

简述餐饮油烟污染及其净化处理技术研究进展

胡伟 莫凤 徐丽

(宜宾市翠屏生态环境局 四川 644002)

摘要: 餐饮油烟污染是当前一个不可忽视的问题,它困扰人们的日常生活,危害人体健康并污染大气环境。本文探讨了餐饮油烟的产生和组分,分析了其对人体健康、环境和餐饮经济的危害,总结了传统与新型油烟净化处理技术及新的研究方向,以期为餐饮油烟污染问题的解决提供一定的参考和思路。

关键词: 大气环境; 餐饮油烟; 油烟污染; 净化技术

中图分类号: X51 **文献标识码:** A

DOI: 10.20087/j.cnki.1672-8114.2024.13.007

Overview of Research Progress on Catering Oil Fume Pollution and Its Purification Treatment Technology

Hu Wei, Mo Feng*, Xu Li

(Yibin Cuiping Ecological Environment Bureau, Sichuan, 644002)

Abstract: Catering oil fume pollution is a current issue that cannot be ignored. It troubles people's everyday lives, endangers human health, and pollutes the atmospheric environment. This article explores the generation and composition of catering fumes, analyzes the hazards to human health, environment, and catering economy, summarizes traditional and new fume purification treatment technologies and new research directions, in order to provide certain reference and ideas for solving the problem of catering fume pollution.

Key words: atmospheric environment; catering oil fumes; oil fume pollution; purification technology

餐饮油烟主要是炒菜、烧烤和煎炸等过程中产生的颗粒物和挥发性有机物(VOCs)等污染物。因此,掌握餐饮油烟污染特点及其净化处理技术对解决该类污染具有重要意义。目前对餐饮油烟的研究主要集中在以下几方面:一是通过监测和分析油烟排放情况了解其排放的来源、组成等信息,为制定防治方案提供依据。二是对油烟净化处理技术开展研究。三是通过设计和优化以实现净化设备的更新迭代。四是以提高净化效率和降低处理成本为目的,致力于新型油烟净化材料的研究。本文通过对餐饮油烟污染及其净化处理技术进行综合分析和总结,以期为油烟污染治理提供参考。

1. 餐饮油烟的产生与主要成分

在煎、炸、烹、炒等烹饪过程中,食用油脂在高温高热条件下经氧化、聚合、裂解、异构化等复杂反应而形成气态污染物油烟。烹饪时油脂一般要经历一个由低温到高温的过程,当烹饪温度达到水的沸点时,食物水分逐渐蒸发,食用油中低沸点的少量组分发生气化,食物开始散发少量烟气。当温度升至食用油发烟点时,食用油开始分解且随温度升高而加速,同时伴随蓝烟的出现。当温度升至230~250℃时,油液面下可见密集油泡,液面上出现大量明显的青烟,油脂开始大量热氧化降解气化成粒径为 $3\times10^{-6}\sim3\times10^{-5}$ cm的油粒物。当油温升到270℃以上后,食用油中高沸点物质

开始热氧化降解气化成粒径为 $1\times10^{-7}\sim1\times10^{-3}$ cm的油粒物并产生大量更明显的青黑色烟气。此时倒入食材,食材水分受高温影响而迅速汽化,与油烟分解物形成混合油烟雾。各烹饪温度阶段产生的高温油雾烟气混合物被热量和气流携带上升至上层冷空气并与之发生碰撞,饱和蒸气压与温度均急速降低生成气溶胶,液态和固态气溶胶可被油烟净化设备收集或处理,而气态油烟则飘散到室内或由通风设备排到室外。

气态油烟是一类成分和理化性质都十分复杂的复合污染物,含有大量颗粒物(如PM_{2.5}、PM₁₀)及VOCs,VOCs具有成分复杂、湿度大、排放量大而浓度低等特性,其主要成分为脂肪酸、醛类、烃类、醇、酮和多环芳烃(PAHs)等物质,其中醛类可占VOCs的30%~70%^[1]。Qian等^[2]利用可调谐同步辐射光电离质谱技术实时测定烹饪油烟化合物,发现了一系列常见的醛类及几种未见报道的有机化合物。由于食用油、食材种类不同,以及烹饪方式使油温有差异,最终生成油烟的成分也不同。在烹饪过程中,烹饪油和食材油脂不断被加热而持续升温,各阶段产生的油烟不同,但低温烹饪能减少油烟VOCs的生成。此外,同类型油精炼程度不同也会影响油烟组成,Luo等^[3]研究不同精炼程度大豆油加热油烟中的有害物质,发现精炼油产生的醛和酮浓度最低,中和油浓度最高,而粗油排放的PAHs和颗粒物浓度最高。气态油烟进入空气,最终

与空气中飘浮的颗粒物形成复杂的餐饮油烟复合污染物，成为大气环境中有机气溶胶的重要来源。

2. 餐饮油烟的影响

(1) 危害人体健康。由于餐饮油烟中含有 VOCs、PAHs、PM_{2.5}、PM₁₀、重金属和致癌物等大量有毒有害物质和致病因子，排放后对暴露其中的人类造成威胁，是引发呼吸系统疾病和癌症的一大诱因。油烟颗粒物被人体吸入后可到达深部肺泡，长期吸入这些微颗粒物能导致哮喘、支气管炎、肺部疾病^[4]等各种呼吸系统疾病。VOCs 成分复杂，其中大部分有机物对人体的损害表现为免疫抑制、致癌性、致畸性和致突变性等。因此，长期吸入这些有毒物质，会导致人体免疫力下降，从而易感染各种疾病。研究表明，PAHs 和醛类的致癌风险较高^[3]，而由于油烟中的杂环芳胺（HAA）和长链醛具有强烈的诱变性或致癌性，健康细胞低剂量接触 HAA 和醛也会受到损害^[4]。

(2) 影响环境质量。油烟排放后会成为影响环境尤其是大气环境的重要污染物质。一方面，它不仅难闻且具有刺激性，令人感到不适。另一方面，大量油烟排放将直接影响大气质量，这是因为油烟中含有大量粒径小、活性强、表面积大的 PM_{2.5}，PM_{2.5} 在大气中具有停留时间长、输送距离远、易吸附致病菌与重金属等有毒有害物质的特点，是形成雾霾现象的重要元凶。油烟 VOCs 与空气中的 NO_x 则易发生反应，促进臭氧、雾霾及有机气溶胶的形成。

(3) 对餐饮经济的挑战。油烟污染同样影响餐饮经济的发展。一方面，油烟油脂微粒、有机物附着于餐具、桌椅、墙壁和通风设备等表面形成油垢和沉积物，使餐馆环境脏乱不堪，油烟味同时又会降低客户的消费体验，这会在无形中影响餐馆的生意，使其可能面临关闭、转型或经营困难的局面。另一方面，未能做好油烟防治的餐饮店会招致较多的投诉，这也会影响餐馆经营与可持续发展。

3. 净化处理技术的研究现状

(1) 传统技术。传统技术主要有机械分离、洗涤、吸附、过滤、静电沉积等，是处理油烟颗粒物较成熟的方法。其中，机械分离法不改变油烟污染物组分，是利用惯性、重力和离心力等力学原理使油烟颗粒物与烟气脱离的技术。油烟进入烟道后，运动快速且质量大的颗粒遇到滤芯、滤网等阻挡件或弯曲变向管道时，由于向前运动的惯性而与之发生碰撞，最终与烟气脱离而被拦截。重力分离是由于油烟与空气密度不同，油烟大颗粒物因重力作用而被沉降分离，如重力沉降器的利用。离心净化则是利用强烈旋转的油烟气流产生的离心力作用而实现将油烟颗粒分离的目的。

利用机械过滤、材料吸附属于干式净化。其中机械过滤是利用过滤器中的过滤网将油烟颗粒物拦截，虽能有效去除油烟颗粒物，但易堵塞且对油烟 VOCs 的去除效果有限。吸附法则是利用比表面积大和孔隙结构丰富的介质材料将油烟中有害污染物及气味予以吸附，从而达到净化效果，常见的吸附材料有活性炭、陶瓷纤维、沸石等，其中活性炭用途广泛，是目前较理想且常用的吸附介质。当然，由于吸附在吸附材料表面的油烟逐渐增厚而致孔隙堵塞，因此其吸附能力会随着使用而逐渐降低并趋于饱和，属于需定期更换的耗材。洗涤法则属于湿式净化，是将油烟通过管道通入水或化学溶液等净化液中使之与净化液充分接触，利用净化液对油烟的吸收作用降低油烟污染物浓度，或采用喷淋或其他方法使净化液雾化，雾化的净化液与油烟颗粒接触，颗粒因重量增大而沉降。洗涤法能有效除去油烟中液固态粒子，并能吸收部分 VOCs，但其能耗大，且需处理洗涤废液以减少二次污染。静电沉积法是将油烟通过高压电场，使油烟粒子与高压电场阴极发射的电子碰撞而带电，在电场力的牵引作用下沉积到阳极挡板被收集，从而达到去除气流中油烟颗粒污染物的目的。静电沉积法处理油烟量大、去除率高，技术较为成熟，可在高温或强腐蚀性气体环境下操作，但设备成本与能耗高，集尘板清理难度大，只能去除油烟颗粒而对油烟 VOCs 的净化效果较差。

(2) 新型技术。除了传统技术，催化燃烧法、等离子技术和生物降解法等新型技术在油烟的净化中也扮演着重要角色。与传统技术相比，新型技术具有较高的净化效果和优势，其原理是将油烟污染物予以降解或再利用以减少污染。催化燃烧法是在较低的温度下通过催化剂作用使油烟污染物与氧气充分发生反应，转化为无害或低毒性的物质，净化率虽然高，但能耗较大，且因油烟湿度和油脂高、含非可燃颗粒物，故只适合对低浓度油烟的净化。等离子技术作为一种新兴的油烟净化处理技术，具有高效、环保等特点，它是利用脉冲高压高频电源产生高能电子与气体分子碰撞，激发形成大量具有强氧化性的活性粒子并与油脂分子、有机物等发生电离、解离、氧化等一系列物理化学反应，最终转化为 CO₂、H₂O 等物质，效率虽高，但能耗和运行成本高，对安全要求也高。生物降解法是将油烟作为微生物生长繁殖的碳源，通过微生物将油烟不断分解为营养物质供其利用并合成代谢产物的过程。生物降解法最重要的一步是通过驯化培养获得具有降解油烟特性的嗜油类微生物菌群并扩大培养，再将油烟废气通入生物池或生物膜供嗜油类微生物菌群利用，其对油烟降解率高且绿色环保，二次污染少，

但由于微生物菌群对环境要求高，培养和驯化周期长，需定期维护，因而稳定性不高、运行成本高。

(3) 净化技术的方向。不管是采用机械分离、静电沉积、洗涤法、吸附和过滤等传统方法，还是利用生物降解、催化燃烧和等离子体技术等新型技术净化油烟，净化率、技术可行性和成本都是需考虑的重要因素。吸附和过滤材料因具有较高的吸附效率、较低的能耗等优点，是目前研究的一个重要方向。例如，Zhang 等^[5]研发的重结晶法掺铒 MEL 型沸石材料具有吸附与富集油烟 VOCs 的巨大潜力。纳米纤维过滤材料虽具有可使空气阻力低、净化效率高的均匀孔隙结构和高透气性，但由于具有黏性的油烟气溶胶易堵塞和污染材料的孔隙和通道，导致透气性和过滤效率降低，因此材料结构也能影响吸附油烟的效果。例如，通过一步共静电纺丝方法制备的仿生藤状结构 PET/CA 纳米纤维膜具有高过滤性能、高透气性和强阻燃性，可高效捕集烹饪油烟，并缓解过滤器的结垢堵塞问题^[6]，这与用 PET/CA 根须状蓬松纳米纤维复合膜净化油烟的效果类似^[7]。

由于各种净化技术或多或少均有其局限性，无法同时兼顾对油烟颗粒物和 VOCs 的处理，对油烟的去除率和效果都有差异。因此，提高整体净化效率并适应更加复杂多变的油烟污染状况，保障油烟净化设备在各种工况下能保持高效运行显得尤为重要，将两种或多种油烟净化方法联合则是实现这个目标的一大途径。联合技术是基于将油烟颗粒物与 VOCs 先后处理的思路，如静电-湿式、静电-催化燃烧等联用技术就结合了静电除尘与湿式洗涤、催化燃烧的优点，油烟颗粒物先被静电除尘器高效捕集，剩余的 VOCs 随后被洗涤吸收或在催化床层上进行无火焰燃烧，进而将污染物彻底分解。过滤-等离子联用则是用过滤材料将大部分颗粒物拦截，而后等离子区域进一步氧化降解剩余的油烟 VOCs。这些联合技术旨在充分发挥各自优势，降低耗能，提升净化系统整体的耐久性与稳定性。

4. 存在问题

目前，各类油烟净化处理技术已广泛应用于餐饮行业。然而，现有技术在处理效果、成本效益、可持续性和适用性等方面仍存在一些问题和局限性。物理法简单但去除率相对较低，化学法高效但产生的废物不易处理，生物法相比前两种方法更环保，但处理过程较复杂。部分技术在使用中还会产生较多的废物，从而增加处理经费。此外，一些油烟净化设备体积大、维护复杂且不便监管，需投入大量资金购买设备并聘请专业人员维护使得运行成本偏高，这些缺点制约着餐饮企业，尤其是小规模餐饮店的经营与发展。为此，

应结合经营状况、烹饪方式、灶头数等实际情况合理选择油烟净化设备。

5. 结语

未来人们对油烟污染问题的关注度将会更高，油烟净化处理技术也将朝着高效节能、绿色环保、智能化的方向发展，因此可从以下几方面发力：一是政策层面强化标准制定与执行，加强引导、支持和激励对油烟净化技术的研发，推动油烟污染防治技术创新和产业化进程。二是加强对餐饮油烟的监管，结合物联网技术实现远程监控和智能运维，推动餐饮业向更加环保和可持续的方向发展。三是紧盯智能化、高效节能、绿色环保方向，注重对油烟废物的循环利用，探索绿色环保的多级联用技术、新型高效的吸附与催化新材料，设计更加节能高效的低成本复合型净化设备，提高净化效率与经济效益。

【参考文献】

- [1] ZHANG D C, LIU J J, JIA L Z, et al. Speciation of VOCs in the cooking fumes from five edible oils and their corresponding health risk assessments [J]. Atmospheric Environment, 2019, 211: 6–17.
- [2] QIAN B, HU Y H, XU M G, et al. Online exploring the gaseous oil fumes from oleic acid thermal oxidation by synchrotron radiation photoionization mass spectrometry [J]. Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 2023, 34(1): 2680–2690.
- [3] LUO S F, YE Z, LV Y P, et al. Composition analysis and health risk assessment of the hazardous compounds in cooking fumes emitted from heated soybean oils with different refining levels [J]. Environmental Pollution, 2024, 343: 123215.
- [4] LI S D, WANG L, GUAN S Y, et al. In vitro and in vivo low-dose exposure of simulated cooking oil fumes to assess adverse biological effects [J]. Scientific Reports, 2022, 12: 15691.
- [5] ZHANG Y Y, YU Q J, YUAN Y T, et al. Adsorption behavior of Mo-MEL zeolites for reducing VOCs from cooking oil fumes [J]. Separation and Purification Technology, 2023, 322: 124059.
- [6] ZHOU W T, WU T, LI Y, et al. A bioinspired vine-like hierarchically structured PET/CA composite nanofibrous membrane with superhydrophobic and superoleophilic surface for high-efficiency cooking fumes capture [J]. Separation and Purification Technology, 2024, 334: 125517.
- [7] 吴婷, 周伟涛, 李勇, 等. PET/CA根须状蓬松纳米纤维复合膜的制备及其烹饪油烟过滤性能 [J]. 精细化工, 2022, 39(9): 1788–1793.

【作者简介】

胡伟 (1988-)，男，汉族，四川宜宾人，硕士，工程师，研究方向：污染控制与资源化。

【通信作者】

莫凤 (1988-)，女，汉族，四川宜宾人，本科，工程师，研究方向：污染控制与资源化。