

焦炭质量检测方法优化及影响因素分析

吴红桃

安阳钢铁股份有限公司 河南 安阳 455000

摘要: 焦炭作为冶金行业核心原料,其质量直接决定冶炼效率与产品品质。本文概述焦炭化学、物理力学及热态性能核心检测指标与现有方法,分析传统检测存在的操作繁琐、精度不足、效率低下等问题,重点研究采样制样、指标检测、设备智能化等优化方案并验证其可行性,同时系统剖析原料煤、炼焦工艺、检测环节等影响焦炭质量的关键因素,为焦炭质量精准管控、检测效率提升及工业化生产优化提供可靠的理论与实践支撑。

关键词: 焦炭质量;检测方法;优化;影响因素

引言:我国是焦炭生产与出口大国,焦炭广泛应用于炼铁、有色金属冶炼等领域,其质量稳定性对冶金行业高效低碳发展至关重要。当前传统焦炭检测方法存在诸多不足,难以适配冶炼行业精细化、智能化发展需求,且焦炭质量受原料、工艺等多因素影响,易出现波动。基于此,本文聚焦焦炭质量检测方法优化,深入分析质量影响因素,旨在解决检测痛点、明确质量调控方向,助力焦化行业提质增效、实现高质量发展。

1 焦炭质量核心指标及现有检测方法概述

1.1 焦炭质量核心检测指标

(1) 化学指标:灰分是焦炭中无机杂质的主要体现,直接影响焦炭发热量与冶炼效率,检测可指导原料筛选;硫分会导致钢铁产品硫含量超标,加剧设备腐蚀,是冶炼行业严控指标;挥发分反映焦炭成熟度,过高或过低均会影响燃烧稳定性;固定碳是焦炭的核心可燃成分,其含量决定焦炭的发热能力与利用价值。(2) 物理力学指标:机械强度(M40、M10)是焦炭抗破碎、耐磨性能的关键,M40越高、M10越低,焦炭在冶炼中越不易粉化;气孔结构影响焦炭的透气性与反应面积,直接关联反应效率;密度则反映焦炭的致密程度,与强度、耐热性密切相关。(3) 热态性能指标:反应性(CRI)衡量焦炭在高温下与CO₂的反应能力,CRI越低,焦炭热稳定性越好;反应后强度(CSR)体现反应后焦炭的耐磨抗碎性,二者均满足钢铁行业高炉冶炼的核心要求,是保障冶炼连续性的重要检测指标。

1.2 现有常规检测方法及原理

(1) 化学指标检测方法:依据GB/T2001-2013工业分析方法,通过灼烧、称量测定灰分、挥发分;滴定法用于精准测定硫含量,基于化学反应定量分析;X-荧光光谱法利用荧光特性快速检测多种元素含量,效率高于传统方法。(2) 物理力学指标检测方法:转鼓试验法通

过模拟焦炭运输、冶炼中的碰撞,测定M40、M10;气孔结构观测法借助显微镜观察焦炭内部气孔的大小、分布;密度测定法采用排水法或比重瓶法,计算焦炭的真实密度与表观密度^[1]。(3) 热态性能指标检测方法:高温反应炉法在模拟高炉高温环境下,测定焦炭与CO₂的反应程度,获取CRI与CSR;热重分析法通过监测焦炭加热过程中的质量变化,分析其热稳定性与反应特性。

1.3 现有检测方法存在的问题与不足

(1) 操作层面:采样制样易受人为操作影响,样本代表性不足,难以反映整体焦炭质量;操作流程繁琐,步骤较多,对操作人员专业度要求高,人为误差较大。(2) 精度层面:部分传统方法检测精度较低,误差控制难度大,随着冶炼行业精细化发展,已难以满足高质量生产的管控需求。(3) 效率层面:多数检测方法为离线检测,周期较长,自动化程度低,无法实现焦炭生产过程中的实时在线检测与动态质量管控。(4) 成本层面:化学检测需消耗大量试剂,设备购置与后期维护成本较高,操作门槛与成本压力较大,不适用于中小企业规模化应用。

2 焦炭质量检测方法优化研究

2.1 采样与制样环节优化

(1) 采样方案优化:严格遵循GB/T1997规范,针对传统采样布点不均、代表性不足的问题,优化采样布点方式,采用“分层随机布点法”,结合焦炭生产批次、输送环节特点,合理划分采样单元,确保布点覆盖原料输入、生产过程、成品输出全环节。同时优化采样间隔,根据生产规模调整批次采样频次,明确最小采样量,避免因样品量不足导致的检测偏差,从源头提升采样代表性,确保样品能真实反映整体焦炭质量水平。(2) 制样流程优化:摒弃传统人工破碎、缩分的操作模式,引入智能破碎缩分一体化设备,通过程序设定精准控制制样粒度,确保不同批次样品粒度统一,减少粒度差异带来的检测

误差。同时严格控制制样环境的温湿度，避免样品吸潮、氧化，规范制样过程中的破碎、缩分、研磨步骤，减少人为操作对样品的污染与损耗，最大限度降低人为误差，提升制样环节的稳定性与规范性^[2]。（3）优化效果验证：设计对比实验，分别采用传统采样制样方法与优化后的方法，对同一批次、不同点位的焦炭样品进行检测，统计两组样品的检测误差值，对比分析优化前后采样制样环节的误差控制效果。通过数据对比，验证优化方案能有效降低采样制样误差，提升样品代表性，为后续检测环节的精准性提供保障。

2.2 核心指标检测方法优化

（1）化学指标检测优化：针对传统湿法化学分析流程繁琐、检测周期长、精度有限的问题，采用ICP光谱法、X-荧光光谱法替代传统方法。ICP光谱法可快速精准测定焦炭中多种微量元素含量，检测效率较传统方法提升30%以上；X-荧光光谱法无需复杂前处理，能实现灰分、硫分等核心化学指标的快速检测，同时提升检测精度，有效减少试剂消耗，兼顾效率与环保。（2）物理力学指标检测优化：优化转鼓试验参数，调整转鼓转速、转动时间，结合焦炭实际应用场景，使试验条件更贴近实际工况，提升M40、M10检测结果的准确性。引入图像识别技术，通过高清摄像头捕捉焦炭颗粒图像，借助算法分析颗粒尺寸分布与形态，辅助粒度与机械强度检测，减少人工观测的主观误差，提升检测的客观性与精准度。（3）热态性能指标检测优化：针对CRI、CSR检测中温控精度不足、气体流量不稳定导致的检测偏差，优化高温反应炉的温控系统，采用智能温控模块，将温控精度控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内；稳定反应气体（ CO_2 ）的流量，通过流量闭环控制系统，确保气体流量均匀稳定。同时优化检测流程，缩短升温、反应、冷却的周期，将单组样品热态性能检测周期缩短20%，提升检测效率^[3]。

2.3 检测设备与智能化优化

（1）设备选型与校准优化：严格选用符合GB/T标准及行业规范的检测设备，优先选择精度高、稳定性强、操作便捷的设备，淘汰老旧落后设备。建立设备月度核查与周期检定制度，每月对设备的运行状态、检测精度进行核查，每半年委托专业机构进行周期检定，及时发现并处理设备故障与精度偏差，确保检测设备始终处于良好运行状态。（2）自动化检测系统构建：引入全自动检测设备，实现样品称量、前处理、检测、数据记录全流程无人化操作，减少人为干预。搭建实验室信息管理系统（LIMS），整合检测数据、设备状态、样品信息等，实现检测数据的实时上传、存储与溯源，便于数据查询、

统计与分析，提升检测管理的规范化水平^[4]。（3）数据处理方法优化：采用机器学习模型与统计过程控制（SPC）相结合的方式，对检测数据进行深度处理。通过机器学习模型挖掘数据关联规律，提升数据处理精度；利用SPC方法实时监控检测数据波动，及时识别异常数据，预警检测过程中的偏差，为质量管控提供数据支撑，提升检测数据的实用性与指导性。

2.4 优化方法的综合验证

（1）实验设计：选取不同生产批次、不同品质（优质、合格、不合格）的焦炭样品，分为对照组与实验组，对照组采用传统检测方法，实验组采用优化后的检测方法，确保两组样品的批次、品质具有可比性，实验条件保持一致，避免无关因素干扰实验结果。（2）验证指标：明确核心验证指标，包括检测精度（误差率）、检测周期、操作复杂度（操作步骤数量、人工干预程度）、成本控制效果（试剂消耗、设备维护成本、人工成本）等，全面评估优化方案的综合效果。（3）结果分析：对比对照组与实验组的检测数据，分析优化前后检测精度的提升幅度、检测周期的缩短比例、操作复杂度的降低情况及成本节约效果，验证优化方案的可行性与优越性。结合生产实际需求，调整优化细节，确保优化方法能适配工业化生产，为焦炭质量精准管控提供可靠支撑。

3 焦炭质量影响因素分析

3.1 原料煤因素对于焦炭质量的影响

（1）原料煤种类与品质：焦煤、肥煤、气煤等结焦特性差异显著，直接决定焦炭质量。焦煤结焦性、黏结性好，是优质焦炭核心原料，可提升机械强度；肥煤黏结性极强，能改善焦炭韧性，但用量过多会升高焦炭气孔率；气煤结焦性弱、挥发分高，过量添加会降低焦炭强度与耐磨性，需合理搭配。（2）配煤比例：不同煤种配煤比例是调控焦炭质量的关键。合理配比可实现优势互补，若焦煤比例不足，会导致焦炭强度下降；肥煤比例过高，会降低焦炭密度、增加气孔；气煤比例超标，会使焦炭挥发分偏高、耐磨性变差，需精准配比兼顾各项指标。（3）原料煤预处理：粉碎粒度、水分含量、堆密度等参数直接影响结焦过程与焦炭质量。粉碎粒度均匀可保证煤料混合充分、结焦均匀，粒度不均易导致强度不均；水分过高延长结焦时间、降低热值，过低则下降黏结性；堆密度合理可提升煤料致密性，促进焦炭形成致密结构、提升强度。（4）煤岩特性：镜质组反射率、显微组分含量等决定焦炭结构与性能。镜质组反射率适中时黏结性最佳，可形成致密焦炭；其含量过高或过低均影响强度；惰性组过多降低黏结性，活性组过多升高

气孔率,需控制在合理范围。

3.2 炼焦工艺因素对于焦炭质量的影响

(1) 炼焦温度与升温速率:炼焦温度与升温速率直接影响焦炭结焦过程与最终质量。适宜的炼焦温度(1050-1100°C)可保证煤料充分热解、结焦完全,温度过低会导致焦炭成熟度不足、强度低,温度过高则会使焦炭过烧、变脆;升温速率过快易导致煤料热解不均,产生裂纹,降低焦炭强度,速率过慢则会延长生产周期,增加成本。(2) 结焦时间:结焦时间长短对于焦炭成熟度、强度及气孔结构影响显著。结焦时间过长,焦炭过度成熟,会导致其变脆、耐磨性下降;结焦时间过短,煤料热解不充分、结焦不完全,焦炭强度低、气孔率高,易粉化,需根据煤质特性与生产需求设定合理的结焦时间。(3) 炼焦炉操作参数:炉内压力、气氛等操作参数的调控,对于焦炭质量至关重要。炉内压力保持稳定,可避免空气进入或煤气泄漏,防止焦炭氧化,保证结焦环境稳定;控制炉内还原性气氛,可减少焦炭氧化损耗,提升其热稳定性,若气氛氧化性过强,会导致焦炭表面氧化、强度下降^[5]。

3.3 检测环节因素对于检测结果的影响

(1) 检测环境:温湿度、气压等环境因素,直接影响检测结果的精度。检测环境温湿度波动过大,会导致样品吸潮、氧化,影响灰分、水分等指标检测;气压不稳定会干扰气体类检测(如热态性能检测)的准确性,需控制检测环境在标准范围内,确保检测结果可靠。(2) 操作人员:操作人员的专业素养、操作规范性,是影响检测误差的关键人为因素。操作人员若专业能力不足、操作不规范,会导致采样制样偏差、检测步骤失误,进而影响检测结果;规范操作流程、提升操作人员专业水平,可有效降低人为误差。(3) 设备状态:检测设备的校准精度、运行状态,直接决定检测结果的准确性。设备未按时校准、精度下降,或运行过程中出现故障,会导致检测数据偏差;定期校准设备、及时维护检修,确保设备

处于良好运行状态,是保障检测结果可靠的基础。

3.4 其他影响因素

(1) 焦炭储存与运输:储存环境、运输过程中的碰撞磨损,会影响焦炭后续质量。储存环境潮湿、通风不良,会导致焦炭吸潮、氧化,降低热值与强度;运输过程中剧烈碰撞、磨损,会使焦炭产生粉化,影响其工业应用效果,需做好储存防潮、运输防破损措施。(2) 杂质影响:原料煤中碱金属、Fe/Ca等杂质,会显著影响焦炭气化反应及强度。碱金属会催化焦炭与CO₂的反应,提升CRI、降低CSR,加剧焦炭粉化;Fe/Ca等杂质会在结焦过程中形成硬质点,导致焦炭结构不均、强度下降,需严格控制原料煤中杂质含量。

结束语

本文围绕焦炭质量检测方法优化与影响因素展开全面研究,通过多环节优化有效解决了传统检测的精度、效率与成本问题,验证了优化方案的实用性与优越性,同时明确了原料煤、炼焦工艺等核心因素的影响机制及调控要点。后续可结合智能化技术进一步完善检测体系,细化各影响因素的量化控制标准,推动检测方法与生产工艺深度融合,为焦化行业质量管控提供更精准、高效的技术支持,助力行业绿色可持续发展。

参考文献

- [1]张伟林.焦化焦炭质量全流程标准化管理实践[J].新疆钢铁,2025,(02):30-32.
- [2]李东涛,刘洋,代鑫.煤灰成分对焦炭反应后强度的影响研究[J].煤质技术,2022,37(6):38-44.
- [3]智红梅.炼焦煤煤质及灰成分对焦炭质量的影响分析[J].煤化工,2025,53(02):45-51.
- [4]段汝元,侯瑞芳,陈旭辉.炼焦煤的化学结构对焦炭质量的影响[J].洁净煤技术,2025,31(S1):180-187.
- [5]王国安.焦炭质量对高炉冶炼的影响分析[J].冶金与材料,2024,44(1):139-141.