

# Optimization of Physical and Chemical Properties and Process Control Strategy of Coke in Coking Production

Qifei Zhao

Coking Plant No.2, Xilai Peak Branch, National Energy Coal Coking Company, Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China

## Abstract

The physicochemical properties of coke are directly related to the stability of the blast furnace charge column skeleton, the permeability of gas and liquid, and the fuel ratio level, making them the core focus of coking production organization and quality management. China's coking enterprises generally face practical constraints such as fluctuations in coal blending resources, seasonal variations in coal quality, differences in furnace conditions, and adjustments in plant load, which can easily lead to fluctuations in coke ash content, sulfur content, drum strength, and reactivity, thereby amplifying instability in production rhythm, energy consumption, and coke particle size structure. Based on frontline coking operation and management experience, and in conjunction with research conclusions from China's public literature on coke quality evaluation and influencing factors, this paper establishes an executable control chain centered on "performance indicators—optimization paths—process control".

## Keywords

coking production; coke; physicochemical properties; optimization; process control; strategy

## 炼焦生产中焦炭理化性能优化及工艺控制策略

赵起飞

国家能源煤焦化公司西来峰分公司焦化二厂, 中国·内蒙古 乌海 016000

## 摘要

焦炭理化性能直接关系到高炉料柱骨架稳定、透气透液状态与燃料比水平,是炼焦生产组织与质量管理的核心落点。中国焦化企业普遍面临配煤资源波动、煤质季节性变化、炉况差异以及装置负荷调整等现实约束,使焦炭灰分、硫分、转鼓强度与反应性等指标容易出现波动,进而放大生产节奏、能耗与焦炭粒度结构的不稳定。本文立足一线炼焦操作与管理经验,结合中国公开文献对焦炭质量评价与影响因素的研究结论,围绕“性能指标—优化路径—工艺控制”建立可执行的控制链条。

## 关键词

炼焦生产; 焦炭; 理化性能; 优化; 工艺控制; 策略

## 1 引言

随着全球钢铁工业的不断发展,钢铁企业对焦炭质量的要求愈发严格。焦炭作为高炉冶炼的主要还原剂,其性能直接影响着冶炼效率、产品质量及生产成本<sup>[1]</sup>。因此焦炭质量不能仅以单一指标衡量,而需要从冷态强度、热态反应性与粒度结构等多维度综合控制。

## 2 焦炭理化性能概述

焦炭理化性能是对焦炭“成分、强度与高温行为”的综合表征,现场最常用的评价口径包括灰分、硫分、转鼓抗碎强度 M25、耐磨强度 M10,以及反应性 CRI 与反应后

强度 CSR 等指标,这些指标在中国冶金焦质量分级标准中具有明确限值与分档要求。以 GB/T1996-2003 为例,灰分与硫分对应 I、II、III 级划分, M25 与 M10 用于反映焦炭在运输、装卸及高炉装料过程中的破碎与磨损倾向, CRI 与 CSR 用于反映焦炭在高温含 CO<sub>2</sub> 气氛下的反应与承载能力。在炼焦生产实践中,理化性能不仅决定焦炭出厂合格率,还与推焦顺畅、焦炭粒度结构和焦场损耗紧密相关。若灰分、硫分随煤质波动而抬升,会进一步挤压配煤与成本空间;若强度与反应性波动,则会在高炉端放大为焦比上升与炉况波动风险<sup>[2]</sup>。因此,焦化企业必须将理化性能作为全过程优化与工艺控制的统一目标。

## 3 炼焦生产中焦炭理化性能优化

### 3.1 配煤结构稳定化与煤质波动抑制

为在煤源多变条件下保持焦炭强度与反应性稳定,配

【作者简介】赵起飞(1987-),男,中国内蒙古人,本科,助理工程师,从事焦炉调温研究。

煤优化应围绕结构稳定化与波动抑制同步展开。第一,岗位技术人员以入炉煤灰分、硫分与黏结性为边界,先锁定焦煤、肥煤的骨架与黏结贡献比例,再用瘦煤、气煤对挥发分与成本作微调,并把关键煤种替换频次压缩到日内一次且班内不反复,每次改配控制在1%—2%小步幅,同时结合火道温度与结焦末期焦饼成熟状态跟踪,避免炉温响应滞后诱发M10上扬。第二,现场将煤质波动划分为可预见与突发两类,对可预见波动依据化验趋势提前1—2个班次实施小幅修正,优先改动调节煤而不动主配煤,使热工制度保持连续,对突发波动则以保障成熟与冷态强度为先,临时压缩非关键煤掺量并守住黏结组分下限,同步用镜质组反射率分布与黏结指数复核可塑区匹配,防止软化区错配导致CRI抬升。第三,化验与配煤岗位由单指标控制转为组合约束,建立灰分、硫分、挥发分与黏结性的联动窗口,例如灰分逼近上限时同步压低高硫煤比例并增加低灰骨架煤,强度出现下滑苗头时先恢复黏结组分比例并校核配合煤细度,减少依赖提高火力的被动补偿<sup>[1]</sup>。

### 3.2 备煤粒度与水分均匀性的协同优化

为使焦炭冷强度与热态性能稳定,备煤阶段应把粒度结构与含水分布作为同一套质量控制对象,做到进炉前即可预测煤饼成型状态。第一,岗位应以0—3mm细粒比例稳定为主线,将配合煤小于3mm占比控制在90%左右,并把筛分开孔、破碎机间隙、回料量与皮带负荷纳入同一班次的联动调整,避免时紧时松导致粗粒突增。同时在粉碎前先分级筛出已达标细粒,减少重复粉碎造成过细粉上升与堆密度波动。相邻班组细度波动宜控制在1%以内。第二,水分控制要从达标转向均匀,除控制总水分在9%—11%附近外,应在配煤仓上、中、下层设置班组取样点,用烘干法核对偏差,并在转运落料口、煤槽装料时增加翻堆与混匀次数,减少分层与局部偏干偏湿。雨雪季应固定执行棚化存放、溜槽排水、煤棚地面导流与装卸遮盖,防止短时进水形成湿团。

### 3.3 捣固成型质量提升与装煤完整性保障

为减少捣固焦炭强度波动的源头扰动,应把成型与装煤环节的可控要素固化为班组标准并在当班内形成可追溯记录。第一,捣固成型以煤饼密度、煤饼高度与捣固时间为过程红线,密度建议稳定在 $1.02 \sim 1.04\text{t/m}^3$ ,煤饼高度控制在 $6500 \pm 50\text{mm}$ ,捣固时间不少于8min,同时按分层给煤、均布落料与锤排交错冲击的节拍执行,捣固末端通过取样称量与表面回弹观察复核密度,交接班必须逐项确认并签字。第二,装煤前对煤槽中心与捣固锤中心进行对中校核,偏差控制在2~3mm,托煤底板与炭化室中心按规定值复测,发现偏差时先调整导向轮、侧挡板与推送行程,再进行空载试推确认不擦墙,不允许带偏装煤,避免煤饼缺角、挤裂或表层剥落。第三,装煤过程重点盯控煤饼入炉姿态与滑移阻力,出现煤饼局部塌陷、前缘翘起或送入阻滞时立即停止推送,保持托板位置并按处置程序清理塌煤与补整缺角,严禁

强推强装,防止炭化初期形成空腔导致成熟不均与推焦阻力异常。

## 4 炼焦生产中焦炭理化性能优化的工艺控制策略

### 4.1 配煤稳定与入炉煤状态一致化控制

配煤稳定的关键,是把煤质波动与入炉煤水分、粒度、堆密度等状态变量一起锁定在可控区间内,使焦炉受热与产气节奏不被打乱。第一,配煤方案实行小步变更并设回退界限,当配合煤挥发分上移且接近上限时,调温岗位以结焦末期炭化室底部保持微正压为约束,适度抬高集气管压力并联动分烟道吸力微调,避免装煤期抽吸过大,同时将标准温度下调约10至20℃并校核换向频次,控制焦饼外层过火与裂纹扩展。挥发分下移时先恢复标准温度与吸力基准,再逐步回落压力,防止炉顶压力偏负引起漏风和火道温差扩大。第二,入炉煤一致化从煤场均化抓起,来煤按灰分、硫分、水分分级入堆并分层堆取,减少临时插煤造成的配比漂移,通过跨仓配料拉平单种煤短周期波动。入炉煤水分按调湿思路稳定在窄幅区间,既避免水分过高吸热拖慢升温,又防止水分过低导致装煤密度波动,可在条件允许时将水分稳定目标靠近6%并把日内偏差压缩。第三,粒度与堆密度按传热需求设上下限,粉碎系统保证粒度分布连续,避免粗细两极化引起局部反应不同步。装煤高度、捣固或振动参数保持一致,把堆密度控制在可重复区间,确保同炉组装煤质量一致。

### 4.2 加热制度精细化与炉温均衡的调温闭环

首先,调温时应坚持小幅度、分步骤修正的节奏,通过微调煤气流量与空气过剩系数、优化交换周期与加热段配比,逐步消除局部高温点,避免炉体热应力突变引起墙体裂纹或剥蚀,并减少焦饼过火与欠火交替造成的强度波动。其次,燃烧室火道温度以换向后20s温度为校核基准,执行温度测量做到开盖即测即盖,并用冷却温度对结果进行20s点修正后判定偏差,控制在1100~1450℃区间。边火道温度下滑时岗位应先核对煤气主管压力、分配阀开度与孔板通畅度,再微增煤气量或分区配风补足热量,并将空气过剩系数保持在合理范围<sup>[4]</sup>。再者,炉顶空间温度采用分区热电偶与荒煤气温度联动监控,将炉顶温度控制在 $800 \pm 30\text{℃}$ 且上限不超过850℃,顶部温度偏高时通过降低局部燃烧强度、优化换向节拍与均衡上升烟道阻力实现回落,并核对炉门、上升管、装煤孔密封与负压水平,避免顶区过热。此外,小烟道与分烟道温度用于判别热量分配偏移,现场将小烟道温度维持在250~450℃区间,配合日常趋势图对比同排相邻炉室温度层次,同时核对吸力、闸板开度及蓄热室阻力差,温度异常先排查漏风、堵塞与结渣,再同步微调风量与煤气量,并以相邻炉室温差收敛作为调整终点。最后,环保指标应作为调温边界条件而非事后补救,当氮氧化物浓度抬升时,班组应优先在不影响成熟度的前提下压低火道峰值温度,降低

空气过剩系数并优化空燃比,必要时配合低氮燃烧方式或脱硝运行参数的联动校正。装煤与推焦出现冒烟冒火时,应同步核对煤饼水分、上升管压力与炉门密封,先消除漏点与负压吸入,再回到加热侧调整,避免仅靠加温掩盖接口异常带来的质量波动。

### 4.3 结焦时间与推装节奏的刚性约束

为把焦炭强度、反应性等指标稳定在成熟窗口内,现场需要用结焦时间与推装节奏的刚性约束,把操作波动压在可控边界内。第一,班推焦计划应以循环图表为基准逐炉核对,计划结焦时间必须覆盖规定结焦时间,最短结焦时间不得短于规定值 15min,并禁止在末期临时压缩时间以免焦饼中心温度不足;对需烧空炉的炭化室应按单炉操作时间单列,明确推焦、空炉、补装的顺序和复核点,防止插炉导致节奏紊乱。第二,推焦与装煤以计划时刻为主控点,推焦杆头接触焦饼时间和装煤完成时间分别记录,偏差原则上控制在  $\pm 15\text{min}$  内并纳入班组考核;当连续出现提前或滞后时,调度要及时调整炉号顺序并复核直行温度与吸力,避免赶炉引起成熟度漂移。第三,推焦后空炉时间控制在 8min 以内,炭化室开门到关门敞开时间控制在 7min 以内,烧空炉等特殊情形也应设置上限并履行审批;畅、炉门工按交接卡协同,确认熄焦车到位和炉门清理到位后再开门,装煤结束立即封孔并校正炉门压紧,同时保持集气管压力平稳,减少炉墙散热和局部温降。第四,发生故障或停电延迟推焦时,应先判定炭化室温度与成熟状态,故障解除后允许赶炉但每小时比正常计划增推炉数不超过 2 炉,并优先推出成熟度已足的炉号,赶炉期间调火岗位同步跟踪炉顶温度、废气温度和吸力,小幅补热后按计划回归。

### 4.4 出焦与干熄过程的质量稳定控制

为把出焦至干熄这一段的不确定性压到最低,现场工艺控制应围绕红焦热量一致、气体循环稳定和机械节奏可重复展开。第一,入干熄炉红焦温度建议稳定在  $950 \sim 1050^\circ\text{C}$  区间并以约  $1000^\circ\text{C}$  为控制目标,推焦前由炉头测温与推焦信号联锁校核,发现单孔偏低应优先复核结焦终点与空炉时间,避免把欠熟焦带入干熄造成表里降温速率差异,运焦翻车时控制落差与翻转角度,保持料面铺展均匀

并及时补正料位。第二,排焦温度以不高于  $180^\circ\text{C}$  为上限,同时将单次干熄时间锁定在工艺卡范围内并保持批次一致,中控以排焦量和循环风量匹配为主线调节气料比,重点盯住锅炉入口温度与预存段压力波动,预存段压力宜维持微正压  $0 \sim 50\text{Pa}$  以抑制外界空气吸入并减少燃烧漂移。在皮带耐热条件允许时,可将常态排焦控制在  $140 \sim 160^\circ\text{C}$  以降低风量需求,并以排焦温度偏差作为班组调整触发条件。第三,焦炭烧损率应作为过程质量指标严控在 1% 以内,操作上以循环气体入口温度、系统微正压及导入空气量为约束,减少过剩氧并保持循环气体可燃组分在安全范围,重点加强负压段法兰、水封与环形风道密封巡检,及时处理漏风和进水,防止氧化与水汽作用叠加引起粉化上升。

## 5 结语

综上所述,焦炭理化性能的稳定产出,需要生产组织把“质量目标”落实到每一道可检查、可纠偏的现场动作中。炼焦实践表明,若配煤调整缺乏节奏约束,备煤粒度与水分分布不均,捣固成型存在密度与高度波动,即使后续通过延长结焦或加大加热强度进行补偿,也容易造成成熟不均与粒度结构劣化。工艺段控制必须坚持按计划推装、稳定空炉与敞开时间、执行温度与压力的边界控制,同时强化好班组日常管理使关键波动在早期被识别并被修正。只有在全过程形成连续闭环,焦炭指标才能保持在可预测区间内。

### 参考文献

- [1] 高博.炼焦工艺优化与焦炭质量提升探究[J].石油石化物资采购, 2025(14):10-12.
- [2] 张文成.煤岩及焦炭光学组织评价焦炭宏观性能[C]//第十四届中国钢铁年会论文集—2.焦化及节能环保.2023.
- [3] 张林杨.快速预热对典型炼焦煤及其焦炭性质的影响研究[D].北京科技大学,2023.
- [4] 王帅,周文艳,高亚芳,等.炼焦煤热解过程中膨胀压力的形成机制及对焦炭质量的影响[J].煤炭转化, 2024(002):047.
- [5] 殷喜和.炼焦加热智能化控制技术的开发与应用[C]//2023全国冶金焦化流程节能减排创新技术研讨会.山西太钢不锈钢股份有限公司焦化厂, 2023.