



移动扫码阅读

袁礼,徐昕.柔性电路板(FPC)废气处理工程实例分析[J].能源环境保护,2021,35(3):53-59.

YUAN Li, XU Xin. Case study on a waste gas treatment project in flexible printed circuit(FPC)[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(3): 53-59.

柔性电路板(FPC)废气处理工程实例分析

袁礼¹, 徐昕²

(1.昆明理工大学 环境科学与工程学院,云南 昆明 650500;2.中煤科工集团杭州研究院有限公司,浙江 杭州 311201)

摘要:根据某柔性电路板企业产生的废气污染物成分特征,分别采用布袋除尘器、活性炭吸附、碱液洗涤塔、水洗塔、液碱+次氯酸钠洗涤塔净化。该工程总投资为270万元,年运行成本为198.96万元。排气硫酸雾、盐酸雾、氮氧化物、甲醛、含氮废气、氰化氢、含锡废气、有机废气、粉尘浓度分别为0~0.10、0.01~1.36、0~0.53、0.02~0.05、0.48~0.66、0.02~0.13、0.75~2.35、0.846~2.505、1.47~2.56 mg/m³。

关键词:柔性电路板;废气;处理工艺;工程实例

中图分类号:X701

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)03-0053-07

Case study on a waste gas treatment project in flexible printed circuit(FPC)

YUAN Li¹, XU Xin²

(1. Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 2. Hangzhou Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

Abstract: According to the characteristics of the waste gas produced by a flexible printed circuit(FPC) company, the bag filter, activated carbon adsorption, lye scrubber, water scrubber, liquid caustic + sodium hypochlorite scrubber were used to treat the waste gas. The total investment of the project was 2.7 million yuan, and the annual operation cost was 1.989 6 million yuan. The concentrations of sulfuric acid mist, hydrochloric acid mist, nitrogen oxides, formaldehyde, ammonia-containing waste gas, hydrogen cyanide, tin-containing waste gas, organic waste gas, and dust in the waste gas were 0~0.10, 0.01~1.36, 0~0.53, 0.02~0.05, 0.48~0.66, 0.02~0.13, 0.75~2.35, 0.846~2.505, and 1.47~2.56 mg/m³.

Key Words: Flexible printed circuit; Waste gas; Treatment process; Engineering example

0 引言

柔性电路板(FPC)是 Flexible Printed Circuit 的简称,又称软性线路板和挠性电路板。它是连接用于电子部件的基板和电子产品信号传输的介质。具有布线密度高、超薄、超轻、可折叠、装配灵活性高等优点。可在三维空间中自由移动和扩展,易于实现组件装配和导线连接的一体化^[1]。

随着手机、电脑、数码相机等消费类电子需求日益增长,加之产品功能越来越强大,FPC 市场需求也随之增加。根据市场调研结果可知,预计至2022年全球FPC的产值将达149亿美元,年复增长率达到3.87%,成为PCB行业中发展最快的子行业之一,在高端电子产品的运用占比越来越大^[2]。

柔性电路板包括双面板、四层板、六层 HDI 板。柔性电路板生产所用覆铜板为聚酰亚胺覆铜

板。在柔性电路板生产过程中会产生大量有刺激性和部分有剧毒的废气。为保证车间内的空气质量及室外自然环境不受污染,须对生产车间的废气进行收集、治理后才可以给予排放,否则会对大气环境造成严重的污染^[3]。目前大多数研究和报道废气治理工艺主要为 PCB 的废气治理工艺,而对 FPC 的废气治理工艺鲜有报道。尽管 FPC 行业属于 PCB 行业的子行业之一,但因其生产流程和工艺的不同,造成其污染物排放的大小和浓度也不同。本文以某 FPC 企业废气处理工程为例,对其废气来源与特征、工艺设计、工程运行效果分析进行介绍,以期对其他 FPC 企业的废气处理提供范例。

1 废气来源与特征

某 FPC 企业主要从事 FPC 生产加工,基于线路板生产工艺中需要用到若干种原料及化学药剂,从而产生了大量的废气。FPC 项目主要生产工艺为钻孔、酸洗、微蚀、酸性蚀刻、黑孔、化学沉铜、镀金、阻焊、文字印刷,其主要产生的废气污染物为粉尘、硫酸雾、盐酸雾、硝酸雾、甲醛废气、含氨废气、含氰废气、有机废气(VOCs)、含锡废气^[4-5]。该项目工艺生产过程产生的废气及产污工序详见表 1。

该企业废气污染源特征:污染物废气量较大、浓度较低、溢散空间较大和捕集较困难。废气成份较多,部分可溶于水(如硫酸雾、甲醛和氨气),污染因子浓度差异较大。

表 1 项目工艺生产过程产生的废气和产污工序

Table 1 Waste gas and pollution production process of the project process

序号	废气类型	产生工序
1	粉尘	各生产车间裁板、钻孔等工序
2	硫酸雾	硫酸酸洗、除油、微蚀等工序产生
3	盐酸雾	各生产车间酸性蚀刻生产蚀刻工序
4	硝酸雾	电镀铜剥挂架工序
5	甲醛废气	化学沉铜工序
6	含氨废气	底版显影工序
7	含氰废气	化学镀金工序
8	有机废气	绿油阻焊、烘干及文字印刷、回流焊
9	含锡废气	回流焊工序

本废气处理工程对于废气污染物因子的排放标准要求具体如表 2 所示^[6-8]。

表 2 电镀废气和其它工艺废气执行排放标准

Table 2 The emission standards for electroplating waste gas and other process waste gas

序号	污染物	最高允许 排放浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	排气筒高 度/m	执行标准
1	氨气	8.7	20	《恶臭污染物排放标准》 (GB 14554—1993)
2	氯化氢	30	20	
3	硫酸雾	30	20	《电镀污染物排放标准》
4	氰化氢	0.5	25	(GB 21900—2008)
5	氮氧化物	200	20	
6	颗粒物	120	20	
7	甲醛	25	20	《大气污染物综合 排放标准》
8	VOCs	120	20	(GB 16297—1996)
9	含锡废气	8.5	20	

注:排放含氰化氢气体的排气筒高度不低于 25 m;其它排气筒高度不低于 20 m。排气筒高度应高出周边 200 m 半径范围内建筑 5 m 以上,不能达到该要求高度的排气筒,应按排放浓度限值的 50% 执行。VOCs 参照执行非甲烷总烃排放标准。

2 工艺设计

目前 PCB 废气处理工艺为:粉尘的去除主要通过喷气式集尘机收集;硫酸雾、氯化氢采用气液逆向吸收方式处理;非甲烷总烃主要采用活性炭吸附处理^[9-10]。与 PCB 废气相比,FPC 废气污染物浓度偏低,所需风量偏低,同时所产生的电费和药剂费也降低。本项目粉尘采用中央集尘,主机安装在室外,室内噪音低,减少噪音污染,采用外循环原理,无二次污染,管理方便;有机废气和含锡废气采用旋流塔和活性炭吸附净化,与直接采用活性炭吸附法处理相比,本工程工艺通过旋流塔降低了有机废气的温度,去除大颗粒有机物,从而提高活性炭的吸附效果,延长活性炭的使用寿命。本废气处理工程工艺选择如下所述。

2.1 净化工艺的选择依据

净化工艺的选择应结合考虑以下六点:处理废气量大小;部分废气是否有回收利用的价值;净化程度的要求;投资及运行的经济性;系统运行的安全可靠;系统设置的占地面积及载重。

2.2 处理工艺的选择

根据表 1 可知,该废气处理工程生产过程中共产生 9 类工艺废气,各废气处理系统风量和入口浓度见表 3。

表 3 各废气处理系统风量和入口浓度

Table 3 Air volume and inlet concentration of each waste gas treatment system

系统	废气来源	风量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	污染物	入口浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	去除效率/%
SCR01	VCP 线、黑孔线、除胶渣线、 PHT 线、等离子清洗机	42 000	硫酸雾	≤ 2.32	≥ 90
			盐酸雾	≤ 0.08	≥ 70
SCR02	DES 线、棕化线、中粗化线、OSP 线、 化学清洗线、除胶渣线、PHT 线	42 000	硫酸雾	≤ 0.38	≥ 90
			盐酸雾	≤ 4.76	≥ 80
			甲醛	≤ 0.19	≥ 70
SCR03	镍钯金线、化学镍金线、水洗线、喷砂线、 磨板线、COB 板清洗线、化学实验室	51 000	硫酸雾	≤ 0.46	≥ 90
			盐酸雾	≤ 6.17	≥ 80
			氮氧化物	≤ 6.43	≥ 80
SCR04	油墨显影线、化学清洗线	13 500	氨气	≤ 6.58	≥ 80
SCR05	镍钯金线、化学镍金线	9 000	氰化氢	≤ 0.65	≥ 80
VOC01	快压车间、印刷房、烘烤房、SMT 车间	36 000	Sn	≤ 12.5	≥ 90
			VOCs	≤ 23.6	≥ 80
VOC02	印刷房、压膜房、光绘室、配装车间、物理实验室	28 000	VOCs	≤ 25.18	≥ 90
VOC03	烘烤房、印刷房、网板房	34 800	VOCs	≤ 12.72	≥ 90
VOC04	印刷房、AOI 车间	19 200	VOCs	≤ 13.91	≥ 90
钻孔集尘	裁板间、钻孔车间	10 200	颗粒物	≤ 28.96	≥ 90

2.2.1 粉尘

本项目处理的粉尘为树脂纤维和铜粉,其主要产生于裁板、钻孔工序。除尘工艺对三种除尘器进行经济技术分析,各除尘器对比分析表见表 4。

表 4 各除尘器对比分析

Table 4 Comparative analysis of each dust collector

序号	比较项	布袋除尘器	湿式除尘器	静电除尘器
1	能耗	高	高	高
2	操作	操作方便	操作较方便	复杂
3	占地	中	小	大
4	安装	简单	简单	较复杂
5	投资	高	较高	较高
6	回收利用	利用率高	利用率较低	利用率较高
7	压力损失	中	高	低
8	产物收集	无污染	污水和污泥	无污染
9	处理效果	稳定达标	稳定达标	稳定达标

综合以上因素,并结合本项目产生的粉尘特性,从经济上以及工艺可行性上考虑,选用布袋除尘器更为适宜。收集的粉尘将作为危废委托相关资质单位进行处置。

产生的粉尘通过集气管道收集后进入布袋除尘器进行处理,在布袋除尘器处理后经 20 m 高排气筒排放。

2.2.2 酸性废气

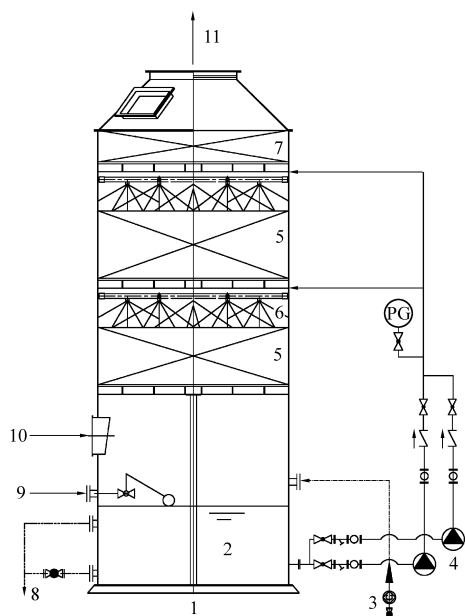
酸性废气(包括硫酸雾、氯化氢、氮氧化物)主

要产生于 DES 线、OSP 线、棕化线、黑孔线、化学沉铜、电镀铜线和化学镍金等生产线酸洗和蚀刻工序。项目 DES 线和黑孔线、OSP、棕化线均为水平生产线,电镀铜线、化学镍金、化学沉铜均为垂直生产线。水平生产线的设备在生产过程中基本处于密封状态,垂直生产线均安装玻璃伸缩门进行密闭。各生产线废气产生点均设置废气收集系统,废气收集系统按种类进行收集。

对上述酸性废气采用碱液洗涤的方式进行处理,利用酸碱中和原理进行酸性废气的治理。

洗涤塔原理如下:洗涤塔内设气流分配板、特拉瑞德花环、螺旋喷嘴,120° 喷洒洗涤液^[11]。气体由洗涤塔的下部进入,从下往上通过填料层,与上部喷下的洗涤液相接触混合。填充材料具有较高的比表面积,使气体液体的停留时间增长的填充滤材,确保塔内的气流均匀分布并使气液完全接触。同时填充滤材应有适当的空隙以减少气流上升的阻力,减少洗涤塔的压力损失。经洗涤塔洗涤处理后,酸性废气与碱性洗涤液发生中和反应,达标排放。废气洗涤塔装置示意图见图 1。

每套收集系统收集后引至楼顶采用碱液洗涤塔净化处理后经 20 m 排气筒排放。产生的废水汇入综合废水管道然后进入该厂污水处理站综合废水收集池进行处理。



1.喷淋塔;2.循环液池;3.加药泵;4.循环水泵
5.填料层;6.喷淋系统;7.除雾层;8.排水口
9.进水口;10.废气入口;11.废气出口

图1 废气洗涤塔装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the waste gas scrubber device

2.2.3 甲醛废气

甲醛废气主要产生于化学沉铜工序,另外该生产线中产生的废气还有酸洗、微蚀等过程产生的硫酸雾废气,且甲醛自身也易溶于水。因此,对甲醛废气采用碱液洗涤的方式进行处理。

产生的甲醛废气经集气罩收集后与酸性气体一并进入碱液洗涤塔进行净化处理后经 20 m 排气筒排放。产生的废水汇入综合废水管道然后进入该厂污水处理站综合废水收集池进行处理。

2.2.4 含氨废气

由于含氨废气与酸性废气中的氯化氢混合后反应生成氯化铵,时间久了会在管道内结晶和堵塞喷淋塔填料孔,缩短喷淋塔使用寿命。因此,含氨废气需要单独收集处理。因本项目氨气浓度低 ($\leq 6.58 \text{ mg/m}^3$),所以含氨废气采用水进行洗涤

净化处理。

产生的含氨废气经收集后进入水洗涤塔净化处理后经 20 m 排气筒排放。产生的废水汇入综合废水管道然后进入该厂污水处理站综合废水收集池进行处理。

2.2.5 含氰废气

氰化氢属于剧毒类,有毒废气必须单独收集处理^[12]。因此,本项目镀金工艺产生的含氰废气需采用单独管道收集处理后,进入专用净化装置进行处理。本项目含氰废气治理采用次氯酸钠洗涤处理,洗涤塔运行原理与 2.2.2 节所述一致。其反应原理如下: $\text{NaClO} + \text{HCN} = \text{NaCl} + \text{N}_2 + \text{CO}_2$

产生的含氰废气经专用管道收集后采用碱液+次氯酸钠两层喷淋的洗涤塔净化处理后经 25 m 排气筒排放。产生的含氰废水汇入含氰废水管道然后进入该厂污水处理站含氰废水收集池进行处理。

2.2.6 有机废气和含锡废气

在回流焊工序会产生有机废气和含锡废气,绿油阻焊、烘干和文字印刷等工序均会产生有机废气。有机废气一般处理方法有吸收法、活性炭吸附法、催化燃烧法、焚烧法和冷凝法等方法^[13-14]。吸收法是以液体为吸收剂,通过吸收装置使废气中的有害成分被液体吸收,达到净化废气的目的。活性炭吸附法是利用活性炭内部的微孔,将废气中的一种或几种组分浓集在固体表面,从而与其它组分分开^[15]。吸附时间长了之后活性炭吸附剂会逐渐饱和,需要进行再生或更换。催化燃烧是典型的气-固相催化反应,通过催化剂可使有机废气在较低的起燃温度条件下,发生无焰燃烧,并氧化分解为 CO_2 和 H_2O 。焚烧法主要利用有机气体在高温下可以燃烧转化为 CO_2 和 H_2O 的原理,将有机废气在高温下分解为无毒的水和二氧化碳。冷凝法主要是利用有机物具有不同的露点温度,其组分会依次被冷凝成液态而分离出来。五种主要方法比较见表 5。

表 5 五种有机废气处理方法适用性、技术特性比较

Table 5 Comparison of applicability and technical characteristics of five VOCs treatment methods

序号	比较项	吸收法	活性炭吸附法	催化燃烧法	焚烧法(直燃)	冷凝法
1	风量	小	小-大	小-中	小-大	小
2	温度	常温	常温	200 ℃	700~800 ℃	低温(一般零下)
3	成分浓度	高浓度	适用低-高浓度	适宜于中、高浓度	适宜于高浓度	高浓度
4	设备费用	中等	中等	高	高	高
5	运行费用	低	低	高	高	高
6	二次污染	有	有	无	无	无
7	实际应用	常见	常见	常见	常见	少
8	处理效果	>90%	>90%	>90%	>98%	一般不单独应用

由上表可知,五种方法中活性炭吸附法处理成本低廉,方法成熟,实际应用也较多。因本项目的有机废气风量大和产生浓度低($\leq 25.8 \text{ mg/m}^3$),从经济上以及工艺可行性上考虑,采用活性炭吸附法更为适宜。活性炭的更换频率为半年更换一次。更换产生的废活性炭将作为危废委托相关资质单位进行处置。

产生的含锡废气与有机废气一并进入湿式旋流塔,降低有机废气的温度和去除大颗粒有机物以利于提高活性炭的吸附效果,然后利用活性炭的吸附性,净化处理后经 20 m 排气筒排放。产生的有机废水汇入有机废水管道然后进入该厂污水处理站有机废水收集池进行处理。

各废气处理系统具体工艺流程见图 2。

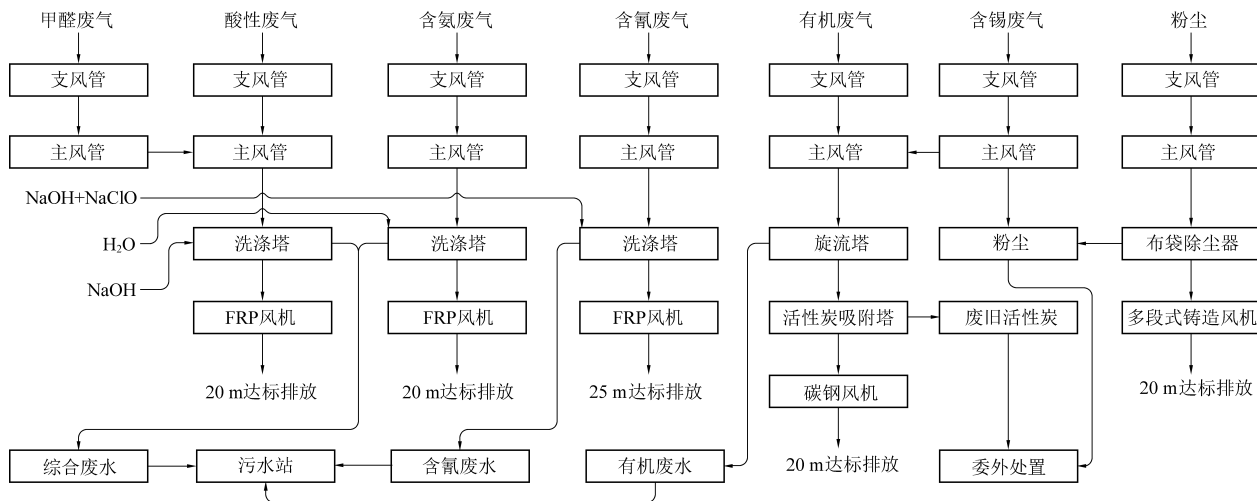


图 2 FPC 废气处理工艺流程图

Fig.2 FPC waste gas treatment process

2.3 废气处理设备细明表

表 6 主要系统及处理设备一览表

Table 6 List of main systems and processing equipment

系统	风机	泵浦 (一用一备)	主要处理设备
SCR01	FRP-37 kW	CFR-PP-7.5 kW	填料塔 $\phi 2\ 800 \text{ mm} \times 5\ 200 \text{ mm}$
SCR02	FRP-37 kW	CFR-PP-7.5 kW	填料塔 $\phi 2\ 800 \text{ mm} \times 5\ 200 \text{ mm}$
SCR03	FRP-45 kW	CFR-PP-7.5 kW	填料塔 $\phi 3\ 200 \text{ mm} \times 5\ 200 \text{ mm}$
SCR04	FRP-11.5 kW	CFR-PP-3.75 kW	填料塔 $\phi 1\ 600 \text{ mm} \times 5\ 200 \text{ mm}$
SCR05	FRP-7.5 kW	CFR-PP-3.75 kW	填料塔 $\phi 1\ 500 \text{ mm} \times 6\ 000 \text{ mm}$
VOC01	37 kW	CFR-PP-7.5 kW	旋流塔 $\phi 2\ 600 \text{ mm} \times 6\ 000 \text{ mm}$ 活性炭吸附箱 $3\ 400 \text{ mm} \times 2\ 200 \text{ mm} \times \text{H}2\ 400 \text{ mm}$
VOC02	30 kW	CFR-PP-7.5 kW	旋流塔 $\phi 2\ 200 \text{ mm} \times 6\ 000 \text{ mm}$ 活性炭吸附箱 $2\ 800 \text{ mm} \times 2\ 000 \text{ mm} \times \text{H}2\ 400 \text{ mm}$
VOC03	37 kW	CFR-PP-7.5 kW	旋流塔 $\phi 2\ 500 \text{ mm} \times 6\ 000 \text{ mm}$ 活性炭吸附箱 $3\ 200 \text{ mm} \times 2\ 200 \text{ mm} \times \text{H}2\ 400 \text{ mm}$
VOC04	18.5 kW	CFR-PP-5.5 kW	旋流塔 $\phi 1\ 900 \text{ mm} \times 5\ 800 \text{ mm}$ 活性炭吸附箱 $2\ 400 \text{ mm} \times 2\ 000 \text{ mm} \times \text{H}2\ 000 \text{ mm}$
钻孔集尘	多段式铸造 37 kW(2)	/	布袋除尘器 $\phi 1\ 900 \text{ mm} \times \text{H}4\ 600 \text{ mm}(2)$

3 工程运行效果分析

3.1 运行情况

该废气处理工程于 2017 年 10 月调试完成并

投入使用,系统运行稳定,处理效果可靠。图 3 和图 4 分别为连续两天,每天监测 3 次的各处理系统废气入口浓度和出口浓度的监测数据。

由图 4 可以看出各处理系统废气出口浓度:

硫酸雾浓度为 $0 \sim 0.10 \text{ mg/m}^3$, 氯化氢浓度为 $0.01 \sim 1.36 \text{ mg/m}^3$, 氮氧化物浓度为 $0 \sim 0.53 \text{ mg/m}^3$, 甲醛浓度为 $0.02 \sim 0.05 \text{ mg/m}^3$, 氨气浓度为 $0.48 \sim 0.66 \text{ mg/m}^3$, 氰化氢浓度为 $0.02 \sim 0.13 \text{ mg/m}^3$, 含

锡废气浓度为 $0.75 \sim 2.35 \text{ mg/m}^3$, VOCs 浓度为 $0.846 \sim 2.505 \text{ mg/m}^3$, 粉尘浓度为 $1.47 \sim 2.56 \text{ mg/m}^3$, 各项指标均低于排放限值, 达到设计要求和预期目的。

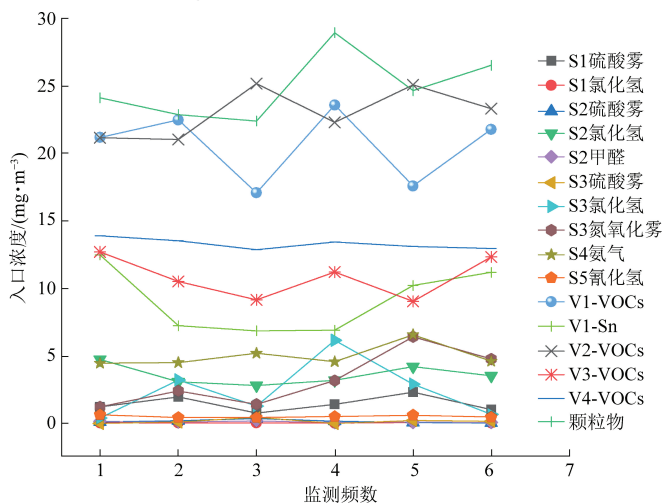


图 3 各处理系统废气入口浓度

Fig.3 Inlet concentration of waste gas in each treatment system

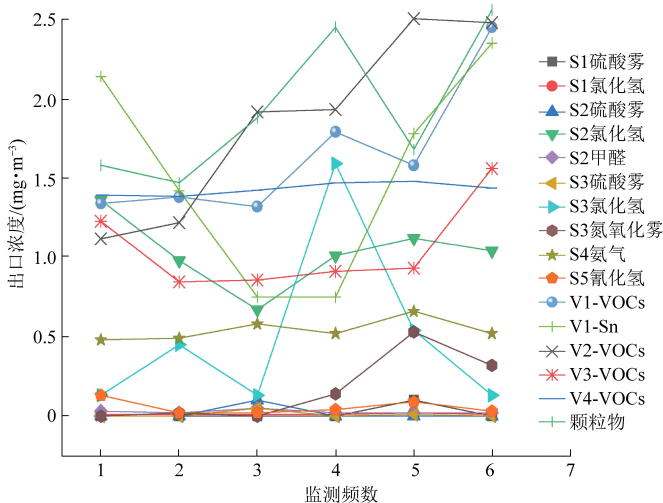


图 4 各处理系统废气出口浓度

Fig.4 Outlet concentration of waste gas in each treatment system

3.2 运行管理

本废气处理系统在运行中采用智能化的操作方式,对运行情况实行全程监控,实时显示系统的运行状态和参数,并设有报警功能。在运行过程中遇到风量风压的变化,经压差变送器将信号传递给控制系统,通过自动控制变频器调节风机功率,从而节能降耗^[16]。系统的保养维护点较少,主要是对喷淋塔系统的水箱定期换水(更换频率为 2 次/月,一次更换量为 42 m^3)、pH 和 ORP 值进行记录,对活性炭吸附箱的压差值进行记录和定期更换活性炭(更换频率 2 次/年,一次更换量为 10 吨),对电机上油及电箱除尘等。系统在运行中发生故障的概率很低。

3.3 投资与运行成本分析

该项目总投资 270 万元,年运行费用 198.96 万元。运行费用主要包括药剂费、电费、自来水费、污水处理费、活性炭费和人工费。年运行费用计算见表 7 和各项费用占比见图 5。由图 5 可以看出,其年运行费用主要费用为电费,占比为 90.9%,所以应该积极对其成本进行控制。本废气处理设备各系统风机均采用国家高效节能电机和变频控制。在日常生产中需做到以下 3 点来减少相应的电费支出,从而控制年运行成本:将变频器频率调至车间所需风量;定期对设备进行维护,减少压力损失,使风机处于优良工作工段,确保废气设备高效的运行;现场已经对相近的两套有机废气进行

了管路并联,当其中一套废气设备风量需求较小时,切换阀门,开一套处理废气系统即可。

表 7 年运行费用

Table 7 Annual operating cost

序号	项目名称	数量	单位	单价/元	总价/万元	备注
1	药剂费	21.00	吨	1 000	2.10	0.05 t/d,以 300 天工作日,30%工业级 NaOH(1 000 元/t),0.01 t/d,10%NaClO(2 000 元/t),按 NaOH 计
2	电费	2 260 800.00	千瓦·时	0.8	180.86	392.5 kW,以 300 天工作日,实际能耗以 80%计算
3	自来水费	1 350.00	吨	3.7	0.50	更换频次:2 次/月,每次 42 m ³ ,以 300 天工作日,实际能耗以 150%计算
4	污水处理费	900.00	吨	5.5	0.50	更换频次:2 次/月,每次 42 m ³ ,以 300 天工作日
5	活性炭	20.00	吨	3 500	7.00	更换频次:2 次/年 材质:煤质活性炭 粒度:Φ4 碘值:≥800 mg/g 水份:≤10% 灰分:≤10%
6	其它耗材	/	/	/	2.00	油漆、皮带、机油等
7	人工费	12.00	月	5 000	6.00	驻厂,1 人(5 000 元/月)
8	运行费用合计	/	/	/	198.96	/

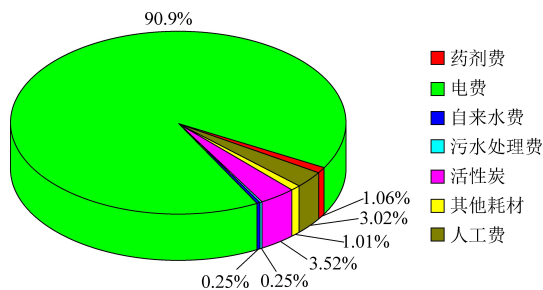


图 5 各项费用占比

Fig.5 Proportion of each expense

4 结论

本工程结构主要采用聚丙烯材料和钢结构材料,构筑物占地面积小,使得整个废气处理工艺更加紧凑,便于设备的运营和管理。该设备自动化程度高,设备配备稳定可靠的 ORP 仪表、pH 仪表、脉冲自动喷吹系统和自动卸料系统,可最大限度地降低劳动力,显著提高废气处理效率和处理设施运行的稳定性。

根据该 FPC 厂的废气排放指标的控制情况,粉尘采用布袋除尘器净化,有机废气和含锡废气采用旋流塔和活性炭吸附净化,酸性废气和甲醛均采用碱液洗涤净化,含氨废气采用水洗涤净化,含氰废气采用液碱+次氯酸钠洗涤净化的工艺来净化废气,具有良好的环境效益。排气硫酸雾 $\leq 0.1 \text{ mg/m}^3$ 、盐酸雾 $\leq 1.36 \text{ mg/m}^3$ 、氮氧化物 $\leq 1.74 \text{ mg/m}^3$ 、氨气 $\leq 0.66 \text{ mg/m}^3$ 、甲醛 $\leq 0.11 \text{ mg/m}^3$ 、氰化氢 $\leq 0.13 \text{ mg/m}^3$ 、有机废气 $\leq 2.45 \text{ mg/m}^3$ 、含锡废气 $\leq 2.35 \text{ mg/m}^3$ 、颗粒物 $\leq 2.56 \text{ mg/m}^3$,各项指标均达到相应排放标准。

参考文献

- [1] 张家亮. 全球绕性印制板的市場及其技术研究 [J]. 印制电路信息, 2011 (10): 7-15.
- [2] 编辑部. FPC 市场分析及全球主要企业简述 [J]. 印制电路资讯, 2020 (2): 28-43.
- [3] 幸毅明, 李铭珊, 杨婧, 等. 印制电路板清洁生产最佳可行技术以及污染减排研究 [J]. 环境工程, 2015, 33 (7): 135-138.
- [4] 庄焕镇. 印制电路板产污环节分析及清洁生产研究 [J]. 资源节约与环保, 2014 (1): 53-54.
- [5] 王春艳, 王帅, 汪海鹏, 等. 工业有机废气污染的主要危害及防治策略 [J]. 环境与发展, 2018, 30 (11): 49-50.
- [6] GB 21900—2008. 电镀污染物排放标准 [S].
- [7] GB 16297—1996. 大气污染物综合排放标准 [S].
- [8] GB 14554—1993. 恶臭污染物排放标准 [S].
- [9] 吴嘉玲. 广东省印制电路板行业污染现状与治理技术 [J]. 广东化工, 2013, 40 (16): 254-255.
- [10] 陈义. PCB 行业废气治理项目工艺设计与应用 [J]. 绿色科技, 2019 (8): 89-90+92.
- [11] 陈大昌, 魏建华, 刘乃鸿, 等. 塔填料的工业应用及评价 [J]. 化学工程, 1995, 23 (3): 15-23.
- [12] GB 50814—2013. 电子工程环境保护设计规范 [S].
- [13] 陈哲铭, 夏友超, 邵小林. 挥发性有机废气治理技术发展分析 [J]. 资源节约与环保, 2015 (4): 112-113.
- [14] 刘立忠. 大气污染控制工程 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2015: 223-235.
- [15] 近藤精一, 石川达雄, 安部郁夫. 吸附科学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 228-238.
- [16] 李健东. 基于 PLC-模糊 PID 气力除尘控制系统在家具车间应用中的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008: 1-6.