

低阶煤热解与低品位铁矿直接还原一体化研究

黄杨柳¹, 娄建军¹, 张秋民², 朱德庆³

(1. 合肥乾海洁净煤技术有限公司, 安徽 合肥 230001; 2. 大连理工大学 煤化工研究设计所, 辽宁 大连 116024;

3. 中南大学 资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 为了开发以低阶煤为还原剂的直接还原铁技术, 采用低阶末煤分级热解生产热解煤气、焦油和半焦, 利用热解煤气经升温后作为末煤热解和热半焦再次热解的热载体, 热半焦再次热解得到的富 CH₄、H₂ 和 CO 煤气作为低品位铁矿直接还原的还原剂, 生产海绵铁。研究表明: 低阶末煤热解耦合低品位铁矿直接还原技术与传统的基于天然气的气基直接还原技术相比, 具有生产成本低、原料来源广的特点, 非常符合我国富煤、富低品位铁、少气的资源状况。

关键词: 低阶末煤; 热解; 低品位铁矿; 直接还原

中图分类号: TD849

文献标志码: A

文章编号: 1006-6772(2015)01-0069-04

Effects of low rank coal pyrolysis products on low grade iron ore direct reduction

HUANG Yangliu¹, LOU Jianjun¹, ZHANG Qiumin², ZHU Deqing³

(1. Hefei Qianhai Clean Coal Technology Co., Ltd., Hefei 230001, China; 2. Research Institute of Coal Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 3. School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In order to broaden the utilization methods of low rank coal and reduce the low grade iron ore completely, the low rank slack coal was chosen as pyrolysis project. The pyrolysis products included thermolysis coal gas, tar and char. The thermolysis coal gas was adopted as heat carrier in the second pyrolysis stage of slack coal and char. In this process, the products were rich in CH₄, H₂ and CO, which were used to reduce low grade iron ore into sponge iron. Compared with the traditional direct reduction techniques, the technology cost little and it had wide raw materials supply. The technology fit very well the resource state of China which was rich in coal and low grade iron but short of gas.

Key words: low rank coal; pyrolysis; low grade iron ore; direct reduction

0 引 言

经过近 2 个世纪的发展, 高炉炼铁工艺已达到相当完善的程度, 它与转炉结合在一起, 形成了效率很高, 规模巨大的钢铁生产流程, 成为世界上钢铁生产的主力^[1]。但由于其流程长、能耗高、污染重、需消耗焦炭的特点, 发展空间越来越受到限制, 世界各国开始将目光转向非高炉炼钢技术, 发展以废钢和直接还原铁为原料的电炉短流程炼钢技术。废钢炼钢较传统的高炉-转炉炼钢, 可以减少 86% 的废气排放; 减少 76% 的废水排放; 减少

72% 的废渣排放, 同时不消耗焦炭, 是一种环境友好型和资源节约型的炼钢技术^[2]。由于上述优点, 废钢炼钢技术在欧美发达国家发展非常迅速。但废钢炼钢需要纯净的铁稀释废钢中存在的碳、铜、锰、锌等杂质, 因此直接还原铁在欧美发达国家的市场需求特别大。截至 2013 年, 全球直接还原铁总产量为 7719 万 t, 而我国直接还原铁总产量仅为 32 万 t, 占世界直接还原铁总量的 0.045%^[3]。

目前世界先进的直接还原铁生产技术是气基竖炉直接还原技术, 该技术是以天然气为原料, 经

收稿日期: 2014-12-08; 责任编辑: 孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2015.01.016

作者简介: 黄杨柳 (1983—), 男, 湖南岳阳人, 硕士, 长期从事低阶煤热解提质技术研发工作。E-mail: huangliuhui1@163.com

引用格式: 黄杨柳, 娄建军, 张秋民, 等. 低阶煤热解与低品位铁矿直接还原一体化研究[J]. 洁净煤技术, 2015, 21(1): 69-72.

HUANG Yangliu, LOU Jianjun, ZHANG Qiumin, et al. Effects of low rank coal pyrolysis products on low grade iron ore direct reduction[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(1): 69-72.

变换成富 H_2 和 CO 的气体后,直接与铁矿石在高温条件下发生固态还原反应,生产出海绵铁。据相关报道,截至 2012 年,气基竖炉生产的直接还原铁占到世界直接还原铁总产量的 75%^[4]。由于我国天然气资源匮乏且价格昂贵,发展气基竖炉直接还原技术受到了限制,因此我国的炼钢技术仍然采用高炉至转炉的长流程冶炼技术。这种长流程炼钢技术受成本的制约,只能利用高品位的铁矿资源作为原料,但我国高品位铁矿资源非常贫乏,因此造成我国高品位铁矿严重依赖进口。从相关文献可知,2013 年我国铁矿石进口 8.19 亿 t,铁矿石对外依存度超 70%。另外高炉炼铁需消耗焦炭,因此造成我国焦炭资源消耗严重,2013 年我国焦炭累计产量达到 47636 万 t^[5]。我国是煤炭资源储量大国,其中廉价的低阶煤,包括褐煤、次烟煤等资源量约占煤炭总资源量的 50%。利用热解技术对低阶煤进行热加工,可制得廉价的煤焦油,富含 CH_4 、 H_2 和 CO 的煤气和高固定碳的半焦等产品。其中富含 CH_4 、 H_2 和 CO 的煤气和高固定碳的半焦是很好的冶金还原剂。由于还原剂价格低廉,在直接还原过程中,可以过量的供应直接还原反应,因此直接还原反应可以利用低品位铁矿石为原料。而我国恰好低品位铁矿资源丰富,且在富煤地区周边大量存在,因此开发全煤气循环低阶末煤热解与低品位铁矿粉直接还原一体化技术,不仅可以实现我国大量存在的低品位铁矿资源的开发,而且可以节约紧缺的炼焦煤资源。此外还可以减少传统长流程炼钢工艺产生的三废(废气、废水、固体废弃物)排放,从而改善我国的环境质量。因此,发展低阶煤热解与低品位铁矿直接还原一体化技术在我国具有非常重要的意义。

1 全煤气循环低阶末煤热解与低品位铁矿直接还原工艺

随着采煤机械化程度的提高,采煤过程中的末煤比例也逐渐提高。由于现有的煤炭深加工技术还不能完全有效地利用末煤,造成大量的末煤资源被浪费。全煤气循环低阶末煤热解与低品位铁矿直接还原一体化技术就是以低阶末煤为原料,采用末煤自身热解产生的煤气作为热载体,利用沸腾流化床技术对末煤进行快速热解,产生高热值煤气、煤焦油和高固定碳高热值半焦粉。然

后利用高热值煤气和高固定碳的半焦粉作为还原剂,还原低品位铁矿石,产生海绵体。其工艺流程如图 1 所示。

原煤利用预热分级系统,将原煤分成 ≤ 3 mm 的末煤和 3~15 mm 的粒煤,同时利用煤气加热炉的高温烟道气对原煤进行预热干燥。末煤进入末煤热解炉,利用来自煤气加热炉的 650~750 °C 煤气对末煤快速流化加热,闪速热解,热解形成的 600~650 °C 热解焦油气经初步除尘后进入粒煤直立炉,利用高温热解焦油气的余热对粒煤进行加热、热解,同时粒煤在直立炉内形成的移动滤料层对热解焦油气进行过滤,将焦油气中 $\geq 30 \mu m$ 的粉尘捕集下来,经粒煤滤料层过滤后约 300 °C 的焦油气被进一步精细除尘后送去焦油回收系统回收焦油。热解产生的半焦粉送入冶金还原炉内作为还原剂使用。

经精细除尘后的热解焦油气利用自身产生的 80 °C 左右的焦油进行激冷降温,回收大部分焦油,然后再利用间冷器将热解焦油气降温至 20~30 °C 回收剩余焦油,最后用电捕焦油器将热解焦油气里的焦油雾滴回收除尽。除尽焦油后的低温洁净煤气分成 2 部分:一部分经与冶金铁矿石加热炉出口的高温废气换热后利用加热炉升温至 900 °C 左右后分成 2 股,一股作为热解的热载体送入沸腾热解炉,另一股作为冶金还原气送入还原炉;另外一部分低温洁净煤气作为热解热载体煤气的调温用气。

进入冶金还原炉的高温煤气将进入还原炉的热半焦进一步加热至 900 °C 左右,使热半焦再一次进行热解,产生大量的富氢气体,富氢气体与进入还原炉的高温煤气一起与还原炉内的高温铁矿进行还原反应,产生海绵铁。出冶金还原炉的冶金乏气作为铁矿的加热热源,在铁矿加热炉将铁矿加热至 1100~1200 °C,高温铁矿进入还原炉,高温废气经换热后与煤气加热炉出口的高温废气混合作为原煤预热干燥的热源。出原煤预热干燥系统后的废气一部分作为返混气调节干燥烟气的温度,一部分经除尘脱硫后排空。

2 全煤气循环低阶末煤热解与低品位铁矿直接还原工艺技术特点

2.1 原煤分级热解

本工艺以粒级 ≤ 15 mm 的原煤为原料,采用

或瓷环分离来实现滤料颗粒与煤粉的最终分离,同时保持石英砂的温度。全煤气循环低阶煤热解工艺采用类似的移动颗粒床除尘技术,只是将石英砂或瓷环替换成与煤粉性质相同的颗粒煤,这样就简化了滤料颗粒与煤粉分离的过程。

2.3 热半焦热解生产富氢还原气

煤的热解过程可分为3个阶段:①干燥脱析阶段,温度为室温~300℃,此阶段主要发生脱水脱气,析出少量的 CH_4 、 CO_2 、 N_2 ;②黏结形成半焦阶段,温度为300~550℃,此阶段主要发生分解反应,析出富含 CH_4 、 C_mH_n 、 H_2 、 CO 、 CO_2 的一次气体和液体焦油,生成半焦;③成焦阶段,温度为550~950℃,此阶段主要发生缩聚反应,析出大量的气体,主要是 H_2 ,生成焦炭^[9]。赵丽红等^[10]利用固定床热解装置对3种不同煤种在热解过程中的气态产物分布进行了研究,结果显示:气态烃最大逸出量集中在400~600℃, H_2 的最大逸出量集中在700℃左右, CO 的最大逸出量也集中在700℃左右。利用低阶煤分步热解产生富含 CH_4 、 H_2 和 CO 的煤气,其组分与焦炉煤气的组分相似,但与焦炉煤气不同的是其粗苯、萘等芳烃含量低。粗苯、萘等烃类产物主要是一次热解产物经过高温区后发生二次热解后产生的,利用煤的分步热解可以很大程度上避免二次热解的发生。粗苯、萘等芳烃在高温条件下容易积碳,在气基直接还原过程中是要避免这一过程发生的^[11]。典型焦炉煤气 H_2 、 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 N_2 、 H_2O 、 C_2H_6 体积分数分别为54.5%、6%、2.3%、26.2%、6.5%、2.0%、2.5%。

目前世界上先进的气基直接还原技术是以天然气为原料,需要将天然气变换成 H_2 和 CO 。而煤热解产生的煤气本已富含 H_2 和 CO ,因此其需变换的负荷比纯天然气要轻。理论上讲利用低阶煤分步热解产生富含 CH_4 、 H_2 和 CO 的煤气,比天然气和焦炉煤气更适合作为直接还原的还原剂。

2.4 过量热解煤气还原低品位铁矿

全煤气循环低阶煤热解工艺是采用低阶末煤作为原料,原料成本低廉,热解产生的煤气成本也低廉,因此在直接还原过程中可以过量的供应,大幅度使用低品位铁矿。传统气基直接还原技术因受天然气价格的制约不能过量供应直接还原反应,因此只能使用高品位的铁矿。即达到同样的全铁和金属化率,同样的生产成本,利用过量的热解煤气还原,可以使用低品位铁矿,而利用天然气作为还原剂,则只

能采用更高品位的铁矿。在我国新疆和陕西低阶煤富集的地区,低品位铁矿资源也丰富,因此开发低阶煤热解与低品位铁矿直接还原技术非常切合我国的资源分布情况。2014年6月,新疆地区和神木地区末煤价格分别为80、300元/t,块煤价格分别为160、480元/t。

3 结 语

对低阶末煤进行分级热解,可以实现不同粒径的原料煤均质化热解,使得焦油收率达到最佳值。利用移动颗粒床除尘技术对中高温度热解煤气除尘,具有除尘效率高,能够长周期稳定运行。利用热半焦的二次热解产生大量的富 H_2 气体作为直接还原的还原剂,相较于天然气和焦炉煤气,具有非常明显的成本优势,且比焦炉煤气更清洁。利用全煤气循环低阶末煤热解与低品位铁矿直接还原一体化技术,可以大规模高效开发我国丰富的低阶煤和低品位铁矿资源,是非常切合我国资源分布状况的气基直接还原技术。

参考文献:

- [1] 杨双平,王 苗,折 媛,等.直接还原与熔融还原冶金技术[M].北京:冶金工业出版社,2013:1-11
- [2] 刘树州.发挥行业协会作用推动废钢产业和直接还原铁产业快速发展[C]//2013年中国直接还原铁研讨会论文集.泰安:中国废钢应用协会,2013:12-18.
- [3] 王维兴.关注非高炉炼铁技术进展[C]//2014年中国金属学会非高炉炼铁学术年会论文集.苏州:中国金属学会炼铁分会,2014:7-9.
- [4] 沈峰满,魏 国,高强健,等.直接还原技术现状及其在中国的发展展望[C]//2014年非高炉炼铁学术年会论文集.苏州:中国金属学会炼铁分会,2014:1-6.
- [5] 周渝生.中国应发展煤制天然气竖炉直接还原绿色炼铁工艺[C]//直接还原生产工艺、产品应用及市场推介2014交流会.天津:中国废钢应用协会,2014:8-16.
- [6] 朱廷钰,王 洋.粒径对煤温和气化特性的影响[J].煤炭转化,1999,22(3):39-43.
- [7] 周 静,何晶晶,于遵宏.用热失重仪研究煤快速热解[J].煤炭转化,2004,27(2):30-36.
- [8] 梁 鹏,王志锋,董众兵,等.炉前煤低温干馏工艺中的挥发分除尘[J].燃料化学学报,2006,34(1):25-29.
- [9] 尚建选,马宝岐,张秋民,等.低阶煤分质转化多联产技术[M].北京:煤炭工业出版社,2013:24-25
- [10] 赵丽红,郭慧卿,马青兰.煤热解过程中气态产物分布的研究[J].煤炭转化,2007,30(1):5-8.
- [11] 唐文武.焦炉煤气重整转化实验及动力学模型的研究[D].长沙:中南大学,2007.