

转炉提钒静态模型及应用

尹锡军

(昆明理工大学)

【摘要】 运用数理统计的方法以及基于最小二乘法的多元线性回归方法对攀钢转炉提钒生产工艺参数进行优化,通过数据分析,建立了攀钢转炉提钒生产的静态模型,经现场生产验证,该模型指导下的生产具有易于控制、稳定性好的特点,具有良好的应用前景。

【关键词】 转炉提钒 静态模型 应用

STUDY ON THE STATIC MODEL OF V-RECOVERING WITH THE CONVERTER AND ITS APPLICATION

Yin Xijun

(Kunming University of Science and Technology)

[Abstract] Both the mathematics statistics method and the multiple linear regression based on least-absolute-residuals estimates are used in optimizing the parameters of the process of Pansteel's V-recovering. Through the data mining, the static model is established. With its application, the process control of V-recovering becomes more controllable and steady. This shows that the model has good prospect in practice.

[Key words] V-recovering with converter, the static model, application

攀钢雾化提钒自1995年改为转炉提钒后,经过多年的系统研究,不断开发和优化相关工艺技术,初步建立起一整套转炉提钒工艺制度,能够生产出优质的钒渣和半钢,基本理顺了前部脱硫工序与后段炼钢工序的匹配、衔接^[1]。但目前的转炉提钒为人工操作模式,自动化控制水平低。近几年的转炉提钒也证明,凭经验、凭感觉提钒的生产方式是导致钒渣质量、半钢质量波动大的主要原因之一,因而有必要改变目前的转炉提钒操作模式。

随着计算机技术的发展,数学控制模型的应用也越来越广泛。数学模型能定量地描述系统运动的规律,对科学研究和指导生产都具有非常重要的意义。目前,在炼铁、炼钢的许多生产环节建立了数学控制模型,将传统的经验控制模式转变为科学指导模式,并且取得了相当好的应用效果。因此,对转炉提钒实行静态模型控制,使实践经验上升为具体的理论分析,减少人为因素,从而达到稳定提钒技术指

标、提高提钒技术水平的目的。

1 转炉提钒静态模型的建立

1.1 建立转炉提钒静态模型的基本条件

攀钢采用地面撇渣器撇渣的铁水进行提钒。提钒过程中添加生铁块、复合球以及铁矿石作提钒冷却剂,原料来源和工艺制度相对稳定,影响转炉提钒的因素相对较少,这些为模型建立创造了条件、奠定了基础。

1) 提钒转炉铁水装入量情况

攀钢提钒用铁水是经过地面撇渣器处理后的铁水,由于生产节奏等一些限制性因素,有时撇渣过程中没有组罐,使铁水装入量有一定波动,一般波动范围在90~130 t间。

2) 提钒工艺制度规范,冷却剂成份相对稳定

攀钢建立转炉提钒后,经过多年的系统攻关,建立起了一套比较完善的提钒制度。冷却剂采用生铁

块和复合型冷却剂,其化学成份相对稳定。生铁块及复合球成份见表 1、表 2。

表 1 生铁块化学成份 (%)

C	Si	Mn	V	S	P
4.31	0.10	0.26	0.324	0.05	0.059

表 2 复合球化学成份 (%)

CaO	TFe	S
<0.5	>60	<0.08

(3) 提钒供氧强度稳定

攀钢转炉提钒实际工作中的供氧压力和供氧流量比较稳定。通过对 1998 年 10 月至 1999 年 3 月期间的提钒生产数据建立数据库,并对其中的吹氧量与吹氧时间进行线性回归,得出供氧时间与时间的数学关系式:

$$V_{O_2} = 264.13 t \quad r = 0.87 \quad n = 526 \quad (1)$$

式中 V_{O_2} ——耗氧量, Nm^3 ;

t ——吹氧时间, min;

从式(1)中知,相关系数达到 0.87,进一步说明提钒过程氧压和氧气流量稳定,因此,在提钒静态模型建立中可将供氧量转化为更为直观的供氧时间累积,简化转炉提钒控制。

(4) 铁水带渣量稳定

随着撇渣工艺的研究及完善,现行地面撇渣技术也达到了较高水平,减少了进入提钒炉内的脱渣渣或高炉渣的数量,减轻了渣对氧气与铁水的接触面影响,同样对建模有利。上述条件减少了转炉提钒过程的负面影响因素,为转炉提钒静态模型的建立奠定了前提条件。

1.2 转炉提钒静态模型的建立

1.2.1 建立转炉提钒静态模型的思路

建立转炉提钒静态模型的目标是在提钒过程中尽量减少碳的烧损,同时降低半钢残钒、提高钒渣品位,从而达到稳定提钒技术指标、提高提钒技术水平。建立转炉提钒静态模型的关键是在控制好枪位的前提下,控制好冷却剂加入量和吹氧时间,使提钒过程在有利于钒的氧化温度范围内进行。

本提钒静态模型采用的是目前建模普通使用的“黑箱”原理,只作用于系统上的若干输入和输出的关系,而不需要弄清系统的内部机理。它根据试验结果,采用数理统计方法来建立数学模型,属于经验模型类,模型中的参数没有明确的物理意义^[2~4]。

由于影响转炉提钒的因素较多,因此需要对转

炉提钒过程的一些变化不大且易于实现的因素进行量化和固化,忽略一些影响较小的因素,使模型在实际操作中简单易行。提钒过程中主要耗氧元素是 C 和 Fe,铁水中的 Si、Mn、V、Ti、P 等元素含量少,因此在实际建模中忽略其耗氧,同时对实际操作中易于实现的氧枪枪位和氧压进行了量化处理。氧压控制在 0.72~0.75 MPa。枪位控制如下:

提钒初期(0~1 min):1.4 m~1.5 m;

提钒中期:1.8~1.9 m;

提钒后期(提钒结束前 1 min 内):1.4 m~1.5 m。

1.2.2 转炉提钒静态模型的建立

首先建立提钒生产数据库,数据来源为 1998 年 10 月到 1999 年 3 月时期内具有半钢余钒数据的共 1500 多炉生产数据,然后对数据零滤波和优选处理,再用数理统计方法和基于最小二乘法原理的常规多元回归方法对数据库进行统计分析,得到回归关系式,再与理论和实际相结合,形成了以铁水装水量、铁水温度和铁水碳含量为参数的静态数学模型。

转炉提钒控制的关键是控制好枪位、供氧时间和冷却剂加入量,由于枪位已量化处理,因此实际建模中将转炉提钒静态模型分解为两个子模型:吹氧时间模型和冷却剂加料模型。

吹氧时间模型为:

$$t = 0.0221 W_{\text{铁}} + 0.0046 C_{\text{铁}} - 0.00487 T_{\text{铁}} + 6.45 \quad (2)$$

式(2)中 t ——吹氧时间, min;

$W_{\text{铁}}$ ——铁水重量, t;

$T_{\text{铁}}$ ——铁水温度, $^{\circ}C$;

$C_{\text{铁}}$ ——铁水碳含量, $[\%C] \times 10^2$;

冷却剂加料模型为:

$$W_{\text{复合球}} = 16.2 W_{\text{铁}} + 13 C_{\text{铁}} + 9.34 T_{\text{铁}} - W_{\text{其他冷却剂}} / \alpha - 17981.5 \quad (3)$$

式(3)中 $W_{\text{复合球}}$ ——提钒所需冷却剂重量, kg;

$W_{\text{铁}}$ ——铁水重量, t;

$T_{\text{铁}}$ ——铁水温度, $^{\circ}C$;

$C_{\text{铁}}$ ——铁水碳含量, $[\%C] \times 10^2$;

$W_{\text{其他冷却剂}}$ ——其他冷却剂加入重量(赋初值 0), kg;

α ——冷却系数。

模型的适用范围(实际操作中低于或高于上下限的按上下限处理):

铁水量:90~130 t;铁水温度:1220~1300 ℃;
铁水碳含量:4.20 %~4.50 %

验证试验在炼钢厂提钒炉上进行,提钒过程中添加生铁块+复合球或复合球作提钒冷却剂。试验过程的吹氧时间及冷却剂加入量由模型计算后给出,模型中需要的铁水量、铁水碳含量由前段工序给出,铁水温度现场测定。试验条件及参数见表 3。

2 转炉提钒静态模型验证试验

2.1 试验条件及参数

表 3 提钒试验条件及参数

铁水量(t)	铁水[C] (%)	铁水[V] (%)	铁水[Si] (%)	铁水温度(℃)	氧压(MPa)
90~130	3.9~4.8	0.222~0.366	0.06~0.28	1206~1314	0.72~0.73

2.2 生铁块配加复合球作提钒冷却剂验证试验

试验用冷却剂的加入方法为:开吹前加 5 t 生铁块,开吹后 1~3 min 内加入模型计算出的复合球冷却剂。试验结果见表 4。

2.2.1 提钒效果

表 4 转炉提钒试验技术指标

试验	半钢[V] (%)	钒氧化率 (%)	半钢[C] (%)	碳氧化率 (%)	半钢温度(℃)	样本数
第一轮	$\frac{0.029}{0.019\sim 0.043}$	$\frac{87.1}{81.7\sim 91.0}$	$\frac{3.674}{3.523\sim 3.812}$	$\frac{19.1}{16.4\sim 21.7}$	$\frac{1354}{1323\sim 1396}$	12
第二轮	$\frac{0.042}{0.02\sim 0.058}$	$\frac{83.2}{77.0\sim 90.1}$	$\frac{3.707}{3.155\sim 3.969}$	$\frac{19.1}{12.3\sim 27.6}$	$\frac{1353}{1329\sim 1380}$	14

从表 4 可以看出,第一轮试验中 3 个主要提钒技术指标半钢[V]和半钢[C]两项指标较好,均达到生产要求(半钢[V] ≤ 0.05 %,半钢[C] ≥ 3.40 %),其平均值分别为 0.029 %和 3.674 %,取得了较好的控制水平;半钢温度平均为 1354 ℃。

第二轮试验中的半钢[V]和半钢[C]的平均值分别为 0.042 %和 3.707 %,半钢温度平均为 1353 ℃,波动较第一次小。

2.2.2 钒渣质量

试验中所取钒渣样均为炉样,其成份见表 5。

表 5 钒渣成份 (%)

试验	CaO	V ₂ O ₅	SiO ₂	TFe	P
第一轮	$\frac{1.67}{1.06\sim 2.30}$	$\frac{20.57}{17.89\sim 22.54}$	$\frac{13.7}{11.6\sim 14.8}$	$\frac{29.13}{26.23\sim 32.06}$	$\frac{0.066}{0.047\sim 0.076}$
第二轮	$\frac{1.20}{0.60\sim 2.02}$	$\frac{23.12}{22.24\sim 23.68}$	$\frac{13.0}{12.6\sim 13.3}$	$\frac{28.52}{27.8\sim 29.47}$	$\frac{0.035}{0.029\sim 0.038}$

从表 5 中可以看出,第一轮试验钒渣品位平均为 20.57 %,第二轮试验钒渣品位平均达到 23.12 %,所有钒渣炉样只有一炉低于 18.5 %外,命中率为 88.9 %,TFe 含量第二轮较第一轮试验低,为 28.52 %。

2.3 全复合球作提钒冷却剂验证试验

2.3.1 提钒效果

试验用冷却剂全部采用复合球,试验结果见表 6。

表 6 转炉提钒试验技术指标

半钢[V] (%)	钒氧化率 (%)	半钢[C] (%)	碳氧化率 (%)	半钢温度(℃)	样本数
$\frac{0.037}{0.019\sim 0.058}$	$\frac{86.0}{77.1\sim 94.4}$	$\frac{3.783}{3.384\sim 4.056}$	$\frac{16.6}{9.6\sim 23.9}$	$\frac{1381}{1346\sim 1416}$	37

从表 6 可以看出,3 个主要提钒技术指标均较好,半钢[V]、半钢[C]和半钢温度分别为 0.037 %、

3.783 %和 1381 ℃,均符合生产要求,取得了相当好的试验效果。

2.3.2 钒渣质量

表7 钒渣成份(%)

CaO	V ₂ O ₅	SiO ₂	TFe	P	样本数
$\frac{1.62}{0.63\sim 3.73}$	$\frac{20.81}{18.59\sim 23.81}$	$\frac{13.74}{11.79\sim 15.60}$	$\frac{28.7}{26.2\sim 31.0}$	$\frac{0.040}{0.016\sim 0.059}$	37

从表7结果可以看出,钒渣品位最小的达到18.59%,平均值达到20.81%,全部合格,TFe含量平均为28.7%。

2.4 半钢碳、半钢钒和半钢温度分布情况

为进一步考察验证试验的提钒效果,数据处理中对3次试验的半钢碳、半钢钒和半钢温度分布进行了统计分析。

第一轮试验中半钢碳、半钢钒和半钢温度的命中率分别为100%、100%和81.2%(第一轮、第二轮试验中半钢温度要求 $\geq 1340^{\circ}\text{C}$,全复合球试验中要求半钢温度 $\geq 1360^{\circ}\text{C}$),综合命中率81.2%;第二轮试验中3项指标的命中率分别为85.7%、92.9%和85.7%,综合命中率为78.6%;全复合球试验中的3项指标的命中率分别为90.3%、96.8%和85.3%,综合命中率达到79.3%,均取得了较高的控制水平。

2.5 结果分析

转炉提钒静态模型验证试验结果表明,无论是采用生铁块+复合球作提钒冷却剂,还是采用全复合球作提钒冷却剂,单项指标的命中率均在85%以上,综合命中率近80%。该模型指导下的提钒生产表现出了稳定性好、指标水平高等特点,达到了最初建立该模型的目的,具有较强的生产适应性。

3 存在问题及建议

1) 由于提钒模型是在大量生产数据和理论基

础上建立起来的,因此就需要模型所需的参数应该是相对准确,但由于生产上的原因,提钒模型所需的两个重要参数铁水量和铁水碳含量均只是估计值。随着工艺改进,模型将表现出更好的适应性。

2) 试验中枪位操作有一定随意性,不同操作工存在不同的操作方式,建议将枪位模式改为自动控制,减少人为因素带来的影响。

4 结论

1) 转炉提钒静态模型,改变了传统的靠个人操作经验进行操作的方法和理念,将经验控制模式转变为模型指导模式,大大减轻了人为因素的影响。所建立的吹氧时间模型和冷却剂加料模型指导下的提钒生产具有易于控制、稳定性好的特点,具有良好的应用前景。

2) 在攀钢现行转炉提钒工艺制度下,使用该模型指导生产,提钒后半钢碳、半钢钒和半钢温度的命中率达到85%以上,综合命中率近80%。

参考文献

1. 戈文荪等. 攀钢转炉提钒工艺的开发与优化. 钢铁, 1999(10), 327~330
2. 汪锡孝. 试验研究方法. 湖南科学技术出版社, 1988
3. 陈希孺等. 近代实用回归分析. 广西人民出版社, 1984
4. 潘德惠. 数学模型的统计方法. 辽宁科学技术出版社, 1986

收稿日期:2006.1.4