

·综述·

废钢-电弧炉炼钢流程和循环经济

李士琦¹ 张汉东^{1,2} 陈 煜¹ 郝经伟¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2 新疆巴州人民政府, 库尔勒 841000)

摘 要 分析了世界和中国电炉钢的发展以及废钢-电弧炉炼钢流程的资源 and 能源特征, 得出该流程是有利于循环经济和环境保护的生产流程。2003 年世界电炉钢比达 33.1%, 我国电炉钢比仅为 17.6%, 根据我国的资源和能源条件, 随着能源结构的改善和废钢积累量的增加, 我国废钢-电弧炉炼钢流程有较大的长远发展空间。

关键词 电弧炉炼钢 废钢 循环经济

Scrap Steel-Electric Arc Furnace Steelmaking Flow Sheet and Recycle Economy

Li Shiqi¹, Zhang Handong^{1,2}, Chen Yu¹ and Hao Jingwei¹

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 The People's Government of Xinjiang Bazhou, Kuerle 841000)

Abstract The development of arc furnace steel in China and world as well as the resource and energy characteristics for scrap steel-electric arc furnace steelmaking flow sheet are analyzed, it is obtained that this flow sheet is beneficial to recycle economy and environmental protection. The ratio of arc furnace steel output to total output of steel produced in world was 33.1%, while the ratio of that in China was only 17.6%, according to domestic natural resource and energy resources conditions, with improving energy structure and increasing scrap steel accumulated amount, the scrap steel-electric arc furnace steelmaking flow sheet has larger long-term developing space.

Material Index Electric Arc Furnace Steelmaking, Scrap Steel, Recycle Economy

1 电弧炉炼钢生产技术进展概况

早期电弧炉炼钢主要用于特殊钢生产, 直至 1950 年, 电炉钢占总钢产量的比例为 6.95%, 习惯上认为电炉钢厂即为特殊钢厂。1950 年以后, 电弧炉炼钢所占份额迅速上升, 主要原因有: (1) 平炉炼钢为氧气转炉炼钢所代替, 积累的废钢转由电弧炉炼钢流程来消化。(2) 超高功率电弧炉炼钢技术成功应用, 使电弧炉炼钢的效率显著提高, 生产成本大幅度降低。(3) 连铸、连轧技术的成功应用, 废钢-电弧炉炼钢-连轧型的“小钢厂”迅速发展, 占领长型材生产份额。

世界电弧炉钢产量及其所占总钢产量的份额逐年变化情况如图 1(a) 所示。到 2000 年以后, 电炉钢所占份额已超过 33%。1950 年~2000 年电炉钢的产量年递增 6.4%^[1-4]。

我国 1996 年钢产量超过 1 亿吨, 居世界第 1 位, 与此同时, 电炉钢产量也同步快速增长, 1990 年以来的情况如图 1(b) 所示。我国近年来电炉

钢所占份额为 15%~17%, 电炉钢产量实际增长很快, 2004 年电炉钢产量约为 1990 年的 3.3 倍, 达到 4 600 万 t。而 2004 年居世界钢产量第 5、第 6 和第 7 位的韩国、德国和乌克兰其全年钢总产量分别为 4 752 万 t、4 641 万 t 和 3 874 万 t。

2 废钢-电弧炉炼钢流程的资源特征

矿石-高炉炼铁-氧气转炉炼钢流程(OBBOFS, Ore-Blast-BOF-Steelmaking)和废钢-电弧炉炼钢流程(SEAFS, Scrap-EAF-Steelmaking)就其资源特征与其在自然界和人类社会中的状况, 可概括示意于图 2。可以看出, 第一类 OBBOFS 流程所依赖的资源是来自自然界的不可再生资源, 其技术特征是铁元素的“提取”, 是提供新鲜“血液”的“动脉”流程。然而从可持续发展的角度来分析, 它本质上是依靠“损害”自然界来获取钢铁材料的一种流程; 第二类 SEAFS 流程所依赖的资源是社会使用后的废弃物, 其技术特征是废弃物中铁元素的回收再利用, 是净化原有“血液”的“静脉”流程, 从可

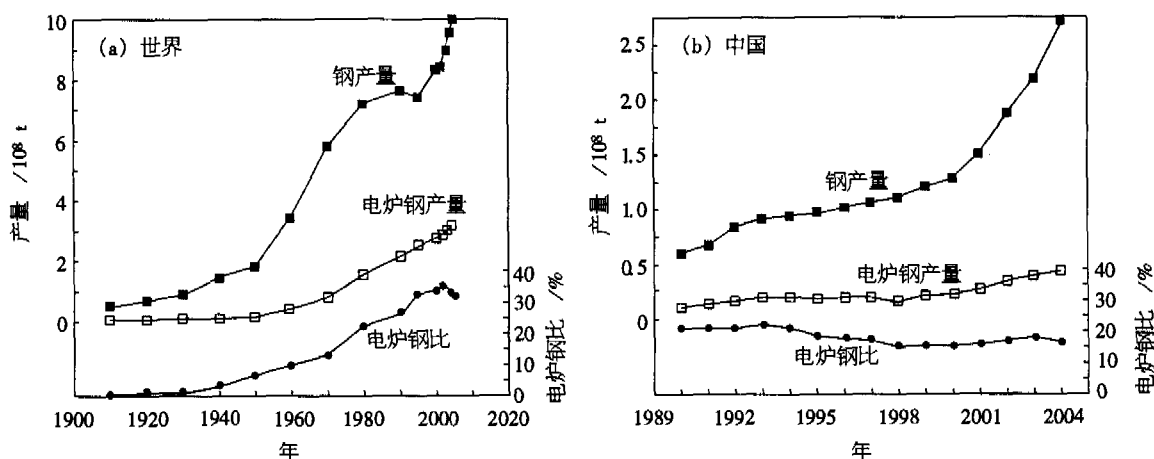


图 1 世界(a)和中国(b)电炉钢产量和电炉钢比的增长

Fig. 1 Development of arc furnace steel output and ratio to total steel output in World (a) and in China (b)

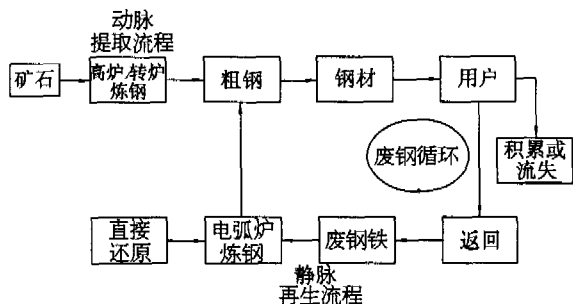


图 2 高炉-转炉和废钢-电弧炉炼钢流程在社会分工和钢铁循环中的地位与功能

Fig. 2 Status and function of blast furnace-converter flow sheet and scrap-electric arc furnace flow sheet in social division of labour and steel recycle

持续发展的角度来分析,它本质上是依靠废弃物资源化的 3R 循环经济流程^[5]。

表 1 列举了全世界及主要产钢国家钢的表观积累量,可以看出,自 1871 年~1900 年世界钢的表观积累量仅为 2.94×10^8 t;至 1950 年为 48.16×10^8 t,到 2000 年达到了 338.07×10^8 t,到 2004 年又增加了 39×10^8 t。

按 2004 年世界年产钢量 10.5×10^8 t 计算,到 2014 年,全世界钢的总积累量还将增加 105×10^8 t,将达到 500×10^8 t。在 1950 年以前,废钢的循环再利用主要是靠平炉炼钢过程,近 50 年来主要是

表 1 主要产钢国家和世界钢的表观积累量/ 10^8 t

Table 1 Apparent accumulation of steel in main producing country and world / 10^8 t

年份	全世界	美国	日本	前苏联	英国	中国
1871~1900	2.94	0.97	-	0.14	0.73	-
1871~1950	48.16	22.02	1.10	3.97	5.21	0.09
1871~1980	190.20	54.28	18.02	31.98	11.82	4.42
1871~1990	262.48	62.63	28.32	47.54	13.45	9.41
1871~2000	338.07	75.77	38.36	55.77	15.14	19.51
1871~2004	377.07	75.77	42.57	58.53	16.21	27.80

靠电弧炉炼钢过程。

3 废钢-电弧炉炼钢流程的能源特征

铁-碳化学反应简单的化学计量平衡计算如表 2。由表可见,仅还原铁的氧化物一项,每吨金属铁将消耗碳元素 218~327 kg,产生 CO_2 气体 793~1 189kg^[6]。

SEAFS 和 SBBOFS 流程物耗、排放和能耗的工程数据很多,典型的见图 3(a)(买煤、买电方案,不计入厂外电厂气体排放)和图 3(b)。不难看出,仅就能耗和 CO_2 排放而言,废钢-电弧炉炼钢流程 SEAFS 是节约型和环境友好型的流程。

4 中国废钢-电弧炉炼钢流程的发展前景

4.1 废钢资源(可能性)

表 2 铁和碳的化学计量平衡表

Table 2 balance sheet of stoichiometry for iron and carbon

化学反应	吨铁使用 C 量/kg	吨铁产生 CO_2 量/kg
$FeO + C + 1/2O_2 = Fe + CO_2$	$1\ 000 \div 55 \times 12 = 218$	$1\ 000 \div 55 \times 44 = 793$
$Fe_2O_3 + 2C = 3Fe + 2CO_2$	$1\ 000 \div 3 \div 55 \times 4 \times 12 = 291$	$1\ 000 \div 3 \div 55 \times 4 \times 44 = 1\ 057$
$2Fe_2O_3 + 3C = 4Fe + 3CO_2$	$1\ 000 \div 2 \div 55 \times 3 \times 12 = 327$	$1\ 000 \div 2 \div 55 \times 3 \times 44 = 1\ 189$

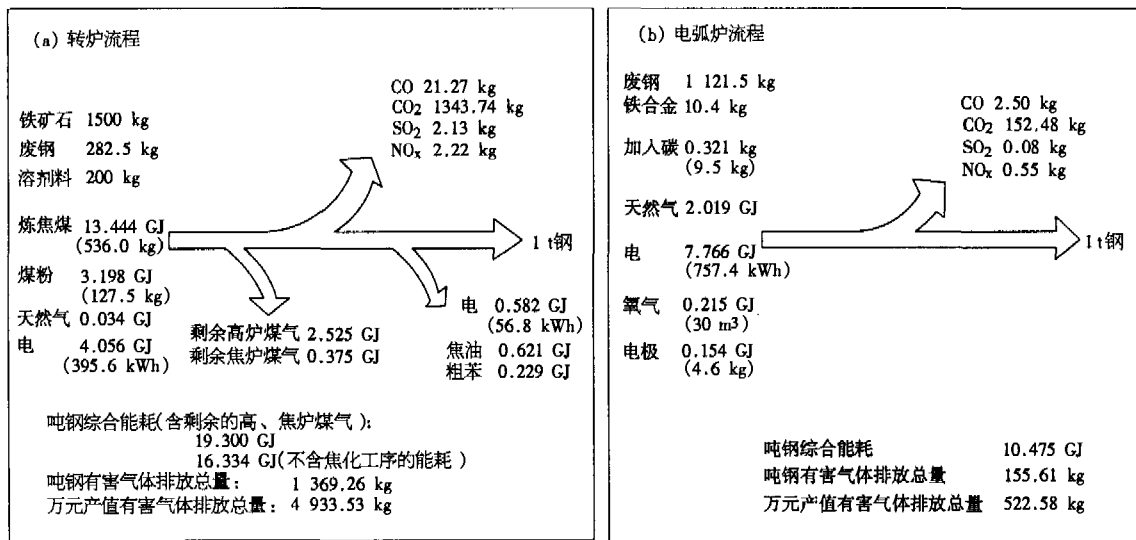


图3 高炉-转炉流程(a)和废钢-电弧炉流程(b)的投入/产出平衡图

Fig.3 Input-output balance diagram for blast furnace-converter flow sheet (a) and scrap-electric arc furnace flow sheet (b)

充裕的废钢资源为电弧炉炼钢流程的发展提供了可能性,我国电弧炉炼钢产能增加一直受到废钢资源的制约。由图1和表1可以看出,在2004年我国钢产量超过 2.7×10^8 t,为全世界钢产量 10.54×10^8 t 的 26%,但废钢积累量仅为全世界的 7%。我国钢产量是美国的 3 倍,而废钢积累量仅为美国的 36.7%,相比之下,我国的废钢量严重短缺。但按现有我国钢铁生产的发展状况,估计 10 年后的废钢资源状况将得到缓解,但仍低于世界平均值(见表 3),尚需大量进口废钢,废钢来源仍然是美国、日本和独联体国家。

表3 废钢资源估计

Table 3 The estimation of source of scrap

项目	表观积累量/ 10^8 t		2014 年预期 产钢量/ 10^8 t	积累量/ 产钢量
	2004 年	2014 年		
全世界	377.07	482.2	10.54	45.8
美国	75.77	85.4	0.97	88.0
日本	42.57	53.1	1.05	50.6
中国	27.80	57.8	3.30	17.5

一般认为,钢材在投入使用 10~20 年后将形成废钢,需回收再生利用,考虑到我国钢材大量用于建筑,回收期较长,如取循环周期为 18 年,则 1997 年~1998 年生产的钢材将在 2014 年进入回收利用期。1998 年我国钢材实际消费量约为 1.2×10^8 t(自产 1.07×10^8 t,进口 1 242 万 t),考虑到损失和回收率,到 2014 年以后我国年自产废钢可达到 8 000 万 t 左右。若每年进口废钢量仍维持

为 1 000 万 t 左右,届时废钢资源的紧张程度有望得到缓解。

4.2 铁矿石资源

我国已探明铁矿资源储量近 580×10^8 t,分布于 29 个省、市和自治区的 1 898 个矿区,特点是分布广、品位低(平均 32.7%,低于世界平均水平 11 个百分点)、共生矿多、杂质含量高、矿床小、可采储量(200 多亿吨)比例低,达到经济开采规模的只有 80×10^8 t。

我国重点矿山大部分是五、六十年代建成的,经过长期开采,已进入中后期,产能正在不断衰减,开采难度越来越大,成本不断增加。地方矿山是我国铁矿业的主力军,但受资源和技术条件限制,生产规模小,产能也难大幅度增加。2004 年,全国生产铁矿石 31 010 万 t(比上年增长约 22.5%)。

由于我国铁矿石产量的增幅远远落后于炼铁能力的增长,现主要依赖进口,2004 年,我国进口铁矿石 2.08×10^8 t,比上年增长 40.5%。

未来我国矿石资源形势十分严峻,国内矿山产量只能支撑 1×10^8 t 左右生铁的需要。预计今后每年需要进口铁矿石量将超过 3×10^8 t。

4.3 能源结构调整的前景

我国 2003 年一次能源的构成与世界情况相对照示于图 4(a)(b),我国是富煤、缺油、少气的国家,煤、油、气资源储量分别占世界总储量的 11%、2.4% 和 1.2%。尽管我国煤炭资源比较丰

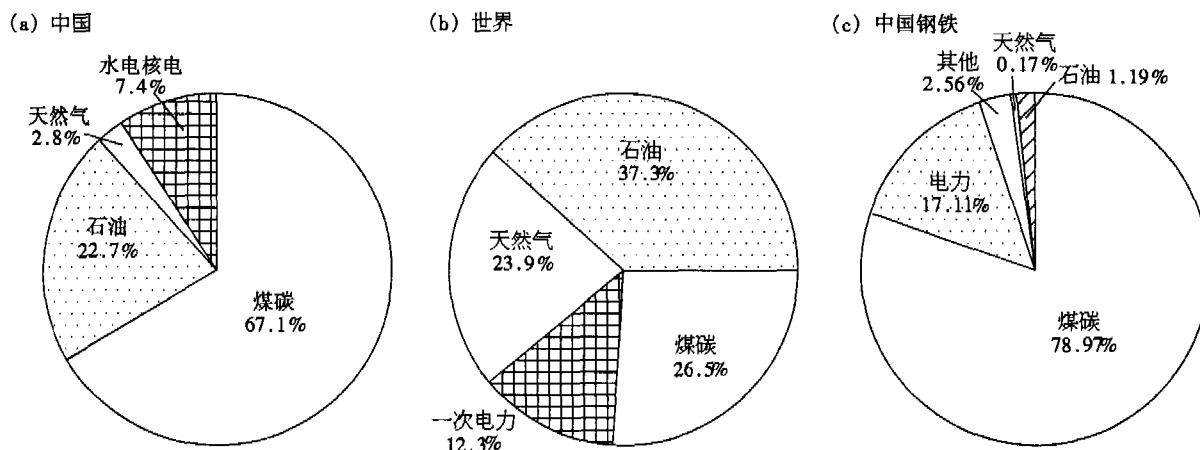


图 4 国内(a)、世界(b)一次能源消耗和国内钢铁工业能源消费(c)结构图

Fig.4 Construction of primary energy resources consumption in China (a) and in World (b), and construction of domestic energy consumption for iron and steel industry (c)

富,但人均可采储量只有世界人均的 54%。在可采储量中,炼焦所需的主焦煤和肥煤(占炼焦煤的 50%~60%)分别只占 5.81%和 3.53%^[7]。

2002 年世界能源消费总量为 94.05×10^8 t 标准油(136.78×10^8 t 标准煤),中国排序第二:年消费 9.98×10^8 t 标准油(14.51×10^8 t 标准煤),占世界能源总消费量的 10.609%。2003 年中国能源消费总量为 16.78×10^8 t 标准煤;其中钢铁工业消耗 2.74×10^8 t 标准煤(含矿山、铁合金、焦化、耐火材料等行业),占中国能源总消费量的 16%。

中国煤炭大多属于中低硫煤和中灰煤。国际市场交易的动力煤,其热值比我国平均高 25%,含硫量低 25%~40%,灰分含量低 50%。

2003 年钢铁工业消耗原煤 1.8×10^8 t,占总量 11.3%。我国钢铁工业依赖的主要能源(资源)煤炭资源虽然比较丰富,但可用于钢铁生产的炼焦用煤仅占 25%~27%。而炼焦用煤储量中,质量好的主焦煤仅占炼焦用煤的 19%,肥煤仅占 13%。我国钢铁工业能源消费构成见图 4(c)。

随着能源技术的进步和我国经济的发展,能源结构亦将有所改善,特别是核电和风力发电、太阳能发电等非传统电力资源将会以较快的速度发展,届时电价、单位电能产生的 CO_2 将大幅减少,将有利于废钢-电弧炉流程的发展。

5 结论

(1) 发展废钢-电弧炉炼钢流程是符合循环

经济发展钢铁工业的正确途径。

(2) 世界废钢积累量的不断增加将促进电炉钢占全国总产量的份额持续上升。

(3) 2014 年以后,我国废钢供应的紧张程度将趋于缓和,废钢-电炉炼钢流程将有长足的发展。

(4) 随着能源技术的发展和我国能源结构的改善,废钢-电弧炉炼钢流程的绿色化程度与环境友好的优势将持续增长。

参考文献

- 徐匡迪,洪新.电炉短流程回顾和发展中的若干问题.中国电炉流程与工程技术文集.北京:冶金工业出版社,2005:1
- 殷瑞钰.关于新世纪发展现代电炉流程工程的认识.中国电炉流程与工程技术文集.北京:冶金工业出版社,2005:12
- 李士琦,兰德年,郭征.可持续发展和我国炼钢方法结构的几点思考.钢铁,1999,34(10):380
- 李士琦,武骏,李京社,等.关于电炉炼钢流程发展的几点认识.钢铁,1997,32(7):72
- 殷瑞钰.钢厂模式与工业生态链——钢铁工业的未来发展模式.2003 年地球环境与钢铁工业国际研讨会会议论文集.钢铁,2003,38(增刊):1
- 李士琦,林纲,陈煜,等.关于电炉炼钢能量问题的讨论.中国电炉流程与工程技术文集.北京:冶金工业出版社,2005:42
- 中国钢铁工业协会科技环保部.中国钢铁工业节能、环保工作调研报告.2005:7

李士琦(1942-),男,首席教授,博士生导师,研究领域:冶金技术和工艺。

收稿日期:2005-12-20