

Approach and Countermeasure for Conservation and Emission Reduction in the Ironmaking Field

Guangqing Yang¹, Jianliang Zhang², Yongxing Chen³, Dewen Kong⁴

School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing, China

1. yangguangqing1983@gmail.com, 2. jl.zhang@metall.ustb.edu.cn, 3. kongdewen1984@126.com

Abstract: Ironmaking is a key point to energy conservation and emission reduction work for iron and steel enterprises. The measures of energy conservation and emission reduction in the ironmaking field are introduced, which include: Speeding up elimination of backward technology and equipment; Attaching importance to the technical measures of blast furnace smelting process, increasing the utilization efficiency of primary energy; Actively researching developing and promoting the new technologies of energy conservation and emission reduction, increasing the utilization efficiency of secondary energy.

Keywords: ironmaking; energy conservation and emission reduction; secondary energy

炼铁系统节能减排的途径与对策

杨广庆¹ 张建良² 陈永星³ 孔德文⁴

北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京, 中国, 100083

1. yangguangqing1983@gmail.com, 2. jl.zhang@metall.ustb.edu.cn

摘要: 炼铁系统是钢铁企业节能减排工作的关键。介绍了炼铁系统的节能减排措施, 主要包括: 加快淘汰落后的技术装备; 重视高炉冶炼技术措施, 提高一次能源的利用率; 积极研发、推广节能减排新技术, 提高二次能源的利用率。

关键词: 炼铁; 节能减排; 二次能源

1 引言

2010年是“十一五”规划的最后一年, 全国节能目标完成情况与“十一五”20%左右的目标还有较大差距, 我国节能减排特别是节能的形势非常严峻。去年我国在哥本哈根会议上承诺到2020年单位GDP碳排放比2005年减少40%~45%。全球进入低碳经济时代, 正在制定的“十二五”规划会更加重视节能减排工作, 有可能征收碳税。这也会对钢铁工业产生深远的影响, 钢铁工业能源消耗占全国能源消耗的15%左右, 节能减排关系到钢铁工业的发展。从钢铁生成流程上来看, 炼铁系统能耗占钢铁联合企业总能耗的70%~80%, 因此炼铁系统是钢铁企业节能减排的关键。

2 进一步淘汰落后技术设备

目前我国拥有5000m³级最大规模的高炉, 但也还存在着300m³的小高炉。小高炉能耗高, 整体说来小

于300m³高炉的工序能耗要高于平均值20kgce/t以上, 多的达到50kgce/t以上, 比国际先进水平高出约200kgce/t^[1]。并且小高炉的配套设施落后, 除尘环保设施不到位, 对环境污染严重。因此认真落实《钢铁产业结构调整规划》, 加速淘汰落后的技术设备, 在2010年底前全部淘汰300m³及其以下高炉, 在2011年底前淘汰400m³及其以下高炉。5月5日, 国务院召开全国节能减排工作电视电话会议, 温家宝总理强调指出, 要“采取铁的手腕淘汰落后产能”, 确保“十一五”节能减排目标的完成。因此必须从全局和战略的高度, 充分认识做好淘汰落后产能工作的重要意义, 进一步统一思想, 提高认识, 增强紧迫感和责任感。

3 重视传统技术措施, 实现低碳炼铁

高炉生产在钢铁联合企业中消耗碳素量最大, 约占总消耗碳量的90%。因此降低高炉工序的碳素耗是节能减排, 实现低碳炼铁的重中之重。高炉炭素的消

耗量是用燃料比来衡量的,即冶炼一吨生铁所需焦炭、喷吹燃料和小块焦的总消耗量^[2]。国际先进水平的炼铁燃料比是在 500kg/t 以下,领先水平是在 450kg/t 左右,2009 年我国重点钢铁企业高炉炼铁的平均燃料比为 519kg/t,正在逐步赶上国际先进水平,但同领先水平还有较大差距,因此采取技术措施,降低燃料比是炼铁系统节能减排的一个重要方向。

3.1 精料

精料技术水平对高炉生产指标的影响率占 70%,高炉操作和设备等因素只占 30%,所以说精料技术是高炉炼铁的基础。高炉炼铁精料技术可以概括为“高、熟、净、匀、小、稳、少、好、低”。“高”是指入炉矿含铁品位高,原料转鼓强度高,烧结矿碱度高;“熟”是指熟料入炉;“净”是指小于 5mm 的粉末少;“均”是指粒度均匀;“小”是指原燃料粒度小,上下限范围窄;“稳”是指原燃料化学成分、物理性能稳定;“少”是指有害杂质少;“好”是指矿石的冶金性能好;“低”是指烧结矿中的氧化亚铁含量低。其中最重要的是入炉矿的含铁品位要高,入炉品位提高 1%,燃料比下降 1.5%,生铁产量增加 2.5%。但目前全球铁矿石品位降低、价格攀升,不能盲目追求高品位,还应在“稳”字上多下功夫。入炉矿含铁品位波动从±1.0%降到±0.5%,炼铁焦比下降 1.0%;碱度波动由±0.1 降到±0.05,炼铁焦比下降 1.3%^[3]。另外随着高炉设备的不断大型化,应该重视矿石的高温强度和焦炭反应性及反应后强度等性能。因此做好精料工作是降低燃料比、实现低碳炼铁的重要基础。

3.2 合理布料

当高炉冶炼的原燃料条件确定后,下部送风制度和上部布料调剂成为调节煤气流分布的主要手段。炉顶布料受原料粒度、质量、高炉容积以及高炉装料设备等因素的影响。合理布料对于降低燃料比,实现高炉节能有重要的意义。合理布料能够使煤气分布均匀,提高煤气利用率;防止风口及高炉内衬的破损,延长高炉寿命;使炉内透气性稳定良好,保证高炉顺行;降低高炉本体热损失。实现高炉的合理布料应采用无钟炉顶布料设备,采用环形布料并使用溜槽倾角的多角位数。小于 1000m³ 高炉一般选用 5~7 个角位,1000~2000m³ 高炉一般选用 8~11 个角位,大于 2000m³ 高炉一般选用 10~12 个角位。装料制度宜采用大批重上料,稳定上部煤气流分布,提高煤气利用率。

3.3 高风温

热风带入的能量占高炉炼铁总能量的 16%~19%。提高热风温度也就是提高了热风带入的物理热,代替了部分由燃料燃烧放出的热量,能够降低燃料消耗,更重要的是热风温度提高后,能够带来炉缸温度升高,生铁质量稳定,间接还原增加,煤气利用改善,喷吹效率提高等多方面的效果。研究表明热风温度每升高 100℃,可降低炼铁燃料比 15~25kg/t,提高风口理论燃烧温度 60~80℃,喷煤量增加 30~40kg/t,生铁产量增加 2~3%。2009 年重点钢铁企业高炉热风温度为 1158℃,最高风温为 1216℃(太钢),而高炉能接受的风温可以达到 1250℃以上甚至 1400℃,因此提高风温的潜力还很大^[4]。应该采用先进的技术措施尽可能的提高热风温度,主要有使用先进的热风炉,改进耐火材料,合理设计热风管,掺烧高热值煤气,预热助燃空气和煤气,缩短送风时间等措施。

3.4 喷吹煤粉

喷吹煤粉能够代替部分焦炭,不仅能够起到增产、节焦的作用,而且可以缓解我国焦煤资源不足的矛盾,其优越性已经成为炼铁工作者的共识^[5]。高炉每喷吹 1t 煤粉可替代 0.8~1.0t 焦炭,可节省约 120kgce/t 工序能耗,并且喷吹煤粉已经成为一种重要的炉况调剂手段,对高炉的稳定顺行有重要的意义。2009 年我国重点钢铁企业喷煤比为 145kg/t,比 2008 年提高 10kg/t,实现全国喷煤总量在 6400 万 t 以上,创出我国历史最好水平。虽然我国的喷煤量在逐年增加,但需要注意的是各企业不能盲目追求喷煤量,提高喷煤量时应考虑自身的冶炼条件,要做到提高喷煤量不降低置换比,使燃料比随喷煤量的增加有所降低。如果脱离冶炼条件而片面地提高喷煤量,结果煤粉没有在高炉中利用,大量未燃煤粉进入除尘系统成为炉尘,反而没有起到增产节焦的作用。

4 提高二次能源利用效率

炼铁系统节能减排在努力提高一次能源使用效率的同时,还应注意提高二次能源的利用效率。目前炼铁系统已经开发出了不少成熟的节能减排技术,因此现阶段的首要任务是推广、普及现有的节能减排技术,充分发挥现有节能减排技术的潜力。

4.1 干法熄焦技术(CQD)

干法熄焦技术是目前国内外广泛应用的一项节能

技术,它能够回收红焦显热、节约水资源、改善操作环境、提高焦炭质量。其原理是利用冷的惰性气体(通常为氮气)在干熄炉中与赤热红焦(950℃~1050℃)换热从而冷却焦炭。吸收了红焦热量的惰性气体温度可以达到 900℃左右,高温的惰性气体将热量传给干熄焦锅炉产生蒸汽,冷却后的惰性气体温度降至 200℃左右,再次被鼓入干熄炉冷却红焦。采用干法熄焦可吸收红焦 80%的显热,吨焦可产生 3.9MPa 的蒸汽 0.45t;焦炭质量提高,热反应性降低 10%~13%, M_{40} 提高 3%~4%, M_{10} 改善 0.3%~0.8%;在焦炭质量不变的条件下,可多配弱粘结性煤 10%~20%;高炉使用干熄焦炭可降低焦比 2%,产量提高 1%。该技术已经在宝钢、首钢等多家企业中成功应用,应该继续大力推广。

4.2 烧结矿余热回收技术

烧结热成品矿的温度约为 700~800℃,吨矿具有显热约为 25kg 标煤,占烧结能耗的 30%~40%左右。回收这部分余热,对节能减排具有重要意义。采用空气冷却烧结矿,产生的高温空气将热量传递给锅炉,产生的高压和中压蒸汽可用于发电,高温空气可以用于热风烧结。通过烧结余热回收技术可使烧结工序能耗降低 10kgce/t 左右。

4.3 高炉炉顶煤气压差发电技术 (TRT)

高炉炉顶煤气余压发电是利用高炉炉顶煤气中的压力能及热能经透平膨胀做功来驱动发电机发电。理论上高炉炉顶煤气压力为 80kPa,TRT 所发的电能与所用的电能平衡,当煤气压力大于 120kPa 时会有明显的经济效益。TRT 的发电能力一般每吨铁可发电 20~40kW·h,采用干法除尘,可提高发电量 30%左右,最高发电量可达 54 kW·h。TRT 可回收高炉鼓风机所需能量的 30%左右,可降低高炉炼铁工序能耗 11~18kgce/t。目前我国高炉基本采用高压操作,因此应当大力推广 TRT 装置,尽管已有 400 多套 TRT 装置投入运行,但普及率仍然不高。

4.4 高炉煤气燃气、蒸汽联合循环发电技术 (CCPP)

高炉煤气燃气、蒸汽联合循环发电是将除尘后的煤气与空气压缩到 1.5~2.2MPa,在压力燃烧室内燃烧,产生高温高压气体推动燃气透平机组做功、发电,燃气透平机排除的烟气温度一般可在 500℃以上,高

温烟气再进入余热锅炉,产生中压蒸汽,推动蒸汽轮机做功、发电。该装置的热效率能提高到 43%~46%,并且 CO₂ 排放比常规火力电厂减少 45%~50%,NO_x 排放低,没有 SO₂、飞灰及灰渣的排放。我国第一套 CCPP 已经运行 10 年,效果良好。在节能减排形势越来越严峻的情况下,应该加快推广、普及高炉煤气燃气、蒸汽联合循环发电技术^[6]。

4.5 热风炉烟道废气余热利用技术

热风炉烟道废气温度一般为 250℃~350℃,烟气体量大,含氧量低,可以用作高炉喷吹煤粉的干燥介质。废气温度适中,不含氧,烘烤煤时,既不会使煤粉燃烧,又节约了能源。热风炉烟道废气还可以用于助燃空气和煤气双预热,但是预热温度不会超过 200℃,并不能有效地提高热风温度。增加额外的燃烧炉,将高炉煤气在燃烧炉中燃烧,产生的高温废气与热风炉烟道废气混合,混合烟气可以将煤气和助燃空气预热至 300℃以上,这样不仅利用了热风炉烟道废气余热,还利用了部分低热值高炉煤气,并且提高了高炉的热风温度。

5 积极研发节能减排新技术

除了要努力推广成熟的节能减排技术外,炼铁工作者还应该积极研发新的节能减排技术,增加节能减排的途径。

5.1 炉顶煤气循环利用技术

高炉炉顶煤气循环利用技术的核心环节是将高炉炉顶煤气合适处理后把其中的还原成分(CO 和 H₂)喷入风口或炉身适当位置,从而重新回到炉内参与铁氧化物的还原,以加强碳和氢元素的利用。该工艺被认为可改善高炉性能、降低能耗以及减少二氧化碳的产生。目前许多国家提出了诸如 FIRG(俄罗斯)、IFE(日本)、OHNO(日本)、FINK(德国)和 LU(加拿大)等多种不同的工艺^[7]。

5.2 焦炉煤气喷吹技术

焦炉煤气是炼焦工业的副产品,主要成分为氢气(55%~60%)和甲烷(23%~27%),还含有少量的一氧化碳(5%~8%)。喷吹焦炉煤气同喷煤比起来具有明显的优点,主要成分是氢气,为高炉提供良好的还原剂,并且还原产物环保;同燃烧发电相比能量利用率明显提高;喷吹工艺简便,技术成熟。因此应加大该项技术的开发应用,是焦炉煤气尽可

能多的用于高炉喷吹^[8]。

5.3 生物质炼铁

生物质是指利用大气、水、土地等通过光合作用而产生的各种有机体。它包括植物、动物和微生物。代表性的生物质有农作物、农作物废弃物、木材、木材废弃物。由于生物质燃料是碳的中性物质，在燃烧时可视为对地球不增加 CO₂ 排放，从二氧化碳减排和资源利用角度出发，开发生物质炼铁工艺有着深远的意义。目前已经在生物质燃料干馏气，生物质球团矿和高炉喷吹生物质等方面展开了研究。

5.4 新型炼铁炉料

日本研究新一代高炉的创新型节能技术，目的是想把能耗降为传统高炉的一半。目前研究的内容主要包括高反应性焦炭、含碳热压球团和预还原烧结矿等技术。高反应性焦炭和含碳热压球团用于高炉中都可降低炉身反应温度，提高炉身反应效率，从而达到节能的目的。预还原烧结矿用于高炉可以使软熔带厚度变薄，压差降低，提高高炉生产效率。目前这些技术都在进一步的研究之中。

5.5 全氧高炉

氧气高炉炼铁工艺是用全氧鼓风操作取代传统的预热空气鼓风操作的高炉炼铁工艺。氧气高炉具有生产率高，高喷煤量，低焦比，煤气还原性强，热值较高等优越性，将使现行的高炉炼铁方法发生重大变革。高炉全氧鼓风操作，用高浓度氧鼓风促进煤粉大量燃烧，在高置换比下可提高喷煤量到 300kg/t 以上，使焦比大大降低，煤粉消耗量超过焦炭用量，因此这一工艺可以看作是氧气和煤粉为主要能源的炼铁新技术。

5.6 氢冶金技术

随着煤炭资源的日益短缺和二氧化碳的大量排放，限制了钢铁工业的可持续发展。氢气作为一种优良的还原剂和清洁的燃料，如果用氢气进行铁氧化物

的还原，就能从根本上解决煤炭短缺和二氧化碳排放的问题。现在问题的关键是如何得到丰富而廉价的氢气^[9]。

6 结语

随着环境问题、能源问题的加剧，国家会越来越重视节能减排工作，钢铁企业若想可持续发展，就必须重视炼铁系统的节能减排工作，为实现“十一五”节能和污染防治目标，建设资源节约型、环境友好型社会做出积极贡献。

References (参考文献)

- [1] Li Shijun, Present Situation, Target and Working Thought of Energy Conservation and Emission Reduction in Iron and Steel Industry[J], *China Steel*, 2007(3), P16
李世俊, 钢铁工业节能减排现状目标和工作思路[J], 中国钢铁业, 2007(3), P16.
- [2] Wang Weixing, Discussion on CO₂ Emission Reduction in The Iron and Steel Enterprises[J], *China Steel*, 2009(6), P24-26.
王维兴, 关于钢铁企业降低 CO₂ 排放的探讨[J], 中国钢铁业, 2009(6), P24-26.
- [3] Wang Weixing, The Connotation of Concentrate Materials in The Blast Furnace Ironmaking[J], *China Metallurgy*, 2001(2), P20-23.
王维兴, 高炉炼铁精料的内涵[J], 中国冶金, 2001(2), P20-23.
- [4] Wang Weixing, Technical Measures of Reducing the Blast Furnace Fuel Ratio[J], *China Steel*, 2008(6), P18-20.
王维兴, 降低高炉炼铁燃料比的技术措施[J], 中国钢铁业, 2008(6), P18-20.
- [5] Yang Tianjun, Zuo Haibin, Scientific Development Strategy of Blast Furnace Ironmaking Technology in China[J], *Iron&Steel*, 2008, 43(1), P1-5.
杨天均, 左海滨, 中国高炉炼铁技术科学发展的途径[J], 钢铁, 2008, 43(1), P1-5.
- [6] Liu Rensheng, 5000 Questions about New Technology of Energy Conservation and Emission Reduction in Iron and Steel[M], China Science and Technology press, 2009, 53-100.
刘仁生等, 钢铁工业节能减排新技术 5000 问(上)[M], 中国科学技术出版社, 2009, 53-100.
- [7] Zhu Jiufa, Reasonable Recycle Utilization Technology of Blast Furnace Top Gas[N], *World Metals*, 2007.7.3(007).
朱久发, 国外高炉炉顶煤气循环利用新技术[N], 世界金属导报, 2007.7.3(007).
- [8] Cao Jinghui, BF Coke Oven Gas Injection Technolog[J], *Ironmaking*, 2009, 28(5), P60~62.
曹京慧, 高炉喷吹焦炉煤气技术[J], 炼铁, 2009, 28(5), P60~62.
- [9] Hu Junge, Zhang Dongli, Qu Yuling, Development of Energy Saving and Emission Reduction Technologies in Ironmaking[J], *World Iron&Steel*, 2009(4), P26-31.
胡俊鸽, 张东丽, 曲余玲, 炼铁领域节能减排技术的发展, 世界钢铁, 2009(4), P26-31.