

TFT-LCD制造行业VOCs排放特征及减排效果

高齐, 马建, 胡吉国, 盛守祥, 陈琛, 冯俊亭

引用本文:

高齐, 马建, 胡吉国, 等. TFT-LCD制造行业VOCs排放特征及减排效果[J]. 液晶与显示, 2020, 35(10): 1087–1094.

GAO Qi, MA Jian, HU Ji-guo, et al. VOCs emission characteristics and treatment effect of TFT-LCD manufacturing industry[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(10): 1087–1094.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203510.1087>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

高世代线TFT-LCD面板对盒精度的提升

Ass'y margin improvement of high-generation line's TFT-LCD panel

液晶与显示. 2019, 34(2): 136–145 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193402.0136>

超高色域图案化量子点彩膜的研究

Ultra-high color gamut and patterned color filter based on quantum dot photoresist

液晶与显示. 2017, 32(3): 169–176 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173203.0169>

TFT-LCD光致发绿不良改善、机理分析及研究

Improvement, mechanism analysis and research of TFT-LCD light-caused green Mura

液晶与显示. 2019, 34(1): 1–6 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0001>

基于DOE的TFT-LCD切换残影不良改善研究

Improvement of TFT-LCD image-retention based on DOE

液晶与显示. 2018, 33(2): 123–128 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183302.0123>

TFT-LCD行业显影液参数对半色调光刻胶膜厚的影响

Effect of TFT-LCD developer parameters on halftone thickness

液晶与显示. 2019, 34(12): 1161–1165 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193412.1161>

文章编号:1007-2780(2020)10-1087-08

TFT-LCD 制造行业 VOCs 排放特征及减排效果

高 齐, 马 建, 胡吉国, 盛守祥*, 陈 琛, 冯俊亭

(合肥京东方显示技术有限公司, 安徽 合肥 230012)

摘要:为掌握和了解 TFT-LCD 行业生产过程中,各工艺环节挥发性有机物(VOCs)的排放特征,以国内某 TFT-LCD 制造公司为例,研究了各生产车间的 VOCs 浓度分布。结果表明:阵列生产车间 VOCs 均值浓度最高,波动范围为 $4.14 \sim 11.19 \times 10^{-6}$ (1~12 月);彩膜(CF)生产车间光刻胶成分比较复杂,绿胶产线 VOCs 均值浓度最高,为 $4.6 \sim 14.50 \times 10^{-6}$ (1~12 月);阵列和 CF 车间 VCD 区域,VOCs 浓度最高;降低 TFT-LCD 生产车间 VOCs 的浓度关键在于源头控制,投加沸石转轮吸附设备对生产车间 VOCs 浓度的降低具有很明显的作用,可以去除大约 60.71%~71.33% 的有机废气。

关键词: TFT-LCD 生产; VOCs; 排放特征; 光刻胶

中图分类号: TN873+.93; X701.7 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/YJYXS20203510.1087

VOCs emission characteristics and treatment effect of TFT-LCD manufacturing industry

GAO Qi, MA Jian, HU Ji-guo, SHENG Shou-xiang*, CHEN Chen, FENG Jun-ting

(Hefei BOE Display Technology Co., Ltd., Hefei 230012, China)

Abstract: In order to grasp and understand the Volatile Organic Compounds(VOCs) emission characteristics of various process links in the production process of the TFT-LCD industry, a domestic TFT-LCD manufacturing company was selected as an example to study the VOCs concentration distribution of each production workshop. The results showed that the average concentration of VOCs in the Array production workshop was $4.14 \sim 11.19 \times 10^{-6}$ in a whole year. The photoresist composition in the CF production workshop was more complex, and the average VOCs concentration of green production line was the highest, which was $4.6 \sim 14.50 \times 10^{-6}$ in a whole year. The highest VOCs concentration was found at VCD of Array and CF workshop. The key to reduce the concentration of VOCs in the TFT-LCD production workshop lies in source control. Adding zeolite rotor adsorption equipment had a significant effect on reducing the concentration of VOCs in the production workshop, and could remove about 60.71%~71.33% of organic waste gas.

Key words: TFT-LCD production; VOCs; emission characteristics; photoresist

收稿日期:2020-04-29;修订日期:2020-05-26.

* 通信联系人, E-mail: XYZ4718@163.com

1 引言

挥发性有机物 (VOCs) 是形成颗粒物 (PM_{2.5})、臭氧 (O₃) 等二次污染物的重要前体物,进而引发灰霾、光化学烟雾等大气环境问题^[1]。VOCs 不仅会对环境产生危害,而且还威胁着人类的身体健康^[2]。目前,我国已经是世界上最大的电子产品消费大国,同时也是全球最大的电子产品制造基地^[3]。电子行业 TFT-LCD 在生产制造过程中会使用到大量的有机溶剂(如 PGMEA、N-甲基甲酰胺、异丙醇、稀释剂等),导致大量的挥发性有机物排放^[4-8],此类有机物成分比较复杂,主要成分的物质没有国家职业卫生标准限值的规定和检测方法,因此 VOCs 受到越来越多的关注^[9]。

夏邦寿等人^[10]研究了电子工业废气 VOCs 排放整体特性并对防治措施进行了探讨;肖景方等人^[11]对电子产品在生产过程中有机物的排放做了研究,结果表明不同产品生产线排气筒及车间废气浓度差异很大;栾冬辉等人^[12]研究了洁净厂房 VOC 的控制方案,从源头上对减少 VOCs 的排放提出了控制方案;盛守祥等人^[13-14]通过研究 TFT-LCD 制造企业 VOCs 的排放发现,污染物主要成分是丙二醇单甲醚醋酸酯以及少量苯系物类。目前大多数 VOCs 研究都处于宏观阶段,对于在 TFT-LCD 生产过程中,各工艺阶段 VOCs 浓度分布情况及如何减少洁净间 VOCs 排放防治措施的研究很少。

以某 TFT-LCD 制造公司为例,研究在生产过程中各工艺 VOCs 浓度的分布情况,同时采用沸石转轮吸附技术对洁净生产车间 VOCs 进行收集处理,对比处理前后的车间 VOCs 浓度,为后续提出降低 VOCs 的处理措施提供相应的依据。

2 TFT-LCD 工艺与有机废气产污环节介绍

TFT-LCD 工业流程主要包括阵列、彩膜、成盒、模组 4 部分,如图 1 所示。阵列生产厂房负责阵列基板的生产包括玻璃基板清洗、PECVD、溅射、光刻、刻蚀、剥离等工序;彩色滤光片是 TFT-

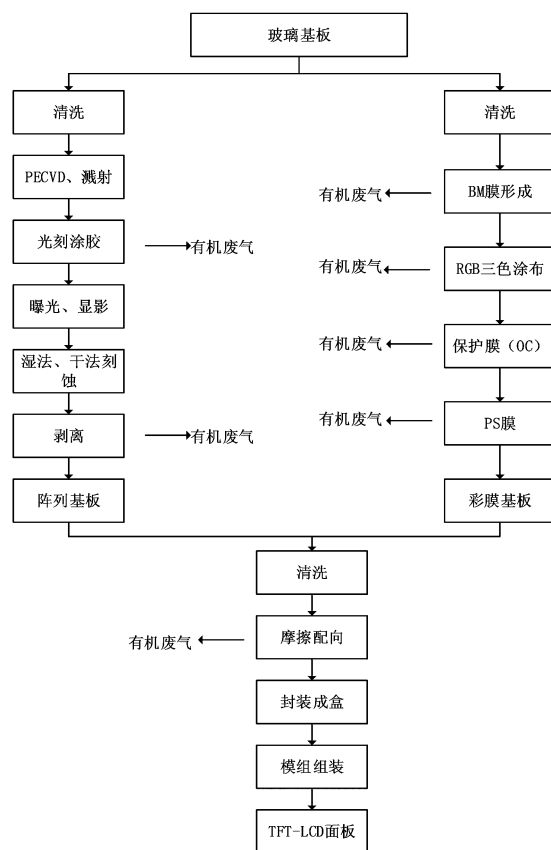


图 1 TFT-LCD 生产工艺和有机废气产污环节

Fig.1 Schematic diagram of production process and organic waste gas generation link of TFT-LCD

LCD 的重要组成部分,其基本结构由玻璃基板 (Glass Substrate)、黑色矩阵 (Black Matrix)、彩色层 (Color Layer)、保护层 (Over Coat) 及 ITO 导电膜所组成;成盒是将阵列基板和彩色滤光片经清洗、表面涂配向材料 (PI) 膜,经固化、摩擦取向处理,在 CF 玻璃基板及阵列基板分别涂布封框胶进行液晶散布,两基板在真空中粘合、固化,即成盒;模组厂房模块的生产,包括偏光片贴附、导电胶/COF/PCB 热压连接、背光源及外框组装、老化、返修等工序。

TFT-LCD 在生产过程中有机废气产生于阵列车间的涂光刻胶、剥离,彩膜车间的黑矩阵 (BM) 涂胶、RGB 涂胶、保护膜 (OC)、PS 膜等工序以及成盒车间涂 PI 液等工序。VOCs 的排放形式分为两种,一种是有组织排放,车间内的废气通过负压收集系统排放至屋面的有机废气处理系统进行燃烧处理;另一种是无组织排放,生产车间

内未被收集的一部分有机废气通过通风设备逃逸,还有含有 VOCs 废水、废液和固体废物在处理过程中的无组织排放。洁净生产车间内 VOCs 异味明显,为保障作业人员的身体健康和工作效率,确保员工放下对异味的担忧,特对各生产工艺 VOCs 无组织排放情况进行管控,同时采取相应措施降低车间 VOCs 浓度。

3 监测方法

根据国家《公共场所卫生监测技术规范》,检测使用的仪器为美国华瑞 ppbRAE3000(PID)手持式 VOCs 检测仪,该仪器内置有 200 多种气体,反应灵敏,检测范围达到 $1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-2}$,对 TFT-LCD 生产过程中产生的 *N*-甲基甲酰胺、丙二醇甲醚醋酸酯(PGMEA)、乙酸丁酯、乙二醇单甲醚、*N*-甲基吡咯烷酮等物质均有响应。

在 TFT-LCD 工业生产过程中,挥发性有机物主要来源于光刻胶和 PI 液的使用产线、如阵列车间的涂胶(Track)线,彩膜车间的涂布设备线和成盒的 PI 液喷涂线,故检测点位主要设置在这些产线上,如图 2 所示。阵列车间涂胶线使用的光刻胶成分主要是 PGMEA,根据工艺结构,每条

线设置 4 个检测点位,分别是 Robot 区(A1)、涂胶区(A2)、Robot 区(A3)。VCD 抽压区(A4)、彩膜车间使用光刻胶成分比较复杂,有黑色胶(BM)、红绿蓝三色胶(RGB)、OC、PS 等工艺产线,其产线工艺结构与阵列涂胶线相似,每条线也设置 4 个检测点,分别是 Robot 区(B1)、涂胶区(B2)、Robot 区(B3)、VCD 抽压区(B4)。成盒车间使用 PI 液成分主要是 *N*-甲基吡咯烷酮,根据工艺结构,每条线设置 3 个检测点,分别是 Robot 区(C1)、PI 液喷涂区(C2)、Robot 区(C3)。检测点位高度均为 1.5 m 处(呼吸带高度),以分析 VOCs 的分布及模拟人员可能吸入的条件。

4 结果与讨论

4.1 工艺生产线 VOCs 浓度分布

为分析阵列、彩膜、成盒工艺生产车间每条产线 VOCs 的浓度分布情况,分别对 3 个车间其中一条线 1~12 月份的浓度进行监测,结果如图 3 所示。研究表明,阵列和 CF 车间产线 4 个点位浓度分布情况几乎一致,VCD 抽压区(A4、B4) VOCs 浓度最高,VOCs 浓度分布趋势为 $A4 > A3 > A2 > A1$, $B4 > B3 > B2 > B1$ 。分析工艺流程得知,阵列车间产线 Robot 1 的屏流到 Coater 1 进行涂胶,然后通过 Robot 2 把屏放入 VCD1 中进行减压干燥,此工艺端会挥发出大量的有机气体,排放到有机处理系统,由于门和设备外壳闭合处有缝隙,导致(A4)处 VOCs 逸散出来,因此 VCD1 抽压区域的 VOCs 浓度比 Coater 1 区域大。同理,彩膜车间产线和阵列车间产线一样,也是 VCD2 抽压区域的 VOCs 浓度比涂胶区域

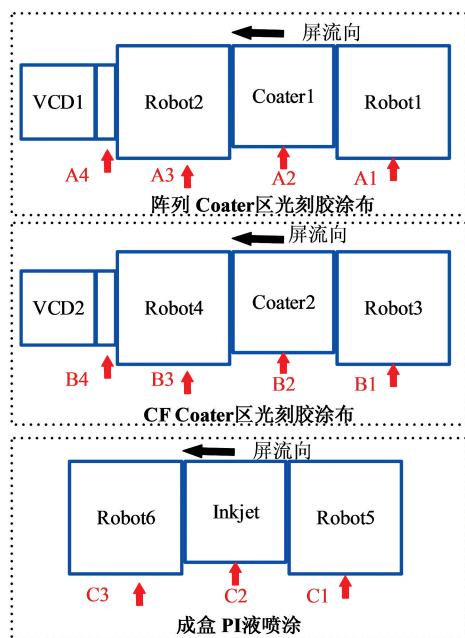
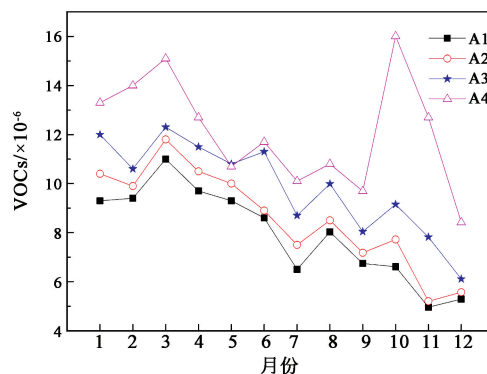


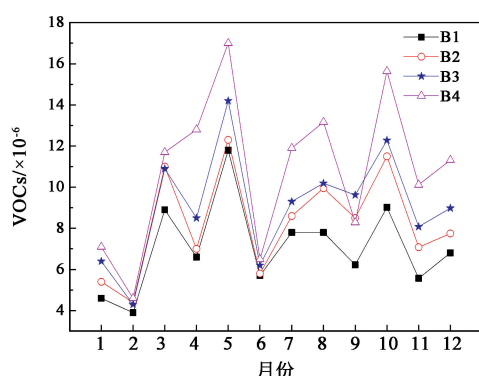
图 2 阵列、彩膜、成盒工艺产线 VOCs 检测点位分布。

Fig.2 Schematic diagram of VOCs detection point distribution of array, CF and cell process lines.



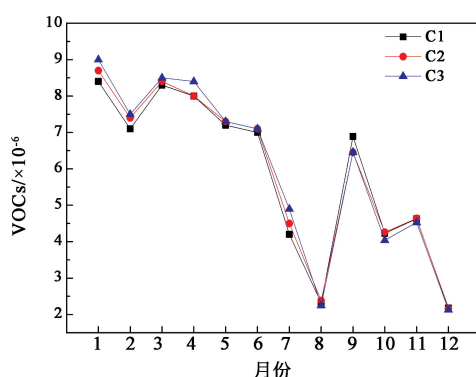
(a)阵列车间

(a) Array workshop



(b)彩膜车间

(b)CF workshop



(c)成盒车间

(c)Cell workshop

图 3 工艺产线 VOCs 浓度分布(1~12 月)

Fig.3 Curves of VOCs concentration distribution of process line (January to December)

(Coater 2)大。成盒车间 3 个点位 VOCs 浓度波动稳定,产线 VOCs 分布较均衡。

4.2 工艺生产车间 VOCs 浓度分布

每条工艺产线挥发出的有机物会通过扩散方式稀释到对应生产车间的各个角落,为了解各主要生产车间的 VOCs 浓度情况,根据国家《公共场所卫生监测技术规范》,采用 ppbRAE3000 手持式 VOC 气体检测仪对阵列、成盒、彩膜 3 个车间所有产线 1~12 月份的 VOCs 浓度进行检测,并得出各车间 VOCs 均值浓度分布,如图 4 所示。阵列车间 VOCs 均值浓度是 3 个车间中最高的,波动范围为 $(4.14 \sim 11.19) \times 10^{-6}$,最大值出现在 3 月份为 1.119×10^{-5} ;彩膜车间浓度次之,为 $(4.56 \sim 9.70) \times 10^{-6}$;成盒车间浓度最低,为 $(1.96 \sim 7.88) \times 10^{-6}$ 。

4.3 产能对生产车间 VOCs 浓度的影响

生产车间 VOCs 浓度受很多因素的影响,例

如产能、胶成分差异、设备密封性能、工艺参数差异等,这些因素都会导致产线 VOCs 浓度出现波动。其中产能是主要影响因素,产能越大,涂胶用量也就越大,洁净间内 VOCs 浓度也就越高。例如 3 月份产能较 2 月产能增加 30%,图 4 中 3 月份的阵列、彩膜、成盒车间 VOCs 均值浓度分别增加了 $(2.05, 1.90, 1.15) \times 10^{-6}$ 。8 月份成盒产线 VOCs 明显降低主要是因为 8 月份生产产能降低约 5%。

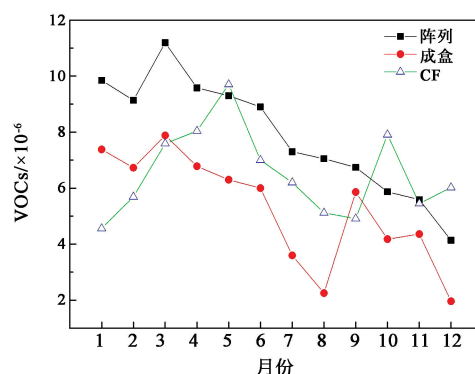


图 4 阵列、成盒、彩膜车间 VOCs 均值浓度(1~12 月)。

Fig.4 Curves of average concentration of VOCs in array, cell and CF workshop (January to December).

4.4 光刻胶成分对生产车间 VOCs 浓度的影响

阵列车间使用的光刻胶成分比较单一,主要成分丙二醇单甲醚醋酸酯(PGMEA)占 80%~90%,酚醛树脂含量为 5%~15%;成盒车间主要使用 PI 配向液,其中 N-甲基吡咯烷酮含量占 64.5%,乙二醇单甲醚占 30%左右;而彩膜车间

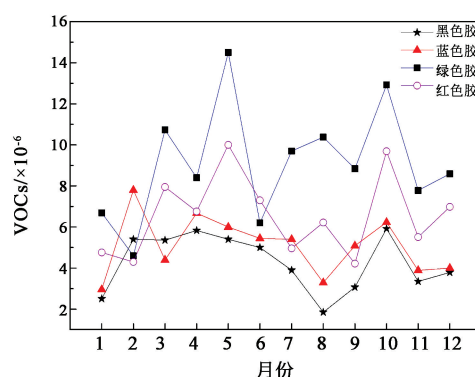


图 5 CF 车间光刻胶产线 VOCs 均值浓度(1~12 月)

Fig.5 Curves of average VOCs concentration of photoresist production lines in CF workshop (January to December)

使用的光刻胶成分比较复杂,有黑胶、红绿蓝(RGB)三色胶、OC 胶、PS 胶等,使得彩膜车间的异味比较特殊,特对其进行研究。

对彩膜车间不同光刻胶产线 VOCs 进行检测,均值浓度如图 5 所示,在 1~12 月这一整年中,绿胶产线 VOCs 均值浓度整体最高,波动范围为 $(4.6\sim14.50)\times10^{-6}$;红胶产线、蓝胶产线次之;黑胶产线浓度最低,1~12 月均值浓度范围为 $(1.85\sim5.92)\times10^{-6}$ 。

从表 1 中可以看出,绿色光刻胶成分中除了含有丙二醇单甲醚醋酸酯、颜料、添加剂、树脂这

些成分外,还含有大量的 3-乙氧基丙酸乙酯和丙二醇单甲醚,这些物质是其他胶不具备的,因而绿胶产线 VOCs 均值浓度偏高可能与这两种成分有关;同时对比红、蓝、黑 3 种颜色光刻胶成分发现,其基本物质组成基本相同,只有 PGMEA 成分有所差异,黑胶 PGMEA 的含量比另外两种胶都少很多,仅占 35%~45%,而红胶、蓝胶分别为 65%~73%和 70%~79%,并且从图 5 中得知,黑胶产线的 VOCs 浓度最低,因而可以得出丙二醇单甲醚醋酸酯的含量对洁净间 VOCs 的贡献率较大。

表 1 彩膜车间光刻胶成分

Tab.1 Composition of photoresist in CF workshop

涂胶名称	CF 胶成分物质质量分数/%						
	丙二醇单甲醚醋酸酯	3-乙氧基丙酸乙酯	丙二醇单甲醚	颜料	添加剂	树脂	基丁基乙酸酯
绿色胶	56~64	15~19	7~13	1~9	2~9	1~8	/
红色胶	65~73	/	/	1~9	5~15	1~9	5~13
蓝色胶	70~79	/	/	1~5	10~19	1~5	/
黑色胶	35~45	/	/	<10	2~12	/	10~20

OC 膜涂胶主要是为了平坦化而增加的一层保护层,PS 光阻涂布主要是为了克服漏光现象,提高 LCD 的对比度。OC 光刻胶主要成分是 60%~80%的丙二醇甲醚醋酸和 5%~30%的二乙二醇甲乙醚;而 PS 光刻胶主要含小于 1%的丙二醇甲醚醋酸、大于 60%的二乙二醇甲乙醚和 10%~25%的多功能单体(EEP)。OC 和 PS 胶

都含有丙二醇甲醚醋酸和二乙二醇甲乙醚两种物质,含量差别明显,图 6 结果表明,这两条生产线的 VOCs 均值浓度也处于较高的水平,OC 线整年均值浓度为 $(4.78\sim12.3)\times10^{-6}$,PS 线更高为 $(4.89\sim12.80)\times10^{-6}$ 。研究表明丙二醇甲醚醋酸和二乙二醇甲乙醚这两种物质都对生产车间的 VOCs 浓度有很大影响。

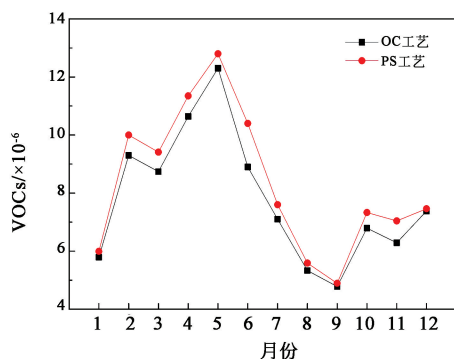


图 6 OC 和 PS 产线 VOCs 均值浓度(1~12 月)

Fig.6 Curves of average VOCs concentration of OC and PS production lines (January to December)

5 生产车间 VOCs 减排工程

生产车间 VOCs 降低的关键点在于源头控制,在无法通过替代、寻找含量低、污染小的原辅材料以及无法对生产设备进行完全密闭处理时,通过采用沸石吸附设备针对目标区域的气流进行收集,然后再用沸石转轮设备集中处理,将是很好的选择^[15]。在前期工作中,先对 3 条工艺产线安装沸石转轮进行试点。图 7 为采用沸石吸附设备针对目标区域的气流进行收集,然后再通过沸石进行吸附处理,吸附处理后的洁净空气直接排放到洁净间内,部分洁净空气经加热器预热后,通过

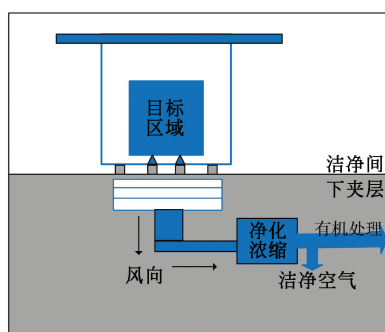
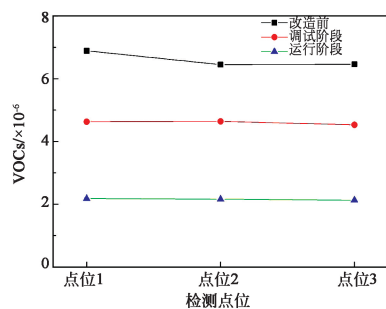


图 7 目标区域气流收集处理示意图

Fig.7 Schematic diagram of air flow collection and treatment in the target area

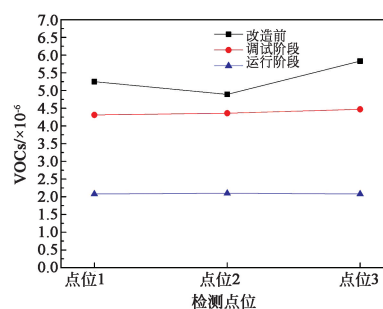
再生风机对沸石进行高温脱附,脱附后的高浓度有机气体排放到屋面 VOCs 处理系统作燃烧处理。立式转轮沸石吸附设备主要有 4 个区域:处理区、再生区、冷却区、加热区。处理区是对洁净间 VOCs 进行吸附的区域;再生区是将附着在沸石上的有机物进行高温解析并脱离的区域;冷却区是将由于高温脱离变热的再生区冷却到洁净室的空气的区域;加热区是将通过冷却区的预热空气加热到再生温度的区域。

为研究此 3 条线 VOCs 浓度在安装沸石转轮设备改造前、改造后调试过程中以及改造后运行阶段的变化情况,对其浓度进行了检测。每条线设置 3 个检测点位(点位 1、2、3),结果如图 8 所示。结果表明,在未安装沸石转轮设备时,1、2、3 号线的 VOCs 平均浓度分别为 $(6.60, 5.32, 5.65) \times 10^{-6}$;调试阶段的 VOCs 平均浓度分别为 $(4.60, 4.38, 4.10) \times 10^{-6}$;运行阶段的 VOCs 平均浓度分别为 $(2.16, 2.09, 1.62) \times 10^{-6}$;在安装沸石转轮设备后,1、2、3 号线的 VOCs 浓度分别降低了 67.27%、60.71%、



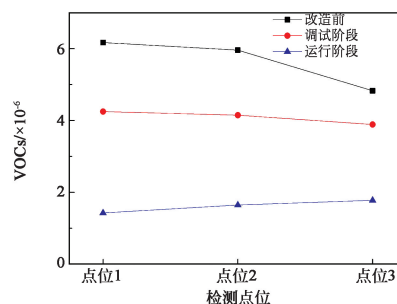
(a)1 号线

(a)Line one



(b)2 号线

(b)Line two



(c)3 号线

(c)Line three

图 8 沸石转轮安装前后 VOCs 浓度

Fig.8 Curves of Concentration of VOCs before and after installation of zeolite runner

71.33%,处理效果显著。

6 结 论

本文研究了国内某 TFT-LCD 制造公司各生产车间 VOCs 浓度分布。结果表明,TFT-LCD 阵列车间 VOCs 均值浓度最高,CF 和成盒车间次之;阵列和 CF 车间生产线 VCD 抽压区域处 VOCs 浓度最高,成盒车间生产线 VOCs 浓度分布较均衡;生产车间内 VOCs 浓度受产能、胶成分差异、设备密封性能、工艺参数差异等因素的影响,其中产能是主要影响因素,产能越大,洁净间内 VOCs 浓度也就越高;光刻胶成分中的 PGMEA、3-乙氧基丙酸乙酯、丙二醇单甲醚、丙二醇甲醚醋酸和二乙二醇甲乙醚等物质是车间 VOCs 的主要来源。

TFT-LCD 生产车间 VOCs 浓度降低的关键在于源头控制,投加沸石转轮吸附设备后,生产车间 VOCs 降低效果明显,可以去除大约 60.71%~71.33%的有机废气,为后续提出降低 VOCs 的处理措施提供理论参考。

参 考 文 献:

- [1] SUN G J, YAO L, JIAO L, *et al.* Characterizing PM_{2.5} pollution of a subtropical metropolitan area in China [J]. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2013, 3(1): 100-110.
- [2] 王艳芳,沙昊雷,於建明. 低浓度 VOCs 废气处理技术进展 [J]. 能源环境保护, 2007, 21(3): 8-12.
WANG Y Y, SHA H L, YU J M. Progress on treatment of the low concentration volatile organic compounds [J]. *Energy Environmental Protection*, 2007, 21(3): 8-12. (in Chinese)
- [3] 杨柏梁. 世界 TFT LCD 产业现状 [J]. 液晶与显示, 2004, 15(2): 154-158.
YANG B L. Current production situation of TFT LCD in the world [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2004, 15(2): 154-158. (in Chinese)
- [4] LIN Y C, CHANG F T. Optimizing operating parameters of a honeycomb zeolite rotor concentrator for processing TFT-LCD volatile organic compounds with competitive adsorption characteristics [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164(2/3): 517-526.
- [5] 喻兰,李少平. 电子化学品在 TFT-LCD 阵列和彩膜工艺中的应用 [J]. 广东化工, 2017, 44(14): 162-164.
YU L, LI S P. Application of electronic chemicals in Array and CF processes of TFT-LCD industry [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2017, 44(14): 162-164. (in Chinese)
- [6] CHENG J H, BARTOS S C, LEE W M, *et al.* SF₆ usage and emission trends in the TFT-LCD industry [J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2013, 17: 106-110.
- [7] 盛守祥,于俊波,徐元宁,等. TFT-LCD 行业废气处置研究 [J]. 中国环保产业, 2019(11): 54-57.
SHENG S X, YU J B, XU Y N, *et al.* Study on waste gas disposal of TFT-LCD industry [J]. *China Environmental Protection Industry*, 2019(11): 54-57. (in Chinese)
- [8] 戴翔,杨雅琴,盛守祥,等. TFT-LCD 行业 VOCs 来源及其处理技术比较 [J]. 环境与发展, 2019, 31(7): 64-65.
DAI X, YANG Y Q, SHENG S X, *et al.* The source and treatment technology of VOCs in TFT-LCD industry [J]. *Environment and Development*, 2019, 31(7): 64-65. (in Chinese)
- [9] 兰伟兴,王伟,欧建华,等. 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分:化学有害因素》(GBZ 2.1—2007)应用情况研究 [J]. 化工技术与开发, 2014, 43(3): 58-62.
LAN W X, WANG W, OU J H, *et al.* Practical application study of occupational exposure limits for hazardous agents in workplace Part 1: Chemical hazardous agents (GBZ 2.1-2007) [J]. *Technology & Development of Chemical Industry*, 2014, 43(3): 58-62. (in Chinese)
- [10] 夏邦寿,张卿川,张绍修,等. 电子工业废气 VOCs 排放特征及防治对策探讨 [J]. 环境与可持续发展, 2014, 39(5): 81-83.
XIA B S, ZHANG Q C, ZHANG S X, *et al.* On emission characteristics and prevention countermeasures of the electronics industry waste VOCs [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2014, 39(5): 81-83. (in Chinese)
- [11] 肖景方,叶代启,刘巧,等. 消费电子产品生产过程中挥发性有机物(VOCs)排放特征的研究 [J]. 环境科学学报, 2015, 35(6): 1612-1619.
XIAO J F, YE D Q, LIU Q, *et al.* Emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from the manufacturing process of consumer electronic products [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, 35(6): 1612-1619. (in Chinese)
- [12] 栾东辉. 洁净厂房内 VOC 控制方案探讨与实施 [J]. 中国房地产业, 2015(8): 223, 258.
LUAN D H. Discussion and implementation of VOC Control Scheme in clean workshop [J]. *Real Estate Information of China*, 2015(8): 223, 258. (in Chinese)
- [13] 盛守祥,俞培培,杜浩,等. TFT-LCD 制造企业 VOCs 排放研究 [J]. 环境与发展, 2018, 30(10): 31-32.
SHENG S X, YU P P, DU H, *et al.* Characteristics of VOCs emission from TFT-LCD factory [J]. *Inner Mongolia Environmental Sciences*, 2018, 30(10): 31-32. (in Chinese)
- [14] 张世豪,李雪梅,丁淮剑,等. 中国显示器件行业 VOCs 排放特征及控制对策 [J]. 环境科学研究, 2018, 31(11):

1827-1834.

ZHANG S H, LI X M, DING H J, *et al.* VOCs emission characteristics and control strategy for display industry in China [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, 31(11): 1827-1834. (in Chinese)

- [15] 曹利, 连子, 黄学敏. MnCeO_x /沸石催化剂对工业典型 VOCs 的催化性能 [J]. 环境工程, 2020, 38(1): 48-53.

CAO L, LIAN Z, HUANG X M. Catalytic performance of typical VOCs over MnCeO_x /Zeolite catalyst [J]. *Environmental Engineering*, 2020, 38(1): 48-53. (in Chinese)

作者简介:



高 齐 (1992—), 男, 安徽淮南人, 硕士, 工程师, 2018 年于上海大学获得硕士学位, 主要从事 TFT-LCD 行业 VOCs 防治及治理方面的研究。E-mail: 873996152@qq.com



盛守祥 (1985—), 男, 安徽安庆人, 硕士, 高级工程师, 2010 年于中国矿业大学(北京)获得硕士学位, 主要从事 TFT-LCD 行业废气处理、VOCs 减排方面的研究。E-mail: xyz4718@163.com