

Study on ultra-low emission control technology of particulate matter in exhaust gas from alumina calcination kiln

Meimei Hao

Chifeng High-tech Industrial Development Zone Management Committee, Chifeng, Inner Mongolia, 024000, China

Abstract

As a core component of the aluminum industry, the exhaust gas from alumina calcination kilns has become a critical issue in environmental governance due to particulate matter emissions. This paper, based on the characteristics of alumina production processes, systematically analyzes the sources, composition, and emission characteristics of particulate matter in kiln exhaust gases. In line with national ultra-low emission standards, it proposes a particulate matter control strategy centered on electrostatic precipitator technology, integrating multiple technologies. By optimizing the structure of electrostatic precipitators, introducing intelligent control systems, and adopting new power supply technologies, the goal of reducing particulate matter emissions to below $5\text{mg}/\text{m}^3$ has been achieved, providing a technical reference for the green transformation of the alumina industry.

Keywords

alumina calcination kiln; waste gas treatment; particulate matter control; ultra-low emission; electrostatic precipitator technology

氧化铝煅烧窑炉废气中颗粒物超低排放控制技术研究

郝梅梅

赤峰高新技术产业开发区管理委员会, 中国·内蒙古 赤峰 024000

摘 要

氧化铝煅烧窑炉作为铝工业的核心设备, 其废气中颗粒物排放问题已成为行业环保治理的重点。本文基于氧化铝生产工艺特性, 系统分析了窑炉废气中颗粒物的来源、成分及排放特征, 结合国家超低排放标准要求, 提出了以电除尘技术为核心、多技术协同的颗粒物控制方案。通过优化电除尘器结构、引入智能控制系统及新型电源技术, 实现了颗粒物排放浓度低于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 的目标, 为氧化铝行业绿色转型提供了技术参考。

关键词

氧化铝煅烧窑炉; 废气治理; 颗粒物控制; 超低排放; 电除尘技术

1 引言

氧化铝作为铝工业不可或缺的基础原料, 在现代工业体系中占据着举足轻重的地位。其生产过程是一个复杂的工业流程, 涉及到众多环节和大量的化学反应。随着《铝工业污染物排放标准》(GB25465—2010) 及地方超低排放标准的实施, 氧化铝企业面临着前所未有的严峻环保压力。一方面, 严格的排放标准要求企业必须采取有效的措施来减少废气中颗粒物的排放; 另一方面, 社会对环境保护的关注度不断提高, 企业的环保形象和声誉也成为了影响其发展的重要因素。因此, 研究窑炉废气中颗粒物的超低排放控制技术, 对于推动行业技术升级、实现可持续发展具有重要意义。这不仅有助于企业满足环保要求, 减少环境污染, 还能提高企业的生产效率和经济效益, 增强企业的市场竞争力。

【作者简介】郝梅梅(1989—), 女, 中国内蒙古锡林郭勒人, 硕士, 工程师, 从事生态环境保护研究。

2 氧化铝煅烧窑炉废气特性分析

2.1 废气来源与成分

氧化铝煅烧窑炉废气主要来源于熟料窑、焙烧窑及水泥窑等多个环节。在这些窑炉中, 矿石经过高温煅烧、焙烧等过程, 会产生大量的废气。这些废气中的颗粒物成分复杂, 包括矿石粉、熟料粉、氧化铝粉及碱粉等。

矿石粉是矿石在破碎、筛分等预处理过程中产生的细小颗粒, 其成分与矿石的种类和品位有关。熟料粉是矿石经过煅烧后形成的具有一定活性的粉末, 它包含了氧化铝、氧化铁、氧化硅等多种成分。氧化铝粉是生产过程中的主要产品之一, 在煅烧和输送过程中容易产生飞扬的粉尘。碱粉则主要来自于矿石中的碱性物质在高温下的挥发和反应产物^[1]。

废气温度波动大, 范围在 $160^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 之间。这是因为窑炉在不同的生产阶段和操作条件下, 温度会有所变化。例如, 在窑炉启动和停止过程中, 温度变化较为剧烈; 在生产稳定阶段, 温度相对较为稳定, 但也会受到燃料供应、物

料流量等因素的影响。废气湿度高,一般在30%~50%之间,这主要是由于矿石中含有的水分在煅烧过程中蒸发以及外界空气的湿度等因素。此外,粉尘黏性强,这是由于废气中含有碱粉等碱性物质,它们容易与粉尘中的其他成分发生化学反应,形成具有一定黏性的物质。这种高湿度、高黏性的废气特性对除尘设备提出了更高的要求,需要除尘设备能够适应这种复杂的环境条件,有效地去除颗粒物。

2.2 排放标准与控制需求

根据《铝工业污染物排放标准》及地方标准,煅烧炉颗粒物排放限值从100mg/m³收紧至10mg/m³。这一标准的收紧反映了国家对环境保护的要求越来越高,对铝工业废气排放的控制越来越严格。然而,为了实现超低排放,即颗粒物浓度控制在5mg/m³以下,这对除尘技术的精度和稳定性提出了更大的挑战。

高精度的除尘技术需要能够准确地捕捉和分离微小的颗粒物,避免其逃逸到大气中。这就要求除尘设备具有更高的过滤效率、更小的孔径和更均匀的气流分布。同时,稳定的除尘技术需要在不同的生产条件下都能保持良好的性能,不受废气温度、湿度、流量等因素的影响。此外,还需要考虑除尘设备的运行成本、维护成本等因素,以确保企业在满足环保要求的同时,能够实现经济效益的最大化^[2]。

3 颗粒物超低排放控制技术体系

3.1 源头减排技术

源头减排是从根本上减少颗粒物产生的重要手段。通过优化原料配比,可以降低原料中有害物质的含量,从而减少在煅烧过程中产生的颗粒物。例如,选择品位高、杂质少的矿石作为原料,可以减少矿石粉的产生;合理调整原料的比例,可以提高煅烧效率,减少不完全燃烧产生的颗粒物。

控制物料破碎及筛分过程也是源头减排的关键环节。在破碎和筛分过程中,会产生大量的细小颗粒物。可以采用先进的破碎设备和筛分技术,如高效的破碎机、振动筛等,减少物料的破碎程度和降低筛分过程中的粉尘飞扬。此外,还可以在破碎和筛分设备上安装除尘装置,如布袋除尘器、旋风除尘器等,及时捕集产生的粉尘,减少其排放到大气中。

采用精料方针是源头减排的重要策略之一。精料方针要求对原料进行严格的筛选和处理,去除其中的杂质和有害物质,提高原料的质量。这样可以降低原料在煅烧过程中的反应活性,减少颗粒物的产生。同时,精料方针还可以提高产品的质量和生产效率,降低生产成本。

3.2 过程控制技术

3.2.1 旋风除尘与电除尘协同工艺

旋风除尘器作为一种初级除尘设备,可去除大颗粒粉尘。它利用离心力的作用,使大颗粒粉尘在气流中旋转并分离出来,落入灰斗中。这样可以减轻电除尘器的负荷,提高电除尘器的除尘效率。电除尘器则通过高压电场使粉尘荷电,在电场力的作用下,粉尘被收尘极捕集。电除尘器具有

除尘效率高、处理风量大等优点,但对于高湿、高比电阻粉尘的处理效果较差。旋风除尘与电除尘协同工艺结合了两者的优点,能够有效地去除废气中的颗粒物。

3.2.2 新型电除尘技术

三相高效脉冲电源技术:传统的电除尘器通常采用单相电源供电,存在粉尘荷电能力不足、容易产生反电晕现象等问题。三相高效脉冲电源技术通过脉冲供电的方式,提高了粉尘荷电能力。脉冲供电可以在瞬间提供高电压和大电流,使粉尘迅速荷电,同时避免了反电晕现象的发生。这种技术能够显著提高除尘效率,可达99.99%,能够满足超低排放的要求^[1]。

旋转极板电除尘技术:旋转极板电除尘技术采用横置旋转极板与钢刷摩擦清灰的方式。在电除尘器运行过程中,旋转极板不断旋转,当极板上的粉尘积累到一定程度时,钢刷与极板接触,将粉尘刷落。这种方式可以消除二次扬尘,保障出口排放浓度≤10mg/m³。同时,旋转极板电除尘器还具有结构紧凑、维护方便等优点。

金属滤料电袋复合除尘器:金属滤料电袋复合除尘器结合了电除尘与袋式除尘的优势。电除尘部分可以去除大部分大颗粒粉尘,减少袋式除尘部分的负荷;袋式除尘部分则可以对微细粉尘进行高效捕集。这种除尘器对微细粉尘捕集效率高,能够有效地实现超低排放。

3.2.3 团聚技术

团聚技术是一种利用化学团聚剂使细颗粒物聚合成大颗粒的技术。化学团聚剂可以与细颗粒物表面发生化学反应,使细颗粒物表面带有相同的电荷或形成团聚体。这样可以使细颗粒物的粒径增大,提高其在气流中的沉降速度,从而提升除尘效率。该技术成本低,适用于燃煤锅炉及窑炉等多种场合。在实际应用中,只需要将化学团聚剂添加到废气中,通过搅拌或喷雾等方式使团聚剂与细颗粒物充分接触,即可实现细颗粒物的团聚。

3.2.4 末端治理技术

对于逃逸的微细粉尘,可采用湿法除尘进行深度处理。湿法除尘是利用水或其他液体与废气接触,使粉尘被液体捕获的过程。常见的湿法除尘设备有喷淋塔、文丘里洗涤器等。在喷淋塔中,废气从塔底进入,与从塔顶喷淋下来的水逆流接触,粉尘被水捕获后随水排出。湿法除尘具有除尘效率高、能够同时去除废气中的有害气体等优点。但需要注意的是,湿法除尘会产生废水,需要对废水进行处理,以避免对环境造成二次污染。废水处理可以采用沉淀、过滤、中和等方法,将废水中的污染物去除后再排放。

4 关键技术装备与优化策略

4.1 电除尘器性能提升

4.1.1 极板极线配置优化

极板和极线是电除尘器的核心部件,它们的性能直接影响电除尘器的除尘效率。采用新型极板材料,如不锈钢,

可以提高极板的强度和耐腐蚀性,延长极板的使用寿命。锯齿形极线则可以增加电场的强度和均匀性,提高粉尘荷电能力和捕集效率。通过优化极板极线配置,可以提高电除尘器的性能,实现更高效的除尘效果。

4.1.2 气流均布与湍流控制

气流均布对于电除尘器的性能至关重要。如果气流分布不均匀,会导致部分区域的粉尘浓度过高,而部分区域的粉尘浓度过低,从而影响除尘效率。通过导流板及多孔板均流装置,可以优化烟气流动路径,使气流在电除尘器内均匀分布。同时,减少涡流及短路流可以避免粉尘在局部区域积聚,提高除尘效率。合理的气流均布与湍流控制可以使电除尘器在不同的生产条件下都能保持良好的性能。

4.1.3 智能控制系统

引入设备云助手远程监控技术,可以实现电除尘器运行参数的实时调整及故障预警。智能控制系统可以实时监测电除尘器的运行状态,如电压、电流、温度、湿度等参数,并根据这些参数的变化自动调整运行参数,以保证电除尘器始终处于最佳运行状态。同时,当电除尘器出现故障时,智能控制系统可以及时发出警报,并提供故障诊断信息,方便维修人员快速定位和解决问题。这样可以提高电除尘器的可靠性和稳定性,减少设备的停机时间。

4.1.4 系统集成与协同控制

将除尘、脱硫、脱硝系统集成,可以实现多污染物协同控制。在氧化铝煅烧窑炉废气治理中,除了颗粒物外,还存在着二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放。通过优化喷氨量及循环液 pH 值等参数,可以使除尘、脱硫、脱硝系统相互配合,同时去除多种污染物。例如,在脱硫过程中,喷氨量的多少会影响二氧化硫的去除效率和氨逃逸率;循环液 pH 值的变化会影响脱硝效果和设备的腐蚀程度。通过系统集成与协同控制,可以实现多污染物的协同治理,提高环保效益,降低运行成本。

5 技术经济性与环境效益分析

5.1 技术经济性评估

以某铝业公司 5 熟料窑改造为例,采用新型电除尘技术后,颗粒物排放浓度从 $80 \sim 250\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,取得了显著的环境效益。在投资成本方面,约为 800 万元。虽然投资成本相对较高,但从长期来看,运行成本降低 30%。这是因为新型电除尘技术具有更高的除尘效率和更低的能耗,减少了设备的维护成本和运行费用。同时,超低排

放可以避免企业因环保不达标而面临的罚款和停产风险,提高了企业的经济效益和市场竞争能力。

5.2 环境效益与社会效益

实施超低排放改造后,年减排颗粒物约 200 吨,显著改善区域空气质量。颗粒物的减少可以降低雾霾天气的发生频率,提高大气能见度,保护生态环境。同时,回收的粉尘可返回生产流程,提高资源利用率。这不仅可以减少对自然资源的开采和消耗,还可以降低生产成本,实现资源的循环利用。此外,氧化铝企业的超低排放改造还可以为社会树立良好的环保形象,促进社会的可持续发展。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文提出的氧化铝煅烧窑炉废气颗粒物超低排放控制技术,通过源头减排、过程控制及末端治理相结合的方式,实现了颗粒物排放浓度低于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 的目标。该技术具有高效、稳定、经济等优点,为氧化铝行业环保升级提供了有力支持。源头减排技术从源头上减少了颗粒物的产生;过程控制技术通过多种先进的电除尘技术和团聚技术,有效地去除了废气中的颗粒物;末端治理技术则对逃逸的微细粉尘进行了深度处理。各项技术的协同作用确保了颗粒物的超低排放。

6.2 未来研究方向

未来研究可聚焦于新型材料(如纳米滤料)在除尘领域的应用。纳米滤料具有更高的过滤精度和更小的孔径,能够更有效地捕集微细颗粒物。同时,纳米滤料还具有良好的化学稳定性和耐腐蚀性,能够在复杂的环境条件下长期使用。此外,智能化与数字化技术的深度融合也是未来的研究方向之一。通过引入人工智能、大数据等技术,可以实现对除尘设备的智能控制和优化运行,进一步提高颗粒物控制效率及系统自动化水平。例如,利用人工智能算法对除尘设备的运行数据进行分析和预测,提前发现设备故障并进行预警;通过数字化技术实现对除尘系统的远程监控和管理,提高生产效率和管理水平。

参考文献

- [1] 王琳,谢友金. 氧化铝熟料窑电除尘超低排放改造技术与应用[J]. 中国环保产业, 2019(11): 13-16.
- [2] 李洪刚. 高温氧化铝煅烧窑收尘器超低排放改造设计[J]. 中国金属通报, 2020(07): 94-95+97.
- [3] 冯海燕. 氧化铝生产过程中产生的污染物处理与利用[J]. 世界有色金属, 2021(17): 139-140.