

兰炭及 CDQ 粉配入对高炉喷吹燃料成本的影响分析

王佳明, 梁立新, 王宗晖
宁波钢铁有限公司, 浙江 宁波 315807
DOI:10.61369/ERA.2026100035

摘 要 : 在煤炭消耗逐年下降的政策背景下, 高炉喷吹煤粉供应日趋紧张, 兰炭及 CDQ 粉作为替代燃料配入喷吹系统成为缓解资源矛盾的重要途径。本文结合高炉工长日常维持炉温与碱度平衡的生产实践, 分析了兰炭与 CDQ 粉的理化性能及其对混合煤粉质量的影响, 测算了不同配比方案下的燃料价格与燃料比变化, 探讨了 CDQ 粉配入比例与风口磨损的相关性, 并总结了调整煤枪频次、采用陶瓷内衬煤枪、增加煤枪深入长度及试用陶瓷衬风口等降低风口磨损的措施。研究表明, 合理控制兰炭及 CDQ 粉配入比例可在保障高炉顺行的前提下有效降低喷吹燃料成本, 配合煤枪与风口的结构优化可显著减轻风口磨损, 为高炉喷吹系统降本增效提供参考。

关 键 词 : 高炉喷吹; 兰炭; CDQ 粉; 燃料成本; 风口磨损

Analysis of the Impact of Adding Semi-coke and CDQ Fines on the Fuel Cost of Blast Furnace Injection

Wang Jiaming, Liang Lixin, Wang Zonghui
Ningbo Iron & Steel Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315807

Abstract : Against the policy background of progressively declining coal consumption, the supply of pulverized coal for blast furnace injection is becoming increasingly tight. As substitute fuels, semi-coke and CDQ (Coke Dry Quenching) fines incorporated into the injection system have become an important approach to alleviate the resource contradiction. Based on the production practice in which blast furnace operators maintain hearth heat and slag basicity balance in daily operations, this paper analyzes the physicochemical properties of semi-coke and CDQ fines and their influence on the quality of the blended coal powder; calculates the variations in fuel price and fuel ratio under different blending schemes; discusses the correlation between the blending ratio of CDQ fines and tuyere wear; and summarizes measures to reduce tuyere wear, including adjusting the injection lance frequency, adopting ceramic-lined injection lances, increasing the insertion depth of injection lances, and trial use of ceramic-lined tuyeres. The results show that, by reasonably controlling the blending ratios of semi-coke and CDQ fines, the fuel cost of injection can be effectively reduced while ensuring the smooth and stable operation of the blast furnace; combined with structural optimization of injection lances and tuyeres, tuyere wear can be significantly alleviated, providing a reference for cost reduction and efficiency improvement of the blast furnace injection system.

Keywords : blast furnace injection; semi-coke; CDQ fines; fuel cost; tuyere wear

引言

随着国家煤炭消费总量控制政策的持续推进, 高炉喷吹用煤粉的采购难度与价格压力逐年增大。高炉工长在维持炉温充沛、碱度稳定和炉况顺行的同时, 需要面对煤粉资源不足的现实约束。兰炭与 CDQ 粉作为价格相对低廉的碳质燃料, 具备替代部分喷吹煤粉的潜力, 但其硬度高、灰分与硫分波动大, 配入比例提高后容易加剧风口磨损, 影响高炉喷吹系统的稳定运行。如何在成本控制与设备维护之间找到平衡, 成为当前高炉喷吹管理的重要课题。本文围绕配比调整、成本测算与磨损防治展开分析, 以期为生产实践提供参考。

一、研究背景与问题提出

（一）煤炭消耗下降的政策要求与喷吹煤粉的供需矛盾

近些年来，政府规定煤炭消耗要逐年削减，钢铁企业高炉喷吹使用的无烟煤和烟煤采购量遭到明显缩减，煤粉供应短缺的情况渐渐显露出来。高炉工长在实际生产过程中经常遇到煤粉库存少、配比不断改变的情况，只能采用低价的替代燃料。同时高炉对于喷吹燃料的发热值、灰分和硫分都有一定的要求，不能因为使用替代燃料而破坏炉温及碱度的平衡。由于煤粉供需矛盾导致采购成本上升，并且加大了配比调整的操作难度，急需从燃料结构和操作制度两个方面来解决。从生产实际情况来看，在冬季保供期间以及价格处于高位的时候，煤粉缺口会集中爆发出来，工长必须在有限的库存里先保证高炉热制度的稳定性，然后再考虑替代燃料的加入方案^[1]。

（二）兰炭及 CDQ 粉作为替代燃料的可行性

兰炭是低阶煤经过中低温干馏得到的固体产物，固定碳含量较高、价格比无烟煤便宜，有喷吹的价值。CDQ 粉为干熄焦过程中产生的焦粉，粒度小、固定碳含量高，但是硬度大、磨损性强。二者在化学组成以及燃烧特性方面同喷吹煤粉存在差别，加入之后会改变混合煤粉的挥发分，灰分和发热值。从资源可获得性和经济性来说，兰炭和 CDQ 粉可以弥补一部分煤粉的不足，但是它们的配入比例要根据高炉热制度和风口磨损状况来确定，不能为了降低成本而不顾设备寿命和炉况稳定性。从生产数据可知，兰炭和 CDQ 粉的采购半径较小，供应比较稳定，可以实现连续配入。

（三）替代燃料配入对高炉喷吹系统的影响

兰炭加入之后，混合煤粉的粒度分布、硬度以及灰分都会发生改变，进而给喷吹管路、煤枪和风口带来不同程度的影响。CDQ 粉硬度大，高速喷吹时对煤枪内壁和风口内衬的冲刷磨损增大，加入的比例越大磨损越严重。兰炭燃烧性能好但是灰分中的碱性物质会改变炉渣的碱度。高炉工长要对配比调整之后的风口状况、煤枪寿命和炉温变动实施持续监视，并迅速作出调整喷吹参数的决定，从而保证高炉处在低能耗燃料组合当中依然能够保持稳定的顺行。喷吹系统输送压力和给料均匀性会因为混合煤粉流动性变化而改变，工长也要注意管路堵塞和偏流的情况。

二、兰炭及 CDQ 粉的燃料特性分析

（一）兰炭的理化性能与燃烧特性

兰炭水分低，固定碳含量一般在 78% 以上，挥发分介于无烟煤和烟煤之间，可以满足高炉喷吹的基本要求。灰分中二氧化硅、氧化铝含量较高，硫分较小，在燃烧过程中火焰较短、燃尽较好。兰炭的哈氏可磨性指数比烟煤低一些，但是比 CDQ 粉要高一些。加入兰炭之后混合煤粉的挥发分略有上升，有利于提高喷吹煤粉的着火性能，但是灰分增多会加大炉渣碱度调节次数，工长在配料时要加以注意。兰炭燃烧产生的碱性氧化物含量较少，对炉渣碱度影响不大，可以作为基础替代燃料逐渐掺入^[2]。

（二）CDQ 粉的理化性能与磨损特性

CDQ 粉是干熄焦系统回收的细粒焦粉，固定碳含量高、发热值接近焦炭，价格明显低于喷吹煤粉。它的主要特点就是硬度大、棱角清楚，颗粒小但是磨损性强，在高速气流的冲击下会对煤枪内壁以及风口内衬造成严重的冲刷作用。CDQ 粉灰分、硫分变化大，加入比例增大时混合煤粉灰分增加，影响炉渣碱度和铁水质量。从生产实践中得知，CDQ 粉配比越高，风口磨损速度越快，是制约它大量使用的决定性因素。CDQ 粉粒度组成里细粉所占比例大，喷吹时容易出现扬尘、偏流等现象，并且对于给料设备的密封性也有更高的要求。

（三）兰炭及 CDQ 粉配入对混合煤粉质量的影响

兰炭和 CDQ 粉按照不同的比例加入之后，混合煤粉的工业分析数据就会出现较大改变。兰炭加入可以提高挥发分、降低水分，利于喷吹输送和燃烧；CDQ 粉加入可以提高固定碳和灰分，降低挥发分，使混合煤粉的燃烧性能变差。两者一起加入的时候，混合煤粉的粒度分布变宽，硬度增大，对磨煤机以及喷吹管路的磨损加重。高炉工长要依照高炉热制度和碱度需求，把混合煤粉的灰分、硫分和发热值维持在适宜范围之内，防止由于配比不当引发炉温变动和炉渣品质变差的情况出现。混合煤粉中固定碳和挥发分的比例发生变化还会引起风口理论燃烧温度的变化，需要用风温、富氧量来加以调节。

三、配比调整对燃料成本的影响

（一）不同配比方案下的燃料价格测算

从生产数据可知，神冶1、神冶2、晋城煤、兰炭和 CDQ 粉的单价差别较大，兰炭、CDQ 粉的价格远远低于无烟煤。以干基配比为依据，加上湿基换算以及制造费用之后，可以得出各种配比方案下混合煤粉的综合单价。提高兰炭和 CDQ 粉的比例可以直接降低燃料采购成本，但是配比的改变还要考虑到磨煤电耗、煤枪消耗和风口更换费用。工长在制订配比方案的时候，要把显性的采购成本同隐性的设备损耗融合起来考虑，才会有真实的燃料成本变动显现出来。测算时还要注意干基价和湿基价之间的换算关系，水分的不同会影响入炉燃料的实际单价^[3]。

（二）配比调整对燃料比的影响

配比改变之后混合煤粉的固定碳、灰分以及发热值都会发生改变，进而对高炉燃料比产生影响。兰炭加入比例增大时，混合煤粉的发热值略微降低，为了保证炉温，需要增加焦炭或者提高喷吹量，燃料比可能会有所升高。CDQ 粉加入比例增大时，固定碳含量上升但是燃烧性能变差，未燃煤粉增多会导致料柱透气性变差，从而间接提高燃料比。工长要依靠风温、富氧和焦炭负荷三者之间的配合来抵消由于配比改变而给燃料比带来的负面影响，使高炉热制度保持稳定。燃料比改变还会引起炉腹煤气量和压差的变化，要根据透气性指数来判定高炉运行状况。

（三）配比调整对燃料成本的综合影响

燃料成本是由采购单价、燃料比和设备维修费三者共同决定的。兰炭和 CDQ 粉配比增大之后，由于采购单价降低所获得的

收益会被燃料比增大以及风口磨损加重所抵消。根据生产数据可知,兰炭配比在一定范围内增大时综合成本明显降低,但是 CDQ 粉配比超过某个数值以后,风口更换次数增多,维护成本迅速上升。工长要联系高炉的实际运行数据来找到综合燃料成本最低的配比范围,达到降低成本和保护设备的目的。综合成本测算还要加入休风损失、备件库存占用等,不能只看单价来判定配比方案的好坏。

四、风口磨损机理与应对措施

(一) CDQ 粉配入比例与风口磨损的相关性

CDQ 粉硬度大,颗粒有棱角,高速运动到风口内壁上会产生切割、冲刷的作用。从生产统计结果可知,CDQ 粉加入量增大以后,风口磨损速度也随之增大,并且风口前端以及内衬部分出现了明显的沟槽和减薄现象。磨损加剧会缩短风口的使用寿命,并且会造成冷却水漏出和高炉停炉的情况发生。工长在提高 CDQ 粉配比的时候要同时加大风口检查次数,记录磨损的位置和程度,给配比调整和设备改进提供依据。磨损形态分析可以判断出是由于煤枪的对中误差造成还是燃料的硬度引起的,进而采取相应的解决办法^[4]。

(二) 煤枪操作参数调整对风口磨损的改善

调节煤枪次数、加大煤枪插入深度可以改变煤粉射流和风口的位置关系,从而减小对风口内壁的直接冲刷。适当增大煤枪插入深度,使煤粉射流靠近风口中心,防止贴壁流动,可以减小局部磨损。合理地控制煤枪的频率以及喷吹的压力,使各个喷嘴的喷射量一致,防止某一个喷嘴因为负荷过大而产生偏磨的现象。工长依靠日常巡检和参数记录来不断改进煤枪的操作制度,在不改变配比的情况下有效地提高了风口的使用寿命,给高 CDQ 粉配比运行打下了基础。煤枪角度和插入深度要根据风口回旋区形状来确定,不能使射流冲刷炉墙或者引起局部过热。

(三) 陶瓷内衬煤枪与陶瓷衬风口的试用效果

采用陶瓷内衬煤枪可以大大提高煤枪内壁的耐磨性,减小 CDQ 粉对枪体的磨损,延长煤枪更换周期。风口内衬加装陶瓷衬套之后,风口抗冲刷能力变强,磨损速度变慢,风口寿命明显延长。从试用结果可知,陶瓷内衬煤枪+陶瓷衬风口组合使用,在 CDQ 粉配比高时可以保持风口状态稳定、降低备件消耗和休风风险。工长要根据试用情况慢慢推广,还要跟踪陶瓷材料的抗热震性能和安装工艺,保证长期运行可靠。陶瓷衬套的安装间隙以及粘结工艺都会影响到使用效果,在试用期间需要积累装配和维护

的经验^[5]。

五、结论与生产建议

(一) 兰炭及 CDQ 粉配入的合理比例

综合燃料成本、炉温稳定性以及风口磨损状况来确定兰炭配比为 10%~15%,CDQ 粉配比不超过 8%。兰炭加入可以改善混合煤粉的燃烧性能,但是 CDQ 粉加入过多会增加采购成本。工长要依照煤粉存量,风口状况以及炉况变动来调节配比,防止长时间维持较高比例的配比致使设备损耗并引发炉况不稳定的情况出现。合理的比例还要考虑到高炉容积和风口的数量,不同的高炉磨损承受能力不一样,应该根据实际情况来制定配比的上限。

(二) 降低风口磨损的综合措施

降低风口磨损要从燃料配比、煤枪操作和设备材质三个方面同时进行。控制 CDQ 粉的加入量才是根本的办法,改变煤枪的频率以及插入深度可以改善射流的分布情况,陶瓷内衬煤枪和陶瓷衬风口都是从材质上提高了耐磨性。工长应该创建风口磨损台账,对磨损情况进行分析,把操作调节同设备改良融合起来,塑造出可以被重复使用的磨损预防办法。磨损台账要记载配比、煤枪参数和风口寿命之间的联系,给之后的配比改良赋予数据支持。

(三) 高炉喷吹燃料成本优化的生产建议

煤炭消耗减少的政策环境下,高炉喷吹燃料成本优化要以保证炉温、碱度的稳定为基础。工长在做配比调整之前应该先做成本测算和磨损评价工作,然后对调整后的风口进行检查,并且还要跟踪炉况的变化情况,从而慢慢积累起各种配比下运行的数据。利用兰炭和 CDQ 粉的合理配合、改进煤枪的操作制度、使用陶瓷耐磨件等措施可以达到控制风口磨损的目的并且还可以使喷吹燃料的成本不断降低。成本优化是动态的过程,要根据市场的煤价和设备的使用寿命来不断地调整配比策略。

六、结束语

兰炭以及 CDQ 粉加入到高炉喷吹系统当中,可以解决由于煤粉短缺、价格高昂而产生的问题,但是它对于风口的磨损影响也不能小视。本文根据生产数据和工长的操作经验来分析配比调整对燃料成本和设备寿命的影响,并提出控制配比、改善煤枪操作和使用陶瓷耐磨件等综合措施。合理配入兰炭和 CDQ 粉可以保证高炉顺行的同时降低燃料成本,配合风口磨损防治手段可以延长设备寿命,给高炉喷吹系统在资源约束下稳定运行提供可行途径。

参考文献

- [1] 徐滋翊,陈子旋,王丛丛,等.高炉系统增上 CDQ 粉利用改造[J].矿业装备,2024,(S1):36-37.
- [2] 徐建宇,王涛,李森,等.高炉 CDQ 粉配煤喷吹技术研究及应用[J].云南冶金,2023,52(6):165-169.
- [3] 王广伟,吴君毅,杨玉卓,等.基于煤质特性分析的高炉喷吹煤粉性能评价[J].钢铁研究学报,2024,36(1):22-32.
- [4] 曾宇,姜喆,张建良,等.鞍钢高炉喷吹燃料的综合特性分析[J].中国冶金,2022,32(5):80-85+108.
- [5] 刘明文,齐渊洪,李昊堃,等.基于混料设计的高炉喷吹煤配煤结构优化研究及应用[J].中国冶金,2020,30(11):72-76+93.