

静电油烟净化器对餐饮油烟中醛酮类 VOCs 的去除

穆桂珍^{1,2}, 卢清², 钟志强², 苏燕花², 陆海涛², 梁小明², 蔡立梅¹, 何秋生³, 陈来国^{2*}, 刘明^{2**} (1.长江大学资源与环境学院,湖北 武汉 430100; 2.生态环境部华南环境科学研究所国家环境保护城市生态环境模拟重点实验室,广东 广州 510655; 3.太原科技大学安全与环境学院,山西 太原 030024)

摘要: 利用 2,4-二硝基苯肼(DNPH)硅胶管采集了 9 家餐饮企业静电油烟净化装置处理前后的醛酮类 VOCs 样品,并采用高效液相色谱(HPLC)进行分析.结果表明,9 家餐饮企业处理前后的油烟中醛酮类 VOCs 浓度范围分别为 419.5~3372,415.8~2934 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,经过基准风量折算后的浓度分别为 783.4~3761 和 541.7~2997 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,VOCs 排放浓度与烹饪方式、实际使用灶头数和排风量有关.从排放的醛酮类 VOCs 的种类来看,C1~C3 化合物的浓度占检测到的总羰基的 66%以上,且甲醛占比最高,其次是乙醛;C4~C8 化合物的含量相对较低.静电式油烟净化器对醛酮类 VOCs 的平均净化效率为 31.82%,最高可达 69.14%,其中对甲醛的净化效果最佳,平均为 35.21%,最高达 80.10%.复合式静电油烟净化器的净化效果要稍好于单一静电油烟净化器.

关键词: 静电油烟净化器; 去除效率; 餐饮油烟; 醛酮类 VOCs

中图分类号: X701 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2020)11-4697-06

Removal of electrostatic fume purifiers on aldehydes and ketones compounds from cooking oil fume. MU Gui-zhen^{1,2}, LU Qing², ZHONG Zhi-qiang², SU Yan-hua², LU Hai-tao², LIANG Xiao-ming², CAI Li-mei¹, HE Qiu-sheng³, CHEN Lai-guo^{2*}, LIU Ming^{2**} (1.College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan 430100, China; 2.State Environmental Protection Key Laboratory of Urban Ecological Environment Simulation and Protection, South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Guangzhou 510655, China; 3.School of Environment and Safety, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China). *China Environmental Science*, 2020,40(11): 4697~4702

Abstract: Aldehydes and ketones compounds before and after electrostatic fume purifiers were sampled using 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) silica tube at nine restaurants, and then high performance liquid chromatography (HPLC) was used for quantitative measurement. Total concentrations of aldehydes and ketones compounds in the exhaust from nine restaurants ranged from 419.5 to 3372 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ before the purifiers, while they varied from 415.8 to 2934 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ after the purifiers. the concentrations of reference volume condition corresponded to 783.4~3761 and 541.7~2997 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. It suggested that their concentrations were related to different cooking processes, the number of working stoves and the exhaust air volume. The concentration of C1~C3 compounds accounted for more than 66% of the total detected carbonyl groups. formaldehyde was the highest detected compound, followed by acetaldehyde. The content of C4~C8 compounds was relatively low. The average purification efficiency of electrostatic fume purifier on aldehydes and ketones compounds was 31.82%, with the highest efficiency reached to 69.14%. Formaldehyde has the highest purification efficiency with an average of 35.21% and a maximum of 80.10%. The composite electrostatic fume purifier can achieve a better purification effect than the normal electrostatic fume purifier.

Key words: electrostatic fume purifiers; removal efficiency; cooking oil fume; aldehydes and ketones compounds

醛酮类化合物是挥发性有机物(VOCs)中具有极高化学活性的一类物质^[1-2],部分醛酮类化合物(如甲醛、丁烯醛)具有较高的 O₃ 生成潜势,在太阳辐射下,更容易参与光化学反应生成 O₃^[3-4].此外,长期暴露在高浓度醛酮类 VOCs 的环境下会给呼吸系统带来严重的负担,甚至引起基因突变^[5].

2001 年,我国颁布《饮食业油烟排放标准》(GB18483-2001)^[6],要求餐饮企业安装油烟净化设施,其主要目的在于对油烟(一种固态与液态的混合物)的处理.静电油烟净化器由于价格便宜、油烟去除效率高、易安装和维护成为餐饮企业油烟净化的

主流设备,我国大中型餐厅静电油烟净化器的安装比例超过 90%.前期我国环保工作重点在于颗粒物的防治,对 VOCs 监管比较薄弱,随着我国 O₃ 污染问题愈发突出,为满足精细化管理需要,餐饮 VOCs 的排放已成为目前关注和整治的重点^[7-8],生态环境部也已开始修订新的餐饮油烟排放标准.油烟中的

收稿日期: 2020-03-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0212606);国家自然科学基金资助项目(41773130,41573123);中央公益性科研院所基本科研业务专项(PM-zx703-201904-081)

* 责任作者, 研究员, chenlaiguo@scies.org; ** 高级工程师, liuming@scies.org

醛酮类物质主要来自烹饪过程中的食用油和食材在高温条件下发生的热解和水解反应^[9].相关研究^[10-13]均在油烟中检测出醛酮类物质,且有研究表明醛酮类 VOCs,尤其是 C1~C3 化合物是有机化合物的主要组成成分,且碳元素不同、化合物结构不同浓度亦不同.

目前关于油烟净化器的研究多见于油烟处理技术分析^[5]、油烟颗粒物净化率^[14]等,对醛酮类 VOCs 的净化效果研究相对较少.另外主流的高压静电以及复合静电油烟净化器对 VOCs 的净化效率如何、VOCs 的化学成分发生了怎样的变化等,目前还鲜有报道.研究静电油烟净化器对醛酮类 VOCs 的处理效果,可以为我国餐饮 VOCs 排放标准的修订以及 VOCs 治理提供技术参考,对餐饮油烟 VOCs 排放系数及排放量的修正提供数据支持.

1 材料与方法

1.1 样品的采集

选取华南地区的 9 家餐饮企业(表 1)进行采样,企业规模覆盖大、中和小 3 种类型,菜系以桂菜为主,兼顾粤菜、湘菜和贵州菜等南方菜系.监测餐饮企业均采用静电油烟净化设备,包括高压静电装置、复合静电处理装置(主要为机械+静电和水喷淋+静电).

表 1 采样餐饮企业信息
Table 1 Information of the sampling Restaurants

样品 编号	油烟净化器类型	主要菜系及特色	燃料类型	灶台数
1	高压静电式	桂菜,以炒菜为主	环保油	8
2	高压静电式	桂菜,以炒菜为主	环保油	4
3	高压静电式	粤、桂菜为主	环保油	4
4	机械+静电	桂菜,以鱼为主要食材和 特色,兼具炒、蒸	环保油	2
5	高压静电式	湘菜,主要以炒为主	环保油	4
6	高压静电式	贵州菜,酸汤锅为主,兼 具炒菜	环保油	2
7	水喷淋+静电	粤菜,少油、蒸、炒为主	天然气	14
8	高压静电式	桂菜,家常菜, 以炒菜为主	环保油	2
9	高压静电式	桂菜, 酿菜、蒸菜为特色	环保油	3

注:环保油为以甲醇、乙醇为主的醇基燃料^[15].

根据餐饮企业油烟排放管道的实际情况,参照《饮食业油烟排放标准(试行)》(GB 18483-2001)^[6]采样点设置要求,分别在静电油烟净化装置前后适当

距离处布设采样点.采样点位设置在油烟管道的垂直管段处,并避开烟道弯头和断面急剧变化的部位.

参照《环境空气 醛、酮类化合物的测定 高效液相色谱法》(HJ 683-2014)^[16],利用 2,4-二硝基苯肼(DNPH)硅胶管采集醛酮类化合物.在空气采样器(2020 型,青岛崂应)提供的负压下,烟气依次通过玻璃棉(去除油烟颗粒)、KI 硅胶管(去除 O₃ 等氧化性物质)、DNPH 采样管(吸附醛酮类 VOCs),三者之间均用硅胶管连接,采样管路则全部采用特氟龙材料,采样前进行气密性检查.为减少烟气冷凝对采样效率的影响,采样过程尽量减少吸附管与采样口的管路连接距离,并用保温棉包裹管路外壁.选择餐饮企业营业高峰期(中午 11:00-13:00、晚上 18:00-20:00)进行采集,每次前后各采集 2 个样品,单个样品采样时长为 30min,采样的流量为 0.5L/min,采样时记录油烟净化前后烟气流量、烟温等信息.采样结束后 DNPH 采样管用密封帽将两端管口封闭,放于铝衬袋内避光,4℃冷藏保存.

1.2 样品的分析

采样管经过乙腈洗脱、定容、针式过滤器过滤后,收集 1mL 滤液到进样小瓶,利用高效液相色谱仪(HPLC,安捷伦 1260)测定^[16].本研究共分析 15 种醛酮类化合物,该方法检出限为 0.06~0.32μg/m³.

1.3 质量控制

每 10 个样品或每批次(少于 10 个样品/批)分析一个实验室空白样品和一个运输空白样品,DNPH 采样管空白值满足:甲醛<0.15μg/管;乙醛<0.10μg/管;丙酮<0.30μg/管;其他物质<0.10μg/管.平行样品平均相对标准偏差(RSD)为 12.5%.

1.4 基准浓度

为减少灶台数、风机风量等因素对餐饮企业排放水平的影响,以期科学客观地比较各类餐饮企业醛酮类 VOCs 的排放水平,本研究参考《饮食业油烟排放标准(试行)》(GB 18483-2001)^[6],将实测浓度折算为基准风量条件下的浓度,换算公式如下:

$$C_{基}=C_{测}\times\frac{Q_{测}}{n\times Q_{基}}$$

(1)

式中: C_基 为折算单个基准灶头排放量时的排放浓度,μg/m³; C_测 为实测排放浓度,μg/m³; Q_测 为实测排风量,m³/h; Q_基 为单个基准灶头排风量,以 2000m³/h 计; n 为监测期间投用的基准灶头数.

2 结果与讨论

2.1 静电处理装置前后醛酮类 VOCs 的排放浓度

9 家餐饮企业油烟中 15 种醛酮类 VOCs 在静电处理前后的实测总浓度范围分别为 419.5~3372 和 415.8~2934 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (表 2)。不同餐饮企业 VOCs 排放浓度具有一定的差异。一般研究认为,由于川湘菜多油且善于大火猛炒,因此醛酮类 VOCs 浓度相比粤菜、桂菜等口味相对清淡菜系的油烟排放浓度要高^[17-18]。本研究中桂菜和粤菜由于具有类似的烹饪方式,所排放的醛酮化合物浓度相差不大,分别是 840.9 和 946.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;而湘菜由于重油重辣,且在烹饪过程中擅长爆炒,其排放的醛酮化合物的总浓度为 3372 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,是广西菜和粤菜的 4 倍左右;贵州菜的烹

饪方式介于粤菜和湘菜之间,其排放浓度为 1606 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

将实测浓度折算为基准风量条件下的浓度,处理前后醛酮类 VOCs 浓度范围分别为 783.4~3761 和 541.7~2997 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,其平均值分别为 (1792 $\pm$ 1013) 和 (1202 $\pm$ 895.2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (表 2),与程婧晨等^[1]的研究大致相当。5#餐饮企业主营湘菜,经过浓度折算后其油烟 VOCs 排放浓度大幅下降,除 5#企业外其他餐饮企业排放醛酮类经过折算后 VOCs 均有所升高,尤其是 6#企业,由于实际灶头数较少而排风量较大,经过折算后的排放浓度升高至 3761 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。说明油烟 VOCs 排放浓度除了与烹饪方式有关外,餐饮企业实际使用灶头数量及其设计排风量的匹配程度对醛酮类 VOCs 排放浓度也有较大影响。

表 2 餐饮企业油烟中醛酮类 VOCs 的排放浓度

Table 2 Concentrations of aldehydes and ketones compounds in the exhaust from nine restaurants

餐饮企业序号	样品								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
设计处理风量(m^3/h)	48000	24000	12000	4000	4000	12000	48000	6000	6000
实测风量(处理前)(m^3/h)	49487	22493	9397	5239	2534	11587	50285	5906	11657
实测风量(处理后)(m^3/h)	22872	14303	7627	2733	1890	10103	31838	5906	11445
烟温(处理前)($^{\circ}\text{C}$)	39	38	60	47	61	49	59	50	44
烟温(处理后)($^{\circ}\text{C}$)	35	40	56	44	54	48	59	50	44
实际使用灶头数(个)	6	4	4	2	4	2	7	1	3
处理前浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	419.5	528.9	1593	967.5	3372	1606	946.2	1049	487.3
处理后浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	415.8	502.7	1491	957.4	2934	1401	461.2	991.6	482.0
处理前(基准)浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1623	1255	1466	1038	904.2	3761	2832	2463	783.4
处理后(基准)浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	740.9	756.0	1130	541.7	689.9	2997	874.1	2328	760.7

2.2 静电处理前后醛酮类 VOCs 的分布特征

从碳分子数来看,餐饮企业排放的醛酮类 VOCs 中低碳物质 C1~C3 化合物的浓度占检测到的总羰基的 66%以上,其中以甲醛浓度最高,占 C1~C3 化合物的 52%~90%,高碳物质 C4~C8 的含量相对较低,不足 30%。此结果与 Xiang 等^[13]、Zhang 等^[19]的结论一致。

不同菜系餐饮企业净化前后醛酮 VOCs 的相对占比如图 1 所示。净化前后甲醛含量均最高,占醛酮类 VOCs 的 40%以上,其次是乙醛、己醛和戊醛。分析原因,一是烹饪过程食物中脂肪酸分解产生低分子醛^[13]、油脂分解产生中等分子量醛类^[20];二是使用的烹饪燃料(环保油)燃烧过程中也会产生甲醛和乙醛等^[21]。贵州菜和湘菜净化前后的甲醛明显高于桂菜和粤菜,但净化前后粤菜和桂菜的乙醛含量明

显高于贵州菜和湘菜。此外,4 种菜系排放的丙酮和己醛相对占比相差较大。Xiang 等^[13]和 Ho 等^[22]的研究也表明,烹饪风格不同醛酮类 VOCs 的组成不同,但甲醛是最丰富的羰基化合物。

静电净化器处理前后的 VOCs 组成及比例分配具有统一性和差异性,其中多数企业 VOCs 组成及比例分配未发生显著变化,说明各成分去除效率相当。部分餐厅静电处理前后 VOCs 的比例分配发生较大变化,如粤菜(7#)甲醛的占比由 64%下降至 41%,乙醛占比由 5%上升至 10%。不同餐厅静电油烟净化器的处理效果的差异,可能与静电油烟净化器运行维护情况有比较大的关系。据现场了解,目前餐饮企业油烟净化设施“重安装,轻维护”的现象依然十分普遍,部分小型餐饮企业油烟净化装置缺乏专业及

时的维护,排风量与灶头数量不匹配均会导致静电 油烟净化器处理效果大打折扣。

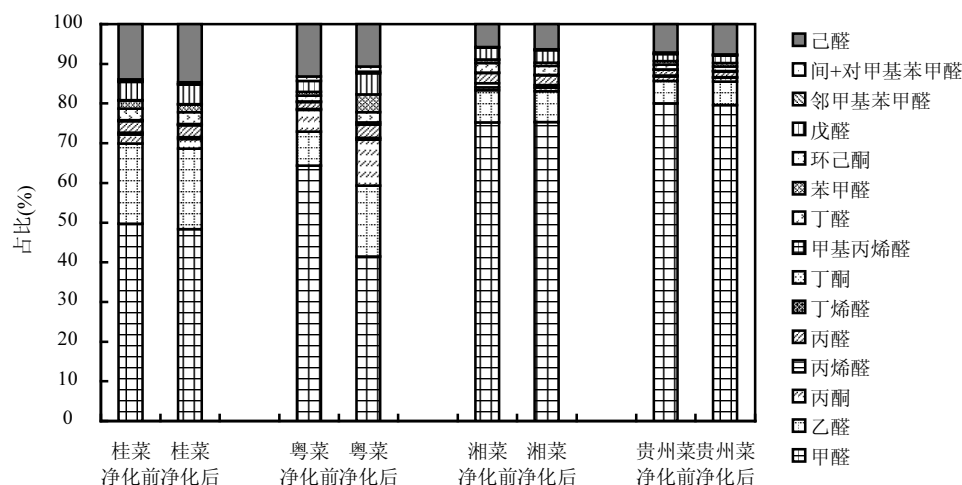


图1 餐饮企业静电处理前后油烟中醛酮类 VOCs 分布特征

Fig.1 Distribution characteristics of aldehydes and ketones compounds in the exhaust of the nine restaurants before and after electrostatic process

2.3 净化前后醛酮类 VOCs 处理效率

丁酮浓度未检出的数据占到全部数据的 75%, 故将此类数据剔除,本研究对其余 14 种醛酮类 VOCs 的净化效率数据进行比较讨论。

由表 3 可知,静电油烟净化器对醛酮类 VOCs 各物质均有不同的净化效果.其中对甲醛、甲基丙烯醛、丙烯醛和间+对甲基苯甲醛的净化效果较为明显,其平均净化率分别为 37.03%、34.15%、33.98% 和 33.87%。1#餐饮企业油烟净化器净化效率最高,达 83.77%;对丙烯醛、间+对甲基苯甲醛的平均净化率分别为 32.53%和 31.90%。对己醛、乙醛、丙醛、丁醛、戊醛、丙酮、苯甲醛的净化效果则不太明显,分别为 26.61%、26.60%、26.49%、26.36%、22.67%、22.31%、19.41%;7#企业油烟净化器对甲醛的净化率最高,为 80.10%;对甲基苯烯醛的平均净化率 32.78%。

对于同一种醛酮类 VOCs,不同餐饮企业静电油烟净化器的净化效率有差异.例如部分企业静电油烟净化器对邻甲基苯甲醛、环己酮的净化效率为 100%,可能因为静电油烟净化器能将油烟中的邻甲基苯甲醛、环己酮全部吸附或氧化成其他物质;但也存在净化后的邻甲基苯甲醛、环己酮含量明显比净化前高的情况.程婧晨等^[1]研究北京市 2 家中式快餐和学校食堂的静电油烟净化器对油烟中醛酮类 VOCs 的处理效率也发现类似的现象,并认为这与高

压静电式油烟净化器作用原理有关.油烟净化器通过高压静电的方式使油烟颗粒带上负电再被阳极板捕获从而达到去除油烟颗粒的目的,对于油烟中的 VOCs 来说,静电净化器运行时内部高压放电过程产生的高能电子可能会造成部分醛酮类化合物的化学键断裂,使得油烟中的大分子有机物分解生成小分子有机物^[23],其中很可能包含醛酮类化合物;此外在放电过程中产生的 O_3 ,也有一定概率与高分子有机物接触,发生反应从而增加或减少了餐饮油烟中某种醛酮类化合物的浓度^[1].从监测数据来看,9 家餐饮企业两类物质的净化效率出现比较大的标准偏差,说明这种净化和生成具有一定的随机性,可能还是与不同餐饮企业不同静电油烟净化器实际运行情况有关。

静电油烟净化器按技术类别可分为单一(高压)静电油烟净化器和复合静电油烟净化器(机械或水喷淋+静电油烟净化器).本研究中静电式油烟净化器对醛酮类 VOCs 的净化效率最高可达 69.14%,最低为 2.89%,平均净化效率为 31.82%;机械+静电的油烟净化设备在油烟进入静电场前通过金属滤芯,滤除油烟、油雾中油颗粒以减少了静电场的吸附,延长油烟净化器的使用期限;静电+水喷淋则通过吸收液使污染物从气相向液相转变^[24],从而达到更佳的净化效果,因此复合式静电油烟净化器比高压静电油烟净化器对醛酮类 VOCs 的净化效果更好,前

者平均净化效率为 58.48%,后者仅为 24.21%(表 4)。

表 3 餐饮企业油烟中醛酮类 VOCs 各物质净化效率(%)
Table 3 Removal efficiencies of aldehydes and ketones compounds in cooking oil fume(%)

醛酮类 VOCs	最大值	平均值	最小值	标准偏差
甲醛	80.10	35.21	10.36	23.40
乙醛	63.03	26.60	-7.89	23.20
丙酮	47.31	22.31	-8.85	17.38
丙烯醛	67.72	32.53	-8.09	25.49
丙醛	51.91	26.49	-14.56	21.05
丁烯醛	61.22	-62.10	-345.5	158.1
甲基丙烯醛	83.77	32.78	-102.5	57.55
丁醛	52.13	26.36	-26.00	24.54
苯甲醛	61.04	19.41	-32.92	29.17
环己酮	100.0	19.89	-236.4	144.5
戊醛	53.81	22.67	-6.20	21.90
邻甲基苯甲醛	100.0	-385.1	-3401	1219
间+对甲基苯甲醛	64.71	31.90	-13.53	29.19
己醛	75.03	26.61	-6.73	27.43
合计	69.14	31.82	2.90	22.43

表 4 不同静电式油烟净化器的净化效率
Table 4 Removal efficiencies of different electrostatic fume purifiers

油烟净化器类型	样品 编号	处理前 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	处理后 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	净化效率 (%)	平均净化 效率(%)
高压静电式	1	1623	740.9	54.36	24.21
	2	1255	756.0	39.74	
	3	1466	1130	22.93	
	5	904.2	689.9	23.70	
	6	3761	2997	20.30	
	8	2463	2328	5.50	
	9	783.4	760.7	2.90	
	4	1038	541.7	47.83	
	7	2832	874.1	69.14	
复合式(机械+静电) (水喷淋+静电)					58.48
静电油烟净化器				31.82	

3 结论

3.1 9家餐饮企业净化前后油烟中醛酮类 VOCs 浓度分别介于 419.5~3372 和 415.8~2934 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间,对应的基准浓度分别为 783.4~3761,541.7~2997 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,排放浓度与烹饪方式、实际使用灶头数量、排风量以及净化器处理效率有关。

3.2 餐饮油烟排放的醛酮类 VOCs 中,C1~C3 化合物的浓度占检测到的总羰基的 66%以上,其中以甲醛浓度最高,占 C1~C3 化合物的 52%~90%, C4~C8 化合物的含量相对较低,不足 30%。

3.3 从单个醛酮类物质来看,静电油烟净化器对甲醛的净化效果最佳,平均净化率为 35.21%,最高达 80.10%。静电油烟净化器对餐饮油烟醛酮类 VOCs 的整体去除效果较差,平均去除率仅为 31.82%。复合式静电油烟净化器的去除效率要稍高于单一静电油烟净化器。

参考文献:

[1] 程婧晨,崔 彤,何万清,等.北京市典型餐饮企业油烟中醛酮类化合物污染特征 [J]. 环境科学, 2015,36(8):2743-2749.
Cheng J C, Cui T, He W T, et al. Pollution characteristics of aldehydes and ketones compounds in the exhaust of Beijing typical restaurants [J]. Environmental Science, 2015,36(8):274-2749.

[2] 张 鑫,李 红,张成龙,等.环境空气中醛酮类化合物检测方法优化与初步应用 [J]. 环境科学研究, 2019,32(5):821-829.
Zhang X, Li H, Zhang C L, et al. Optimization and preliminary of the detection method of carbonyl compounds in the ambient air [J]. Research of Environmental Science, 2019,32(5):821-829.

[3] Kumar A, Singh D, Kumar K, et al. Distribution of VOCs in urban and rural atmospheres of subtropical India: Temporal variation, source attribution, ratios, OFP and risk assessment [J]. Science of the Total Environment, 2018,613-614:492-501.

[4] Zheng J, Shao M, Che W, et al. Speciated VOC Emission Inventory and Spatial Patterns of Ozone Formation Potential in the Pearl River Delta, China [J]. Environmental Science & Technology, 2009,43(22): 8580-8586.

[5] 舒木水,淡 默,纪晓慧,等.油烟净化设备对餐饮排放物的净化效率 [J]. 环境工程, 2018,36(11):86-89.
Shu S S, Dan M, Ji X H, et al. Purification efficiency of cooking fume control equipment to cooking emission [J]. Environmental Engineering, 2018,36(11):86-89.

[6] GB18483-2001 饮食业油烟排放标准 [S].
GB18483-2001 Emission standard of cooking fume [S].

[7] Abdullahi, DelgadoSaborit, J M, et al. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review [J]. Atmospheric Environment, 2013,71(2):260-294.

[8] Cheng S Y, Wang G, Lang J L, et al. Characterization of volatile organic compounds from different cooking emissions [J]. Atmospheric Environment, 2016,145:299-307.

[9] 张宝勇,杨玉柱.烹调油烟的组成与危害及防治方法探讨 [J]. 四川食品与发酵, 2006,2:14-18.
Zhang B Y, Yang Y Z. Discussion of the composition, harm and preventing and controlling methods of the cooking oil fumes [J]. Sichuan Food and Fermentation, 2006,2:14-18.

[10] Takeoka G, Perrino C Jr, Buttery R. Volatile constituents of used frying oils [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996,44(3):654-660.

[11] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, et al. Measurement of emissions from air pollution sources.4. C₁-C₂₇ organic compounds from cooking with seed oils [J]. Environmental Science & Technology, 2002,36:

- 567-575.
- [12] 冯艳丽,黄 娟,文 晟,等.餐馆排放油烟气中羰基化合物浓度及分布特征 [J]. 环境科学与技术, 2008,31(2):66-68.
- Feng Y L, Huang J, Wen S, et al. Concentration and Pattern of carbonyl compounds from oil smoke in restaurant [J]. Environmental Science & Technology, 2008,31(2):66-68.
- [13] Xiang Z Y, Wang H L, Svetlana S, et al. Assessing impacts of factors on carbonyl compounds emissions produced from several typical Chinese cooking [J]. Building and Environment, 2017,125:348-355.
- [14] 史纯珍,姜 锡,姚志良,等.烹饪油烟羰基化合物排放特征 [J]. 环境工程学报, 2015,9(3):1376-1380.
- Shi C Z, Jiang X, Yao Z L, et al. Carbonyl compounds emission characteristics in cooking fumes [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015,9(3):1376-1380.
- [15] 仝晓波.醇基燃料发展亟待统一认识 [N]. 中国能源报, 2017-06-12(004).
- Tong X B. The development of alcohol-based fuels urgently needs a unified understanding [N]. China Energy News, 2017-06-12(004).
- [16] HJ683-2014 环境空气 醛酮类化合物的测定 高效液相色谱法 [S].
- HJ683-2014 Ambient air Determination of aldehydes and ketones compounds- High performance liquid chromatography [S].
- [17] 张春洋,马永亮.中式餐饮业油烟中非甲烷碳氢化合物排放特征研究 [J]. 环境科学学报, 2011,31(8):202-209.
- Zhang C Y, Ma Y L. Characterization of non-methane hydrocarbons emitted from Chinese cooking [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011,31(8):202-209.
- [18] Cheng J H, Lee Y S, Chen K S. Carbonyl compounds in dining areas, kitchens and exhaust streams in restaurants with varying cooking methods in Kaohsiung, Taiwan [J]. Journal of Environmental Sciences, 2016,41:218-226.
- [19] Zhang Y, Mu Y, Liu J. Levels, sources and health risks of carbonyls and BTEX in the ambient air of Beijing, China [J]. Environment Science, 2012,24:124-130.
- [20] 贝 雷.油脂化学与工艺学 (上册) [M]. 北京:轻工业出版社, 1959.
- Bei Lei. Oil Chemistry and Technology, (Volume 1) [M]. Beijing: Light Industry Press, 1959.
- [21] Zhang J F, Smith K R. Hydrocarbon emissions and health risks from cookstoves in developing countries [J]. Journal of exposure analysis & environmental epidemiology, 1996,6(2):147.
- [22] Ho S S H, Yu J Z, Chu K W, et al. Carbonyl emissions from commercial cooking sources in Hong Kong [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2006,56(8):1091-1098.
- [23] 黄丽萍.电晕放电与光催化协同净化室内空气研究 [D]. 大连:大连海事大学, 2010.
- Huang L P. Research on synergistic purification of indoor air by corona discharge and photocatalysis [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2010.
- [24] 何红勤,袁建平,张 杰,等.烹饪油烟污染与净化技术 [J]. 排灌机械, 2007,25(1):68-70.
- He H Q, Yuan J P, Zhang J, et al. Cooking oil fume pollution and purification technology [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2007, 25(1):68-70.

作者简介: 穆桂珍(1995-),女,山西吕梁人,长江大学硕士研究生,研究方向为环境地球化学.发表论文 1 篇.

《中国环境科学》获评“2014 中国最具国际影响力学术期刊”

2014 年 12 月,中国环境科学学会主办的《中国环境科学》被评为“2014 中国最具国际影响力学术期刊”。

“中国最具国际影响力学术期刊”是《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、清华大学图书馆、中国学术国际评价研究中心对我国 5600 余种中外文学术期刊,根据总被引频次、影响因子、被引半衰期等计算出的国际影响力综合评价指标 CI 进行排序,遴选出的排名前 5%的期刊.获评“中国最具国际影响力学术期刊”的科技类期刊共 175 种。

自 2012 年开始此项评选以来,《中国环境科学》已连续 3 年获此殊荣。