

气相色谱内标法测定塑料制品中乙苯和苯乙烯含量的 不确定度评定

白荣汉

(1.厦门市产品质量监督检验院, 福建 厦门 361004; 2.国家物流包装产品质量检验检测中心(福建), 福建 厦门 361004; 3.厦门市食品包装材料安全评价及检测重点实验室, 福建 厦门 361004)

摘要: **目的** 对气相色谱内标法测定塑料制品中乙苯和苯乙烯含量进行不确定度评定, 为塑料制品中乙苯、苯乙烯含量测定的准确性提供参考。**方法** 依据 GB 31604.16—2016 采用气相色谱内标法对塑料制品中乙苯和苯乙烯含量进行测定, 根据相应的测量模型, 分析不确定度主要影响因素的来源, 并对各影响因素引入的相对标准不确定度进行评估。**结果** 测量塑料制品中乙苯、苯乙烯的扩展不确定度分别为 (23.83 ± 1.50) 、 (23.90 ± 1.26) mg/kg ($P=95\%$ 、 $k=2$)。**结论** 结果表明, 混标工作液配制、试样重复测量、气相色谱仪性能是影响乙苯和苯乙烯含量测量不确定度的主要因素, 应选择精度高且量程合适的量具, 加强气相色谱仪的期间核查, 提高实验人员操作的熟练水平, 进一步减小测量不确定度, 使测量结果更为准确、可靠。

关键词: 乙苯; 苯乙烯; 气相色谱法; 内标法; 塑料制品

中图分类号: TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)19-0223-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.19.029

Evaluation of Uncertainty in Determination of Ethylbenzene and Styrene in Plastic Products by GC Internal Standard Method

BAI Rong-han

(1. Xiamen Products Quality Supervision & Inspection Institute, Fujian Xiamen 361004, China; 2. National Testing Center for Logistics Packing Products (Fujian), Fujian Xiamen 361004, China; 3. Xiamen Key Laboratory of Food Packing Material Safety Evaluation and Testing, Fujian Xiamen 361004, China)

ABSTRACT: The work aims to determine the content of ethylbenzene and styrene in plastic products by gas chromatography internal standard method to provide reference for the determination accuracy of ethylbenzene and styrene in plastic products. The content of ethylbenzene and styrene in plastic products was determined by gas chromatography internal standard method according to GB 31604.16-2016. According to the corresponding measurement model, the sources of main influencing factors of the uncertainty were analyzed, and the relative standard uncertainty introduced by each influencing factor was evaluated. The expanded uncertainty of measurement of ethylbenzene and styrene in plastic products was (23.83 ± 1.50) mg/kg and (23.90 ± 1.26) mg/kg ($P=95\%$, $k=2$) respectively. The results show that the preparation of mixed standard working solution, repeated measurement of sample and gas chromatograph are the main factors affecting the uncertainty of ethylbenzene and styrene content measurement. Measuring tools with high accuracy and appropriate range shall be selected. Periodic check and verification of gas chromatograph shall be strengthened. The proficiency level of experimental personnel shall be improved. The measurement uncertainty shall be further reduced, so that the measurement results would be more accurate and reliable.

KEY WORDS: ethylbenzene; styrene; GC; internal standard method; plastic

乙苯、苯乙烯在工业上是合成树脂、离子交换树脂及合成橡胶等的重要单体,对皮肤、黏膜有刺激和麻醉作用,高浓度时可使人有头晕、头痛、恶心、呕吐等症状,长期接触有时可造成肝损害^[1-5]。

我国强制性国家卫生标准 GB 4806.6—2016 规定聚苯乙烯树脂(PS)中苯乙烯残留量 $\leq 0.5\%$ 、乙苯残留量 $\leq 0.3\%$ ^[6]。美国法规 FDA CFR 177.1640 规定苯乙烯塑料中苯乙烯残留量 $\leq 0.5\%$ ^[7]。日本、韩国食品卫生法均规定一般聚苯乙烯制品中苯乙烯、乙苯等残留量总量不得超过 5 mg/g^[8]。

本文依据 GB 31604.16—2016^[9]采用气相色谱内标法测定塑料制品中乙苯、苯乙烯含量,按 CNAS-GL006—2019^[10]及 JJF 1059.1—2012^[11]的要求,根据相应的测量模型,分析不确定度主要影响因素的来源,并对各影响因素引入的相对标准不确定度进行评估,为塑料制品中乙苯、苯乙烯含量的测定结果评定提供参考。

1 实验

1.1 试剂和材料

主要试剂和材料:乙苯、苯乙烯标准物质,坛墨质检国家标准物质中心;二硫化碳,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;PS 塑料杯,取样于某生产企业。

1.2 仪器和设备

主要仪器和设备:气相色谱仪,配备氢火焰离子化检测器(FID),安捷伦科技有限公司;电子天平,精度为 0.1 mg,德国赛多利斯公司。

1.3 方法

1.3.1 标准溶液配制

1.3.1.1 正十二烷内标储备液

称取 200 mg 正十二烷内标标准物质,用二硫化碳溶解、定容至 10 mL,配制成质量浓度为 20 mg/mL 的正十二烷内标储备液。

1.3.1.2 乙苯、苯乙烯混合储备液

分别称取 200 mg 乙苯、苯乙烯标准物质,用二硫化碳溶解、定容至 10 mL,配制成质量浓度为 20 mg/mL 的乙苯、苯乙烯混合储备液。

1.3.1.3 乙苯、苯乙烯混合中间液

吸取 0.25 mL 的乙苯、苯乙烯混合储备液,用二硫化碳定容至 10 mL,配制成质量浓度为 500 $\mu\text{g/mL}$ 的乙苯、苯乙烯混合中间液。

1.3.1.4 正十二烷内标中间液

吸取 0.50 mL 的正十二烷内标储备液,用二硫化碳定容至 10 mL,配制成质量浓度为 1 000 $\mu\text{g/mL}$ 的正十二烷内标中间液。

1.3.1.5 乙苯、苯乙烯及正十二烷混标工作液

用移液器分别加入 20、100、200、400、1 000 μL 苯乙烯与乙苯混合中间液(1.3.1.3 节),置于 5 个 10 mL 容量瓶中,再在每个容量瓶中加入 200 μL 正十二烷内标中间溶液(1.3.1.4 节),并用二硫化碳定容摇匀,配制成乙苯及苯乙烯的质量浓度分别为 1、5、10、20、50 $\mu\text{g/mL}$,内标质量浓度为 20 $\mu\text{g/mL}$ 。

1.3.2 试样前处理

称取 0.5 g 试样于 25 mL 容量瓶中,移取 10 mL 二硫化碳于容量瓶中,并加入 500 μL 正十二烷内标储备液,静置直至试样溶解后,用二硫化碳定容,待测。不加试样,按照同样方法处理获得空白提取液。

1.3.3 气相色谱条件

气相色谱条件:色谱柱,HP-INNOWax,柱长为 30 m、内径为 0.32 mm、膜厚为 0.25 μm ;进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$;柱温,在初始温度 50 $^{\circ}\text{C}$ 下恒温 1 min,以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率升至 140 $^{\circ}\text{C}$,以 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率升至 220 $^{\circ}\text{C}$,恒温 10 min;进样方式为分流进样,分流比为 2:1;载气为 N_2 ,流量为 1.5 mL/min;进样量为 1 μL ;检测器温度为 300 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.4 测量模型

乙苯、苯乙烯的测量模型见式(1)。

$$X_i = \frac{c \times V}{m} \quad (1)$$

式中: X_i 为试样中乙苯、苯乙烯含量,mg/kg; c 为依据校准曲线获得的苯乙烯、乙苯溶液质量浓度,mg/L; V 为试样定容体积,mL; m 为试样质量,g。

1.5 不确定度来源分析

本文方法为内标法定量,正十二烷内标溶液浓度、混标工作液定容体积及试样加内标后的定容体积均与测量结果无关。乙苯、苯乙烯测定结果的不确定度主要来源:气相色谱仪性能、混标工作液配制、校准曲线拟合、试样称量、加入内标液体积、试样回收率及试样重复性等^[12-17]。

2 结果与分析

2.1 混标工作液配制过程的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(C)$

2.1.1 标准物质纯度的不确定度 $u_{\text{rel}}(c)$

标准物质的相对标准不确定度的计算见式(2),结果见表 1。

$$u_{\text{rel}}(c) = u_{\text{标}} / (k \times A) \quad (2)$$

式中: $u_{\text{rel}}(c)$ 为标准物质的相对标准不确定度; $u_{\text{标}}$ 为标准物质扩展不确定度; k 为包含因子; A 为标准物质纯度。

表 1 标准物质的相对标准不确定度

Tab.1 Relative standard uncertainty of reference materials

化合物	标准物质 纯度/%	标准物质扩展不 确定度 ($k=2$) /%	相对标准 不确定度
乙苯	99.4	0.8	0.004 0
苯乙烯	99.9	0.5	0.002 5

2.1.2 标准物质称量过程的不确定度 $u_{\text{rel}}(m)$

称取乙苯、苯乙烯标准物质 200 mg, 需分别称量 2 次。电子天平的允差为 ± 0.1 mg, 取矩形分布, 标准物质称量的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(m) = \sqrt{\left(\frac{m_{\text{MPE}}}{\sqrt{3}}\right)^2 \times n / m_{\text{标}}} = 0.000 41$$

式中: $u_{\text{rel}}(m)$ 为标准物质称量过程的不确定度; m_{MPE} 为电子天平的允差; n 为称量次数; $m_{\text{标}}$ 为标准物质质量。

2.1.3 混标工作液稀释过程的不确定度 $u_{\text{rel}}(V)$

按 JJG 646—2006^[18]、JJG 196—2006^[19] 的要求, 根据矩形分布, 乙苯、苯乙烯及正十二烷混标工作液配制时使用量具的结果见表 2, 混标工作液配制时使用量具的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(V) = \left[7u_{\text{rel}}^2(V_1) + u_{\text{rel}}^2(V_2) + u_{\text{rel}}^2(V_3) + 8u_{\text{rel}}^2(V_4) + u_{\text{rel}}^2(V_5) + u_{\text{rel}}^2(V_6) \right]^{\frac{1}{2}} = 0.037 1$$

表 2 使用量具的相对标准不确定度

Tab.2 Relative standard uncertainty of measuring tools

量具	次数	允差	相对标准 不确定度
单标线容量瓶 (10 mL, A 级)	7	± 0.020 mL	$u_{\text{rel}}(V_1) = 0.001 2$
移液枪 (20 μL)	1	$\pm 4.0\%$	$u_{\text{rel}}(V_2) = 0.023 1$
移液枪 (100 μL)	1	$\pm 2.0\%$	$u_{\text{rel}}(V_3) = 0.011 5$
移液枪 (200 μL)	8	$\pm 1.5\%$	$u_{\text{rel}}(V_4) = 0.008 7$
移液枪 (250 μL)	1	$\pm 1.5\%$	$u_{\text{rel}}(V_5) = 0.008 7$
单标线吸量管 (1 mL, A 级)	1	± 0.007 mL	$u_{\text{rel}}(V_6) = 0.004 0$

混标工作液配制时使用二硫化碳定容, 二硫化碳的膨胀系数为 $0.001 19 \text{ mL}/^\circ\text{C}$, 远大于混标工作液配制时使用量具的膨胀系数, 因此仅需考虑二硫化碳因温度波动引入的不确定度。实验室温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, 按矩形分布, 混标工作液配制过程因温度波动的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(t) = 0.003 4$ 。

混标工作液配制过程的相对标准不确定度计算见式 (3), $u_{\text{rel}}(C_{\text{乙苯}}) = 0.037 5$ 、 $u_{\text{rel}}(C_{\text{苯乙烯}}) = 0.037 3$ 。

$$u_{\text{rel}}(C) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(c) + u_{\text{rel}}^2(m) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(t)} \quad (3)$$

2.2 校准曲线拟合的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(Q)$

将混标工作液与内标溶液的浓度比与峰面积比进行拟合, 则混标校准曲线拟合的相对标准不确定度的计算见式 (4)。

$$u_{\text{rel}}(Q) = \frac{s(A)}{a \times c_1} \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{1}{n} + \frac{(c_1 - \bar{c})^2}{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}} \quad (4)$$

式中: $s(A)$ 为混标工作液峰面积的标准偏差,

$$s(A) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [A_i - (ac_i + b)]^2}{n - 2}}; N \text{ 为试样的重复测量次}$$

数, $N=6$; n 为混标工作液的测量次数, $n=5$; \bar{c} 为混标工作液浓度与内标溶液浓度比值的平均值, $\bar{c}=0.86$; c_1 为实测试样的浓度与内标溶液浓度的比值, 乙苯为 1.192、苯乙烯为 1.195; c_i 为混标工作液各浓度与内标溶液浓度的比值, 分别为 0.05、0.25、0.50、1.0、2.5; A_i 为混标工作液与内标溶液的峰面积比值; a 为校准曲线方程斜率; b 为校准曲线方程截距。

混标工作溶液与内标溶液的峰面积比、校准曲线方程、混标工作液峰面积的标准偏差及校准曲线拟合的相对标准不确定度结果见表 3~4。

表 3 混标工作溶液与内标溶液的峰面积比

Tab.3 Peak area ratio of mixed standard working solution and internal standard solution

化合物	混标工作液浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)				
	1	5	10	20	50
乙苯	0.052	0.268	0.533	1.050	2.507
苯乙烯	0.080	0.392	0.672	1.273	3.199

表 4 校准曲线拟合的相对标准不确定度

Tab.4 Relative standard uncertainty of calibration curve fitting

化合物	校准曲线 方程	相关 系数 R^2	标准 偏差 $s(A)$	$u_{\text{rel}}(Q)$
乙苯	$y=1.002 3x+0.016 8$	0.999 6	0.023	0.012 3
苯乙烯	$y=1.267 7x+0.027 4$	0.999 5	0.032	0.013 1

2.3 试样前处理过程的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(M)$

试样前处理过程的不确定度来源: 称取 0.5 g 试样、加入 500 μL 正十二烷内标储备液, 需使用电子天平 2 次、1 000 μL 移液枪 1 次。按矩形分布, 试样前处理过程的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(M) = 0.005 8$ 。

2.4 试样重复测量的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(X)$

重复测量的相对标准不确定度的计算见式 (5), 结果见表 5。

$$u_{\text{rel}}(X) = \frac{s(X)}{\sqrt{n} \times c_1} \quad (5)$$

式中： $u_{\text{rel}}(X)$ 为试样重复测量的相对标准不确定度； c_1 为试样重复测量的平均值； n 为报出值的独立测量次数，2次。

2.5 试样回收率的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(R)$

对空白试样进行加标试验，添加水平为 25 mg/kg，重复测量 6 次，试样回收率的相对标准不确定度的计算见式(6)，结果见表 6。

$$u_{\text{rel}}(R) = \frac{s(R)}{\sqrt{n} \times \bar{R}} \quad (6)$$

式中： $u_{\text{rel}}(R)$ 为试样回收率的相对标准不确定度； $s(R)$ 为试样回收率的标准偏差； \bar{R} 为试样回收率的平均值； n 为重复测量次数。

2.6 气相色谱仪的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(G)$

经检定证书可得，气相色谱仪的定量重复性为

1.8%，按矩形分布，则仪器的相对标准不确定度为 $u_{\text{rel}}(G) = 0.0104$ 。

2.7 合成相对标准不确定度计算

上述各不确定度来源的分析结果见表 7。根据式(7)计算乙苯、苯乙烯的合成相对标准不确定度，可得 $u_{\text{rel}}(\text{乙苯})$ 为 0.0315、 $u_{\text{rel}}(\text{苯乙烯})$ 为 0.0264。

$$u_{\text{rel}} = \left[u_{\text{rel}}(C)^2 + u_{\text{rel}}(Q)^2 + u_{\text{rel}}(M)^2 + u_{\text{rel}}(X)^2 + u_{\text{rel}}(R)^2 + u_{\text{rel}}(G)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

2.8 扩展不确定度及不确定度报告

在 95% 的置信概率下，取 $k=2$ ，乙苯、苯乙烯的测定扩展不确定度的计算见式(8)，则本文塑料制品中乙苯的含量为 (23.83 ± 1.50) mg/kg， $k=2$ ；苯乙烯的含量为 (23.90 ± 1.26) mg/kg， $k=2$ 。

$$U = k \times u_{\text{rel}} \times c \quad (8)$$

式中： U 为扩展不确定度； k 为包含因子； u_{rel} 为合成相对标准不确定度； c 为化合物含量。

表 5 重复测量的相对标准不确定度

Tab.5 Relative standard uncertainty of repeated measurement

化合物	含量/(mg·kg ⁻¹)						平均值 c_1 /(mg·kg ⁻¹)	标准偏差 $s(X)$	$u_{\text{rel}}(X)$
	1	2	3	4	5	6			
乙苯	24.71	23.15	24.06	23.12	24.35	23.57	23.83	0.65	0.0194
苯乙烯	23.65	23.13	24.28	24.47	24.19	23.65	23.90	0.50	0.0149

表 6 回收率引入的相对标准不确定度

Tab.6 Relative standard uncertainty introduced by recovery rate

化合物	回收率/%						平均值 $\bar{R}/\%$	标准偏差 $s(R)$	$u_{\text{rel}}(R)$
	1	2	3	4	5	6			
乙苯	98.84	92.60	96.24	92.48	97.40	94.28	95.31	2.61	0.0112
苯乙烯	94.60	92.52	97.12	97.88	96.76	94.60	95.58	2.02	0.0086

表 7 各不确定度来源的分析结果

Tab.7 Analysis results of each uncertainty source

不确定度分量	不确定来源	乙苯	苯乙烯
$u_{\text{rel}}(C)$	混标工作液配制	0.0194	0.0149
$u_{\text{rel}}(Q)$	校准曲线拟合	0.0099	0.0105
$u_{\text{rel}}(M)$	试样前处理过程	0.0058	0.0058
$u_{\text{rel}}(X)$	试样重复测量	0.0158	0.0122
$u_{\text{rel}}(R)$	试样回收率	0.0112	0.0086
$u_{\text{rel}}(G)$	气相色谱仪	0.0104	0.0104

3 结语

对气相色谱法测定塑料制品中乙苯和苯乙烯含量进行不确定度评定分析。由评定结果可知,混标工作液配制、试样重复测量、气相色谱仪对乙苯、苯乙烯测量结果影响较大;而混标工作液配制过程中稀释系列标准工作液所使用的量具引入的不确定度最大。因此,在试验过程中,应选择适宜的标准溶液浓度,以减少标准工作液稀释步骤;使用精度高且量程合适的量具,以减少量具的使用次数;加强气相色谱仪的期间核查和检定,以保持仪器的精密度和稳定性;提高实验人员操作的熟练水平,以实现测量的高重复性;减少各种不确定因素的影响,进一步减小测量的不确定度,使测量结果更为准确、可靠。

参考文献:

- [1] 张可冬,余晓志,李慧勇,等.食品包装用聚苯乙烯树脂中苯乙烯和乙苯单体的测定方法[J].分析仪器,2011(5):30-33.
ZHANG Ke-dong, YU Xiao-zhi, LI Hui-yong, et al. Determination of Styrene and Ethylbenzene Monomers in Food Packaging Polystyrene[J]. Analytical Instrumentation, 2011(5): 30-33.
- [2] 阿文伟,曾铭,黄华军,等.吹扫捕集/气相色谱-质谱联用法同时测定食品接触材料及制品中9种苯系物的迁移量[J].分析测试学报,2022,41(10):1530-1535.
A Wen-wei, ZENG Ming, HUANG Hua-jun, et al. Simultaneous Determination on Migration Amounts of 9 Kinds of Benzeneseries in Food Contact Materials and Products by Purge-and-Trap/Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2022, 41(10): 1530-1535.
- [3] 周相娟,赵玉琪,李伟,等.顶空气相色谱法同时测定食品包装中残留乙苯和苯乙烯单体[J].食品研究与开发,2010,31(10):144-147.
ZHOU Xiang-juan, ZHAO Yu-qi, LI Wei, et al. Simultaneous Determination of Ethylbenzene and Styrene in Food-Package by Headspace-Gas Chromatography[J]. Food Research and Development, 2010, 31(10): 144-147.
- [4] 魏梦夏,刘雅慧,陈萌,等.顶空气相色谱-质谱法测定ABS塑料玩具中丙烯腈和苯乙烯的残留量与迁移量[J].分析测试学报,2021,40(8):1190-1196.
WEI Meng-xia, LIU Ya-hui, CHEN Meng, et al. Determination of Acrylonitrile and Styrene Residues and Migration in ABS Plastic Toys by Headspace Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2021, 40(8): 1190-1196.
- [5] 宋雪超,林勤保,方红.聚苯乙烯包装材料中苯乙烯检测及迁移的研究进展[J].包装工程,2017,38(1):1-6.
SONG Xue-chao, LIN Qin-bao, FANG Hong. Research Progress on Detection and Migration of Styrene in Polystyrene Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(1): 1-6.
- [6] GB 4806.6—2016,食品安全国家标准 食品接触用塑料树脂[S].
GB 4806.6—2016, National Food Safety Standard -- Plastic Resin Used in Food-Contact[S].
- [7] 21CFR177.1640, Polystyrene and Rubber-Modified Polystyrene[S].
- [8] Ministry of Food and Drug Safety(No.2021-76), Standards and Specifications for Utensils, Containers and Packages[S].
- [9] GB 31604.16—2016,食品安全国家标准 食品接触材料及制品 苯乙烯和乙苯的测定[S].
GB 31604.16—2016, Method for Analysis of Hygienic Standard of Unsaturated Polyester Resin and Glass Fibre Reinforced Plastics Used as Food Containers and Packaging Materials[S].
- [10] CNAS-GL006-2019,化学分析中不确定度的评估指南[S].
CNAS-GL006-2019, Guide for the Evaluation of Uncertainty in Chemical Analysis[S].
- [11] JJF 1059.1—2012,测量不确定度评定与表示[S].
JJF 1059.1—2012, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement[S].
- [12] 汤逸飞,屠雨晨,黄芳,等.基于QuEChERS-气相色谱三重四级杆串联质谱内标法测定结球甘蓝中30种农药残留的不确定度评定[J].计量科学与技术,2022(2):25-32.
TANG Yi-fei, TU Yu-chen, HUANG Fang, et al. Uncertainty Evaluation for Measurements of 30 Pesticide Residues in Brassica Oleracea by a QuEChERS-Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry Method[J]. Metrology Science and Technology, 2022(2): 25-32.
- [13] 王文兰,郭军,赵全东,等.气相色谱内标法测定鱼

- 肉中多氯联苯不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(17): 5597-5603.
- WANG Wen-lan, GUO Jun, ZHAO Quan-dong, et al. Uncertainty Analysis for the Determination of Polychlorinated Biphenyls in Fish by Gas Chromatography with Internal Standard Quantification[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(17): 5597-5603.
- [14] 刘志荣, 曾建伟. GC-MS 内标法测定鞋类材料中邻苯二甲酸酯的不确定度评定[J]. 西部皮革, 2021, 43(11): 20-22.
- LIU Zhi-rong, ZENG Jian-wei. Uncertainty Evaluation of Determination of Phthalate Esters in Footwear Materials by GC-MS Internal Standard Method[J]. West Leather, 2021, 43(11): 20-22.
- [15] 姚怡, 张浩明. 气相色谱内标法测定白酒中甲醇的不确定度评定[J]. 化学试剂, 2019, 41(4): 398-401.
- YAO Yi, ZHANG Hao-ming. Evaluation of Uncertainty in Measurement of Methanol in Liquor by Gas Chromatographic Internal Standard Method[J]. Chemical Reagents, 2019, 41(4): 398-401.
- [16] 白荣汉, 白泽清, 徐晖, 等. 塑料包装中 3 种抗氧化剂测定的不确定度评定[J]. 包装工程, 2022, 43(5): 130-135.
- BAI Rong-han, BAI Ze-qing, XU Hui, et al. Evaluation on Determination Uncertainty of Three Antioxidants in Plastic Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(5): 130-135.
- [17] 尹代娟, 沈雪莲, 纪惠玲, 等. 通用型聚苯乙烯树脂中残留苯乙烯单体的不确定度评定[J]. 分析仪器, 2014(3): 91-94.
- YIN Dai-juan, SHEN Xue-lian, JI Hui-ling, et al. Uncertainty Evaluation of Residual Styrene Monomer in Polystyrene[J]. Analytical Instrumentation, 2014(3): 91-94.
- [18] JJG 196—2006, 常用玻璃量器检定规程[S].
- JJG 196—2006, Verification Regulation of Working Glass Container[S].
- [19] JJG 646—2006, 移液器检定规程[S].
- JJG 646—2006, Verification Regulation of Locomotive Pipette[S].

责任编辑: 曾钰婵