

# Influence on C<sub>2</sub>S Dominant Precipitation and Self-Pulverization of Converter Steel Slag by SiO<sub>2</sub> Modification

Chao Lin, Wei Gao, Nana Zhong, Guohui Zhu

School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui  
Email: 165141583@qq.com

Received: May 12<sup>th</sup>, 2018; accepted: May 26<sup>th</sup>, 2018; published: Jun. 6<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Converter steel slag pulverization is one of effective ways for its massive utilization. However, the poor grindability caused by complex chemical composition and microstructure of converter steel slag makes it very difficult to be pulverized. Converter steel slag contains polymorph dicalcium silicate (C<sub>2</sub>S), and its crystal structure can transform from  $\beta$ -C<sub>2</sub>S to  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S under cooling condition accompanied by volume expansion, which could result in self-pulverization and improve steel slag grindability. According to chemical composition of practical steel slags, CaO (50 wt%)-MgO (10 wt%)-SiO<sub>2</sub> (10 wt%)-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (30 wt%) slag has been chosen as basic experimental synthetic slag and modified with different SiO<sub>2</sub> addition amounts. The results show that with the synthetic slag basicity of 2, C<sub>2</sub>S can precipitate dominantly in converter steel slag, which results in high self-pulverization effect, and screening rate of slag powder below 150  $\mu$ m can even reach 94.3%. The results of the experiments provide scientific reference for further recycling of converter steel slag.

## Keywords

Converter Steel Slag, Dicalcium Silicate, Modification, Mineral Phase, Basicity

---

# SiO<sub>2</sub>改质对转炉钢渣中C<sub>2</sub>S相优势析出及钢渣自粉化的影响

林超, 高卫, 钟娜娜, 朱国辉

安徽工业大学冶金工程学院, 安徽 马鞍山  
Email: 165141583@qq.com

收稿日期: 2018年5月12日; 录用日期: 2018年5月26日; 发布日期: 2018年6月6日

## 摘要

转炉钢渣微粉化是目前实现钢渣综合利用的有效途径之一，但是转炉钢渣易磨性差，严重制约了其微粉化。而利用转炉钢渣中硅酸二钙相( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ，简称C<sub>2</sub>S)在降温过程中发生 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 向 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ 晶型转变引起体积膨胀产生的内应力，可实现钢渣的自粉化。因此钢渣中C<sub>2</sub>S相含量高低将影响钢渣的自粉化效果。本论文以CaO (50 wt%)-MgO (10 wt%)-SiO<sub>2</sub> (10 wt%)-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (30 wt%)四元合成渣系作为基础转炉渣系，研究了SiO<sub>2</sub>改质对转炉钢渣中C<sub>2</sub>S优势析出的影响。实验结果表明：通过SiO<sub>2</sub>改质合成转炉钢渣，将二元化学碱度控制在2左右时，可实现渣中C<sub>2</sub>S相优势析出，有利于钢渣自粉化，渣粉150  $\mu\text{m}$ 过筛率最高可达94.3%。本实验结果为转炉钢渣资源的进一步回收利用提供了参考。

## 关键词

转炉钢渣，硅酸二钙，改质，矿相，碱度

Copyright © 2018 by authors 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

转炉钢渣微粉化处理是其大宗量高效利用的重要前提。经微粉化处理后的转炉钢渣不仅可提高渣中残铁的磁选率，还能促进尾渣在相关行业领域中更为广泛的应用[1] [2]。但是由于转炉钢渣的化学成分与矿相组成特点，其易磨性较差。使用一般的机械研磨方法，转炉终渣很难磨细，研磨成本较大。这极大制约了转炉钢渣的应用[3] [4]。已有钢渣矿相研究表明，转炉钢渣一般可含有10%~30%左右的C<sub>2</sub>S相[5] [6]。C<sub>2</sub>S在降温过程中可发生 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 向 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ 的晶型转变，过程伴随11%左右的体积膨胀，产生的内应力可引起转炉钢渣的自粉化现象[7] [8] [9]。因此钢渣中C<sub>2</sub>S相析出量多少将影响钢渣的自粉化效果。本论文以CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>四元合成渣系作为实验基础渣系，研究了SiO<sub>2</sub>改质对合成转炉钢渣中C<sub>2</sub>S优势析出及钢渣自粉化的影响，实验结果可为转炉钢渣微粉化研究提供科学依据和技术参考。

## 2. 实验

转炉钢渣主要由CaO、SiO<sub>2</sub>、FeO<sub>x</sub>、MgO及少量MnO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>等成分组成[10]。结合国内钢铁企业转炉钢渣终渣成分，本论文使用国药控股股份有限公司生产的分析纯化学试剂配制转炉钢渣，以CaO (50 wt%)-MgO (10 wt%)-SiO<sub>2</sub> (10 wt%)-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (30 wt%)四元合成渣系作为实验基础渣系，然后添加不同含量的SiO<sub>2</sub>配制改质渣。相同成分的改质渣对应分成两组，一组不加B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，钢渣可发生粉化；另一组加入微量B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>能抑制 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 向 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ 的晶型转变，可阻止渣样粉化，以便后期能通过扫描电镜分析原粉化渣中的矿相及C<sub>2</sub>S析出情况，微量B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的加入不会影响转炉钢渣矿相的生成。表1为合成转炉钢渣的基础渣(1号样)和改质渣(2~13号样的)的成分配比及改质渣中SiO<sub>2</sub>的加入量。将各组渣样装入高纯MgO坩埚，置于MoSi<sub>2</sub>高温炉中，升温至1600度，熔融保温30 min后随炉冷却至室温。对未加B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>并发生自粉化的渣样用筛孔直径为150  $\mu\text{m}$ 、75  $\mu\text{m}$ 、48  $\mu\text{m}$ 的筛子进行筛分，计算渣样过筛率；对加B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>未发生自粉化的渣样，则经切割和抛光后，用JEOL JSM-6510LV扫描电镜配INCA Feature X-MAX20能谱仪(SEM&EDS)分析样品矿相和微区化学成分。

**Table 1.** Composition ratio of the experimental converter steel slag with different  $\text{SiO}_2$  addition amounts  
**表 1.** 不同  $\text{SiO}_2$  加入量条件下实验转炉渣系成分配比

组号	$m(\text{CaO})/\text{克}$	$m(\text{SiO}_2)/\text{克}$	$m(\text{MgO})/\text{克}$	$m(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\text{克}$	$\text{SiO}_2$ 加入量/克	$R = w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2)$
1	5.0	1.0	1.0	3.0	0.0	5.0
2	5.0	1.2	1.0	3.0	0.2	4.2
3	5.0	1.4	1.0	3.0	0.4	3.6
4	5.0	1.6	1.0	3.0	0.6	3.1
5	5.0	1.8	1.0	3.0	0.8	2.8
6	5.0	2.0	1.0	3.0	1.0	2.5
7	5.0	2.2	1.0	3.0	1.2	2.3
8	5.0	2.4	1.0	3.0	1.4	2.1
9	5.0	2.6	1.0	3.0	1.6	1.9
10	5.0	2.8	1.0	3.0	1.8	1.8
11	5.0	3.0	1.0	3.0	2.0	1.7
12	5.0	3.2	1.0	3.0	2.2	1.6
13	5.0	3.4	1.0	3.0	2.4	1.5

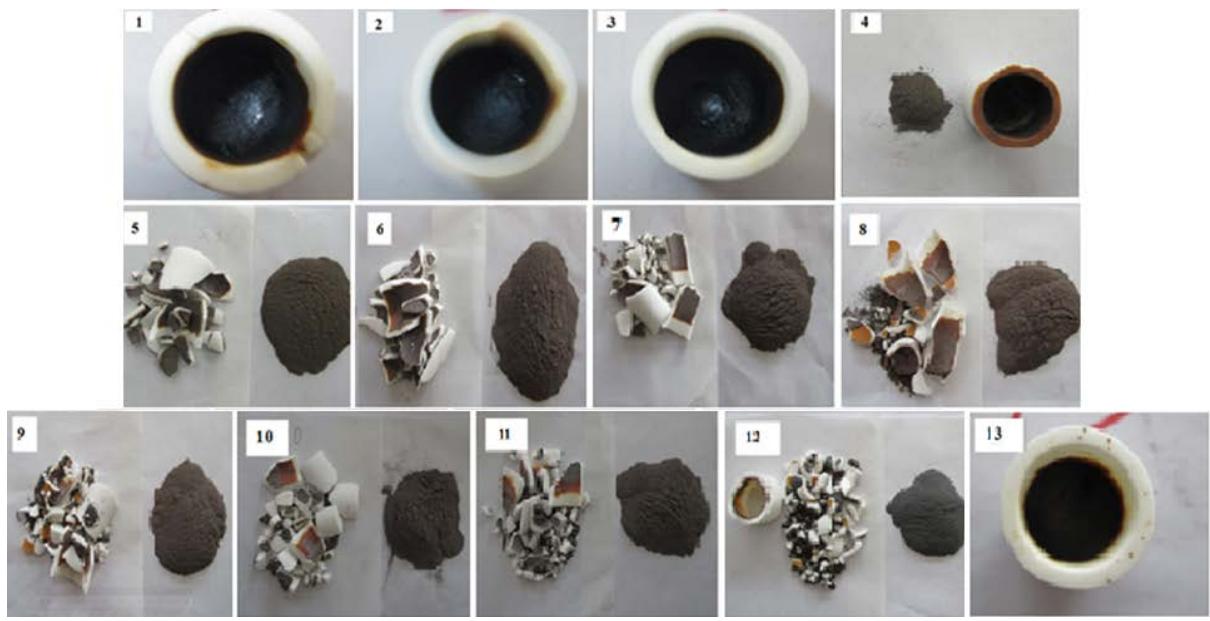
### 3. 实验结果与讨论

#### 3.1. $\text{SiO}_2$ 改质对转炉钢渣中 $\text{C}_2\text{S}$ 相优势析出的影响

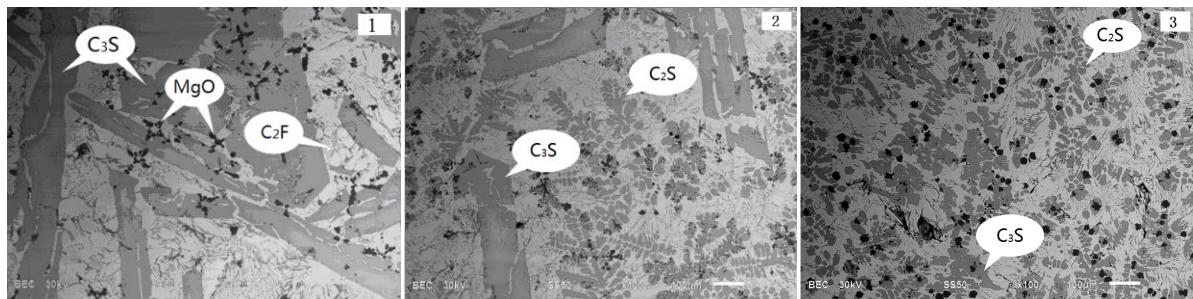
图 1 是未加  $\text{B}_2\text{O}_3$  的 1~13 号渣系经  $\text{SiO}_2$  改质后的粉化情况。由图可知, 随着  $\text{SiO}_2$  加入量的增加, 转炉钢渣出现了不同程度的粉化。转炉钢渣自粉化效果主要与渣中  $\text{C}_2\text{S}$  相的含量有关。自粉化效果的变化, 则说明渣中的  $\text{C}_2\text{S}$  析出量的变化, 对此需分析加  $\text{B}_2\text{O}_3$  且对应成分的不粉化改质渣的矿相。

图 2 是图 1 中 1~3 号渣的 SEM 背散射电子图及其主要矿相。1 号渣为未改质的初始渣, 其二元化学碱度  $R(w\text{CaO}/w\text{SiO}_2)$  为 5.0, 碱度较大。渣中的含硅相主要为长条状的  $\text{C}_3\text{S}$  相( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), 渣样中未发现  $\text{C}_2\text{S}$  相( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), 因此渣样冷却时不会发生粉化; 当加入 2% 的  $\text{SiO}_2$  时, 2 号渣中存在  $\text{C}_3\text{S}$  和  $\text{C}_2\text{S}$ 。随着  $\text{SiO}_2$  的加入, 部分  $\text{C}_3\text{S}$  可与  $\text{SiO}_2$  反应生成  $\text{C}_2\text{S}$  相; 当加入 4% 的  $\text{SiO}_2$  时, 3 号渣的含硅相仍主要为  $\text{C}_3\text{S}$  和  $\text{C}_2\text{S}$ , 但  $\text{C}_3\text{S}$  含量显著减少, 而  $\text{C}_2\text{S}$  含量增加。由图 2 可以看出 3 号渣中析出的  $\text{C}_2\text{S}$  量要比 2 号渣多。经改质后, 2、3 号渣中虽然均有  $\text{C}_2\text{S}$  相生成, 不过其总体析出量不够, 渣中也仍存在  $\text{C}_3\text{S}$  相, 因此  $\text{C}_2\text{S}$  晶型转变时产生的体积膨胀内应力不足以自粉化钢渣, 如图 1 所示。此外, 渣中白灰色的基质相主要由 Ca 和 Fe 的氧化物组成, 为  $\text{C}_2\text{F}$  相( $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); 黑色的颗粒相为方镁石相( $\text{MgO}$ )。

图 3 是加  $\text{B}_2\text{O}_3$  不粉化 4~7 号渣的背散射电子图, 4~7 号渣  $\text{SiO}_2$  的加入量依次是 6%、8%、10%、12%。4~7 号渣中的含硅相主要是  $\text{C}_2\text{S}$ , 未发现  $\text{C}_3\text{S}$ 。这是由于随着  $\text{SiO}_2$  加入量的增加,  $\text{SiO}_2$  与渣中的  $\text{C}_3\text{S}$  结合生成  $\text{C}_2\text{S}$ , 渣中的  $\text{C}_3\text{S}$  已被反应完。并且随着  $\text{SiO}_2$  加入量继续增加,  $\text{SiO}_2$  还将与含铁相  $\text{C}_2\text{F}$  中的  $\text{CaO}$  成分反应, 进一步生成  $\text{C}_2\text{S}$ , 而  $\text{C}_2\text{F}$  也转变为  $\text{CF}(\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)$ , 如图 4 的 5 号渣样所示; 再继续加入  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CF}$  中的  $\text{CaO}$  成分也被  $\text{SiO}_2$  夺取生成  $\text{C}_2\text{S}$ , 而残余的  $[\text{Fe}_2\text{O}_5]^{4-}$  将与渣中的  $\text{MgO}$  反应生成  $\text{MF}$  相( $\text{MgO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 如图 4 的 6 号渣样所示。在此过程中, 渣中的  $\text{C}_2\text{S}$  继续增加; 若  $\text{SiO}_2$  继续加入, 则过剩的  $\text{SiO}_2$  将与  $\text{Mg}$ 、 $\text{Ca}$  反应生成复杂的  $\text{Ca}\text{-Si}\text{-Mg}$  系矿相。通过比较图 3 中 4~7 号渣中的  $\text{C}_2\text{S}$  量, 可直观看出 4 号渣中的  $\text{C}_2\text{S}$  量较 5~7 号渣少, 粉化效果也相对较差, 而 5~7 号渣中  $\text{C}_2\text{S}$  析出量较多, 因此渣样粉化效果总体较好, 如图 1 所示。



**Figure 1.** Pulverization images of slag samples with different  $\text{SiO}_2$  addition amounts  
**图 1.** 不同  $\text{SiO}_2$  加入量时实验转炉渣样的粉化图片

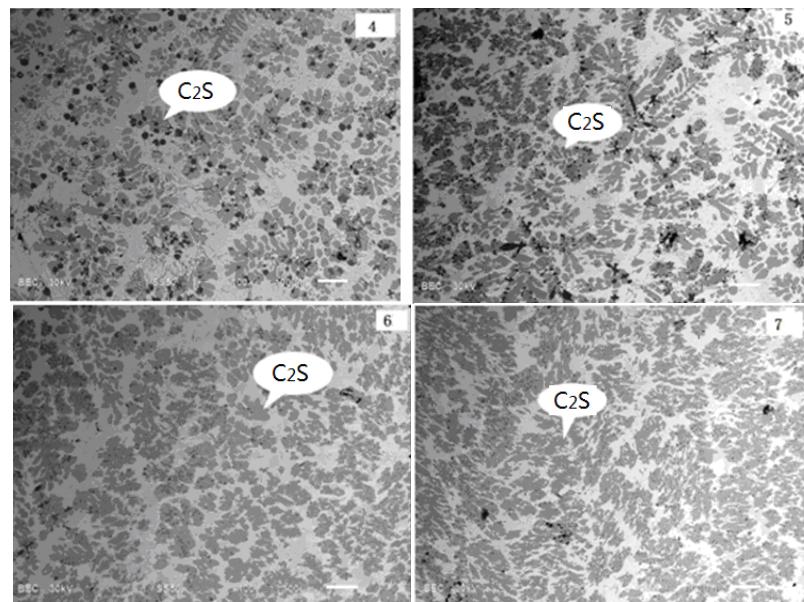


**Figure 2.** BSE images of 1~3 slag samples  
**图 2.** 1~3 号渣的背散射电子图

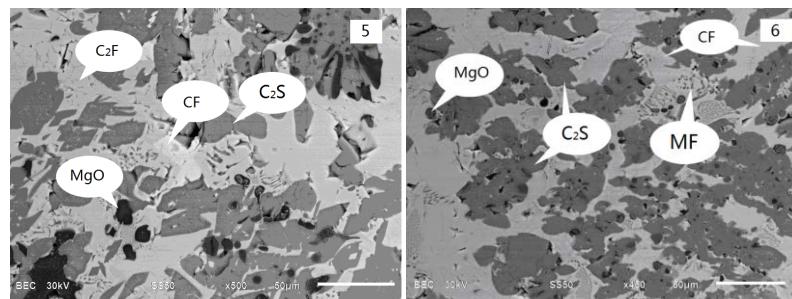
图 5 是加  $\text{B}_2\text{O}_3$  不粉化 8、9 号渣的背散射电子图, 8 号和 9 号渣中  $\text{SiO}_2$  加入量分别为 14% 和 16%。8 号渣中的含硅矿相仍主要为  $\text{C}_2\text{S}$ , 但是随着过量  $\text{SiO}_2$  的加入, 开始出现  $\text{Mg}^{2+}$  溶入  $\text{C}_2\text{S}$  的现象,  $\text{C}_2\text{S}$  中出现了一定量的  $\text{Mg}$  元素。 $\text{C}_2\text{S}$  中固溶  $\text{Mg}^{2+}$  的增加, 将会影响  $\text{C}_2\text{S}$  的晶型转变, 不利于钢渣自粉化[11]; 9 号渣中  $\text{SiO}_2$  加入量为 16%, 渣中除了部分粒状的  $\text{C}_2\text{S}$  外, 开始出现新的矿相, 即过量  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Mg}$ 、 $\text{C}_2\text{S}$  反应生成的复杂长条状  $\text{Ca}-\text{Si}-\text{Mg}$  系镁蔷薇辉石  $\text{C}_3\text{MS}_2$ ( $3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot2\text{SiO}_2$ )。因此当  $\text{SiO}_2$  的加入量过多时, 随着  $\text{C}_3\text{MS}_2$  相的生成,  $\text{C}_2\text{S}$  相出现减少的趋势, 钢渣自粉化效果会减弱。

图 6 是不粉化 10、11 号渣的背散射电子图。由前述分析可知, 当  $\text{SiO}_2$  的加入量超过 14% 后, 渣中的  $\text{Mg}^{2+}$  将进一步溶入  $\text{C}_2\text{S}$ , 生成  $\text{C}_3\text{MS}_2$  相, 因此 10 号和 11 号渣中的含硅相主要是  $\text{C}_3\text{MS}_2$  和  $\text{C}_2\text{S}$ 。由图 6 可以看出, 10 号渣中在  $\text{C}_3\text{MS}_2$  相的边缘和内部还有较多的  $\text{C}_2\text{S}$  相存在。与 10 号渣比较, 11 号渣中  $\text{C}_2\text{S}$  的量则已明显减少。

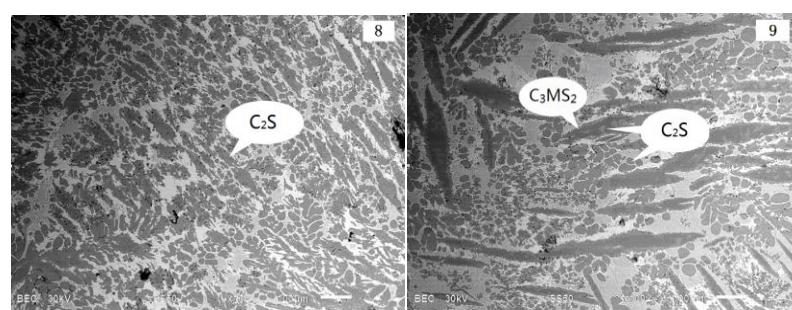
图 7 是加  $\text{B}_2\text{O}_3$  不粉化 12 号渣和图 1 中 13 号渣的背散射电子图。12 号和 13 号渣中  $\text{SiO}_2$  的加入量分别为 22% 和 24%。12 号渣的含硅相包括  $\text{C}_3\text{MS}_2$  和  $\text{C}_2\text{S}$ 。与 11 号渣相比较, 12 号渣中  $\text{C}_2\text{S}$  分布在  $\text{C}_3\text{MS}_2$  相边缘, 较 11 号渣的  $\text{C}_2\text{S}$  相进一步减少; 13 号渣的  $\text{SiO}_2$  的加入量为 24%, 渣中的含硅相基本全是  $\text{C}_3\text{MS}_2$ ,



**Figure 3.** BSE images of 4~7 slag samples  
**图 3.** 4~7 号渣的背散射电子图



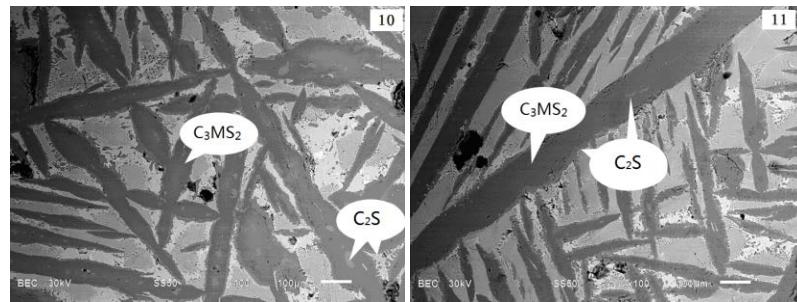
**Figure 4.** BSE images of 5, 6 slag samples  
**图 4.** 5、6 号渣的背散射电子图



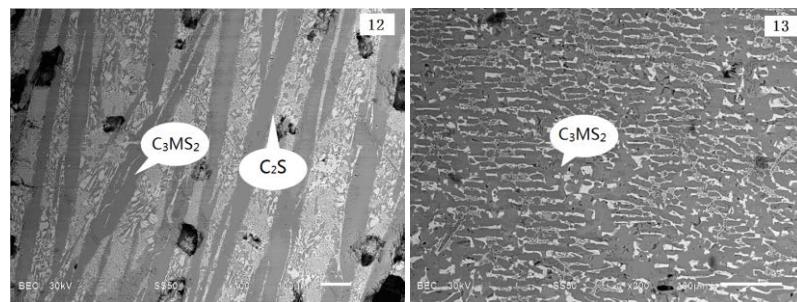
**Figure 5.** BSE images of 8, 9 slag samples  
**图 5.** 8、9 号渣的背散射电子图

只存在极微量的  $C_2S$  相, 因此渣样基本不粉化。

随着转炉钢渣中  $SiO_2$  改质剂加入量的增加, 钢渣中  $C_2S$  含量先是增加, 然后减少, 含硅相最终转变为  $C_3MS_2$  相: 当向基础渣系中加入 0%~4% 的  $SiO_2$  时, 渣中的  $C_3S$  与  $SiO_2$  反应,  $C_2S$  量逐渐增多; 加入 6%~12% 的  $SiO_2$  进行改质时,  $SiO_2$  继续与  $C_2F$  或  $CF$  中的  $CaO$  结合生成  $C_2S$ , 在该改质范围内, 渣中生



**Figure 6.** BSE images of 10, 11 slag samples  
**图 6. 10、11 号渣的背散射电子图**



**Figure 7.** BSE images of 12, 13 slag samples  
**图 7. 12、13 号渣的背散射电子图**

成  $C_2S$  相较多;  $SiO_2$  加入量大于 14% 以后, 出现  $Mg^{2+}$  溶入  $C_2S$  的现象, 并有  $C_3MS_2$  相生成。随着  $SiO_2$  加入量的进一步增大, 渣中的  $C_3MS_2$  相含量增加,  $C_2S$  含量减少。实验结果表明, 向基础渣系中加入 0%~24% 的  $SiO_2$  进行改质时,  $C_2S$  的含量经历一个先增多后减少的过程, 其中  $SiO_2$  加入量为 8%~12% 时, 渣中生成  $C_2S$  较多, 渣中  $C_2S$  优势析出, 将有利于提高转炉钢渣的自粉化效果。

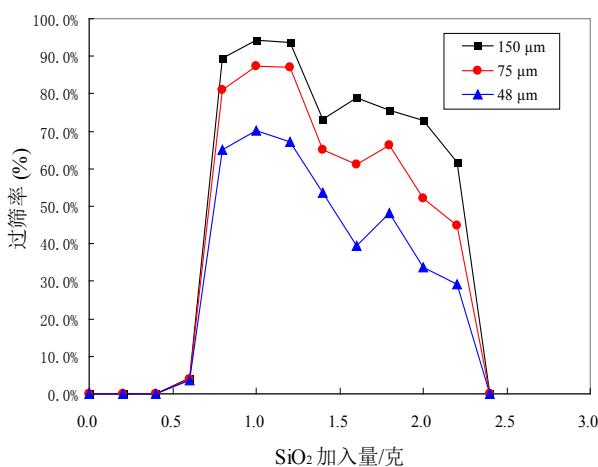
### 3.2. $SiO_2$ 改质对转炉钢渣自粉化的影响

将图 1 中未加  $B_2O_3$  的 1~13 号渣样中的粉化渣依次用筛孔直径为 150  $\mu m$ 、75  $\mu m$ 、48  $\mu m$  的筛子进行筛分, 并根据自粉化渣样过筛质量和钢渣总质量的比值确定各组粉化渣样的过筛率, 并作图, 结果分别如表 2 和图 8 所示。

结合图 1~8 和表 2 可看出, 随着转炉钢渣中  $SiO_2$  加入量的增加, 钢渣自粉化效果先增强, 后又变弱。转炉钢渣中  $C_2S$  析出量越多, 则钢渣自粉化效果越好。当向基础渣系中加入 0~4% 的  $SiO_2$  时, 1~3 号渣样基本不粉化。尽管 2、3 号渣样中  $C_3S$  与加入的  $SiO_2$  反应,  $C_2S$  析出量逐渐增多, 但由于此时渣中的硅钙相仍主要为  $C_3S$ ,  $C_2S$  含量不高, 并且钢渣中含有较多高硬度的  $C_2F$  基质相, 影响了钢渣的粉化效果; 当渣中  $SiO_2$  加入量为 6% (4 号渣样) 时,  $C_2S$  含量继续增加, 钢渣出现粉化, 不过粉化率很低, 150  $\mu m$  过筛率仅为 4.1%; 钢渣中  $SiO_2$  加入量为 8%~12% (5~7 号渣样) 时, 钢渣的过筛率较高, 150  $\mu m$  过筛率基本在 90% 以上, 最高可达 94.3%, 48  $\mu m$  过筛率也都能达到 65% 以上。可见, 钢渣中  $SiO_2$  加入量在这个范围内时, 钢渣能取得较好的自粉化效果。这主要是由于随着渣中  $SiO_2$  的进一步加入, 钢渣中的  $C_3S$  及  $C_2F$ 、 $CF$  均可与  $SiO_2$  反应生成  $C_2S$ 。在此范围内,  $C_2S$  优势析出, 渣中生成  $C_2S$  相较多, 渣样粉化效果较好; 当钢渣  $SiO_2$  加入量大于 14% (8 号渣样) 后, 粉化渣样的过筛率整体呈下降趋势, 直至钢渣  $SiO_2$  加入量为 24% (13 号渣样) 时, 钢渣又开始不粉化。这是因为  $SiO_2$  的加入量大于 14% 以后,  $Mg^{2+}$  溶入  $C_2S$ , 渣中有  $C_3MS_2$  生成, 且随着  $SiO_2$  加入量的增大, 渣中的  $C_3MS_2$  含量增加,  $C_2S$  含量减少, 渣样粉化效

**Table 2.** Screening rate of slag samples with different  $\text{SiO}_2$  addition amounts  
**表 2.** 不同  $\text{SiO}_2$  加入量时渣样的过筛率

组号	$\text{SiO}_2$ 加入量/克	150 $\mu\text{m}$ 过筛率	75 $\mu\text{m}$ 过筛率	48 $\mu\text{m}$ 过筛率
1	0.0	0.0%	0.0%	0.0%
2	0.2	0.0%	0.0%	0.0%
3	0.4	0.0%	0.0%	0.0%
4	0.6	4.1%	3.8%	3.6%
5	0.8	89.4%	80.9%	65.1%
6	1.0	94.3%	87.3%	70.3%
7	1.2	93.6%	86.9%	67.3%
8	1.4	73.1%	65.1%	53.5%
9	1.6	78.9%	61.0%	39.4%
10	1.8	75.5%	66.2%	48.1%
11	2.0	72.9%	52.2%	33.6%
12	2.2	61.6%	44.8%	29.2%
13	2.4	0.0%	0.0%	0.0%



**Figure 8.** Pulverization results of converter steel slag with different  $\text{SiO}_2$  addition amounts  
**图 8.** 不同  $\text{SiO}_2$  加入量下转炉钢渣粉化效果

果变差。不过在此过程中,过筛率在  $\text{SiO}_2$  加入量为 14%~18% (8~10 号渣样) 之间时有波动。这是因为当  $\text{C}_2\text{S}$  生成量较少时,渣中  $\text{C}_2\text{F}$ 、 $\text{C}_3\text{MS}_2$  相含量也会影响到钢渣的粉化效果。分析图 4~6 的矿相可知,当  $\text{SiO}_2$  加入量从 14% 增加到 18% 时,渣中易磨性差的高硬度  $\text{C}_2\text{F}$  基质相进一步减少,而相对易磨的  $\text{C}_3\text{MS}_2$  含量增加。因此尽管此时  $\text{C}_2\text{S}$  含量继续减少,但渣样粉化效果却又有提高,过筛率又有所增加。但随着  $\text{SiO}_2$  加入量继续增加,虽然易磨的  $\text{C}_3\text{MS}_2$  含量继续提高,但  $\text{C}_2\text{S}$  的生成量已减少至不足以自粉化钢渣,因此钢渣过筛率整体仍呈下降趋势。

综上所述,向  $\text{CaO}$  (50 wt%)- $\text{SiO}_2$  (10 wt%)- $\text{MgO}$  (10 wt%)- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (30 wt%) 四元基础渣系中加入  $\text{SiO}_2$  进行改质,  $\text{C}_2\text{S}$  析出量经历一个先增多后减少的过程,粉化效果也随之变化。其中  $\text{SiO}_2$  加入量为 8%~12%

时, 渣中  $C_2S$  能优势析出, 转炉钢渣自粉化效果较好。考虑到钢铁企业实际转炉钢渣的成分和改质操作对钢渣粘度的要求, 将转炉钢渣二元化学碱度控制在 2 左右时, 可实现钢渣中  $C_2S$  相的优势析出, 也有利于实现转炉钢渣的自粉化。

#### 4. 结论

根据实际转炉钢渣的成分与矿相, 选择  $CaO$  (50 wt%)- $SiO_2$  (10 wt%)- $MgO$  (10 wt%)- $Fe_2O_3$  (30 wt%) 四元基础转炉渣系, 研究了  $SiO_2$  改质对合成转炉钢渣中  $C_2S$  优势析出及钢渣自粉化的影响, 结果表明:

1)  $CaO$ - $SiO_2$ - $MgO$ - $Fe_2O_3$  四元基础转炉渣系主要矿相为  $C_3S$ 、 $C_2S$ 、 $C_2F$  和  $(Mg, Fe)O$  等。随着  $SiO_2$  改质剂的加入, 渣中的含硅、含镁、含铁相都将发生转变。在钢渣二元碱度从 5.0 降低到 1.5 的过程中,  $C_2S$  相先增多后减少, 最终渣中含硅相转变为  $C_3MS_2$  相;

2) 通过  $SiO_2$  改质, 控制转炉钢渣碱度, 可实现渣中  $C_2S$  相的优势析出, 有利于转炉钢渣自粉化。碱度过高或过低, 渣中  $C_2S$  相析出不显著,  $\beta$ - $C_2S$  向  $\gamma$ - $C_2S$  转变时产生的内膨胀应力较小, 钢渣自粉化效果则较差。实验表明, 当控制转炉钢渣二元化学碱度在 2 左右时, 转炉钢渣中  $C_2S$  相可优势析出, 有利于转炉钢渣自粉化;

3) 实际转炉钢渣的碱度在 3~5 之间, 因此可通过改质调控渣中钙硅比, 降低其碱度至 2 左右, 有利于渣中  $C_2S$  相的优势析出, 促进钢渣自粉化。不过实际转炉钢渣一般含有一定量的  $P_2O_5$  成分, 这会抑制  $C_2S$  的晶型转变, 不利于钢渣自粉化。因此对于实际转炉钢渣, 除了主要调整其碱度以满足  $C_2S$  优势析出外, 还要对其进行一定的脱磷处理, 这也是本研究下一步的主要工作任务。本实验结果为实际生产中的转炉钢渣自粉化研究提供了理论依据。

#### 基金项目

国家自然科学基金资助项目(51374006, 51204005)。

#### 参考文献

- [1] 金强, 徐锦引, 高卫波. 宝钢新型钢渣处理工艺及其资源化利用技术[J]. 宝钢技术, 2005(3): 12-15, 22.
- [2] 于克旭, 周征, 宋宝莹. 钢渣磁选产品选别工艺设计及生产实践[J]. 金属矿山, 2010(1): 175-177, 182.
- [3] 程洲, 李琴, 陶德晶, 陶常亮, 翟建平. 钢渣助磨剂的助磨效果研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2011(2): 28-31.
- [4] 吴刚. 钢渣助磨剂及胶凝材料活性的试验研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
- [5] 邓志豪, 王珏, 周云. 转炉渣系矿物相研究[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2011, 28(3): 201-204.
- [6] 侯贵华, 李伟峰, 郭伟, 陈景华, 罗驹华, 王京刚. 用扫描电镜的背散射电子像分析转炉钢渣中的矿物相[J]. 材料导报, 2008, 22(z2): 208-211.
- [7] 谢大为, 王熠, 蒋林, 王珏, 高卫, 董元篪. 转炉钢渣自粉化的可行性研究[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2016, 33(2): 105-109.
- [8] 孟华栋, 刘浏, 布焕存. 不同碱度钢渣的高温热闷粉化性能研究[J]. 环境工程, 2014, 32(6): 105-108.
- [9] Lopatin, D.V. and Chizhikova, V.M. (2009) Disintegration of Metallurgical Slag on Account of the Polymorphism of Dicalcium Silicate. *Steel in Translation*, **39**, 529-532. <https://doi.org/10.3103/S096709120907002X>
- [10] Waligora, J., Bulteel, D., Degruilliers, P., Damidot, D., Potdevin, J.L. and Measson, M. (2010) Chemical and Mineralogical Characterizations of LD Converter Steel Slags: A Multi-Analytical Techniques Approach. *Materials Characterization*, **61**, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2009.10.004>
- [11] 谢大为, 王珏, 董元篪, 高卫, 李阳. 铁镁复掺对  $C_2S$  晶型转变的影响[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(12): 3712-3716.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2373-1478，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：[meng@hanspub.org](mailto:meng@hanspub.org)