

餐饮油烟污染及其净化技术研究进展

冯铁成, 易红宏*, 唐晓龙, 王亚恩, 黄永海, 马跃强, 杨茜, 崔晓旭

(北京科技大学能源与环境工程学院, 工业典型污染物资源化处理北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 介绍了餐饮油烟的组成及危害, 讨论了国内外研究开发的各类餐饮油烟净化技术, 并分析比较了其优缺点, 最后对该领域的研究方向做出了展望。

关键词: 催化燃烧; 餐饮油烟; 净化技术

中图分类号: X51

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)03-0020-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.03.005

Research progress of the pollution from cooking oil fume and its purification technology

FENG Tie-cheng, YI Hong-hong*, TANG Xiao-long, WANG Ya-en, HUANG Yong-hai, MA Yue-qiang, YANG Xi, CUI Xiao-xu

(School of Energy and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing Key Laboratory of Resource-oriented Treatment of Industrial Pollutants, Beijing 100083, China)

Abstract: The components and risks of the pollution from cooking fume are introduced. The research development of all kinds of purification technologies for cooking oil fumes at home and abroad is discussed. The advantages and disadvantages of these methods are also summarized and compared. Finally, the research directions in this filed is prospected.

Key words: catalytic oxidation; cooking oil fumes; purification technology

餐饮油烟(cooking oil fumes, COFs)指烹调过程中食用油由于发生化学反应而产生的油烟雾, 包含很多种有毒化学成分, 不仅会危害烹调者的健康, 还会对周围环境造成污染^[1]。大量未经处理的餐饮油烟直接排放到室外, 在大气中不断地积累, 成为引起城市大气雾霾的重要污染源之一^[2]。夏芳在《雾霾杀手大调查餐饮业油烟占 PM_{2.5} 比重达 11%》的报道中, 以北京为例, 指明了餐饮业油烟占 PM_{2.5} 的比重可达 11%, 甚至有人认为餐饮油烟是继工业排放、机动车尾气排放以后空气污染的又一“元凶”^[3]。因此, 餐饮油烟净化技术的研究对保障人类健康和保护大气环境都具有非常重要的意义。

1 餐饮油烟的形成、成分及危害

1.1 餐饮油烟的形成

食用油在烹调温度到达 170℃ 时开始分解, 开始形成小油滴, 直径在 10⁻³ cm 以上; 烹调温度到达 270℃ 以上时开始气化, 形成微油滴, 直径为 10⁻⁷ ~ 10⁻³ cm。食品加入到油中以后, 食品中的水分最先膨胀形成雾, 并与油烟形成的油雾以及燃料热分解形成的烟尘混合在一起, 构成了肉眼可见的油烟雾。因此一般来说, 所指的油烟主要是由直径为 10⁻³ cm 以上的微小油滴组成的^[4]。

1.2 餐饮油烟的主要成分

根据餐饮油烟的产生过程可以看出, 油烟是一种成分非常复杂的由气、固、液三相混合而成的气溶胶, 并且会随着食品种类和烹调条件的变化而改变^[5]。高温条件下, 食用油和食品中的脂质会进行热氧化分解, 反应过程中产生的中间或终产物之间也会因相互作用而发生二次反应^[6]。刘中文等^[7]对烹调过程中产生的油烟的成分进行了 GC-MS 分析, 研究表明, 烯烃和烷烃占主要部分, 醛类、有机酸和多环芳烃占有较高比例。Chung 等^[8]通过加热食用油, 检测出包括 42 种烃、22 种醛、11 种脂肪酸、8 种酮、8 种醇、4 种呋喃、2 种酯和 2 种内酯的挥发性物质。厉曙光等^[9]对餐厅吸油烟机中的凝结物进行了 GC-MS 分析, 研究发现, 共有 74 种化合物, 除去 15 种同分异构体, 剩下的 59 种有机化合物可分为烃类、醇类、醛类、酸类、多醇类等 8 类化合物。由此可见, 餐饮油烟成分的复杂性为其净化处理技术的研究增加了难度。

1.3 餐饮油烟的危害

餐饮油烟中含有大量的有毒有害物质和部分的致癌物质, 对人体健康的危害是日积月累的。长期暴露在餐饮油烟浓度较高的环境下, 不仅会给呼吸系统带来严重的负担, 甚至可能会引起基因突变、

收稿日期: 2016-07-06

作者简介: 冯铁成(1993-), 男, 硕士生; 易红宏(1976-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事环境催化材料、大气污染控制等研究, 通讯联系人, 010-62332747, yhhhtxl@163.com。

DNA 损伤、染色体损伤等现象,而且可使免疫功能降低,同时餐饮油烟也是引发肿瘤的可疑因素。Yin 等^[10]的研究结果表明,餐饮油烟中含有的一些有害物质对染色体有损伤现象,是引发肺癌的潜在因素。周美龄^[11]的研究结果表明,餐饮油烟中含有的大量脂溶性化合物会经呼吸道进入人体,在此过程中可能会产生肝毒性物质导致肝细胞损伤并影响能量代谢机制。张腾等^[12]的研究结果表明,各餐饮源油烟 PM_{2.5} 值比大气背景值高出数十倍,其中烧烤的油烟 PM_{2.5} 值更是可达 5 659 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。不仅如此,餐饮油烟排放到室外后,会形成更有害、更复杂的光化学烟雾^[13],这些烟雾有的被人们呼吸所吸收,有的则黏附在城市建筑的表面,其中大部分继续悬浮在大气中,降低了大气环境质量,是又一环境公害。

2 餐饮油烟净化技术

国外饮食中煎炸处理较少,所以厨房排放的油烟浓度相对较低。在大型饭店,主要采用热氧化焚烧工艺,即采用热氧化反应,将油烟转化成 CO_2 和 H_2O ; 中小型饭店主要采用催化剂净化法,即通过催化氧化燃烧将油滴转化为 CO_2 和 H_2O ,从而达到消除污染和异味的目的^[14]。

目前国内家庭厨房广泛使用的抽油烟机,其工作原理为先采用机械过滤法除去大颗粒的水滴、油滴,再通过叶轮的旋转,一方面为离心力产生惯性分离,另一方面则通过过滤作用对油烟进行净化^[15]。

但是这种方式的净化作用有限,在抽油烟机排放口仍然可以看到明显的烟雾,污染了大气环境^[16]。

现如今餐饮油烟净化的主要技术有如下几种:机械式净化、静电式净化、吸附式净化、过滤式净化、洗涤式净化、生物降解法、复合式净化法和催化燃烧法。

2.1 机械式净化

机械式净化法主要有惯性分离、旋风分离和过滤等。其主要优点是设备简单、运行费用低、压降小,但对于小尺寸的颗粒物去除率很低^[17],一般适用于预处理的情况下进行清洗,或与其他方法组合使用的复合处理。该方法的基本工艺流程见图 1。

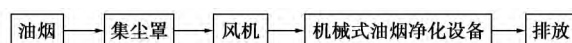


图 1 机械式净化法工艺流程图

2.2 静电式净化

静电净化设备是利用高压电场作用下电子和烟尘粒子碰撞,使烟尘颗粒带电,从而在电场力作用下使带电粒子在除尘区域被捕获,以达到净化分离的目的。其特点是设备占地面积小且净化效率高,但是由于日常维护清洗时会产生二次污染,应用受到了一定的限制。该方法的基本工艺流程见图 2。



图 2 静电式净化法工艺流程图

(上接第 19 页)

- [19] Fyfe W S, Kronberg B I, Leonardos O H. Phosphate release from synthetic glasses and inhibition of phosphate fixation on ferric hydroxide [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1978, 24 (4): 455 - 464.
- [20] 贺祯, 殷海荣, 王薇, 等. pH 值对缓释性钾肥溶出性能的影响研究 [J]. *陕西科技大学学报* 2010 28(4): 1 - 4.
- [21] Trinchera A, Allegra M, Rea E *et al.* Organo-mineral fertilisers from glass-matrix and organic biomasses: A new way to release nutrients. A novel approach to fertilisation based on plant demand [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2011 91(13): 2386 - 2393.
- [22] Wacławski I, Szumera M, Stoch P *et al.* Structural role of Fe in the soil active glasses [J]. *Spectrochimica Acta Part A*, 2011, 79: 728 - 732.
- [23] Sułowska J, Wacławski I, Olejniczak Z. Structural studies of copper-containing multicomponent glasses from the $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O-CaO-MgO}$ system [J]. *Vibrational Spectroscopy* 2013 65: 44 - 49.
- [24] Wacławski I, Szumera M. Review: Reactivity of silicate-phosphate glasses in soil environment [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2009 468: 246 - 253.

- [25] 许秀成, 侯翠红, 王好斌, 等. 低化学稳定性复杂组分含磷铝硅酸盐玻璃体结构—含磷铝硅酸盐玻璃体结构模型与肥料开发 [J]. *中国科学: 化学* 2010 40(7): 922 - 926.
- [26] Azooz M A, ElBatal H A, ElBadry Ki M *et al.* Preparation and application of some phosphoborosilicate glasses containing micronutrients as plant fertilizers [J]. *European Journal of Glass Science and Technology Part A* 2006 47(6): 164 - 166.
- [27] 倪晋山, 吴少伯. 玻璃肥料肥效试验(报告二) [J]. *植物生理学通讯* 1959 (5): 25 - 31.
- [28] 尹思洁, 马玉珠. 玻璃肥料栽培平菇的效应 [J]. *辽宁农业科学* 1994 (1): 52 - 53.
- [29] 邢世增. 含硼长效微肥对甜菜有增产效果 [J]. *中国糖料* 1991, (3): 57.
- [30] Torrisi B, Trinchera A, Rea E *et al.* Effects of organo-mineral glass-matrix based fertilizers on citrus Fe chlorosis [J]. *European Journal of Agronomy* 2013 44: 32 - 37.
- [31] Lee H K, Hwang S J, Kang W H. Preparation of $\text{K}_2\text{O-CaO-P}_2\text{O}_5$ eco-glass fertilizers and effect in crop [J]. *Materials Science Forum* 2005 486/487: 407 - 410.
- [32] Shaviv A. Advances in controlled release of fertilizers [J]. *Advances in Agronomy* 2000 71: 1 - 49. ■

唐凌江^[18]应用高压静电原理设计了新型油烟分离装置,装置由绝缘外壳、第一和第二静电装置 3 部分组成,其中第一静电装置设置在第二静电装置的下方。其特点就是装配方便,带电部件全部封闭在绝缘壳体内,绝缘性能良好。将此装置应用于抽油烟机中,可以方便地拆卸清洁高压静电油烟分离装置,大大地拓宽了其应用范围。

2.3 吸附式净化

吸附式净化法主要是利用多孔材料的吸附特性,吸附脱除大部分的颗粒物和 VOC_s。其主要优点是对气溶胶的去除率较高,且对气味的净化效果比较明显;但吸附材料的吸附能力会伴随着烟雾的附着而逐渐降低,所以吸附材料必须经常性地替换,因此维护成本较高,而且替换下来的吸附材料还会因细菌、霉菌的繁殖而造成二次污染^[19]。因此这种方法并没有得到广泛推广使用。

2.4 过滤式净化

过滤式净化的主要原理是油烟颗粒经过亲油型高分子(纤维、滤布等)滤料制成的滤层,污染物被截留下来,从而达到过滤的目的。其优点是净化效率高,可达 90% 以上,运行过程稳定,但存在压降大、成本高和噪音污染等缺点^[20],这些都限制了过滤式净化的推广使用。

2.5 洗涤式净化

洗涤式净化的原理是通过特定的装置将洗涤液(水、化学药剂)变成液雾或液膜,使得污染物实现从气相到液相的转移,从而达到洗涤吸收有害气体和颗粒物的目的。液体洗涤式净化可以实现有害气体的吸收、油烟中颗粒污染物的去除,但洗涤废液必须经处理后才排入下水道,否则容易产生二次污染^[20]。因此,今后的研究方向应集中在洗涤液改性和加工工艺的优化,以降低污染。

2.6 生物降解法

生物降解法是利用特殊处理过后的微生物对油烟气进行净化处理。首先对污泥进行驯化培养,当它有一定的降解能力时,便可在填料塔中挂膜、吸收和降解废气。生物降解法是一种低成本的净化方法,但它受温度的影响,当油烟温度升高时,降解效果会降低^[21]。

2.7 复合式净化法

由于餐饮油烟的成分非常复杂,各种净化方式的优缺点差别较大,所以净化设备多采用多种净化技术相结合的方式,即复合式净化法。常见的有惯性分离跟静电方法相结合,由于其高效性符合国内

的可持续发展理念,得到了较为广泛的应用。

米俊锋等^[22]研制了新型复合油烟处理装置,原理是利用离心技术、过滤技术、光解技术和电晕放电技术相结合。研究表明,随着工作时间的不断增加,净化效率最高可稳定保持在 95% 左右。

除此之外,利用惯性碰撞、过滤分离、拦截效应、离心分离、扩散效应、液体洗涤等机理集一体的超重力法,可以实现油烟中的气相、液相和固相的分离,从而可以高效、经济、环保地净化油烟。但由于此方法仍处于小气量试验阶段,所以并没有得到广泛的使用^[23]。

2.8 催化燃烧法

催化燃烧法是使有机物在催化剂的作用下进行无焰燃烧,生成二氧化碳和水的过程。由于整个过程可以在较低温度下进行,所以大大降低了能耗。与普通的热氧化法相比,催化燃烧法的污染物去除效率更高,避免了二次污染物的生成,是一种环境友好的催化净化技术^[24]。

催化剂在催化燃烧过程中起到非常重要的作用,可以有效地降低反应的活化能,从而使反应速率得到提升,并降低了反应温度,催化剂性能的好坏决定了催化燃烧反应是否可以高效地进行。贵金属催化剂以其活性高、使用寿命长、耐热性能好等优点得到了大量学者的一致认可,但贵金属价格相当昂贵,且难以回收循环利用,使得贵金属催化剂的成本大大提高。

研究表明,稀土元素氧化物具有较好的助催化性能,将铈、镧等稀土元素与过渡金属和铈、钨、铂等贵金属组合使用,能有效地提高贵金属催化剂的活性,同时,还能够使贵金属的利用率得到提升,降低了催化剂的成本。

洪伟良等^[25]在 700℃ 的温度下,焙烧制出了 La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃ 负载型纳米催化剂,并通过 X 射线衍射和扫描电镜等方法对其做了表征。其研究结果显示,当活性组分钙钛矿 La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃ 晶粒的负载量为 20% 时,催化剂的低温燃烧催化活性较高,起燃温度 T_{50} 为 168℃,油烟净化效率可达 90%; T_{90} 为 250℃ 时,油烟的净化效率高达 97%。

Ji 等^[26]在 650℃ 下焙烧制成了以 Al₂O₃ 为载体负载 MnO₂/CuO 的球形催化剂,在温度为 200 ~ 600℃ 时,可以将油烟中的有机大分子氧化为 CO₂ 和 H₂O,在 200℃ 的低温下,其催化净化效率可达 96%。

柯琪等^[27]制备了 CuO/ γ -Al₂O₃ 负载型催化

剂,通过 X 射线衍射和扫描电镜等方法对其做了表征,并研究了不同 CuO 负载量对净化效果的影响,其研究表明,质量分数 20% 的 CuO 负载量、5 L/min 的烟气流量、350℃ 的反应温度为最佳实验条件,此时催化剂的净化效率最高,可达 88.6%。

刘文举等^[28]首先对微波场下多种金属氧化物升温性能进行了试验,然后制备了非贵金属负载型催化剂,并通过 X 射线衍射和 H₂ 程序升温还原等方法对其做了表征。研究发现,涂覆 Al₂O₃ 的蜂窝堇青石在负载 V₂O₅ 后,具有稳定的细波升温性和催化活性;添加 La₂O₃ 后,催化剂的催化活性有了明显的改善;微波条件下,反应温度为 150℃ 时,加载 1% La₂O₃ 的负载型 V₂O₅ 催化剂催化净化效率可达 88% 以上。

3 结论与展望

餐饮油烟是大气环境中 PM 的重要来源之一,其排放具有量大、面广、高度分散的特点,不仅增加了雾霾的产生,油烟中的有毒有害物质还会危害人体的健康,所以控制其排放具有重要的意义。在所有的净化技术中,每一种技术都有自身的优缺点,而催化燃烧法具有更大的研究价值,催化燃烧法不仅具有较高的净化效率,还可以对污染物进行无害化处理,解决了其他净化方式会产生二次污染的问题,符合当今中国可持续发展的政策。同时,研究更加廉价易得的催化剂、降低催化燃烧体系的温度更是催化燃烧法取得质的突破的关键。

参考文献

- [1] Abdullahi K L, Delgado-Saborit J M, Harrison R M. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 71(2): 260–294.
- [2] 朱春, 李旻雯, 缪盈盈, 等. 城市烹饪油烟颗粒物排放特性分析[J]. *绿色建筑*, 2014, 4(5): 57–60.
- [3] 黄丹雯. 烹饪油烟影响 PM_{2.5} [J]. *环境*, 2013, 4(11): 69–71.
- [4] Buonanno G, Morawska L, Stabile L. Particle emission factors during cooking activities [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(20): 3235–3242.
- [5] Allan J D, Williams P I, Morgan W T, et al. Contributions from transport, solid fuel burning and cooking to primary organic aerosols in two UK cities [J]. *Atmospheric Chemistry & Physics & Discussions*, 2010, 10(2): 749–767.
- [6] Zhu L, Wang J. Sources and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons pollution in kitchen air, China [J]. *Chemosphere*, 2003, 50(5): 611–618.
- [7] 刘中文, 孙咏梅. 烹调油烟雾中有机成分的分析 [J]. *中国公共卫生*, 2002, 18(9): 1046–1048.
- [8] Chung T Y, Eiserich J P, Shibamoto T. Volatile compounds identified in headspace samples of peanut oil heated under temperatures ranging from 50 to 200 degrees C [J]. *Applied Microbiology*, 1993, 16(10): 1475–1477.
- [9] 厉曙光, 潘定华, 汪国雄. 某些饮食业的食用油及其加热产物中多环芳烃的分析 [J]. *环境与健康杂志*, 1992, 4(5): 217–219.
- [10] Yin Z, Li H, Cui Z, et al. Polymorphisms in pre-miRNA genes and cooking oil fume exposure as well as their interaction on the risk of lung cancer in a Chinese nonsmoking female population [J]. *Oncotargets & Therapy*, 2016, 9: 395–401.
- [11] 周美龄. COFs 对肝细胞线粒体损伤及能量代谢障碍机制的研究 [D]. 福州: 福建医科大学, 2015.
- [12] 张腾, 彭林, 李颖慧, 等. 餐饮源油烟中 PM_{2.5} 的化学组分特征 [J]. *环境科学研究*, 2016, 29(2): 183–191.
- [13] To W M, Yeung L L. Effect of fuels on cooking fume emissions [J]. *Indoor & Built Environment*, 2011, 20(5): 555–563.
- [14] 张秀东, 刘有智, 樊光友, 等. 餐饮业油烟净化技术发展及研究现状 [J]. *工业安全与环保*, 2010, 36(4): 32–33.
- [15] 姚鑫, 陈猛, 范泽云, 等. 烹饪油烟污染及其控制技术研究进展 [J]. *化学工业与工程*, 2015, 32(3): 53–58.
- [16] Medonald J D, Zielinska B, Fujita E M, et al. Emissions from char-broiling and grilling of chicken and beef [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2003, 53(2): 185–194.
- [17] 夏正兵, 袁惠新. 旋流管式厨房油烟净化技术的研究 [J]. *化工装备技术*, 2008, 29(2): 13–16.
- [18] 唐凌江. 一种高压静电油烟分离装置: CN, 204122234U [P]. 2015–01–28.
- [19] 郑盼, 张震斌, 纪洪超, 等. 油烟气净化技术及发展趋势分析 [J]. *绿色科技*, 2015, 4(8): 247–248.
- [20] 陈喜山, 梁晓春, 李瑛, 等. 过滤-洗涤复合净化饮食业油烟的试验研究 [J]. *环境科学与技术*, 2006, 29(11): 71–73.
- [21] 梁斌, 王寅儿, 金嘉佳, 等. 餐饮油烟废气的危害及其净化技术综述 [J]. *安徽化工*, 2011, 37(3): 59–61.
- [22] 米俊锋, 裴登明, 杜胜男, 等. 复合式油烟净化器除油烟、除味实验 [J]. *化工进展*, 2015, 34(12): 4403–4406.
- [23] 张秀东. 超重力法净化餐饮油烟技术研究 [D]. 太原: 中北大学, 2009.
- [24] 吕丽. 厨房油烟净化催化剂的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [25] 洪伟良, 邱晋卿, 刘剑洪, 等. 负载型 La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃ 催化剂对油烟燃烧的催化作用 [J]. *环境化学*, 2004, 23(3): 247–251.
- [26] Ji Y, Jia J, Wang Y, et al. Treatment of cooking oil fume by low temperature catalysis [J]. *Applied Catalysis B Environmental*, 2005, 58(1/2): 123–131.
- [27] 柯琪, 李彩亭, 曾光明, 等. CuO/γ-Al₂O₃ 负载型催化剂催化燃烧处理油烟 [J]. *环境污染与防治*, 2009, 31(4): 18–20.
- [28] 刘文举, 姚俊婷, 党乐平, 等. 微波场下非贵金属氧化物的升温行为和烹饪油烟的催化净化性能研究 [J]. *分子催化*, 2006, 20(3): 221–225. ■