

Research on Alloy Yield Based on Grey Relational Degree Analysis

Bixuan Li¹, Kexin Zhu¹, Zhuohui Zhong¹, Luming Shen^{1,2}

¹College of Information Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

²Agricultural Mathematical Model and Data Process Center, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

Email: math_forever@163.com

Received: May 25th, 2019; accepted: Jun. 12th, 2019; published: Jun. 19th, 2019

Abstract

In this paper, the end-point temperature of converter, the end-point metal content of converter, the metal content of normal sample in continuous casting and the quality of added materials during deoxidization and alloying are selected as the research objects. The calculation formulas of alloy yield are defined and the yield of samples in different environments is calculated, and the difference of yield among different steel species is analyzed. Then the marginal influence model is used to analyze the influence of molten steel weight and added alloy weight on the yield. Then the grey correlation model is established to investigate whether other indices which are not involved in the calculation will affect the yield of elements. The order is based on the correlation degree of each index sequence and the yield sequence of elements. The results show that the main factors affecting the yield of carbon and manganese are not significantly different, and the order of degree is temperature, silicon carbide, petroleum carburant, the proportion of S and Mn at the end of converter.

Keywords

Alloy Yield, Marginal Impact Model, Grey Relevance Degree Model

基于灰色关联度分析对合金收得率的研究

李碧璇¹, 朱可馨¹, 钟卓辉¹, 沈陆明^{1,2}

¹湖南农业大学信息科学技术学院, 湖南 长沙

²湖南农业大学农业数学建模与数据处理中心, 湖南 长沙

Email: math_forever@163.com

收稿日期: 2019年5月25日; 录用日期: 2019年6月12日; 发布日期: 2019年6月19日

摘要

本文选取钢铁提炼时转炉终点温度、转炉终点各金属含量、连铸正样各金属含量以及脱氧合金化时加入

各物质的质量作为研究对象，定义了合金收得率的计算公式并计算不同环境下各样本的收得率，并分析不同钢种间收得率的差异性。然后利用边际影响模型分析计算公式中钢水重量和添加的合金料重量对收得率的影响，再建立灰色关联度模型考察其他未参与计算的指标是否会对元素收得率有所影响，根据各指标序列与元素收得率序列关联度大小排序。结果显示，影响碳、锰元素收得率的主要影响因素差别不大，程度大小依次为温度、碳化硅、石油增碳剂、转炉终点S和Mn元素占比。

关键词

合金收得率，边际影响模型，灰色关联度模型

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钢铁，作为民族工业发展的支柱之一，素有“工业粮食”的美誉，在房屋建筑、工业生产、轨道铺设、桥梁和船舶制造等方面都有着举足轻重的作用。跨入二十一世纪的一零年代，以互联网为依托的高新产业迅速成长，而钢铁等重工业行业的发展态势却进入了需求和产量骤降的双瓶颈期。在现有的设备基础上，如何降低投入成本的同时提高产出比目前被各大钢铁企业所高度关注着。

在经济效益的驱动下，高品质的产品质量仍然是第一要义，这就要求对生产过程的严格把控。在钢铁演练的过程中，钢水脱氧合金化是极其重要的一个环节。为了满足成品钢投入使用时的要求，需要在钢种熔炼结束后，加入多种合金料使其所含元素量达标[1]。

本文将以脱氧合金化过程中的合金收得率为出发点建立模型探讨影响其收得率的主要因素。

2. 数据预处理

2.1. 数据来源于模型假设

本文选取钢铁提炼时转炉终点温度、转炉终点各金属含量、连铸正样各金属含量以及脱氧合金化时加入各物质的质量作为研究对象，数据来源于2019年Mathorcup高校数学建模挑战赛。为了简化模型过程，本文做出以下假设：

- 1) 在脱氧合金化的过程中，不考虑化学反应造成钢水质量的损失。
- 2) 元素守恒，由于在反应的过程中空气中氧气的影响，质量可以不守恒。
- 3) 脱氧合金化过程的温度以转炉终点的温度为标准。

2.2. 合金收得率的计算于不同钢种之间差异性检验

合金元素收得率，指在单位时间内钢水吸收合金元素的量与初始投入量之比，其计算公式如下：

$$Y = \frac{C_1(W_s + \sum W_i) - C_0 W_s}{\sum W_i \delta_i}$$

以计算碳(C)元素为例，其中 C_0 ， C_1 分别表示转炉终点和连铸正样中碳元素含量百分比； W_s 为钢水的净重量， W_i 表示第 i 种合金料的重量； δ_i 表示第 i 种合金料中碳元素的重量百分比。

从得到的结果来看，有存在收得率大于1的情况，根据元素守恒质量存在不守恒的假设来看，是由

于脱氧合金化过程中 Si、Mn、Al 等元素跟氧元素发生反应生成的氧化物质量可能存在比反应物质量大的情况。在得到了不同元素的收得率后，为了进一步确认是否需要针对不同钢种分别讨论其收得率的影响因素，本文对不同钢种得到的收得率进行均值差异检验。理论上假设收得率的总体均值服从正态分布，采用单因素方差分析检验的结果如表 1 所示：

Table 1. Single factor analysis of variance

表 1. 单因素方差分析结果表

Source	SS	Df	MS	F	Prob > F
Between groups	0.111434	4	0.027859	0.92	0.45
Within groups	24.2724	804	0.030189		
Total	24.3839	808	0.030178		

从表 1 可看出，不同钢种收得率均值不存在显著性差异。

3. 边际影响模型

为了研究影响收得率的主要因素，本文首先讨论计算公式中钢水重量和添加的合金料重量对收得率的影响，在计算公式中，对钢水重量和添加的合金料重量分别求偏导数(即为边际影响率)：

$$\frac{\partial Y}{\partial W_s} = \frac{(C_1 - C_0)}{\sum W_i \delta_i}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial W_i} = \frac{C_1 \sum W_i \delta_i - ((C_1 - C_0) W_s + C_1 \sum W_i) \delta_i}{\sum W_i \delta_i}$$

代入数据后便可得到各个合金料与钢水质量对元素收得率的边际影响，以碳和锰为例，其平均边际值如图 1 所示：

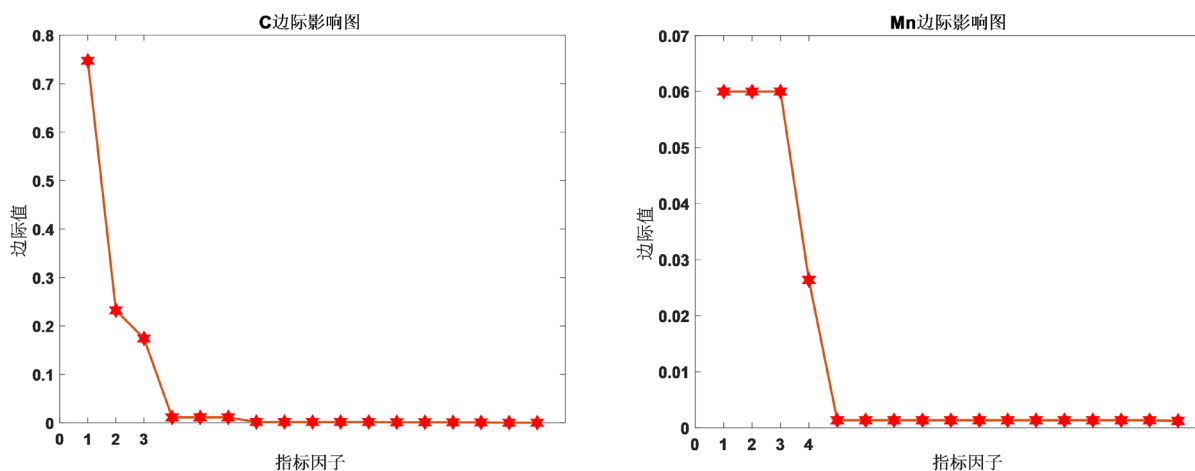


Figure 1. Marginal influence diagram of indicators on carbon (left) and manganese (right) element yields

图 1. 指标对碳(左)、锰(右)元素收得率的边际影响图

由图 1 可知：对于 C 的前 3 种添加的合金偏导数平均值显著大于 0，而对于 Mn 的前 4 种偏导数的平均值显著大于 0，其排名结果如表 2：

Table 2. Ranking table of marginal impact of factors affecting carbon and manganese
表 2. 碳、锰两种元素影响因素的边际影响排名表

碳(C)	锰(Mn)
石油焦增碳剂	硅锰面(硅锰渣)
碳化硅(55%)	锰硅合金 FeMn ₆₄ Si ₂₇
硅钙碳脱氧剂	锰硅合金 FeMn ₆₈ Si ₁₈
	硅铝锰合金球

针对碳(C)元素收得率，边际影响最大的是石油焦增碳剂。钢水中碳元素含量会因为各种原因在炼钢过程中降低，而石油焦增碳剂通过碳的溶解与氧化损耗，降低钢水中氧含量的同时起到增碳的作用。碳化硅的使用可以减少增碳剂和硅铁的投入量，而成本更低[2]。

锰元素是脱氧合金化中最常用的还原元素，而硅元素具有良好的亲氧性，可以减少掺杂的杂质和气体元素的含量，硅锰面和硅铝锰合金球的影响机制亦是如此。

4. 灰色关联度模型

为了考察其他未参与计算的指标是否会对元素收得率有所影响，本文建立灰色关联度模型。选取碳(锰)元素收得率为参考序列：

$$Q_o = \{Q_o(k) | k = 1, 2, \dots, n\} = (Q_o(1), Q_o(2), \dots, Q_o(n))$$

其中 k 表示第 k 个样本，选定 16 种合金料、转炉终点温度、转炉终点元素(碳、锰、硫、磷、硅)的含量比例、钢水净重 23 个指标的样本数据为比较序列：

$$Q_j = \{Q_j(k) | k = 1, 2, \dots, n\} = (Q_j(1), Q_j(2), \dots, Q_j(n)), j = 1, 2, \dots, 23$$

则用以下公式来计算在第 k 个样本数据的比较序列 Q_j 与收得率序列的关联系数：

$$r_i(k) = \frac{\min_s \min_t |Q_o(t) - Q_s(t)| + \rho \max_s \max_t |Q_o(t) - Q_s(t)|}{|Q_o(t) - Q_i(t)| + \rho \max_s \max_t |Q_o(t) - Q_s(t)|}$$

记 ρ 为分辨系数，取值范围是[0, 1]； $\min_s \min_t |Q_o(t) - Q_s(t)|$ 和 $\max_s \max_t |Q_o(t) - Q_s(t)|$ 分别表示极值最小差和极值最大差。由此对 n 个样本我们都能计算得到一个关联系数[3]，为了更好地比较，采用以下公式计算关联度将分散的关联系数集中处理：

$$Cor_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_i(k)$$

则 23 个指标都能与收得率序列的关联度，结果绘制如图 2 所示：

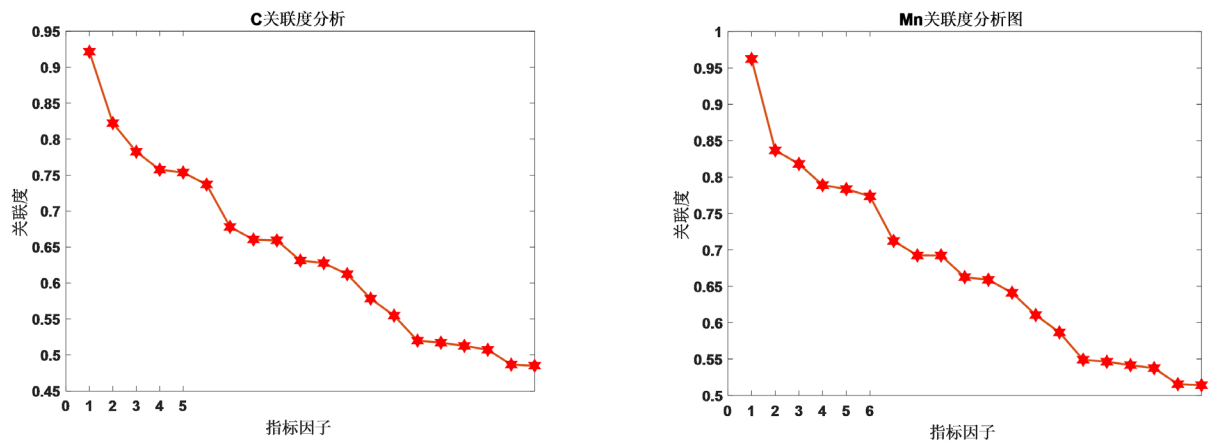


Figure 2. Relevance analysis of carbon (left) and manganese (right) elements
图 2. 碳(左)、锰(右)两种元素关联度结果分析图

由图 2 可知，取曲线下降第一次达到平稳时的前几位作为碳元素的主要影响因素，分别为：

Table 3. Ranking of correlation degree of influencing factors of carbon and manganese recovery
表 3. 碳、锰两种元素收得率影响因素的关联度排名

	1	2	3	4	5	6
碳	温度	碳化硅	石油焦增碳剂	转炉终点 S	转炉终点 Mn	
锰	温度	碳化硅	石油焦增碳剂	转炉终点 S	转炉终点 Mn	钒铁(FeV50-B)

根据表 3，即将温度、转炉终点元素含量等指标纳入影响因素考量的结果可以看出，两种元素的主要影响因素差别不大。其中最主要的是转炉终点温度，温度过高会提高钢水中氧含量，脱氧剂用量增加，从而合金收得率降低。且锰、铝、硅与氧的反应都是放热反应，温度提高会阻碍反应的正向进行。硫元素作为钢水中主要的气态产物元素之一，在钢水中的主要形式是塑性较差的 FeS(硫化亚铁)，故转炉终点硫元素的含量决定着脱硫过程加入合金的量，从而影响合金收得率，而转炉终点锰元素含量与脱氧化又息息相关[4]。碳化硅和石油焦增碳剂的作用在边际影响时进行了分析，不再赘述。

5. 灰色关联度模型的灵敏度检验

在灰色关联度模型中，通常都要给出分辨率系数。本文在探讨影响收得率的因素时取分辨率系数为 0.5。针对该模型的灵敏度的探讨，本文使用蒙特卡罗模拟的思想来产生介于 0 和 1 之间的随机数，通过 10,000 次的实验发现当分辨率系数在 0~1 之间取任意数时模型仍然有效。以 0.2 为一个步长，我们设置分辨率系数在 0.3~0.9 之间波动，并分别计算出碳和锰元素影响因素的关联度，如图 3 所示，可以看出在不同的分辨率系数下斜率变化程度趋近相同，这表明模型具有令人满意的稳定性。

6. 结语

本文选取钢铁提炼时转炉终点温度、转炉终点各金属含量、连铸正样各金属含量以及脱氧合金化时加入各物质的质量进行合金收得率的研究，给出了合金收得率的计算公式并分析了不同钢种间收得率的差异性。然后利用边际影响模型分析计算公式中钢水重量和添加的合金料重量对收得率的影响，再用灰

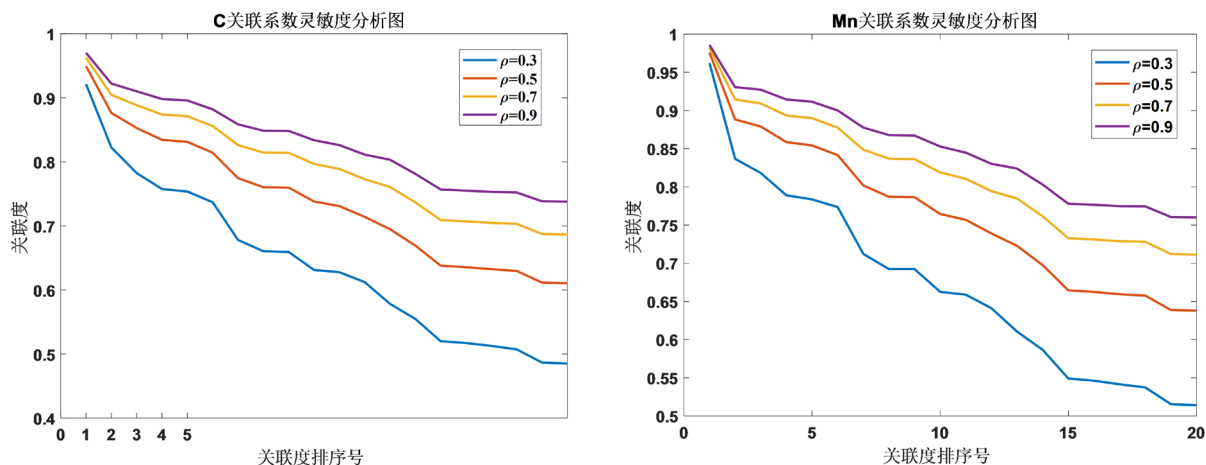


Figure 3. Sensitivity analysis diagram based on correlation coefficient
图 3. 基于关联系数的灵敏度分析图

色关联度分析考察其他未参与计算的指标是否会对元素收得率有所影响。以碳和锰元素为例，将温度、转炉终点元素含量等指标纳入影响因素考量时，影响两种元素的收得率主要因素差别不大。模型检验结果显示，该模型与关联度分析中分辨系数的选取无关。

基金项目

本文由湖南农业大学大学生创新性实验计划项目(SCX1802)资助。

参考文献

- [1] 陈襄武. 炼钢过程的脱氧[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1991.
- [2] 李丰功, 战东平, 张佩灿, 等. 脱氧合金化工艺对高铝钢中夹杂物的影响[J]. 中国冶金, 2013, 23(7): 21-23.
- [3] 林鹏程, 吴启勋. 灰色关联度分析及应用[J]. 盐湖研究, 2001, 9(2): 48-50.
- [4] 杨怀春, 马进国, 姜国才. 碳化硅对转炉炼钢脱氧合金化的影响分析[J]. 新疆钢铁, 2014(2): 43-45.

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7991, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: aam@hanspub.org