

# 聚丙烯填料塔应用于 PCB 废气净化的工程实践

吴分苗 胡小吐 梁晓宁

(广州市中绿环保有限公司, 广州 510655)

**摘要** 填料塔洗涤吸收净化工艺不单应用在化工领域,在低浓度工业废气净化方面也能很好地发挥作用。工程实践表明,合理的系统工艺和塔体设计,是保证净化效果的前提。在此浅述聚丙烯填料塔应用于 PCB 废气净化的工艺设计以及工程问题。

**关键词** 填料塔 烟气净化

## 1 引言

随着印制电路板 (PCB) 产业的不断发展,高技术污染问题日益突出,因其污染物多为复合型,不为大多数人所认识,具有较高的毒害性。废气污染是 PCB 行业主要污染之一,因此,寻求一种高效率、低成本的有毒有害废气污染物治理技术,成为我们研究及工程实践的努力方向。

## 2 废气来源及特性

印制电路板生产工序复杂,较典型的主要有 4 个工序产生废气:(1)酸性蚀刻工序和酸洗工序均使用了硫酸及盐酸溶液,有酸性气体挥发出来。(2)碱性蚀刻工序中,使用了碱性氯化铜蚀刻液,其基本成分为氯化铜、氯化铵、氨水,该工序有氨气挥发出来。(3)印刷工序使用了油墨,含有少量苯和二甲苯气体挥发出来。(4)在热风整平焊锡工序,使用了松香焊剂,有松香烟气产生。

实际上挥发性气体污染涉及生产工序的每个过程,包括黑化处理、化学铜、整板电镀、弱蚀、树脂粗化、除粘污、整板电镀后处理、焊锡热风整平、蚀刻、涂布前处理、显像、树脂粗化、镀金前处理、无电解镀金、电解镀金、镀金后处理以及水溶性装置等都需配以稳定的排风系统。本研究以处理风量为  $20\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$  的散堆填料塔为例,介绍聚丙烯 (PP) 填料塔应用于 PCB 废气净化的工程实践。

## 3 工艺设计

### 3.1 工艺条件

处理风量  $20\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$ ; 废气特性  $5\%$  HCl 废气; 工作压力  $-1.8\ \text{kPa}$ ; 废气温度  $25\ ^\circ\text{C}$ 。

### 3.2 工艺流程

工艺废气由专用废气收集系统收集后,进入填料

塔进行洗涤吸收,在填料塔中废气与吸收液充分接触,废气中有害污染物被充分吸收,从而使废气得以净化。净化气通过塔后段的除雾段去除气体中的水分,最终处理后的废气由风机输送并经排气筒排放,吸收液应及时定期更换,废液经厂内排水系统进入污水处理站处理。废气净化工艺流程如图 1,填料塔系统见图 2。

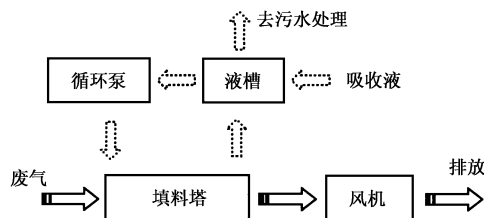


图 1 废气净化工艺流程图

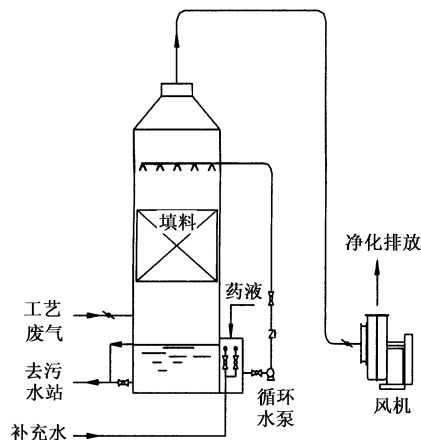


图 2 填料塔系统示意图

### 3.3 塔体设计

塔体整体结构设计采用聚丙烯板材制作。聚丙烯产品具有:质轻、无毒、耐腐蚀、绝缘、耐磨、易加工及良好的机械和耐温性能。还具有整体性强、表面平整平滑有光泽等特点,其主要物理性能如表 1。

#### 3.3.1 填料的选择

填料的选择应满足以下几个基本要求:(1) 具有较大的比表面积和良好的润湿性;(2) 较高的空隙率;(3) 气流阻力小;(4) 耐腐蚀、机械强度大、稳定性好、质量轻、造价低。近年在低浓度废气净化中常用的有 PP、PVC 耐酸碱填料,典型的结构有海胆型、特拉瑞、双星球、花环型等。设计采用直径为 Dg51 型的花环 PP 填料。聚丙烯花环填料几何特性数据见表 2。

表 1 聚丙烯板主要物理性能

项目	指标
密度/ $\text{g cm}^{-3}$	0.89 ~ 0.92
拉伸强度(纵、横)/MPa	23.0
冲击强度(纵、横)/ $\text{kJ m}^{-2}$	8.0
弯曲强度(纵、横)/MPa	32.0
维卡软化温度/	135
加热尺寸变化率(纵、横) %	$\pm 4.0$
160 $\pm 2$ 整体性能	不裂开,无分层,不起泡
	40 %NaOH 溶液 $\pm 2.0$
	40 %HNO <sub>3</sub> 溶液 $\pm 3.0$
60 $\pm 2$ 时腐蚀度/ $\text{g cm}^{-2}$	30 %H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液 $\pm 2.0$
	35 %HCl 溶液 $\pm 4.0$

表 2 聚丙烯花环填料几何特性

外径 $\times$ 高 $\times$ 厚/mm	堆积个数 /个 $\text{m}^{-3}$	堆积密度 /kg $\text{m}^{-3}$	比表面积 /m <sup>2</sup> $\text{m}^{-3}$	空隙率 /m <sup>3</sup> $\text{m}^{-3}$
51 $\times$ 19 $\times$ 3 $\times$ 3	25 000	103	180	0.89

### 3.3.2 吸收剂的选择及用量

吸收液的选择应根据废气中有毒有害的成分、工厂的具体情况、经济效益等因素综合考虑,在低浓度废气污染治理中,水是最常用的不可缺少的洗涤剂,为了提高效率,常在水中添加一定比例的吸收剂作为吸收液。

本设计采用 5 %氢氧化钠水溶液作为吸收液。

吸收剂用量确定主要取决于适当的液气比,液气比的大小由设备投资和运行费用两个因素决定,工业上一般取最小液气比的 1.1 ~ 2 倍。

### 3.3.3 液泛气速与填料压降

填料塔塔径的设计是根据选定的操作气速来确定的,填料塔的气速不能任意提高,当气速达到一定值时,塔的压降陡然升高,气体夹带液沫严重,塔的正常运行状态被破坏,此时的气速称为液泛气速,不同的填料和物系具有不同的泛点气速,由 Eckert 等人提出的液泛、压降和各种因素之间的关系曲线图,其关系如图 3。

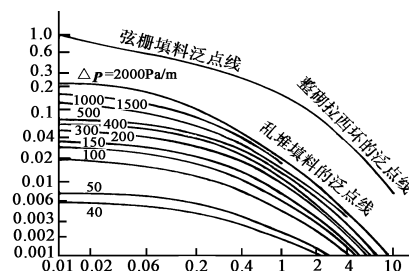


图 3 Eckert 填料塔液泛点和压降通用关系图

图中:

$$\text{横坐标 } \left( \frac{G}{L} \right)^{0.5} \frac{W_L}{W_G}$$

$$\text{纵坐标 } \frac{u^2 \phi}{g L} \mu_L^{0.2}$$

其中  $G、L$  —— 气体、液体密度  $\text{kg/m}^3$

$\mu_L$  —— 液体粘度  $\text{Pa s}$

$\phi$  —— 填料因子  $\text{m}^{-1}$

—— 水与液体的密度之比;

$u$  —— 空塔速度  $\text{m/s}$ ;

$g$  —— 重力加速度  $9.81 \text{ m/s}^2$ 。

根据曲线图可确定液泛气速  $u_t = 3.8 \text{ m/s}$ 。

操作气速  $u_0$  一般根据填料塔的液泛气速  $u_t$  确定,根据生产经验,操作气速按液泛气速的 60 % ~ 80 % 选用,取  $u_0 = 2.2 \text{ m/s}$ 。

### 3.3.4 塔径的设计

化工和环境工程中通常认为当混合气体中溶质浓度低于 5 % ~ 10 % 时为低浓度吸收。由于气体成分、物性、浓度、吸收剂用量、气速等因素的影响,塔径、塔高均不同。

在气体处理量  $Q$  一定时,塔径  $D$  可根据选用的空塔气速  $u_0$  求得:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u_0}}$$

上式计算结果根据公称直径圆整,取  $D = 1\ 800 \text{ mm}$ 。

### 3.3.5 填料层高度计算

填料层高度计算按下式计算:

$$Z = \frac{4V}{K_Y} \frac{y_1}{D_T^2} \frac{dY}{y_2 - Y^*}$$

令

$$N_{OG} = \frac{y_1}{y_2} \frac{dY}{Y - Y^*} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_m}$$

$$H_{OG} = \frac{4V}{K_Y t D_T^2}$$

则  $Z = H_{OG} \cdot N_{OG}$

式中  $H_{OG}$  ——传质单元 m;

$N_{OG}$  ——传质单元数;

$V$  ——气体流量 kg mol/h;

$K_Y$  ——吸收总系数 kg mol/m<sup>2</sup> h;

$t$  ——填料比表面积 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

$D_T$  ——填料直径 m;

$Y_1$ 、 $Y_2$  ——气体入口、出口浓度 kg mol。

被吸收组分 (kg mol 惰性气体)

计算填料层高  $Z = 1\ 200$  mm。

整个填料塔的高度应包括填料层高度、填料段间隙、塔顶和塔底等各部分的高度,一般填料段间隙 0.25~1.0 m。鉴于废气颗粒物较少,无需另设沉淀槽,只需在塔体下部保持一定液位,作为循环液槽使用,形成塔槽合一的整体结构。

### 3.3.6 填料层压力降的核算

为尽量减少计算误差,满足工程设计的需要,填料层压力降一般采用较为实用的公式核算:

$$\frac{P}{Z} = 10^{-4} \cdot 10^{\frac{L}{V}} \cdot \left(\frac{V}{G}\right)^2$$

式中  $P$  ——压降 Pa;

$Z$  ——填料层高度 m;

$L$ 、 $V$  ——液体和气体质量流率 kg/m<sup>2</sup> h;

$L$ 、 $G$  ——液体和气体密度 kg/m<sup>3</sup>;

$\alpha$  ——实验常数。

一般填料压降在 300~700 Pa/m。

### 3.3.7 塔壁厚度确定

填料塔在负压下操作,塔体为外压圆筒,外压薄壁在压应力达到一定值时塔壁失去原有形状,产生压瘪失稳现象。塔壁厚直接关系到塔体稳定性。据文献,外压短圆筒的外压( $P$ )计算公式为:

$$[P] = \frac{K_p^2 E_y}{12 K (1 - \nu_{xy} \nu_{yx})} \left(\frac{t_0}{L}\right)^2 \left(\frac{t_0}{R}\right)$$

其中

$$K_p = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{4}{\sqrt{3}} \times \frac{L}{\sqrt{R t_0}} \times \sqrt{\frac{(1 - \nu_{xy} \nu_{yx}) E_x}{E_y}}$$

式中  $t_0$  ——筒壁计算厚度;

$L$  ——筒体计算长度;

$R$  ——圆筒的中面半径;

$E_x$  ——圆筒的轴向弹性模量;

$E_y$  ——圆筒的环向弹性模量;

$\nu_{xy}$  ——轴向泊松比;

$\nu_{yx}$  ——环向泊松比;

$K$  ——稳定性安全系数。

本例确定塔体设计压力 - 1.8 kPa,即外压  $P = 1.8$  kPa,确定塔体壁厚时,可先假定一个  $t_0$ ,计算( $P$ )值,若( $P$ )  $P$ 且接近  $P$ ,则可视  $t_0$ 即为所求的理论壁厚。另考虑到塔体壁厚的加工误差、支承梁对塔壁的附加荷载、烟气管道、监视窗等的开孔补强、下部塔体贮液等诸因素,相应考虑不同的壁厚附加量。

## 4 工程效果

本废气处理工艺已成功应用于多家 PCB 企业,较具代表性的是在番禺南沙开发区某外资电子企业实施的工艺废气净化处理工程,总处理规模 20 万 m<sup>3</sup>/h,分 10 个填料塔处理。每个塔配备补水和加药自动控制系统,喷淋液在液槽中汇集,通过循环泵提供恒定水压,进行循环洗气,控制系统根据工艺调节提供自动排水、补水及加药时间。当液位降低时,自动启动补水系统进行补水,并有自动报警功能。该项目已通过环保监测,完全达到规定的排放标准,效果明显。监测结果见表 3。

表 3 监测结果

污染源名称	污染物/mg m <sup>-3</sup>		
	氯化氢	硫酸雾	粉尘
黑化处理	1.608	1.938	-
黑化处理	1.34	2.582	-
化学铜装置	3.572	2.680	-
整板电镀	1.230	1.696	-
整板电镀	2.258	2.538	-
弱蚀装置、树脂粗化、除钻污、整板电镀后处理	1.293	1.502	-
焊锡热风整平置	1.590	1.919	52.02
蚀刻装置	1.730	2.325	-
涂布前处理、显像装置			
镀金前处理、无电解镀金、电解镀金、镀金后处理、水溶性装置	1.859	2.226	-

## 5 结束语

聚丙烯散堆填料塔应用于工业废气治理具有以下特点:

(1) 填料塔具有很高的传质负荷,传递速率可以

# 黄磷尾气回收系统的安全设计

王孝武 孙水裕

李来明

(广东工业大学环境科学与工程学院,广州 510090) (国投原宜磷化有限公司,湖北 宜昌 443000)

王 雄 涂宁宇

(广东工业大学环境科学与工程学院,广州 510090)

**摘要** 对一个5 000 t/a的黄磷电炉的尾气回收系统的设计进行了全面的安全分析,指出了其中存在的不足。在此基础上,提出了一个改进的设计方案,新的设计在生产应用中取得了明显的成效,安全性和效益均得到明显的提高。

**关键词** 黄磷尾气 回收系统 安全设计

## 1 前言

我国是一个黄磷生产大国,国内有上百家黄磷生产厂,总产量居世界首位。黄磷的生产主要是电炉法,将磷矿石、硅石和焦炭按一定比例和一定粒度混合后加入电炉,利用电热产生的1 200℃的高温,使磷矿石熔化分解产生 $P_2O_5$ ,再与焦炭发生氧化-还原反应得到单质磷的蒸气,最后经过冷却、分离工艺得到成品。

在黄磷生产的过程中,会产生大量的尾气,每生产1 t黄磷副产尾气2 500~3 000 m<sup>3</sup>,如直接排放到大气中,不仅会严重污染环境,而且也是对资源的极大浪费。黄磷尾气的主要成分是CO,一般含量在85%~95%,随着原材料的组成、生产操作的不同,其组成会有所变化<sup>[1~3]</sup>。黄磷尾气经过处理后可做为一种高效燃料,也可做为一种重要的化工原料来合成多种有机化学品<sup>[3]</sup>。所以说黄磷尾气的回收不但可以保护环境,而且经济效益显著。

由于黄磷电炉煤气含CO约90%,其爆炸范围为12.5%~74.2%,如漏入过多空气就有爆炸危险,为

确保安全,要求氧含量控制在0.5%以下<sup>[4]</sup>。所以其尾气回收系统的设计要以安全为第一要点,然而在以往的设计中,存在有许多安全性考虑不周的问题。下面对某设计院设计的一个年产5 000 t黄磷的电炉的尾气回收系统进行分析,并改进原设计,提出黄磷尾气回收系统应注意的安全要点。

## 2 安全设计中的主要控制要点

黄磷煤气的爆炸范围较宽,而且尾气中存在磷的蒸气,管道中还积存的液态或固态的黄磷,由于黄磷在有氧的条件下会自燃,所以黄磷尾气回收系统中的安全性考虑要比一般煤气高。

保证压力和密封性是设计的关键,同时必须有切实可行的防爆保证方案。压力主要是通过控制回流阀来保证的,这在一部分黄磷厂都已实现了全自动或半自动控制。采用水来密封,关于这个方面的设计应该说还是比较欠缺。通过防爆设计来保证人员、设备的安全,并不仅仅是简单地安装防爆膜,还需要从整体工艺的基础上来加以考虑。

通过改变填料层高度得到调整;

(2) 填料层阻力小,运行能耗低;

(3) 使用寿命长;

(4) 填料塔内必须保持气液分布均匀,不合理的分布方式会导致治理效率的降低;

(5) 大直径填料塔给实际安装带来一定的困难,塔成本和运行成本也随之增加;

(6) 由于洗涤塔为PP材质,对烟气温度有较高的要求,一般要求温度低于60℃。对外置设施应注意因太阳曝晒引至温升,在负压下的塑性变形。

## 参考文献

- 1 陈国理. 压力容器及化工设备. 广州:华南理工大学出版社,1990.
- 2 葛帅华. 金隆工程烟气净化新型填料塔的设计. 硫酸工业,1999,(5).
- 3 齐福来. 填料塔塔径的计算. 医药工程设计,1999,(4).
- 4 董谊仁. 填料塔压降、液泛研究进展. 化学工业与工程,2001,(2).
- 5 吴忠标. 实用环境工程手册. 北京:化学工业出版社,2001.

作者通讯处 胡小吐 510641 广州华南理工大学西秀村8-604

2002-10-08 收稿

of nitrogen removal lies in the coordinated effects that are produced by the introduced external electric field between the electrolysis process and the biology process.

**Keywords** electrode , biology process and nitrogen removal

## AN ENGINEERING EXAMPLE OF TREATING HIGH-CONCENTRATION PRINTING AND DYEING WASTEWATER WITH PROCESS OF HYDROLYSIS-CONTACT OXIDATION-AIR FLOATATION-BIOCARBON ..... Zheng Guanghong *et al* (21)

**Abstract** A printing and dyeing wastewater was treated with the process of hydrolysis-contact oxidation-air floatation-biocarbon. The design capacity was 1 440 m<sup>3</sup>/d. The pH, COD<sub>Cr</sub>, BOD<sub>5</sub>, SS and colority of the effluent were 6.98, 83 mg/L, 23.5 mg/L, 53 mg/L and 40 times respectively.

**Keywords** printing and dyeing wastewater, hydrolysis, bio-contact oxidation, air floatation and biocarbon

## RESEARCH ON INTENSIFIED PRIMARY TREATMENT PROCESS OF MUNICIPAL WASTEWATER BY BIOFLOCCULATION AND ADSORPTION ..... Xu Ping *et al* (24)

**Abstract** The intensified primary treatment process of municipal wastewater by bioflocculation and adsorption was put forward in this paper. With removal rate of organic substance and SS being studied in detail, this paper discussed the feasibility, influencing factors and running parameters of the process. The results showed that, under the conditions of HRT = 1.1 h, DO = 1.0 mg/L, COD<sub>Cr</sub> of sludge = 3.4 ~ 4.0 kg/d, the removal rate of COD<sub>Cr</sub>, BOD<sub>5</sub> and SS were 68 % ~ 78 %, 65 % ~ 72 % and 75 % ~ 85 %, respectively.

**Keywords** bio-flocculation and adsorption, municipal wastewater and intensified primary treatment process

## DESIGN OF MBR SYSTEM FOR WASTEWATER REUSE ENGINEERING ..... Zhang Hanmin *et al* (27)

**Abstract** According to the characteristics of the slaughter wastewater from Dacheng Chicken Factory in Dalian, Liaoning Province, we will rebuild the flocculation-sedimentation process into the flocculation-air floatation process as pre-treatment of the bio-chemical treatment process. The running results show that the quality of the effluent can meet the requirements for the first-order of the discharge standard in Liaoning, the removal ratio of COD<sub>Cr</sub> can achieve more than 96 %, the running cost is 2.01 RMB/Ton

**Keywords** slaughterhouse water, coagulation and air floatation

## DRY CLEANING OF FLUE GAS CONTAINING ASPHALT FROM ANODE FIRING IN YUNNAN ALUMINUM PLANT ..... Gao Mingfeng *et al* (29)

**Abstract** According to the state of anode firing, the compositions and characteristics of flue gas containing asphalt in Yunnan Aluminum Plant, and making use of the successful experiences in controlling flue gas containing asphalt at home and abroad, electrostatic precipitator is used to recover asphalt that returns to the system of production. The working principle of cleaning system, the flow and the structural features of the equipment are introduced. The five art features, such as fire proof and explosion relief, full ionization, water-flushing under electrification, asphalt softening control, and automatic system etc, of the cleaning system are also expounded.

**Keywords** flue gas containing asphalt, electrostatic precipitator and cleaning system

## ENGINEERING PRACTICE OF PURIFYING PCB WASTE GAS BY POLYPROPYLENE PACKED TOWER ..... Wu Fenmiao *et al* (32)

**Abstract** The packed tower process not only used for chemical industry, it is also widely used for purifying low concentration industrial waste gases. According to our rich experiences in the design and engineering practice, a reasonable system configuration and design on packed tower for purifying PCB waste gas are the keys to success.

**Keywords** packed tower and purification of flue gas

## SAFETY DESIGN OF SYSTEM RECOVERING YELLOW PHOSPHORUS TAIL GAS ..... Wang Xiaowu *et al* (35)

**Abstract** An overall safety analysis is conducted for the design of a tail gas-recovering system from the electric arc furnace producing yellow phosphorus with a yearly output of 5 000 t, whose defects are also pointed out. Based on which an improved design scheme is proposed, and