

废钢-电弧炉流程和铁水 + 废钢-电弧炉流程工序能耗的数学模拟

仇晓磊 孟庆玉 洪新

(上海大学、上海市钢铁冶金重点实验室, 上海 200072)

摘要 在物料平衡和热平衡模型的基础上, 结合相关工艺参数, 分别建立了废钢-电弧炉-连铸-连轧流程(废钢-电弧炉流程)和铁水 + 废钢-电弧炉-连铸-连轧流程(混合流程)的工序能耗的计算模型; 分析了模型中几个重要参数对工序能耗的影响。结果表明, 电弧炉热装铁水 33% 的混合流程的工序能耗较废钢-电弧炉的工序能耗降低 43.72 kg_{标煤}/t_钢, 但流程总能耗约增加 1/3。

关键词 废钢-电弧炉流程 铁水 + 废钢-电弧炉流程 工序能耗 模型

Math Simulation for Process Energy Consumption of Scrap-EAF Flow Sheet and Hot Metal + Scrap-EAF Flow Sheet

Qiu Xiaolei, Meng Qingyu and Hong Xin

(Shanghai Key Ferro-Metallurgy Laboratory, Shanghai University, Shanghai 200072)

Abstract Based on materials balance model and heat balance model and combined with relative process parameters, the calculated models for process energy consumption of scrap-arc furnace steelmaking-concasting-continuous rolling (scrap-EAF) flow sheet and hot metal + scrap-arc furnace-concasting-continuous rolling (metal + scrap-EAF) flow sheet have been established and the effect of several key parameters on process energy consumption is analyzed. Results showed that compared with scrap-EAF flow sheet the process energy consumption of 33% metal + scrap-EAF increased by 43.72 kg_{ce}/t_{steel} but its total energy consumption of flow sheet increased by 1/3.

Material Index Scrap-EAF Flow Sheet, Metal + Scrap-EAF Flow Sheet, Process Energy Consumption, Model

在投资、效率和环保等方面, 以废钢-电弧炉为代表的短流程炼钢比高炉-转炉流程(长流程)具有明显的优越性。同时, 铁水热装技术的应用也促使了铁水 + 废钢-电弧炉(混合流程)的出现^[1]。利用物料平衡和热平衡等已有理论, 建立工序能耗值的数学模型, 比较短流程与混合流程的工序能耗。

1 模型和参数的确定

钢铁企业工序能耗是指钢铁企业各生产工序生产 1 t 合格产品所直接消耗的能源量(单位: kg_{标煤}/t_{合格产品})。计算公式如下:

工序能耗 =

$$\frac{\text{工艺过程及辅助生产耗能量} - \text{回收并外供的能量}}{\text{合格产品的产量}}$$

钢铁企业工序能耗计算从投入产出角度可分类为: 消耗的能源和二次回收能源; 从用途角度可分类为: 燃料能源和动力能源。

本模型采用物料平衡模型、热平衡模型、工艺设计计算、能源项目计算公式和文献提供的数据来确定各工序能耗项目。本工序能耗计算模型为半理论

半经验数学模型。该模型中各工序的部分能耗项目的数值可以由理论推导出来, 推导的方法有两类: (1) 采用该工序主体设备的物料平衡和热平衡模型计算; (2) 采用工艺设计计算和能耗项目计算公式。各工序能耗模型表述如下:

电弧炉炼钢工序能耗项目中, 电能消耗值考虑了煤氧助熔技术、废钢预热技术和二次燃烧技术、长弧操作和泡沫渣技术等, 由热平衡模型计算获得^[2]; 其他燃料和动力消耗则取自文献中企业实际统计数据。连铸工序能耗中结晶器和二冷区冷却水和压缩空气的消耗量, 根据相关计算公式得到^[3]; 轧钢工序能耗中加热炉能耗数值由热平衡计算得到^[4], 电能消耗值则是对依据能耗法设定的轧制规程进行计算而得到^[5]; 其他能耗数值取自文献中企业实际统计数据。

模型参数分成两类: 一类是物理化学参数, 如钢水、炉气、炉渣等的比热容或热焓、连铸坯的密度等, 该类参数数值根据相关手册查询获得。另一类是工艺参数, 这些参数通常由实际生产情况确定。

2 模型算例计算结果

表1给出该算例计算结果中电弧炉炼钢1(铁水比:0%)和电弧炉炼钢2(铁水比:33%)、连铸、热

轧和冷轧计算工序能耗最小值,算例的短流程和混合流程的吨钢可比能耗则反映在表2中。上述计算中采用的主要工艺参数列于表3。

表1 各工序能耗模型计算值/(kg_{标煤}·t_钢⁻¹)
Table 1 Model calculated values of each process energy consumption / (kg_{ce} · t_{steel}⁻¹)

项目	电能	煤气	氧气	炉气中可回收的二次能源	氩气	水	铁水预处理	氮气	压缩空气	蒸汽	燃料	工序能耗
炼钢1	122.69	6.12	19.91	-1.19	0.58	0.08						148.19
炼钢2	78.37	6.12	19.80	-1.46	0.58	0.08	0.79					105.74
连铸	13.82	3.96(焦炉)	1.01		0.46	3.71		0.04	2.72	0.17		25.89
热轧	36.75					0.25				2.97	30.77	70.74
冷轧	61.95								4.91	10.13	19.61	96.60

表2 各流程吨钢可比能耗模型计算值
Table 2 Model calculated values of comparable energy consumption per ton steel of each flow sheet

项目	废钢-电弧炉				铁水+废钢-电弧炉			
	工序能耗/(kg _{标煤} ·t _钢 ⁻¹)	钢比/(t·t _钢 ⁻¹)	吨钢能耗/(kg _{标煤} ·t _钢 ⁻¹)	比例/%	工序能耗/(kg _{标煤} ·t _钢 ⁻¹)	钢比/(t·t _钢 ⁻¹)	吨钢能耗/(kg _{标煤} ·t _钢 ⁻¹)	比例/%
炼铁系统							181.26	38
电弧炉(含精炼)	158.33	1.00	158.33	46	115.88	1.00	115.88	24
连铸	25.89	1.00	25.89	8	25.89	1.00	25.89	5
热轧	70.74	0.74	52.51	15	70.74	0.74	52.51	11
冷轧	96.60	0.46	44.18	13	96.60	0.46	44.18	9
其他			60.50	18			60.50	13
吨钢可比能耗			341.41	100			480.22	100

表3 模型计算中采用的主要参数
Table 3 Main parameters adopted for model calculation

电弧炉炼钢	连铸		轧钢		
电弧炉公称容量/t	150	连铸坯规格/mm × mm	1 650 × 200	加热炉热效率 ^[5] /%	70
电效率/%	97	拉坯速度/(m · s ⁻¹)	1.80	连铸坯热装比/%	68
碳氧化(碳粉除外)生成CO/%	70	每流铸造量/(t · min ⁻¹)	6.77	热装温度/°C	500
碳氧化(碳粉除外)生成CO ₂ /%	30	二冷区汽水比/(kg · kg ⁻¹)	0.50	热轧机型号/mm	1 700
目标二次燃烧率/%	80	汽水冷却占总水量比值/%	35	冷轧机型号/mm	1 700
二次燃烧传热效率/%	50	比水量/(L · kg ⁻¹)	1.50	辅助电耗占总电耗/%	40

注:电弧炉炼钢中,废钢预热后温度与废气温度相同;变压器和短网系统热损失为6%;其他热损失为8%。

3 参数对各工序能耗影响分析

3.1 铁水热装比

由图1可见,铁水热装比的变化对电耗的影响十分显著。模型计算结果显示,在铁水热装比为33%条件下,与不采用铁水热装电弧炉炼钢相比,电耗降低约94 kWh/t_钢,相应的炼钢工序能耗减少约43.72 kg_{标煤}/t_钢。但是从钢铁生产总流程来看,电弧炉炼钢增加铁水的投入提高了流程中炼铁系统的能耗支出。在本算例中,铁水每增加1%,虽然电耗下降约3.79 kWh/t_钢,炼钢工序能耗减少约1.54 kg_{标煤}/t_钢,但考虑铁水热装所增加的炼铁系统能耗,炼铁系统能耗增加量约为5.49 kg_{标煤}/t_钢。因此铁水热装比每增加1%,到电弧炉冶炼结束为止的流程能耗约增加3.95 kg_{标煤}/t_钢,

3.2 目标二次燃烧率

在本模型中,同时考虑到了采用二次燃烧技术得到的部分热量被应用到废钢预热技术中。模型计算结果显示,在铁水热装比为33%的生产条件下,目标二次燃烧率每增加1%,氧气增加约0.23 m³/t_钢;电能消耗降低约2.33 kWh/t_钢;工序能耗减少约0.74 kg_{标煤}/t_钢;工序能耗在理论上可下降约37 kg_{标煤}/t_钢(图2)。因此,任何能够提高净二次燃烧率的操作都会使电弧炉工序能耗降低。

3.3 废钢预热热效率

由图3a可见,随着废钢预热热效率的增加,电耗持续走低。模型计算结果显示在铁水比为33%的条件下,废钢预热热效率每增加1%,电能消耗降低约3.53 kWh/t_钢;采用该技术,理论上可以减少电

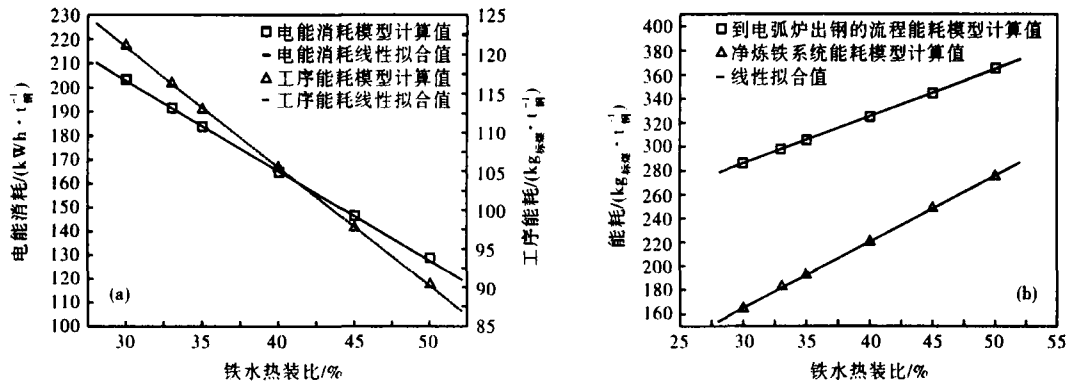


图 1 铁水热装比对电耗、工序能耗(a)和电弧炉出钢时流程能耗(b)的影响

Fig. 1 Effect of hot metal charging ratio on electric consumption and process energy consumption (a) and flow sheet energy consumption until EAF tapping (b)

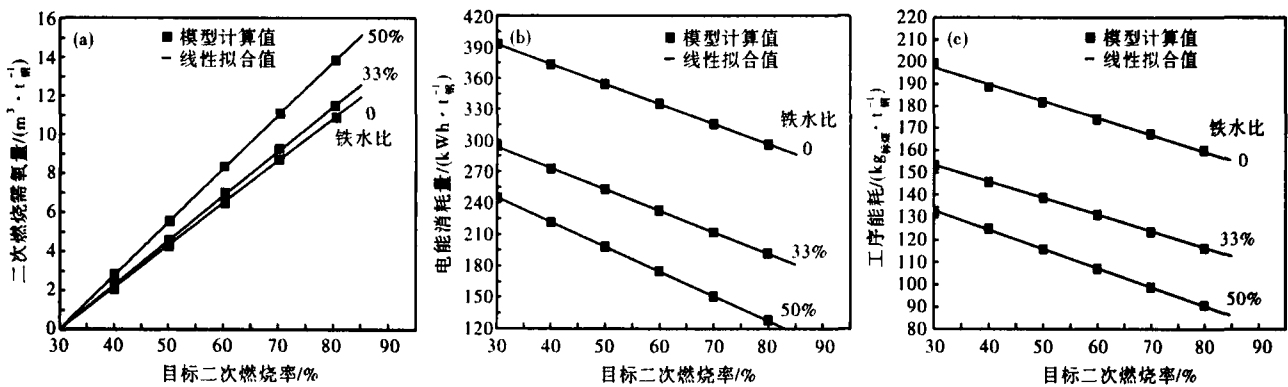


图 2 目标二次燃烧率对二次燃烧用氧量(a)、电耗(b)和工序能耗(c)的影响

Fig. 2 Effect of aim post-combustion ratio on supply oxygen ratio (a), electric consumption (b) and process energy consumption (c)

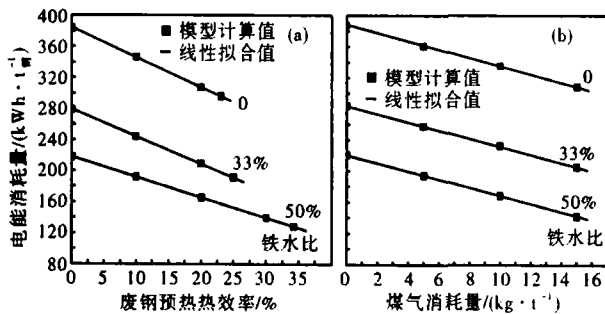


图 3 废钢预热热效率(a)和煤气消耗量(b)对电耗的影响
Fig. 3 Effect of scrap preheating efficiency (a) and gas consumption ratio (b) on electric consumption

能消耗,降低工序能耗约 26 kg_{标煤}/t_钢。

3.4 煤气量

在不同的铁水比下,煤气量每增加 1 m³/t_钢,电能下降约 5.24 kWh/t_钢(图 3b)。本算例中,在铁水比为 33% 的条件下,煤气投入量为 10 m³/t_钢,工序能耗较不使用辅助能源下降约 12 kg_{标煤}/t_钢。此外,煤气作为钢铁企业的二次能源,属于自产能源,不仅降低工序能耗,也减少了企业成本的投入。

4 结语

在电弧炉采用热装铁水比为 33% 后,混合流程与短流程相比,吨钢可比能耗增加了 1/3 左右。因此,尽管电弧炉工序的能耗在采用铁水热装技术后得到降低,但流程总能耗仍是增加的。

参考文献

- 1 徐匡迪,洪新.电炉短流程回顾和发展中的若干问题.中国冶金,2005,15(7):1
- 2 李传薪.钢铁厂设计原理(下册).北京:冶金工业出版社,1995
- 3 熊毅刚.现代钢铁工业技术-板坯连铸.北京:冶金工业出版社,1994
- 4 王荣恩,刘志强,黄冬生.特钢蓄热式加热炉的设计和应用.工业炉,2004,26(2):45
- 5 王廷溥,齐克敏.金属塑性加工学——轧制理论与工艺.北京:冶金工业出版社,2001

仇晓磊(1981-),女,硕士研究生,钢铁冶金过程数学模拟、冶金能源与资源利用。

收稿日期:2006-11-27