搅拌溶池流体动力学联合实验法——相似转换方程的建立

南　雅　琴

（攀枝花钢铁研究院）

本文指出将现有的搅拌溶池水力模型和热态模型用适当的方法联合起来，能为生产提供更可靠的流体动力学参数。

本文以准数的幂函数式为基础，分析说明了在联合实验中求得操作参数P和结构参数D的最优化相似转换式 $P=mD^n$ 的理论根据和建立相似转换式的方法，并举例说明了m，n的求法。

联合实验建立相似转换式具有实验简单、费用低、相似程度高等优点。

在实际生产中，对于搅拌溶池而言，每当一个新工艺出现时，都要做水模和热模实验，但目前水模和热模是各自独立的。水模为生产（或热模）提供流体动力学参数，不考虑冶金反应对流体动力学的影响；热模为生产提供反应热力学和动力学参数。由于反应热力学和反应动力学对流体力学参数有影响，因此，冷态模型的结果需要修正。如果能用适当的方法将它们联合起来，便可为生产提供更可靠的流体动力学参数。本文仅对搅拌溶池的水模和热模的联合方法进行一次初步的探讨。

以分析准数的幂函数为基础，得出了一种较易实现的搅拌溶池流体动力学的联合实验方法。这种方法就是在水模上求得操作参数与结构参数的幂函数式中的指数，而在热模上求出方程的系数，即建立操作参数与结构参数的幂函数式是在两个系统中完成的。这样，冶金反应对流体动力学参数的影响就可以得到修正。

在实际生产中要建立准数方程式，或者是结构参数与操作参数的最优化相似转换方程（简称相似转换方程）是比较困难的，而在水模上就方便多了。这是因为：（1）在水模上结构参数与操作参数都容易改变；（2）测试方便。但水模中不易找到包括实际生产中的许多因素，而水模和热模互相联合就能发挥各自的优点，从而使实验工作简单、经济、可靠。

一、在联合实验中建立相似转换方程的根据

实践表明，在某些工程（例如喷吹、机械搅拌等）中准数的幂函数式已能满足工程的需要，故以准数的幂函数式为相似转换方程的基础，从准数的幂函数式的简化过程中，分析对该简化式的系数与指数的影响因素。

（1）设在两个同类的系统中，存在一个或两个决定性准数可使现象达到近似相似。

（2）准数的幂函数已能满足工程的需要。

任何一个准数都是由物理参数和定性尺寸所组成的。物理参数包括操作参数；定性尺寸即为结构参数。因此，任一准数的幂函数式都可简化为操作参数与结构参数的幂函数式。

由准数的幂函数式的简化可知：

（1）以物理参数（除操作参数外）为底的幂，只要介质定了，其值便为常数。化学成分、化学反应、高温作用等最终都影响到介质的物理性质，因此也将影响到方程的系数。

（2）对于不同系统的简化方程，可变参数（结构参数、操作参数）的次幂相同，方程的系数不同。

（3）准数方程对某一个系统适用，其简化式对该系统也一定适用。对某一个系统而言，结构参数与操作参数的幂函数式也只有一个表达形式。

对于搅拌溶池而言，被决定性准数即为相似指标（即相似定数）。例如相对混合程度I/I_0，相对气流穿深h/d。

综上所述，由准数的幂函数式

$\pi_2 = m'\pi_1^{n'}$简化后可得到的相似指标与操作参数、结构参数的幂函数式可写成下列形式：

$$\pi_2 = bD^{a}P^{a'} \qquad (1)$$

式中，π_2为相似指标；π_1为被决定性准数；P为操作参数；D为结构参数；

a与a′均为实验常数，对相似的各系统是相同的；

b为实验常数，对不同的系统有不同的值。

例如：气体喷吹实验中，相对气流穿深的准方程为：

$$h/d = 1.3F_r'^{0.5}$$

式中：h/d——相对气流深度，

d——喷枪直径，

F_r'——修正的弗鲁德准数，

$$F_r' = (\rho_{气} \cdot W_{气}^2)/(\rho_{液} \cdot gd)$$

则：$h/d = bW_{气}/d^{0.5}$

这里$b = 1.3[\rho_{气}/(\rho_{液} \cdot g)]^{0.5}$

对于相似系统，操作参数$W_{气}$的次幂均为1，结构参数d的次幂均为0.5；对于不相似的系统，b不同。例如：

对于水 $b = 1.3[\rho_{气}/(\rho_{水} \cdot g)]^{0.5}$

对于KI水溶液

$$b' = 1.3[\rho_{气}/(\rho_{KI} \cdot g)]^{0.5}$$

由此可以得出：

可在水模中求a，a′，在另外的系统中求出b，将π_2的最佳值代入方程（1）中便得到最优条件下的操作参数与结构参数的幂函数式：$P = mD^{n}$（或者是在最优条件下直接求出P与D的关系式中的m，n值）。这就是在联合实验中建立相似转换方程的根据。

从相似转换方程的推导过程中可知，系数的使用条件是：①固定结构应相同；②介质应相同。可变参数的次幂的使用条件是：可变结构的相对值应在一定范围内。

二、在联合实验中建立相似转换方程的优点

由上述分析过程可知，联合实验具有以下的优点：

（1）可以不用决定准数，也不必保证全部单值条件相似，这就克服了模拟介质不易选、需要三个以上准数时模型实验无法进行等困难，同时也使模型的计算大为简化。

（2）冶金反应对相似现象的影响很难体现在相似准数与定性参数之中。在联

合实验中，可不推导相似准数，而在热模中求出系数，冶金反应对相似现象的影响就会得到修正，而且误差要小些。

（3）在水模上，在某一溶池深度下求出相似转换方程$P=mD^n$中的n值，可在其他深度的热模（或生产实践中）求出m值。这就使水模实验结果的应用范围广了，不局限于几何相似的设备上，而可在不同的工艺过程中求m值。

三、在联合实验中建立相似转换方程的实例

搅拌杆法铁水炉外脱硫动力学参数的研究[2]：

实验目的：求最优条件下的结构参数、操作参数及它们的关系式。

实验方法：用水模拟钢液，以聚苯乙烯发泡粒子模拟脱硫剂。

以I/I_0代表混合的程度，混合的好坏直接影响到脱硫的效果，因此I/I_0可做相似指标π_2。

在此工艺中，主要的操作参数为搅拌杆的转速N；主要的结构参数溶池的直径D，搅拌杆直径d_K，其他的结构参数（如搅拌杆的枝数）作为固定因素。

可在最优条件下（I/I_0为最优值时）直接求出搅拌杆的转速N与D，d_K的幂函数式：

$$N=m\cdot D^a\cdot d_K^b$$

式中，a，b由水模实验得出；由热模实验求m。

由水模实验得到：

①固定参数：D=18cm，$\mu=10^{-1}$p

双杆搅拌桨I/I_0的最优值为0.85

可变参数：d_K，$N_{双}$数值列于表1。

表1

d_k	6.2	7.5	8.7	10.0
$N_{双}$	245.5	184.4	147.1	119.6

据表1求得：$N_{双}=a'\cdot d_K^{-1.5}$　（2）

②d_K为固定参数，D为可变参数，其他条件与（1）相同。$N_{双}$与D的数据列于表2。

表2

D	18	20	24	29
$N_{双}$	119.6	132.9	159.5	192.8

据表2求得：$N_{双}=bD$　（3）

则$N_{双}$与D，d_K的关系式为：

$$N_{双}=C\cdot D\cdot d_K^{-1.5}\quad(4)$$

同理，可求出四叶桨的转速为：

$$N_{四}=C'\cdot D\cdot d_K^{-1.5}\quad(5)$$

在热模上求C'

根据日本专利KR法小型搅拌桨热实验数据：D=240cm，d_K=70 cm，四叶桨，其脱硫效果在80%以上时，搅拌转速为$N_{四}$=110rpm。将这些数据代入方程（5）中得到：

$C'\approx 269$

故：$N_{四}=269D\cdot d_K^{-1.5}$　（6）

公式（6）的验证：

根据日本大型搅拌桨热模实验数据：D=240cm，d_K=94cm，四叶桨，其脱硫效果在80%以上时，使用搅拌转速为$N_{四}$=90rpm。

用$N_{四}=264\cdot D^{-0.5}\cdot\alpha^{-1.5}$计算[2]（$\alpha=d_K/D$）得：

$N_{四}$=70rpm

用公式（6）计算得$N_{四}$=72rpm

（下转第54页）

此法利用强烈的脉冲搅动，在钢包中对钢液进行精炼，其目的在于降低操作成本和投资，并保留脱氧和合金微调的能力。此法几乎所有的钢种都可采用来进行精炼。一套完整的PM装置包括钢水罐处理站、一支耐火材料吸嘴以及PM的副属设备和合金化装置。

操作时，把有耐火材料的吸嘴插入钢液中，在真空下周期地以惰性气体造成脉冲搅拌，使钢水在吸嘴内上升和下降。

PM法的处理特点是处理时间较短，温降少，脱氧效果好，合金回收率也较高，投资费用不大，并能达到脱氧、合金化和均匀成份、温度以及去除非金属反应产物的目的。其脱氧情况见图 3 。

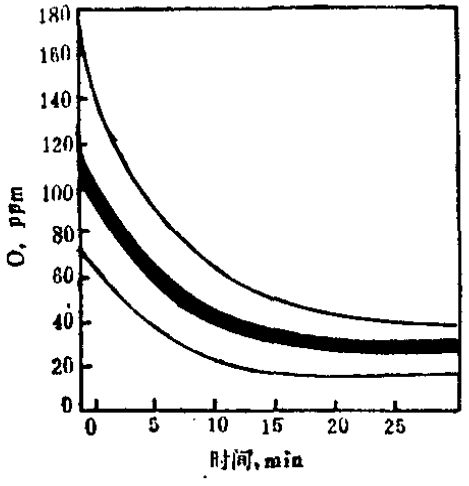

图 3　PM法处理Al镇静钢时的脱氧曲线

TN法

TN法是一种喷吹冶金技术，它以含钙的粉剂在惰性气体的搅拌下喷入钢水中以达到脱硫、改变夹杂物形态以及均匀成份和温度的目的。经TN法处理的钢其综合机械性能有较大的改善；在浇铸方面，特别是对方坯连铸机的浇铸有利，减少偏析和裂纹的形成。钢中的硫、氧情况见图 4 。

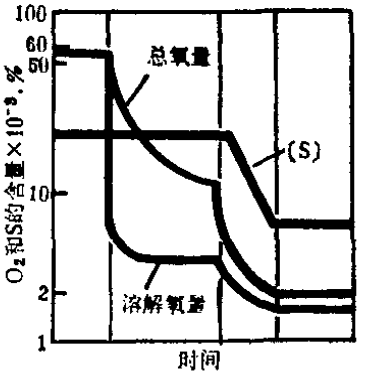

图 4　罐内Ca处理时的O_2和S含量变化

MPE法

此法是在出钢过程中向罐内加入碱性渣化合物，并在罐底以惰性气体搅拌。此法可以调整碱性渣的成份以达到脱硫、均匀成份和温度，但不能改变钢中的夹杂物形态。

（上接第46页）

计算结果偏低的原因可能是大型热模实验与小型热模实验的铁水成分、搅拌杆的相对插入深度、脱硫剂不同所造成的。若这些条件都相同，效果会更好些。

致　谢

本文借用了杨剑青等同志的实验数据，何有瑾同志提出了修改意见，在此表示谢意。

参 考 文 献

〔1〕东北工学院，冶金炉理论基础，1959年
〔2〕杨剑青等，搅拌杆法铁水炉外脱硫水力学模型研究（二）——多杆搅拌，1980年 9 月