

# 提取物中 PAH 的高效脱除技术研究

季进军<sup>1</sup> 杨艳<sup>2</sup>

1.丽水绿禾生物科技有限公司; 2.宁波杰顺生物科技有限公司

**【摘要】**多环芳烃(PAH)是一类广泛存在于环境中的有机污染物,对人体健康和生态环境具有潜在的危害。本文旨在探讨提取物中PAH的高效脱除技术,通过分析现有技术的优缺点,提出创新性的脱除方法,并评估其在实际应用中的效果。通过本研究,旨在为相关领域提供有效的PAH脱除策略,降低提取物中PAH的含量,保障产品的安全性和环境友好性。

**【关键词】**提取物; PAH; 高效脱除技术研究

Study on the efficient removal technique of PAH in the extracts

Ji Jinjun<sup>1</sup> Yang Yan<sup>2</sup>

1.Lishui Lvhe Biotechnology Co., LTD; 2.Ningbo Jieshun Biotechnology Co., Ltd

**【Abstract】**Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are a class of organic pollutants widely found in the environment, which have potential harm to human health and ecological environment. This paper aims to explore the efficient removal technique of PAH in extracts, analyze the advantages and disadvantages of existing techniques, and propose innovative removal methods, and evaluate their effect in practical application. Through this study, we aim to provide effective PAH removal strategies for related fields, reduce the content of PAH in the extract, and ensure the safety and environmental friendliness of the product.

**【Key words】**extract; PAH; research on efficient removal technology

## 引言

多环芳烃(PAH)是一类由两个或两个以上苯环组成的有机化合物,主要来源于化石燃料的燃烧、工业排放和车辆尾气等。PAH具有致癌、致突变和致畸等毒性效应,对人类健康和生态环境构成严重威胁。因此,开发高效、环保的PAH脱除技术具有重要意义。

## 1、PAH的性质与危害

### 1.1 PAH(多环芳烃)的化学结构

多环芳烃(PAHs)是一类由多个苯环通过共价键以各种方式连接形成的有机化合物家族成员。这些化合物因其复杂的结构而展现出独特的理化特性和环境行为。PAHs中的苯环数可以从2到超过10个不等,这导致了PAH家族成员之间的巨大多样性。当只有两个苯环存在时,我们通常称之为萘,它是PAH中最简单的形式;随着苯环数量的增加,化合物变得更加庞大,形成如菲、芘、蒽和芘等一系列更复杂的化合物。

在空间构型上,PAHs可以是平面状或立体折叠形。平面状的PAHs是指所有苯环排列在同一平面上,这样的结构允许电子云在各苯环间自由流动,增强其导电性能;而立体折叠形PAHs则是由于额外苯环的加入使整体结构呈现出一定的三维形态,这种构型对化合物的稳定性及与生物体内的受体结合能力产生重要影响。尽管如此,在大

气、水体和土壤中,PAHs仍然保持着相当高的稳定性和持久性。

### 1.2 PAH的物理性质

多环芳烃(PAHs)因其独特化学结构而展现出一系列引人注目的物理性质。其中最显著的是它们在不同溶剂中极低的溶解度以及相对较高熔点。这一特性使得PAHs难以被自然过程分解或稀释掉,增加了其在环境中的滞留时间,从而造成更广泛的污染问题。此外,随着苯环数目增多,PAHs的溶解度和熔点也会相应降低。

PAHs通常在水中几乎不溶,而在脂肪族、芳香族或卤代碳氢化合物溶剂中有较好的溶解性。这是因为疏水性随苯环数量增加而增强,使得PAHs倾向于聚集在一起形成微小颗粒悬浮物。此类物质沉积于河流底部泥沙中,或吸附于空气中尘埃表面。PAHs的熔点范围很广,从室温以下至接近500°C不等。高温下部分PAHs可挥发进入气态环境,参与大气化学反应循环。

### 1.3 PAH的毒性效应

多环芳烃(PAHs)作为一类广泛存在于环境中的污染物,已被证实对人体健康和生态系统构成严重威胁。它们的毒性作用机理复杂多元,主要涉及遗传学层面的损伤及其引发的一系列生理功能障碍。PAHs可通过多种途径进入人体内,例如吸入含PAHs烟雾、直接接触污染土地或者摄入食物链中累积的PAHs。长期暴露于PAH环境下可能诱发各种慢性疾病,尤其是癌症风险显著升高。

据研究发现,PAHs能够与DNA发生相互作用,并引

起基因突变甚至断裂现象,进一步发展成恶性肿瘤细胞。常见案例有皮肤癌、膀胱癌和肺癌等。同时,PAHs还会影响内分泌系统平衡,干扰激素正常分泌,导致生殖发育异常,如男性精子质量下降、女性月经周期紊乱等问题频发。除此之外,神经系统受损也是一个不容忽视的风险因素——PAHs会损害神经元生长发育进程,尤其对于儿童群体而言更为敏感。

生态方面来看,PAHs不仅危及人类生存环境,还会破坏生物圈自然平衡状态。它们在自然界积累过量后,会引起植物根系腐烂死亡,限制植被覆盖面积减少光合作用效率;另外也降低了水域鱼类种群密度,破坏渔业资源可持续利用价值。因此,有效控制PAH排放已经成为全球环保工作的重要议题之一。

## 2、现有PAH脱除技术概述

### 2.1 溶剂萃取法:精细化学中的双刃剑

溶剂萃取法作为一种传统技术,在PAH(多环芳烃)去除领域占据着不可忽视的地位。这种方法的基本原理是在混合物中引入特定溶剂,通过相似相容性的原则实现目标组分与其他杂质的有效分离。适用于处理复杂基质样品中微量或痕量级PAH的富集及净化。常见的溶剂选择依据其溶解能力、选择性以及易于回收再利用等方面综合考虑,诸如甲醇、丙酮、己烷等非极性或非极性液体被广泛使用。

然而,溶剂萃取法并非完美无缺。首先,残留在提取物中的溶剂往往需要经过严格清洗步骤才能去除干净,否则会带来后续分析检测环节干扰信号,甚至可能对人体健康造成潜在危害。其次,大量废弃溶剂排放对环境构成严峻挑战,特别是当采用有害或有毒化学品时更是如此。最后,萃取过程中可能存在部分PAH未能完全转移至溶剂相而流失的现象,影响目标产物得率和纯度指标。

### 2.2 吸附法:简单高效却受限于材料科学

吸附法借助固体吸附剂对PAH具有强烈亲和力的特点,将其从液态或气态介质中捕获并固定下来。目前应用较成熟的几种吸附剂类型包括活性炭、氧化铝、硅胶及新型纳米材料等。具体流程涉及制备合适粒径大小、孔隙结构分布均匀的载体,然后将其填充入柱子或其他容器内部作为反应床层。当待处理流体通过此装置时,PAH分子会被吸引并暂时停留于吸附位点直至饱和状态,最终经干燥、加热等手段实现与基质分离的目的。

相比其他技术路线而言,吸附法凸显出操作便捷、成本低廉的优势。但在实际推广运用过程中,吸附剂的再生与重复使用成为亟待突破的关键瓶颈。一方面,高效稳定的再生机制尚未建立完善,导致一次性消耗巨大且经济效益不佳;另一方面,过度依赖外部能源投入或将导致额外环境污染问题。

### 2.3 化学氧化法:催化裂解,旨在绿色革命

化学氧化法作为PAH降解的一个新兴方向,近年来引

起了广泛关注。它的核心在于选用恰当的氧化剂体系,促使PAH分子结构发生深度变化,进而转化为低毒或无毒的终产物。常用氧化剂包括过氧化氢、臭氧、高锰酸钾等,它们各自具备不同的活性水平和专一性要求。

虽然理论上化学氧化法能够快速消除PAH污染源,但仍面临诸多挑战。首先,适宜的氧化剂必须具备足够的反应动力学速度和经济可行性;其次,过量添加或不合理搭配可能会引发二次污染,如生成副产品如氮氧化物、硫酸盐等;再次,精确调控工艺参数如温度、pH值、搅拌强度至关重要,稍有不慎便会导致转化效率大打折扣。

### 2.4 生物降解法:探索生命的力量,打造绿色未来

生物降解法凭借其环保、可持续发展的优势成为了当今PAH治理领域的研究热点。该方法依赖微生物体内酶的作用,将复杂有机物逐步转化为无害或易于处理的小分子。比如,细菌、真菌甚至是某些藻类都可以发挥降解功效,它们利用自身的代谢活动将PAH转变成CO<sub>2</sub>、水和其他矿物质元素。

不过,尽管生物降解法前景广阔,它依然存在一些局限性。首先是降解速率慢的问题,因为许多PAHs结构较为稳定,微生物需要长时间适应和进化才能有效分解;其次是受到环境条件如温度、pH值、氧气含量等多重制约,导致效果波动较大;最后是微生物资源库有限,针对某些特殊类型的PAH寻找高效菌株仍然是一个未竟之业。然而,随着科学技术不断进步,相信这些问题将会得到逐步克服,生物降解法有望成为未来PAH治理的主要策略之一。

## 3、创新性PAH脱除技术研究

### 3.1 高压微射流技术

高压微射流技术,作为一项前沿科技,正逐渐在PAH(多环芳烃)的脱除领域绽放异彩。这项技术的核心在于利用超高速流动的水滴在微观尺度下所产生的强大剪切力和冲击波能量,以达到对固态或液态物料的精细破碎与分散。其原理类似于自然界中湍急河流对岩石的侵蚀作用,只是规模缩小至微米乃至纳米级别。此过程不仅能有效释放出夹杂在复杂基质中的PAH成分,还能最大限度地保留原有物质的结构完整性。

与传统化学或物理处理方式相比,高压微射流技术展现了明显优势:

操作简便:整个作业过程自动化程度高,仅需设置好运行参数即可启动设备开始加工;

脱除效率高:得益于高强度动能传递,即便面对难溶性强、黏稠度大的样本也能取得良好效果;

无污染排放:无需额外化学试剂辅助,避免了可能带来的二次污染风险;

适用范围广:无论是工业废水、土壤修复还是食品行业都需要这项技术来应对日益严峻的PAH挑战。

高压微射流技术成功地将现代流体力学理论应用于环

境工程实践当中，开创了一条安全可靠的 PAH 去除路径。特别是在处理石油炼制副产品、煤焦油废渣等重污染源时表现尤为突出，其背后蕴含的潜力仍有待深入挖掘。

### 3.2 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术

超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术利用超临界 CO<sub>2</sub> 对 PAH 的溶解性，通过调整压力和温度等条件，实现 PAH 的选择性萃取。该方法具有无污染、操作简便、萃取效率高等优点，但设备成本较高。

### 3.3 微波辅助提取与脱除技术

微波辅助提取与脱除技术，作为一种融合了电磁场和化学工程技术的现代解决方案，正在改变我们处理 PAH（多环芳烃）污染的方式。它巧妙地利用了微波的独特性质——既能产生局部热效应又能激发非热效应对有机物进行高效提取和脱除。微波能穿透大多数非金属材料直达目标物内部，激发分子振动，加速传质过程。相比于传统加热方法，微波加热更加集中、快速，可以在几秒钟到几分钟内完成，大大提高了工作效率。更重要的是，微波能够均匀加热，避免局部过热现象，确保 PAH 成分得以完整保存而不受热分解损失。微波辅助提取技术的应用领域十分广泛，尤其是在食品工业、医药化学制品以及环境保护等领域展现出卓越潜能。它可以有效地从各种复杂基质中提取出所需 PAH 组分，如从植物组织中提取药用成分、从石油产品中回收有价值添加剂或是从污染土壤中清除有害物质。与传统物理机械法相比，微波辅助法操作简单直观，节省时间和精力成本，同时也减少了对环境的影响。当然，微波技术并非没有瑕疵。尽管其本身安全性高，但不当使用仍然存在隐患。为了保证实验和生产现场安全，合理设定工作参数如功率、频率、照射时间变得至关重要。此外，适当防护措施如安装防辐射屏蔽罩、佩戴个人防护装备以及定期维护检查设备，都能有效避免意外伤害事件的发生。

### 3.4 超声波辅助提取与脱除技术

超声波辅助提取与脱除技术利用超声波的空化效应、机械效应和热效应，促进提取物中 PAH 的释放和分离。通过优化超声波提取和脱除的参数，如超声波功率、提取时间等，可以提高 PAH 的脱除效率和纯度。该方法具有设备成本低、操作简便等优点，但超声波对提取物的稳定性可能产生一定影响。

## 参考文献

- [1]活性炭固定床吸附分离多环芳烃研究[J].邓东丰; 张新.环境科学导刊, 2019 (06)
- [2]从脱臭馏出物提取天然生育酚研究进展[J].崔凤杰; 王宏媛; 陈志蔚; 蔡兆培; 林琳.粮食与油脂, 2012 (07)
- [3]天然维生素 E 中 PAHs 脱除工艺初探[J].张莉华; 俞益; 孙晓霞; 洪毅敏; 许新德.中国食品添加剂, 2009 (03)
- [4]天然生育酚中痕量多环芳烃脱除工艺的研究[J].董新艳; 任其龙; 杨亦文; 金米聪.中国油脂, 2008 (01)
- [5]多环芳烃脱除方法及其在维生素 E 油中的应用[J].伍林; 王艳; 秦晓蓉; 罗倩; 曹淑超; 易德莲; 孙海辉.中国油脂, 2005 (11)
- [6]脱臭馏出物中天然维生素 E 提取[J].曹国锋, 龚任, 刘红天.粮食与油脂, 2001 (05)

## 4、PAH 脱除技术优化与评估

### 4.1 技术优化

针对现有 PAH 脱除技术的不足，通过优化提取和脱除参数、改进设备设计、开发新型吸附剂等方法，提高 PAH 的脱除效率和纯度。同时，考虑成本、环保等因素，选择最合适的脱除技术。

### 4.2 效果评估

采用高效液相色谱（HPLC）、气相色谱-质谱联用（GC-MS）等现代分析技术，对提取物中 PAH 的含量进行准确测定。通过对比不同脱除技术的处理效果，评估其在实际应用中的可行性和有效性。

## 5、PAH 脱除技术的应用前景与挑战

### 5.1 应用前景

随着人们对食品安全和环境保护意识的提高，PAH 脱除技术在食品、药品、化妆品等领域的应用前景广阔。通过降低提取物中 PAH 的含量，可以提高产品的安全性和市场竞争力。

### 5.2 挑战

尽管 PAH 脱除技术取得了显著进展，但仍面临一些挑战。例如，高压微射流技术和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术的设备成本较高；微波辅助提取与脱除技术和超声波辅助提取与脱除技术的脱除效率和纯度仍有待提高；同时，新型吸附剂的开发和成本降低也是当前亟待解决的问题。

## 结语

本文通过探讨提取物中 PAH 的高效脱除技术，对现有技术进行了综述和分析，并提出了创新性的脱除方法。通过优化技术参数和评估脱除效果，为相关领域提供了有效的 PAH 脱除策略。未来，随着科技的进步和人们对食品安全、环境保护意识的提高，PAH 脱除技术将得到更广泛的应用和推广。同时，也需要继续探索新的脱除技术和方法，提高脱除效率和纯度，降低成本和环境污染，以满足市场需求和推动产业发展。