

冶金焦质量对高炉炼铁过程的影响机理研究

王晓东 高汉青 屈自恒
安阳钢铁股份有限公司 河南 安阳 455000

摘要: 冶金焦在高炉炼铁中作用关键,其质量对炼铁过程影响显著。它能提供热能支撑,为炼铁反应营造高温环境;充当还原介质,实现铁矿石还原;构建料柱骨架,维持气固两相流动;维持炉内环境,保障炼铁稳定高效。冶金焦质量方面,粒度影响透气性、反应效率等;机械强度关系到料柱完整性和反应稳定性;化学成分如固定碳、灰分、硫分等影响热量供应、炉渣性能和铁水质量;耐高温性能影响焦炭在高温下的稳定性、反应活性及抗碱侵蚀能力,进而影响炼铁效率和质量。

关键词: 冶金焦质量;高炉炼铁;影响机理

引言: 高炉炼铁作为钢铁生产的关键环节,其高效稳定运行对钢铁行业至关重要。冶金焦作为高炉炼铁的重要燃料和还原剂,其质量优劣直接影响着炼铁过程。随着钢铁工业的发展,高炉大型化、高效化趋势明显,对焦炭质量的要求也日益提高。然而,目前我国优质炼焦煤资源紧缺,焦炭质量提升受限,冶金焦质量波动对高炉炼铁的影响愈发凸显。深入研究冶金焦质量对高炉炼铁过程的影响机理,对于优化高炉操作、提高炼铁效率、降低生产成本具有重要的现实意义,也有助于推动钢铁行业的可持续发展。

1 冶金焦的基本概念

冶金焦是一种在冶金领域具有重要地位的固体可燃产物,其基本概念涵盖定义、生产、特性、分类、质量标准以及用途等多个方面。从定义上看,冶金焦是炼焦煤经高温干馏后产生的固体可燃产物,是用于高炉炼铁、熔铁、有色金属冶炼、铁合金和炭素制品生产的优质焦炭。它是冶金工业、化肥工业的重要生产原料,在钢铁产业链中扮演着关键角色。在生产方面,冶金焦是以炼焦煤为主要原料,在室式焦炉中经过高温干馏制成。这个过程中,煤中的挥发分(水汽、焦油、煤气等)被蒸出来,剩下的固定碳收缩成多孔块状物,最终形成冶金焦。传统用喷水湿熄,现在越来越多厂改用干熄,既节能又减少污染。冶金焦具有独特的特性,它具有金属光泽,一般为银灰色,坚硬而多孔,表面多裂纹。其裂纹的多少直接影响到焦炭的强度和抗碎强度,而孔胞结构则影响到焦炭的反应性和强度^[1]。冶金焦有多种分类,它包括高炉焦、铸造焦和铁合金焦等。由于90%以上的冶金焦均用于高炉炼铁,因此往往把高炉焦称为冶金焦。质量标准对于冶金焦至关重要,我国制定的冶金焦质量标准(GB/T1996-2003)将产品分为3个等级,主要指标包

括灰分、硫分、机械强度、反应性、反应后强度等。例如,一级冶金焦要求固定碳>86%,发热量7300cal/kg,灰份<12%,挥发份<1.9%,全水<5%,硫<0.6%。冶金焦的用途广泛,它在高炉炼铁中是不可或缺的原料,为炼铁过程提供热量和还原剂;在有色金属冶炼、铁合金和炭素制品生产中也发挥着重要作用,是这些行业的关键支撑材料。

2 冶金焦在高炉炼铁中的作用

2.1 提供热能支撑

冶金焦在高炉炼铁里提供热能支撑,是确保炼铁流程稳定高效开展的关键要素。(1)燃烧释热:冶金焦在高炉风口前的回旋区内剧烈燃烧,此过程释放出大量的热量,成为高炉炼铁所需热能的主要来源,为整个炼铁反应构建了高温环境基础。(2)气流传热:焦炭燃烧生成的高温煤气在上升过程中,与炉料充分接触,将携带的热量传递给炉料,促使炉料升温,保障各层炉料都能达到合适的反应温度。(3)维持炉温:在炼铁持续进行的过程中,冶金焦不断燃烧,持续提供热量,有效维持高炉内相对稳定的高温,避免温度大幅波动影响炼铁反应的正常进行。(4)预热炉料:在炉料下降过程中,冶金焦燃烧产生的热量提前预热了炉料,使炉料在进入反应区域时能更快地参与反应,提高反应效率。(5)促进反应:高温环境为铁矿石的还原反应等提供了能量条件,加速了化学反应的速率,使炼铁过程更加顺畅,保证了生铁的产量和质量。

2.2 充当还原介质

冶金焦在高炉炼铁中充当还原介质,是实现铁矿石还原成铁的关键因素。(1)产生还原剂:在高炉高温环境下,冶金焦中的碳与氧气反应生成一氧化碳,一氧化碳作为重要的还原剂,为铁矿石的还原提供了物质基础。

(2) 还原铁氧化物：一氧化碳与铁矿石中的铁氧化物发生氧化还原反应，将铁从其氧化物中还原出来，如一氧化碳能将三氧化二铁还原为铁单质，使铁得以分离和提取。(3) 参与间接还原：冶金焦除了直接生成一氧化碳参与还原反应外，还通过与其他物质的反应，间接促进铁矿石的还原，丰富了还原反应的途径。(4) 维持还原环境：冶金焦持续反应维持了高炉内的还原气氛，避免已还原的铁再次被氧化，保证了铁的还原效果和质量。(5) 推动反应进程：冶金焦的存在和反应为还原反应提供了持续的动力，使整个还原过程能够稳定、高效地进行，确保了高炉炼铁的顺利开展。

2.3 构建料柱骨架

冶金焦在高炉炼铁中构建料柱骨架，对维持高炉内正常的气固两相流动和化学反应起着举足轻重的作用。在高炉炼铁过程中，冶金焦以块状形态存在于矿石和熔剂等炉料之间，形成了稳定的支撑结构。这一结构赋予了炉料层一定的空隙度，为煤气上升和炉料下降开辟了通道，确保了高炉内气固两相的正常对流运动。冶金焦的高强度特性是维持料柱稳定的关键，它能够承受上部炉料的巨大重量和压力，防止料柱被压实。一旦料柱被压实，炉内透气性就会变差，煤气上升受阻，炉料下降也会变得不顺畅。而良好的透气性和透液性，是保证炉料正常下降、促进铁矿石充分还原的重要条件^[2]。冶金焦的骨架作用还对高炉内的温度分布产生积极影响，它使温度分布更加均匀，为各种化学反应创造了适宜的环境，从而提高了炼铁效率和产品质量。稳定的料柱骨架有助于减少炉料的偏析和堆积，炉料偏析和堆积会导致炉况波动，影响高炉的稳定运行。而冶金焦构建的稳定骨架降低了这种风险，保障了高炉的稳定运行，为钢铁生产的连续性和稳定性提供了有力支持。

2.4 维持炉内环境

冶金焦在高炉炼铁里对维持炉内环境起着不可替代的关键作用，从多个维度保障着炼铁过程的稳定与高效。在温度调控方面，它宛如一座稳定的“热源站”。冶金焦燃烧时释放出大量热量，如同熊熊烈火般为高炉营造出高温环境。这一高温让铁矿石等炉料能在适宜的“温床”中进行物理和化学变化，并且其持续稳定的燃烧保证了炉内温度的恒定，避免了温度大幅波动对反应进程的干扰，就像给炼铁反应装上了一个精准的“温度控制器”。气体氛围的营造上，冶金焦是一位出色的“魔术师”。它参与反应生成一氧化碳等气体，构建出还原性气氛，在这个“魔法空间”里，铁矿石能顺利被还原，同时铁的氧化被有效抑制，铁得以顺利提取。透气性的维持上，冶金焦

如同坚固的“脚手架”。作为料柱骨架，它让炉料间保持适当空隙，煤气得以均匀上升，与炉料充分接触，促进热交换和化学反应^[3]。一旦透气性不佳，就如同道路堵塞，会导致煤气分布不均、炉况不顺。炉渣性能的调节上，冶金焦又似一位技艺精湛的“工匠”。它与炉渣相互作用，影响炉渣的熔点、粘度等性能，使铁水与炉渣能顺利分离，提高铁水质量。此外，它还能像“过滤器”一样吸附和固定杂质元素，减少其对铁水质量的影响，维持炉内相对清洁的环境，为高炉炼铁创造良好条件，确保整个炼铁过程稳定、高效地推进。

3 冶金焦质量对高炉炼铁过程的影响机理分析

3.1 粒度对高炉炼铁的影响

冶金焦粒度对高炉炼铁过程有着显著影响。(1) 影响透气性：适宜粒度的冶金焦能使炉料间形成合理空隙，保证煤气上升顺畅，若粒度不均，小粒度焦炭填充空隙会阻碍煤气流，大颗粒焦炭破碎产生的粉末也会恶化透气性，导致高炉压差升高，影响炼铁产量。(2) 决定反应效率：合适粒度的冶金焦与炉料接触面积合理，能加快还原反应速度，提高铁矿石还原效率，而粒度过大或过小都会降低反应效率，影响铁的产出。(3) 关系炉料下降：均匀粒度的冶金焦有助于炉料均匀下降，维持高炉内正常的料柱结构和运行状态，粒度差异大则可能造成炉料偏析，导致炉况不稳定。(4) 关联热量传递：粒度大小影响冶金焦的热传递性能，合适粒度利于热量均匀传递，使炉内温度分布合理，促进炼铁反应进行，反之则可能导致局部温度异常。(5) 影响焦炭消耗：粒度不合适会增加焦炭的额外消耗，因为透气性变差、反应效率降低等因素会使炼铁过程需要更多焦炭来维持正常反应，增加生产成本。

3.2 机械强度对高炉炼铁的影响

冶金焦机械强度对高炉炼铁过程影响显著。抗碎强度方面，高抗碎强度的冶金焦在高炉内不易破碎，能维持料柱的完整性和透气性。若抗碎强度不足，焦炭在下降过程中易破碎成小块和粉末，这些碎块和粉末会填充炉料间隙，阻碍煤气流上升，导致高炉压差增大，甚至引发悬料、崩料等异常炉况，降低炼铁生产效率。耐磨强度上，良好的耐磨强度可减少焦炭在高炉内的磨损和粉化。当耐磨强度差时，焦炭表面易剥落形成粉末，不仅恶化炉内透气性，还会增加炉尘带出量，造成焦炭和铁资源的浪费，同时也可能影响铁水质量^[4]。炉内反应方面，机械强度高的焦炭能在高温和复杂的化学反应环境中保持稳定，为铁矿石还原等反应提供持续有效的支撑。强度不足的焦炭可能过早粉化，影响反应的正常进行，降

低铁的还原效率。料柱稳定性方面,机械强度高的冶金焦作为料柱骨架,能承受上部炉料的压力,维持料柱的稳定结构,确保炉料均匀下降和煤气均匀分布。若强度不够,料柱可能坍塌或变形,破坏高炉内的正常生产秩序。

3.3 化学成分对高炉炼铁的影响

冶金焦的化学成分对高炉炼铁过程有着深刻的影响,具体体现在以下几个方面:(1)固定碳含量:固定碳是冶金焦的主要成分,含量越高,提供的热量和还原剂就越多。高固定碳含量的冶金焦能为高炉炼铁提供充足的能量,促进铁矿石的还原反应,提高铁的产量和质量。(2)灰分:灰分是冶金焦中的杂质,其含量过高会降低焦炭的发热量,增加焦炭的消耗。同时,灰分中的一些成分会与炉渣反应,影响炉渣的性能,进而影响铁水的分离和质量。(3)硫分:硫是焦炭中的有害元素,它会使生铁变脆,降低生铁的质量。为了脱除硫分,需要增加石灰石和焦炭的用量,这不仅增加了成本,还会降低高炉的利用系数。(4)挥发分:挥发分可以反映焦炭的成熟程度。挥发分过高表示焦炭未充分成熟,会降低焦炭的强度和反应性;挥发分过低则可能表示焦炭过火,也会影响焦炭的性能。(5)水分:水分的波动会影响焦炭的计量和炉况的稳定。水分过高会增加焦炭的运输成本,同时在高炉内蒸发会吸收热量,降低炉温,影响炼铁效率。

3.4 耐高温性能对高炉炼铁的影响

冶金焦的耐高温性能对高炉炼铁过程有着多方面的深刻影响。在高炉炼铁中,高温环境是化学反应的基础,冶金焦耐高温性能直接关系到其在高温下的稳定性和反应活性。具有良好耐高温性能的冶金焦,在高炉内高温条件下能保持稳定的物理和化学性质,不易发生过度的热解和破碎,从而维持料柱的透气性和透液性。从化学反应角度看,耐高温性能好的冶金焦在高温下与二氧化碳的氧化还原反应更稳定。它能持续有效地将铁矿石还原为铁,提高铁的产量和质量。若冶金焦耐高温性能不佳,在高温下迅速分解或反应过度,会导致焦炭过早消耗,减少了作为骨架的支撑作用,使炉内透气性变差,

影响煤气上升和炉料下降,进而降低炼铁效率。在抗碱侵蚀方面,耐高温性能强的冶金焦对碱金属的侵蚀有更好的抵抗能力。高炉内的碱金属会对焦炭产生侵蚀作用,破坏焦炭结构^[5]。而耐高温的冶金焦能在高温下保持结构完整,减少因碱侵蚀导致的焦炭强度下降和粉化现象,保证高炉内料柱的稳定性。耐高温性能还影响着冶金焦的热态强度,热态强度高的焦炭能够在高温下承受炉料的压力和摩擦力,不易破碎,维持炉内正常的气固两相流动。如果焦炭热态强度不足,在高温下破碎成粉末,会堵塞炉料间隙,增加煤气上升阻力,导致高炉压差升高,甚至引发炉况波动。

结语:

未来,钢铁行业对绿色、高效生产的追求愈发迫切,冶金焦质量影响高炉炼铁的微观机制研究需进一步深入。精准的质量控制方法探索是关键,通过优化配煤方案、改进生产流程等,提高冶金焦质量稳定性,减少质量波动对高炉炼铁的不利影响。新型炼焦技术和工艺的研发也刻不容缓,以提升冶金焦品质,满足高炉炼铁的更高要求。此外,加强多学科交叉研究,将大数据、人工智能等技术融入其中,实现对高炉炼铁过程的智能监控与精准调控。如此,能及时发现并解决问题,提高生产效率和产品质量,推动钢铁行业朝着高质量、可持续方向稳步发展。

参考文献:

- [1]王凯一.冶金焦质量对高炉炼铁过程的影响机理研究[J].冶金与材料,2026,46(3):169-171.
- [2]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.
- [3]于淼.高炉渣体系研究及其对炼铁过程的影响[J].冶金与材料,2023,43(9):138-140.
- [4]陈伟.高炉炼铁过程铁水质量的运行优化控制探讨[J].中国科技期刊数据库工业A,2022(3):200-203.
- [5]康月,张玉柱,刘超,邢宏伟,孙瑞靖,裴晶晶.矿物组成对高炉渣破碎粒化效果的影响机理[J].钢铁,2023,58(10):172-182.