

文章编号:1672-9331(2020)02-0099-08

基于因子分析对合金元素收得率的影响因素研究

陈妍群¹, 沈 琼², 张 娜¹, 陈渊宁³, 朱家明²

(1. 安徽财经大学 金融学院, 安徽 蚌埠 233030; 2. 安徽财经大学 统计与应用数学学院, 安徽 蚌埠 233030;
3. 南昌大学 共青学院, 江西 九江 332020)

摘 要: 为了在控制成本的前提下保证成品钢质量, 钢铁企业将合金元素收得率的控制作为脱氧合金化工艺的一项关键内容。对钢水脱氧合金化工艺中合金元素收得率的影响因素进行研究, 首先根据历史真实数据, 按钢种和转炉终点温度分类计算 C、Mn 元素收得率; 其次采用因子分析方法, 对 C、Mn 两种元素分别选取 13 个可能的影响因素, 利用 SPSS 软件建立 C、Mn 两种元素收得率影响因素的因子分析模型, 分别得到 5 个和 4 个因子, 并根据相关化学原理, 对各因子进行解释; 最后得出结论: 钢水脱氧合金化工艺中合金元素收得率的影响因素主要为加入物质的脱氧能力、加入物质中对应元素的含量、合金添加剂的量和外部条件。

关键词: 钢水脱氧合金化; 元素收得率; 影响因素; 因子分析; 实证分析; SPSS

中图分类号: TF746

文献标识码: A

Study on the factors influencing alloy element yield based on factor analysis

CHEN Yan-qun¹, SHEN Qiong², ZHANG Na¹, CHEN Yuan-ning³, ZHU Jia-ming²

(1. School of Finance, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China; 2. School of Statistics and Applied Mathematics, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China;
3. Gongqing College, Nanchang University, Jiujiang 332020, China)

Abstract: In order to ensure the quality of finished steel on the premise of cost control, the control of alloy element yield is regarded as a key content of deoxidizing and alloying process in iron and steel enterprises. The influencing factors of alloy element yield in deoxidizing and alloying of molten steel were studied. Firstly, on the basis of historical real data, the yield of C and Mn was calculated according to steel grade and converter terminal temperature. Secondly, factor analysis method was used to select 13 possible influencing factors for C and Mn, and SPSS software was used to establish the factor analysis model of influencing factors for C and Mn. Five and four factors for the two elements were obtained respectively, and each factor was explained according to relevant chemical principles. At last, it is concluded that the main factors influencing alloy element yield in deoxidizing and alloying of molten steel are the deoxidizing ability of added material, the content of corresponding element in added material, the amount of alloy additive and external conditions.

Key words: deoxidizing and alloying of molten steel; element yield; influencing factor; factor analysis; empirical analysis; SPSS

收稿日期: 2020-02-21

通讯作者: 朱家明(1973—), 男, 安徽宿州人, 安徽财经大学副教授, 主要从事应用数学方面的研究。

E-mail: zhujm1973@163.com

在炼钢过程中,为了使炼出的成品钢在物理性能上达到特定的要求,需要加入不同种类、不同量的合金,使钢水所含合金元素达标。在钢铁行业中,脱氧合金化是大部分企业的一项重要工艺。近年来,随着高附加值钢种产量的不断提高,各大企业为了提升竞争力,对脱氧合金化环节中合金元素收得率进行控制,从而以原料为切入口来提升盈利空间。通过历史数据建立数学模型分析合金元素收得率的影响因素,从而实现在冶炼过程中保证钢水质量,同时最大限度地降低合金钢的生产成本,对钢铁企业具有重要意义。

国外已有学者研究出以合金收得率预测及成本优化预算为主体的自动配料模型,冶炼车间可以实现自动脱氧合金化。而国内仅有部分钢铁企业车间引进了这一技术,其他车间仍需根据不同元素的固定收得率,或者经验值计算各种合金的加入量,未实现自动脱氧合金化,这使得钢铁企业的成本控制难以实现。而研究合金收得率的影响因素可部分解决此问题。

国内学者对钢水脱氧合金化的研究不少,但多偏理论技术及对合金收得率进行预测,对合金收得率影响因素的研究较少。樊悦^[1]在对 LF 炉合金化过程的机理进行分析时,认为合金元素被氧化是造成合金收得率降低的主要原因,因此分析了钢水氧活度、熔渣氧化性、熔渣碱度和吹氩搅拌强度四个因素对合金收得率的影响;沈守娟^[2]应用相关分析,对收集到的数据中潜在变量因素的共线性特征进行了分析,求解其相关性系数来判断影响 C、Mn 收得率的主要影响因素;李梦琳等^[3]在钢水脱氧合金化过程中元素收得率的研究中,采用灰色关联度矩阵模型对处理后的数据进行分析,定性衡量各因素对 C 元素合金收得率的影响,并综合运用 BP 神经网络和遗传算法得到 C 的合金收得率;袁玲等^[4]针对钢铁成品受原料成分的影响,提出利用主成分分析法,对历史数据进行分析从而得到合金收得率与原料的影响关系。

本研究对已有的钢水脱氧合金化历史数据进行分析,建立元素收得率影响因素的因子分析模型,借助 SPSS 软件,将冶炼过程中各种可能的影响因子进行筛选并“降维归类”,分析钢水脱氧合金化中合金元素收得率的影响因素。钢铁企业可

以通过对影响因素的控制,以保证冶炼过程中钢水的质量,同时最大限度地降低合金钢的生产成本,提升企业竞争力。

本研究数据来源于 2019 年 MathorCup 高校数学建模挑战赛 D 题附件 1 的历史真实数据。

1 理论依据

因子分析是数学建模中较为常见的一种降维、简化数据的方法。在研究某些抽象因素的影响关系时,由于这些因素不便直接测量,需通过其他具体指标进行反映,而因子分析正适用于这种情况。它通过研究这些因素变量间的内部依赖关系,用少数几个“抽象”变量表示其“主要信息”的数据结构,并称这几个抽象变量为“因子”。相对于可观测的原始变量,因子一般是不可观测的潜在变量。

1.1 一般模型

类似于聚类分析,因子分析按照研究对象的不同分为 R 型和 Q 型,前者对变量做因子分析,后者对样品做因子分析。本研究采用 R 型因子分析,因此以 R 型为例,介绍因子分析。

因子分析的一般模型为:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \cdots + a_{im}F_m + \epsilon_i; i = 1, 2, \cdots, p. \quad (1)$$

式中: X_i 为原始变量; F_1, F_2, \cdots, F_m 为公共因子,即潜在变量; ϵ_i 为 X_i 的误差因子。

可将上述模型写成矩阵形式^[5]为:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{F} + \boldsymbol{\epsilon}. \quad (2)$$

$$\text{式中: } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \cdots & a_{pm} \end{bmatrix} = (A_1, A_2, \cdots, A_m),$$

$$\text{称为因子载荷矩阵; } \mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix}; \mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_p \end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_p \end{bmatrix}.$$

据概率论相关知识,式(2)需满足以下条件^[6]:

1) 降维所得公共因子数量小于原始变量,即 $m \leq p$ 。

2) 公共因子与原始变量的误差因子之间互不相关,即 $\text{Cov}(\mathbf{F}, \boldsymbol{\varepsilon}) = 0$ 。

3) 各公共因子间互不相关且方差为 1,即

$$\mathbf{D}_F = D(\mathbf{F}) = \begin{bmatrix} 1 & & & 0 \\ & 1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & 1 \end{bmatrix} = \mathbf{I}_m。$$

4) 各误差因子间互不相关,即 $\mathbf{D}_\varepsilon = D(\boldsymbol{\varepsilon}) =$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & & 0 \\ & \sigma_2^2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \sigma_p^2 \end{bmatrix}。$$

1.2 因子载荷矩阵的相关计算

计算因子载荷矩阵 \mathbf{A} 中第 i 行元素平方和:

$$\alpha_i^2 = \sum_{j=1}^m a_{ij}^2; i=1,2,\dots,p。 \quad (3)$$

式中: α_i^2 为原始变量 X_i 的共同度。根据因子分析一般模型可以计算得:

$$D(X_i) = \alpha_i^2 + \sigma_i^2。 \quad (4)$$

式(4)说明原始变量 X_i 的方差由两部分组成,一部分是原始变量 X_i 的共同度,为全部公共因子对 X_i 总方差做的贡献,即各公共因子对变量 X_i 的影响程度;另一部分为误差因子 ε_i 对变量 X_i 方差的贡献。

同理,计算因子载荷矩阵 \mathbf{A} 中第 j 列元素平

方和:

$$\beta_j^2 = \sum_{i=1}^p a_{ij}^2; j=1,2,\dots,m。 \quad (5)$$

式中: β_j^2 为公共因子 F_j 对所有原始变量的贡献之和,是衡量公共因子相对重要性的尺度; a_{ij} 为因子载荷系数,表示第 i 个影响因子在第 j 个公共因子上的负荷。它一方面反映了 X_i 对 F_j 的依赖程度,另一方面也反映了 X_i 对 F_j 的相对重要性。在实际操作中, α_i^2 在总方差解释中体现, β_j^2 在成分得分系数中体现。

2 实证分析

2.1 数据预处理与初步分析

将历史真实数据的 1 716 个样本进行预处理,删除部分指标缺失或无效数据(例如表中缺失 C 元素和 Mn 元素连铸正样的数行数据),得到 808 个有效样本,包括炉号、钢种、转炉终点温度、转炉终点各元素、钢水净重、连铸正样各元素和钢水脱氧合金化过程中加入的各种物质质量的信息。其中钢种绝大部分为低合金,极少数为普碳合金,在数据预处理过程中已被清除;转炉终点元素包括 C、Mn、S、P 和 Si;连铸正样元素比转炉终点元素多几种微量元素如 Mo。转炉终点元素是指脱氧合金化之前钢水中该元素的含量,而连铸正样元素是指脱氧合金化之后钢水中该元素的含量,两者的含量数值均为重量百分数。

根据元素收得率公式:

$$\text{元素收得率} = \frac{\text{连铸正样} \times (\text{钢水净重} + \text{总合金质量}) - \text{钢水净重} \times \text{转炉终点该元素含量}}{\text{加入的各种合金中该元素的质量之和}}。 \quad (6)$$

计算得到不同钢号的 C、Mn 元素收得率如表 1 所示。

表 1 不同钢号 C、Mn 元素收得率

Table 1 C and Mn yield of different grades of steel

元素	HRB400B	HRB400D	HRB500B	HRB500D	Q345B
C	0.975 7	0.958 3	0.913 6	0.989 9	0.932 5
Mn	0.974 8	0.956 6	1.013 2	1.036 0	0.946 9

由表 1 可知,钢种不同,元素收得率也会有所不同。

计算得到不同转炉终点温度下 C、Mn 元素收得率如表 2 所示。为了使结果更加直观,绘制出如图 1 所示的直方图。

由图 1 可知,不同转炉终点温度所得的成品钢,C、Mn 元素的收得率也不同。

2.2 指标选取

为了简化分析过程,从变异系数或者样本方

表2 不同转炉终点温度下 C、Mn 元素收得率

Table 2 C and Mn yield at different converter terminal temperatures

元素	温度/℃								
	0	1 500~ 1 600	1 600~ 1 620	1 620~ 1 640	1 640~ 1 660	1 660~ 1 680	1 680~ 1 700	1 700~ 1 800	1 800 以上
C	0.982 0	0.896 9	0.895 2	0.950 2	0.970 9	0.967 0	0.995 3	0.987 9	0.960 1
Mn	0.965 4	0.963 1	0.940 9	0.964 1	0.964 9	0.976 4	0.982 2	0.979 0	0.954 3

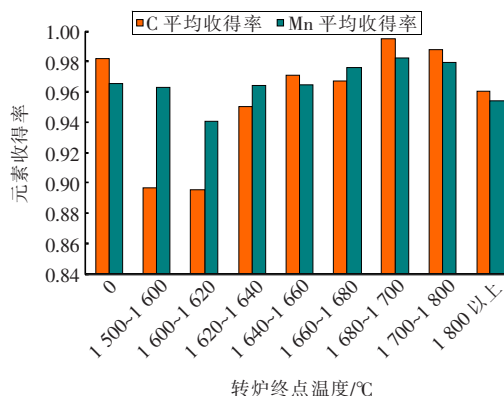


图1 不同转炉终点温度下 C、Mn 元素收得率

Fig. 1 C and Mn yield at different converter terminal temperature

差角度考量各指标,排除影响程度小的转炉终点元素含量和连铸正样元素含量指标,根据历史真实数据表中显示的冶炼过程加入物质的种类,结合 C、Mn 两种元素的自身性质,分别选取 13 个合理指标进行因子分析。对 C 元素收得率进行因子分析选取的变量分别为:加入的氮化钒铁 FeV55N11-A、钒氮合金(进口)、钒铁 FeV50-B、硅铝钙、硅铝合金 FeAl30Si25、硅锰面(硅锰渣)、硅铁 FeSi75-B、石油焦增碳剂、碳化硅(55%)、硅钙碳脱氧剂和硅铁(合格块)的量,以及转炉终点温度、钢水净重。对 Mn 元素收得率进行因子分析选取的变量分别为:转炉终点温度、钢水净重,钢水中加入的锰硅合金 FeMn68Si18(合格块)、钒氮合金(进口)、钒铁 FeV50-B、硅铝钙、硅铝合金 FeAl30Si25、硅锰面(硅锰渣)、硅铁 FeSi75-B、石油焦增碳剂、锰硅合金 FeMn64Si27(合格块)、碳化硅(55%)和硅钙碳脱氧剂的量。

2.3 C 元素收得率因子分析

针对 C 元素收得率,采用 KMO 和巴特利特检验来测量 13 个指标的因子分析信度,结果如表 3 所示。

表3 C 元素收得率分析的 KMO 和巴特利特检验

Table 3 KMO and Bartlett test of C yield analysis

KMO 取样适 切性量数	巴特利特球形度检验		
	近似卡方	自由度	显著性
0.538	5 499.676	78	0.000

KMO 统计分析的值为 0.538 大于 0.5,球形检验概率 P 值接近于 0,结果显著。两个方法验证了该数据分析信度良好,适合做因子分析。

利用主成分分析法,用 SPSS 对 13 个变量进行降维,得到总方差解释如表 4 所示。

由表 4 可知,前 5 个公共因子累积解释方差约为 73.280%,依据规定公共因子的累计解释方差达到 60%以上时,因子分析效果较好,说明该分析具有代表性,根据结果提取 5 个因子^[7]。

根据旋转后的成分矩阵表,选取因子载荷较高的变量“集合”来对公共因子进行命名,旋转后的成分矩阵如表 5 所示。

表 5 显示,钒氮合金(进口)、硅铝合金 FeAl30Si25、硅铁 FeSi75-B、钒铁 FeV50-B 和碳化硅(55%)在第一个因子上具有较高的载荷量。其中钒氮合金(进口)和钒铁 FeV50-B 一般都在炼钢中作为合金添加剂,能提高成品钢的强度、韧性、延展性及抗热疲劳性等综合机械性能,使钢具有良好的可焊性;硅铁 FeSi75-B 作为一种铁合金,是转炉炼钢中用来脱氧的主要物质,硅铝合金 FeAl30Si25 也具有较强的脱氧能力^[8];碳化硅能脱除钢水中的氧,并且起到增 C 的作用。因此将第一个因子解释为合金添加剂和脱氧剂^[9]。

硅铝钙、石油焦增碳剂和硅钙碳脱氧剂在第二个因子上具有较高的载荷量。其中硅铝钙和硅钙碳脱氧剂在钢水脱氧合金化过程中起脱氧作用,硅钙碳脱氧剂还能增加钢水里的 C 含量;加入石油焦增碳剂是为了增加钢水中的 C 含量。因此将第二个因子解释为加入物质的脱氧能力和含 C 量。

表 4 C 元素收得率因子分析总方差解释

Table 4 Total variance explanation of factor analysis of C yield

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比/%	累积/%	总计	方差百分比/%	累积/%
1	4.022	30.935	30.935	4.022	30.935	30.935
2	1.892	14.557	45.492	1.892	14.557	45.492
3	1.258	9.680	55.172	1.258	9.680	55.172
4	1.053	8.102	63.274	1.053	8.102	63.274
5	1.004	7.726	70.999	1.004	7.726	70.999
6	0.984	7.565	78.565			
7	0.893	6.871	85.436			
8	0.672	5.169	90.605			
9	0.421	3.242	93.847			
10	0.354	2.727	96.573			
11	0.255	1.962	98.536			
12	0.162	1.245	99.781			
13	0.028	0.219	100.000			

表 5 C 元素收得率因子分析旋转成分矩阵表

Table 5 Rotation component matrix of factor analysis of C yield

指标	成分				
	1	2	3	4	5
氮化钒铁 FeV55N11-A	-0.163	-0.026	0.911	-0.027	-0.002
钒氮合金(进口)	0.933	0.098	-0.176	-0.009	0.058
钒铁 FeV50-B	-0.728	-0.082	-0.493	0.032	-0.062
硅铝钙	-0.503	0.762	-0.001	-0.041	0.009
硅铝合金 FeAl30Si25	0.831	0.011	0.178	0.116	0.014
硅锰面(硅锰渣)	-0.297	0.056	-0.222	-0.155	-0.262
硅铁 FeSi75-B	0.868	0.076	-0.152	-0.127	-0.049
石油焦增碳剂	0.315	0.757	-0.100	0.119	-0.029
碳化硅(55%)	-0.808	0.043	0.165	-0.047	-0.077
硅钙碳脱氧剂	-0.068	-0.840	-0.052	0.065	-0.005
转炉终点温度	-0.118	-0.040	-0.064	0.652	0.265
钢水净重	0.048	0.014	-0.007	-0.024	0.905
硅铁(合格块)	0.127	0.049	0.048	0.742	-0.233

氮化钒铁 FeV55N11-A 在第三个因子上具有较高的载荷量。氮化钒铁 FeV55N11-A 主要成分为钒、氮、铁,含有钒、氮两种金属,是真正意义上的钒氮合金,在合金化过程中可作为一种活性剂。因此将第三个因子解释为活性剂作用。

转炉终点温度和硅铁(合格块)在第四个因子上具有较高的载荷量。硅铁作为脱氧剂,反应过程中会放热,使钢水温度升高。因此将第四个因

子解释为转炉终点温度。

钢水净重在第五个因子上具有较高的载荷量。钢水净重越大,合金化反应空间越大,反应越彻底。钢水中也含有一定的 C 元素,可以增加成品钢中 C 元素的收得率。因此将第五个因子解释为钢水净重。

2.4 Mn 元素收得率因子分析

同样,采用 KMO 和巴特利特检验来测量 13

个指标的因子分析信度,结果如表6所示。

表6所示KMO统计分析的值为0.660大于0.5,球形检验概率 P 值接近于0,结果显著。说

表6 Mn元素收得率分析的KMO和巴特利特检验

Table 6 KMO and Bartlett test of Mn yield analysis

KMO 取样适切性量数	巴特利特球形度检验		
	近似卡方	自由度	显著性
0.660	5 524.755	78	0.000

明数据适合做因子分析。同样对变量进行降维,得到总方差解释如表7所示。

由表7可知,前4个公共因子累积解释方差约为67.763%,代表性较好,根据结果提取4个公共因子。

输出旋转后的成分矩阵表,选取因子载荷较高的变量对因子进行命名。旋转后的成分矩阵如表8所示。

表7 Mn元素收得率因子分析总方差解释

Table 7 Total variance explanation of factor analysis of Mn yield

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比/%	累积/%	总计	方差百分比/%	累积/%
1	4.054	31.184	31.184	4.054	31.184	31.184
2	1.978	15.214	46.398	1.978	15.214	46.398
3	1.729	13.300	59.698	1.729	13.300	59.698
4	1.048	8.065	67.763	1.048	8.065	67.763
5	0.999	7.685	75.448			
6	0.884	6.799	82.246			
7	0.784	6.030	88.277			
8	0.447	3.440	91.717			
9	0.420	3.234	94.952			
10	0.268	2.062	97.013			
11	0.166	1.280	98.293			
12	0.127	0.974	99.267			
13	0.095	0.733	100.000			

表8 Mn元素收得率因子分析旋转成分矩阵表

Table 8 Rotation component matrix of factor analysis of Mn yield

指标	成分			
	1	2	3	4
转炉终点温度	-0.110	-0.013	0.045	0.658
钢水净重	0.074	0.020	0.036	0.627
锰硅合金 FeMn68Si18(合格块)	0.133	0.061	-0.953	0.056
钒氮合金(进口)	0.929	0.091	-0.018	0.015
钒铁 FeV50-B	-0.740	-0.066	0.053	-0.073
硅铝钙	-0.500	0.764	-0.035	-0.004
硅铝合金 FeAl30Si25	0.831	-0.002	-0.063	0.060
硅锰面(硅锰渣)	-0.262	0.081	0.414	-0.422
硅铁 FeSi75-B	0.866	0.073	-0.062	-0.119
石油焦增碳剂	0.318	0.756	-0.079	0.020
锰硅合金 FeMn64Si27(合格块)	0.057	-0.038	0.886	0.168
碳化硅(55%)	-0.807	0.046	0.055	-0.046
硅钙碳脱氧剂	-0.081	-0.839	-0.021	0.033

由表 8 可以看出,钒氮合金(进口)、钒铁 FeV50-B、硅铝合金 FeAl30Si25、硅铁 FeSi75-B 和碳化硅(55%)在第一个因子上具有较高的载荷量,和 C 元素收得率的第一个影响因子一样,将其解释为合金添加剂和脱氧剂的量。

硅铝钙、石油焦增碳剂和硅钙碳脱氧剂在第二个因子上具有较高的载荷量,也和 C 元素收得率的第一个影响因子一样,其中石油焦增碳剂除了能给钢液中增碳,还能降低钢水里氧的含量。因此将 Mn 元素收得率的第二个影响因子解释为加入物质的脱氧能力^[10]。

锰硅合金 FeMn68Si18(合格块)、锰硅合金 FeMn64Si27(合格块)在第三个因子上具有较高的载荷量。锰硅合金在钢水脱氧合金化中的作用主要是沉淀脱氧和合金化,即一方面脱除钢水中的氧,一方面增加钢水中的 Mn 含量从而调节成品钢的 Mn 含量。因此将第三个因子解释为加入合金的 Mn 含量。

转炉终点温度和钢水净重在第四个因子上具有较高的载荷量。氧化反应是剧烈的放热反应,所以在工艺允许的范围内,温度越高,氧化反应越不容易进行,即转炉终点温度通过影响钢水中各化学反应的进行来影响 Mn 元素的收得率。因此将第四个因子解释为外部条件^[11]。

3 结论

本研究对钢水脱氧合金化问题中合金元素收得率的影响因素进行了研究。首先根据采集的历史真实冶炼数据,从钢种和转炉终点温度两个角度分别计算 C、Mn 元素收得率;其次采用因子分析方法,针对 C、Mn 两种元素,分别选取 13 个可能的影响因素,利用 SPSS 软件建立 C、Mn 两种元素收得率影响因素的因子分析模型,分别得到 5 个和 4 个因子,并根据相关化学原理,对各个因子进行解释;最后归纳总结出钢水脱氧合金化中合金元素收得率的影响因素主要为以下几个:

1) 加入物质的脱氧能力。钢水脱氧合金化过程中加入的脱氧剂如硅铁 FeSi75-B、硅铝合金 FeAl30Si25、硅铝钙和硅钙碳脱氧剂,以及有脱氧作用的物质如碳化硅和石油焦增碳剂,通过促进

脱氧合金化反应的进行影响合金元素的收得率。

2) 加入物质中对应元素的含量。在本研究的实证分析中,加入石油焦增碳剂能使钢水中 C 含量增加,从而提高了 C 元素收得率;加入硅锰合金则是通过增加钢水中的 Mn 含量来提高成品钢中的锰含量,即加入含锰元素的硅锰合金能提高合金 Mn 元素的收得率。

3) 合金添加剂的量。实证分析说明,合金添加剂如钒氮合金(进口)和钒铁 FeV50-B 在炼钢中作为合金添加剂,在提高成品钢各项性能的同时,也能影响到合金收得率。

4) 外部条件。外部条件如转炉终点温度通过影响脱氧合金化各化学反应的进程来影响合金元素收得率;钢水净重也是通过对化学反应环境的限制进而影响合金收得率;氮化钒铁 FeV55N11-A 作为活性剂的加入也能影响合金收得率。

因此,结合 C、Mn 收得率因子分析旋转成分矩阵,对钢铁企业在进行钢水脱氧合金化炼钢工程时提出以下建议:

① 在冶炼对 C、Mn 两种元素含量要求较高的钢时,可以通过加入合金添加剂和脱氧物质来提高合金收得率,但是要对钒铁 FeV50-B 和碳化硅(55%)的加入量进行控制,以减小它们对元素收得率的反向影响。

② 通过提高转炉终点温度和增加钢水净重来提高 C、Mn 两种元素的收得率^[12]。

③ 进行钢水脱氧合金化时,加入对应元素含量高的物质来提高该元素的收得率,例如加入含碳量高的石油焦增碳剂来提高成品钢的 C 元素收得率。

企业需要通过对各影响因素的学习来控制各合金元素的收得率,进而在成本最小化的前提下严格把控成品钢的质量,扩大市场占有率。

〔参考文献〕

- [1] 樊悦. LF 炉合金添加系统的建模与优化[D]. 沈阳: 东北大学, 2013.
FAN Yue. Modeling and optimization of LF furnace alloy addition system [D]. Shenyang: Northeastern University, 2013.
- [2] 沈守娟. 合金收得率影响因素与预测模型[J]. 电子

- 质量,2019(12):1-7.
- SHEN Shou-juan, Influencing factors and prediction model of alloy yield[J]. *Electronic Quality*,2019(12):1-7.
- [3] 李梦琳,房子源,郭文治. 钢水脱氧合金化中合金收得率的研究[J]. *中外企业家*,2019(21):87.
- LI Meng-lin, FANG Zi-yuan, GUO Wen-zhi, Study on alloy yield in deoxidizing and alloying of molten steel[J]. *Chinese and Foreign Entrepreneurs*, 2019(21):87.
- [4] 袁玲,王夏劫,骆雷鸣,等. 基于主成分分析法的合金收得率研究[J]. *科学咨询:科技·管理*,2019(10):82.
- YUAN Ling, WANG Xia-jie, LUO Lei-ming, et al. Study on alloy yield based on principal component analysis[J]. *Scientific Consulting: Technology and Management*,2019(10):82.
- [5] 刘诗蕴. 基于因子分析法的商业银行绩效评价[D]. 成都:西南财经大学,2016.
- LIU Shi-yun, Performance evaluation of commercial banks based on factor analysis[D]. Chengdu: Southwest University of Finance and Economics,2016.
- [6] 陈茜,田治威. 林业上市企业财务风险评价研究——基于因子分析法和聚类分析法[J]. *财经理论与实践*,2017,38(1):103-108.
- CHEN Xi, TIAN Zhi-wei, Research on financial risk assessment of forestry listed enterprises based on factor analysis and cluster analysis[J]. *Financial Theory and Practice*,2017,38(1):103-108.
- [7] 赵自阳,李王成,王霞,等. 基于主成分分析和因子分析的宁夏水资源承载力研究[J]. *水文*,2017,37(2):64-72.
- ZHAO Zi-yang, LI Wang-cheng, WANG Xia, et al. Study on water resources carrying capacity of Ning-xia based on principal component analysis and factor analysis[J]. *Hydrology*,2017,37(2):64-72.
- [8] 李维华. 80号碳化硅脱氧合金化工艺生产实践[J]. *中国冶金*,2018,28(9):50-53.
- LI Wei-hua, Production practice of No. 80 silicon carbide deoxidizing alloy chemical process[J]. *China Metallurgy*,2018,28(9):50-53.
- [9] 侯乃军. 钒铁以及高碳锰铁在冶炼中的作用[J]. *华东科技:学术版*,2012(5):301-302.
- HOU Nai-jun, The role of ferrovanadium and high carbon ferromanganese in smelting[J]. *East China Science and Technology: Academic Edition*,2012(5):301-302.
- [10] 夏雪生. 炼钢生产中转炉炼钢脱氧工艺的分析[J]. *中国金属通报*,2019(9):23-24.
- XIA Xue-sheng, Analysis of deoxidization process in steelmaking production transfer furnace[J]. *China Metal Bulletin*,2019(9):23-24.
- [11] 叶宇成,刘青,凌佳杰,等. 基于SVM和BP神经网络的金属收得率的预测模型[J]. *中国金属通报*,2019(9):204-205.
- YE Yu-cheng, LIU Qing, LING Jia-jie, et al. Prediction model of metal yield based on SVM and BP neural network[J]. *China Metal Bulletin*,2019(9):204-205.
- [12] 温宏愿,周木春. 转炉终点控制技术方法现状及应用[J]. *现代工业经济和信息化*,2019,9(2):79-81.
- WEN Hong-yuan, ZHOU Mu-chun, Current situation and application of converter terminal control technology[J]. *Modern Industrial Economy and Informatization*,2019,9(2):79-81.