

# 卷烟包装材料中 VOCs 和 SVOCs 一致性评价技术研究

汪宣, 朱翔, 徐文君

(上海烟草包装印刷有限公司, 上海 200137)

**摘要:** **目的** 研究卷烟商标纸和印刷材料中挥发及半挥发性有机化合物 (VOCs 和 SVOCs) 的波动性和一致性的监测及评价方法。**方法** 利用顶空气相色谱/质谱 (HS-GC/MS) 采集卷烟包装印刷品及原料中 VOCs 和 SVOCs 的色谱图, 以氘代苯及氘代萘双内标方法在不同信号采集时间段对分析物保留时间进行校正, 依据校正色谱图间相关系数, 构建卷烟包装材料中 VOCs 和 SVOCs 的质量控制图。**结果** 该方法操作简单、重现性好, 有效校正由于更换色谱柱、仪器开关机及仪器性能波动导致的保留时间偏移, 谱图间相关系数最小值由 0.407 6 提升至 0.962 9; 该方法能高效地识别不同厂商及不同牌号卷烟商标纸中该类物质的整体差异, 差异显著 ( $P < 0.05$ ), 相关系数均值差异率分别为 12.5% 和 38.6%。**结论** 本研究提供了一种卷烟包装材料中 VOCs 及 SVOCs 信号采集、谱图校正和质量控制方法, 为卷烟包装材料的质量稳定性评价提供技术手段和支撑方法。

**关键词:** 卷烟包装材料; VOCs 和 SVOCs; 双内标; 一致性评价

**中图分类号:** TB487      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-3563(2023)03-0233-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.03.029

## Consistency Evaluation Technology of VOCs and SVOCs in Packaging Material for Cigarette

WANG Xuan, ZHU Xiang, XU Wen-jun

(Shanghai Tobacco Package Printing Co., Ltd., Shanghai 200137, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the method for monitoring and evaluating the fluctuation and consistency of volatile and semi-volatile organic compounds (VOCs and SVOCs) in label paper and printing material for cigarette. Head-space-gas chromatography/mass spectrometry (HS-GC/MS) was used to collect the chromatograms of VOCs and SVOCs in package printed matters and raw materials of cigarette. The calibrated chromatograms were obtained after calibrating the retention time at different signal acquisition time periods with double internal standards of benzene-d<sub>6</sub> and naphthalene-d<sub>8</sub>. Based on the calibration chromatograms, the quality control charts were constructed for monitoring and evaluating the fluctuation/consistency of VOCs and SVOCs in packaging material for cigarette. The developed method was simple in operation and good reproducibility. It exhibited good performance in correcting the retention time shift caused by changing the chromatographic column, switching the instrument and other instrument performance fluctuations. The minimum correlation coefficient between the spectra increased from 0.4076 to 0.9629. With this method, the overall differences of such compounds in different manufacturers and packaging papers could be identified efficiently ( $P < 0.05$ ), and the mean difference rates of the correlation coefficients were 12.5% and 38.6%, respectively. This study provided a method for signal acquisition, spectral correction and quality control of VOCs and SVOCs in packaging material for cigarette.

收稿日期: 2022-06-21

基金项目: 上海烟草集团有限责任公司科技项目 (K2021-2-007P)

作者简介: 汪宣 (1988—), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为卷烟包装印刷材料质量及安全性研究。

rette, which indicated that it could be served as a useful means for evaluating the quality stability of packaging paper and printing material.

**KEY WORDS:** packaging material for cigarette; volatile and semi-volatile organic compounds (VOCs and SVOCs); double internal standards; consistency evaluation

卷烟商标纸为印有商标、条码、图案、文字等内容,将一定数量的卷烟包装成盒的专用纸,也称卷烟盒包装纸,是典型的卷烟包装印刷品<sup>[1]</sup>。目前,对卷烟商标纸及印刷材料中挥发及半挥发性有机化合物(VOCs和SVOCs)的管控,主要从保障产品质量安全出发,基于相应化合物的定量检测及限量指标进行检测判定<sup>[2-6]</sup>。然而,在产品质量安全符合要求的基础上,所用印刷溶剂中VOCs和SVOCs,如丙二醇甲醚、苯系物等含量的较大波动,可能带来材料本身感官气味的变化;一些残留物质如丙烯酸丁酯、丙烯酸异辛酯、倍半萜烯类物质等可能迁移至烟丝中导致卷烟吸味品质的变化<sup>[7-11]</sup>。在卷烟商标纸及原辅材料生产过程中,工艺改进、原材料批次差异及放置时间变化等因素可能影响印刷成品中VOCs和SVOCs的含量,而现有管控方法未考虑该类物质波动性可能带来的影响。

相关学者对VOCs和SVOCs波动性开展了大量研究工作<sup>[12-14]</sup>。李军等<sup>[15]</sup>利用固相微萃取-气相色谱/质谱联用方法测定了2种国产名牌卷烟和仿冒卷烟的VOCs和SVOCs,建立了卷烟的特征指纹图谱,应用于真假卷烟的鉴别。Brown课题组采用顶空固相微萃取(Headspace Solid Phase Microextraction, HS-SPME)方法结合气相色谱四极杆飞行时间质谱(Gas Chromatography Quadrupole-Time Of Flight Mass Spectrometry, GC/Q-TOFMS)分析每种土壤中的挥发性有机化合物,用于土壤微生物群落分析<sup>[16]</sup>。倪和朋等<sup>[17]</sup>采用吹扫捕集-气相色谱-质谱技术(Purge&Trap-Gas Chromatography-Mass Spectrometry, P&T-GC-MS)结合“中药色谱指纹图谱相似度评价系统”对丝束加香滤棒中特征香味成分进行分析,构建指纹图谱,以评价丝束加香滤棒质量的稳定性。不同学者针对特定研究对象开展了一系列指纹图谱的建立及评价的研究工作,但对卷烟商标纸特别是油墨等原材料领域的VOCs和SVOCs一致性研究较少。文中开发了卷烟商标纸及原辅材料中VOCs和SVOCs的顶空气质联用-双内标检测方法,构建该类物质一致性评价质量控制图,为印刷品及原材料的质量稳定性评价提供技术支撑。

## 1 实验

### 1.1 仪器、标准品与试剂

主要仪器:7697A-7890B-5977C顶空-气相色谱

质谱联用仪(HS-GC/MS),美国Agilent公司;XPE204电子天平,瑞士Mettler公司。

标准品与试剂:氘代苯(99.5%),美国Cambridge-Isotope-Laboratories公司;氘代萘(99.0%),德国Dr. ehrenstorfer公司;三乙酸甘油酯(99.0%),上海安谱实验科技股份有限公司。

### 1.2 内标溶液配制

称取氘代苯及氘代萘(精确至0.1 mg),以三乙酸甘油酯为溶剂配制成质量浓度为0.2 mg/mL的混合内标溶液,于4℃条件下避光保存。

### 1.3 仪器条件

#### 1.3.1 色谱条件

样品的平衡温度、时间分别为100℃和45 min;色谱柱采用Supelco VOC专用色谱柱,规格为60 m(长度)×0.32 mm(内径)×1.8 μm(膜厚);进样口温度为220℃;载气为氦气(纯度≥99.999%),恒流流速为2 mL/min;分流比为1:1(纸质包装印刷品、纸张、胶印油墨及水基型凹印油墨检测);分流比为50:1(溶剂型凹印油墨检测)。程序升温:初始温度为40℃,保持2 min,然后以4℃/min的速率升温至200℃,保持10 min。

#### 1.3.2 质谱条件

离子源温度为230℃,四极杆温度为150℃;测定方式为全扫描模式,扫描范围为29~350 u。

### 1.4 方法

#### 1.4.1 纸质包装印刷品或纸张

取纸质包装印刷品或纸张样品,裁取面积为22 cm×5.5 cm的试样,试样应包含主包装面,将所裁试样印刷面朝里卷成筒状,立即放入顶空瓶中,加入30 μL内标溶液,密封后进行HS-GC/MS分析。

#### 1.4.2 油墨

针对胶印油墨及水基型凹印油墨,称取0.1 g样品放入顶空瓶中,加入30 μL内标溶液,密封后待测;针对溶剂型凹印油墨,称取0.1 g样品放入顶空瓶中,加入60 μL内标溶液,密封后进行HS-GC/MS分析。

### 1.5 谱图校正方法

在不同的保留时间段,采用双内标氘代苯及氘代萘对样品色谱图中信号峰的保留时间进行校正,样品、内标物色谱峰及保留时间示意图见图1。

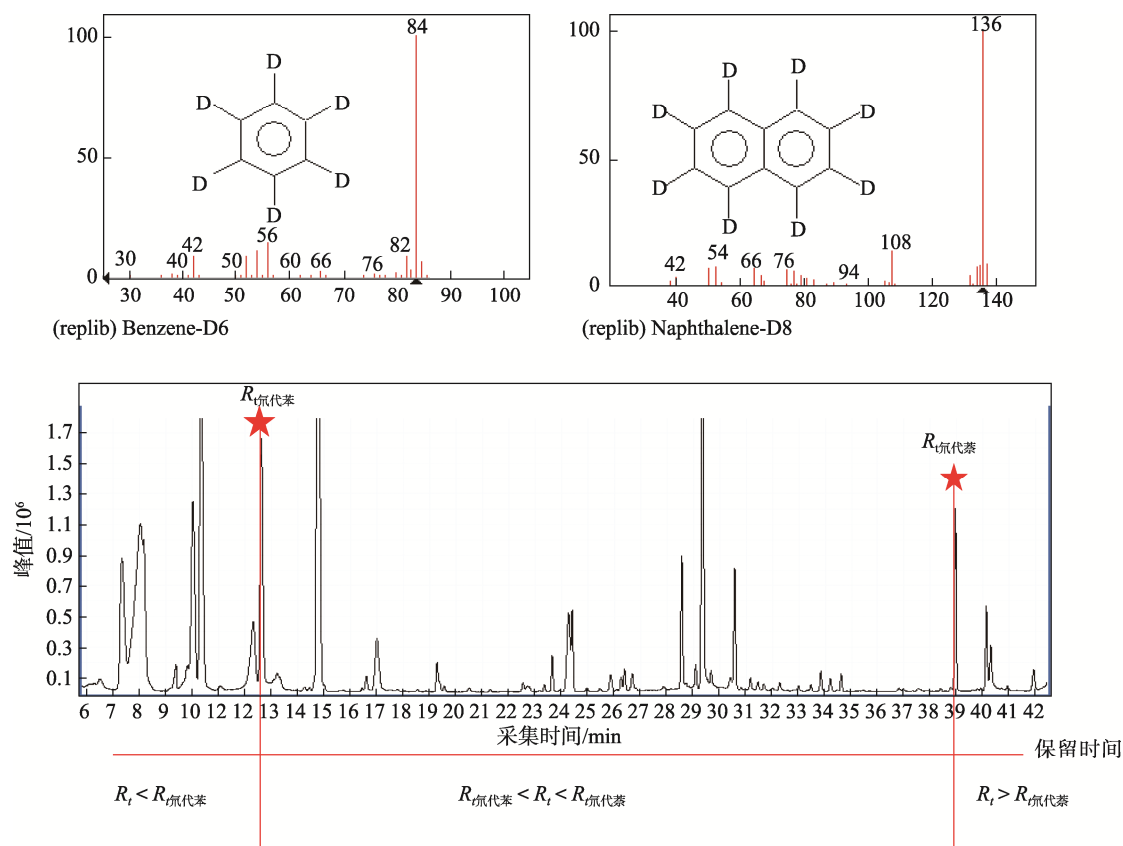


图 1 样品、内标物的色谱峰及保留时间示意图

Fig.1 Schematic diagram of chromatographic peaks and retention time for sample and internal standards

当  $R_t < R_{t, \text{氘代苯}}$  时,  $R_{t1} = R_t - R_{t, \text{氘代苯}} + \overline{R_{t, \text{氘代苯}}}$ ; 当

$R_{t, \text{氘代苯}} < R_t < R_{t, \text{氘代萘}}$  时,  $R_{t1} = \frac{R_t - R_{t, \text{氘代苯}}}{R_{t, \text{氘代萘}} - R_{t, \text{氘代苯}}} \times (\overline{R_{t, \text{氘代萘}}} - \overline{R_{t, \text{氘代苯}}}) + \overline{R_{t, \text{氘代苯}}}$ ; 当  $R_t > R_{t, \text{氘代萘}}$  时,  $R_{t1} = R_t - R_{t, \text{氘代萘}} + \overline{R_{t, \text{氘代萘}}}$ 。

式中:  $R_t$  为样品中信号峰保留时间;  $R_{t1}$  为样品中信号峰校正保留时间;  $R_{t, \text{氘代苯}}$  为样品中内标物氘代苯的保留时间;  $\overline{R_{t, \text{氘代苯}}}$  为多个样品中内标物氘代苯的保留时间平均值;  $R_{t, \text{氘代萘}}$  为样品中内标物氘代萘的保留时间;  $\overline{R_{t, \text{氘代萘}}}$  为多个样品中内标物氘代萘的保留时间平均值。

## 1.6 谱图间相关系数算法

以式 (1) 计算两色谱图间相关系数<sup>[18]</sup>, 相关系数越接近于 1, 相关性越强, 表示两色谱图间差异越小。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2}} \quad (1)$$

式中:  $r$  为谱图 a 与谱图 b 间相关系数,  $a_i$  为谱图 a 中第  $i$  个保留时间处的响应值;  $\bar{a}$  为谱图 a 响应平均值;  $b_i$  为谱图 b 中第  $i$  个保留时间处的响应值;  $\bar{b}$  为谱图 b 响应平均值;  $n$  为谱图中保留时间序号。

## 2 结果与分析

### 2.1 分流比优化

由于溶剂型凹印油墨中有机溶剂的使用比例较高, 大量溶剂进入色谱柱可能导致超柱容量, 进入质谱将降低灯丝寿命, 有必要对凹印油墨检测时的分流比进行优化。实验选取典型的 7 种凹印油墨为对象进行检测研究, 结果见图 2a, 可以看出, 凹印油墨中主溶剂的色谱峰峰型较差, 并可能覆盖邻近化合物的出峰。对上述 7 种油墨中主溶剂乙醇、乙酸乙酯及乙酸正丙酯的峰面积进行比较, 见图 2b, 峰面积从大到小排序为乙醇、乙酸乙酯、乙酸正丙酯。由于 YM06 号油墨的溶剂总峰面积及乙醇峰面积均最高, 选取该油墨作为分流比优化样品。分流比优化结果见图 2c, 从图 2c 中可以看出, 随着分流比从 1:1 提升至 50:1, 色谱峰峰形显著改善, 进一步增加分流比将导致部分低含量物质信号降低。采用分流比 50:1 对 7 款典型凹印油墨进行检测验证, 从图 2d 可以看出, 7 种凹印油墨色谱峰峰型均良好。综合考虑信号强度及峰型, 溶剂型凹印油墨检测时分流比选择 50:1, 其余种类样品包括卷烟商标纸、纸张、胶印油墨及水基型凹印油墨检测时仍采用 1:1 的分流比。

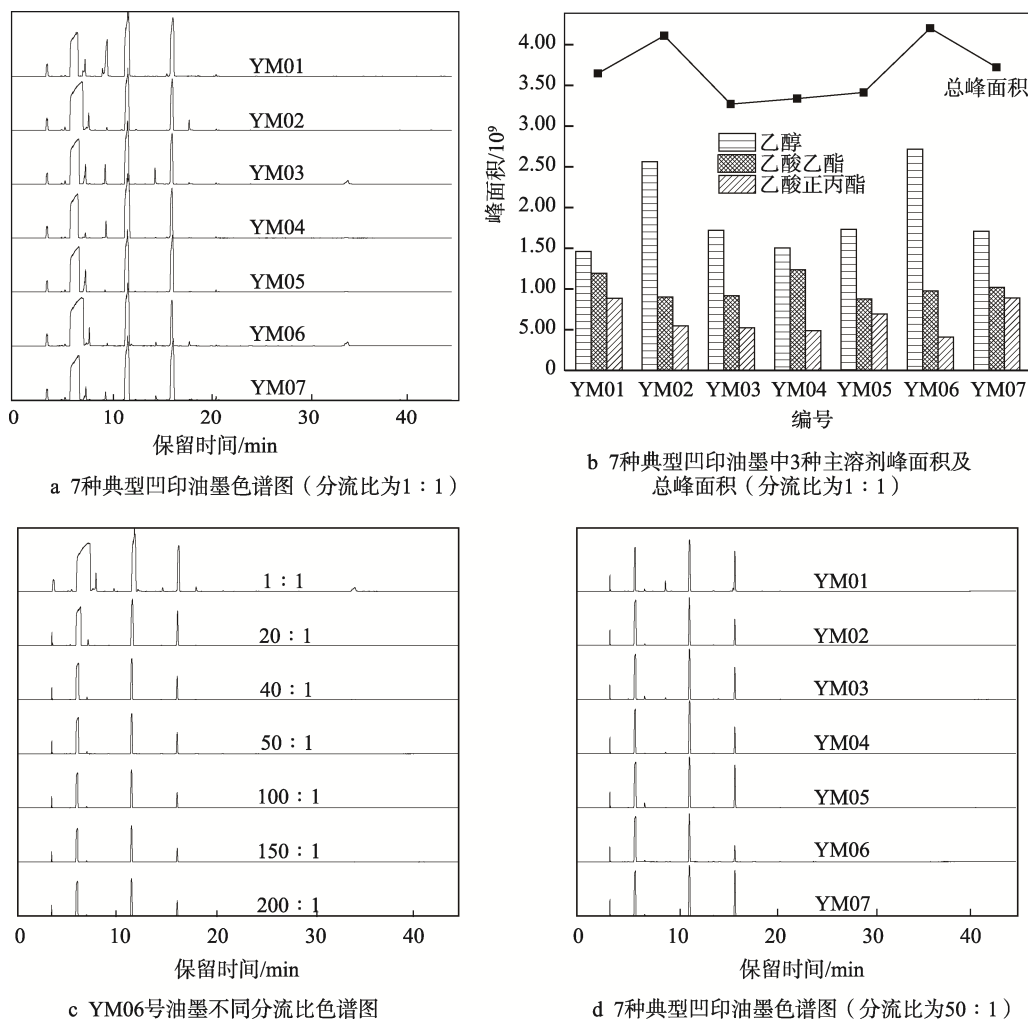


图2 分流比优化实验结果  
Fig.2 Optimization result of split ratio

## 2.2 内标物优化

在样品 VOCs 及 SVOCs 一致性评价方法的研究中,为充分表征样品自身变化所带来的该类物质的波动性,应尽可能减少仪器性能变化等因素导致的色谱图偏移。文中以典型卷烟商标纸样品间谱图相关性为指标,考察无内标、单内标(氘代苯)和双内标(氘代苯+氘代萘)法对谱图的校正效果,考虑到多个谱图间相关性计算中存在多组相关系数,故以谱图间最小相关系数表达相关性水平。

首先,文中以5份同一批次典型商标纸在同一检测日期采集的样品检测谱图为研究对象,组内相关性结果见图3,从图3中可以看出,无内标校正时,谱图间相关系数最小值为0.908 8;单内标氘代苯校正后,谱图间相关系数有所提升,达到0.939 6;采用双内标氘代苯及氘代萘校正后,谱图间相关系数提升显著,相关系数最小值达到0.982 4,说明双内标法校正可以显著提升样品组内检测的谱图重复性。

进一步,间隔2个月后,将仪器重新开机并更换色谱柱,再采集5份商标纸(与2个月前同属一批

次商标纸)样品的色谱图,以该5份样品的色谱图与2个月前所采集的5份样品的存储谱图间相关性为指标,考察无内标、单内标及双内标法对谱图的校正效果,组间相关性结果见图3。从结果可以看出,无内标校正时,谱图间相关系数最小值为0.407 6,因为更换色谱柱后色谱峰保留时间发生了较大变化;通过单内标法校正后,谱图间相关系数显著提升,相关系数最小值为0.936 3;采用双内标法校正后,谱图间相关系数进一步提升,相关系数最小值达到0.962 9,说明双内标法可以校正仪器开关机及更换色谱柱所带来的保留时间偏移,显著提升样品组间检测的谱图重复性。

综合组内重复性及组间重复性结果,双内标法有效校正由于更换色谱柱导致保留时间变化的偏移,能显著提升组内及更换色谱柱后组间重复性,从而选择氘代苯及氘代萘双内标进行色谱图校正。

## 2.3 平衡温度优化

样品平衡温度的高低对所采集色谱图信号强度及基线偏移有着显著影响,为提升信号强度,并尽可

能降低基线的偏移,提升检测灵敏度及稳定性,需优化样品平衡温度。文中以同一批次典型商标纸在同一检测日期采集的样品检测组内谱图相关性和间隔 2 个月前后的组间谱图相关性为指标,结合双内标法,考察了 80、100、120 及 140 °C 平衡温度下谱图的稳定性,随着平衡温度的提升,信号强度逐渐增大,相关系数结果详见图 4。可以看出,80 °C 及 100 °C 时,谱图间相关系数较高,且较为接近;继续升高温度,由于色谱图基线的偏移及背景干扰峰的增多,谱图间相关系数降低。综合组内重复性及组间相关性结果,平衡温度 100 °C 相比较其余 3 种温度,有着更好的谱图相关性,从而后续实验选择平衡温度为 100 °C。

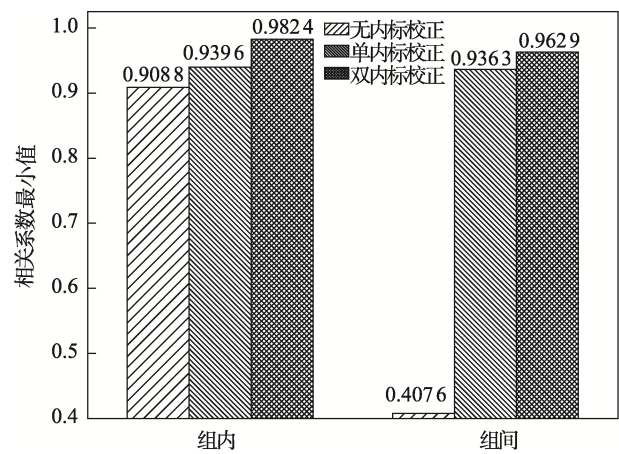


图 3 内标物优化实验  
Fig.3 Optimization of internal standard

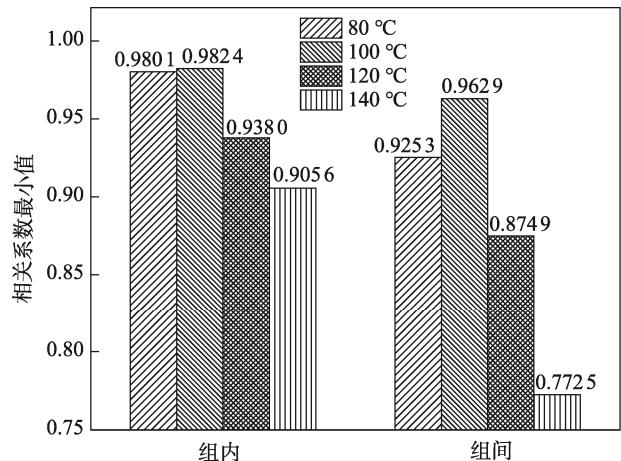


图 4 平衡温度优化实验  
Fig.4 Optimization of equilibrium temperature

2.4 方法评价

2.4.1 谱图校正效果评价

利用氘代苯及氘代萘双内标结合顶空气相色谱/质谱法对典型卷烟商标纸中 VOCs 及 SVOCs 进行检测及谱图校正,结果见图 5。从图 5 可以看出,校正前,在 2 个月前后色谱图间的保留时间发生了明显偏移,且不同保留时间段偏移程度不同;校正后,不同保留时间段谱图基本一致,说明该方法能有效校正由于仪器设备性能变化及色谱柱更换等导致的谱图间保留时间偏移。

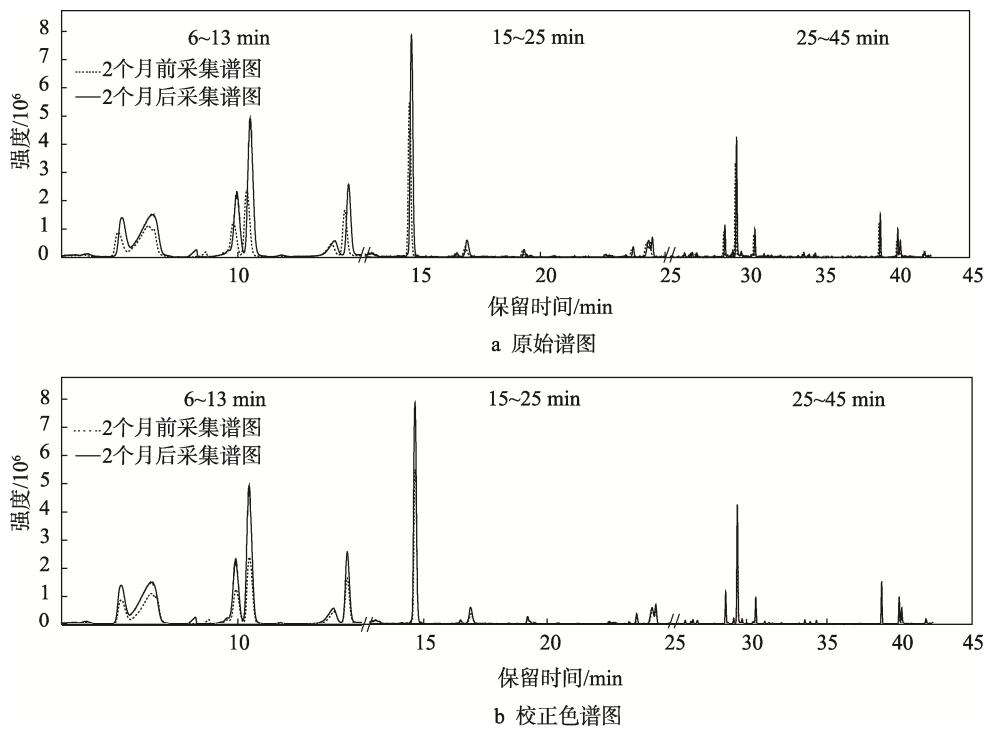


图 5 色谱图校正结果  
Fig.5 Rectification result of chromatograms

## 2.4.2 对比样品验证

### 2.4.2.1 不同厂商所生产同一牌号商标纸对比样

针对前期2家供应商所生产同一牌号商标纸(包装烟支后评吸有差异)的样品,利用文中方法进行检测(实验样本见表1),以验证文中方法对该类样品的区分效果。2家厂商所生产同一牌号商标纸色谱图的组内(同一厂商所生产不同批次该牌号商标纸)及组间(不同厂商所生产该牌号商标纸)相关系数见图6。从图6中可以看出,同一厂商所生产该种商标纸样品的组内重复性良好,组内相关系数为 $0.988\ 9\pm 0.010\ 9$ (均值 $\pm$ 标准偏差),且A厂商所生产商标纸中该类物质波动性较小,质量稳定性较高;2家厂商间所生产商标纸的谱图组间相关系数为 $0.864\ 9\pm 0.020\ 7$ ,显著低于组内相关系数,差异率为12.5%。采用F检验(组内和组间方差分析),在0.05显著水平下,对组内及组间相关系数整体差异性进行分析, $P(F\leq f, \text{单尾})=0.001\ 3 < 0.05$ ,说明组间相关系数较组内相关系数具有显著性差异,表明文中方法可以明显区分不同厂商间同一牌号印刷产品的差异。

表1 不同厂商同一牌号商标纸的实验样本  
Tab.1 Samples for the same brand of packaging papers from different manufacturers

| 样品组别       | 样品数量/份 | 样品编号           |
|------------|--------|----------------|
| A厂商-牌号1商标纸 | 5      | A1、A2、A3、A4、A5 |
| B厂商-牌号1商标纸 | 5      | B1、B2、B3、B4、B5 |

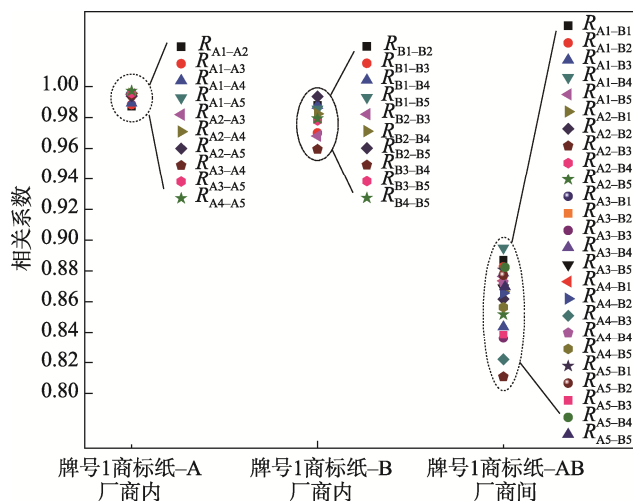


图6 不同厂商所生产同一牌号商标纸色谱图的组内及组间相关系数

Fig.6 Intra- and inter-group correlation coefficients of chromatograms of the same brand of packaging papers produced by different manufacturers

### 2.4.2.2 同一厂商所生产不同牌号商标纸对比样

利用所建立方法对同一厂商所生产不同牌号商

标纸进行检测(实验样本见表2),以验证方法对牌号差异样品的区分效果。谱图相关性结果见图7,从图7中可以看出,2种不同牌号间商标纸的谱图组间相关系数( $0.606\ 9\pm 0.035\ 5$ )显著低于组内相关系数( $0.988\ 2\pm 0.011\ 0$ ),差异率为38.6%。采用F检验,在0.05显著水平下,对组内及组间相关系数整体差异性进行分析, $P(F\leq f, \text{单尾})=1.18\times 10^{-7} < 0.05$ ,说明二者具有显著性差异,文中方法可以明显区分同一厂商所生产不同牌号印刷产品的差异。

表2 同一厂商不同牌号商标纸的实验样本  
Tab.2 Samples for different brands of packaging papers from the same manufacturer

| 样品组别   | 样品数量/份 | 样品编号                |
|--------|--------|---------------------|
| 牌号1商标纸 | 5      | 1.1、1.2、1.3、1.4、1.5 |
| 牌号2商标纸 | 5      | 2.1、2.2、2.3、2.4、2.5 |

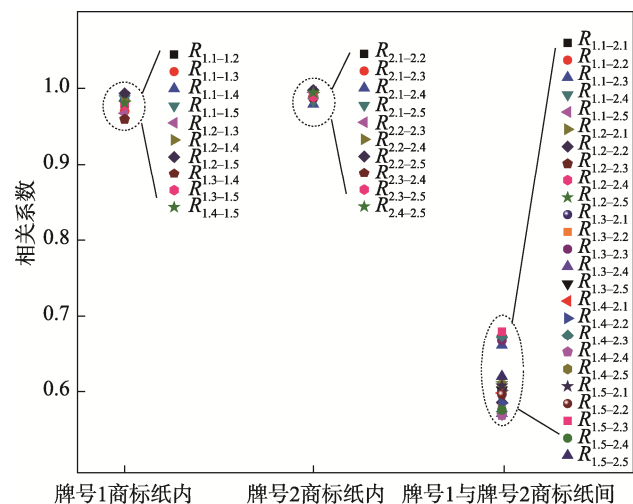


图7 同一厂商所生产不同牌号商标纸色谱图的组内及组间相关系数

Fig.7 Intra- and inter-group correlation coefficients of chromatograms of different brands of packaging papers produced by the same manufacturer

## 2.5 质量控制图

以某款凹印油墨为例,采集该油墨9个批次样品的色谱图,应用双内标法校正后,以第1批次样品为基准,计算后8个批次样品谱图与第1批次样品谱图的相关系数,用于监控样品中VOCs及SVOCs的波动性,结果表明相关系数为 $0.980\ 1\sim 0.997\ 2$ 。以2倍标准偏差( $2\sigma$ ,置信度为95.5%)和3倍标准偏差( $3\sigma$ ,置信度为99.7%)构建一致性评估准则,质控图见图8,表明不同批次油墨样品中VOCs及SVOCs质量稳定性良好。

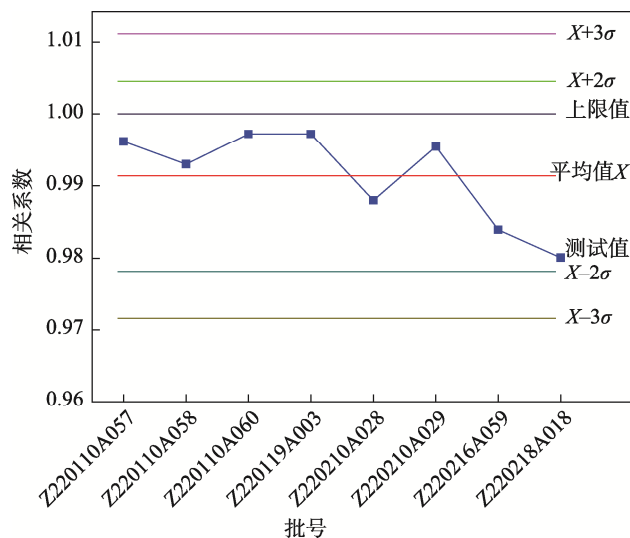


图 8 某款凹印油墨中 VOCs 及 SVOCs 质量控制

Fig.8 Quality control chart of VOCs and SVOCs in a certain gravure ink

### 3 结语

文中建立了一种采用氘代苯及氘代萘双内标结合顶空气相色谱/质谱对卷烟包装印刷品和印刷材料中 VOCs 和 SVOCs 检测、色谱图校正及质控图构建的一致性评价方法。优化了印刷材料制样方式、内标物的选择及顶空平衡时间,验证了文中方法在不同厂商及不同牌号印刷产品中 VOCs 和 SVOCs 组内及组间整体差异的识别效果。该研究为卷烟商标纸及印刷材料的质量稳定性评价提供了技术支撑,能够及时预警由于印刷产品及原材料中 VOCs 和 SVOCs 变化可能带来的风险。

#### 参考文献:

- [1] GB/T 18771.3—2015, 烟草术语 第 3 部分: 烟用材料[S].  
GB/T 18771.3—2015, Tobacco Vocabulary—Part 3: Material for Tobacco Products[S].
- [2] YC/T 207—2014, 烟用纸张中溶剂残留的测定 顶空气相色谱/质谱联用法[S].  
YC/T 207—2014, Determination of Solvent Residuals on Papers for Cigarette—Headspace-Gas Chromatography/Mass Spectrometry[S].
- [3] GB 38507—2020, 油墨中可挥发性有机化合物(VOCs)含量的限值[S].  
GB 38507—2020, Limits of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Printing Ink[S].
- [4] GB 33372—2020, 胶黏剂挥发性有机化合物限量[S].

- GB 33372—2020, Limit of Volatile Organic Compounds Content in Adhesive[S].
- [5] GB 38508—2020, 清洗剂挥发性有机化合物含量限值[S].  
GB 38508—2020, Limits for Volatile Organic Compounds Content in Cleaning Agents[S].
- [6] 杨利娴, 黄萍, 赵建国, 等. 我国印刷业 VOCs 污染状况与控制对策[J]. 包装工程, 2012, 33(3): 125-131.  
YANG Li-xian, HUANG Ping, ZHAO Jian-guo, et al. Current Status and Control Strategies of VOC Emission from Printing Industry[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3): 125-131.
- [7] 黄惠贞. 降低烟用商标纸中苯残留量的方法[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 5-8.  
HUANG Hui-zhen. Method of Decreasing Benzene Residue in Cigarette Trademark Paper[J]. Chinese Tobacco Science, 2009, 30(6): 5-8.
- [8] DUAN Y, HUO Y, DUAN L. Preparation of Acrylic Resins Modified with Epoxy Resins and Their Behaviors as Binders of Waterborne Printing Ink on Plastic Film[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2017, 535: 225-231.
- [9] SHARMA B, SAURAJ S, KUMAR B, et al. Synthesis of Waterborne Acrylic Copolymer Resin as a Binding Agent for the Development of Water-Based Inks in the Printing Application[J]. Polymer Engineering and Science, 2021, 61(5): 1569-1580.
- [10] SHARMA B, SINGH S, PRAKASH B, et al. Effect of Cellulose Nanocrystal Incorporated Acrylic Copolymer Resin on Printing Properties of Waterborne Inks[J]. Progress in Organic Coatings, 2022, 167: 106842.
- [11] WAGNER A, KREUZER A M, PPERL L, et al. Foamable Acrylic Based Ink for the Production of Light Weight Parts by Inkjet-based 3D Printing[J]. European Polymer Journal, 2019, 115: 325-334.
- [12] HUSSAIN A, TIAN Ming-yi, HE Yu-rong, et al. Differential Fluctuation in Virulence and VOC Profiles among Different Cultures of Entomopathogenic Fungi[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2010, 104(3): 166-171.
- [13] SADEGHI B, POUYAEI A, CHOI Y, et al. Influence of Seasonal Variability on Source Characteristics of VOCs at Houston Industrial Area[J]. Atmospheric Environment, 2022, 277: 119077.
- [14] XUAN Li-chun, MA Yue-nan, XING Yan-feng, et al. Source, Temporal Variation and Health Risk of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Urban Traffic in

- Harbin, China[J]. Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987), 2021, 270: 116074.
- [15] 李军, 朱苏闽, 林平. 固相微萃取-气相色谱-质谱指纹图谱 鉴别仿冒品牌卷烟[J]. 烟草科技, 2002, 35(12): 26-28.
- LI Jun, ZHU Su-min, LIN Ping. Identification of Counterfeit Cigarettes by SPME-GC-MS Fingerprint Spectrum[J]. Tobacco Science & Technology, 2002, 35(12): 26-28.
- [16] BROWN R W, BULL I D, JOURNEAUX T, et al. Volatile Organic Compounds (VOCs) Allow Sensitive Differentiation of Biological Soil Quality[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2021, 156: 108187.
- [17] 倪和朋, 张震, 张玳婕, 等. 基于 P&T-GC/MS 指纹图谱评价丝束加香滤棒质量的稳定性[J]. 包装工程, 2022, 43(7): 262-268.
- NI He-peng, ZHANG Zhen, ZHANG Ding-jie, et al. Evaluation of Quality Stability of Tow-Flavored Filter Rods Based on P & T-GC/MS Fingerprints[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(7): 262-268.
- [18] TAN Pang-ning, STEINBACH M, KUMAR V. Introduction to Data Mining[M]. New York: Pearson, 2013.

责任编辑: 曾钰婵