



文章栏目：大气污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.201904133

中图分类号 X701

文献标识码 A

东东, 席劲瑛, 张荣社. 浙江省某印染企业 VOCs 的产生特征及去除特性[J]. 环境工程学报, 2020, 14(2): 432-439.

DONG Dong, XI Jinying, ZHANG Rongshe. Characteristics of VOCs production and removal in a dyeing enterprise of Zhejiang province, China[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(2): 432-439.

浙江省某印染企业 VOCs 的产生特征及去除特性

东东¹, 席劲瑛^{1,*}, 张荣社²

1. 清华大学环境学院, 北京 100084

2. 绍兴市科学技术协会, 绍兴 312000

第一作者: 东东(1996—), 男, 硕士研究生。研究方向: 工业 VOCs 检测治理。E-mail: dongd17@mails.tsinghua.edu.cn

*通信作者: 席劲瑛(1977—), 男, 博士, 副教授。研究方向: 废气生物净化。E-mail: xijinying@tsinghua.edu.cn

摘要 为探究印染行业生产过程中挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 的产生特征及现有控制措施对 VOCs 的去除效果, 选取浙江某典型印染企业作为研究对象, 调查了该企业主要 VOCs 污染源 (包括定型机、配料间及污水站) 的废气产生特征, 测定和评价了各废气处理装置对 VOCs 的去除效果。结果表明, 该企业定型机、配料间及污水站产生的有组织废气总流量分别为 8.6×10^5 、 7.4×10^4 、 2.8×10^4 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 产生的 VOCs 平均浓度分别为 14.7、9.0 和 14.9 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 有组织废气源 VOCs 的年产生总量约为 80 t。定型车间、印染车间和污水站附近无组织 VOCs 的平均浓度分别约为 0.66、0.16 和 0.59 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。产生的典型 VOCs 包括苯甲酸苄酯、五氟丙酸三十八烷酯、乙二醇单丁醚、十六烷、异喹啉等。定型机废气采用“冷却+静电”或“喷淋+静电”工艺处理, 其对 VOCs 的去除率仅为 2%~6%。配料间和污水站产生废气采用“碱洗+次氯酸钠洗涤”工艺处理, 其对 VOCs 的去除率为 8%~58%。研究结果可为印染行业 VOCs 污染控制提供参考。

关键词 印染行业; 废气特征; VOCs; 定型机

我国是印染大国, 纺织印染行业是我国的支柱产业之一。2016 年, 我国规模以上印染企业印染布产量 9.7×10^{10} m^2 ^[1], 在环保压力提升的背景下, 中小企业因环保压力被动停产或寻求兼并, 印染行业的区域集中度逐渐提高。我国印染行业主要集中在东部沿海地区, 截至 2015 年, 浙江地区已经汇集了全国接近 63% 的印染行业产能^[2]。印染行业在带来巨大经济利益的同时, 也带来了非常严重的环境污染问题^[3], 尤其是 VOCs 的污染问题。印染行业作为纺织行业的关键行业, 生产过程中需要使用大量挥发性助剂, 目前我国印染助剂年使用量为 1.2×10^5 t ^[4], 助剂的大量使用导致了严重的 VOCs 污染, 2012 年, 长江三角洲区域纺织印染行业 VOCs 总排放量达到 7.5×10^4 t ^[5]。VOCs 与 $\text{PM}_{2.5}$ 的形成有密切关系, 也是光化学烟雾的源头, 如果未经治理的印染废气大量排放, 会直接影响大气环境, 部分有毒 VOCs 长期累积排放会直接影响企业职工的身体健 康, 容易造成职工的呼吸道疾病, 甚至发生癌变, 还会影响周边居民的生活质量^[6], 印染行业的 VOCs 排放问题也因此获得重点关注。我国于 2015 年推出了《纺织染整工业大气污染物排放标准》^[7], 其中关于

收稿日期: 2019-04-21; 录用日期: 2019-07-10

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFC1801101)

VOCs 的各项标准相比于之前沿用的《大气污染物综合排放标准》^[8]和《恶臭污染物排放标准》^[9]更加严格。目前,我国缺乏印染废气尤其是 VOCs 的产生特征及去除特性研究,这增加了印染废气的处理难度,因此,研究印染行业 VOCs 产生特征是十分必要的。

本研究以浙江省内一家典型的印染企业为研究对象,着重对该企业内 3 个分厂进行废气监测,以了解其 VOCs 的产生特征,为进一步了解印染 VOCs 产生特征以及提高印染废气治理效果提供参考,为解决印染 VOCs 污染提供技术支持。

1 采样与分析方法

1.1 调研企业概况

本研究选取了浙江省印染企业高度集聚区的一家典型印染企业。该企业每年印染布产量达 7.8×10^7 m, 每年印染布产量为 2.5×10^4 t。本研究对该企业 3 个印染分厂(产品分别为针织布、梭织布以及化纤涤纶布,编号为 A 分厂、B 分厂、C 分厂)及印染污水站进行 VOCs 产生特征的探究。有组织废气源主要包括定型机、配料间及污水站。该企业对 A 分厂和 B 分厂定型机废气采用“间接冷却+静电除尘”装置进行治理,对 C 分厂定型机废气采用“水喷淋+静电除尘”装置进行废气治理,对各分厂配料间废气及污水站废气采用“次氯酸钠洗涤+碱洗”二级喷淋装置进行治理。

1.2 采样及测定点位

印染行业的工艺流程主要包括胚布准备、前处理、后整理和成品 4 个阶段,各个印染企业使用的工序及原料会有所不同,但是整体工艺流程^[10]相似。

该企业各废气源如图 1 所示。该企业共有 45 台定型机,定型机废气主要来自胚布表面溶剂的受热挥发^[11];配料间包括配料车间和染料仓库,配料间产生的废气主要是来自于配料过程中助剂染料的挥发,也包括染料仓库中存放的助剂及染料的自然挥发;该企业污水站恶臭气体的主要产生单元包括调节池、水解酸化池及污泥浓缩池,所产生的废气经负压管道收集后经过处理直接排放。故选择以上 3 个有组织废气源作为废气监测点。经过现场调研了解到,印染企业中无组织废气主要来自设备运行以及配料间的配料过程,所以选取染色定型车间以及定型车间进行无组织废气特征测定。同时,污水站内未封闭的处理单元也会产生一定的无组织废气,故污水站无组织废气测定点选择好氧池、厌氧池、初沉池。在无组织废气测定过程中,车间内依据印染设备不同距离各取 3 个点位进行测定,对污水站各处理单元附近上下风向各取 3 个点位进行测定。针对该企业各分厂的废气处理装置,测定点位选取在各废气装置的进出气口,监测指标为 VOCs 浓度及 H_2S 浓度。



图 1 该印染企业的定型机、配料间及污水站

Fig. 1 Heat-setting machine, dosing room and WWTP in a printing and dyeing enterprise

1.3 分析方法

废气测定指标包括温度、湿度、流量、VOCs浓度、VOCs组分。其中温度采用 Testo 905-T1-温度计测量。湿度采用 Testo 605-H1-温湿仪测量。废气流量通过废气流速与废气排风管横截面积计算,流速使用 Testo 416-精密型叶轮风速仪进行测量。VOCs浓度采用 PhoCheck Tiger VOC 检测仪进行现场测定。VOCs采样方法采用固相微萃取采样 (SPME),采样点设在各测定点尾气收集管道内,将 SPME 萃取头伸入废气管道内部,吸附采样时间为 10 min。VOCs组分测定采用国家标准方法 (HJ 73-4-2014),即“SPME+气相色谱质谱联用仪 (GC-MS)”检测方法^[12]。采用安捷伦气相色谱/质谱联用仪,将 SPME 萃取头插入进样口,吸附在萃取头上的 VOCs 物质随着高纯氦气 (纯度 99.999%) 进入 HP-5ms 色谱柱 (30 m×0.25 mm×1 μm, Agilent Technologies, 美国) 中进行分离。气体经分离后进入 ECD 检测器、FID 检测器、质谱监测仪,依据各物质停留时间以及峰面积,对 VOCs 组分进行定性半定量分析。针对废气处理装置增加了进出气 H₂S 浓度指标的测定,采用 HND88 式便携式 H₂S 检测仪进行检测分析。

2 结果与讨论

2.1 废气温度、湿度、产生量及 VOCs 浓度

由于染色和漂洗过的纺织品需要在定型机内进行烘干拉幅和热处理^[13],同时纺织品上携带的水分受热大量蒸发,所以定型机所产生的废气平均温度和湿度较高,平均温度为 135 ℃,相对湿度已饱和;配料间内无加热装置,产生废气的温度为 24 ℃,与室温相近,废气湿度随配料间配料时间的改变而变化;污水站废气温度约为 26 ℃,湿度为 60%~70%。

该企业各有组织废气的废气特征如表 1 所示,定型机、配料间及污水站产生的有组织废气流量分别为 8.6×10^5 、 7.4×10^4 、 $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,产生的 VOCs 平均浓度分别为 14.7、9.0 和 $14.9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。《纺织染整工业大气污染物排放标准》对 VOCs 限值为 $40 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,《大气污染物综合排放标准》对非甲烷总烃的限值为 $120 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,排放速率限值为 $15 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$,各废气源的 VOCs 浓度均满足排放标准的要求。

表 1 各有组织废气源废气特征
Table 1 Characteristics of organized exhaust gas from different sources

废气源	分厂	废气产生量/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	VOCs浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	总气源 数量/个	总废气产生量/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	总VOCs产生 速率/($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
定型机	A	1.9±0.3	14.5±0.6			
定型机	B	1.7±0.2	15.7±0.5	45	86.9±9.9	12.8±1.6
定型机	C	2.0±0.2	14.1±0.9			
配料间	B	1.8±0.4	8.8±0.1	5	7.4±2.9	6.57±0.31
配料间	C	1.3±0.4	9±0.2			
污水站	—	2.8±0.2	14.9±0.7	1	2.8±1.5	4.13±0.6

由于该印染企业配料间及污水站废气产生量较低,且配料间为非连续运行模式,每天工作时间不定,平均为 3 h,所以印染企业生产过程中,定型机是最大的 VOCs 产生源。通过调研了解到,企业每年运行约 300 d,定型机和污水站每天运行约 20 h,配料间每天工作约 3 h,由此计算得该企业每年定型机总 VOCs 产生量约为 76.8 t,配料间 VOCs 年产生量约为 0.6 t,污水站 VOCs 年产生量为 2.5 t,企业每年 VOCs 产生总量约为 79.9 t,印染过程中 VOCs 产生量约为 $31.9 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ (产品)。

各无组织废气源的 VOCs 浓度如图 2 所示。染色车间 VOCs 平均浓度在 $0.16 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右。相比染色车间，定型车间内的 VOCs 浓度要高得多，浓度为 $0.1\sim 1.9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，平均浓度约为 $0.66 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，污水站的 VOCs 浓度为 $0.1\sim 1.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，平均浓度约为 $0.59 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。定型车间和污水站产生无组织 VOCs 浓度具有区域性，不同测定点 VOCs 浓度差异较大。

2.2 各有组织废气源的 VOCs 组分特征

1) 定型机产生的 VOCs 组分特征。在热定型过程中，纤维布料上残留的有机物受热挥发，产生大量 VOCs 气体，VOCs 气体组分易受到定型过程中助剂成分的影响。各分厂定型机 VOCs 组分如图 3 所示。A 分厂定型机所产生的 VOCs 中氟代烃为主要物质，包括占比为 22.7% 的五氟丙酸三十八烷酯以及占比为 23.3% 的五氟丙酸三十烷酯。这是

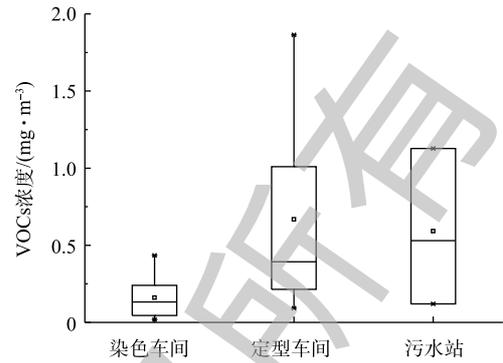
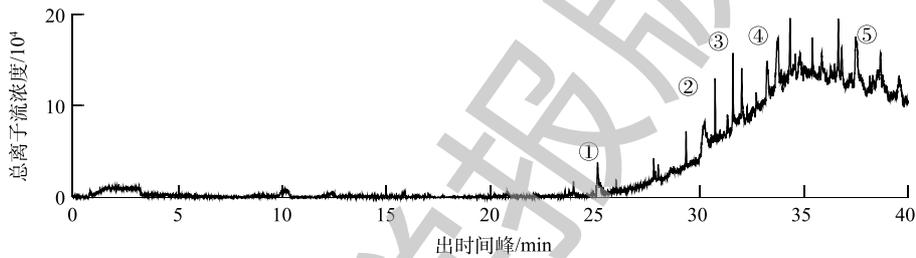
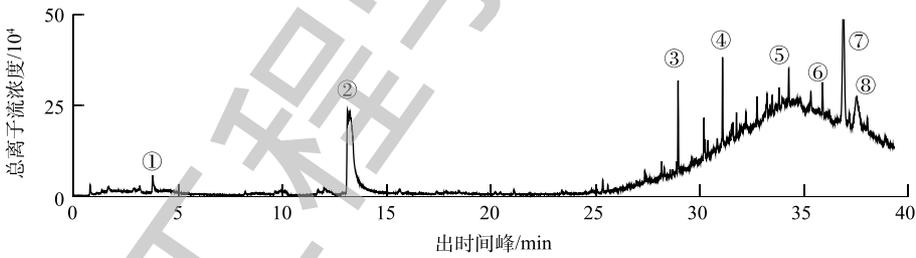


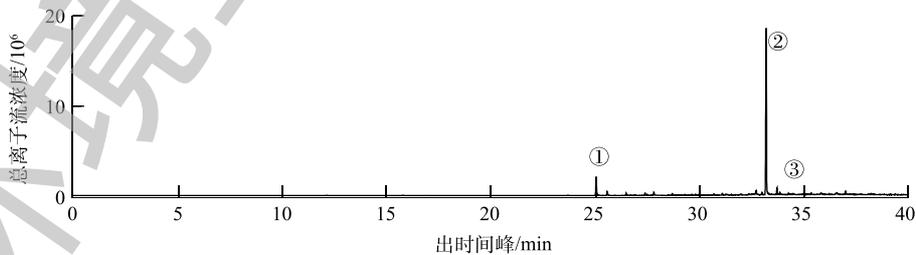
图 2 各无组织废气源 VOCs 浓度
Fig. 2 VOCs concentration of unorganized exhaust gas sources



①异喹啉2.2%；②十六烷8.0%；③硫酸-2-丙基十四酯12.6%；④五氟丙酸三十烷酯23.3%；⑤五氟丙酸三十八烷酯22.7%。
(a) A厂定型机



①三氯甲烷3.7%；②乙二醇丁醚15.2%；③二十一烷9.2%；④2-十二烯-1-琥珀酸酐4.1%；⑤二苯基乙炔9.2%；⑥五氟丙酸二十八酯12.2%；⑦4-甲基-5-丙基壬烷10.8%；⑧十六烷4.1%。
(b) B厂定型机



①异喹啉9%；②苯甲酸苄酯72%；③蒽3%。
(c) C厂定型机

图 3 定型机 VOCs 成分谱图

Fig. 3 Component spectra of VOCs from heat-setting machine

由于印染行业中经常会使用含氟的有机润滑剂(如氯化三氟乙烯、氟硅类、二酯、矿物油等物质),染色过程也会使用含氟的活性染料^[14],其他 VOCs 还包括烷烃、异喹啉等。B分厂定型机的 VOCs 与 A分厂定型机 VOCs 组分类似,同样是以卤代有机物为主,卤代有机物中的卤素为氯与氟,典型组分包括占比为 12.2%的五氟丙酸三十八烷酯,以及占比为 3.7%的三氯甲烷,其他 VOCs 组分包括乙二醇丁醚、二十一烷等物质,乙二醇醚类是印染过程常用的有机溶剂^[15]。相关毒理学研究^[16]表明,乙二醇醚类对人具有血液毒性、肝肾毒性等的不良影响。C分厂定型机废气 VOCs 检测出的成分以苯系物为主,VOCs 中典型污染物为苯甲酸苄酯,约占为 72%,苯甲酸苄酯主要用作乙酸纤维和硝酸纤维的溶剂,塑料增塑剂^[17]。C分厂定型机 VOCs 的成分与 A、B分厂有很大差异,主要因为 C分厂的加工产品为化纤布,在化纤布印染过程中会大量使用苯类助剂^[18]。

2) 配料间产生 VOCs 的组分特征。配料间所挥发出的 VOCs 组分取决于使用助剂的成分及挥发性,配料间非连续的工作时间及不同的配料方式也易对 VOCs 的组分产生影响,所以 B分厂及 C分厂的 VOCs 组分测定目的仅为确定印染配料间的典型 VOCs 组分,各分厂配料间组分如图 4 所示。B分厂配料间检测出的 VOCs 组分主要包括苯系物、卤代烃,VOCs 组分与 B分厂定型机测出的组分十分类似,如图 4 所示,VOCs 主要包括含氟有机物、苯甲酸苄酯等物质。C分厂配料间所产生 VOCs 的组分十分复杂,VOCs 主要为苯系物,主要成分包括蒽、甲基萘、甲基菲、甲基芴等。

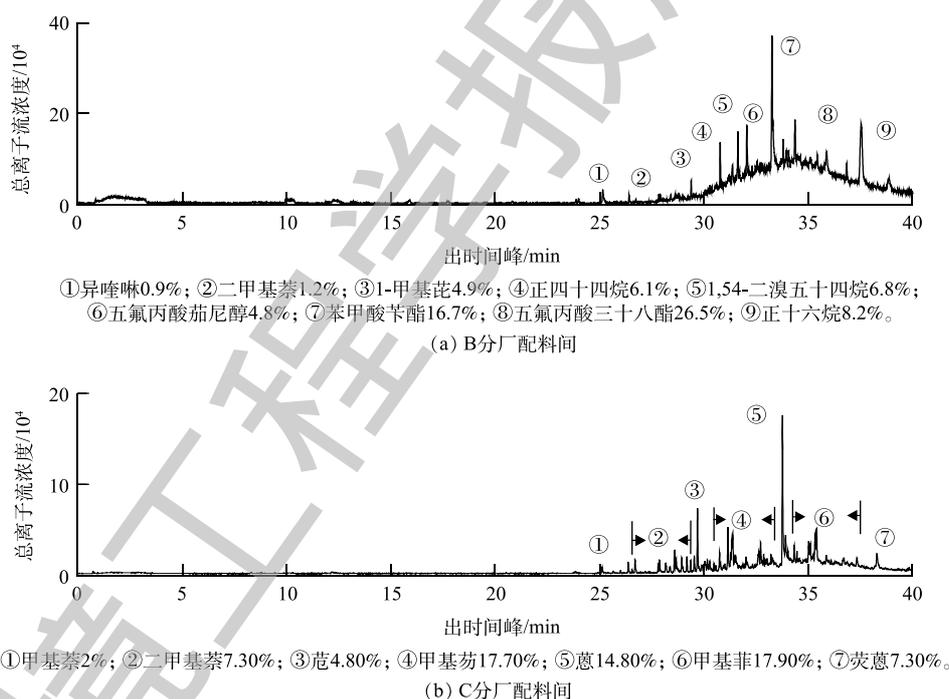


图 4 配料间 VOCs 组分谱图

Fig. 4 Component spectra of VOCs from dosing room

印染企业配料间 VOCs 与定型机所产生 VOCs 组分类似,表明定型机所挥发出的 VOCs 组分受使用助剂种类影响较大,所以降低定型机产生的 VOCs 应该重点关注印染配料所使用的原料助剂的种类。

3) 污水站产生 VOCs 的组分特征。印染企业耗水量大,且其中含有高浓度的染料、印染助剂等有机物,污水处理过程中挥发出的 VOCs 组分也因为污水中的多种溶剂变得十分复杂^[19],

VOCs 的成分特征如图 5 所示。印染污水处理过程所产生的 VOCs 包括萘、乙醛、甲基辛基醚、十八腈等物质，甲基辛基醚占总 VOCs 比例为 12%；其余 VOCs 包括 1-醋酸-8-甲基-9-十四烯酯，占比为 33.50%，萘占比为 16.30%。萘类芳香族有机化合物同样也是印染污水中的主要污染物^[20]，十八腈常用作印染布料的表面活性剂^[21]。

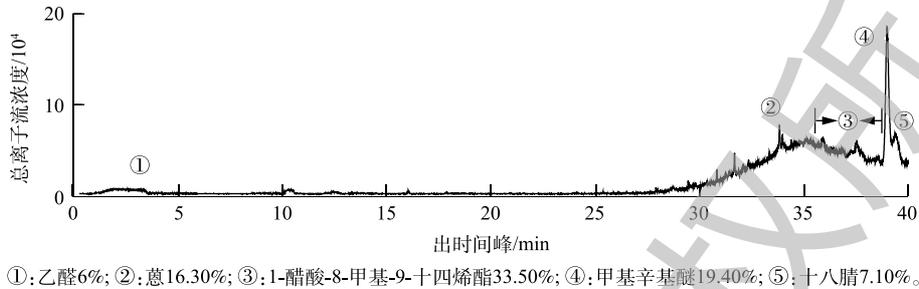


图 5 污水站 VOCs 组分谱图

Fig. 5 Component spectra of VOCs from WWTP

2.3 印染 VOCs 去除特性及处理技术分析

1) 印染 VOCs 去除特性。该企业针对印染废气安装了“间接冷却+静电除尘”、“喷淋+静电除尘”和“次氯酸钠洗涤+碱洗”3 类处理系统。根据卢滨等^[22]对杭州市工业源 VOCs 治理设施的调研结果，在杭州市的纺织印染企业的废气治理设施中，“静电除尘”和“水/酸/碱吸收”占比分别为 46.47% 和 20%。说明静电除尘及“水/酸/碱吸收”是印染企业常用的废气治理设施，对该企业各废气处理装置的测定结果具有一定的代表意义。各处理装置对 VOCs 的处理效果如图 6 所示。“间接冷却+静电除尘”装置对定型机的 VOCs 去除率仅为 2%~6%，“水喷淋+静电除尘”装置对 VOCs 去除率为 15%~40%，其中“水喷淋”阶段对 VOCs 去除率较高，去除率为 13%~32%，水喷淋之后的静电除尘装置对 VOCs 去除率依然很低，表明印染企业增设的静电除尘装置对 VOCs 几乎没有去除能力。“次氯酸钠洗涤+碱洗二级喷淋”装置对 VOCs 具有一定的去除效果，但是各分厂配料间所挥发出来的 VOCs 组分不同，喷淋装置对 VOCs 处理率差异较大，去除率为 8%~58%。二级喷淋装置对污水站的 H₂S 仅有 57% 的去除率。

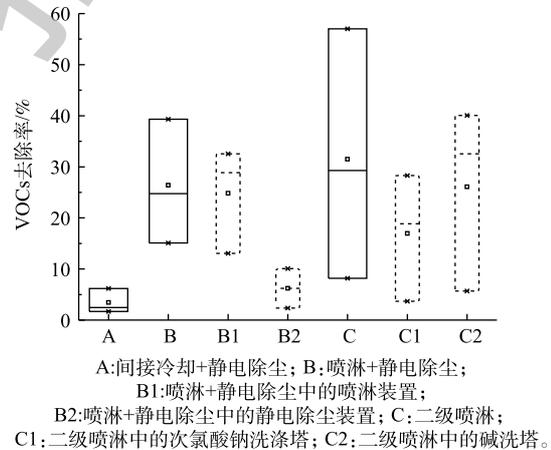


图 6 不同废气处理装置对 VOCs 的去除率

Fig. 6 VOCs removal efficiencies by different treatments

2) 印染废气治理技术分析。定型机产生废气气量较大，不仅含有油滴等颗粒物，也含有浓度较低的 VOCs 污染物，虽然静电除尘装置对定型废气中颗粒物的去除具有一定效果，但是该技术对 VOCs 去除效果较差。企业单台静电除尘装置投资费用为 2.5×10^6 元，企业总静电除尘装置每日所耗电费约为 1.5×10^4 元，且每套装置每天需停止运行 0.5 h 进行人工清洁，存在着能耗较大，维护成本较高等问题，定型机废气处理技术的提升方向应该重点关注这几方面的问题。

配料间为非连续废气源，废气产生量较小，VOCs 浓度较低，“次氯酸钠+碱洗”二级喷淋塔投资较低，配料间所配置的喷淋塔投资为 2×10^5 元，且二级喷淋塔运行灵活，适合配料间的废气治理。

污水站所产生的废气量较大，目前使用的二级喷淋塔对于大风量的废气处理，存在药剂量消

耗大、产生大量废液的问题,该企业污水处理站的二级喷淋装置每天需要消耗 20 kg 次氯酸钠溶液, 10 kg 碱液。生物法已经在各行业污水厂废气治理领域得到广泛应用,对于印染企业污水处理站所产生的大风量、低浓度 VOCs 的废气,可以选择生物法作为印染污水厂的废气治理技术,生物法对印染污水处理站所产生的苯系物、酯、醚、H₂S 等物质去除效果较好^[23],污水处理站的 VOCs 的产生特征符合生物法的应用条件。

3 结论

1) 定型机废气具有高温、高湿的物理特征,且定型机废气是印染废气的主要来源,该企业各废气定型机、配料间及污水处理站产生的有组织废气流量分别为 8.6×10^5 、 7.4×10^4 、 $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,产生的 VOCs 平均浓度分别为 14.7、9.0 和 14.9 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。该企业每年总 VOCs 产生量可达 79.8 t,经估算得,印染过程中 VOCs 产生量约为 $31.9 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ (产品)。印染企业各车间无组织 VOCs 平均浓度较低,但是 VOCs 浓度分布具有区域性,需要对定型车间中 VOCs 浓度较高的区域增加相应的处理措施。因此,建议增大通风量,或者完善定型机废气收集系统。

2) 印染行业 VOCs 成分复杂,且多为大分子物质,虽然不同分厂 VOCs 组分相差较大,但是各有组织废气源 VOCs 组分种类类似,VOCs 中的苯系物主要包括苯甲酸苄酯、蒽类、喹啉类等,氟代有机物包括五氟丙酸酯及氯代有机物,印染 VOCs 主要来源于印染助剂的挥发。

3) 印染企业各类废气处理装置对印染 VOCs 的去除效果差异较大,对于 VOCs 产生量最大的定型机,所采用的废气治理技术主体为静电除尘装置,静电除尘对印染 VOCs 去除率仅为 2%~6%,说明印染企业针对定型机 VOCs 并未采取有效的控制措施,同时静电除尘装置存在着能耗大、维护成本高等问题。二级喷淋对配料间及污水处理站的 VOCs 去除率为 8%~58%,对于印染污水处理站的 VOCs 治理,生物法是应用前景较好的技术。

参 考 文 献

- [1] 中国印染行业协会. 印染行业“十二五”发展规划[J]. 印染, 2012, 38(10): 42-47.
- [2] 中国产业发展研究网. 2016年中国印染行业发展现状分析及市场前景预测 [EB/OL]. [2019-04-01]. 2017. <http://www.chinaidr.com/tradenews/2016-03/94640.html>.
- [3] 朱虹, 林剑超. 印染废水处理技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006.
- [4] 张莹玲. 纺织印染工业热定型(焙烘)工艺VOCs废气的分析研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2016.
- [5] ZHENG C H, SHEN J L, ZHANG Y X, et al. Atmospheric emission characteristics and control policies of anthropogenic VOCs from industrial sources in Yangtze River Delta Region, China[J]. Environmental Science & Technology, 2017, 17(9): 2263-2275.
- [6] 李琳, 刘俊新. 挥发性有机污染物与恶臭的生物处理技术及其工艺选择[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001, 2(5): 41-47.
- [7] 浙江省人民政府. 纺织染整工业大气污染物排放标准: DB 33962-2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [8] 国家环境保护局, 国家技术监管局. 大气污染物综合排放标准: GB 16297-1996[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [9] 国家环境保护局, 国家技术监管局. 恶臭污染物排放标准: GB 14554-1993[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [10] 鲁玉龙, 李刚. 纺织染整行业定型机废气污染治理与控制技术措施研究[J]. 环境工程, 2016, 34(S1): 565-568.
- [11] FREIBERG H. Economy versus ecology: Exhaust air cleaning in textile finishing lines[J]. American Dyestuff Reporter, 1998, 87(8): 23-27.
- [12] 国家环境保护局. 固定污染源废气中挥发性有机物的固相吸附-热脱附/气相色谱-质谱法: HJ 734-2014 [S]. 北京: 中国环

境科学出版社, 2015.

- [13] 韩啸天. 纺织印染工业油烟和废气的分析研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2017.
- [14] 于永民, 杨庆民. 氟素系列润滑剂在纺织印染设备中的适用性研究[J]. *中原工学院学报*, 2005, 16(4): 61-62.
- [15] 朱建丰, 石远, 陈军. 气相色谱法测定工作场所空气中乙二醇甲醚、乙二醇乙醚和乙二醇丁醚[J]. *理化检验(化学分册)*, 2015, 51(6): 877-878.
- [16] SHIH T S, HSIEH A T, LIAO G D, et al. Haematological and spermatotoxic effects of ethylene glycol monomethyl ether in copper clad laminate factories[J]. *Occupational and Environmental Medicine*, 2000, 57(5): 348-352.
- [17] 贾梦莉, 王春梅. 涤纶的苯甲酸苄酯载体染色[J]. *印染*, 2016, 42(4): 22-25.
- [18] BHATIA S C. *Pollution Control in Textile Industry*[M]. New Delhi: Woodhead Publishing India, 2017.
- [19] 邢凤兰, 徐群, 贾丽华. 印染助剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [20] NING X A, WANG J Y, LI R J, et al. Fate of volatile aromatic hydrocarbons in the wastewater from six textile dyeing wastewater treatment plants[J]. *Chemosphere*, 2015, 136: 50-55.
- [21] JAN W. *Dyeing Auxiliaries*[M]. New York: Encyclopedic Dictionary of Polymers, 2007.
- [22] 卢滨, 黄成, 卢清, 等. 杭州市工业源 VOCs 排放清单及排放特征[J]. *环境科学*, 2018, 39(2): 533-542.
- [23] 席劲瑛. 生物滤塔工艺处理挥发性有机物(VOCs)工艺特性研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.

(本文编辑: 王萌萌, 郑晓梅, 张利田)

Characteristics of VOCs production and removal in a dyeing enterprise of Zhejiang province, China

DONG Dong¹, XI Jinying^{1,*}, ZHANG Rongshe²

1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. Association of Science & Technology of Shaoxing, Shaoxing 312000, China

*Corresponding author, E-mail: xijinying@tsinghua.edu.cn

Abstract This study aimed at revealing the VOCs production characteristics and the removal effect by the existing control measures in the typical printing and dyeing industry. A typical printing and dyeing enterprise which has three plants and a waste water treatment plant(WWTP) in Zhejiang were selected to investigate the exhaust gas production characteristics from VOCs pollution sources (heat-setting machine, dosing room and WWTP), and the VOCs removal effects by exhaust gas treatment devices were tested and evaluated. The results showed that the organized exhaust gas flow from heat-setting machine, dosing room and WWTP were 8.6×10^5 , 7.4×10^4 and 2.8×10^4 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, and the VOCs concentrations were 14.7, 9.0 and 14.9 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, respectively. The total VOCs production from organized exhaust gas sources in this enterprise was 80 t per year. The average concentration of unorganized VOCs beside heat-setting machine, dosing room and WWTP were 0.66, 0.16 and 0.59 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, respectively. Typical VOCs included octatriacontyl pentafluoropropionate, ethylene glycol monobutyl ether, benzyl benzoate, hexadecane, isoquinoline, etc. The exhaust gas from heat-setting machine was treated by the process of cooling and electrostatic precipitation (ESP) or water spaying and ESP, and their VOCs removal rates were only between 2% and 6%. The exhaust gas from dosing room and WWTP was treated by the process of sodium hypochlorite and alkali spraying, and its VOCs removal rate was between 8% and 58%. The research results can provide theoretical support for VOCs pollution control in printing and dyeing industry.

Keywords printing and dyeing industry; exhaust gas characteristics; VOCs; heat-setting machine