

# 铝用阴极炭素焙烧炉沥青烟超低排放技术

陈毕贵<sup>1</sup> 刘静<sup>2</sup>

(1. 四川锦美环保股份有限公司, 四川 成都 610011; 2. 成都惠锋智造科技有限公司, 四川 成都 611900)

**[摘要]** 铝用阴极炭块炭素焙烧烟气成分复杂, 含有大量的颗粒物、沥青烟、二氧化硫、氮氧化物等高浓度污染物。本文提出一种沥青烟超低排放技术, 采用铝用阴极炭素生产原料粉作为吸附粉料, 吸附后的含沥青粉料返回到车间继续作为生产原料使用。介绍了该技术的工艺流程、关键装置, 并研究吸附粉料的粒径、比表面积和吸附效果。该技术在某炭素厂应用, 连续6个月稳定运行, 实现危废零排放, 且未出现管道堵塞、糊袋等现象, 改造后焙烧烟气中颗粒物浓度由 $15.9\text{ mg/m}^3$ 降至 $1.7\text{ mg/m}^3$ , 二氧化硫浓度由 $96.0\text{ mg/m}^3$ 降至 $13.0\text{ mg/m}^3$ , 沥青烟排放浓度由 $33.5\text{ mg/m}^3$ 降至 $12.8\text{ mg/m}^3$ , 烟气处理效果较好。

**[关键词]** 沥青烟; 超低排放; 炭素; 焙烧炉; 吸附粉料

**[中图分类号]** X701 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-2423(2024)04-0046-04

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2024.04.008

## 0 前言

铝用阴极炭块是以煅烧无烟煤、石墨粉等为基料, 以沥青为粘结剂制成的, 经过加工、砌筑或捣固, 构成铝电解槽槽底和槽侧壁的主体, 用于盛装铝电解反应所需的电解质和生产的铝液, 并将电流通过嵌入阴极中的钢棒导出槽外。铝用阴极炭块主要生产工序有原料制备、成型、焙烧、机加工等工序。生产过程中, 产生沥青烟主要工序有沥青储运、混捏成型、一次焙烧(环式炉)、高压浸渍、二次焙烧(环式炉和隧道窑)、机加工等。

焙烧是铝用阴极炭块生产的重要工序, 其烟气成分复杂, 含有大量的颗粒物、沥青烟、二氧化硫、氮氧化物等高浓度污染物<sup>[1]</sup>。一直以来, 沥青烟都是炭素行业烟气治理的一大难题, 严重制约了炭素行业的发展<sup>[2]</sup>。近些年, 我国炭素行业沥青烟的环保治理技术在不断进步, 但随着国家对大气污染物特

别排放限值的要求逐渐提高, 采用单一的工艺已经无法满足要求, 甚至部分企业采用多级串联技术也无法满足环保要求。因此, 行业迫切需要一种运行成本低、效率高、运行稳定、不存在二次污染的治理工艺。

本文提出一种沥青烟超低排放技术, 利用生产原料粉作为吸附剂, 吸附后的粉料回到车间作为生产原料继续使用。该技术能够使烟气中颗粒物、二氧化硫、沥青烟的排放浓度分别小于 $10\text{ mg/m}^3$ 、小于 $35\text{ mg/m}^3$ 、小于 $20\text{ mg/m}^3$ 。

## 1 传统沥青烟治理技术存在的问题

在炭素行业中, 焙烧烟气主要成分为颗粒物、沥青烟、二氧化硫、氮氧化物等, 典型的传统焙烧烟气沥青烟治理工艺主要有以下4种。

### 1.1 电捕焦油器

电捕焦油器由壳体、沉淀极、电晕极、上下吊架、气体再分布板、蒸汽吹洗管、绝缘箱和馈电箱等部件组成。直流电连通在电捕焦油器的电晕极和沉淀极上, 两者之间形成不均匀的电场, 越靠近电晕极, 电场强度越大。电晕极附近形成电晕区, 产生大量正、负离子及电子。当焦油粒子经过电场时, 与正离子结合, 形成正电荷的离子, 在电场作用下向电晕极及沉淀极移动, 逐渐凝结成大的焦油颗粒, 最终自由掉落并汇集至电捕焦油器底部进行收集<sup>[3]</sup>。电捕焦油器运行一段时间后, 黏附至极板的焦油杂质会逐渐影响处理效率和运行效果。该工艺主要存在治理

**[收稿日期]** 2024-02-23

**[作者简介]** 陈毕贵(1982—), 男, 本科, 高级工程师, 环境工程方向。

**[引用格式]** 陈毕贵, 刘静. 铝用阴极炭素焙烧炉沥青烟超低排放技术[J]. 绿色矿冶, 2024, 40(4): 46-49, 84.

CHEN BiGui, LIU Jing. Research and application of ultra-low emission technology of asphalt fume in cathode carbon calciner for aluminum[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2024, 40(4): 46-49, 84.

效率低、运行不稳定、粉尘和沥青烟很难达标排放的问题,捕捉的液态焦油为危险废弃物。

## 1.2 化学法

化学法主要是利用有机类液体作为吸收剂处理焙烧烟气,焙烧烟气与吸收剂碱性循环水在洗涤塔内逆向充分接触并被洗涤,其中的沥青挥发分冷凝,颗粒物被水雾捕捉,同时二氧化硫转换为亚硫酸钠等。该工艺能够去除颗粒物、沥青烟、二氧化硫和氮氧化物,主要存在碱洗塔循环水池内易沉积泥,循环管路易堵塞,需要定期对循环水进行处理和焦油打捞,产生的焦油固体物和废水也是危险废弃物等问题<sup>[4]</sup>。

## 1.3 蓄热式焚烧

蓄热式焚烧法的工作原理是在温度850~900℃条件下,沥青烟中的多环芳烃与O<sub>2</sub>进行氧化反应,被分解生成二氧化碳和水,同时炉内蓄热体将热量储存起来预热刚进炉的气体,以节省燃气的消耗,降低运行成本。该工艺可使沥青烟排放浓度达到10 mg/m<sup>3</sup>及以下。蓄热式焚烧炉法适用于沥青烟浓度高的废气,沥青烟净化效率可以达到99%。该方法具有处理效率高、设备简单、不产生任何二次污染物等特点,但由于装置投资费用较高,运行过程中需要采用燃气辅助燃烧,运营费用较高,目前企业应用推广较少。

## 1.4 吸附过滤法

吸附过滤法主要采用活性炭、焦粉、氧化铝等原料作为吸附剂进行物理吸附。吸附剂的选择至关重要,主要选择孔隙率大、比表面积大的吸附介质。吸附过滤法虽然具有吸附效率高、运行费用低的特点,但是吸附后的吸附剂附着有沥青烟,难以再生并循环使用,从而产生大量二次废弃物,废弃物处置成本较高。

# 2 沥青烟超低排放技术

## 2.1 工艺流程

针对典型的传统焙烧烟气治理工艺技术存在的不足,提出了沥青烟超低排放技术,其工艺流程如图1所示。

沥青烟超低排放技术主要利用生产原料粉作为吸附粉料,通过自动喷粉装置实现在线计量和自动投料。首先,经预处理的烟气进入强制混流器,由自动喷粉装置喷射粉料吸附后,利用高效旋风分离装置把绝大部分颗粒粉料分离出来,再利用布袋除尘装置将剩余的颗粒粉料分离。高效旋风分离装置和布袋除尘装置分离出来的吸附粉料回到成型车间作为生产原料继续使用;经布袋除尘装置除尘后的烟气通过风机送入烟囱达标排放<sup>[5]</sup>。

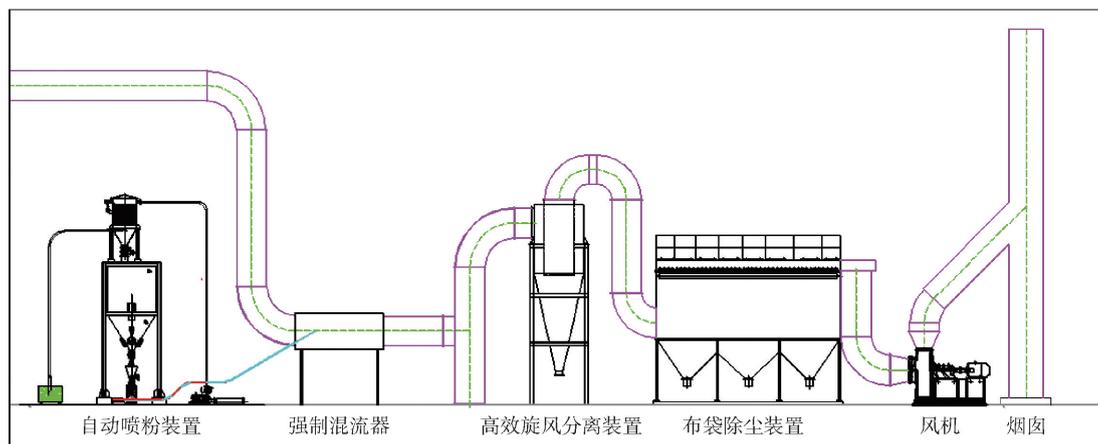


图1 沥青烟超低排放技术工艺流程

## 2.2 自动喷粉投料装置

自动喷粉投料装置安装于电捕焦油器出口和高效旋风分离器进口的水平废气主管上。自动喷粉投料装置采用气体输送方式自动上料,同时料仓上配有粉尘收集装置,实现装卸料过程全密封,不存在二次污染。自动喷粉投料装置采用螺旋式给料器,投

料量通过PLC进行设置,可以根据生产负荷调节吸附粉料用量,实现自动在线计量称重投料。自动喷粉装置出口管道上安装有强制混流器。强制混流器通过控制压缩空气和吸附粉料的比例进行强制混流,使吸附粉料与沥青烟接触比表面积增大。强制混流具有混合速度快、混合均匀的特点,混合时间为

2~3 s,并预留检查人孔<sup>[6]</sup>。

### 2.3 高效旋风分离装置

高效旋风分离装置主要通过离心力的作用,将吸附粉料与沥青烟接触后形成的大部分颗粒团(含沥青粉料)沉淀下来,其目的是减小后端布袋除尘器的收尘压力。分离出来的吸附粉料返回成型车间作为生产原料继续使用。高效旋风分离装置较适宜的进口气体速度为20~22 m/s,对粒径大于6 μm的颗粒团具有良好分离效果,除尘效率能达到80%<sup>[7]</sup>。

### 2.4 布袋除尘装置

布袋除尘装置主要去除将从高效旋风分离装置逃逸出来的小颗粒团或吸附粉料、沥青烟。烟气在流动过程中不断结成颗粒团,附着在布袋上形成粉尘颗粒团。通过脉冲振打,将附着在布袋上的颗粒团打落料斗中,再通过自动卸料将吸附粉料收集。被收集的吸附粉料同样返回成型车间作为生产原料使用。布袋过滤器风速宜为0.6~0.8 m/s,滤袋材质选用覆膜聚脂针刺毡,从而保证设备的稳定运行以及高除尘效率,布袋阻力小、使用寿命长、粉尘剥离率高<sup>[8]</sup>。

## 3 吸附粉料的研究

沥青烟超低排放技术是通过控制压缩空气和吸附粉料比例进行强制混流均匀后再与烟气混合,吸附粉料在混合器中与沥青烟进行碰撞接触,随着烟气流动吸附粉料颗粒逐渐增大形成颗粒团,最终附着在布袋除尘器的滤袋上,通过脉冲振打将附着在滤袋上的粉尘颗粒团振打落入料斗中,从而通过自动卸料将吸附粉料收集返回车间作为生产原料直接使用。

铝用阴极炭素生产原料粉主要成分为电煅无烟煤和石墨粉。本文采用生产原料粉作为吸附粉料,通过固定床实验装置研究不同工况条件下吸附粉料的平均粒径、比表面积、吸附量,进一步优化选择吸附粉料的粒径大小及用量。

### 3.1 平均粒径

在连续使用额定投加量、烟气流速恒定的情况下,通过对装置的吸附前粉料(自动喷粉装置料仓下料口)、高效旋风分离装置(出料口)和布袋除尘装置(收尘口)进行取样称重对比实验分析,研究粉料粒径对排放的影响,结果如图2所示。

在沥青烟超低排放技术工艺流程中,高效旋风

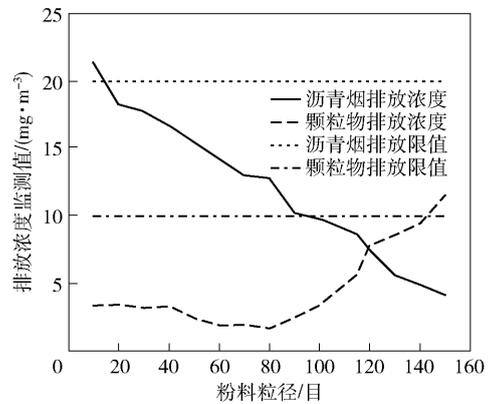


图2 不同粉料粒径实验曲线

分离装置位于布袋除尘装置前端,从强制混流器到布袋除尘装置的烟气停留时间约为强制混流器到高效旋风分离装置的2倍。由图2可以看出,沥青烟的排放浓度随着粉料粒径的减小而逐渐降低,颗粒物排放浓度随着粉料粒径的减小而增大,主要是因为吸附粉料在一定粒径范围内直接影响粉料和烟气的混合接触时间,粒径越小,接触时间越长,越易发生吸附反应,烟气混合越均匀,沥青烟去除效率越高。综合分析表明,当粉料粒径为80~120目(0.15~0.18 mm)时,对沥青烟净化的综合效果较优。

### 3.2 比表面积

通过采用比表面积分析仪测定粒径为0.15~0.18 mm生产原料粉的比表面积,并与其他几种吸附粉料进行对比,实验温度95℃,结果见表1。由表1可见,活性炭粉末具有较大的比表面积和总孔容,而生产原料粉的平均孔容最大,说明生产原料粉容纳吸附质的体积最大,也就是说能够吸附更多的沥青烟。

表1 吸附粉料参数测定对比

吸附粉料	比表面积/ (m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	平均孔容/ (cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	总孔容/ (cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )
生产原料粉	7.487	0.00294	0.0118612
普通焦粉	5.451	0.00223	0.0103561
多孔氧化铝粉末	3.592	0.00275	0.0115683
活性炭粉末	313.658	0.00188	0.1356986

### 3.3 吸附量

通过用激光粒度分析仪和天平对吸附前后的粒径及重量进行分析,分析结果见表2。

通过表2可知,吸附后吸附粉料平均粒径由吸附前的0.182 mm变为0.189 mm,吸附粉料平均重

量由吸附前的 51.764 14 g 变为 55.705 54 g, 平均粒径和平均重量均变大, 说明发生了吸附反应。沥青烟吸附效率为 7.63%。

表 2 吸附前后的粒径及重量对比

批次	吸附前粉料粒径/mm	吸附后粉料粒径/mm	吸附前粉料重量/g	吸附后粉料重量/g	吸附率/%
1	0.180	0.186	50.715 40	54.152 77	6.78
2	0.176	0.184	48.486 42	52.994 46	9.30
3	0.189	0.196	55.913 72	60.132 18	7.54
4	0.181	0.188	51.280 47	55.323 61	7.88
5	0.176	0.183	48.486 42	52.420 00	8.11
6	0.186	0.192	54.152 77	57.702 85	6.56
7	0.188	0.195	55.323 61	59.520 15	7.59
8	0.182	0.189	51.848 67	55.913 72	7.84
9	0.181	0.188	51.280 47	55.323 61	7.88
10	0.179	0.185	50.153 46	53.572 05	6.82
平均值	0.182	0.189	51.764 14	55.705 54	7.63

## 4 应用效果

四川眉山某炭素厂于 2012 年建成阴极炭块产能 24 000 t/a 的生产系统, 焙烧车间沥青烟气采用电捕焦油器 + 碱洗法处理。2022 年 1 月启动沥青烟超低排放技术改造, 烟气排放总量为 40 000 m<sup>3</sup>/h, 于 2023 年 8 月完成改造并投产运行。该技术通过专家组验收并获得国家环保专项资金补助, 目前系统运行正常, 未出现管道堵塞、糊袋等现象, 各项指标排放浓度稳定且达到了超低排放标准, 经第三方测试, 改造前颗粒物、二氧化硫、沥青烟排放浓度分别为 15.9 mg/m<sup>3</sup>、96.0 mg/m<sup>3</sup>、33.5 mg/m<sup>3</sup>, 使用该技术改造后颗粒物、二氧化硫、沥青烟排放浓度分别为 1.7 mg/m<sup>3</sup>、13 mg/m<sup>3</sup>、12.8 mg/m<sup>3</sup>, 并符合《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南(2020 年修订版)》(环办大气函[2020]340 号)炭素行业绩效分级指标 B 级企业排放标准。

## 5 结束语

沥青烟超低排放技术吸附粉料采用车间的生产原料粉, 粒径目数要求低, 容易获得, 不需要外购或特别制备, 吸附后的含沥青粉料返回到车间继续作为生产原料使用, 不产生危险废弃物, 不存在二次污

染。工艺装置结构简单, 可连续稳定运行, 未出现管道堵塞、糊袋等现象。从运行数据看, 装置净化效果好, 经济效益显著, 实现了炭素焙烧炉沥青烟治理的超低排放, 在炭素行业沥青烟治理中具有良好的市场应用前景。

### [参考文献]

- [1] 刘彦辉. 炭素环式焙烧炉烟气环境污染治理技术的研究[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(3): 157-159.
- [2] 张锐, 丰庆国, 董守东, 等. 炭素工业焙烧炉烟气污染治理技术的研究和应用[J]. 水泥工程, 2020(2): 14-16, 26.
- [3] 余宏伟, 赵倩倩. 铝用阳极焙烧烟气净化方法探讨[J]. 有色冶金节能, 2015, 31(5): 39-42.
- [4] 单系夫, 孙长庆. 炭素焙烧炉烟气超低排放净化技术新进展[J]. 炭素技术, 2020, 39(3): 57-60.
- [5] 唐晓毅, 陈毕贵, 刘厚涛. 一种含沥青烟尾气的处理系统: ZL202321210057.5[P]. 2023-05.
- [6] 唐晓毅, 赵希锦, 陈毕贵. 一种自动喷粉投料装置: ZL202321209298.8[P]. 2023-05.
- [7] 王庆丰, 王志峰. 旋风分离器在焦炉煤气净化中的应用探讨[J]. 冶金动力, 2022(6): 37-40.
- [8] 王勇, 张心华, 许重阳. 工业烟气超低排放用高温高强滤料[J]. 中国环保产业, 2022(1): 66-68.

(下转第 84 页)