

粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析 预处理系统优化设计及应用研究

武亮

酒泉钢铁有限责任公司

摘要：为解决粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析系统存在的取样易堵塞、部件故障率高的问题，本文设计了一套优化的预处理系统。该系统通过采用探头双级过滤与电伴热组合技术，有效防止了粉尘堵塞与烟气冷凝；利用多级制冷与气水分离实现了样气深度除湿；关键环节引入微型超声波流量计进行实时流量监控，并将核心部件的动力气源改为氮气，显著提升了可靠性。实际应用证明，该系统有效保障了烟气分析的连续性与稳定性，满足了生产工艺的实时监控需求。

关键词：粉矿悬浮磁化焙烧；烟气在线分析；预处理系统；过滤除湿；氮气反吹；超声波流量计

粉矿悬浮磁化焙烧选矿技术通过将粉体物料在悬浮状态下加热到一定温度，利用还原气体将赤铁矿、菱铁矿和褐铁矿还原为磁性铁矿物，再经过磁选获得高品质铁精矿^[1]。该技术具有效率高、产能大、热能利用好、劳动生产率高以及环保等优势^[2]。在焙烧生产过程中，烟气中CO、CO₂、H₂等多组分含量是重要的生产控制指标^[3]。新型的非分散红外线（NDIR）技术能够实现多组分烟气浓度的检测。其原理基于气体红外吸收，在测量过程中无需消耗物质，具有使用寿命长、稳定性好、精度高等优点^[4]，因此在烟气检测中得到了广泛应用。然而，在实际使用过程中，由于工艺参数和介质等因素的差异，分析设备故障频发，因此需要一种可靠且适合工况的预处理系统来保证分析仪的正常检测，并延长其使用寿命。

1 粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析系统存在的问题

在粉矿悬浮磁化焙烧反应过程中，还原炉煤气含有大量粉尘、温度高达

400℃以上，并且烟气管道内悬浮有矿粉颗粒物。这些因素导致取样探头容易被烟气粉尘堵塞，故障处理不及时会影响反应炉的正常生产。

原进气和反吹微型执行机构采用压缩空气作为动力气源，由于压缩空气中含有油和水，经常造成微型气动执行机构的损坏。这一问题严重影响了设备的可靠性和稳定性。

目前的粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统在可靠性、稳定性和易维护性方面存在明显差距。取样预处理系统经常堵塞，阻断连续采样，严重依赖人工清理，成为制约系统稳定运行的瓶颈问题。

2 粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统优化方案

为优化粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统的运行稳定性与分析准确性，本方案对核心部件及控制逻辑进行针对性改进，具体优化内容如下。

1) 取样探头采用一体化创新设计，配置内置与外置双重过滤结构：内置探头直接置于烟道内部，可高效适配高粉尘、高温的恶劣工况；外部配套电加热与电伴热装置，通过精准控温确保取样烟气温度始终高于露点，避免冷凝水产生并混入样气，保障过滤组件的稳定运行效果。样气经探头预处理后，依次通过盘管冷凝器、气水分离器及压机式双路制冷系统深度处理，将样气湿度降至4℃以下，实现高效除湿，为后续分析提供干燥样本。冷干法样本处理流程中，同步集成精密二级过滤、快速旁路分流及蠕动泵定期清污功能，既提升了系统的长期耐用性，又显著降低了运维难度，实现维护便捷化。

2) 为强化系统故障预警与快速响应能力，在样气入口、排污管出口及排空管出口等关键节点增设微型超声波流量计，可实时监测介质流量变化，一旦预处理系统出现堵塞、泄漏等异常工况，能够即时捕捉故障信号并触发预警，为快速排查与整改提供数据支撑。同时，为避免压缩空气中的油、水杂质对微型

气动执行机构造成损害,将执行机构的控制气源由压缩空气切换为氮气,从源头消除气源污染隐患,进一步提升了系统整体的运行稳定性与长期可靠性。

3 粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统结构

预处理系统的精密设计包括一系列关键组件:探头内置和外置过滤器、通孔球阀、PTC 加热器、探头箱,以及电伴热管、冷却盘管、气水分离器、压缩机冷却器、抽气泵、膜式过滤器及进样流量计。分析柜设有对接接口,探头内置过滤器通过球阀与进口相连,球阀出气再导向外置过滤器,后者由 PTC 加热器保护,并内置于探头箱中。探头外置过滤器的样气进一步通过电磁阀 SV1 和 SV2 分配,SV1 连接电伴热管,

随后电伴热管与冷却盘管相接,冷却盘管再导向气水分离器。

接下来,气水分离器的气体进入截止阀,送至一级压缩机冷却器,同时与抽气泵、针型阀和旁通管流量计互动。二级冷却盘管由一级冷却后的气体驱动,随后进入过滤器,膜式过滤器的输出则分别供给 CO 和 CO₂ 分析仪及 H₂ 分析仪,它们的样气最终排入排空管。这样,整个流程既高效又确保了分析结果的准确性。

4 粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统实际工作方式

如图 1 所示,为粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统的结构及工艺流程。焙烧炉烟气首先进入分析

仪取样探头箱,通过内置过滤器完成初次过滤;随后进入 PTC 陶瓷自限温电加热器(额定参数:电压 220V.AC/50Hz,功率 150W,自动限温 200℃),确保烟气温始终高于露点温度,防止冷凝水产生;接着烟气进入外置过滤器(超微孔 SiC 材质,规格参数:长度 135 mm、外径 50 mm、内径 20 mm)进行二次精过滤,彻底阻隔矿粉颗粒物,避免取样探头因烟气粉尘堆积造成堵塞。

经两级过滤后的取样气,通过电磁阀 SV1 出口与电伴热管连接,电伴热管经样气管接口接入冷却盘管的样气进口;冷却盘管的样气出口与气水分离器入口相连,实现样气初步脱水;气水分离器的样气出口接入截止阀入口,经截止阀后进入压缩机冷却器第一级冷却盘管进口;第一级冷却盘管出口分为两路,

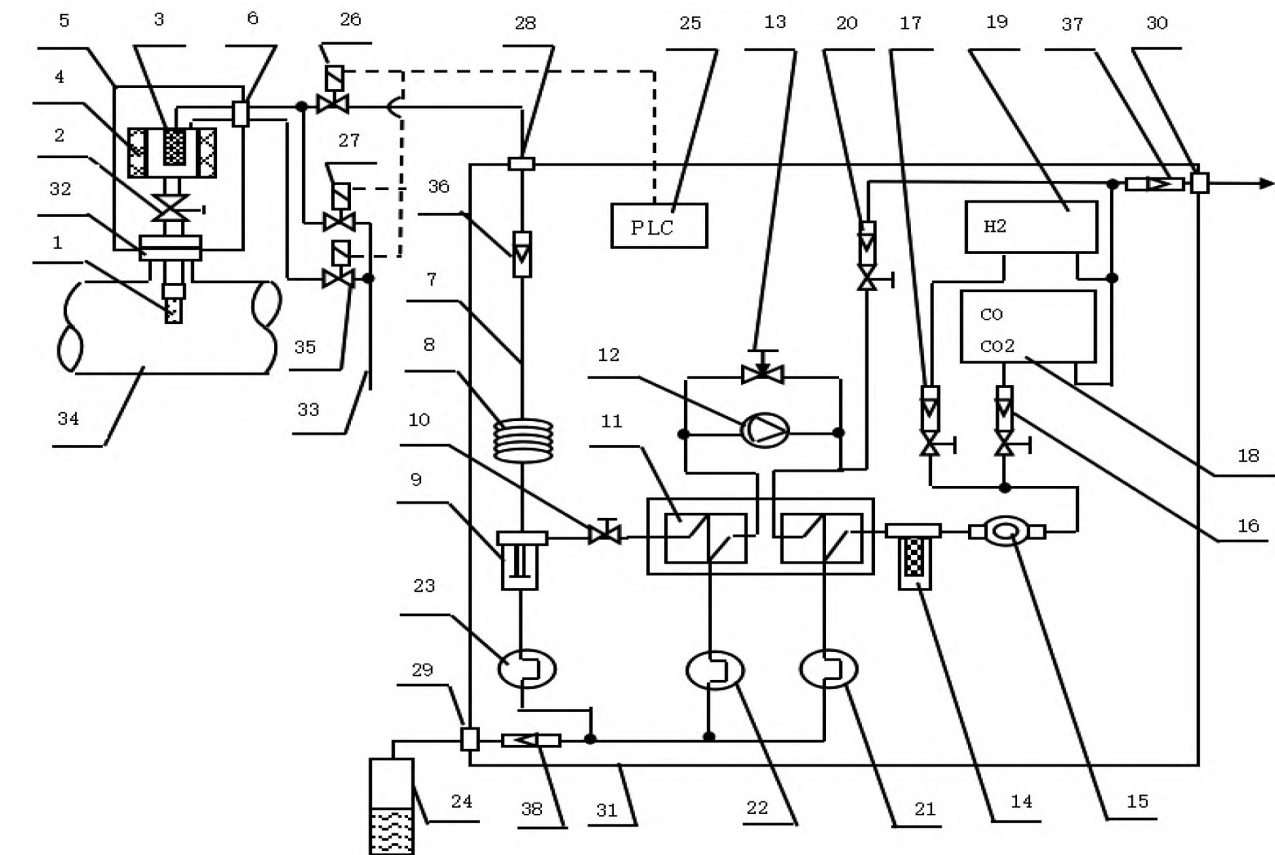


图 1 粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统结构图

1-探头内置过滤器, 2-通孔球阀, 3-探头外置过滤器, 4-PTC 陶瓷自限温电加热器, 5-探头箱, 6-探头箱接口, 7-电伴热管, 8-冷却盘管, 9-气水分离器, 10-截止阀, 11-压缩机冷却器, 12-抽气泵, 13-针型阀, 14-过滤器, 15-膜式过滤器, 16-进样流量计 FL1, 17-进样流量计 FL2, 18-CO、CO₂ 分析仪, 19-H₂ 分析仪, 20-旁通管流量计 FL3, 21、22、23-端动泵, 24-储液罐, 25-PLC, 26-电磁阀 SV1, 27-电磁阀 SV2, 28-样气管接口, 29-排液管接口, 30-尾气排空管接口, 31-分析柜, 32-安装法兰, 33-反吹气源, 34-煤气管道, 35-电磁阀 SV3, 36-进气流量计, 37-排空流量计, 38-排污流量计

分别连接抽气泵入口与针型阀入口；抽气泵出口分为三路，分别连接压缩机冷却器第二级冷却盘管进口、针型阀出口及旁通管流量计入口；第二级冷却盘管样气出口接入过滤器入口，经过滤后进入膜式过滤器进一步净化；膜式过滤器样气出口分为两路，分别接入两个进样流量计入口，其中一路进样流量计出口连接 CO 、 CO_2 分析仪样气进口，另一路连接 H_2 分析仪样气进口； CO 、 CO_2 分析仪与 H_2 分析仪的样气出口均接入尾气排空管接口，完成分析后尾气集中排放。

此外，气水分离器及压缩机冷却器一、二级分离出的冷凝液，通过蠕动泵定期排出，排液管接口与储液罐连接收集。电磁阀 SV2、SV3 与电磁阀 SV1 协同工作，通过氮气反吹方式确保整个气路畅通无堵塞。整套系统由小型可编程控制器实现自动化控制，完成自动采样、程序式内外反吹、气路自动切换及冷凝液自动排放等功能。

5 粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统优势

相对于现有技术具有以下优点：1)

采用探头内置过滤器装在探管头部（置于烟道内）+ 探头外置过滤器，实现高粉尘、高温烟气的初级过滤。

2) 探头外置过滤器的电加热和传输管线的电伴热，使取样烟气温度保持在其露点温度以上，防止冷凝液与煤气烟尘混合将过滤芯堵塞。

3) 盘管冷凝器、气水分离器、压机式双路样气制冷可将样气温度降至 4°C 高效除湿，实现冷干法样气处理。

4) 取样探头外置过滤器内外反吹扫结构设计，解决了过滤除尘及无堵塞长周期连续采样的技术难题。

5) 进样入口，排空、排污出口安装微型夹管超声波流量计，其管路流量直观可视，利于预处理系统气路故障的快速判别。

6) 预处理系统关键部件进气、反吹微型启动执行机构动力气源改为氮气，大大减少了关键部件损坏的故障，保证烟气在线分析稳定可靠。

6 结语

当前的粉矿悬浮磁化焙烧炉烟气在线分析取样预处理系统在工程实用性方面存在不足，尤其在可靠性、稳定性

与易维护性方面与实际需求有显著差距。该系统的频繁堵塞和故障，导致采样中断，严重依赖人工干预，已成为限制烟气成分实时分析系统高效运行的关键瓶颈。为打破这一困境，我们致力于优化烟气取样预处理系统，以解决管道易堵、气路故障检测耗时、核心部件耐用性低等问题。目标是确保悬浮焙烧过程的烟气能连续采样，提升分析的稳定性和准确性，从而为悬浮磁化焙烧工艺提供至关重要的过程参数保障。

参考文献

- [1] 王彩虹, 杨云虎. 酒钢粉矿竖炉磁化焙烧工艺研究 [J]. 金属矿山, 2017, 10(09):96-100.
- [2] 王彩虹, 杨云虎. 酒钢粉矿竖炉磁化焙烧工艺研究 [J]. 金属矿山, 2017(9):5.
- [3] 马浩, 陈铁军, 黄献宝, 等. 镜铁矿粉矿磁化焙烧-磁选试验研究 [J]. 矿冶工程, 2015, 35(005):39-41.
- [4] 赖春林. 红外线气体分析仪在烟气自动监测系统中的应用 [J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2015(09):197.



碳索

Carbon Neutrality

记录双碳背景下工业企业的变革之路



机械工业信息研究院



扫码看专题



用视频讲好工业故事

广告