

# Research on Flue Gas Treatment Technology and Engineering Application of Hot Rolling Mill in Aluminum Processing

Jinwei Ma

Henan Zhongfu High Precision Aluminum Co., Ltd., Gongyi, Henan, 451200, China

## Abstract

During aluminum processing hot rolling operations, emulsified liquid evaporation at high temperatures generates substantial oil-laden smoke emissions. Improper treatment may lead to workshop smoke dispersion, chimney oil drift, and white mist emissions, causing environmental pollution, increased environmental risks, and higher maintenance costs. This paper proposes an integrated "old equipment retrofit + multi-stage condensation filtration" solution addressing critical issues in domestic flue gas treatment systems, including excessive filtration velocity, incomplete purification, and lack of automatic cleaning capabilities, in accordance with the Technical Guidelines for Emergency Emission Reduction Measures in Key Industries During Severe Air Pollution. The solution details process design, key equipment selection, construction planning, and analyzes technical feasibility and application benefits. Practical implementation demonstrates that this approach maintains filtration velocity at 2-2.5 m/s, significantly improves oil mist purification efficiency, achieves compliant flue gas emissions, reduces maintenance costs, and provides reliable technical references for hot rolling flue gas treatment in aluminum processing industries.

## Keywords

aluminum processing; hot rolling mill; oil mist flue gas; multi-stage filtration; condensation recovery

## 铝加工热轧机烟气处理技术及工程应用研究

马金伟

河南中孚高精铝材有限公司, 中国·河南 巩义 451200

## 摘要

铝加工热轧机在生产过程中因乳化液受高温蒸发后会产生大量含油雾的烟气, 若处理不当易出现车间内烟气逸散、烟囱飘油、白雾排放等问题, 不仅污染环境, 增加环保事件风险, 还会增加设备维护成本。本文结合《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南》要求, 针对国内现有烟气处理系统过滤风速过高、净化不彻底、无法自动清洗等关键问题, 提出“旧设备改造+多级冷凝过滤”的集成处理方案。详细阐述了方案的工艺设计、关键设备选型、施工组织计划, 并对技术可行性和应用效益进行分析。实践表明, 该方案可将过滤风速控制在2~2.5m/s, 油雾净化效率显著提升, 实现烟气达标排放, 同时降低维护成本, 为铝加工行业热轧机烟气处理提供可靠的技术参考。

## 关键词

铝加工; 热轧机; 油雾烟气; 多级过滤; 冷凝回收

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

铝加工行业作为有色金属压延的重要分支, 其热轧机在高温轧制过程中, 为保障轧制效率和产品质量, 需使用大量轧制油进行润滑和冷却, 由此产生大量含油雾的烟气。这类烟气中含有非甲烷总烃等挥发性有机物, 若直接排放或处理不彻底, 会出现烟囱飘油、冬季或阴雨天白雾弥漫等现象, 对厂区及周边大气环境造成污染, 同时也会腐蚀周边设备、影响生产环境整洁。

【作者简介】马金伟(1984-), 男, 中国河南新乡人, 本科, 工程师, 从事机械/设备工程研究。

随着国家环保政策的日益严格, 《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南》等规范对有色金属压延行业的污染治理技术提出了明确要求, 规定油雾处理需采用多级回收+挥发性有机物治理技术<sup>[1]</sup>。在此背景下, 研发高效、稳定、经济的铝加工热轧机烟气处理技术, 不仅是企业满足环保排放要求的必然选择, 也是推动行业绿色低碳发展的重要举措。

### 1.2 国内外研究现状

目前, 国内外针对工业油雾烟气处理的技术主要包括机械过滤法、冷凝法、静电吸附法、吸附法等<sup>[2]</sup>。机械过滤法因结构简单、成本较低、维护便捷等特点, 在工业领域应用广泛, 但传统机械过滤设备存在过滤风速难控制、滤网易堵塞、需频繁更换等问题。冷凝法通过降低烟气温度使油雾

凝结回收,可有效降低后续处理负荷,但单一冷凝技术难以实现超净排放。静电吸附法净化效率高,但对烟气温度和粉尘含量敏感,易发生放电现象,维护要求较高。

现有研究多聚焦于单一技术的优化,而针对铝加工热轧机烟气量大、油雾浓度波动大、排放要求高的特点,将多级冷凝与机械过滤相结合的集成处理技术研究仍有待深入。本文结合实际工程案例,提出“沉降+冷凝+多级丝网过滤”的集成方案,解决传统技术存在的不足,实现烟气高效处理。

### 1.3 研究内容与技术路线

本文以现有铝加工行业主流热轧车间的油雾烟气处理设备配置为依托,主要研究内容包括:一是分析现有烟气处理系统存在的关键问题;二是结合环保规范要求,设计集成化烟气处理方案;三是优化关键设备结构与参数;四是制定科学的施工组织计划;五是分析方案的技术可行性与应用效益。技术路线为:问题诊断→规范解读→方案设计→设备选型→施工规划→效益分析。

## 2 铝加工热轧机烟气处理技术背景与需求分析

### 2.1 热轧机烟气特性分析

铝加工热轧机产生的烟气主要为含乳液油雾烟气,具有以下特性:一是烟气量大,通常热轧机排烟净化装置单台风机处理风量可达200000m<sup>3</sup>/h;二是油雾颗粒粒径分布广,既有大颗粒液滴,也有微小油雾颗粒;三是烟气温度较高,入口烟气温度通常不超过100℃;四是烟气中含有轧制油成分,具有一定粘性,易粘附在设备和管道内壁,造成堵塞和腐蚀。

### 2.2 现有处理系统存在的问题

现有常规油雾净化系统存在以下关键问题:一是过滤风速过高(4~5m/s),导致油雾穿透过滤装置,净化不彻底,出现烟囱飘油现象;二是冬季或阴雨天可看见大量雾气从烟囱冒出,未实现“消白”要求;三是系统无法自动清洗,滤网频繁更换,维护成本显著增加;四是现有设备净化效率不足,难以满足非甲烷总烃达标排放要求。

### 2.3 环保规范要求

根据《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南》中有色金属压延行业企业分级管控绩效要求,油雾处理需采用多级回收+挥发性有机物治理技术<sup>[1]</sup>。冷凝器的设置不仅是合规治理技术的要求,同时有利于实现“消白”效果。因此,设计方案需满足多级处理要求,确保净化后烟气非甲烷总烃浓度达标,同时解决白雾排放问题。

## 3 铝加工热轧机烟气处理方案设计

### 3.1 方案设计原则

结合项目实际需求和环保规范要求,方案设计遵循以下原则:一是严格执行国家环保政策与标准,确保烟气达标排放;二是结合烟气特性,采用技术先进、质量可靠的净化技术和设备,缓解烟囱飘油现象;三是实现自动化控制与管

理,减少日常维护量,提升管理水平;四是设备布置紧凑合理,因地制宜优化布局,节约用地;五是兼顾一次性投资与运行维护费用的经济性;六是优先选用标准系列产品,提升设备可更换性。

### 3.2 总体处理方案设计

针对现有系统存在的问题,结合环保规范要求,提出“1级沉降室+1级冷凝+1级折流板粗过滤+1级圆丝不锈钢过滤丝网中过滤+1级扁丝不锈钢过滤丝网精过滤”的多级集成处理方案。同时,结合检修维护需求,设计分仓室切换阀门及反吹蒸汽连锁控制系统,实现在线清洗功能,保障系统长期稳定运行。

方案总体思路为:首先通过沉降室实现大液滴沉降分离,降低后续处理负荷;随后利用冷凝器回收部分油雾,实现“消白”初步效果;再通过多级过滤单元逐级截留不同粒径的油雾颗粒,确保净化效率;最后通过优化烟囱结构,进一步捕集残留液滴,实现达标排放。

### 3.3 工艺流程设计

轧机排烟罩收集的含乳液烟气在引风机的引导下,依次经过以下处理环节:一是在大尺寸沉降室,完成大液滴沉降;二是冷凝器段,通过冷凝作用回收部分油雾,降低烟气温度和油雾浓度;三是新增油雾净化器,在2~2.5m/s的优化过滤风速下,依次经过折流板粗过滤、圆丝不锈钢丝网中过滤、扁丝不锈钢丝网精过滤,油雾颗粒经碰撞、吸附、凝结后形成大液滴,在重力作用下流至集油槽;四是烟囱,利用出口特殊设计(伞形风帽+筒形风帽)捕集未被冷凝的残留液滴,最终达标排入大气。

## 4 关键设备设计与选型

### 4.1 设备组成

改进后的油雾净化系统主要由排烟管道、水冷冷凝器、新增分仓式油雾净化器、烟囱(结构改进)、回收油收集系统、蒸汽管道、压缩空气管道、电气控制系统、仪表及配套支架、平台、梯子等组成。各设备协同工作,确保烟气处理效果和系统稳定运行。

### 4.2 核心设备设计与选型

#### 4.2.1 排烟管道

排烟管道采用钢制矩形/圆形管道,材质选用Q235,壁厚4mm,通过增设加筋结构增强强度。管道设计一定坡度,坡向油雾净化设备,便于冷凝乳液汇集收集,最终排入轧机地下室<sup>[2]</sup>。同时,在管道上设置人孔、取样孔等辅助接口,方便设备检修和烟气检测。

#### 4.2.2 水冷冷凝器

水冷冷凝器布置在新油雾净化器前,采用水-气冷凝器,换热管选用不锈钢管,具有耐腐蚀、传热效率高的特点<sup>[4]</sup>。内部设置蒸汽吹扫管,防止换热管堵塞;底部设置排油口,回收冷凝油雾。冷凝器的设置不仅提升油雾回收效率,还能

有效降低烟气温度，助力“消白”，满足环保规范要求。

#### 4.2.3 新增油雾净化器

新增油雾净化器采用机械过滤除雾法，选用丝网除沫器，具有除油效率高、结构简单、压力降小、重量轻等特点。设备内部设计三级过滤单元：一级折流板过滤，采用压型加沟槽结构，截留大颗粒油污；二级粗过滤，由多层大目数不锈钢网固定而成，吸附捕集细小雾滴；三级精过滤，采用小目数不锈钢网，截留微小油雾颗粒。每级过滤单元均配备蒸汽清洗系统，实现在线清洗。

为提升清洗效果和运行稳定性，设备内部分为多个仓室，可逐一封闭清洗；采用模块式结构设计，过滤网可人工取出，便于维护。通过增大设备截面积提升过滤面积，将过滤风速控制在 $2\sim 2.5\text{m/s}$ ，确保除雾效率，设备阻力 $\leq 1200\text{Pa}$ 。选用不锈钢网丝叠成的滤网，耐磨性强、易清洗，解决传统玻璃纤维滤网易堵塞、需频繁更换的问题。

#### 4.2.4 烟囱烟帽

针对可能出现的烟囱飘油问题，在排气筒出口设置伞形风帽+筒形风帽的双重结构。气流先撞击伞形风帽，油滴通过惯性碰撞粘附在内壁，形成大颗粒后落入烟囱或筒形风帽底盘；气流转弯向下时，部分油滴随气流落入底盘；最终气流垂直向上从筒形风帽排出，控制排出速度在 $5\sim 10\text{m/s}$ ，确保液滴充分下落。风帽收集的油（雨天为油水混合物）靠重力流入轧机地下室废油箱。同时，对烟囱法兰、烟道口进行加固，提升结构稳定性。

#### 4.2.5 气动风阀与控制系统

考虑到轧制油聚积可能出现的火灾隐患，在风管上设计测温仪表，与分仓清洗切换的气动开关阀联动。当检测到风管内温度达到 $100^\circ\text{C}$ 时进行超温报警；当温度达到 $130\sim 150^\circ\text{C}$ 时，全部阀门与风机同时关闭，防止火势蔓延。设定值可根据实际运行情况调整，提升系统安全性。

#### 4.3 回收油收集系统

烟囱或油雾净化器产生的冷凝油靠重力流入乳化液集油坑，实现资源回收利用，降低能源浪费和环境污染。

### 5 方案技术可行性与应用效益分析

#### 5.1 技术可行性分析

本文中所提到的“多级沉降+冷凝+丝网过滤”集成技术，各环节协同作用，可有效解决现有系统存在的问题。通过对原有设备的改造可实现大液滴沉降，降低后续处理负荷；冷凝器的设置实现油雾回收和“消白”，满足环保规范；多级丝网过滤系统在优化的 $2\sim 2.5\text{m/s}$ 风速下，可高效截留不同粒径的油雾颗粒，确保净化效率；在线清洗和连锁控制系统保障系统长期稳定运行。关键设备选用成熟可靠的产品，结构设计合理，技术参数符合项目需求，方案技术可行性高。

#### 5.2 环境效益分析

方案实施后，预计油雾净化效率可显著提升，烟囱飘油现象得到有效缓解，冬季或阴雨天白雾排放问题得到解决，净化后烟气非甲烷总烃浓度达到排放要求，显著改善厂区及周边大气环境质量。同时，冷凝回收的油雾可重新利用，减少资源浪费和环境污染，具有良好的环境效益。

#### 5.3 经济效益分析

经济效益主要体现在两个方面：一是减少滤网更换成本，采用的不锈钢滤网耐磨性强、易清洗，无需频繁更换，降低维护材料费用；二是降低人工维护成本，系统实现自动化控制和在线清洗，减少日常维护工作量，降低人工成本。

#### 5.4 社会效益分析

项目的实施有助于企业满足环保政策要求，规避环保处罚风险，提升企业环保形象。同时，改善厂区生产环境，保障员工身体健康，增强员工工作积极性。此外，方案为铝加工行业热轧机烟气处理提供了可借鉴的技术方案，推动行业绿色低碳发展，具有良好的社会效益。

### 6 结论与展望

#### 6.1 结论

本文针对铝加工热轧机烟气处理存在的过滤风速过高、净化不彻底、无法自动清洗、维护成本高等问题，提出“旧设备改造+多级冷凝过滤”的集成处理方案，得出以下结论：

(1) 该方案遵循环保规范要求，工艺流程合理，关键设备选型科学，可有效提升油雾净化效率，实现烟气达标排放；(2) 在线清洗和连锁控制系统的设计，保障系统长期稳定运行，减少维护工作量和成本；(3) 方案实施后，具有良好的环境效益、经济效益和社会效益，技术可行性高，适合在铝加工行业热轧机烟气处理项目中推广应用。

#### 6.2 展望

未来可进一步优化方案设计，探索采用智能化监测与控制系统，实现烟气参数的实时监测和设备运行状态的智能调节，提升系统运行效率。同时，可研究新型高效过滤材料，进一步提升净化效率和滤网使用寿命。此外，可开展不同铝加工工艺烟气特性的研究，针对不同工况设计个性化的处理方案，推动铝加工行业烟气处理技术的不断创新和发展。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南[Z]. 北京: 生态环境部, 2023.
- [2] 王文宾, 李志锋, 戎娜. 工业油雾净化方法的研究现状[J]. 科技风, 2014, 18(045): 53-58.
- [3] 马文宏, 邱钧. 铝箔轧制油雾净化方法的应用及展望[J]. 有色金属设计, 2011, 38(03): 33-37.
- [4] 郭向毅, 崔冠波, 张敬礼, 蔡永光. 一种轧机烟气轧制油多级净化装置: CN202021773605.1[P]. 2021-5-14.