

Analysis of Synergistic Effects of Dry Quenching Coking Ratio Adjustment on Blast Furnace Coking Performance and Production Energy Consumption

Baojin Yang Huabin Zhang Shuai Zhou

Ningbo Iron and Steel Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315807, China

Abstract

This study investigates the synergistic effects of dry quenching coke ratio adjustments on blast furnace coke performance and energy consumption. The dry quenching technology, which uses inert gas to cool red coke, enhances coke strength while reducing ash and sulfur content, thereby improving overall quality. Variations in dry quenching coke ratios alter the physical and chemical properties of coke, consequently affecting blast furnace permeability, slag characteristics, and molten iron quality. Moreover, these ratio adjustments significantly impact energy consumption, as they enable recovery of red coke's sensible heat to reduce energy expenditure. However, changes in ratio may alter heat exchange efficiency, impacting steam production and power generation. Optimizing dry quenching coke ratios can achieve synergistic improvements in both coke performance and energy efficiency, providing crucial guidance for steel enterprises to reduce emissions, conserve energy, and enhance economic benefits.

Keywords

dry quenching ratio; blast furnace coke properties; production energy consumption; synergistic effect

干熄焦比例调整对高炉焦炭性能及生产能耗的协同效应分析

杨保金 张化斌 周帅

宁波钢铁有限公司, 中国·浙江 宁波 315807

摘要

本文聚焦干熄焦比例调整对高炉焦炭性能及生产能耗的协同效应。干熄焦技术通过惰性气体冷却红焦,可改善焦炭强度、降低灰分与硫含量,提升焦炭质量。调整其比例会改变焦炭物理化学性能,进而影响高炉透气性、炉渣特性及铁液质量。同时,干熄焦比例调整对高炉生产能耗有显著影响,能回收红焦显热降低能耗,但比例变化会改变热交换效率,影响蒸汽产量与发电量。合理调整干熄焦比例可实现焦炭性能与生产能耗的协同优化,对钢铁企业节能减排、提升经济效益具有重要指导意义。

关键词

干熄焦比例; 高炉焦炭性能; 生产能耗; 协同效应

1 引言

在钢铁行业持续发展的进程中,节能减排与提升生产效率成为企业核心关注点。高炉炼铁作为钢铁生产的关键环节,其能耗占炼铁工序总能耗的70%以上,而焦炭作为高炉炼铁的主要原料,其质量直接影响高炉的冶炼效率与能耗水平。干熄焦技术凭借其显著的节能优势与对焦炭质量的提升作用,在钢铁企业中得到广泛应用。然而,干熄焦比例的调整不仅会改变焦炭的物理化学性能,还会对高炉生产能耗产生复杂影响。因此,深入探究干熄焦比例调整对高炉焦炭性能及生产能耗的协同效应,对于钢铁企业优化生产流程、

实现节能减排目标具有重要的理论价值与实践意义。

2 干熄焦技术概述

2.1 干熄焦技术原理

干熄焦是一种利用惰性气体(如氮气)在密闭系统中冷却高温红焦的节能环保技术。红焦从干熄炉顶部装入后,低温惰性气体由循环风机鼓入干熄炉冷却段红焦层内,吸收红焦显热,使焦炭温度从950—1100℃降至250℃以下。吸收热量后的高温惰性气体从干熄炉环形烟道排出,流经废热锅炉进行热交换,产生蒸汽用于供热或发电,冷却后的惰性气体经除尘处理后,再由循环风机重新鼓入干熄炉,实现循环使用。这一过程不仅避免了湿熄焦产生的大量酚氰废水,还实现了能源的高效回收利用。

【作者简介】杨保(1980—),男,中国安徽泗县人,硕士,工程师,从事冶金工程研究。

2.2 干熄焦技术发展历程

干熄焦技术起源于20世纪初的瑞士,随后在德国、日本等国家得到快速发展。20世纪70年代,随着全球能源危机的加剧,干熄焦技术因其显著的节能效果受到广泛关注,并在世界范围内得到大规模推广应用。我国于20世纪80年代开始引进干熄焦技术,经过多年的技术消化与自主创新,目前已实现干熄焦设备的国产化,并在多家钢铁企业成功应用,技术成熟度与装备水平达到国际先进水平。如今,国内新建的大型钢铁项目大多将干熄焦作为标配工艺。

2.3 干熄焦技术优势

与传统湿熄焦技术相比,干熄焦技术具有显著优势。在节能方面,干熄焦可回收红焦显热,每吨焦炭可回收1.35GJ热量,产生420—450kg蒸汽,配套余热发电机组可实现能源的高效利用。在环保方面,干熄焦采用密闭系统,基本消除了酚、氰化物、硫化氢等污染物的排放,减少了粉尘排放,同时节省了大量熄焦用水。在焦炭质量提升方面,干熄焦可显著改善焦炭的冷强度与热强度,降低焦炭灰分与硫含量,提高焦炭的冶金性能,为高炉稳定顺行提供优质原料。

3 干熄焦比例调整对焦炭性能的影响

3.1 焦炭物理性能变化

干熄焦比例的调整会直接影响焦炭的物理性能,主要体现在焦炭强度与粒度组成方面。在干熄焦过程中,红焦被缓慢冷却,内部热应力小,焦炭的冷强度(如抗碎强度M40)与热强度(如反应后强度CSR)得到显著提高。研究表明,采用干熄焦技术处理的焦炭,M40可提高3%—8%,CSR可提高0.3%—0.8%。随着干熄焦比例的增加,焦炭强度进一步提升,有利于高炉料柱透气性的改善,减少炉料粉末的产生,降低悬料、崩料等失常现象的发生概率^[1]。

同时,干熄焦比例调整还会影响焦炭的粒度组成。干熄焦工艺可减少焦炭在冷却过程中的破碎,使焦炭粒度更加均匀,大块焦比例增加,小块焦与焦粉比例降低。均匀的粒度组成有助于提高高炉炉料的透气性与透液性,促进煤气流的合理分布,提高高炉冶炼效率。例如,当干熄焦比例从50%提升至80%时,焦炭中大于50mm的粒级比例可能增加5%—10%,而小于25mm的粒级比例相应减少,这种变化对高炉内料柱的稳定性和透气性有着积极影响。

3.2 焦炭化学性能变化

干熄焦比例调整对焦炭的化学性能也有显著影响,主要体现在灰分、硫含量与挥发分方面。在干熄焦过程中,高温惰性气体可使焦炭中的灰分转化为无机盐与矿物质,降低焦炭灰分含量。同时,焦炭中的硫在高温下发生氧化还原反应,转化为不可挥发的氧化物或硫酸盐,从而降低焦炭硫含量。研究表明,干熄焦可使焦炭灰分降低0.5%—1.0%,硫含量降低0.05%—0.15%。

此外,干熄焦工艺通过高温加热使焦炭中的挥发分大

量释放,降低焦炭挥发分含量。适当降低挥发分含量可提高焦炭的燃烧热值与燃烧效率,减少高炉冶炼过程中的热量损失,同时降低焦炭在高炉内的反应性,提高焦炭的骨架作用。例如,干熄焦比例增加后,焦炭挥发分可能从1.5%降至1.0%左右,这使得焦炭在高炉内更加稳定,减少了因挥发分反应带来的不利影响^[2]。

3.3 焦炭冶金性能变化

焦炭的冶金性能主要包括反应性(CRI)与反应后强度(CSR),是衡量焦炭在高炉内还原能力与骨架作用的重要指标。干熄焦比例调整对焦炭冶金性能具有显著影响。由于干熄焦工艺可降低焦炭挥发分含量,减少焦炭内部的孔隙结构,降低焦炭与二氧化碳的反应活性,使焦炭反应性(CRI)降低10%—13%。同时,干熄焦工艺提高了焦炭的热强度,使焦炭在高温反应后仍能保持较好的结构完整性,反应后强度(CSR)显著提高。

高反应后强度焦炭在高炉内可有效支撑炉料,维持料柱透气性,促进煤气流的合理分布,提高高炉冶炼效率。因此,干熄焦比例的增加有助于改善焦炭的冶金性能,为高炉稳定顺行提供有力保障。例如,当干熄焦比例达到一定水平时,CSR可能从60%提升至65%以上,大大增强了焦炭在高炉内的骨架支撑能力。

4 干熄焦比例调整对高炉生产能耗的影响

4.1 干熄焦余热回收与能源利用

干熄焦技术的核心优势之一是余热回收与能源利用。在干熄焦过程中,红焦显热通过废热锅炉转化为蒸汽,可用于供热或发电。每吨干熄焦可产生420—450kg蒸汽,配套余热发电机组可实现能源的高效利用。随着干熄焦比例的增加,余热回收量显著提高,企业能源自给率提升,外购能源需求降低,从而降低高炉生产能耗。

同时,干熄焦蒸汽还可用于高炉鼓风加热、烧结矿预热等工艺环节,进一步提高能源利用效率。例如,利用干熄焦蒸汽加热高炉鼓风,可提高鼓风温度,增加高炉理论燃烧温度,促进矿石还原,降低燃料消耗。据测算,每提高10℃的鼓风温度,可降低焦比约1kg/t。而且,利用蒸汽进行烧结矿预热,能改善烧结矿的透气性和强度,提高烧结矿质量,间接降低高炉能耗^[3]。

4.2 干熄焦比例调整对高炉热平衡的影响

干熄焦比例调整会改变高炉热平衡状态,进而影响高炉生产能耗。干熄焦焦炭进入高炉后,由于其强度高、反应性低,在高炉内的燃烧与反应过程更加稳定,热量释放更加均匀,有利于高炉热制度的稳定控制。同时,干熄焦焦炭灰分与硫含量低,可减少炉渣生成量与脱硫负担,降低炉渣带走的热量损失,提高热量利用率。

然而,干熄焦比例调整也会带来一些负面影响。例如,干熄焦焦炭水分含量低,在高炉内汽化消耗的热量减少,可

能导致炉顶温度升高,需通过调整煤比、风温等参数进行控制。此外,干熄焦焦炭强度高,在高炉内的堆积密度增大,可能影响炉料下降速度,需优化高炉操作制度以适应焦炭性能变化。不过,通过合理的操作调整,这些负面影响可以得到有效控制。

4.3 干熄焦比例调整对高炉煤气利用的影响

高炉煤气利用效率是影响高炉生产能耗的重要因素。干熄焦比例调整对焦炭性能的改善可间接提高高炉煤气利用效率。干熄焦焦炭强度高、粒度均匀,在高炉内可形成稳定的料柱结构,促进煤气流的合理分布,减少煤气短路与死区,提高煤气与矿石的接触时间与反应效率。同时,干熄焦焦炭反应性低,可减少高炉内直接还原反应,降低煤气中一氧化碳含量,提高煤气热值与利用价值^[4]。

5 干熄焦比例调整的协同优化策略

5.1 基于焦炭质量需求的高炉操作优化

为实现干熄焦比例调整的协同优化,需围绕焦炭质量需求全方位优化高炉操作制度。焦炭是高炉冶炼的关键原料,干熄焦焦炭的独特性能要求高炉操作针对性调整。首先,依据干熄焦焦炭的物理化学性能调整装料制度。干熄焦焦炭强度高、粒度均匀,适当增加批重可使炉料在炉喉分布更均匀,减少偏析,提高料柱稳定性。稳定料柱利于煤气合理分布,让煤气均匀穿过料层与炉料充分接触,提升冶炼反应效率。同时,调整时要考虑不同粒度焦炭搭配比例,进一步优化炉料透气性。

其次,根据干熄焦焦炭的冶金性能调整热制度与造渣制度。其冶金性能如反应性、反应后强度等影响高炉内化学反应。调整热制度合理控温,能让焦炭在适宜温度参与反应,提高效率。优化造渣制度,精确控制炉渣碱度,保证炉渣良好流动性,使其顺利排出,减少在炉内停留时间,降低对焦炭侵蚀,延长焦炭寿命,保障高炉稳定生产^[5]。

5.2 干熄焦与高炉能源系统的集成优化

实现干熄焦与高炉能源系统高效协同,要加强集成优化,挖掘能源潜力,提高利用效率。一方面,充分利用干熄焦余热回收蒸汽。干熄焦产生的大量蒸汽蕴含丰富热能,将其用于高炉鼓风加热,可提高鼓风温度,增加热风能量,提升冶炼效率;用于烧结矿预热,可降低烧结过程能耗;用于 TRT 发电,可将热能转化为电能,带来额外经济效益,实现能源梯级利用。

另一方面,优化高炉煤气回收与利用系统。高炉煤气含大量可燃成分,将其输送至干熄焦加热炉、发电锅炉等设备作燃料,能减少能源浪费,降低企业成本。同时,建设能源管理中心,对干熄焦与高炉能源系统集中监控与优化调度。能源管理中心可实时监测能源生产、输送和使用情况,通过数据分析和优化算法精准调度,实现能源精细化管理。

5.3 干熄焦比例调整的动态控制与智能决策

实现干熄焦比例调整的动态控制与智能决策,要建立基于大数据与人工智能的优化模型。收集干熄焦与高炉生产实时数据,包括焦炭质量指标、高炉生产参数、能源消耗数据等,利用机器学习算法预测与优化焦炭性能、高炉能耗与生产指标,及时发现生产问题和潜在优化点。

开发智能决策支持系统,根据生产目标和约束条件,自动生成干熄焦比例调整方案与高炉操作参数,实现智能化控制。该系统能依据不同生产目标,如提高铁水质量、降低成本等,在考虑各种约束的情况下,快速生成最优方案和参数,为生产人员提供科学决策依据。

此外,加强干熄焦与高炉生产人员培训与协作。生产人员是生产直接执行者,其专业知识和操作技能影响生产效果。通过培训,让他们了解干熄焦比例调整原理和意义,掌握操作技能,更好应对生产变化,确保协同优化策略顺利实施,实现干熄焦与高炉稳定高效运行。

6 结语

干熄焦比例调整对焦炭性能与高炉生产能耗具有显著的协同效应。通过调整干熄焦比例,可显著改善焦炭的物理化学性能与冶金性能,为高炉稳定运行提供优质原料;同时,干熄焦余热回收与能源利用可降低高炉生产能耗,提高企业能源利用效率。为实现干熄焦比例调整的协同优化,需基于焦炭质量需求优化高炉操作制度,加强干熄焦与高炉能源系统的集成优化,建立动态控制与智能决策支持系统。

未来,随着钢铁行业节能减排要求的不断提高与智能化技术的快速发展,干熄焦比例调整的协同优化将成为钢铁企业提升竞争力的重要途径。一方面,应进一步加强干熄焦技术的研发与创新,提高干熄焦设备的效率与稳定性,降低投资与运行成本;另一方面,应深化大数据、人工智能等技术在干熄焦与高炉生产中的应用,实现生产过程的智能化、精细化控制,推动钢铁行业向绿色、低碳、高效方向发展。同时,政府和行业协会也应加强政策引导和标准制定,鼓励企业采用先进的干熄焦技术,促进钢铁行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 杜再旺.干熄焦技术的节能减排及环保分析[J].冶金与材料,2021,41(02):77-78.
- [2] 巩强.干熄焦工艺对焦炭质量的影响[J].当代化工研究,2020,(03):102-103.
- [3] 吕劲,何亚斌,汤长庚.干熄焦工艺对焦炭质量的影响[J].钢铁,2002,(01):5-10.
- [4] 冯河红.干熄焦技术的节能减排及环保分析[J].化工设计通讯,2018,44(12):208.
- [5] 高梦娟.干熄焦工艺对焦炭质量的影响[J].化工管理,2018,(05):79+81.