

LF 合金加料及终点预测模型的研究

罗仁辉^{1,2} 朱 荣¹ 杨凌志¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2 新余钢铁有限责任公司, 新余 338000)

摘 要 以新余钢厂 110 t 钢包精炼炉(LF)冶炼数据为基础,建立了低 C 微合金化钢 LF 精炼时的合金加料和终点成分预报模型。50 炉精炼结果表明,该模型对新余 1[#] 中碳铬合金与钼铁合金的所加入量预测结果基本准确,对精炼的终点成分 Cr、Mo 的预测值的准确度也达到 95% 以上。

关键词 低 C 微合金化钢 LF 合金加料 终点成分 预报模型

A Study on Prediction Models for Alloying Charging and End Analysis during Ladle Furnace Refining

Luo Renhui^{1,2}, Zhu Rong¹, Yang Lingzhi¹

(1 Metallurgical and Ecological Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Xinyu Iron and Steel Co Ltd, Xinyu 338000)

Abstract Based on refining data of 110 t ladle refining furnace at Xinyu Steel Works, the prediction models for alloys adding amount and end analysis during refining of low carbon microalloying steels in ladle furnace have been established. 50 heats refining results show that the prediction results for adding amount of Xinyu No1 medium carbon chromium alloy and molybdenum iron alloy is basically accurate and the degree of accuracy for prediction value of end analysis of Cr and Mo in steel is more than 95%.

Material Index Low Carbon Microalloying Steel, Ladle Furnace, Alloys Adding, End Analysis, Prediction Model

钢包精炼炉(LF)作为一种一次精炼设备,在生产中得到了广泛的应用^[1]。有关钢包精炼炉的冶金模型的应用,有助于降低它的电能、电极、氩气及合金的消耗,提高产品的质量和稳定性^[2]。LF 作为转炉、电炉后续的精炼设备,其主要工作之一就是对所来的钢液成分进行微调,合金加料的准确与否直接影响着成品钢的性能。

本文以新余钢铁公司 1[#] 110 t LF 精炼为背景,以实际大量冶炼数据为基础,针对合金加料模型展开了研究,对新钢 1[#] LF 精炼实施合金加料预测进行可行性分析。

1 钢包精炼炉技术参数和合金加料系统

新钢第一炼钢厂精炼炉技术参数如表 1 所示。合金加料系统将合金料、造渣料由钟式料罐上料贮备于储料仓内,通过振动给料器,将需要的合金、造渣剂依次进入称量料斗,再经过振动给料器进入皮带输送机反转到 13.7 m 平台上的皮带输送机反转料进入料罐中。合金加料系统工程主要由高架平台、储料仓、振动给料器、称量料斗、皮带输送机、密封装置等组成。现在第一炼钢厂有 3 座 LF,其中 1[#] LF 有高位料仓 16 个;2[#] 和 3[#] LF 共用 12 个高位料

表 1 钢包精炼炉技术参数

Table 1 Technical parameters of ladle refining furnace

项目	技术参数
钢包炉型式	110 t/20 MVA 单电极臂
公称容量/t	110
自由空间/mm	500
处理能力(额定)/t	110
处理能力(最大)/t	120
处理能力(最小)/t	80
处理时间/min	30 ~ 60
变压器额定功率/MVA	20
一次电压/kV	35
频率/Hz	50
升温速度(最大)/℃	5
电极行程/mm	3 000
电极升降速度(最大)/(mm · s ⁻¹)	80
电极直径/mm	450
极心圆直径/mm	750
炉盖升降行程/mm	650
炉盖升降速度/(mm · s ⁻¹)	40
精炼钢包车行程/mm	约 9 400
精炼钢包车运行速度/(m · min ⁻¹)	27.17
双线喂丝机型号	WX-4BF
喂丝速度(可调)/(m · min ⁻¹)	0 ~ 360
铝线直径/mm	9 ~ 12
合金线直径/mm	8 ~ 16

仓,通过皮带机正转与反转分别向不同 LF 加料或者加合金。

合金加料存在的问题。目前 LF 存在的问题

动给料器称量不准确,PLC 自动控制基本处于停滞状态,主控室主要靠手动控制,在称量上误差偏大,这就为成分的精确控制带来一定的影响。称量料斗量程小,难以满足一次称量要求。合金配加靠经验粗略计算,偏差较大,窄成分控制命中率低。因此,有必要建立 LF 的合金加料模型。

2 LF 成分预报模型的建立

2.1 选择参考炉次计算合金元素收得率

对于拟预报炉次的钢水成分来说,先需根据大量已知生产数据的实际情况确定合金的收得率。

$$f_b = (M_b - m_b) / g_i \times c_i \quad (1)$$

式中: f_b - 某种元素合金收得率; M_b - 某种元素精炼后质量/kg; g_i - 某种合金加入量/kg; c_i - 合金中某种元素的质量分数; m_b - 钢包中该元素质量/kg。

2.2 合金加料预报模型

根据收得率,合金品位目标钢种成分要求计算合金用量。

$$g_i = G_0 \times (w_i - a_i) / f_b \times c_i \quad (2)$$

式中: a_i - 某种元素初始质量分数/%; g_i - 某种合金加入量/kg; c_i - 合金中某种元素的质量分数; G_0 - 钢包中钢水质量/kg。

合金量的预测需要根据新钢的合金使用实际情况来计算,实际精炼钢中 Si 含量除去转炉钢与硅铁粉带入的 Si,剩下的全部来自于合金料,合金料为硅铁。

$$\text{FeSi} = \frac{G \times (w_{\text{Si}} - a_{\text{Si}})}{f_{\text{Si}} \times c_{\text{FeSi}}} \quad (3)$$

实际精炼钢中锰含量除去转炉钢带入的锰,剩下的全部来自于合金料,合金料为高锰铁。

$$\text{FeMnH} = \frac{G \times (w_{\text{Mn}} - a_{\text{Mn}})}{f_{\text{Mn}} \times c_{\text{FeMnH}}} \quad (4)$$

$$\text{FeV} = \frac{G \times (w_{\text{V}} - a_{\text{V}})}{f_{\text{V}} \times c_{\text{FeV}}} \quad (5)$$

2.3 终点成分预报模型

根据收得率和合金品位计算钢液终点成分,见公式(6):

$$a_j = (a_i \times G_0 + g_i \times f_b \times c_i) / G \quad (6)$$

式中: a_j - 某种元素终点质量分数/%; G - 精炼后钢包中钢水质量/kg。

在计算各元素质量分数的时候,需要考虑加入合金后钢水总量的变化,为了消除钢水总量变化对

终点成分的影响,因此需要计算精炼后钢水的量,为此,首先计算各元素在加入合金后的总量。

$$m_j = a_i \times G_0 + g_i \times f_b \times c_i \quad (7)$$

式中: m_j - 某种元素终点质量/kg。对于某钢种冶炼,LF 中主要调整的是 Mn、Si 合金,且调整 Mn 用的是高锰铁合金,调整 Si 用的是硅铁合金,那么具体的该元素加入合金后总量的计算公式为:

$$m_{\text{Mn}} = a_{\text{Mn}} \times G_0 + g_{\text{FeMnH}} \times f_{\text{Mn}} \times c_{\text{FeMnH}} \quad (8)$$

$$m_{\text{Si}} = a_{\text{Si}} \times G_0 + g_{\text{FeSi}} \times f_{\text{Si}} \times c_{\text{FeSi}} \quad (9)$$

式中: a_{Mn} 、 a_{Si} - Mn、Si 初始质量分数/%; G_0 - 钢包中钢水质量/kg; g_{FeMnH} - 高锰铁合金加入量/kg; g_{FeSi} - 硅铁合金加入量/kg; f_{Mn} - Mn 元素合金收得率; f_{Si} - Si 元素合金收得率; c_{FeMnH} - 高锰铁合金中 Mn 元素的质量分数; c_{FeSi} - 硅铁合金中 Si 元素的质量分数。

$$G = m_{j1} + m_{j2} + m_{j3} + \dots + m_{ji} \quad (10)$$

在计算出精炼后钢水总量 G 后,根据公式计算各元素的终点成分。

3 模型计算结果分析

对新钢第一炼钢厂 Q690D-1 + TMQ + T、B/12MnNiVR + Q + T、Q690D-2 + TMQ + T 3 种钢种的 50 炉现场数据进行预测,钢种的主要化学成分见表 2,其结果如图 1 和图 2。

本模型的预测对中碳铬合金与钼铁合金的所加入量预测结果基本准确。在实际生产中钢水初始合金元素成分不稳定,但是实际合金加入量靠经验粗略计算,每炉的加入量基本相同,造成这些炉次实际合金元素含量与目标合金元素含量也正好存在一定的偏差。在对比预测值与实测值中也存在一些偏差较大的点,这些点大多都是模型根据的钢水合金成分的实际值精确计算的,能够较好的弥补人工靠经验粗略计算的不足。

该模型对这 50 炉的终点成分 Cr、Mo 的预测值的准确度达到 95% 以上。

由于各合金元素收得率的计算结果均是由参考炉次收得率计算方法得来。当参考炉次的收得率不精确时,一些炉次的预测也就受到了一定的影响。

4 结语

(1) 使用 50 炉次现场数据进行预测,终点成分 Cr、Mo 的模型预测值的准确度达到 95% 以上。

(2) 模型考虑了钢水合金元素的不稳定情况,根据实际情况合理加入合金量,能够在一定程度上

表 2 低 C 微合金化钢的主要化学成分/%
Table 2 Main chemical composition of low carbon microalloying steels /%

钢种	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti	V	Mo	B	
Q690D-1 + TMQ + T	标准	0.07 ~ 0.09	0.10 ~ 0.30	1.45 ~ 1.60	≤0.015	≤0.005	0.20 ~ 0.30	0.30 ~ 0.40	0.01 ~ 0.02	0.02 ~ 0.04	0.20 ~ 0.25	0.000 8 ~ 0.001 5
	目标	0.08	0.20	1.50	≤0.015	≤0.005	0.25	0.35	0.015	0.03	0.22	0.001 0
B/12MnNiVR + Q + T	标准	0.07 ~ 0.10	0.20 ~ 0.30	1.35 ~ 1.45	≤0.012	≤0.003	0.20 ~ 0.30	≤0.07	0.01 ~ 0.02	0.035 ~ 0.045	0.08 ~ 0.11	≤0.000 8
	目标	0.09	0.25	1.40	≤0.012	≤0.003	0.25	≤0.07	0.015	0.04	0.10	≤0.000 8
Q690D-2 + TMQ + T	标准	0.08 ~ 0.10	0.10 ~ 0.30	1.45 ~ 1.60	≤0.015	≤0.005	0.25 ~ 0.35	0.45 ~ 0.55	0.01 ~ 0.02	0.03 ~ 0.06	0.25 ~ 0.30	0.000 8 ~ 0.001 5
	目标	0.09	0.15	1.50	≤0.015	≤0.005	0.30	0.50	0.015	0.045	0.27	0.001

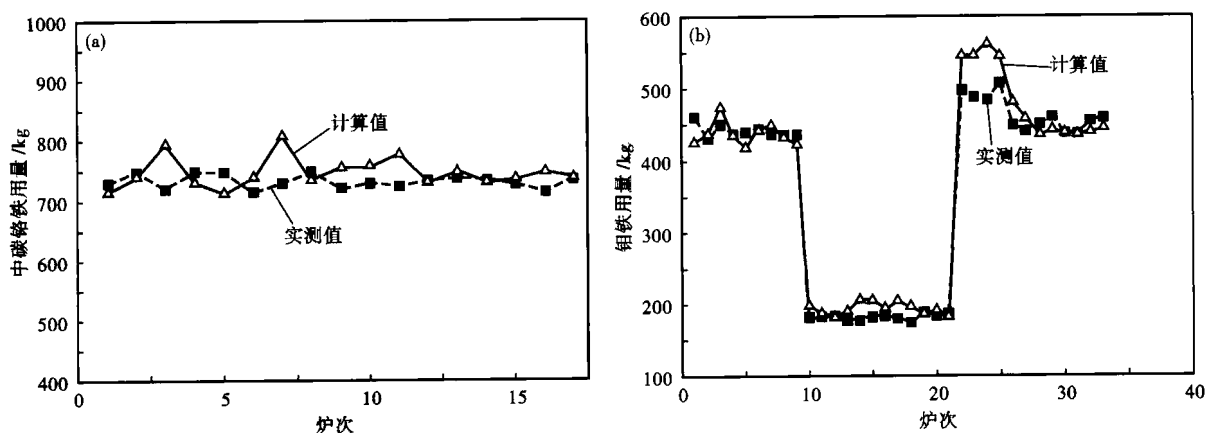


图 1 中碳铬铁模型(a)和钼铁模型(b)计算值与实测值对比

Fig. 1 Comparison between calculated value and measured value by medium ferrochromium model (a) and ferromolybdenum model (b)

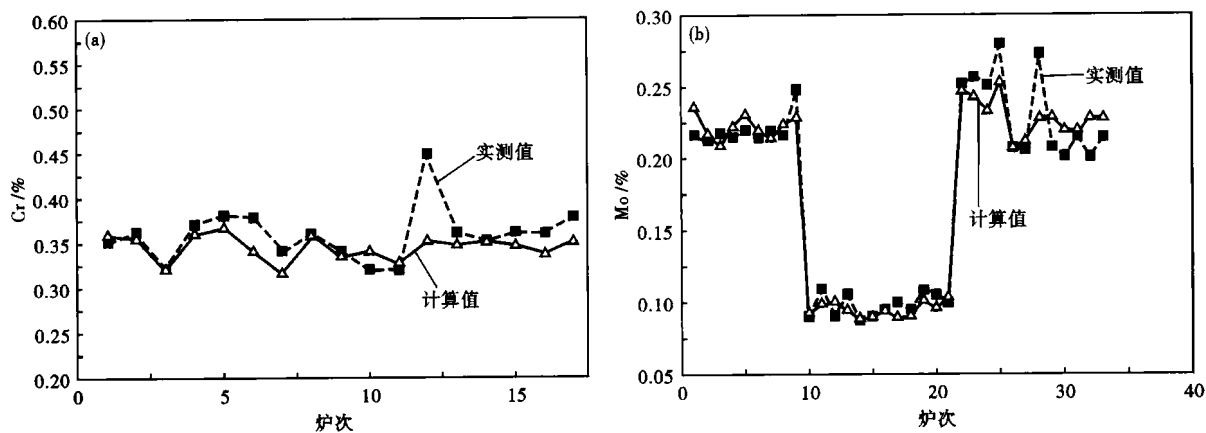


图 2 终点 Cr 模型(a)和终点 Mo 模型(b)计算值与实测值对比

Fig. 2 Comparison between calculated value and measured value by end Cr model (a) and end Mo model (b)

弥补人工加料的不足。

(3) 由于各合金元素收得率的计算结果均是由参考炉次收得率计算方法得来,当参考炉次的收得率不精确时,一些炉次的预测也就受到了一定的影响。因此可以根据实际情况统计更多炉次的信息来确定合金收得率。

参考文献

- 1 傅 杰. 发展我国钢的二次精炼技术的建议. 特殊钢, 1999 (增刊): 1
- 2 萬谷志郎. 钢铁冶炼. 北京: 冶金工业出版社, 2001

罗仁辉(1973-), 男, 高级工程师, 1994 年重庆科技学院毕业。