

转炉铜钼吹炼终点判断仿真研究

李林山, 赵宇娟, 金泽志

(铜陵有色金属集团控股有限公司, 安徽 铜陵 244100)

[摘 要] 转炉铜钼吹炼终点判断多以烟气、火焰、喷溅物及样钎状态为依据, 这种判断方法受操作人员主观因素居多, 易导致欠吹或过吹情况发生。METCAL 系统可依据质量平衡、热平衡和元素平衡三大体系搭建全流程工艺数学模型, 通过对过程参数进行分析和计算, 控制吹炼过程中的冷料添加量和添加时机, 实现对造渣终点和造铜终点的判断。本文详细阐述了模型的构建过程及误差处理方法, 修正后的仿真模型结果显示造渣期判断误差可控制在 $\pm 5\%$ 以内, 而且造渣期对应的 Cu_2S 中 Fe 含量和粗铜中 S 含量均符合要求。应用实践表明, 该模型对指导铜钼吹炼终点判断起到了有效的辅助作用, 后期可通过大数据的积累进一步提高铜钼吹炼终点判断仿真模型判断精准度。

[关键词] 铜钼吹炼; 终点判断; 仿真模拟; 数学模型; 判断误差; 造渣终点; 造铜终点

[中图分类号] TF811; TF355 [文献标志码] B [文章编号] 1672-6103(2021)06-0022-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2021.06.005

目前, 大多铜生产企业在铜钼吹炼过程中采用人工经验判断吹炼终点, 比如通过火焰法、喷溅物法、炉后钎样法等判断造渣终点或者造铜终点^[1], 这些判断方法需要长期的实践经验积累, 虽能有效把控铜钼吹炼的终点, 但受操作人员主观因素居多, 存在误判情况, 易导致欠吹或过吹情况发生, 影响正常生产, 甚至导致喷炉事故发生, 因此部分学者对转炉终点智能判断进行了一系列的研究与应用^[2-3]。

“冶金流程计算与在线控制系统开放平台 (METCAL)” 可以将冶金过程工艺流程图、设备连接图与计算流程图融为一体, 通过搭建全流程工艺数学模型, 对过程参数进行分析和计算, 实现对造渣终点和造铜终点的判断。铜陵有色金冠铜业分公司 (以下简称“公司”) 采用 METCAL 构建了转炉铜钼吹炼终点判断仿真模型, 并根据质量平衡、热平衡和元素平衡三大体系来控制吹炼过程中的冷料添加量和添加时机, 应用实践表明该模型对指导铜钼吹炼

终点判断起到了有效的辅助作用^[4-7]。

本文在介绍转炉吹炼铜钼传统终点判断方法及依据的基础上, 详细阐述了转炉铜钼吹炼终点判断仿真模型的构建过程, 并对仿真误差的处理进行了论述。

1 转炉吹炼铜钼传统终点判断方法及依据

公司奥炉厂区采用奥斯麦特熔炼-PS 转炉吹炼-回转式阳极炉火法精炼工艺生产阳极铜。PS 转炉以铜钼 ($\text{FeS} \cdot \text{Cu}_2\text{S}$) 为原料、以石英石 (SiO_2) 为熔剂, 将主要 Fe 和 S 元素脱除, 得到 98.5% 的粗铜, 其中 Fe 元素生成铁橄榄石 ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) 通过放渣排除, 而 S 元素被氧化生成 SO_2 通过管道输送进入硫酸工序制酸。整个铜钼吹炼过程涉及造渣和造铜两个终点判断, 常见的终点判断有以下几种方法^[8-10], 详见表 1。

2 转炉铜钼吹炼仿真模型

转炉铜钼吹炼终点判断仿真模型由物相计算数学模型、造渣 1 期吹炼数学模型、造渣 2 期吹炼数学模型和造铜期吹炼数学模型组成。单个模型分为单元创建、原料组成、产物组成、自定义约束条件、数学方程和运行计算五个部分。

[收稿日期] 2021-06-20 [修订日期] 2021-07-29

[录用日期] 2021-07-31 [出版日期] 2021-12-28

[作者简介] 李林山 (1991—), 安徽铜陵人, 硕士, 助理工程师, 从事有色金属冶炼工作。

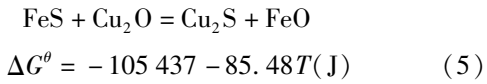
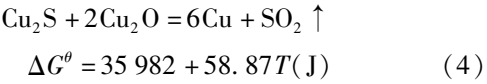
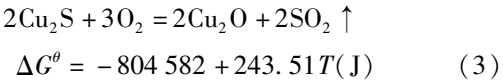
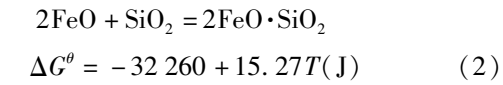
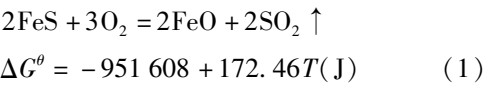
[引用格式] 李林山, 赵宇娟, 金泽志. 转炉铜钼吹炼终点判断仿真研究[J]. 中国有色冶金, 2021, 50(6): 22-28.

表 1 转炉铜钼吹炼终点判断方法及依据

终点阶段	判别方法	判别依据
造渣终点	火焰法	①炉口火焰由黄色转为乳白色； ②温度高刚性好，烟气发亮。
	喷溅物法	①喷溅频繁； ②喷溅小呈絮状，漂浮无力； ③喷溅物发亮，凝固后呈空心粒状。
	炉后钎样法	①钎样颜色由灰白色转为青灰色，再转为油黑色； ②样钎表面有光泽，结构松脆易断裂脱落。
	图示法	①温度在 1 100 ~ 1 300 ℃ 范围内上下波动频繁，温度曲线由线型转为锯齿型； ②二氧化硫指示线中 PbS 和 PbO 浓度达到平衡，各占 50%；
	炉口渣板测试法	①样板上渣、铜分离明显，整体呈灰色，有光亮感； ②伴有闪动的小泡泡，表面有铜绿色斑点和圆点状坑洞。
造铜终点	烟气及火焰判断法	①炉口烟气颜色由混浊变为清亮，烟气量变小，能见度增大； ②黄绿色烟气逐渐消失，火焰由灰白色转变为棕红色，最后变为橘红色； ③火焰低落，摇摆无力。
	图示法	①温度曲线由较低位逐渐向高位攀升，稳定后呈下降趋势； ②SO ₂ 浓度值由低位逐渐上升至最高值，稳定后下降至最低值(小于 0.5%)。
	喷溅物判断法	①炉口铜液喷溅物细小呈礼花状，由点滴状转为爆裂状，最终转为球面状； ②伴有“眨眼”现象，球状喷溅物在护板上跳动，数量由少及多，由稀疏到密集，最终逐渐消失，球状物转变为针状。
	炉后钎样判断法	①钎样表面粘结物色泽由金黄色转为黑褐色，再转为橘红色、玫瑰红色，最终硫色消失； ②粘结物结构由黏延型转为松脆型，表面呈小孔状，由粗糙转为光滑无细孔，表面不断隆起。

2.1 仿真模型原理及判断依据

铜钼吹炼的主要化学反应见式(1)~(5)。铜钼是 Cu₂S 和 FeS 的熔体,根据式(5)可知铜对硫的亲合力大于铁,铁对氧的亲合力大于铜,铜钼吹炼过程中,铁优先于铜参与反应^[11]。



铜钼中的 FeS 经式(1)和式(2)造渣除去,将白铜钼中残留的 Fe 作为造渣期终点判断依据;铜钼中的 Cu₂S 经式(4)和式(5)造铜生成粗铜,将粗铜中残留的 S 作为造铜期终点判断依据;白铜钼中的 Fe 含量和粗铜中的 S 含量通过式(1)~(4)反应所需理论用氧及实际供氧量来确认。

2.2 终点判断仿真流程

转炉铜钼吹炼终点判断仿真模型实时在线读取过程控制系统和数据库,根据送风系统和炉体编码器信息自动跟踪铜钼吹炼进程,通过对投入物料进行元素与质量分解,结合模型预测耗氧量和瞬时送氧信息预测转炉铜钼吹炼终点。具体仿真流程如图 1 所示。

2.3 单元创建

通过对热铜钼、固钼(冷铜钼)、白钼(冷白铜钼)、床下物、精炼渣、冷铜、铜包壳、黑铜板、石英熔剂及其他含铜物料创建单元,分别设定其单元名、质量守恒策略、数量显示格式等,其相应的物料转化关系如图 2 所示。

2.4 原料组成

通过对创建的单元进行原料组成分类,划分元素、化合物组成及含量比例,为自定义约束关系创建自定义变量。以铜钼原料铜钼为例,铜钼类物料在使用时常常只会提供铜钼品位(Cu%)这一个成分数据,所以其中的 SiO₂ 百分含量预设值 0.1% 为生产实践典型数据,其余元素在此设为 *x*。虽然 Cu 元素百分含量是已知的,但为了方便输入处理,其实际值放到自定义约束中处理,这里也设为 *x*。其组成

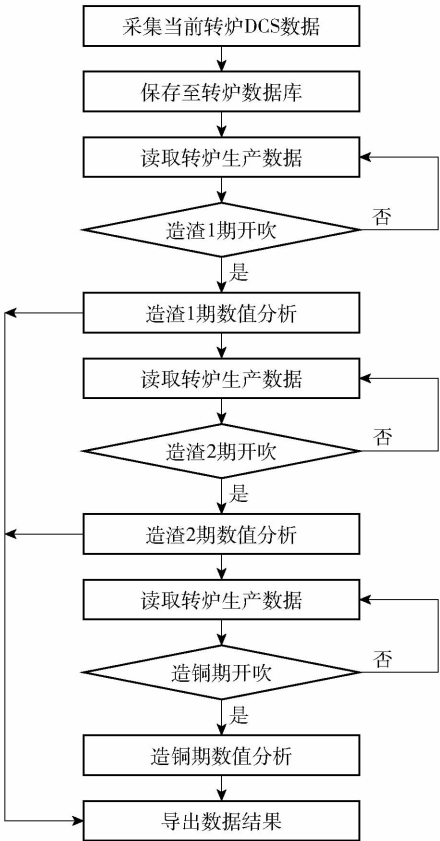


图1 转炉铜钼吹炼终点判断仿真流程

有 Cu、Fe、S、SiO₂、Other,相应比例均设为 x。

2.5 产物组成

通过对单元物料中的元素进行产物分析,推导其产物组成并设置自定义变量。以铜钼为例,其物相组成简化为:Cu₂S、FeS、Fe₃O₄、SiO₂和 Other,相应组分比例均设为 x。

2.6 约束条件

对目标值进行物相组成逻辑关系搭建,以 Cu 元素为例,通过经验式(6)~(7)分别计算 S 和 Fe 元素的含量^[12]。

$$\text{Fe}\% = 53.9 - 0.671 \times \text{Cu}\% \quad (6)$$

$$\text{S}\% = 29.5 - 0.122 \times \text{Cu}\% \quad (7)$$

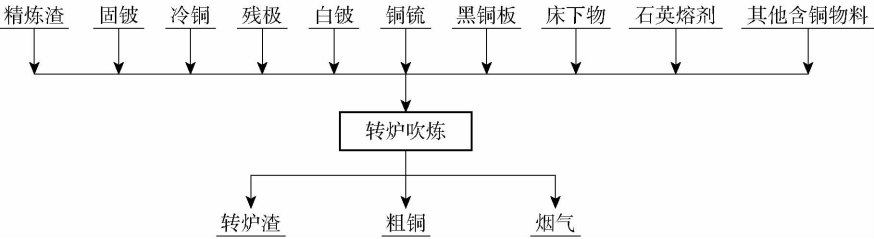


图2 仿真模型物料转化流程

铜钼物相计算自定义约束关系如下所述。

约束条件1:指定原料铜钼1中的Cu分数含量=S1铜钼G/100。其中S1铜钼G为全局变量,表示S1期投入热铜钼的铜钼品位(Cu%)。因为本例用到的是用于S1期的热铜钼原料单元,所以这里用S1铜钼G。若是其他吹炼期或不是热铜钼原料,则要用相应的全局变量来替代S1铜钼G。

约束条件2:用经验公式(6)描述铁与铜的定量关系。

约束条件3:用经验公式(7)描述硫与铜的定量关系。

约束条件4:指定铜钼量。

若指定添加的热铜钼质量,即可通过自定义的四个约束条件确定Fe和S的质量。通过对单个单元创建数模方程,可确定物料指定与投入的函数关系。以铜钼单元为例,构建的数模方程见表2。

表2 铜钼数模方程

方程编号	方程名称	单位	函数关系
1 [#]	Cu 元素质量	kg	$-x_2 + 0.7986x_8 = 0$
2 [#]	Fe 元素质量	kg	$-x_3 + 0.6353x_9 + 0.7236x_{10} = 0$
3 [#]	S 元素质量	kg	$-x_4 + 0.2014x_8 + 0.3647x_9 = 0$
4 [#]	Si 元素质量	kg	$-4.674 \times 10^{-4}x_1 + 0.4674x_{11} = 0$
5 [#]	O 元素质量	kg	$-x_6 + x_{12} = 0$
6 [#]	Other 元素质量	kg	$-x_6 + x_{12} = 0$
7 [#]	设定铜钼1	kg	$0.999x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 = 0$
8 [#]	投入铜钼	kg	$x_7 - x_8 - x_9 - x_{10} - x_{11} - x_{12} = 0$
9 [#]	指定铜钼品位	kg	$-0.563x_1 + x_2 = 0$
10 [#]	Cu 与 Fe 的定量关系	kg	$-0.1612x_1 + x_3 = 0$
11 [#]	Cu 与 S 的定量关系	kg	$-0.2263x_1 + x_4 = 0$
12 [#]	铜钼量	kg	$0.001x_1 = \text{给定值}$

表中10[#]和11[#]函数可依据经验公式(6)和(7)得到,表1方程中:x₁为设定铜钼1,kg;x₂为设定铜钼1中的Cu,kg;x₃为设定铜钼1中的Fe,kg;x₄为设

定铜钨 1 中的 S,kg; x_5 为设定铜钨 1 中的 O,kg; x_6 为设定铜钨 1 中的 Other,kg; x_7 为投入铜钨,kg; x_8 为投入铜钨中的 Cu_2S ,kg; x_9 为投入铜钨中的 FeS ,kg; x_{10} 为投入铜钨中的 Fe_3O_4 ,kg; x_{11} 为投入铜钨中的

SiO_2 ,kg; x_{12} 为投入铜钨中的 Other,kg。

2.7 运行计算

以铜钨单元为例,计算结果见表 3。

表 3 铜钨单元计算表

类别		元素及质量百分比/%					
铜钨投入	成分	Cu	Fe	S	Si_2O	O	Other
	含量	56.3	16.123	22.631	0.1	0.55	4.296
铜钨产出	成分	Cu_2S	FeS	Fe_3O_4	Si_2O	Other	
	含量	70.502	23.116	1.989	0.1	4.296	
元素投入	成分	Cu	Fe	S	Si	O	Other
	含量	56.3	16.123	22.631	0.047	0.603	4.296
元素产出	成分	Cu	Fe	S	Si	O	Other
	含量	56.3	16.123	22.631	0.047	0.603	4.296

3 仿真数据分析

铜钨吹炼过程分造渣一期(简称 S1)、造渣二期(简称 S2)和造铜期(B)三个阶段,两次造渣期的数值分析相互独立,结合原料投入量和送风流量预测造渣终点,造铜期以造渣期数值分析结果为基础完成造铜终点预测。

3.1 造渣一期数据分析

转炉铜钨吹炼终点判断仿真模型通过在线读取

铜钨、石英熔剂和低品位的含铜冷料等生产数据,自动进行跟踪计算。通过追踪观察 10 炉次的转炉铜钨吹炼过程,其 S1 期用氧、吹炼时长及偏差分别见表 4 和表 5。S1 期整体用氧偏差在 $-5.48\% \sim 2.46\%$ 之间,其中 $\pm 3\%$ 以内占比 80%,最小偏差为 -0.60% ;S1 期整体吹炼时长偏差在 $-4.65\% \sim 3.45\%$ 之间,负值表示过吹(下同),正值表示欠吹(下同),其中第六组预测结果与实际吹炼时长完全一致。

表 4 造渣一期实际与预测用氧对照表

对比项	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
S1 期实际用氧/ Nm^3	15 783	18 462	17 676	18 962	16 048	17 551	16 014	17 000	15 405	17 250
S1 期预测用氧/ Nm^3	16 699	18 111	17 782	18 678	16 177	17 954	16 543	16 592	15 513	16 887
偏差/%	-5.48	1.94	-0.60	1.52	-0.79	-2.25	-3.19	2.46	-0.70	2.15

表 5 造渣一期实际与预测吹炼时长对照表

对比项	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
S1 期实际时长/min	90	82	91	83	80	86	83	93	91	88
S1 期预测时长/min	87	86	92	86	81	86	82	97	92	92
时长偏差/%	3.45	-4.65	-1.09	-3.49	-1.23	0	1.22	-4.12	-1.09	-4.35

3.2 造渣二期数据分析

造渣二期数值分析继一期完成造渣、放渣作业后重新读取第二次投料数据进行数值分析,其 S2 期用氧、吹炼时长及偏差分别见表 6 和表 7。S2 期整体用氧偏差在 $\pm 5\%$ 以内,其中 $\pm 3\%$ 以内占比

70%,最小偏差为 -0.10% ;S2 期整体吹炼时长偏差在 $\pm 5\%$ 以内,其中第三组预测结果与吹炼时长一致。S2 期数值分析结果与 S1 期偏差度较为一致,预测效果良好。

表 6 造渣二期实际与预测用氧对照表

对比项	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
S2 期实际用氧/Nm ³	12 131	12 118	11 348	12 253	12 006	11 969	11 424	10 667	11 853	13 063
S2 期预测用氧/Nm ³	11 998	11 997	11 360	11 861	11 910	12 172	11 733	10 411	11 343	13 625
偏差/%	1. 11	1. 01	-0. 10	3. 31	0. 81	-1. 67	-2. 63	2. 46	4. 49	-4. 12

表 7 造渣二期实际与预测吹炼时长对照表

对比项	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
S2 期实际时长/min	66	66	57	58	72	68	61	66	63	76
S2 期预测时长/min	67	67	57	61	73	67	60	68	66	73
偏差/%	-1. 49	-1. 49	0	-4. 92	-1. 37	1. 49	1. 67	-2. 94	-4. 55	4. 11

3.3 造铜期数据分析

铜钼吹炼造渣反应完成后剩余大量白铜钼(Cu₂S),结合添加冷铜信息作为造铜期的数据分析基础。由表 8 可知,预测的用氧量较实际用氧量正偏差居多,少数炉次预测准确,但波动较大,其中最

高偏差达 6. 92%。从表 9 可以看出,B 期整体吹炼时长较长(超过 S1 和 S2 之和),预测吹炼时长同样表现为正偏差居多,10 炉次中仅 1 炉次表现为过吹,起到了良好的预警作用。

表 8 造铜期实际与预测用氧对照表

	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
B 期实际用氧/Nm ³	40 758	37 073	39 606	40 726	37 739	39 865	41 717	37 333	37 570	40 088
B 期预测用氧/Nm ³	40 758	36 740	41 191	39 992	39 097	39 546	41 717	37 856	34 970	38 845
偏差/%	0	0. 91	-3. 85	1. 83	-3. 47	0. 81	0	-1. 38	6. 92	3. 20

表 9 造铜期实际与预测吹炼时长对照表

	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
B 期实际时长/min	202	212	213	217	222	205	210	229	213	197
B 期预测时长/min	201	207	206	216	229	201	210	223	199	189
偏差/%	0. 50	2. 42	3. 40	0. 46	-3. 06	1. 99	0. 00	2. 69	6. 92	4. 23

4 仿真误差处理

铜钼吹炼结束后对白铜钼(Cu₂S)中残留的 Fe

含量进行分析化验,其结果见表 10、表 11,S1 期 Cu₂S 中 Fe 含量在 2. 41% ~4. 78% 范围内,S2 期 Cu₂S 中 Fe 含量在 0. 63% ~3. 44% 范围内。

表 10 S1 期仿真误差修正参数

分析项	11 [#]	12 [#]	13 [#]	14 [#]	15 [#]	16 [#]	17 [#]	18 [#]	19 [#]	20 [#]
S1 期氧气利用率/%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cu ₂ S 中 Fe 含量/%	2. 41	2. 98	4. 78	4. 18	2. 83	4. 13	2. 57	4. 02	2. 71	3. 16

表 11 S2 期仿真误差修正参数

分析项	11 [#]	12 [#]	13 [#]	14 [#]	15 [#]	16 [#]	17 [#]	18 [#]	19 [#]	20 [#]
S2 期氧气利用率/%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cu ₂ S 中 Fe 含量/%	3. 44	3. 1	2. 1	2. 28	3. 06	3. 11	0. 63	2. 7	2. 27	0. 73

铜钼吹炼结束后对粗铜中 S 含量进行分析化验,其结果如表 12 所示,B 期粗铜中 S 含量在 0.05%~0.99% 范围内。

表 12 B 期仿真误差修正参数

分析项	11 [#]	12 [#]	13 [#]	14 [#]	15 [#]	16 [#]	17 [#]	18 [#]	19 [#]	20 [#]
B 期氧气利用率/%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
粗铜中 S 含量/%	0.05	0.37	0.27	0.91	0.78	0.66	0.99	0.06	0.7	0.11

通过求取 10 组实验数据 Cu₂S 中含 Fe 含量和粗铜中 S 含量的平均值,将 S1 期造渣终点仿真误差修正参数(Cu₂S 中 Fe 含量)设为 3.38%,S2 设为 2.34%,B 期造铜终点仿真误差修正参数(粗铜中 S 含量)设为 0.49%。修正前后的造渣一、二期和造铜期的预测结果误差如图 3~5 所示。

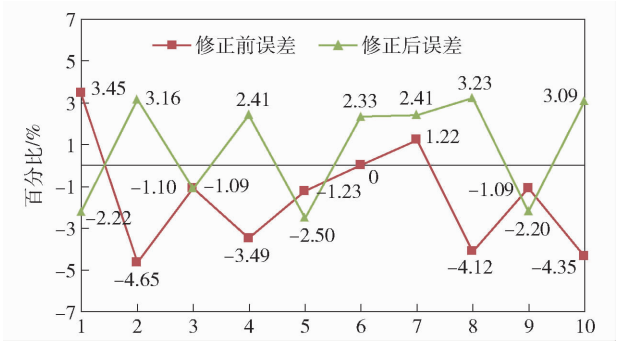


图 3 造渣一期修正前后误差对比图

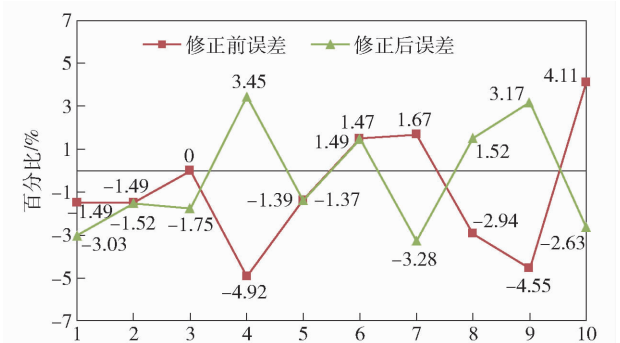


图 4 造渣二期修正前后误差对比图

通过图 3~5 造渣一期、造渣二期和造铜期修正前后误差对比图可以看出,造渣一期的偏差由 -4.65%~3.45% 缩小至 -2.50%~3.23%,造渣二期的偏差由 -4.92%~4.11% 缩小至 -3.28%~3.45%,造铜期的偏差由 -3.06%~6.92% 缩小至 -3.05%~3.29%。造渣期和造铜期终点判断值经修正后,误差范围有所缩小,判断精准度提高。以此类推,通过进一步扩大实验次数,最终获取的仿真误

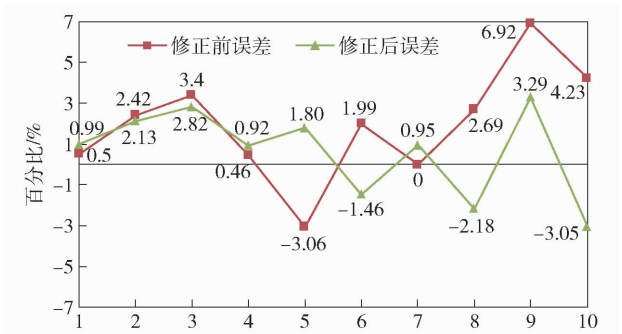


图 5 造铜期修正前后误差对比图

差修正参数会更接近生产实际值,起到的终点判断效果更好,判断精准度更高。

5 结语

转炉铜钼吹炼仿真模型结果显示,造渣期时长终点判断误差在 ±5%,造铜期时长终点判断误差在 ±7%,同时分析了白铜钼中铁含量对造渣终点判断的影响和粗铜中硫含量对造铜终点判断的影响程度,造渣期对应的 Cu₂S 中 Fe 含量在 0.63%~4.78% 范围内,造铜期对应的粗铜中 S 含量在 0.05%~0.99% 范围内。通过数据分析,S1 期仿真误差修正参数设置为 3.38%,S2 期仿真误差修正参数设置为 2.34%,B 期仿真误差修正参数设置为 0.49%。从本文造渣和造铜的终点判断结果来看,确实起到了辅导转炉铜钼吹炼的工艺操作,后期可通过大数据的积累进一步提高铜钼吹炼终点判断仿真模型判断精准度。

[参考文献]

[1] 尤佳,王绍纯,李希胜,等. 通过转炉炉口火焰纹理分析判断氧气顶吹转炉吹炼终点[J]. 北京科技大学学报,2000(6): 524~528.

[2] 刘高鹏,徐子康. 减少转炉终点判断分析系统滞后时间的方法[J]. 有色冶金设计与研究,2019,40(5): 31~33.

[3] 李明周,童长仁,黄金堤,等. 底吹炼铜工艺全流程模拟计算[J]. 过程工程学报,2016,16(6):1028~1037.

[4] 胡志坤,彭小奇,姚俊峰,等. 炼铜转炉吹炼终点预报研究

- [J]. 有色金属(冶炼部分),2000(6):7-9.
- [5] 彭小奇,胡志坤,梅炽,等. 炼铜转炉吹炼终点的神经网络和自适应残差补偿组合预报模型[J]. 控制理论与应用,2002(1):149-151.
- [6] 胡志坤,彭小奇,姚俊峰,等. 炼铜转炉吹炼终点预报研究[J]. 有色金属(冶炼部分),2000(6):7-9.
- [7] 范进军,何建平,刘奇,等. 铜终点在线监测系统对转炉吹炼终点判断的应用[J]. 有色金属(冶炼部分),2018(8):8-11.
- [8] 胡新海. 表面现象观察法在转炉操作中的应用[J]. 中国有色冶金,2004(6):29-31.
- [9] 李林山,姚能贵,金泽志,等. 温度控制对大型转炉铜钼吹炼的影响[J]. 铜业工程,2020(1):91-94.
- [10] 金泽志,李林山. 转炉铜钼智能数控吹炼技术简介[J]. 世界有色金属,2020(8):18-22.
- [11] 傅崇说. 有色冶金原理[M]. 北京:冶金工业出版社,1984.
- [12] 朱祖泽,贺家齐. 现代铜冶金学[M]. 北京:科学出版社,2003.

Simulation study on determining the end time of copper matte converting

LI Lin-shan, ZHAO Yu-juan, JIN Ze-zhi

Abstract: The end time of copper matte converting is usually determined on the basis of the status of off gas, fire, splashed matter, and detecting rods. Such determination is largely based on the operator's subjective opinion, which could lead to under-converting or over-converting. A mathematical model can be established of the whole converting process through the METCAL system using mass balance, heat balance and elemental balance. By analyzing and calculating process parameters and controlling the quantity and timing of cold charge, the end time of slagging and copper production can be determined. The paper describes in detail the process of establishing the model and treating errors; the modified simulation model indicates that the error of determining the end of the slag-forming period can be controlled within $\pm 5\%$, and that the level of Fe in Cu_2S and S in blister copper both comply with the quality requirements. Real practice has shown that the model provided useful information for determining the actual ending of copper matte converting. With growing amounts of data, the prediction accuracy of the model can be further improved.

Key words: copper matte converting; end time determination; simulation; mathematical model; error of determination; end of slag-forming period; end of blister copper production cycle

中国恩菲编著的《国际工程承包项目合同管理指南》正式出版

近日,中国恩菲编著的国际工程合同管理领域专著《国际工程承包项目合同管理指南》由冶金工业出版社正式出版。

近年来,“一带一路”倡议的提出及系列配套政策的出台,我国工程企业“走出去”的步伐不断加快。企业在国际竞争中实现自身更好成长的同时,也面临合同管理及风险防范的巨大挑战,改善和提高国际工程项目合同管理水平的需求日益迫切。

本书由中国恩菲多部门联合编写,是对多年来国际工程合同管理工作的系统总结和提炼,也是对国际工程项目履约过程中的难点、堵点、痛点的详细梳理。本书的出版是中国恩菲不断探索先进合同管理理念,及时总结、推广优秀项目管理经验,提升企业经营和风险管控水平的有力举措。

未来,中国恩菲将以本次著作出版为新起点,持续总结国际工程合同管理和项目管理经验,加强实践积累,继续为我国国际工程行业树立正确的合同管理意识、提高合同管理水平做出积极贡献,助力行业持续发展。

(资料来源:中国恩菲官网)