

硫铁矿制酸生产中的能源管理与节能措施

廖东芳

韶关市广宝化工有限公司, 广东 韶关 512127

DOI:10.61369/ETQM.2025080010

摘 要 : 本文围绕硫铁矿制酸工艺流程, 阐述各工段特性及能源管理相关内容。介绍了能源审计方法, 分析设备能效制约因素、能源梯级利用瓶颈, 还提及多种节能技术与措施, 如配风控制模型、余热回收系统等, 通过实证研究体现能源管理成效并展望未来技术应用方向。

关 键 词 : 硫铁矿制酸; 能源管理; 节能技术

Energy Management and Energy Saving Measures in Sulfur Iron Ore Acid Production

Liao Dongfang

Shaoguan Guangbao Chemical Co., Ltd. Shaoguan, Guangdong 512127

Abstract : This paper focuses on the sulfur-iron ore acid production process, detailing the characteristics of each stage and energy management-related content. It introduces energy audit methods, analyzes factors constraining equipment efficiency and bottlenecks in energy cascading utilization, and also mentions various energy-saving technologies and measures, such as air distribution control models and waste heat recovery systems. Through empirical research, it demonstrates the effectiveness of energy management and looks forward to future technological application directions.

Keywords : sulfur and iron ore acid production; energy management; energy saving technology

引言

硫铁矿制酸工艺流程涵盖焙烧、净化、转化和吸收等工段, 各工段紧密相连且相互影响。随着能源管理日益受到重视, 相关政策如《“十四五”节能减排综合工作方案》(2021年)强调了工业领域节能减排的重要性。在硫铁矿制酸生产中, 从各工段的反应特性到能源消耗特征, 从设备能效水平制约因素到能源梯级利用技术瓶颈, 都需要深入研究。同时, 通过能源审计方法、建立能源平衡表等手段, 以及开发各种节能技术和系统, 如氧浓度调控、多级旋风除尘-热管换热联合系统等, 对于实现能源管理与优化、提高能源利用效率、降低能耗至关重要, 这也是符合节能减排政策导向的必然要求。

一、硫铁矿制酸生产工艺与能源消耗特征

(一) 硫铁矿制酸工艺流程解析

硫铁矿制酸工艺流程主要包括焙烧、净化、转化和吸收四大工段。在焙烧工段, 硫精砂发生焙烧反应, 此过程涉及到复杂的热力学特性。从热力学角度看, 焙烧反应需要适宜的温度、压力等条件来保证反应的高效进行, 且该反应为放热反应, 释放大量的热^[1]。净化工段主要是去除焙烧过程中产生的杂质, 确保后续反应的顺利进行。转化工段是关键环节, 其具有放热特征, 二氧化硫在催化剂作用下转化为三氧化硫, 这一过程的放热情况对整个工艺的能量平衡有重要影响。吸收工段则是将三氧化硫吸收生成硫酸。整个工艺流程各工段紧密相连, 相互影响, 其能源消

耗特征与各工段的反应特性密切相关。

(二) 生产能耗结构量化分析

能源审计方法可用于统计硫铁矿制酸生产中电力、蒸汽、工艺水等介质的消耗数据。通过精确测量与记录各环节的能耗情况, 能获得详细且准确的数据信息。这些数据是进一步分析的基础。基于这些数据建立工序级能源平衡表, 此表能够清晰地揭示能耗在不同工序间的分布规律。例如, 在焙烧工序、转化工序、吸收工序等各个主要工序中, 能源的消耗比例和特点均能通过能源平衡表直观呈现。这有助于深入了解生产过程中能源的流向和利用效率, 为后续的节能措施制定提供关键依据, 从而实现对硫铁矿制酸生产工艺能源消耗的有效管理与优化^[2]。

二、硫铁矿制酸能源管理现存问题

（一）设备能效水平制约因素

硫铁矿制酸过程中，设备能效水平存在多方面制约因素。沸腾炉热效率偏低，可能是由于炉体结构设计不合理，导致热量散失过多，或者是燃烧过程中空气供给不充分，影响燃料的完全燃烧^[3]。转化器催化剂活性衰退会降低反应效率，这可能是因为催化剂长时间使用后中毒、积炭或烧结，使其活性位点减少，无法有效催化反应进行。余热锅炉换热效率下降，原因可能包括换热管结垢、腐蚀，影响热量传递，或者是锅炉内部流场分布不均，使得热量不能充分交换，从而降低了设备整体的能效水平。

（二）能源梯级利用技术瓶颈

硫铁矿制酸过程中，能源梯级利用面临诸多技术瓶颈。中低温位反应热回收效率不足，这是由于现有技术在热量捕捉和转换环节存在缺陷，无法充分利用这部分能量，导致能源浪费^[4]。蒸汽管网输送损耗偏高，一方面是管网的保温性能不佳，热量散失严重；另一方面，管网的设计可能不合理，增加了蒸汽输送的阻力，从而使能量在输送过程中大量损耗。冷凝水回用率低下也是一个突出问题，可能是由于冷凝水回收系统不完善，水质处理不达标，无法满足生产工艺的要求，使得大量冷凝水被排放，而不是被有效地回用，进一步降低了能源利用效率。

三、关键工序节能技术改造路径

（一）焙烧工序能效提升措施

1. 富氧焙烧工艺优化

通过研究氧浓度调控对硫铁矿燃烧效率的影响规律，可深入了解富氧焙烧工艺的关键因素。在此基础上，建立基于DCS系统的动态配风控制模型，能够实现对焙烧过程中风量的精准控制^[5]。合理的配风有助于提高硫铁矿与氧气的接触和反应效率，从而提升燃烧效果，减少能源浪费。同时，该模型可根据生产过程中的实际情况实时调整配风参数，确保焙烧工序在高效、稳定的状态下运行，进一步提高能效，为硫铁矿制酸生产中的能源管理提供有力支持。

2. 沸腾炉余热深度回收

开发多级旋风除尘-热管换热联合系统，实现600℃以上高温烟气余热的高效回收。该系统首先通过多级旋风除尘，有效去除烟气中的灰尘颗粒，减少对后续换热设备的污染和堵塞，提高换热效率^[6]。然后利用热管换热技术，其具有高效的热传导性能，能够快速将烟气中的热量传递给工作介质，实现热量的高效回收。通过这种联合系统，可以最大限度地利用沸腾炉产生的高温烟气余热，用于预热空气、生产蒸汽等，从而提高整个焙烧工序的能效，降低能源消耗，达到节能的目的。

（二）转化工序节能技术创新

1. 钒催化剂低温活性强化

载体改性技术是强化钒催化剂低温活性的关键。通过对载体进行改性，可以改变其物理和化学性质，从而提高催化剂在380

-420℃工况下的转化效率。这种技术能够使催化剂更好地适应低温环境，减少因温度不够而导致的反应不完全情况。当转化效率提高后，生产过程中外供热源的需求就会相应降低。这不仅有助于节约能源，还能降低生产成本，提高生产过程的经济性和环保性^[7]。

2. 热力系统集成优化

构建转化器-省煤器-蒸汽过热器热联合网络，可实现SO₃生成热的梯级利用。通过合理设计和优化该网络，使热量在不同设备间有效传递和利用。转化器中产生的热量首先传递至省煤器，用于预热进入系统的水，提高能源利用效率^[8]。接着，剩余热量进一步传递至蒸汽过热器，对蒸汽进行过热处理，满足生产过程中对高品质蒸汽的需求。这种热联合网络的构建，不仅充分利用了SO₃生成热，减少了能源浪费，还提高了整个转化工序的能源利用效率，对硫铁矿制酸生产中的节能具有重要意义。

四、能源管理系统化建设方案

（一）能源计量监测体系构建

1. 三级计量网络部署

构建三级计量网络需从多方面着手。设计包含32个关键测点的在线监测系统至关重要，其能实现工序、设备、产品维度的精准计量^[9]。该系统通过合理布局测点，全面覆盖生产流程中的关键环节。在工序层面，能够实时监测各道工序的能源消耗情况，为优化工序提供数据支持。对于设备而言，可精确计量单个设备的能耗，有助于及时发现设备的能源利用问题。从产品维度，能明确不同产品生产过程中的能源投入，为成本核算和节能改进提供依据。通过这样的三级计量网络部署，可使能源计量监测更加科学、准确，为硫铁矿制酸生产的能源管理奠定坚实基础。

2. 能耗数据建模分析

运用BP神经网络建立单位产品综合能耗预测模型，以实现硫铁矿制酸生产能耗的有效预测和分析。该模型能够学习能耗数据中的复杂模式和规律，对不同工况下的能耗进行准确预测。通过将实际能耗数据与预测值进行对比，可以及时识别异常能耗波动。这种异常波动可能是由于生产设备故障、工艺参数不合理或其他因素导致的。及时发现并解决这些问题，有助于优化生产过程，提高能源利用效率，降低生产成本。同时，该模型还可以为能源管理决策提供科学依据，帮助企业制定合理的节能措施和生产计划，实现可持续发展目标^[10]。

（二）智能化能管平台开发

1. 能源KPI动态监控

开发包含12项关键能效指标的数字化看板系统，实现实时能效对标管理。通过对硫铁矿制酸生产过程的详细分析，确定这12项关键能效指标，涵盖能源输入、转换和利用的各个环节。利用先进的传感器技术和数据采集系统，实时获取各项指标的数据。将这些数据传输至数字化看板系统，进行集中展示和分析。系统能够自动对比实际能效与预设的标准能效，及时发现能效异常情况。同时，通过数据分析挖掘能效提升的潜在空间，为节能措施

的制定和优化提供科学依据，从而有效提高硫铁矿制酸生产的能源利用效率，降低能源消耗和生产成本。

2.智能诊断与决策支持

集成专家系统与模糊控制算法，实现对硫铁矿制酸生产过程的智能诊断与决策支持。专家系统汇聚行业知识和经验，对生产数据进行分析，提供工艺参数优化建议。例如，根据原料成分和反应条件，精准调整温度、压力等参数，提高生产效率和能源利用率。同时，模糊控制算法可处理复杂的非线性系统，增强系统的适应性和稳定性。通过对设备运行数据的实时监测，结合算法分析，能够及时发出设备维护预警，预防设备故障导致的能源浪费和生产中断，保障生产过程的高效、稳定和节能。

（三）全员节能机制创新实践

1.能源管理绩效考核

建立包含5个维度16项指标的考核体系，将节能目标分解至班组层级。从能源利用效率、节能措施执行、能源消耗控制、设备运行节能、员工节能意识等维度进行综合考量。例如，能源利用效率维度可包括能源转化率、余热回收率等指标；节能措施执行维度涵盖节能设备使用率、工艺优化执行情况等；能源消耗控制维度关注单位产品能耗、能源浪费率等；设备运行节能维度涉及设备能效比、设备待机能耗等；员工节能意识维度可通过员工节能建议数量、节能培训参与度等来衡量。通过这样的考核体系，激励各班组积极参与节能工作，实现能源管理的精细化和高效化。

2.持续改进文化建设

在硫铁矿制酸生产中，通过QC小组活动推进合理化建议征集，形成PDCA循环改进机制，对于能源管理与节能至关重要。QC小组活动鼓励员工积极参与，从生产的各个环节发现问题并提出改进建议。这些建议经评估后实施，进入计划（P）阶段。在实施（D）过程中，密切关注效果，收集相关数据。然后进行检查（C），分析实施结果与预期目标的差异。根据检查结果，进入处理（A）阶段，对有效的措施进行标准化，对不足的地方进行调整和改进，再次进入下一个PDCA循环。如此循环往复，不断优化生产过程中的能源利用，实现节能目标，同时也在企业内部形成了持续改进的文化氛围，提高了全员的节能意识和参与度。

五、总结

硫铁矿制酸生产中的能源管理至关重要。某年产80万吨硫酸企业通过实证研究，综合运用工艺优化、热力系统升级以及智能能管系统，取得显著成效。单位产品综合能耗大幅降低18.7%，年节约标准煤达2.3万吨。这不仅体现了能源管理措施的有效性，也为行业提供了可借鉴的范例。同时，展望未来，低温余热发电、氢能耦合等前沿技术的应用应成为重点关注方向。这些技术有望进一步提升能源利用效率，减少碳排放，助力硫铁矿制酸行业朝着碳中和目标稳步迈进，实现可持续发展。

参考文献

[1] 李旺旺. 硫铁矿制酸过程的废稀酸中砷及重金属元素去除及回用研究 [D]. 武汉工程大学, 2014.

[2] 常硕. 基于能源管理的节能楼逆向设计与优化 [D]. 河北工业大学, 2013.

[3] 夏璐. 智能家居集成系统及其能源管理策略研究 [D]. 西南交通大学, 2017.

[4] 张羽翔. 园区办公建筑能源管理与节能控制 [D]. 广东工业大学, 2014.

[5] 梁晓英, 袁磊. 合同能源管理在中央空调节能改造中的应用分析 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11(27): 191-193.

[6] 刘雄文, 张岭, 汤凯乐, 等. 硫铁矿制酸余热锅炉仿真模拟研究 [J]. 世界有色金属, 2023, (12): 156-158.

[7] 潘春迪. 硫铁矿制酸产业的困境与对策探索 [J]. 产业与科技论坛, 2016, 15(15): 14-15.

[8] 谈河君, 宋冬根, 胡继光. 硫铁矿制酸中的余热回收 [J]. 有色冶金设计与研究, 2009, 30(3): 22-23, 37.

[9] 张承玉. 硫铁矿制酸原料掺配的经济效益分析 [J]. 磷肥与复肥, 2013, 28(06): 36-37+50.

[10] 张仕杰. 探析大型建筑的能源管理与节能策略 [J]. 工程建设与设计, 2019(12): 2.