

LF-VD-CC 过程中钢液温度控制模型

李 晶¹⁾ 傅 杰¹⁾ 王 平¹⁾ 毕其富²⁾ 王贵芝²⁾ 黄成钢²⁾

1) 北京科技大学冶金学院, 北京, 100083 2) 大冶特殊钢股份有限公司

摘要 在分析LF-VD-CC 过程各阶段热平衡状况的基础上, 开发了LF-VD-CC 过程中钢液温度控制模型. 用该模型模拟计算了LF-VD-CC 过程的温度变化. 结果表明, 该模型对预报过程钢水温度, 计算的命中率较高, 可用于工业生产.

关键词 LF; VD; 钢液; 温度控制; 模型

分类号 TF769.2

“八五”期间, 为发展我国的电炉钢生产及炉外精炼技术, 国务院生产办组织了“炉外精炼一条龙重大科技攻关项目”, “钢包精炼炉”精炼过程热平衡模型的研究是其中的一个子课题. 本文是对大冶钢厂LF-VD-CC 生产实现工艺过程温度的目标控制, 以满足连铸对钢液温度的严格要求并达到节能降耗的目的.

1 大冶钢厂LF-VD-CC 生产工艺简介

大冶钢厂LF-VD-CC 生产工艺如图1 所示.

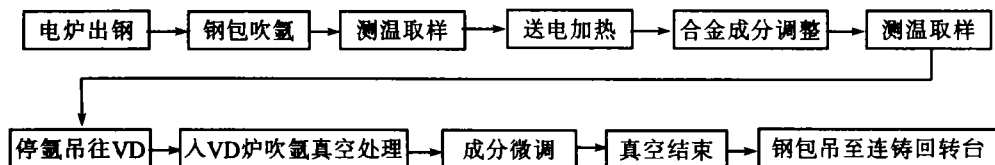


图1 大冶钢厂LF-VD-CC生产工艺简图

2 LF-VD-CC 热平衡模型

钢包处理的目的是为了满足连铸对钢水温度和成分的要求, 处理过程的温度控制就是要尽量满足连铸台钢水温度的要求. 在钢水成分、钢量、渣量已知的条件下, 加热过程的供电功率、真空时间是达到对LF-VD-CC 过程钢水温度控制的最基本控制因素.

过程起点: 钢包入LF 炉的加热工位第1 次测温. 过程终点: 钢包到达连铸台.

2.1 LF 过程钢包热平衡

LF 炉热平衡范围(研究体系的边界): 钢包炉炉体外壳、炉盖外壳和电极.

(1) 热支出项.

1) 炉体表面散热(Q_{LT}). 包括炉体表面的幅射和对流散热. 由于炉体各部位表面热流不相等, 应分部计算, 然后累加.

2) 炉体耐火材料的蓄热(Q_{LR}). 按炉内不同材质分别计算耐火材料的蓄热量, 然后求和. 同时还要考虑钢包使用次数不同造成的影响因素. 包衬耐火材料温度及包壁温度由二维不稳态传热模型算出.

3) 烟气、烟尘带走的热量(Q_{LG}). 冶炼过程加料及加料后产生的化学反应, 以及混入空气产生的烟尘和烟气, 这两者带出一部分热量.

4) 氩气带走的热量(Q_{LAR}). 氩气由钢包底部的透气砖吹入钢水中, 在溢出钢水之前是一个吸热升温过程.

5) 炉盖冷却水带走的热量(Q_{LW}). 由多条水路组成的水冷炉盖, 每条水路进出口水温差不相等, 分别计算后累加.

6) 电弧热量损失(Q_{LA}). 显露于钢液面上的电弧长度是造成弧功率损失的主要原因^[1], 使弧功率不能完全用来加热.

把以上6项归为热损失项, 则 Q_{out} 为:

$$Q_{out} = Q_{LT} + Q_{LR} + Q_{LG} + Q_{LAR} + Q_{LW} + Q_{LA}.$$

(2) 热收入项.

1) 电极供热(Q_{EI}). LF炉热主要由电极电弧供热.

2) 炉渣的形成热(Q_{SI}). 基于脱S和吸收夹杂的目的, 在LF冶炼过程中要加入渣料, 主要为CaO, CaF₂及脱S剂(即CaO90%, CaF₂10%), 在形成炉渣过程中放出的热.

以上2项归为热收入项(Q_{in}), 则 Q_{in} 为:

$$Q_{in} = Q_{EI} + Q_{SI}.$$

(3) 合金加入引起的热量变化 Q_{ay} .

合金加入到钢液后, 首先是吸热升温并进行相变, 这是个物理吸热过程; 之后合金中元素溶于钢水中并与钢液中元素发生化学反应, 视不同的合金, 产生吸热或放热. 这样加入的合金有可能吸热, 使熔池温度降低; 也有可能放热, 使熔池温度升高. 但是在精炼过程中所进行的化学反应不强烈, 其热效应占总热量的比例很小, 有时可忽略不计^[2]. 因而加入合金时一般只考虑其物理过程. 一般认为, 加入合金是用来化学加热和脱氧时, 温度变化为正, 其他情况温度变化为负.

(4) 钢水及渣的蓄热量.

在LF炉内, 由于氩气的搅拌, 钢-渣间具有良好的传热条件, 可认为钢、渣温度相等, 故单位时间内钢渣蓄热量为:

$$Q_d = (G_{ST} \cdot c_{ST} + G_{SL} \cdot c_{SL}) \cdot (T_{end} - T_{in}),$$

式中: G_{ST} 为钢水质量, kg; c_{ST} 为钢水平均的比热容, 840 J/(min · kg · K)^[4]; G_{SL} 为渣的质量, kg; c_{SL} 为渣的平均比热容, 一般取2 090 J/(min · kg · K)^[3]; T_{in} 为前一时刻钢水温度, K; T_{end} 为后一时刻钢水温度, K.

(5) 系统热平衡.

$$Q_{tl} = Q_{in} - Q_{out} \mp Q_{ay}$$

整理, 得:

$$T_{\text{end}} = T_{\text{ini}} + \frac{Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} \mp Q_{\text{ay}}}{(G_{\text{ST}} \cdot c_{\text{ST}} + G_{\text{SL}} \cdot c_{\text{SL}})},$$

此式即为计算LF炉内钢液某时刻温度值的理论表达式。

2.2 LF-VD 过程钢包热平衡

LF-VD 过程钢包热平衡范围(研究体系的边界): 钢包炉炉体外壳和渣表面。

(1) 热支出项:

1) 炉体表面散热(Q_{LT}); 2) 炉体耐火材料的蓄热(Q_{LR}); 3) 渣表面的辐射散热(Q_{ra}); 4) 渣表面对流散热(Q_{CO})。

由以上4式可得总热支出项为:

$$Q_{\text{out}} = Q_{\text{LT}} + Q_{\text{LR}} + Q_{\text{ra}} + Q_{\text{CO}}.$$

(2) 热收入项:

$$Q_{\text{in}} = 0.$$

(3) LF-VD 过程热平衡:

$$Q_{\text{in}} = Q_{\text{out}} + Q_{\text{ST}} + Q_{\text{SL}},$$

此过程中钢水温度和渣温度相差较大。

2.3 VD 过程钢包热平衡

VD 过程钢包热平衡范围(研究体系的边界): 钢包炉炉体外壳, 渣表面。

(1) 热支出项:

1) 炉体表面散热(Q_{LT}); 2) 炉体耐火材料的蓄热(Q_{LR}); 3) 渣表面的辐射散热(Q_{ra}); 4) 渣表面对流散热(Q_{CO}); 5) 氩气带走的热量(Q_{LAr})。

VD 过程总热损失为:

$$Q_{\text{out}} = Q_{\text{LT}} + Q_{\text{LR}} + Q_{\text{ra}} + Q_{\text{CO}} + Q_{\text{LAr}}.$$

(2) 热收入项:

$$Q_{\text{in}} = 0.$$

(3) VD 过程热平衡:

$$Q_{\text{in}} = Q_{\text{out}} + Q_{\text{il}}.$$

将单位时间内钢渣蓄热量代入, 并整理得:

$$T_{\text{end}} = T_{\text{ini}} + \frac{-Q_{\text{out}}}{(G_{\text{ST}} \cdot c_{\text{ST}} + G_{\text{SL}} \cdot c_{\text{SL}})},$$

此式即为计算VD过程钢液某时刻温度值的理论表达式。

2.4 VD-CC 过程钢包热平衡

VD-CC 过程的热平衡同LF-VD 过程。

3 LF-VD-CC 过程温度控制模型的计算

在现场做了大量的实验研究, 避开了不可测参数对模型的影响, 开发了在现有设备上温度控制的模块化程序。程序框图略。此应用程序可在不与基础自动化连接的条件下, 模拟LF-VD-CC冶炼过程, 显示熔池温度变化, 对不需真空处理的钢种也可单独模拟LF冶炼过程, 报告温度变化。

(1) 模型计算中输入参数, 包括: 钢种; 入LF炉钢水重量及熔渣重量; 钢包入LF加热工位

第1次测温值;合金加入量;合金收得率;吹氩量;弧功率.

(2)模型输出参数.它包括:时间,钢水温度.

4 LF-VD-CC 模型计算结果

在温度不校正的情况下模拟了几10炉LF-VD-CC过程的温度变化.表1炉号为67D1268现场测量值与模型计算值;图2模拟计算了炉号为67D1268生产过程温度变化情况,同时与现场测量值进行了比较.

表1 炉号为67D1268温度测量值与模型计算值

测温时间(时:分)	14:17	14:45	15:04	15:11	15:21	15:46	16:37
工位	(LF)	(LF)	(LF)	(LF)	(LF)	(VD)	(VD)
测量值/℃	1 527.0	1 536.0	1 536.0	1 601.0	1 591.5	1 569.0	1 492.0
计算值/℃	1 527.0	1 531.7	1 588.8	1 600.7	1 591.9	1 566.4	1 490.9

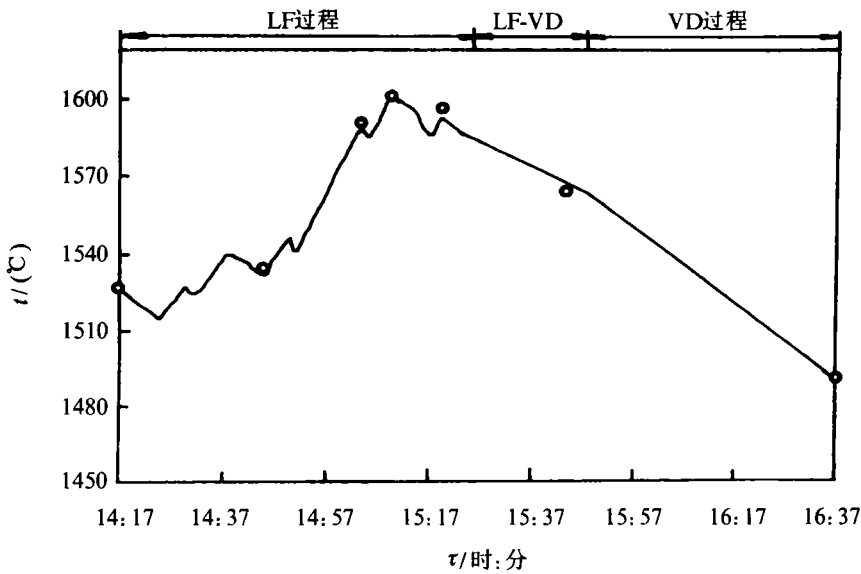


图2 现场测量值与计算值比较
曲线—模拟计算结果;圆点—实测值

5 结论

- (1)模型计算命中率较高,误差基本在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内,可在工业生产中推广.
- (2)降低吨钢成本,提高钢水质量.通过钢水温度的预报,可减少测温枪的使用,缩短LF炉冶炼的时间;可避免钢水过分加热,不必要地消耗电能;同时测温次数减少,有利于减少热量损失,从而达到节电的目的.
- (3)通过钢水温度的预报,可有效地控制钢包出真空罐的时间,延长氩气弱搅拌时间,促进夹杂的上浮去除.

参 考 文 献

- 1 徐增启主编.炉外精炼.北京:冶金工业出版社,1994
- 2 蒋国昌著.纯净钢及二次精炼.上海:上海科学技术出版社,199
- 3 彼格子耶夫 A M 著.炼钢过程的数学描述与计算.宗联枝译.北京:冶金工业出版社,1988

Liquid Steel Temperature Control Model of LF-VD-CC Process

*Li Jing*¹⁾ *Fu Jie*¹⁾ *Wang Ping*¹⁾ *Bi Qifu*²⁾ *Wang Guizhi*²⁾ *Huang Chenggang*²⁾

1)Metallurgy School, UST Beijing, BeiJing 100083, China 2)Daye Speciaial Steel Corp Ltd

ABSTRACT Base on the analysis of heat balance of LF-VD-CC process, the liquid steel temperature control model has been developed. The results of simulated calculation melt temperature in LF-VD-CC process show that the liquid steel temperature control model has high hitting ratio for predicting the process temperature .

KEY WORDS LF; VD; liquid steel; temperature control; model

One-Dimensional Fractal Curves and Fractal Dimension Determination

Qikai Li, Yue Zhang, Wuyang Chu

Applied Science School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT Various methods for evaluating the fractal curves were reviewed and silated on computer. It is shown box-counting and power spectrum methods generally give poor measuring results, while yard and variation methods could obtain good results. However, owing to multiple influencing factors, further study needs to be done before widespread application of variation method. In order to improve the measuring accuracy of yard method, a new method has been proposed to measure the fractal dimension by changing the instrumental resolutions.

KEY WARDS fractal; fractal dimension; computer simulation

(from: *Journal of University of Science and Technology Beijing (English Edition)*, 1998, 5(3): 165)