

电收尘器对铅锌冶炼烟气中颗粒物净化效率提升研究

瞿建平

呼伦贝尔驰宏矿业有限公司 内蒙古自治区 呼伦贝尔 021008

【摘要】：本文针对铅锌冶炼烟气颗粒物高温、高尘、成分复杂及细颗粒多等特点，采用优化电收尘器结构与运行参数的方法提升净化效率。通过改进极板电极设计、增强电场均匀性、优化气流分布与清灰系统，并结合烟气调质与自动控制技术，可有效抑制反电晕与二次扬尘。结果表明，除尘效率可达99.9%以上，出口浓度可降至4.23 mg/m³，满足超低排放要求。

【关键词】：铅锌冶炼；烟气颗粒物；电收尘器；净化效率；超低排放

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.009

引言

铅锌冶炼过程产生大量含细颗粒物的高温烟气，其复杂成分与物理特性对除尘设备提出严峻挑战。电收尘器虽广泛应用，但受高比电阻粉尘、酸性气体及工况波动影响，捕集效率受限。实现稳定高效的颗粒物超低排放，亟需系统优化治理技术路径。

1 铅锌冶炼烟气颗粒物排放现状与特点

铅锌冶炼过程中产生的烟气具有高温、高含尘量和多种有害成分并存的特征，其中颗粒物成分复杂、粒径分布跨度大，从亚微米级细颗粒到较大直径的粗颗粒均有存在。受冶炼原料性质、炉型结构以及燃料种类等影响，烟气中颗粒物不仅含有大量金属氧化物，如氧化铅、氧化锌，还夹杂硫酸盐、氯化物及未完全燃烧的碳质颗粒。这些颗粒物在高温烟气携带下具有极强的流动性与扩散性，若未经高效处理排放，将对环境空气质量造成严重影响，并对周边生态系统及人体健康构成威胁。同时，铅锌冶炼烟气的粉尘浓度高、比电阻范围宽，对颗粒物的捕集提出了较高要求，也对除尘设备的运行稳定性带来挑战。

在铅锌冶炼环节，烟气成分和颗粒物的物理化学特性存在显著波动。例如，在烧结、焙烧等工序中，颗粒物温度可达数百摄氏度，且高温条件下部分金属化合物会发生相变或凝聚，导致粒径分布瞬时改变。同时，冶炼过程中存在大量细微颗粒，这类粒径小于2.5微米的PM_{2.5}颗粒比表面积大、表面活性高，易与其他污染物结合形成复合颗粒，不仅增加了捕集难度，还可能在烟道内产生二次扬尘。伴随的高比电阻粉尘在电收尘过程中易出现反电晕现象，导致除尘效率下降。这些复杂性意味着单纯依靠传统运行参数往往难以实现稳定、高效的颗粒物去除，必须结合颗粒物特性制定差异化控制策略。

铅锌冶炼烟气颗粒物的排放特征还与冶炼工艺和生产负荷密切相关。在高负荷冶炼条件下，炉温波动频繁，原料配比变化会直接影响颗粒物生成速率及化学组成。由于冶炼烟气中常伴随高浓度的二氧化硫、氯化氢等酸性气体，这些气体与颗粒物表面发生反应，改变了颗粒的导电性和吸湿性，从而对电

收尘器的荷电与捕集过程产生干扰。颗粒物在排放前若未经充分冷却与调湿，容易因温度梯度变化和湿度不足导致电场荷电效率降低。此外，部分冶炼系统在烟气输送过程中存在气流分布不均的现象，造成颗粒物在空间分布上的集中与稀疏差异，使局部区域的排放浓度超过控制指标。因此，对铅锌冶炼烟气颗粒物排放现状的深入分析，不仅是理解除尘难点的基础，也是优化电收尘器净化效率的前提。

2 电收尘器在铅锌冶炼烟气治理中的应用现状分析

电收尘器作为铅锌冶炼烟气治理的核心设备之一，凭借低阻力、高除尘效率及运行成本较低的优势，在行业中得到广泛应用。在高温高尘的铅锌冶炼环境中，电收尘器通过高压静电场使烟气中的颗粒物荷电，再利用电极板间的电场力将带电颗粒沉积在收尘极板表面，从而实现分离与净化。针对铅锌冶炼烟气中粒径分布跨度大、PM_{2.5}和PM₁₀等细微颗粒比例较高的特征，部分冶炼企业在传统电收尘器基础上进行结构优化，如增加多电场串联布局、延长气流停留时间、改进电极结构以增强荷电效率。这些措施有效提高了细颗粒物的捕集能力，同时降低了粉尘穿透率，为满足日益严格的超低排放标准提供了技术保障。

在实际应用中，铅锌冶炼烟气的高比电阻粉尘和酸性气体成分对电收尘器性能产生显著影响。高比电阻粉尘易导致反电晕现象，使极板间的有效电场减弱，进而降低颗粒物荷电程度，从而影响捕集效率。为应对这一问题，部分生产线在电收尘器前端设置烟气调质系统，通过喷入适量的水蒸气、氨气或硫酸雾来调节粉尘的比电阻范围，使其处于适宜捕集的区域。此外，酸性气体对设备材料的腐蚀性较强，长期运行可能导致极板表面粗糙度变化，进而改变电场分布，因此耐腐蚀材料的应用与定期维护在运行管理中显得尤为关键。随着环保标准的升级，冶炼企业还在控制系统中引入自动化监测与调节装置，通过实时采集电场电压、电流及粉尘浓度数据，动态调整运行参数，以应对烟气成分与工况波动对净化效率的影响。

尽管电收尘器在铅锌冶炼烟气治理中表现出较高的适应性，但在处理超细颗粒物与抑制二次扬尘方面仍存在一定局限性。部分冶炼烟气中细颗粒的荷电效率较低，易随气流穿透电

场区域形成排放超标现象；同时，在极板清灰过程中，沉积粉尘的再悬浮可能导致出口浓度瞬时升高。为改善这一情况，一些企业采用电收尘与布袋除尘的联合工艺，将电收尘器用于捕集大部分粗颗粒物，再利用布袋除尘器高效拦截残余细颗粒，实现协同净化。此外，低温等离子体预荷电技术、分区供电控制技术等新工艺引入，也为电收尘器在铅锌冶炼烟气治理中的深度应用提供了新的方向。这些技术手段的综合运用，使电收尘器在满足超低排放要求的同时，兼顾了运行稳定性与经济性。

3 铅锌冶炼烟气中影响电收尘器净化效率的关键因素

铅锌冶炼烟气中颗粒物的物理化学特性是影响电收尘器净化效率的重要因素。颗粒物的粒径分布、形貌结构以及比电阻直接决定了荷电与捕集的难易程度。粒径小于2.5微米的细微颗粒比表面积大、表面活性高，极易随气流运动，其荷电效率偏低，穿透电场的几率因而增加；而高比电阻粉尘在荷电后容易积聚大量电荷，导致极板表面出现反电晕现象，削弱有效电场强度，进而降低捕集效率。此外，烟气中夹带的金属氧化物、硫酸盐和氯化物等化合物会在高温条件下发生相变化或凝聚反应，改变颗粒物的表面导电性，这些变化会使除尘系统的设计工况与实际运行状态出现偏差，从而影响整体净化效果。

烟气参数的波动对电收尘器的稳定运行同样具有显著影响。铅锌冶炼生产过程中的炉温变化、原料配比调整以及燃料性质差异，都会导致烟气温度、湿度及成分的不稳定。当温度过高时，颗粒物荷电效率下降且高比电阻粉尘更易产生反电晕；湿度不足则使粉尘导电性降低，捕集难度增加；而湿度过高又可能引起极板结露，导致粉尘吸湿结块，增加清灰难度。气流分布的不均匀也会直接影响颗粒物在电场中的运动轨迹，局部高速气流可能使部分颗粒物来不及沉降而被带出，造成出口浓度波动。酸性气体浓度的变化不仅对设备材料造成腐蚀，还可能与颗粒物发生化学反应，改变其荷电特性，对净化效率形成干扰。

设备运行状态与维护水平也是决定电收尘器净化效果的关键环节。极板、放电极丝等核心部件的结构参数若与烟气特性匹配度不足，或因磨损、腐蚀而表面形貌改变，都会影响电场分布和荷电效率。清灰系统的性能直接关系到极板表面的沉积粉尘能否及时清除，若清灰不彻底，粉尘层会逐渐增厚，降低有效电场空间，导致效率下降。供电系统的电压与电流稳定性、自动控制系统的响应速度、运行参数的实时调节能力，均会影响除尘效率的稳定性。缺乏定期检测与维护还可能造成电场短路、放电不均等问题，进一步加剧净化性能的波动。因此，在铅锌冶炼烟气治理中，必须综合考虑颗粒物特性、烟气运行参数与设备状态的相互作用，才能实现电收尘器的高效稳定运

行。

4 电收尘器结构与运行参数优化提升颗粒物捕集效率的策略

在铅锌冶炼烟气治理中，电收尘器的结构优化与运行参数调整是提升颗粒物捕集效率的关键，而电气设计与电气运行原理在其中发挥着至关重要的作用。从电收尘器的电气结构角度来看，其内部的电极系统设计至关重要。电极系统的布局、形状和尺寸会对电场的分布和强度产生直接影响。运用新型的电极材料以及先进的制造工艺，能够提升电极的表面质量和电气性能。比如，借助先进的电极加工技术，像采用特殊的电极表面处理工艺，可使电极表面更加光滑且电气特性更优，有效降低因电极表面不平整等因素导致的电场畸变，进而增强电场的均匀性和稳定性，让颗粒物在电场中更高效地荷电并被捕获。

在电极系统设计方面，电气参数的优化同样至关重要。合理调整电极的形状和间距，能够有效提升电极的放电性能和电场强度。例如，通过优化电极的几何形状，使其更符合电场分布的电气要求，从而增加电极与烟气中颗粒物的有效作用范围，提高放电效率，让颗粒物在更短的时间内获得足够的荷电量。同时，电极的电气稳定性和可靠性也必须得到保障，以防止在长期运行过程中因电气故障等因素影响电场的正常分布和运行效率。

从电气运行原理角度考虑，电收尘器的清灰系统对于捕集效率有着关键影响。清灰系统的电气控制策略和运行参数会直接影响极板表面粉尘的清除效果。传统的清灰方式在面对高比电阻粉尘时，存在粉尘再悬浮等问题，影响捕集效率。因此，采用先进的清灰技术，比如利用特定的电气控制信号驱动的清灰装置，能够更高效地清除极板表面的粉尘。这种清灰技术通过精准的电气控制，使清灰过程更加高效且针对性强，减少粉尘的再悬浮，提高清灰效率，进而维持电场的有效空间和良好的捕集效率。

此外，电收尘器的气流分布控制系统也是电气设计的重要组成部分。通过优化气流分布控制系统的电气参数，如采用先进的传感器和电气控制系统，可以实现烟气在电场中的均匀分布。传感器可以精准监测烟气的流动状态，电气控制系统根据监测数据进行实时调节，使烟气在进入电场前均匀分散，减少局部气流速度过快或过慢的现象，从而确保颗粒物在电场中有足够的时间进行荷电和沉降，提高气流的利用率和颗粒物的捕集效率。

在运行参数方面，电气系统的稳定性同样重要。电收尘器的电气系统是其运行的核心。稳定的电压和电流供应是确保电场强度和电场稳定性的重要保障。通过采用先进的电气设备和智能控制系统，可以实现对电场电压和电流的精确控制，从而提高颗粒物的荷电效率和捕集效率。同时，智能控制系统可以

根据烟气的实时参数,如温度、湿度和粉尘浓度,自动调整电场强度和气流分布,确保电收尘器在不同工况下都能保持最佳的运行状态。

5 电收尘器在铅锌冶炼颗粒物超低排放中的综合效果评估

在铅锌冶炼过程中,电收尘器的综合效果评估对于实现颗粒物的超低排放具有重要意义。从机械结构优化的角度来看,通过采用先进的极板和电极设计,可以显著提高电收尘器的性能。例如,优化后的电收尘器在处理高比电阻粉尘时,能够有效避免反电晕现象的发生,从而将除尘效率稳定在99.2%以上。在实际应用中,当入口烟尘浓度为 30 g/m^3 时,通过增加比集尘面积至 $130\text{ m}^2/(\text{m}^2/\text{s})$,电收尘器的出口烟尘浓度可降低至 20 mg/m^3 以下。

在运行参数调控方面,通过精确控制电场强度和气流分布,可以更有效地提升颗粒物的捕集效率。例如,采用低低温电除尘技术,将入口烟气温度控制在 $90\pm 5^\circ\text{C}$,同时优化气流分布均匀性,使相对均方根差控制在0.25以内,能够使除尘效率达到99.9%以上。此外,通过优化清灰系统,如采用声波清灰技术,可以有效减少粉尘的再悬浮,进一步降低出口浓度至 10 mg/m^3 以下。

参考文献:

- [1] 王建国.电收尘器在铅锌冶炼烟气治理中的应用研究[J].有色金属工程,2022,12(4):45-52.
- [2] 刘志强.铅锌冶炼烟气颗粒物特性及净化技术分析[J].冶金环保,2021,41(6):33-39.
- [3] 陈海波.高比电阻粉尘对电收尘器性能的影响及控制策略[J].工业环保,2020,40(3):57-63.
- [4] 周明辉.有色冶炼烟气超低排放技术现状与发展趋势[J].环境工程,2023,41(2):88-94.
- [5] 李宏伟.电收尘器结构优化与运行参数控制研究[J].电力与环保,2019,35(5):26-31.

从系统整体性能提升的角度来看,电收尘器在铅锌冶炼颗粒物超低排放中的综合效果显著。在实际工程应用中,经过电气优化的电收尘器系统能够实现超低排放要求,各项指标均满足排放限值。例如,在某600MW机组中,经过电气优化的电收尘器在设计工况下,出口烟尘浓度可达 4.23 mg/m^3 ,远低于超低排放标准。此外,通过采用先进的电气控制技术,如智能电场调控技术,可以进一步降低能耗,使电能消耗量降低至4937.5 kW,同时保持高效的除尘性能。

在电气设计方面,电收尘器的气流分布控制系统和清灰系统的电气优化也对整体性能提升起到了关键作用。例如,采用先进的传感器和电气控制系统进行气流分布控制,可以有效提高气流的均匀性,减少局部气流速度过快或过慢的现象,从而提高颗粒物的捕集效率。同时,通过优化清灰系统的电气控制,如采用智能清灰技术,可以有效清除极板表面的粉尘,保持电场的有效空间和捕集效率。

6 结语

电收尘器通过结构优化与参数调控,显著提升了对铅锌冶炼烟气中复杂颗粒物的捕集能力,实现了超低排放目标。未来应需进一步融合智能控制与多技术协同,提升系统对多工况的适应性,推动冶金行业烟气治理向高效、节能、稳定方向持续发展。