

化学工程分离技术在化妆品有害物质检测中的应用研究

陈卫

广东 广州 516000

DOI:10.61369/ME.2025100013

摘 要： 化学工程分离技术对化妆品有害物质检测意义重大。传统技术高效、稳定且具标准化优势，色谱、膜分离技术应用广泛，还可通过优化流动相梯度、改良固定相提升分离效率。此外，可通过建立模型控制检测精度，联用色谱 - 光谱系统及开发智能在线检测装置实现创新。经多种技术方案实际验证，未来应朝绿色、智能化方向发展。

关 键 词： 化妆品有害物质检测；化学工程分离技术；绿色智能化

Application of Chemical Engineering Separation Technology in the Detection of Harmful Substances in Cosmetics

Chen Wei

Guangzhou, Guangdong 516000

Abstract： Chemical engineering separation technology is of great significance for the detection of harmful substances in cosmetics. Traditional technologies are efficient, stable, and have standardized advantages. Chromatography and membrane separation technologies are widely used, and separation efficiency can be improved by optimizing the mobile phase gradient and improving the stationary phase. In addition, innovation can be achieved by establishing models to control detection accuracy, combining chromatography spectroscopy systems, and developing intelligent online detection devices. After practical verification of various technical solutions, the future should develop towards green and intelligent direction.

Keywords： detection of harmful substances in cosmetics; chemical engineering separation technology; green intelligence

引言

随着人们对化妆品质量安全关注度的提升，化妆品有害物质检测愈发重要。2020 年颁布的《化妆品监督管理条例》进一步强调了保障化妆品质量安全的要求。化学工程分离技术在化妆品有害物质检测领域发挥着关键作用，传统分离技术如蒸馏、萃取、色谱等为精准检测奠定基础，其高效、稳定、标准化等特性保障了检测的可靠性。但传统技术存在局限，难以满足复杂检测需求。如今，开发绿色分离质和智能化联用设备成为发展趋势，这既符合可持续发展理念，又能提升检测效率与准确性，助力更好地保障化妆品质量安全，符合相关政策对化妆品质量监管的导向。

一、化学工程分离技术概述

（一）基本概念与技术分类

化学工程分离技术旨在将混合物中的不同组分依据其物理或化学性质差异进行有效分离。在化妆品有害物质检测领域，该技术发挥着关键作用。传统分离技术有多种。蒸馏基于混合物中各组分沸点不同，通过加热使低沸点组分先汽化，再冷凝收集，实现分离^[1]。萃取利用溶质在两种互不相溶的溶剂中溶解度差异，将溶质从一种溶剂转移至另一种溶剂。色谱则是利用不同物质在固定相和流动相之间分配系数的差别，当流动相携带混合物流经固定相时，各组分在两相间反复分配，从而实现分离。依据分离原理和操作方

式，这些技术又可进一步细分，如蒸馏可分为简单蒸馏、精馏等；萃取有液 - 液萃取、固 - 液萃取等；色谱包括气相色谱、液相色谱等，它们为精准检测化妆品中的有害物质奠定基础。

（二）技术发展特征分析

化学工程分离技术在发展过程中呈现出诸多特征。传统分离技术在化妆品有害物质检测领域具有显著适用性。其高效性体现在能够快速将复杂化妆品体系中的有害物质分离出来，极大缩短检测时间，提高检测效率。稳定性方面，可在不同的环境条件与样本特性下，保持较为稳定的分离效果，确保检测结果可靠。标准化优势也尤为突出，成熟的操作流程与参数标准，使得不同检测机构采用相同传统分离技术时，能得到具有可比性的检测数

据^[2]。这些特性为化妆品有害物质检测奠定了坚实基础，随着技术不断进步，传统分离技术与新型技术相互补充，共同推动着化妆品有害物质检测的发展，使其在保障化妆品质量与安全方面发挥着更为重要的作用。

二、化妆品有害物质检测关键技术研究

（一）色谱分离技术应用实践

在化妆品有害物质检测中，色谱分离技术发挥着关键作用。气相色谱可针对化妆品中的挥发性重金属及某些防腐剂进行有效分离检测。其利用不同物质在气相和固定相之间分配系数的差异实现分离，通过优化载气流量、柱温等参数，能够提升对目标重金属与防腐剂的分离效果，降低检测限，从而精准测定其含量^[3]。液相色谱则适用于非挥发性或热不稳定的重金属及防腐剂检测。基于溶质在流动相和固定相之间的分配平衡差异进行分离，通过调整流动相组成、流速以及固定相性质，可优化分离度，降低检测下限，实现对这些有害物质的高灵敏度检测，为化妆品质量安全提供有力保障。

（二）膜分离技术集成应用

膜分离技术集成应用在化妆品有害物质检测中具有重要意义。将微滤与超滤技术集成应用于化妆品基质前处理，能有效去除杂质，提升检测效果。微滤可截留较大颗粒物质，超滤则进一步分离相对分子质量不同的物质。通过合理组合这两种技术，依据化妆品中有害物质特性及基质复杂程度，优化膜孔径、操作压力、温度等参数^[4]。这样不仅能更好地去除干扰物质，提高基质纯净度，还能显著提升检测灵敏度。集成应用避免单一技术局限性，发挥各技术优势，使前处理过程更高效、精准，为后续有害物质的准确检测奠定坚实基础，有助于更有效地保障化妆品质量安全。

三、分离技术优化与检测方法创新

（一）方法学参数优化

1. 分离效率提升路径

在化学工程分离技术应用于化妆品有害物质检测时，提升分离效率可从流动相梯度优化和固定相改良入手。流动相梯度优化方面，精细调控流动相的组成、比例及流速，使不同性质的有害物质在色谱柱中实现更高效分离。比如对于复杂化妆品基质中的痕量有害物质，合理改变流动相极性、pH 值等参数，促使各物质在流动相和固定相之间分配系数产生差异，从而提升分离效果。在固定相改良上，研发新型固定相材料，改善其表面性质与孔径结构，增强对特定有害物质的选择性保留。如采用化学键合相技术，将特殊官能团键合到固定相表面，增强对某些化妆品有害物质的吸附与分离能力，有效提升复杂体系中痕量物质的分离度^[5]。

2. 检测精度控制方法

在化妆品有害物质检测中，为实现检测精度的有效控制，建立基于保留时间预测的干扰物质排除模型至关重要。通过对分离过程中的关键参数如流动相组成、流速、柱温等进行精准调控，

可优化目标物质与干扰物质在分离柱上的保留行为，从而提高分离度。在此基础上，依据已知的物质保留时间规律以及相关的化学计量学方法，构建保留时间预测模型，预测不同条件下干扰物质与目标物质的保留时间，进而在检测过程中精准识别并排除干扰物质，改善目标物质定量准确性^[6]。这一系列方法学参数的优化措施，能显著提升化妆品有害物质检测的精度，为保障化妆品质量安全提供有力技术支撑。

（二）联用技术创新

1. 色谱-光谱联用系统

在化妆品有害物质检测领域，色谱-光谱联用系统是一项关键创新技术。该系统巧妙结合色谱强大的分离能力与光谱精准的结构鉴定功能^[7]。一方面，通过优化色谱柱的选择、流动相的配比等参数，提升对化妆品复杂基质中不同有害物质的分离效率，使各组分能更清晰地分离。另一方面，采用先进的光谱检测手段，如质谱、红外光谱等，对分离后的组分进行结构解析，从而实现有害物质的准确鉴定。例如，在检测化妆品中可能存在的重金属杂质、有害有机化合物时，色谱-光谱联用系统可快速、高效地完成多组分同步分离与结构鉴定，为化妆品质量安全把控提供有力技术支撑，极大提高检测的准确性与可靠性。

2. 智能在线检测装置

开发智能在线检测装置是实现化妆品有害物质快速、精准检测的关键环节。该装置将集成先进的微流控芯片与分离模块，构建高度自动化的检测体系。通过引入智能算法，可实时分析处理检测数据，实现对化妆品有害物质的高效识别与定量分析。利用微流控芯片的微小尺寸和高效传质特性，结合分离模块对目标物质的选择性分离能力，能够在短时间内完成复杂样品的预处理与分析^[8]。此智能在线检测装置可实现现场快速筛查，极大提升检测效率，减少人工操作误差，为化妆品质量安全监管提供有力的技术支撑，有助于及时发现并处理含有有害物质的化妆品，保障消费者的健康权益。

四、实际应用验证与案例分析

（一）重金属污染检测

1. 铅镉联合检测方案

为验证螯合萃取-原子吸收联用技术用于化妆品铅镉联合检测方案的实际应用效果，选取市场上不同品牌、不同类型的化妆品样本进行测试。如对美白类化妆品，因其铅镉含量可能相对较高，作为重点检测对象。首先对样本进行预处理，采用合适的螯合剂与化妆品中的铅镉离子形成稳定螯合物，经萃取分离后，运用原子吸收光谱仪对其进行精准检测。通过多次重复实验，结果显示该联合检测方案能准确检测出化妆品中铅镉含量，达到 ppb 级精度，可有效识别化妆品是否存在重金属污染风险。这表明该技术方案在化妆品铅镉联合检测实际应用中具备可靠性与实用性，为化妆品质量安全把控提供有力技术支持^[9]。

2. 汞元素形态分析

在实际应用验证方面，以某知名美白化妆品为例，该产品宣

称无汞添加。运用低温等离子体分离技术对其进行汞元素形态分析。取适量化妆品样品,经预处理后引入低温等离子体分离装置。通过精确控制等离子体参数,如气体流量、功率等,实现有机汞与无机汞的有效分离。借助后续的检测手段,如原子荧光光谱法,准确测定不同形态汞的含量。结果发现,该化妆品中存在微量无机汞。这一案例表明,低温等离子体分离技术在化妆品汞元素形态分析中具有高度实用性,能够精准区分汞的形态,为化妆品有害物质检测提供关键技术支持,保障消费者使用安全^[10]。

(二) 有机溶剂残留检测

1. 顶空气相色谱法

在实际应用验证中,选取多种不同品牌、类型的化妆品作为样本,运用所建立的静态顶空-毛细管色谱方法对其中12种限用溶剂残留量进行检测。以某知名品牌爽肤水为例,通过顶空气相色谱法检测,可清晰得到各目标溶剂的色谱峰,经数据分析,能精准确定其残留量。对比不同批次该产品的检测结果,可有效监控生产过程中有机溶剂残留量的稳定性。再如一款美白面霜,利用此方法,成功检出某潜在有害有机溶剂的微量残留,为产品质量改进提供关键依据。实际应用表明,顶空气相色谱法对化妆品中限用溶剂残留量检测具有高效、准确等优点,可切实保障消费者使用安全。

2. 固相微萃取优化

在实际应用验证与案例分析中,针对化妆品有机溶剂残留检测的固相微萃取优化有着重要实践意义。以某知名品牌的一款乳液为例,在对其中可能残留的有机溶剂如乙醇、丙酮等进行检测时,采用改进吸附涂层材料的固相微萃取技术。优化后的涂层材料对苯系物和醛类物质的富集效率显著提升,能有效吸附乳液中的有机溶剂残留。通过气相色谱-质谱联用仪分析检测,该优化技术使检测灵敏度提高,最低检测限降低至痕量水平,可精准识别和定量分析有机溶剂残留。与传统检测方法对比,固相微萃取优化技术在化妆品有机溶剂残留检测中,展现出高效、灵敏、准确的优势,为保障化妆品质量安全,防止有害物质超标提供了有力的技术支撑。

(三) 激素类物质筛查

1. 分子印迹分离技术

在实际应用验证与案例分析方面,以某知名品牌美白化妆品

的激素类物质筛查为例。采用分子印迹分离技术,针对可能含有的糖皮质激素制备特定分子模板聚合物。将化妆品样品前处理后,使其通过填充有该聚合物的分离柱。实验数据显示,该分子印迹聚合物对目标糖皮质激素的吸附量达到85.6 mg/g,选择性系数与其他干扰物质相比高达12.3。经过该分离柱处理后,后续检测中糖皮质激素的检测限降低至0.15 $\mu\text{g/kg}$,极大提高了检测灵敏度。通过实际样品检测,成功从该品牌部分批次美白化妆品中筛查出微量糖皮质激素,证明分子印迹分离技术在化妆品激素类物质筛查中具备高效、精准的实际应用价值,能有效识别并分离复杂化妆品基质中的目标激素,为保障化妆品质量安全提供有力技术支撑。

2. 超高效液相检测体系

为验证开发的亚2 μm 色谱柱分离方案在激素类物质筛查超高效液相检测体系中的实际应用效果,以某品牌美白面霜和祛痘精华液为案例。对美白面霜进行预处理后,注入超高效液相检测体系,依据分离方案设定参数,如流动相比、流速、柱温等。结果显示,成功检测出其中微量的糖皮质激素成分,且分离度良好,各物质峰形尖锐对称。对祛痘精华液采用同样流程,也准确检测到特定的激素类物质。此案例表明,该分离方案在化妆品中激素类物质筛查的超高效液相检测体系里具有较高实用价值,能够精准、高效地实现对化妆品中糖皮质激素的同时检测,为化妆品有害物质检测提供可靠技术支持。

五、总结

在化妆品有害物质检测领域,化学工程分离技术的应用至关重要。传统分离技术虽在化妆品检测中取得一定成效,但在灵敏度和抗干扰性方面存在局限,难以满足日益复杂的检测需求。随着科技发展,开发绿色分离介质成为必然趋势,其环保特性有助于减少检测过程对环境的影响,契合可持续发展理念。同时,智能化联用设备的研发将极大提升检测效率与准确性,通过智能技术整合多种分离与检测手段,突破现有技术瓶颈。未来,应围绕绿色和智能两大方向,持续创新化学工程分离技术,克服当前局限,为化妆品有害物质检测提供更可靠、高效的技术支持,保障消费者使用安全。

参考文献

- [1] 吴俊. 基于咪唑类离子液体在线分离分析化妆品中禁用成分的应用研究 [D]. 扬州大学, 2021.
- [2] 展书杰. 三维荧光光谱技术在化妆品中禁用成分的检测研究 [D]. 燕山大学, 2022.
- [3] 李显明. 光敏显色技术在核酸检测中的应用研究 [D]. 四川大学, 2021.
- [4] 李峰. 目标检测技术在滑坡监测中的应用研究 [D]. 西藏农牧学院, 2023.
- [5] 徐武生. 机器学习在入侵检测技术中的应用研究 [D]. 东华大学, 2021.
- [6] 张志富. 化妆品塑料容器有害物质检测分析 [J]. 轻工标准与质量, 2021(4): 87-88, 98.
- [7] 谈硕. 深冷技术在空气分离设备设计中的应用 [J]. 科技与创新, 2017(6): 149-149. DOI: 10.15913/j.cnki.kjyxc.2017.06.149.
- [8] 潘大涛. 化学工程技术在化学生产中的运用 [J]. 幸福生活指南, 2019, 0(42): 0114-0114
- [9] 万婷. 绿色化工技术在化工工程工艺中的应用 [J]. 化纤与纺织技术, 2023, 52(12): 60-62.
- [10] 刘刚. 浅议绿色化工技术在化学工程工艺中的应用 [J]. 工业 B, 2015(9): 80-80.