 1218, 1166, 1102, 997, 973, 899, 841, 808 cm^{-1} 等波数处为聚丙烯的吸收峰。其中 2950 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 不对称伸缩振动吸收峰, 2917 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2-$ 不对称伸缩振动吸收峰, 2867 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 对称伸缩振动吸收峰, 2850 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2-$ 对称伸缩振动吸收峰, 1456 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2-$ 弯曲振动吸收峰, 1376 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 对称变形振动吸收峰, 1166 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 面外摇摆振动吸收峰, 973 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 面内摇摆振动吸收峰。1303, 1256, 1218, 1102, 997, 899, 841, 808 cm^{-1} 等波数处是一系列与结晶有关的谱带。若红外谱图在 3676, 1016, 670 cm^{-1} 波数处有吸收峰, 说明塑料样品中添加了滑石粉为助剂。其中 3676 cm^{-1} 为结晶水的 $-\text{OH}$ 伸缩振动吸收峰, 1016 cm^{-1} 为 $\text{Si}-\text{O}$ 伸缩振动吸收峰, 670 cm^{-1} 为 $-\text{OH}$ 弯曲振动吸收峰。若红外谱图在 876 cm^{-1} 波数处有明显吸收峰(由 CO_3^{2-} 面外变形振动产生), 且 1457 cm^{-1} 波数处吸收峰变宽($\text{C}-\text{O}$ 的反对称伸缩振动与 $-\text{CH}_2-$ 弯曲振动产生的吸收谱带的邻近重叠), 说明塑料样品中添加了碳酸钙。

依据主要组成成分, 53 个保险杠塑料样品可以划分为三大类: I 聚丙烯; II 聚丙烯 + 滑石粉; III 聚丙烯 + 滑石粉 + 碳酸钙。样品的分类详情如表 2 所示, 红外吸收光谱谱图见图 1 ~ 图 3。

表 2 汽车保险杠样品的定性分析结果

类别	样品编号	数目	主要成分	分类依据
I	32 [#] ~ 35 [#]	4	聚丙烯	与聚丙烯标准谱图一致
II	1 [#] ~ 10 [#] , 16 [#] ~ 28 [#] , 36 [#] ~ 39 [#] , 49 [#] ~ 51 [#]	30	聚丙烯, 滑石粉	3676(弱), 1016(强), 670 cm^{-1} (中强)
III	11 [#] ~ 15 [#] , 29 [#] ~ 31 [#] , 40 [#] ~ 48 [#] , 51 [#] , 52 [#]	19	聚丙烯, 滑石粉, 碳酸钙	3676(弱), 1016(强), 670 和 876 cm^{-1} (中强)

2.2 汽车保险杠塑料材质的半定量分析

为进一步区分不同厂家不同车型的保险杠, 可选用峰面积比值法对样品中无机助剂的含量进行半定量分析。因为滑石粉在 670 cm^{-1} 和 1016 cm^{-1} 波数处, 碳酸钙在 876 cm^{-1} 波数处, 聚丙烯在

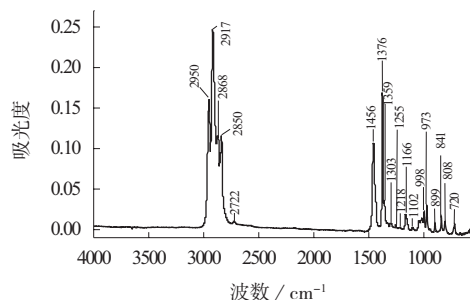


图 1 I 类汽车保险杠塑料的红外吸收光谱图

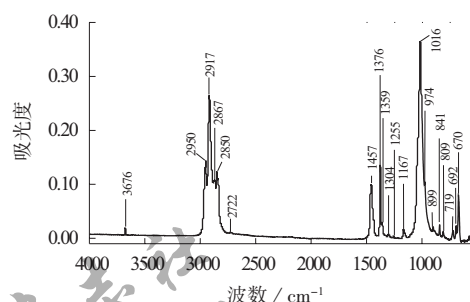


图 2 II 类汽车保险杠塑料的红外吸收光谱图

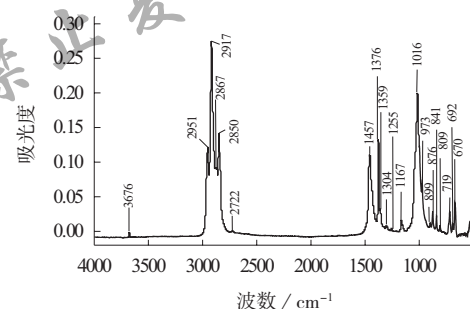


图 3 III 类汽车保险杠塑料的红外吸收光谱图

1376 cm^{-1} 和 2917 cm^{-1} 波数处吸收峰的特征性强、干扰较少, 所以选择分别测定这 5 处特征吸收峰的面积 (A), 并计算出 A_{670}/A_{1376} , A_{1016}/A_{2917} 值来衡量样品中滑石粉与聚丙烯的含量比值, A_{876}/A_{1376} , A_{876}/A_{2917} 值来衡量样品中碳酸钙与聚丙烯的含量比值。

(1) 保险杠不同部位材质的均匀性研究。

选择尼桑 / 轩逸和大众 / 朗逸汽车保险杠塑料的不同部位为研究对象, 用全反射法采集其红外吸收光谱。测量所得红外谱图中 670, 876, 1016, 1376, 2917 cm^{-1} 波数处峰面积, 计算 A_{670}/A_{1376} , A_{1016}/A_{2917} , A_{876}/A_{1376} , A_{876}/A_{2917} 四组峰面积的比值, 求出每个样品的 8 个不同部位的峰面积比值的平均值 ($\bar{x}$)、标准偏差 (S)、相对标准偏差 (即变异系数 CV), 结果见表 3。

从表 3 可知, 每次切取同一汽车保险杠不同部

表3 汽车保险杠样品的均匀性分析

样品名称	部位编号	特征峰面积					峰面积比			
		A_{670}	A_{876}	A_{1016}	A_{1376}	A_{2917}	A_{670} / A_{1376}	A_{1016} / A_{2917}	A_{876} / A_{1376}	A_{876} / A_{2917}
尼桑 / 轩逸	1	0.9816		11.0955	1.0098	3.7107	0.9721	2.9901		
	2	0.9906		10.4829	1.0462	3.8191	0.9469	2.7449		
	3	0.9803		11.1473	1.0176	3.9085	0.9633	2.8521		
	4	0.9904		10.8879	1.0295	3.8974	0.9620	2.7936		
	5	0.9395		10.0076	0.9529	3.3029	0.9859	3.0299		
	6	0.9539		10.0914	1.0112	3.7136	0.9433	2.7174		
	7	0.9831		10.7628	1.0283	3.7015	0.9560	2.9077		
	8	1.0192		11.4561	1.0361	3.8034	0.9837	3.0121		
	$\bar{X}$						0.9642	2.8810		
	S						0.0157	0.1229		
$CV/\%$						1.63	4.27			
大众 / 朗逸	1	0.5593	0.2541	6.8785	0.9881	4.4030	0.5660	1.5622	0.2572	0.0577
	2	0.5501	0.2518	6.7135	0.9816	4.4516	0.5604	1.5081	0.2565	0.0566
	3	0.5533	0.2507	6.9045	0.9903	4.4869	0.5587	1.5388	0.2532	0.0559
	4	0.5524	0.2515	6.9948	0.9687	4.3909	0.5702	1.5930	0.2596	0.0573
	5	0.5408	0.2510	6.6544	0.9538	4.2735	0.5670	1.5571	0.2632	0.0587
	6	0.5097	0.2426	6.2539	0.9261	4.0897	0.5504	1.5292	0.2620	0.0593
	7	0.5392	0.2451	6.6630	0.9758	4.3442	0.5526	1.5338	0.2512	0.0564
	8	0.5148	0.2428	6.3688	0.9491	4.1756	0.5424	1.5252	0.2558	0.0581
	$\bar{X}$						0.5585	1.5434	0.2573	0.0575
	S						0.0095	0.0264	0.0041	0.0012
$CV/\%$						1.67	1.72	1.61	2.09	

位塑料的量有差异,导致同一保险杠不同部位相同波数处的吸收峰面积的测量值有差异,但峰面积比值不受切取塑料的量影响。此外,同一保险杠8个不同部位的同一组峰面积比值的变异系数均小于5%,说明峰面积比值不存在明显差异,即同一汽车保险杠塑料材质是均匀的。因此,可以选用保险杠任何部位的塑料为研究对象,进行成分分析研究。

(2) 半定量法分析常见品牌、型号汽车保险杠塑料成分的差异。

分别测量上述53个样品的红外吸收光谱图中670,876,1016,1376,2917 cm^{-1} 波数处峰面积,计算 A_{670}/A_{1376} , A_{1016}/A_{2917} , A_{876}/A_{1376} , A_{876}/A_{2917} 四组峰面积的比值,所得结果见表4。对于主要组成成分为聚丙烯和滑石粉的II类保险杠塑料样品, A_{670}/A_{1376} 和 A_{1016}/A_{2917} 值的范围分别为0.5280~1.4681和1.5350~3.9334,以 A_{1016}/A_{2917} 值对 A_{670}/A_{1376} 值作二维散点图,如图4a所示。由图4a可得,雪佛兰和别克汽车(两者均是上汽通用公司旗下的品牌)的样品中滑石粉含量很接近,而与其他品牌汽车的保险杠中滑石粉的含量有区别。因此,不同厂家汽车的保险杠塑料中添加的滑石粉的量有差异,同一品牌不同车型的样品中添加的滑石粉的量接近。对于主要组成成分为聚丙烯、滑石粉和碳酸钙的III类保险杠塑料样品, A_{670}/A_{1376} , $A_{1016}/$

A_{2917} , A_{876}/A_{1376} , A_{876}/A_{2917} 值的范围分别为0.2890~1.2736,0.8851~2.6423,0.0405~0.9250,0.0101~0.2532,以 A_{876}/A_{1376} 值对 A_{670}/A_{1376} 值作二维散点图,如图4b所示。由图4b可得,对于上汽大众和东风悦达·起亚、长安铃木等合资企业生产的汽车,同一厂家不同车型的样品中添加的无机助剂(滑石粉、碳酸钙)的含量接近;对于北京、吉利等中国自主品牌汽车,相同品牌不同车型汽车中的无机助剂的含量接近程度较前者差;对于所有III类样品,不同厂家汽车的保险杠中无机助剂的含量存在明显差异;因此,采用红外光谱技术对汽车保险杠塑料中添加的无机助剂进行半定量分析,可以对不同生产厂家的汽车加以区分。

3 结语

建立了衰减全反射红外光谱技术分析汽车保险杠塑料组成成分的方法。基于吸收峰位置、数目、形状、强度的定性分析,可将分析对象归为三大类:I类为聚丙烯塑料、II类为添加滑石粉的聚丙烯塑料、III类为添加滑石粉和碳酸钙的聚丙烯塑料。半定量结果表明,II类样品中 A_{670}/A_{1376} 和 A_{1016}/A_{2917} 值的范围分别为0.5280~1.4681和1.5350~3.9334;III类样品中 A_{670}/A_{1376} , A_{1016}/A_{2917} , A_{876}/A_{1376} , A_{876}/A_{2917} 值的范围分别为0.2890~1.2736,0.8851~2.6423,0.0405~0.9250,0.0101~0.2532。

表 4 汽车保险杠样品的半定量分析结果

样品 编号	特征峰面积					峰面积比			
	A_{670}	A_{876}	A_{1016}	A_{1376}	A_{2917}	A_{670} / A_{1376}	A_{1016} / A_{2917}	A_{876} / A_{1376}	A_{876} / A_{2917}
1	1.032 1		10.732 0	1.051 2	3.398 7	0.981 8	3.157 7		
2	1.008 9		11.093 6	0.962 1	3.559 7	1.048 6	3.116 4		
3	0.994 8		11.444 6	1.017 4	3.959 8	0.977 8	2.890 2		
4	0.993 7		10.988 3	1.025 8	3.894 6	0.968 7	2.821 4		
5	1.063 9		10.651 3	1.046 7	3.766 3	1.016 4	2.828 1		
6	1.032 4		12.023 9	1.072 2	3.926 9	0.962 9	3.061 9		
7	1.005 2		10.705 0	1.024 7	3.624 4	0.981 0	2.953 6		
8	1.042 6		11.628 0	1.005 1	4.011 0	1.037 3	2.899 0		
9	1.027 6		11.986 6	0.994 5	3.703 0	1.033 3	3.237 0		
10	1.110 9		11.574 9	1.073 5	3.835 3	1.034 8	3.018 0		
11	0.529 4	0.202 7	6.691 4	0.921 5	4.306 9	0.574 5	1.553 6	0.220 0	0.047 1
12	0.537 4	0.243 4	6.529 6	0.943 8	4.265 7	0.569 4	1.530 7	0.257 9	0.057 1
13	0.537 6	0.253 1	6.578 9	0.969 8	4.316 0	0.554 3	1.524 3	0.261 0	0.058 6
14	0.551 0	0.215 2	7.005 6	0.972 2	4.379 2	0.566 8	1.599 7	0.221 4	0.049 1
15	0.615 7	0.208 1	7.807 4	1.063 6	4.989 9	0.578 9	1.564 6	0.195 7	0.041 7
16	0.778 4		9.157 0	0.987 6	4.692 4	0.788 2	1.951 5		
17	0.758 6		8.921 2	0.959 1	4.561 4	0.790 9	1.955 8		
18	1.053 4		9.554 0	0.812 4	2.862 8	1.296 7	3.337 3		
19	1.322 5		14.218 5	1.013 1	3.914 8	1.305 4	3.632 0		
20	1.403 5		14.800 6	0.976 1	3.940 6	1.437 9	3.755 9		
21	1.377 5		14.964 0	0.938 3	3.867 0	1.468 1	3.869 7		
22	1.293 9		13.573 3	1.023 3	3.900 0	1.264 4	3.480 3		
23	1.298 6		14.964 0	0.985 6	3.899 8	1.317 6	3.837 1		
24	1.339 3		14.031 9	1.047 1	3.991 7	1.279 1	3.515 3		
25	1.214 0		8.037 0	0.971 2	2.142 9	1.250 0	3.750 5		
26	1.273 0		14.828 1	0.953 7	3.852 0	1.334 8	3.849 5		
27	1.339 3		14.940 7	0.945 9	3.798 4	1.415 9	3.933 4		
28	1.250 3		14.413 8	0.963 7	3.836 5	1.297 4	3.757 0		
29	1.176 5	0.056 3	9.279 4	0.941 3	3.776 0	1.249 9	2.457 5	0.059 8	0.014 9
30	1.263 7	0.040 5	10.281 7	1.001 2	4.012 6	1.262 2	2.562 4	0.040 5	0.010 1
31	1.210 0	0.044 7	10.602 6	0.950 1	4.012 6	1.273 6	2.642 3	0.047 0	0.011 1
32				1.192 9	3.451 1				
33				1.299 0	3.527 5				
34				1.214 0	3.324 4				
35				1.317 9	3.528 2				
36	0.663 0		8.278 5	1.042 9	3.815 5	0.635 7	2.169 7		
37	0.650 9		7.890 6	1.077 7	3.896 5	0.604 0	2.025 0		
38	0.635 2		7.697 6	0.997 0	4.026 9	0.637 1	1.911 5		
39	0.634 9		7.578 2	1.016 5	3.985 9	0.624 6	1.901 3		
40	0.780 4	0.413 1	8.799 8	1.022 8	3.926 3	0.763 0	2.241 2	0.403 9	0.105 2
41	0.858 0	0.602 9	9.654 8	1.127 1	3.748 3	0.761 2	2.575 8	0.534 9	0.160 8
42	0.924 3	0.047 4	6.626 9	1.027 9	3.940 6	0.899 2	1.681 7	0.046 1	0.012 0
43	0.903 1	0.042 0	6.615 3	0.996 7	3.836 8	0.906 1	1.724 2	0.042 1	0.010 9
44	0.252 8	0.206 8	3.335 0	0.574 6	1.556 2	0.440 0	2.143 0	0.359 9	0.132 9
45	0.441 0	0.495 3	4.478 1	0.919 4	1.956 2	0.479 7	2.289 2	0.538 7	0.253 2
46	0.397 5	0.215 4	12.593 9	0.807 5	5.278 1	0.492 3	2.386 1	0.266 7	0.040 8
47	0.613 1	0.448 6	7.011 2	0.894 1	3.988 2	0.685 7	1.758 0	0.501 7	0.112 5
48	0.735 1	0.843 6	8.202 8	0.912 0	3.959 5	0.806 0	2.071 7	0.925 0	0.213 1
49	0.565 3		5.960 8	1.070 7	3.883 2	0.528 0	1.535 0		
50	0.578 7		6.220 9	1.073 0	3.831 6	0.539 3	1.623 6		
51	0.574 0	0.879 8	7.388 6	0.987 2	3.964 5	0.581 4	1.863 7	0.891 2	0.221 9
52	0.308 0	0.118 8	3.438 4	1.065 8	3.884 7	0.289 0	0.885 1	0.111 5	0.030 6
53	1.091 0		8.702 4	0.944 6	4.054 5	1.155 0	2.146 4		

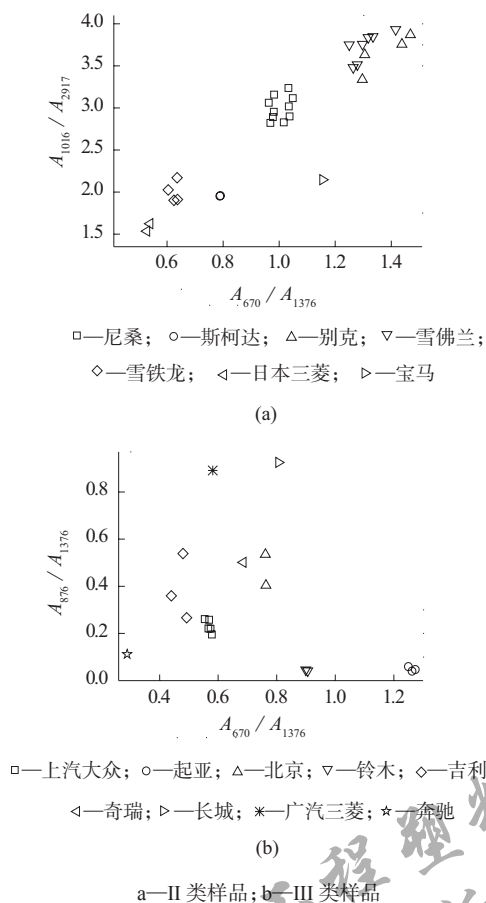


图4 特征峰面积比值的二维散点图

特征峰面积比值的差异可进一步区分汽车保险杠,为交通肇事案件中汽车保险杠塑料物证的检验和鉴定提供新思路。

参考文献

- [1] Szlosarek R, Bombis F, Mühler M, et al. Development of carbon fibre-reinforced plastic (CFRP) crash absorbers with stable crushing behaviour considering the connection to the bumper system[J]. *Materials Science & Engineering Technology*, 2016, 47(11):1099-1108.
- [2] Kima, D H, Kim H G, Kim H S. Design optimization and manufacture of hybrid glass / carbon fiber reinforced composite bumper beam for automobile vehicle[J]. *Composite Structures*, 2015(2):742-752.
- [3] Nomura M. Automobile bumpers[J]. *Comprehensive Composite Materials*, 2000(6):365-373.
- [4] Charlesworth D. Potential use for plastics in automobiles[J]. *Materials in Engineering*, 1981(2):149-156.
- [5] Cucci C, Bartolozzi G, Marchiafava V, et al. Study of semi-synthetic plastic objects of historic interest using non-invasive total reflectance FT-IR[J]. *Microchemical Journal*, 2016, 124:889-897.
- [6] Lenz R, Enders K, Stedmon C A, et al. A critical assessment of visual identification of marine microplastic using Raman spectroscopy for analysis improvement[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 100(1):82-91.
- [7] Herrera M, Matuschek G, Kettrup A. Fast identification of polymer additives by pyrolysis-gas chromatography / mass spectrometry[J]. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2003, 70(1):35-42.
- [8] Rabe R, Breguet J M, Schwaller P, et al. Observation of fracture and plastic deformation during indentation and scratching inside the scanning electron microscope[J]. *Thin Solid Films*, 2004, 469:206-213.
- [9] 姜志全, 胡克良. 法庭科学领域中微量物证的显微红外技术鉴定[J]. *光谱学与光谱分析*, 2016, 36(3):706-710.
- Jiang Zhiquan, Hu Keliang. Authentication of trace material evidence in for forensic science field with infrared microscopic technique [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2016, 36(3):706-710.
- [10] 陈涛, 龙先军, 魏朗, 等. 汽车车身油漆红外光谱特征 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(2):367-370.
- Chen Tao, Long Xianjun, Wei Lang, et al. FTIR-based vehicles paint comparison[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33(2):367-370.
- [11] 陈涛, 龙先军, 魏朗, 等. 基于傅里叶红外光谱的汽车车身油漆比对 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2012, 32(7):1806-1809.
- Chen Tao, Long Xianjun, Wei Lang, et al. Infrared spectrum characteristics of vehicle body paint[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2012, 32(7):1806-1809.
- [12] Ziezba-Palus J. Application of micro-fourier transform infrared spectroscopy to the examination of paint samples[J]. *J Mol Struct*, 1999, 511 / 521:327-335.
- [13] Maric M, Bronswijk W V, Lewis S W. Synchrotron FTIR characterisation of automotive primer surfacer paint coatings for forensic purposes[J]. *Talanta*, 2014, 118:156-161.
- [14] Blackledge R D. Examination of automobile rubber bumper guards by attenuated total reflectance spectroscopy using a Fourier transform infrared spectrometer[J]. *Journal of Forensic Sciences*, 1981, 26(3):554-556.
- [15] Parybyk A E, Kobus H J. The characterization of plastic automobile bumper bars using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), pyrolysis gas chromatography (PGC), and energy dispersive X-ray microanalysis combined with a scanning electron microscope(SEM-EDX)[J]. *Journal of Forensic Sciences*, 1990, 35(2):281-292.
- [16] 罗仪文, 孙其然, 徐彻, 等. 交通事故中塑料物证的检验 [J]. *刑事技术*, 2015, 40(4):334-337.
- Luo Yiwen, Sun Qiran, Xu Che, et al. Examination of plastic in traffic accidents[J]. *Forensic Science and Technology*, 2015, 40(4):334-337.