

# 煤质对炼焦过程及焦炭质量的影响研究

高嘉辉

宁夏宝丰能源集团焦化二厂有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17101

**[摘要]** 煤质作为炼焦的基础,其特性显著影响炼焦过程与焦炭质量。本文首先分析了煤的变质程度、黏结性能、灰分成分与炼焦过程的基础关联,揭示了不同煤质特性对焦炭冷态强度、热态性能及化学稳定性的影响。进而,提出通过精准控制加热制度、优化装煤密度、实现熄焦方式绿色转型及煤质水分对焦炭的影响等炼焦工艺参数协同优化策略,旨在提升焦炭质量,满足高炉炼铁需求,为钢铁行业可持续发展提供科学依据。

**[关键词]** 煤质; 炼焦过程; 基础关联; 焦炭质量影响

中图分类号: TQ520.1 文献标识码: A

## Study on the Influence of Coal Quality on the Coking Process and Coke Quality

Jiahui Gao

Ningxia Baofeng Energy Group Coking Plant No. 2 Co., Ltd.

**[Abstract]** As the foundation of coking, coal quality significantly affects the coking process and coke quality. This paper first analyzes the fundamental relationships between coal characteristics—such as metamorphic degree, caking properties, and ash composition—and the coking process, revealing the multidimensional effects of different coal quality characteristics on the cold strength, thermal performance, and chemical stability of coke. Furthermore, strategies for the synergistic optimization of coking process parameters are proposed, including precise control of the heating system, optimization of coal charging density, green transformation of coke quenching methods, and the impact of coal moisture on coke quality. These strategies aim to improve coke quality, meet the requirements of blast furnace ironmaking, and provide a scientific basis for the sustainable development of the steel industry.

**[Key words]** Coal Quality; Coking Process; Fundamental Relationships; Coke Quality Impact

## 引言

炼焦是钢铁生产的关键环节,焦炭质量直接影响高炉炼铁的效率与成本。煤质作为炼焦的基础原料,其特性如变质程度、黏结性能、灰分成分等,对炼焦过程及焦炭质量具有决定性作用。深入研究煤质与炼焦的关系,优化炼焦工艺参数,对提升焦炭质量、降低生产成本具有重要意义。本文将从煤质特性与炼焦过程的基础关联出发,探讨煤质特性对焦炭质量的多维度影响,并提出炼焦工艺参数的协同优化策略。

### 1 煤质特性与炼焦过程的基础关联

#### 1.1 煤的变质程度与炼焦适应性

煤的变质程度是衡量其炼焦性能的核心要素,常以挥发分(Vdaf)和镜质组反射率(Rmax)作为表征指标。不同变质程度的煤在炼焦过程中呈现出显著差异。低变质煤,以气煤为例,挥发分含量处于37%~46%的高位区间。在热解环节,它会产生大量气体,这些气体在焦炭内部肆意冲撞,形成密集的裂纹网络,进而

导致焦炭的抗碎强度(M40)和耐磨强度(M10)大幅下降。中等变质煤,如焦煤,其挥发分含量在20%~28%之间,与黏结指数(GR. I60-75)达到良好平衡。热解时,它产生的胶质体流动性恰到好处,使得所炼制的焦炭具备块度大、裂纹少、强度高的优点,是当之无愧的优质炼焦原料<sup>[1]</sup>。高变质煤,像瘦煤,挥发分较低,仅为14%~20%,黏结性较弱。单独炼焦时,焦炭在收缩过程中会产生较多裂纹,强度较低,但它能有效改善配煤的收缩性能。变质程度不仅作用于焦炭的宏观性能,还对其微观结构产生深远影响。低变质煤炼制的焦炭,比表面积大、气孔率高,反应性(CRI)较高,在与CO<sub>2</sub>等气体反应时更为活跃。而高变质煤炼制的焦炭,气孔率低、结构致密,反应后强度(CSR)较高,能在高温反应后保持较好的结构完整性。

#### 1.2 煤的黏结性能与胶质体行为

煤的黏结性能是影响焦炭质量的关键因素,其核心在于热解时胶质体的数量、流动性及软化区间。优质黏结煤如肥煤,

胶质体厚度大( $Y$ 值>25mm),膨胀压力高,单独炼焦可形成熔融性良好的焦炭,但焦炭横裂纹较多。而弱黏结煤如气煤,胶质体数量少,单独炼焦效果不佳,需与强黏结煤配比使用。气煤与肥煤按3:7配比,既能保证焦炭强度,又可控制成本<sup>[2]</sup>。黏结指数(GR. I)是衡量黏结性能的重要指标。GR. I过高(>75),焦炭脆性增加、强度降低,运输和使用中更易破碎;GR. I过低(<60),无法形成致密结构,焦炭内部缺陷多、强度不足。工业实践显示,将GR. I控制在60~75,焦炭CSR可达65%以上,能满足高炉炼铁等需求。胶质体的流动性(基氏流动度)和膨胀性(奥亚膨胀度)也影响焦炭质量。流动性好的胶质体可充分填充煤粒间隙,增强黏结力;膨胀性适中的胶质体能减少收缩裂纹,避免焦炭冷却时因收缩不均产生裂缝,影响强度。

### 1.3 煤的灰分成分与焦炭劣化机制

灰分是煤中矿物质的总称,其成分对焦炭质量具有双重影响。一方面,灰分中的 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 等硅铝酸盐在高温下会形成低熔点共晶物,降低焦炭的耐火度,使焦炭在高炉内更容易软化熔融,影响高炉的正常运行。另一方面,灰分中的碱金属(Na、K)会催化焦炭与 $CO_2$ 的气化反应,使CRI升高10%~15%,CSR下降3%~5%。灰分中 $Na_2O$ 含量每增加1%,焦炭CSR就会下降3%~5%,严重影响焦炭在高炉内的使用性能。灰分含量(Ad)也直接左右着焦炭质量。灰分会全部转化至焦炭中,导致焦炭含碳量降低,高炉渣量增加。为了排出多余的渣量,需要添加更多助熔剂,这不仅会提高焦比,还会降低生产效率。研究表明,焦炭灰分每增加1%,高炉焦比上升2%~3%,生铁产量下降1%~2%,给钢铁企业带来显著的经济损失。

## 2 煤质特性对焦炭质量的多维度影响

### 2.1 对焦炭冷态强度的影响

冷态强度以M40(抗碎强度)、M10(耐磨强度)为关键衡量指标,煤的变质程度、黏结性能、灰分成分及粒度分布均会对其产生作用。煤的变质程度与黏结性能是基础影响因素。低变质煤,如气煤,因变质程度低,炼焦时热解产生大量气体,致使炼制的焦炭裂纹多、结构疏松。在此情况下,M40通常低于80%,M10高于8%。而中等变质煤,像焦煤,具有适中挥发分与良好黏结性,炼制的焦炭结构致密,M40可达85%以上,M10低于6%。灰分中的硬质矿物会进一步降低焦炭冷态强度。以石英为例,它在焦炭内部会成为裂纹源。当灰分中 $SiO_2$ 含量每增加1%时,M40会下降1%~2%。这是因为 $SiO_2$ 等硬质矿物在焦炭中分布不均,受力时易引发应力集中,导致焦炭破碎。煤的粒度分布对焦炭冷态强度也有影响<sup>[3]</sup>。当粒度小于3mm的煤料占比处于80%~85%时,煤粒接触紧密,胶质体分布均匀,能有效填充煤粒间隙,使焦炭气孔率降低10%~15%,M40提高3%~5%。若粒度过粗(大于5mm),惰性组分易成为裂纹中心,阻碍胶质体流动与填充,导致裂纹增多;若粒度过细(小于0.5mm),活性组分比表面积增大,会过度吸附胶质体,使气孔壁变薄,降低焦炭抗碎与耐磨能力。

### 2.2 对焦炭热态性能的影响

热态性能通过CRI(反应后强度)、CSR(反应后强度)来衡量

焦炭在高炉内的耐侵蚀能力,煤的变质程度、灰分成分以及加热制度是主要影响因素。煤的变质程度不同,炼制的焦炭热态性能差异明显。低变质煤炼制的焦炭气孔率高、结构疏松,CRI通常高于30%,CSR低于60%;高变质煤炼制的焦炭气孔率低、结构致密,CRI可低于25%,CSR高于65%。灰分中的碱金属会催化焦炭与 $CO_2$ 的气化反应,影响热态性能。Na、K等碱金属会使CRI升高10%~15%,CSR下降3%~5%。灰分中 $K_2O$ 含量每增加0.1%,CRI上升2%~3%。这是因为碱金属在高温下会破坏焦炭的碳结构,加速气化反应。加热制度同样影响焦炭热态性能。当炭化室温度过低时,挥发分未充分析出,焦炭内部残留未反应物质,在后续高炉内会继续反应,导致CRI升高;当温度过高时,焦炭过度石墨化,结构规整但脆性增加,CSR下降。工业实践表明,炭化室温度控制在950~1050℃时,焦炭热态性能最佳。

### 2.3 对焦炭化学稳定性的影响

化学稳定性体现焦炭在高炉内抵抗化学侵蚀的能力,主要受灰分成分、硫含量以及煤的氧化程度影响。灰分中的 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 等硅铝酸盐在高温下会形成低熔点共晶物,降低焦炭耐火度。硫含量过高时,硫以 $FeS$ 形式存在于焦炭中,降低其熔点,加剧化学侵蚀。硫含量每增加0.1%,焦炭耐火度下降10~15℃。煤的氧化程度也会影响化学稳定性。氧化煤,如风化煤,表面含氧官能团增多,热解时产生更多气体,导致焦炭裂纹增加、结构疏松,化学稳定性下降。

## 3 炼焦工艺参数的协同优化策略

### 3.1 加热制度的精准控制

加热制度的精准把控是确保焦炭质量的核心环节,需依据煤质特性灵活且精细地调整。炭化室温度是关键要素。温度低于900℃,煤中挥发分难以充分逸出,炼出的焦炭强度不足、内部疏松,无法满足高炉炼铁对高强度焦炭的要求;温度超过1050℃,焦炭会过度石墨化,脆性增加、强度下降。工业实践显示,将炭化室温度精准控制在950~1050℃,焦炭显微结构致密化程度达最高,抗碎强度M40提升5%~10%,反应性CRI降低5%~8%,焦炭质量显著提升。加热速度对焦炭质量影响重大。快速加热(速度超5℃/min)可增强胶质体流动性,使煤粒黏结更紧密,抗碎强度M40提高3%~5%<sup>[4]</sup>。但若加热速度过快,超10℃/min,会产生热应力裂纹,破坏焦炭内部结构,导致耐磨强度M10恶化15%~20%。实际生产中,要分阶段控制加热速度,黏结阶段适当加快,半焦收缩阶段减缓,平衡强度与裂纹率。焖炉工艺通过延长结焦后期热缩聚时间,能使焦炭内部结构更致密,进一步提升焦炭质量,为炼铁提供优质原料。

### 3.2 装煤密度的优化提升

装煤密度的优化提升对炼焦过程及焦炭质量意义重大,它通过影响煤粒接触紧密程度与胶质体填充效果,决定着焦炭的致密性。捣固炼焦技术是提升装煤密度的有效方式。借助该技术,煤饼密度能从原本的0.7t/m<sup>3</sup>大幅提升至1.1t/m<sup>3</sup>。这一改变带来了明显质量提升,焦炭抗碎强度M40提高3%~5%,反应性CRI降低5%~8%。原理在于,高密度煤饼为胶质体创造了更充足的填

充空间,使胶质体更好地填充煤粒间隙,增强了煤粒间的黏结力。高密度使膨胀压力增大,促进半焦收缩,减少裂纹形成,让焦炭结构更致密。煤料粒度分布也深刻影响着装煤密度。当粒度小于3mm的煤料占比在80%-85%时,煤粒紧密接触,胶质体分布均匀,焦炭气孔率降低10%-15%,致密性与强度提升。但粒度过粗(大于5mm),惰性组分易成裂纹中心,破坏结构;粒度过细(小于0.5mm),活性组分比表面积增大,过度吸附胶质体,使气孔壁变薄,降低焦炭质量。

### 3.3 熄焦方式的绿色转型

熄焦是炼焦工艺的关键环节,直接影响焦炭质量与环保效益。传统湿法熄焦通过喷水冷却红焦,存在热能浪费、水资源消耗及污染物排放问题。每吨湿熄焦需消耗0.5吨水,同时产生含酚、氰化物等有害物质的蒸汽,污染占比达炼焦环节的三分之一。湿熄焦导致焦炭水分波动大,影响高炉透气性,间接增加炼铁能耗。干法熄焦(干熄焦)采用惰性气体循环冷却技术,通过密闭系统回收红焦显热,热回收率达80%,每吨焦可产生0.45吨蒸汽用于发电,年节约标准煤8万吨,减排二氧化碳22万吨。其核心优势在于:一是焦炭质量提升,N40强度提高3%-8%,高炉焦比降低2%,生产能力提升1%;二是资源利用优化,可减少强黏结煤配比10%-20%,降低原料成本;三是环保效益显著,二氧化硫排放浓度低于30mg/m<sup>3</sup>,达到超低排放标<sup>[5]</sup>。

## 4 煤质水分对焦炭的影响

煤质水分对焦炭质量有着多方面且显著的影响。在炼焦热效率方面,水分蒸发需吸收大量热量,这会减缓焦炉升温速度,延长结焦时间。一般来说,水分每增加1%,结焦时间约延长20分钟,既降低焦炉生产效率,又增加能耗。某焦化厂控制入炉煤水分后,结焦时间缩短15%,焦炭产量提升8%。水分变化还会破坏煤

料堆密度稳定性。水分低于6%-7%时,堆密度随水分降低而增高;超过7%后,虽因润滑作用堆密度短暂升高,但因结焦时间延长、耗热量增加,焦炭质量变差。堆密度波动会使焦炭气孔率增大、孔壁变薄,降低其抗碎和耐磨强度。水分波动会干扰焦炉加热制度。配合煤水分每变化1%,标准温度需调整5-7℃,调火不及时易造成焦饼过火或不熟,形成裂纹中心,削弱焦炭机械强度。稳定控制煤质水分(通常要求<8%)至关重要。采用煤调湿技术将水分降至6%以下,可提高堆密度、加快结焦速度,使焦炭强度提升3%-8%,还能降低弱黏结煤配比,实现资源的高效利用。

## 5 结束语

煤质特性与炼焦工艺参数的协同优化是提升焦炭质量的关键。通过精准控制加热制度、优化装煤密度及实现熄焦方式的绿色转型,可显著改善焦炭的冷态强度、热态性能及化学稳定性。未来,应进一步深入研究煤质特性与炼焦过程的内在机制,开发更加高效、环保的炼焦技术,以满足钢铁行业对高质量焦炭的持续增长需求,推动行业的可持续发展。

## 参考文献

- [1]李伟.煤质对炼焦过程及焦炭质量的影响研究[J].石化技术,2025,32(2):329-331.
- [2]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(2):45-51.
- [3]宋忠伟.高炉炼铁过程中焦炭质量对铁水质量的影响研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(3):40-42.
- [4]王雷雷,赵丹,刘丹丹,等.炼焦煤的结构性质及同类煤种替代对焦炭质量的影响[J].煤炭转化,2025,48(1):45-54.
- [5]乔通.炼焦工艺对焦炭质量影响的试验研究[J].山西化工,2024,44(8):136-137+140.