

# 熔渣脱氮动力学模型

徐学禄 赵沛 成国光\* 王林英

北京科技大学冶金系 100083

**摘要** 在熔渣脱氮动力学实验的基础上,利用双膜传质理论建立了相应的数学模型,根据该模型可预测熔渣脱氮的反应进程,并可通过分析模型的数学表达式得出进一步提高熔渣脱氮效果的措施和加速脱氮反应的途径。

**关键词** 炉渣,脱氮,动力学,模型

## Kinetic Model of Nitrogen Removal by Fluxes

*Xu Xuelu Zhao Pei Cheng Guoguang Wang Linying*

Dept. of Metallurgy, University of Science and Technology, Beijing 100083

**ABSTRACT** Started from the kinetic experiments of nitrogen removal by fluxes and the mass transfer theory of double film a mathematical model of nitrogen removal has been developed. Based on the model, the removal process of nitrogen can be predicted and the methods increasing the effect and rate of nitrogen removal by fluxes can be obtained.

**KEY WORDS** slag, nitrogen removal, kinetics, model

目前有关熔渣脱氮的研究主要集中于一些渣系的热力学方面,即氮在渣中的存在形式和结构,渣的氮容量和氮在渣钢之间的平衡分配比,有关熔渣脱氮动力学的研究则较少。已有的文献<sup>[1,2,3]</sup>均认为利用高氮容量的渣系来脱除钢液中的氮时,脱氮的限制性环节为氮在钢液中的传质,由此推导出了氮在钢液中的传质系数。但熔渣脱氮的模型研究还很少见。

本文在熔渣脱氮动力学实验的基础上,利用双膜传质理论建立了熔渣脱氮动力学模型。

## 1 熔渣脱氮动力学实验的主要结果

熔渣脱氮动力学实验是在多功能真空感应炉上进行的,使用的渣系是高氮容量的渣,组

\* 1995-04-30 收稿

成为 50% SiO<sub>2</sub>-10% TiO<sub>2</sub>-40% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，通过分析实验数据可以得到以下主要结果。

### 1.1 熔渣的脱氮效果

图 1 是 66.7Pa 真空度和 1600°C 条件下熔渣脱氮的实验结果。从曲线可以看出，该熔渣脱氮效果明显。

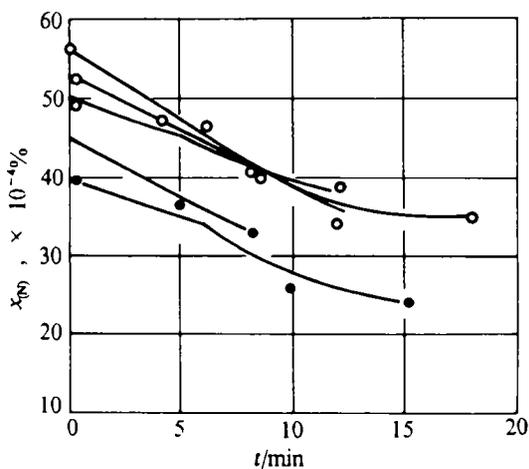


图 1 1873K 66.7Pa 真空度下试验熔渣的脱氮曲线

### 1.2 钢液中铝含量对熔渣脱氮的影响

熔渣脱氮的离子反应式为：



氮容量的定义式为：

$$c_{N^{3-}} = \frac{k_1 \cdot a_{O^{2-}}^{3/2}}{f_{N^{3-}}} = \frac{x_{[N]} \cdot a_{[O]}^{3/2}}{f_{[N]} \cdot x_{[N]}} \quad (2)$$

氮容量只与渣的组成和温度有关，它能准确地反映熔渣溶解和固定氮的能力。

渣钢之间氮的的分配比可由下式表示：

$$L_N = \frac{x_{[N]}}{x_{[N]}} = \frac{c_{N^{3-}} \cdot f_{N^{3-}}}{a_{[O]}^{3/2}} \quad (3)$$

由 (3) 式可知，氮在渣钢之间的分配比随渣氮容量的增加而增加，随钢液中的氧位升高而下降。当渣的组成和温度一定时，氮容量一定，氮的分配比受氧位控制。

钢液中的铝含量能有效地控制氧位。图 2 是钢液中铝含量对氮在渣钢间平衡分配比的实验关系曲线，可以看出，铝含量越高，则氮在渣钢间的平衡分配比越大。

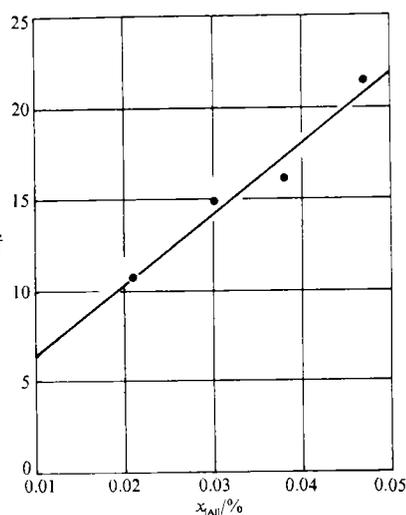


图 2  $L_N$  与  $x_{[Al]}$  实验关系曲线

### 1.3 熔渣脱氮反应的限制性环节

由双膜传质理论，方程式 (1) 描述的熔渣脱氮反应可分为 5 个步骤：(1) 渣中 (O<sup>2-</sup>) 向钢渣界面传质；(2) 钢液中 [N] 向钢渣界面传质；(3) [N] 和 (O<sup>2-</sup>)

在渣钢界面发生化学反应；(4) 生成的 (N<sup>3-</sup>) 向渣液扩散；(5) 生成的 [O] 向钢液扩散。

文献 [1~3] 及作者 [4] 的关于熔渣脱氮的限制性环节研究结果表明，氮在钢液中的扩散是整个熔渣脱氮反应的限速环节。氮在钢液中传质的速度方程也即整个熔渣脱氮反应的速度方程为：

$$\frac{dx_{[N]}}{dt} = - \frac{A}{V} k_{[N]} \{x_{[N]} - x'_{[N]}\} \quad (4)$$

式中： $k_{[N]}$  为氮在钢液中传质系数； $A$ 、 $V$  分别为钢渣有效接触面积和钢液体积； $x_{[N]} - x'_{[N]}$

分别为氮在钢液体内和氮在钢渣界面的浓度.

假定氮在渣钢间的平衡分配比为  $L_N$ , 则  $L_N = x'_{(N)}/x_{[N]}$

而  $x'_{(N)} = x_{[N]}$

所以  $x'_{[N]} = x_{(N)}/L_N$  (5)

(5) 式代入 (4), 得:  $\frac{dx_{[N]}}{dt} = -\frac{A}{V}k_{[N]}(x_{[N]} - x_{(N)}/L_N)$  (6)

## 2 熔渣脱氮动力学模型的建立

### 2.1 模型建立的几个基本条件和假定

1) 熔渣脱氮反应符合双膜传质理论;

2) 熔渣脱氮体系即渣—钢体系不与外界发生氮的交换传递, 钢中氮只从钢液进入渣相, 渣中氮能够稳定地存在;

3) 氮与氧的传质方向相反, 传质的动力是氮与氧在体内与界面上的摩尔浓度差, 渣液与金属液内的成分是均匀的;

4) 熔渣脱氮反应的限制性环节为氮在钢液中的传质, 整个反应的速度方程表达式为 (6) 式.

### 2.2 模型的建立

根据质量守恒原理, 任一时刻渣中氮浓度为:

$$x_{(N)} = x_{(N)_0} + (x_{[N]_0} - x_{[N]})Q \quad (7)$$

式中:  $Q$  为钢液与渣液质量之比;  $x_{[N]_0}$ 、 $x_{(N)_0}$  分别为反应初始时刻钢液与渣液内的氮浓度;  $x_{[N]}$ 、 $x_{(N)}$  分别为任一时刻钢液与渣液内的氮浓度, 浓度单位均为 %.

将 (7) 式代入 (6) 式并整理得:

$$\frac{dx_{[N]}}{x_{[N]}(1 + Q/L_N) - (x_{[N]_0} + x_{[N]_0}Q)/L_N} = -\frac{A}{V}k_{[N]}dt \quad (8)$$

将 (8) 式两边从 0 到  $t$  时刻积分整理有:

$$x_{[N]} = \frac{x_{[N]_0}L_N - x_{(N)_0}}{L_N + Q}e^{-\frac{A}{V}kt} + \frac{x_{(N)_0} + x_{[N]_0}Q}{L_N + Q} \quad (9)$$

(9) 式即为熔渣脱氮动力学反应模型的数学表达式.

## 3 模型的分析讨论和验证

### 3.1 模型的分析讨论

分析表达式 (9) 可知: 对于一个选定的反应体系, 当钢液和渣液的初始含量不变, 钢渣比一定时, 钢中氮含量变化取决于氮在渣钢间的平衡分配比和传质系数的大小.

钢中氮被脱除的水平和限度由 (9) 式右边的第二项表示, 即.

平衡分配比  $L_N$  值愈大, 该值愈小, 熔渣脱氮的程度愈高,  $L_N$  值愈小, 该值愈大, 脱氮程度就愈低. 趋于极限氮含量的速度由(9)式中右边的第一项表示, 即  $[(x_{[N]_0} L_N - x_{(N)_0}) / (L_N + Q)] \cdot e^{-Akt/V}$ .

传质系数  $k$  值愈大, 则该值越小, 表明反应速度愈快,  $k$  值愈大, 则反应速度愈慢.

因此熔渣脱氮的关键在于选取高氮平衡分配比的渣系和改善脱氮动力学条件, 加速氮的传质过程.

由(3)式及动力学实验结果, 高氮平衡分配比有赖于选取高氮容量的渣系及采用较高的钢液铝含量来尽可能地将钢液的氧位控制得低一些.

### 3.2 模型的验证

图3是不同实验参数条件下的实验脱氮曲线和模型计算曲线的对比图, 可以看出, 实验脱氮曲线与模型计算曲线基本吻合, 从而说明了模型的正确性.

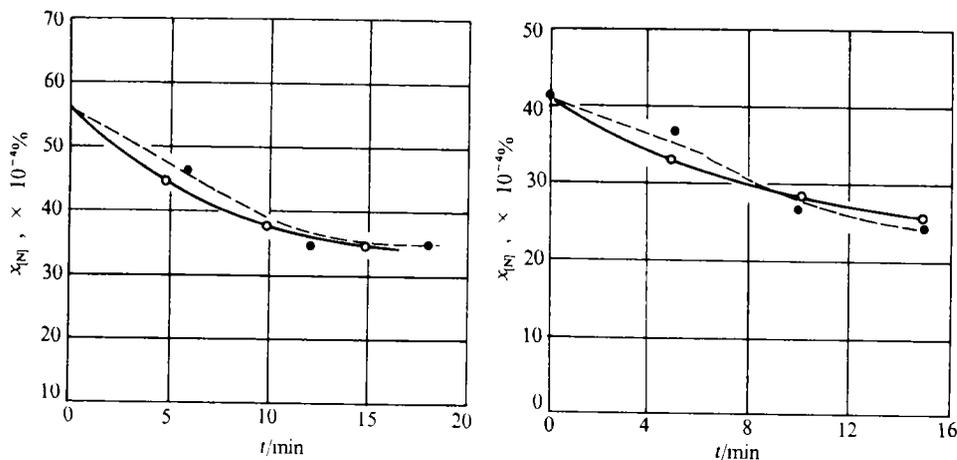


图3 不同参数下模型计算和实验脱氮曲线对比图

## 4 结论

熔渣脱氮动力学模型的数学表达式为(9)式. 影响熔渣脱氮的主要因素是氮在渣钢间的平衡分配比和氮在钢液中的传质系数, 这两者越大, 越有利于脱氮.

### 参考文献

- 1 Tsukihashi F, Fruehan R J. Metall Trans B, 1986, 535
- 2 Sasagawa M, et al. Metall Trans B, 1991, 781
- 3 郭文卓. 第8届全国炼钢学术会议论文集. 1994, 552
- 1 徐学禄. [学位论文]: 北京科技大学, 1995