

# 面向未来的低碳绿色高炉炼铁技术发展方向

胡张旗<sup>1</sup> 王丹华<sup>2</sup> 张海民<sup>3</sup>

1. 河南安钢周口钢铁有限责任公司 河南 周口 466300

2. 河南安钢周口钢铁有限责任公司 河南 周口 466300

3. 安阳钢铁股份有限公司 河南 安阳 455000

**摘要:** 随着人类社会的快速发展和经济的不断增长, 能源和环境问题日益突显, 迫切需要采用低碳、绿色技术来推动经济和社会的可持续发展。作为传统的炼铁技术, 高炉炼铁技术在生产中会产生大量二氧化碳等有害气体, 严重破坏了生态环境。因此, 如何推进高炉炼铁技术的低碳绿色化发展成为当前重要的课题之一。在这样的背景下, 行业需要对高炉炼铁技术进行转型升级, 推动其向低碳、绿色方向发展。

**关键词:** 面向未来的; 低碳绿色高炉炼铁技术; 发展方向

## 1 高炉炼铁技术工艺概述

### 1.1 高炉的基本原理和工艺流程

高炉生产是连续进行的。一代高炉(从开炉到大修停炉为一代)能连续生产○几年到十几年。生产时, 从炉顶(一般炉顶是由料种与料斗组成, 现代化高炉是钟阀炉顶和无料钟炉顶)不断地装入铁矿石、焦炭、熔剂, 从高炉下部的风口吹进热风(1000~1300摄氏度), 喷入油、煤或天然气等燃料。装入高炉中的铁矿石, 主要是铁和氧的化合物。在高温下, 焦炭中和喷吹物中的碳及碳燃烧生成的一氧化碳将铁矿石中的氧夺取出来, 得到铁, 这个过程叫做还原。铁矿石通过还原反应炼出生铁, 铁水从出铁口放出。铁矿石中的脉石、焦炭及喷吹物中的灰分与加入炉内的石灰石等熔剂结合生成炉渣, 从出铁口和出渣口分别排出。煤气从炉顶导出, 经除尘后, 作为工业用煤气。现代化高炉还可以利用炉顶的高压, 用导出的部分煤气发电。

以BF炼铁为例, 工艺流程主要包括以下几个环节:

1) 炉料装料和加热: 采用散布式料斗装料, 由于高炉熔炼过程是一个内热外冷过程, 高温炉料会被在上部排出来的流体冷却, 因此采取逐层加料的方式, 炉料会逐渐从下往上加入炉中, 上层逐渐冷却并向下落移动, 下层逐渐加温并向上堆积。2) 还原过程: 焦炭、还原剂和氧气加热到高温, 发生还原产生一部分CO, CO直接还原矿石的氧化物, 产生Fe和CO<sub>2</sub>, CO与一部分CO<sub>2</sub>再次发生还原反应产生CO和FeO, 炉料中的FeO逐步被转化为Fe, 最后产物为液态铁和渣。3) 熔化过程: 炉内颗粒的理化变化形成了大量的热能, 加以燃气燃烧、合成气反应等释放的热能, 熔剂可以更容易地与残留矾土、生铁、多元杂质相反应, 可促进熔渣的熔化, 而削弱液态

铁和熔渣界面的表面张力, 使熔渣在装卸、浇铸运输等方面变得容易, 炉膛内熔化的铁利用蒸汽锅炉、块煤、外部焦炭等作为还原剂, 在炉口顶部装入炉内进行加热还原, 产生的一些CO会和还原剂继续沿炉料向下游动, 使下游物料继续产生还原反应<sup>[1]</sup>。4) 卸料和铁液出铁: 高炉停炉时煤气没有处置, 石灰堆积, 生铁光滑, 需要将生铁、炉渣和炉膛气体及时排出高炉, 以保证生产过程的连续性。

### 1.2 高炉炼铁的原理及特点

高炉炼铁技术是将矿石加热到高温, 与焦炭一起还原矿石中的氧化物, 产生液态金属铁和熔渣的冶炼技术。高炉炼铁的主要特点是采用先还原后熔化的工艺路线, 在气象及热工方面充分利用了自然条件。高炉的公称容积一般为1000m<sup>3</sup>~5000m<sup>3</sup>, 是现代化冶炼企业生产钢铁的重要设备。

高炉炼铁技术中, 焦炭的质量直接影响冶炼过程中的温度和还原效果。焦炭质量低会导致还原程度低、温度不足, 影响生铁质量。高炉炼铁的关键是使固态矿石中的含铁物质还原转化为液态铁, 并与熔渣分离, 从而制取铁水。在高炉的物理化学反应和传热过程中, 每个环节都有很多复杂的物理过程, 如氧化、还原、蒸发、熔化、浸润等。高炉的机理比较复杂, 涉及到冶金、流体力学、传热学、化学和力学等方面的知识。

### 1.3 高炉反应中的过程及机理

高炉炼铁的核心环节是还原反应和熔化反应, 这两种反应是密切相关的。在高炉内, 含氧铁矿石、焦炭和高温炉气产生了一系列的物理和化学变化, 在这个过程中产生了大量的热量和燃料气, 最终产生生铁和熔渣。

高炉的反应可以分为3个区域: 焦炭预热区、煤气生

成区和还原区。其中，还原区是高炉炼铁技术最核心的环节，是实现炼铁的关键步骤。在还原区，焦炭通过燃烧释放的热量将矿石中的氧化铁还原为金属铁，并与熔渣分离。高炉反应的具体机理包括：1) 焦炭还原机理：焦炭通过加热与气体中的CO、H<sub>2</sub>等还原性气体反应，产生CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>等气体，同时可加速还原反应，并产生CO。CO是还原矿石中的氧化铁转化为铁的主要气体。2) 氧化铁还原机理：氧化铁与CO反应生成Fe和CO<sub>2</sub>，CO<sub>2</sub>继续和C反应生成CO，CO可与FeO再次反应生成Fe和CO<sub>2</sub>。这个过程中，FeO的还原速度会随着CO和CO<sub>2</sub>的混合比例的变化而变化。3) 熔化机理：铁和熔渣的熔化过程主要涉及到热传递和物质传递过程。热传递是指熔体和固体间的导热作用，物质传递则是指合金元素的扩散过程。

## 2 高炉炼铁面临的问题

### 2.1 高炉炼铁产能过剩

高炉产能过剩是当前我国高炉炼铁面临的一个主要问题<sup>[2]</sup>。自2010年以来，我国的钢铁行业经历了一个繁荣期，而过量的炼铁产能也同时同步出现。虽然随着钢铁企业的整合和淘汰，国内钢铁产能得以调整，但仍然存在高炉抵制并购、地方政府保护产业不撤销高炉等诸多因素，制约着高炉产能的缩减。这个问题在一定程度上导致了炼铁成本的提升及整个行业的生产效益不断恶化。

### 2.2 原材料成本问题

炼铁的原材料主要包括铁矿石、煤炭和焦炭，而上述几种材料价格都存在着较大的波动。最近几年来，铁矿石、煤炭和焦炭价格的上涨导致了炼铁成本的不断上升，而炼铁的相对收益却不断降低。这对钢铁企业的盈利水平造成一定的影响。

### 2.3 环保压力

钢铁行业是我国的重要排污行业之一，在生产过程中会产生大量的二氧化硫、氮氧化物等有害物质，严重影响环境质量。国家环境保护政策越来越严格，对钢铁行业的监管和约束力度越来越大，而高炉炼铁在环保方面的要求更为严格，这对于炼铁企业的生产经营带来了极大的压力。炼铁生产过程中的排放问题亟待解决，需要炼铁企业加强环保治理和技术更新。

### 2.4 技术更新和人才储备

目前，我国高炉炼铁技术相对滞后，与世界先进水平相比还存在较大差距。炼铁中液高温区、燃烧过程、氧化反应等关键环节的研究还需加强，以实现产业的可持续发展。另外，人才储备问题也亟待解决，需要加强人才培养和引进，以满足我国高炉炼铁技术创新和产业

转型升级的需求。

## 3 解决措施

### 3.1 高炉炼铁产能过剩措施

1) 通过财政补贴等措施，引导多数钢铁企业减少或者削减高炉产能，降低过剩产能的问题。2) 推进钢铁企业合并重组，提高钢铁生产的集中度，实现钢铁行业产能结构优化<sup>[3]</sup>。3) 完善行业准入制度和优胜劣汰机制，促进优质企业快速发展、低效炼铁企业退出市场。

### 3.2 原材料成本措施

1) 加强煤炭和铁矿石等有关原材料的储备，加大国内矿产资源的勘探和开发以解决原材料不足的问题，并加强煤炭业和钢铁业的合作。2) 鼓励企业进行绿色开采，同时也需要加大技术投入，提高原材料的利用率。3) 拓宽原材料进口渠道，开展多元化原材料融合使用，以减少对煤炭和铁矿石等单一原材料的依赖，降低成本。

### 3.3 环保压力措施

1) 加强对高炉炼铁的环保监管，推广清洁生产技术和绿色炼铁工艺，实现减少二氧化硫排放和尾气排放的目的。2) 投入资金加强环保技术改造，使高炉能过滤、净化及回收有害气体，减少对环境的影响。3) 提高炼铁企业的环境法规意识，引导炼铁企业积极履行环境责任，接受国家环保监管，并加强环境管理。

### 3.4 技术更新和人才储备措施

1) 完善高炉炼铁技术水平，加强煤气净化和焦化精益化等技术研发，提高炼铁效率和环保性能。2) 建立行业技术创新联盟，共享炼铁科技资源，加强技术交流，促进高炉炼铁技术的快速发展。3) 加强人才培养和引进，引导高校和科研机构与高炉炼铁企业合作，建立实践基地和人才培养基地，增强研发人才队伍的实际能力。

## 4 低碳绿色高炉炼铁技术创新

### 4.1 炉顶煤气回收系统的运用

随着全球气候变化问题的日益严峻，各国煤炭行业也在积极探索新的低碳绿色生产方式，其中煤气回收系统技术是煤炭行业低碳绿色化的重要手段之一。在高炉炼铁中，运用炉顶煤气回收技术，不仅可以降低能源消耗、减少CO<sub>2</sub>排放，还可以提高生产效率和增加经济效益。下文将详细介绍炉顶煤气回收系统技术及其在低碳绿色高炉炼铁技术中的应用。

1) 炉顶煤气回收系统技术原理。炉顶煤气回收系统技术是利用高炉炼铁中所产生的煤气，通过煤气回收系统进行处理，进行产热或直接用于其他生产过程中。炉顶煤气回收系统主要由收集、处理和利用三部分组成。

首先,收集部分是把高炉炼铁过程中生成的煤气通过收集器收集起来,然后通过系统管道输送至后续处理站点。接下来,处理部分就是把煤气经过液化、压缩、除尘等处理方式使其变成可用的工业燃料。最后,利用部分就是将处理好的煤气连接到其他工业生产过程中,以此实现资源的再利用。2)炉顶煤气回收系统技术在低碳绿色高炉炼铁中的应用。目前,炉顶煤气回收技术已经在高炉炼铁的生产中得到了广泛应用。低碳绿色高炉炼铁技术在炉顶煤气回收系统技术应用方面主要有以下优势:第一,减少碳排放<sup>[4]</sup>。高炉炼铁中的煤气中含有大量的CO、H<sub>2</sub>等可燃气体,此时,利用炉顶煤气回收系统对煤气进行回收再利用,相当于是将一部分CO和H<sub>2</sub>转化为可用于其他生产过程的能源,从而在一定程度上减少了CO<sub>2</sub>排放。第二,提高生产效率。采用炉顶煤气回收技术可以增加产气量,从而提高高炉的生产效率。同时,回收的煤气可以作为能源资源直接用于其他部门,使得原本的废气转变为资源再利用,从而实现绿色生产。第三,增加经济效益。利用炉顶煤气回收技术可以降低高炉炼铁过程中的能源消耗和生产成本,同时还可以提高高炉的产能和稳定性,从而增加企业的经济效益。第四,改善环境。对于传统高炉炼铁生产过程中会产生大量污染物和废气,采用炉顶煤气回收技术可以有效地减少废气的排放,从而保护环境,实现绿色生产。3)炉顶煤气回收系统技术的发展现状。国内外炉顶煤气回收技术的研究和应用已经取得了显著成效。例如,法国利用煤气回收系统对废气进行处理并用于加热能源,从而实现了废气零排放的效果。日本一些知名企业也在高炉炼铁生产中采用了炉顶煤气回收技术,进一步提高了高炉炼铁的效率 and 经济效益。在国内,山东钢铁集团研制出了具有完全自主知识产权的炉顶煤气回收系统技术,并将其应用于工业生产中。同时,中钢集团等钢铁企业也积极探索和应用炉顶煤气回收系统技术,以实现低能耗、低污染的钢铁生产。

#### 4.2 富氢燃料的使用

低碳绿色高炉炼铁技术是中国钢铁产业推进绿色、可持续发展所迫切需要的创新技术。其中,富氢的使用则是该技术的一项重要创新。传统高炉炉料主要是焦

炭,由于焦炭燃烧后会产生大量二氧化碳等有害气体,因此高炉冶炼不仅污染环境,也会带来限制钢铁产业发展的问題。而使用富氢燃料作为高炉燃料,则可以实现低增碳、低污染的同时,最大限度地提高炼铁效益<sup>[5]</sup>。首先,富氢燃料可以更充分地进行燃烧,释放出更高的热量,并减少高炉内部炉渣的产生。其次,富氢燃料可以实现低增碳、减少污染,同时,它还可以减少氧化物的生成,减少炉渣中的有害物质,减轻高炉系统的负担,提高了炼钢的稳定性。同时,富氢燃料使用的创新技术也在不断发展。传统的富氢燃料主要有液态和气态两种形式,液态富氢燃料包括富氢燃油和富氢液化气,气态富氢燃料包括富氢天然气和富氢合成气等。这些富氢燃料可以根据不同的高炉冶炼工艺和技术要求进行选择和应用。此外,随着科技的不断进步和技术的创新,富氢燃料的使用还有望实现更高效的能量转换,以及更精准的过程控制和调节。这些创新技术可以使富氢燃料在高炉炼铁过程中的应用更加成熟、可靠,发挥出更大的机遇和优势。

#### 结语

随着全球环保意识的加强和能源形势的深刻变化,绿色低碳的高炉炼铁技术将成为今后宝钢集团等企业发展的必然趋势。在技术创新和产业升级的推动下,未来的高炉炼铁行业将更加绿色、低碳、高效、智能化。同时,高炉炼铁技术的发展也将推动中国钢铁产业向着高质量、可持续发展的方向迈进,为经济社会发展注入新的动力。

#### 参考文献

- [1]白景明,薛泉,宋冬梅.高炉炼铁技术现状及发展方向[J].炼铁,2018,39(2):45-48+77.
- [2]王韶跃,王建国,李明娟.高炉绿色炼铁技术现状与发展[J].钢铁,2017,52(10):1-5.
- [3]王涛,蒋大龙,姜志勇.外加剂对高炉炼铁绿色化技术的影响[J].现代冶金,2019(5):192-198.
- [4]张志强,任学理,邢建华.高炉炼铁煤气精制技术[J].现代冶金,2020(4):187-193.
- [5]黄松生,刘大为,许洁.循环水冷却技术在高炉炼铁中的应用[J].现代冶金,2019(4):201-204.