

# 司法毒物鉴定领域的 SPME 技术运用探析

闫琦 侯玉洁 张锦诗 张庆荣\*

甘肃天辰司法鉴定所 甘肃兰州 730000

**摘要:** SPME 技术(固相微萃取)作为一种快速的样品预处理技术,已在食品安全、医疗保健和环境监测等领域得到了广泛应用,其具有样品前处理简单、快速、无需样品预处理、样品用量小、无需浓缩、节省时间等特点。由于固相微萃取技术操作简便,成本低廉,因此在法医毒物鉴定中具有较高的应用价值。本文通过对固相微萃取技术原理和特点进行分析,阐述了固相微萃取技术在毒物鉴定中的应用,总结了固相微萃取技术的优点,为其法医毒物鉴定领域的实际应用提供参考。

**关键词:** 司法毒物鉴定; SPME 技术; 运用

## 前言

SPME 技术是一种高效、简便、环境友好和高灵敏的法医毒物分析方法。该技术可直接捕获复杂样品基体中的待测物质,完全摆脱传统萃取纯化过程,可有效避免溶剂的二次污染,有效简化样品前处理流程。其操作简便,不但降低了技术门槛,而且缩短了检验周期,提高了检验效率。同时,由于不需要外加溶剂,设备成本相对较低,因此 SPME 在法医毒物鉴定领域具有广阔的应用前景。此外,它还被广泛地应用于食品保健、医疗保健、环境保护等领域,并进一步证明了它的多领域适应性及广泛的价值。

## 1 SPME 技术的工作原理与特点

### 1.1 SPME 技术的工作原理

SPME 技术是在固相萃取(SPE)基础上发展起来的一种新方法。SPME 技术是 1989 年 Pawliszyn 教授和 Arthur 等人率先发展起来的一种新的样品预处理方法,具有简单、高效等优点。首先,其利用吸附作用,提取纤维头部的固定组分,然后逐级富集,再采用 GC、HPLC、GC-MC 等方法,实现对样品的快速、准确地测定。

### 1.2 SPME 技术的特点

首先,效率高,快速浓缩,使过程简单化。SPME 技术在微纤维或针头上包覆特定吸附剂,将其直接插入待测样品中,实现对挥发性/半挥发性物质的快速富集。该方法不仅可以缩短样品前处理时间,而且可以简化萃取过程中复杂的溶剂使用、挥发等步骤,大幅提高分析效率<sup>[1]</sup>。固相微萃取技术因其高效率的特点,在环境监测,食品安全,药品分析等方面显示了巨大的应用前景。

其次,它的灵敏度高,能够捕获精确,探测极限低。

由于固相微萃取技术对目标物具有高度选择性,其可实现微量目标物的准确捕获,甚至可实现微量目标物的高效富集,进行实际开展能够为固相微萃取技术在复杂体系中痕量组分分析中的应用提供更精细的数据支撑。同时,由于其检测限低,使固相微萃取技术在环境监测和药物残留检测等方面有其独特的优势。

最后,对环境友好,能够做到绿色提取,降低污染。随着人们对环境的日益重视,固相微萃取技术因其环境友好而备受推崇。与传统溶剂萃取法相比,固相微萃取技术不需要使用大量有机溶剂,因而可避免溶剂挥发对环境及人体健康造成的潜在危害<sup>[2]</sup>。同时,固相微萃取技术在自动化方面也有很大的潜力。该技术可方便地与自动气相色谱、气相色谱、液相色谱-质谱联用、液质联用等仪器相结合,构成一个完整的自动化分析系统。该系统既能提高检测效率,又能减少人为误差对检测结果的影响。在法医毒物鉴定中,SPME 技术可有效应对海量复杂样本的分析任务,为案件侦破提供及时准确的鉴定结果。

## 2 司法毒物鉴定的重要性

### 2.1 揭示真相,避免误判

在涉及毒品犯罪、中毒案件和毒品滥用案件中,是否存在有毒物质、有毒物质的种类和含量常常是案件定性的关键。法医毒物鉴定是利用化学、生物学和法医学等多个领域的知识和技术,通过对样本进行细致分析,可以精确地确定毒物的种类、来源和作用机理<sup>[3]</sup>。该程序既有助于司法人员还原事实,又能有效地防止由于缺乏证据或错误造成的裁判

不公,保护当事人的权利,维护法律的尊严与权威。

## 2.2 加强司法工作,提高公众的信任

司法公正是维护社会安定的基础,而毒物作为证据链的关键环节,法医毒物检验结果的准确、权威程度,将直接影响到司法审判的公正与否。通过科学的鉴定程序,使法医毒物鉴定的结论,为法医定案提供了重要的参考,从而保证了案件的公正、合理、科学<sup>[4]</sup>。而认证过程的公开、透明和严谨的取证机制,更增加了民众对司法系统的信赖,提高了司法公信力。人民群众的信赖和信任,是保证司法制度有效运转,促进社会和谐安定的重要保证。

## 2.3 推进法制建设,健全我国的司法制度

随着科学技术的发展,司法实践的不断发 展,法医毒物鉴定方法也得到了不断地改进。这样,既能提高鉴定的精度与效率,又能推动有关法律法规逐渐完善。比如,在面对层出不穷的新毒品案件时,法医毒物鉴定技术的适时跟进,能够为法律的制订和完善提供了一个科学的基础,使其与社会发展相适应。同时,通过对法医毒物的法医学研究,可以推动多个学科的交叉融合,促进法医学、化学和生物学等学科的发展,为我国的法制建设提供强大的人才支撑。所以,对司法有毒物质的鉴定,既是维护司法正义,又是推进法治进程,完善司法制度的一种重要手段。

# 3 司法毒物鉴定领域的 SPME 技术运用

## 3.1 农药残留检测

在法医毒物鉴定领域中,农药残留检测对还原案件实况、保障生态环境、食品安全和生态健康具有重要意义。随着科学技术的发展,固相微萃取(SPME)技术与气相色谱-质谱联用(GC/MS)联用技术相结合,有望实现对案件水体中农残的快速准确检测。固相微萃取-气相色谱-质谱联用(GC/MS)联用技术在农药残留检测领域具有广阔的应用前景。尤其是对水体中五氯酚等难降解有机污染物的检测,更显示出其独特的优势。五氯酚是一种广泛使用的广谱杀菌剂,在木材防腐、纺织、农业等领域均有广泛的应用,但是由于五氯酚的高毒性及生物累积性,给环境和人类健康带来了很大的隐患。固相微萃取(SPME)作为一种新型的高效固相微萃取技术,可实现对水体中五氯酚的快速、选择性捕获,简化传统液-液萃取过程中复杂的溶剂使用和分离过程<sup>[5]</sup>。该方法既可减少样本消耗量,又可降低操作难度,使检验工作更方便、更有效。在此基础上,将富集五氯酚的固相

微萃取纤维直接嵌入气相色谱-质谱联用系统中,利用气相色谱高分离性能与质谱高灵敏检测性能,实现对五氯酚的高灵敏定性定量。采用气相色谱-质谱(GC/MS)相结合的方法,建立高分辨率的质谱分析方法,以保证分析结果的准确可靠,为法医毒物鉴定、环境监测、食品安全提供有力的技术支持。同时,固相微萃取技术也被广泛用于地表水体及地下水中半挥发性农药检测。与传统的液-液萃取法相比,固相微萃取技术具有操作简单、快速等优点,且无需使用大量的有机溶剂,能够降低环境污染,是一种更加绿色、保障环境的方法。此外,固相微萃取技术还具有良好的灵敏度,可对水中低浓度农药残留进行高效捕获与定量分析,为农药污染监测与治理提供更精细的数据支撑。

## 3.2 药物和非法药物的分析

毒品、兽药、药物等分析是法医毒物鉴定中的一个重要环节。其中,固相微萃取技术具有独特的优势,可作为药物及违禁药物在生物体内的分布、代谢及作用机理的研究提供新思路<sup>[6]</sup>。药物及违禁药物在体内的分布受时间、药物性质及个体差异等多种因素的影响。以血、尿等为代表的传统采样方法虽然能够提供一定的信息,但常常会对生物样品产生干扰,从而影响药物在生物体内的分布。固相微萃取因其无干扰采样等特点,在毒品及违禁药品分析方面显示出显著优势。在人体解剖后药物重分布研究中,固相微萃取技术具有重要意义。该技术可在活体组织中实现对目标药物分子的高效吸附和富集,同时保持组织完整性。该方法既能保持药物在体内原有的平衡状态,又能避免取样过程中药物的扩散、降解,保证分析结果的准确可靠。同时,利用固相微萃取技术与气相色谱、液相色谱等先进分析技术相结合,实现毒品及违禁药品的高效分离和定量分析。通过建立“指纹图谱”,法医在进行解剖时能够清楚地了解药物在体内的分布状况,从而推断出其服用时间、剂量和可能产生的效应。这对确定死因和侦破刑事案件有重要意义。

## 3.3 爆炸物检测

在法医毒物鉴定领域中,爆炸物的鉴定对维护公共安全具有不可替代的作用。近年来,固相微萃取技术和离子迁移谱(IMS)技术相结合,开创了爆炸物快速检测的新时代,该技术在空间大、结构复杂的集装箱或货舱等环境下,具有很好的应用前景。固相微萃取技术可在微纤维表面包覆特定吸附剂,快速捕捉痕量爆炸物蒸汽或残留物质,实现目标物

质的高效富集。该方法不仅可以简化复杂的样品预处理过程,而且可以极大地提高检测灵敏度,使微量爆炸物都难逃它的“火眼金睛”。与IMS技术相结合,可以最大限度地发挥SPME的优势。IMS是一种以离子迁移为基础的分析方法,可对样品中不同组分进行快速分离和鉴别。当固相微萃取富集爆炸物进入离子迁移膜系统后,在电场作用下,按迁移率不同的离子被分离出来,并被检测器依次捕获。该方法不仅可以快速筛查爆炸物,而且可以获得大量的化学信息,为进一步确认爆炸物的种类及来源提供帮助。同时,固相微萃取技术也被广泛用于检测爆炸物残留<sup>[7]</sup>。SPME技术可方便地处理土壤、衣物、汽车表面等多种复杂基体,实现对爆炸物的高效捕获与分析。由于取样方式的灵活性,使得固相微萃取技术更适合于爆炸物检测。

### 3.4 助燃剂检测

在法医毒物鉴定这一领域中,燃烧助剂的检测是揭示案件真实情况的关键。尤其当助燃剂用于犯罪案件中时,受害人体内残留物的检测就成了重要证据<sup>[8]</sup>。固相微萃取(SPME)与气相色谱串联质谱(GC/MS/MS)联用技术,在血液样品中助燃剂残留检测方面显示出独特的优势。SPME技术可实现对血样中助燃剂残留的精确富集,且不会破坏样品原有组分平衡。在此过程中,表面吸附剂的微细纤维充当微型“分子捕手”,逐一捕捉血液样品中微量助燃剂分子,为后续分析提供高质量样本。采用固相微萃取-质谱联用技术,能够实现复杂基质样品的固相微萃取富集。气相色谱分离效率高,能有效分离助燃物质和其他干扰物质;利用串联质谱技术,可以进一步确定助燃剂的种类,实现微量浓度的准确定量。固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术不仅适用于普通汽油、柴油等普通助燃剂,还可以适用于更复杂稀有的助燃剂。该技术适用范围广,为司法毒物鉴定提供了多种可能,为打击助燃剂犯罪提供了有力的技术支持。

总之,在专业性较强的法医毒物鉴定领域,固相微萃取技术的应用,对鉴定工作产生了革命性的影响。本项目的实施,不仅可以提高农药、助燃剂、爆炸物等重要物质的检

测效率和准确性,而且对司法鉴定的科学性、公正性具有重要意义。随着技术的发展和应用范围的不断扩大,固相微萃取已逐渐成为法医毒物鉴定中不可缺少的重要手段。展望未来,随着固相微萃取技术的发展和与其他分析技术的融合,该技术必将在法医毒物鉴定领域发挥更大的作用。不仅可以为打击犯罪,维护社会公平,而且可以为环保、食品安全等领域贡献更多的智慧和力量。因此,持续关注并促进SPME技术在法医毒物鉴定中的应用和发展,无疑具有十分重要和深远的意义。

### 参考文献:

- [1] 张帆,王静,颜朦朦,等.阵列式薄膜固相微萃取结合高效液相色谱-串联质谱法测定农产品中13种农药残留[J].食品安全质量检测学报,2022,13(16):5401-5409.
- [2] 杨雪,申书昌.镍钛合金纤维/封端硫化硅橡胶固相微萃取头的制备及用于西药中残留溶剂的检测[J].齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2020,36(1):59-63.
- [3] 崔瑞霞,向孝哲,孙鑫,等.ACMO-co-DVB-co-NVP@MCM-41的制备及其在豇豆农药固相微萃取中的应用[J].华中农业大学学报,2022,41(5):257-265.
- [4] 沈敏,刘伟,向平.传承与创新视角下法医毒物学发展的实践与思考——以司法鉴定科学研究院法医毒物化学专业为例[J].中国司法鉴定,2020(3):49-58.
- [5] 姜奕甫.国内毒物和毒品检验现状及发展趋势探究[J].法制博览,2020(29):114-115.
- [6] 沈敏,刘伟,向平.传承与创新视角下法医毒物学发展的实践与思考——以司法鉴定科学研究院法医毒物化学专业为例[J].中国司法鉴定,2020(3):49-58.
- [7] 林颖悦,张玉,陈家畅.司法毒物鉴定中SPME技术的应用[J].法制博览,2022(31):100-102.
- [8] 纪博睿,王丽娜,段卫宇,等.聚乙烯塑料制品燃烧残留物对柴油分析鉴定的影响[J].刑事技术,2023(4):364-370.