

高效节能冶金燃烧器的机电一体化设计与燃烧稳定性分析

王翔宇

浙江沃洛达节能科技有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8200

[摘要] 高效节能冶金燃烧器的机电一体化设计，聚焦传统设备能耗高、稳定性差的痛点，经过机械结构的轻量化与高效化改造、智能电子控制系统的集成以及协同机制的构建，对气流与燃料的配比进行优化，实现温度场的动态调控。实验室测试和实际生产应用结果显示，该设计能显著降低燃料消耗，提升燃烧效率与设备运行稳定性，增强设备的抗干扰能力，为冶金行业的节能增效提供了切实有效的解决方案，有力推动了生产技术的革新。

[关键词] 高效节能冶金燃烧器；机电一体化设计；燃烧稳定性；能源利用

Mechatronics design and combustion stability analysis of high efficiency and energy saving metallurgical burner

Wang Xiangyu

Zhejiang Volada Energy Saving Technology Co., LTD.

[Abstract] The mechatronic design of an efficient and energy-saving metallurgical burner addresses the issues of high energy consumption and poor stability in traditional equipment. By optimizing the gas-to-fuel ratio through lightweight and efficient mechanical structure modifications, integrating intelligent electronic control systems, and establishing a collaborative mechanism, this design achieves dynamic temperature field regulation. Laboratory tests and practical applications have shown that this design significantly reduces fuel consumption, enhances combustion efficiency and operational stability, and improves the equipment's resistance to interference. This provides a practical and effective solution for energy conservation and efficiency improvement in the metallurgical industry, effectively driving the innovation of production technology.

[Key words] efficient and energy-saving metallurgical burner; mechatronics design; combustion stability; energy utilization

引言

冶金行业能源消耗极大，传统燃烧器技术瓶颈限制行业可持续发展，当下节能环保要求提高和智能制造技术发展，急需打破现有设备在能耗和稳定性上的局限。高效节能冶金燃烧器采用机电一体化设计，将机械优化与智能控制技术相结合，为解决这些问题提供新途径，该设计可降低生产能耗、减少污染

物排放，还能提升冶金生产自动化水平，对推动行业绿色转型和高质量发展有重要作用。

一、高效节能冶金燃烧器现存问题与挑战

（一）传统燃烧器能耗高、效率低的机械结构局限

传统冶金燃烧器机械结构有固有缺陷，严重影响能源利用效率，其燃料喷射通道设计不够精准，造成燃料雾化不均匀，

难以和助燃空气充分混合，很多燃料没完全燃烧就被排出，增加了燃料损耗，燃烧腔体形式单一，多是简单的圆柱或锥形结构，气流组织混乱，高温烟气在腔内停留时间短，不能充分释放热量，让炉膛热交换效率变低。燃烧器内部组件材料耐高温性能不够，长期在高温下运行容易变形、磨损，引发密封不严的问题，导致冷空气渗入，破坏燃烧环境，额外消耗能源，这些机械结构设计的不足，一起造成传统燃烧器能耗很高，难以满足冶金行业不断增长的节能需求。

（二）电子控制缺失导致的燃烧稳定性差问题

传统冶金燃烧器因缺先进电子控制系统，难实时感知并响应燃烧工况变化，无法精准监测温度、压力、氧含量等燃烧关键参数，使操作人员不能及时调整燃烧器运行状态，燃料供给与空气供应缺自动化调节机制，生产负荷波动时，难快速匹配合适的燃料-空气比例，易出现燃料过剩或空气不足，导致火焰不稳定，甚至脱火、回火。燃烧器还缺自动安全保护功能，突发异常工况时，不能迅速切断燃料供应，存在较大安全隐患，燃烧过程的稳定性与安全性都难保障。

（三）机械与电子系统分离造成的协同不足困境

传统冶金燃烧器的电子系统与机械系统彼此孤立，二者间信息传递与协同运作碰到了明显障碍，机械部件运行状态数据无法精准、及时反馈给电子控制系统，电子控制系统发出的指令，要精准驱动机械结构完成相应动作颇具难度^[1]。若燃烧工况出现变化，电子控制信号响应跟机械结构调整不合拍，就像燃料输送机械部件的调节速度跟电子控制设定的燃料量变动不相符，造成实际燃料供给量与理论所需出现偏差。

二、机电一体化设计优化策略

（一）机械结构的轻量化与高效化改造

对机械结构开展轻量化与高效化改造，是提升冶金燃烧器性能的根基，进行轻量化设计期间，用高强度轻质合金材料替换传统金属部件，运用拓扑优化技术对燃烧器内部支撑结构及外壳重新进行设计，在保证结构强度处于合适水平时大幅降低整体重量，减小运行阶段的惯性阻力，带动机械响应速度上扬。高效化改造从燃料喷射跟气流组织两方面开启进程，再次设计多孔式燃料喷头样式，优化喷孔的分布以及孔径参数，加大燃料的雾化力度；优化燃烧腔体的结构构造，采用导流板和稳焰装置，设置恰当的气流传输通道，促使燃料与空气在腔中形成剧烈的湍流，提升高温烟气的停留时长，优化热交换环节，进

而达成燃烧效率的增长，减少能源的消耗。

（二）智能电子控制系统的集成与功能拓展

智能电子控制系统的集成与功能拓展给燃烧器装上智慧“大脑”，集成高精度传感器网络实时采集燃烧温度、压力、氧含量、燃料流量等多维度数据，借高速数据传输模块把信息汇聚到中央处理器，运用先进控制算法，像自适应PID控制、模糊控制等，对采集数据做深度分析处理，实现对燃料供给、空气配比等关键参数的动态优化调节。功能拓展上，添加故障诊断模块，靠机器学习算法对传感器数据进行模式识别，提前预判燃烧器潜在故障；集成远程监控功能，经过物联网技术实现燃烧器运行状态的远程可视化管理与参数远程调整，提升燃烧器运行的智能化水平和管理效率。

（三）机电协同工作机制的创新构建

创新构建机电协同工作机制是燃烧器高效稳定运行关键，搭建统一信息交互平台，制定标准化数据传输协议，让机械系统运行状态数据与电子控制系统指令信号准确快速交互，设计机电联动控制逻辑，电子控制系统依传感器数据判断需调整燃烧工况，即刻向机械执行机构发指令，驱动燃料阀、空气调节挡板等机械部件同步动作，实现燃料与空气供给协同调节^[2]。建立反馈修正机制，机械部件动作后将实际执行状态实时反馈电子控制系统，系统对比预设与实际，动态修正控制指令，形成“监测-控制-执行-反馈-修正”闭环协同工作模式，保障机电系统紧密配合，提升燃烧器整体运行性能。

三、燃烧稳定性提升方案

（一）基于机电控制的气流与燃料配比优化

机电控制实现高效稳定燃烧的关键在于气流与燃料配比优化，高精度质量流量传感器实时监测燃料和空气瞬时流量，并把数据传送给智能控制器，控制器采用先进算法，依照预设最佳空燃比曲线，结合燃烧负荷变动，算出所需燃料和空气供给量。电动调节阀与伺服电机驱动的空气挡板，动态调节燃料管道和空气通道开度，让燃料与空气在各种工况下都维持理想配比，压力传感器监测燃烧器进出口压力，依据压力变化自动调节气流速度，提升燃料与空气混合效果，防止配比不当造成不完全燃烧或火焰不稳，为稳定燃烧奠定基础。

（二）燃烧温度场实时监测与动态调控

燃烧温度场实时监测与动态调控是维持燃烧稳定的关键所在，于燃烧器内部和炉膛关键处布设红外测温传感器与热电

偶，搭建温度监测网络，全方位感知燃烧区域温度场，传感器采集的温度数据经信号处理模块转换，传至中央控制系统，系统利用温度场重构算法，把离散温度数据变为可视化温度分布图像，清晰展现温度变化态势。一旦检测到局部温度异常或整体温度偏离设定值，控制系统按预设调控策略，协同调节燃料供给量、空气流量与火焰形状，调整燃料喷射角度、改变空气旋流强度等操作，动态修正温度场，保障燃烧温度均匀稳定，避免因局部过热或温度不足致使燃烧出现波动。

（三）抗干扰与自适应燃烧调节机制设计

抗干扰与自适应燃烧调节机制设计为燃烧器稳定运行提供保障，针对生产中可能出现的电网电压波动、燃料品质变化、环境温度干扰等情况，在电子控制系统中集成干扰识别模块，该模块分析传感器数据波动特征，快速判断干扰类型与强度。基于干扰信息，系统自动切换对应自适应调节算法，像燃料热值波动时，用前馈-反馈复合控制策略提前调整燃料供给量；遭遇外界气流扰动时，动态补偿算法修正空气流量，维持稳定燃烧环境^[3]。建立燃烧特性数据库记录不同工况最优运行参数，系统依据实时工况自动匹配数据库参数模型，实现燃烧调节策略自主优化，让燃烧器在复杂多变工况下始终保持稳定运行。

四、设计成果验证与应用成效

（一）实验室性能测试与数据对比分析

实验室性能测试借助标准化测试平台模拟冶金燃烧工况，对高效节能冶金燃烧器关键性能指标开展系统测定。运用精密流量计量设备监测燃料与空气消耗速率，联合气体分析仪检测燃烧产物成分，以此获取不同负荷下的燃烧效率数据，经过红外热成像仪捕捉燃烧温度场分布，搭配压力传感器记录炉膛压力变化，进而分析燃烧稳定性参数。针对燃烧器机电响应速度、控制精度等机电一体化性能指标实施专项测试，把测试数据和传统燃烧器性能参数对比可知，相同测试条件下，新型燃烧器燃料消耗量大幅降低，燃烧效率显著提升，温度场均匀性与压力稳定性均优于传统设备，充分验证机电一体化设计对燃烧器性能的优化成效。

（二）实际生产场景的应用效果评估

在实际冶金生产场景中部署高效节能冶金燃烧器，长期运行数据采集评估应用效果，于轧钢、炼铁等不同生产环节，实时记录燃烧器运行参数与生产设备运行数据，剖析燃烧器对生产流程的适配性，监测生产负荷波动时燃烧器的动态响应能

力，观察其在频繁启停、工况切换过程中的稳定性表现。收集操作人员反馈，评估燃烧器智能控制系统的易用性与可靠性，对比应用前后的生产数据，新型燃烧器在满足生产工艺要求的前提下有效减少生产波动，降低设备维护频率，其机电协同控制功能显著提升生产自动化水平，展现出良好的实际应用价值。

（三）节能增效与稳定性提升综合效益体现

高效节能冶金燃烧器在节能增效与稳定性提升上实现双重突破，经对燃料消耗、能源利用率等指标量化分析，明确其节能效益——保障同等生产规模时，年度燃料成本大幅降低^[4]。稳定性提升增强生产连续性，降低燃烧波动导致的次品率，提升产品质量，直接创造经济效益，燃烧效率提高可降低污染物排放，减少环保治理成本，契合绿色生产要求，机电一体化设计延长燃烧器使用寿命，降低全生命周期成本，其智能控制功能减少人工干预，提升生产管理效率。

结语

对高效节能冶金燃烧器机电一体化设计与燃烧稳定性剖析，从机械结构改造、智能电子系统集成、协同机制构建等多维度优化，有效解决传统燃烧器能耗高、稳定性差等问题。实验室测试与实际生产应用数据显示，新型燃烧器在节能增效、燃烧稳定性方面均实现显著提升，为冶金行业降本增效提供技术支撑，随着新材料、智能控制技术的发展，冶金燃烧器将朝着更高效、智能、环保的方向发展，进一步满足行业低碳化、智能化转型需求，持续推动冶金生产技术革新。

[参考文献]

- [1]邱玲峰.高效节能的钢铁精炼工艺改进[J].冶金与材料, 2025, 45(05): 28-30.
 - [2]华勤“5G 智慧工厂”解锁安全高效节能生产新模式[J].通信世界, 2025, (09): 45.
 - [3]林启发.产业政策促进电机产业发展的作用及其路径探讨[J].市场周刊, 2025, 38(14): 56-59.
 - [4]李小青, 王东波, 殷艳, 等.浅谈新型高效节能材料在KBR一段炉中的应用[J].氮肥与合成气, 2025, 53(05): 49-52.
- 作者简介：王翔宇，男，出生年份：1982 年 1 月 9 日，汉族，籍贯：江苏省高淳县，学历：本科，职称：工程师，现研究方向：机电设计开发。