

非碳冶金高温熔炼的研究

侯明山¹ 范新有² 刘超¹ 董洪波¹ 李士琦¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2 新兴铸管股份有限公司, 武安 056300)

摘要 通过与碳冶金的对比分析, 提出将太阳能、风能的利用与冶金技术结合的非碳冶金的概念, 阐述了风光互补非碳冶金的理念。非碳冶金技术包括 4 项单元技术-光电转换、蓄电、配控电和冶金反应器, 通过技术集成创新的 1 kg 非碳冶金实验炉系统进行了非碳冶金试验, 并通过初步的系统能量分析, 验证了系统参数。实验结果表明, 直接使用风光互补技术可以获得 1 600 °C 以上的熔炼高温, 可进行各种金属的冶炼。

关键词 非碳冶金 风光互补 高温熔炼

A Study on Non-Carbon Steelmaking at High Temperature

Hou Mingshan¹, Fan Xinyou², Liu Chao¹, Dong Hongbo¹ and Li Shiqi¹

(1 Metallurgical and Ecological Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Xinxing Ductile Iron Pipe Co Ltd, Wu'an 056300)

Abstract As compared with carbon metallurgy, a concept of non-carbon metallurgy to combine solar energy, wind power and metallurgy technology is advanced to expound the idea of non-carbon metallurgy with photo-wind complement each other. Non-carbon metallurgy technology includes 4 unit technologies- photo-electricity transformation, storage cell, electric power distribution and control unit and metallurgical reactor. Test of non-carbon metallurgy is carried out by a 1 kg non-carbon metallurgy test furnace system designed with technology integration and bring forth original ideas, and system parameters are verified by preliminary energy analysis on the system. Test results show that melting temperature more than 1 600 °C is gotten by directly using the technology of photo-wind complement each other to melt various metals.

Material Index Non-Carbon Metallurgy, Photo-Wind Complement Each Other, Steelmaking at High Temperature

1 碳冶金与非碳冶金

1.1 碳冶金

钢铁生产是关于铁元素的分离、提取、合金化以及加工成型的过程工业, 在人类技术史中, 炼钢自古以来是“涉碳”过程。铁元素化学性质较为活泼, 在自然界中通常以化合态存在, 主要以氧化物形态存在, 故提取铁, 就必须设法“夺走”与其结合的氧, 碳是炼铁过程中使铁摆脱化合态的物质-还原剂, 它来自木炭、煤及焦炭等燃料。

现行的碳冶金制钢, 使用两种铁源, 一是自然界存在的铁矿石, 二是社会生产积累的废钢。对应这两种不同类型的铁源, 主要有两类炼钢生产流程。(1) 关于铁元素分离、提取的工艺, 其原料为铁矿石的矿石/高炉炼铁/转炉炼钢流程; (2) 关于铁元素的回收再利用流程的废钢/电弧炉炼钢流程。现今钢铁生产是高碳排, 高能耗的产业, 钢铁工业在世界温室气体排放量中占 3.15% 的份额, 在工业温室气体排放量中占 15% 的份额^[1]。

1.2 非碳冶金概念和内涵

低碳经济是以低能耗、低排放、低污染、高效益为特征的新的发展模式, 其核心包括: 低碳产品、低

碳技术、低碳能源或无碳能源的开发和利用。低碳经济已逐渐成为世界经济的发展潮流, 世界经济历经工业化、信息化之后, 正在向清洁化发展。

基于清洁生产理念和实验的技术研究, 本课题组提出非碳冶金的概念: 在冶金过程中不使用含碳物质为燃料, 也不使用含碳介质为还原剂, 但不排除其他少量的碳素的消耗, 如合金化、电极、耐材等, 因而不是完全的“无碳”过程, 而是“非碳冶金”过程^[2]。

非碳冶金的提出基于对以下事实的认识:

(1) 太阳光辐射能是当前地球上除核能外最丰富的能源。年到达地球表面的太阳光辐射能总量折合标准煤共约 1.892×10^{13} 亿吨, 是目前世界主要化石能源已探明储量的一万倍。

(2) 光伏发电技术和风力发电技术是清洁的能源技术。

(3) 传统的钢铁生产技术是“碳冶金”技术。当前炼钢生产无论是还原剂, 还是燃料, 主要是来自于自然界的碳素资源。现今钢铁工业和人类社会使用的化石能源都是若干年前古生物固化的太阳辐射能, 其使用过程是快速的“释碳”过程。非碳冶金过

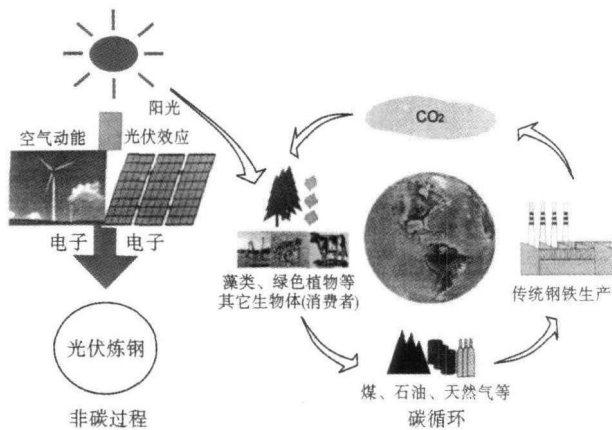


图1 非碳冶金过程及碳循环

Fig.1 Non-carbon metallurgy process and carbon cycle

程及碳循环如图1。

(4)非碳冶金概念强调制钢过程所需的全部能量都来自于太阳能光电转换技术,是一个独立的能量体系,不与现有电网相搭接,因而是一个不涉碳过程,与部分使用清洁能源有着本质区别^[3],如图2。

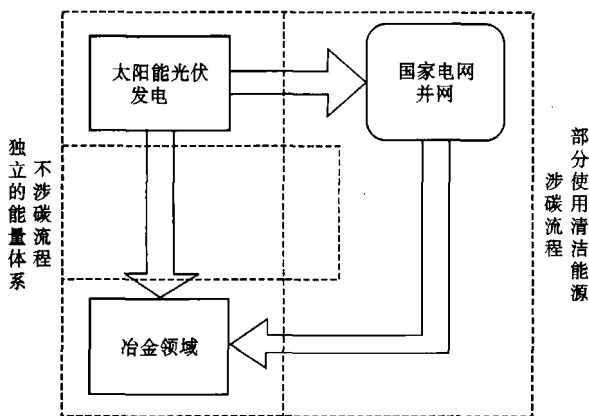


图2 独立能量体系与并网发电的示意图

Fig.2 Sketch of independent energy system and PV grid-connected system

2 非碳冶金实验装置

本实验研究目的是建立一个独立的能量体系,完全使用清洁能源来炼钢,探讨非碳冶金生产的可能性和基本的技术构成。非碳冶金实验系统由以下4个单元构成:光电转换、蓄电、控电配电和冶金反应器。

(1)光电转换单元。本实验光电转换单元采用太阳能光伏电池板矩阵和风力发电机组成风光互补的光电转换方式。太阳能电池组件由12块型号为DH100的太阳能光伏电池板组成,电池板参数见表1。采用两串六并的连接方式,组成的矩阵输出峰值电压为42 V,峰值功率为1 200 W。另有1台型

表1 DH-100 光伏电池的主要参数

Table 1 Main parameters of DH-100 photovoltaic battery

标称功率 (Wp)/W	最佳工作压 (Ump)/V	最佳工作流 (Imp)/A	短路电流 (Isc)/A	开路电压 (Uoc)/V
100	17	5.89	6.42	21.5

表2 SN-1000WL 风力发电机的技术参数

Table 2 Technology parameters of SN-1000WL wind power generator

起动风速/ (m·s ⁻¹)	额定风速/ (m·s ⁻¹)	额定电压/ V	最大功率/ W	风叶直径/ m	风叶数量/ pcs
2	12	24	1 200	1.8	5

号为SN-1000WL的风力发电机,额定电压24 V,额定功率1 000 W,参数见表2。

(2)蓄电单元。风光发电系统具有瞬时性,电压和供电功率不仅季节不同,且瞬间也会有变化,为保证炼钢过程的稳定、持续运行,必须采用稳定措施和蓄电装置,本实验中使用常规的铅酸蓄电池做蓄电单元,即使用化学蓄电方式。每块蓄电池额定电压为2 V,额定容量为1 000 Ah。电池组由12块采用串联连接方式的蓄电池构成,输出电压24 V。

(3)配控电单元。供电单元主要是对蓄电池组充放电进行控制,防止其过充、过放或反充,并对输入负载的电流进行控制,包括控制器、避雷器、继电器、控制开关、电仪表等装置^[4]。

(4)冶金反应器。本实验的主工作单元是冶金反应器,是将电能转化为炼钢所需热能的装置,本实验使用实验室自行设计并制造的1台1 kg容量的有衬电渣炉,渣池温度在1 600 ℃以上,自耗钢电极被加热熔化,形成金属熔池,完成炼钢过程。显然反应器也可根据实验要求采取其他方案,如感应炉、电弧炉、电解槽等,或者冶炼其他金属如Al、Ti等^[5]。系统结构图如图3。

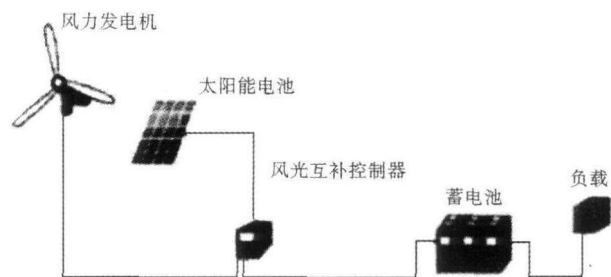


图3 非碳冶金实验系统示意

Fig.3 Sketch of non-carbon metallurgy test system

3 实验过程

3.1 充电

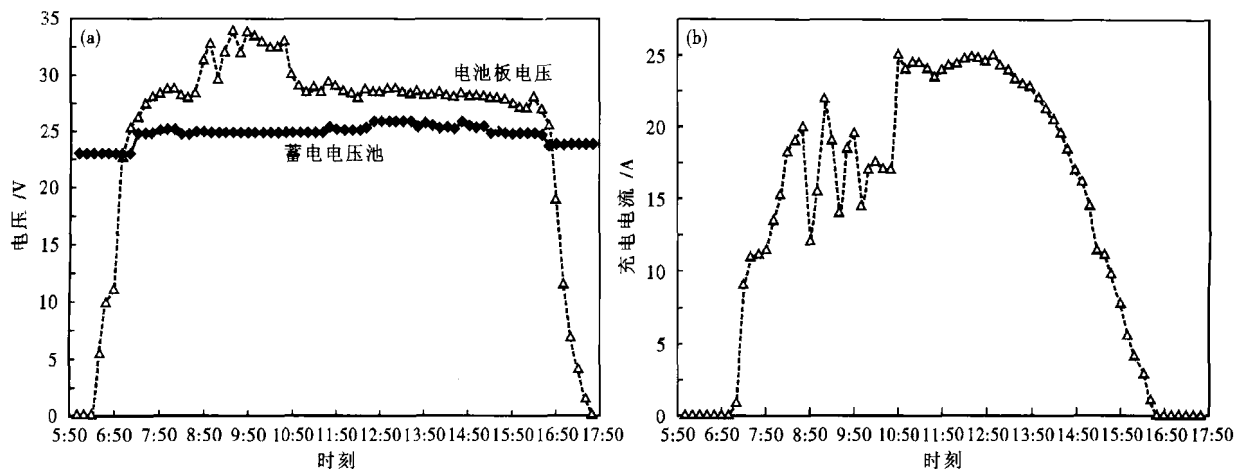


图 4 蓄电池充电时电压(a)和电流(b)变化曲线

Fig. 4 Curves of voltage (a) and current (b) in charging of battery

本实验中蓄电池典型的充电曲线如图 4 所示(天津,2010年10月30日;晴,29~18℃,室温24℃)。

控制器充电方式为强充-均衡充-浮充3阶段式,各阶段转换通过脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation 简称 PWM)调节实现^[6]。

(1)恒流阶段:先采用恒定电流对蓄电池充电,随着充电不断进行蓄电池电压逐渐升高。

(2)恒压均充阶段:当充电电压达到均充电压时,转为恒压均充充电,这时蓄电池的充电电流会逐渐减小。

(3)浮充阶段:当蓄电池容量接近充满时,充电电流逐渐减小,转换为浮充状态。控制器可自动启动充电程序对蓄电池进行补充充电。

3.2 熔炼实验

非碳冶金实验冶炼过程为:

石墨电极起弧 → [石墨电极造渣 / 加渣料] → 更换自耗

电极 → 稳定熔炼过程 → 出钢 → 浇铸 → 获得钢样^[2]。

(1)石墨电极电弧化渣过程。化渣过程使用石墨电极,通过电弧的热量熔化废钢和渣料,随着渣料熔化形成渣池,电极埋入渣层,进入电渣熔炼的过程,此时更换自耗电电极,进入稳定的电渣过程。

(2)稳定的电渣过程。随着电极给送速度的增加,电流增大,电极埋入渣层深度也逐渐增加,熔炼过程看不到电弧,渣面上冒着轻微白烟,熔渣按一定方向旋转且没有飞溅,过程平稳^[7]。

3.3 工艺参数和实验结果

根据多次冶炼实验,电渣炉稳定运行的工艺参数及其他参数如表3所示。

本实验冶炼中持续最长时间为103 min,得到钢

表 3 非碳冶金实验电渣炉参数

Table 3 Parameters of electroslag remelting furnace for non-carbon metallurgy test

渣池参数		电参数		几何参数		
渣系组成	渣量/%	电压/V	电流/A	电极尺寸/(mm×mm)	炉膛尺寸/(mm×mm)	深径比
CaO: Al ₂ O ₃ : CaF ₂ = 42%: 28%: 30%	35	22	110	Φ16×400	Φ48×65	1.35

锭 935 g。

4 讨论

4.1 能量

太阳能非碳冶金实验能量状况如下:

(1)实验地处中纬度(东经 117°10', 北纬 39°10'), 太阳辐射年总量平均为 4 935 MJ/m², 日辐射量为 13.5 MJ/m²^[8]。

(2)实验用太阳能电池板每天发电量 4.5 kWh。

(3)蓄电池额定容量为 1 000 Ah, 额定电压为

24 V, 蓄电池存储电量 24 kWh。

(4)蓄电池一次连续供给负载的能量为 4.488 kWh, 放电深度为 20%。

(5)935 g 废钢的熔化热函为 0.36 kWh。能量状况如图 5 所示。

由于炉容非常小, 能量利用效率不足 10%。太阳能电池板每充电一日可保证熔化 1 kg 左右的废钢^[9]。

4.2 碳排放

4.2.1 碳冶金 CO₂ 排放

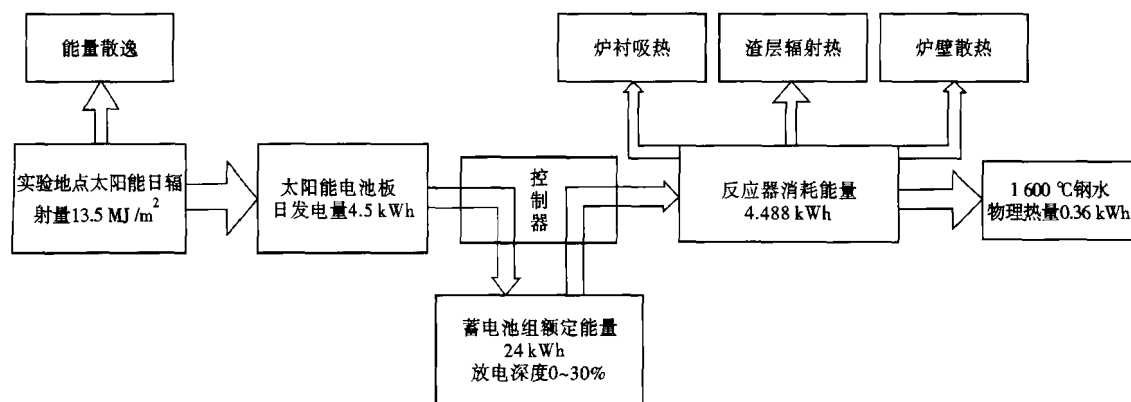


图5 太阳能非碳冶金实验能量分布

Fig. 5 Energy distribution of non-carbon metallurgy test by solar photovoltaic technology

碳是钢铁工业中的还原介质和能源载体,CO₂的排放主要是氧化物的还原和提供热能两个方面:前者主要是化学消耗,后者主要是物理热的转化,而所消耗的碳元素,最终大部分以CO₂的形式排放。

目前我国主要有两类炼钢生产流程:长流程炼钢(占90%)和短流程炼钢(占10%),其中长流程全工序CO₂排放为2 150 kg/t,短流程全工序CO₂排放为586 kg/t,则钢铁生产过程的CO₂排放量约为1 994 kg/t,其中包括电力生产引起的CO₂排放^[10]。

4.2.2 非碳冶金CO₂排放

许多人认为使用太阳能光伏发电的清洁能源必须考虑单晶硅的生产过程的碳排放。

制备1 kW单晶硅太阳能电池组件需要的总能量为5 600 kWh当量的电能^[11],火力生产1 kWh电能二氧化碳排放强度为1.070 kg^[12]。而电池板组件寿命为20年,每天日照4.7 h,在其寿命内发电时间为20 × 365 × 4.7 = 34 310 h,在其寿命内发电量

为34 310 kWh,可以计算太阳能每发1 kWh电能需耗电0.163 kWh,排放二氧化碳为0.175 kg。

若电弧炉流程钢厂每生产1 t合格钢材综合能耗为280 kgce,折合电能2 287 kWh。相应,若全部使用太阳能光伏发电供电,则CO₂排放为400 kg,约为目前钢铁生产CO₂排放的1/5,我国钢产量按6亿吨算,那么每年可以减少CO₂排放在10亿吨左右。

5 结论

(1)直接使用风光互补发电技术可以获得1 600 °C以上的熔炼高温,可用于各种金属的冶炼。

(2)风光互补非碳冶金技术构成应为:光电转换、控电配电、蓄电和冶金反应器4个单元。各单元技术可以有多种选择,本实验仅为具体条件下的各类具体实施方案。

(3)整个独立的非碳冶金系统各单元之间应满足能量和电压之间的协调匹配。

参考文献

- 张寿荣. 钢铁工业的发展趋势与我国钢铁工业21世纪应对挑战的策略. 宏观经济研究, 2007, 25(2): 10
- 吴华峰, 李士琦, 元海伦, 等. 太阳能光伏非碳高温冶炼实验及能量研究. 特殊钢, 2010, 31(3): 16
- 李士琦, 宋建新, 朱荣. 清洁能源炼钢前景的分析及探索. 钢铁研究学报, 2008, 20(7): 8
- 赵玉文. 21世纪我国太阳能利用发展趋势. 中国电力, 2000, 33(9): 73
- 宋建新. 新疆巴州太阳能资源及其冶金应用探索研究: [学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2007
- Reddy B, Reddy D N. Probabilistic Performance Assessment of a Roof Top Wind, Solar Photo Voltaic Hybrid Energy System. Annual Reliability and Maintainability Symposium 2004 Proceedings, 2004: 654
- 姜兴渭. 电渣炼钢-有衬电渣炉及其熔炼. 北京: 国防工业出版社, 1978
- 杨树明, 史胜达. 独立光伏电源系统设计方法. 电源应用技术, 2001, 11(11): 561
- 李士琦, 胡卫, 吴华峰. 太阳能光伏炼钢探索性实验及思考. 中国冶金, 2008, 18(1): 5
- 上官方钦, 张春霞. 中国钢铁业CO₂排放估算. 中国冶金, 2010, 20(5): 37
- 郑天航. 光伏产业的能耗、投资经济性及其社会效益分析. 上海电力, 2006, 11(4): 348
- 袁宝荣, 聂祚仁, 狄向华, 等. 中国化石能源生产生命周期清单(II)——生产周期清单的编制结果. 现代化工, 2006, 26(4): 59

侯明山(1984-),男,2008年太原理工大学毕业,北京科技大学在读博士生,非碳冶金研究。

收稿日期:2011-04-12