

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 在锰硅炉渣中的作用探讨 与提高 Mn 回收率的实践

蒋仁全

(四川川投峨眉铁合金有限责任公司 峨眉山 中国 614222)

**摘要** 研究了 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 对锰硅合金炉渣冶金物理化学性质的影响, 提出选择 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 两种组元含量都比较高渣型的观点。介绍了在大、中型电炉上, 应用此渣型提高锰硅合金 Mn 回收率的生产实践。实践结果表明, 普通锰硅合金电炉 Mn 回收率达 85%。

**关键词** 锰硅合金 渣型 回收率 矿热炉

**中图分类号** TF642.3.3 **文献标识码** B **文章编号** 1001-1943(2006)01-0001-04

## DISCUSSION OF Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO EFFECTS IN MANGANESE SILICON SLAG AND PRACTICE OF IMPROVEMENT ON Mn RECOVERY RATIO

Jiang Renquan

(Sichuan Chuanton Emei Ferroalloys Group Co., Ltd., Emeishan, China 614222)

**Abstract** It studies Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO impacts on manganese silicon slag's metallurgical physical and chemical performance, and put forwards the view choosing the slag type with two high elements Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO contents. Application of the slag type on the large and medium size furnace raises Mn recovery ratio. In practice, common manganese silicon alloy recovery ratio can reach 85%.

**Keywords** silicomanganese, slag type, recovery ratio, submerged arc furnace

### 1 前言

长期以来, 人们通常把碱度作为选择锰硅合金渣型的重要参数。碱度有二元碱度和三元碱度之分, 表达式如下:

$$B_2 = (\text{CaO}\%) / (\text{SiO}_2\%)$$

$$B_3 = (\text{CaO}\% + \text{MgO}\%) / (\text{SiO}_2\%)$$

$$B_3 = (\text{CaO}\% + 1.4\text{MgO}\%) / (\text{SiO}_2\%)$$

碱度的取值范围尚无定论, 大多数冶炼工作者认为锰硅渣碱度以 0.6~0.8 为宜。而炉渣中各组元取值范围的最佳经验值不尽相同。

近年来, 许多工作者探索提高渣 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量, 并在生产实践中取得较好效果。笔者等人在参考有关文献和总结生产经验的基础上, 初步研究了 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、

MgO 两种组元在锰硅炉渣中的作用, 提出选择较高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 含量渣型的观点。在 16.5 MVA、25 MVA 电炉上应用后, 进一步提高了 Mn 回收率, 在其它条件基本相同的情况下, Mn 回收率由 82% 提高到 85%。

### 2 MgO 在锰硅炉渣中的作用

#### 2.1 对粘度的影响

从 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MgO-SiO<sub>2</sub> 四元渣系的粘度图<sup>[1]</sup> (图1)可以看出, 提高 MgO 的比例有助于降低炉渣的粘度。炉渣表面张力小时, 可以改善还原的动力学条件。锰硅炉渣中, 碱性氧化物可以降低炉渣表面张力, 其作用的大小顺序是:

**作者简介** 蒋仁全 男, 1974 年出生, 1996 年 7 月毕业于重庆钢铁高等专科学校炼钢与铁合金专业, 助理工程师。现从事铁合金生产技术管理工作。

**收稿日期** 2005-09-13

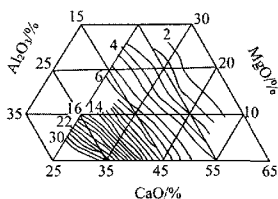


图1  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-SiO}_2$  四元渣系的粘度图

Fig.1 Viscosity diagram of  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-SiO}_2$  quadreple slag series

\*  $\text{CaO} > \text{MgO} < \text{MnO} < \text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ 。

## 2.2 对熔点的影响<sup>[2]</sup>

文献指出,炉渣中  $\text{MgO}$  提高 1%,则渣温提高  $10^\circ\text{C}$ 。

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2\text{-MgO}$  四元渣系的熔点如表 1 所示。

表 1  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2\text{-MgO}$  四元渣系熔点

Tab.1 Melting point of  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2\text{-MgO}$  quadreple slag series

$\text{MgO}/\%$	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{CaO}/\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\%$	熔点/ $^\circ\text{C}$
15	42	5	16	1 310
4	42	21	10	1 260

由表 1 中数据可知,高  $\text{MgO}$  渣型的熔点要比正常渣型高出  $50^\circ\text{C}$  左右。炉渣熔点提高,出炉温度也相应得到提高,这对  $\text{MnO}$ 、 $\text{SiO}_2$  还原反应的热力学条件有利。

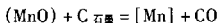
## 2.3 对导电性的影响

研究与实践表明,碱性氧化物增加,将增加炉渣的导电性。单纯高  $\text{MgO}$  渣型,比电阻小,对电极深插不利。

## 2.4 对 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MnO}$ 还原性的影响

碱性氧化物  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  能降低锰的还原温度,有利于锰的还原。但是,  $\text{CaO}$  与  $\text{SiO}_2$  结合生成硅酸钙抑制了硅的还原。从生成自由焓数据知,  $\text{MgO}$  与  $\text{SiO}_2$  结合力弱于  $\text{CaSiO}_3$  而优于  $\text{MnSiO}_3$ , 这样  $\text{MgO}$  既能够置换出  $\text{MnSiO}_3$  中的  $\text{MnO}$ , 又能使  $\text{SiO}_2$  较容易还原。因此,与  $\text{CaO}$  相比,  $\text{MgO}$  能够提高硅的利用率,较高  $\text{MgO}$  渣型可实现低渣比操作。

东北大学冶金物化教研室曾对锰矿的还原性能进行了测试<sup>[2]</sup>, 还原反应式:



锰在液态金属和渣之间的分配系数  $K = [\text{Mn}\%] / (\text{MnO}\%)$ , 其值越大, 则还原性好。反之, 还原性就差。该试验的结果: 分配系数  $K$  与锰矿品位、

碱度、 $\text{MgO}$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量有关, 并指出, 加入  $\text{MgO}$  可以促进锰的还原。

## 3 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 在锰硅炉渣中的作用

### 3.1 对粘度的影响

从  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MnO-SiO}_2$  系粘度图 (图 2) 和  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-SiO}_2$  系粘度图 (图 1) 中可以看出, 在等温度条件下, 提高  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量, 将增大炉渣粘度。上海某研究所实测了锰硅炉渣的粘度<sup>[1]</sup>, 结果表明, 高铝渣与低铝渣在低温条件时粘度相差很大, 而高温粘度差别不大 (图 3)。炉温大于  $1500^\circ\text{C}$  时, 含  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12% 的炉渣与含  $\text{Al}_2\text{O}_3$  21% 的炉渣粘度相差不到  $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。实践表明, 炉渣温度足够高时, 炉渣粘度不再成为反应趋于平衡的障碍<sup>[1]</sup>。

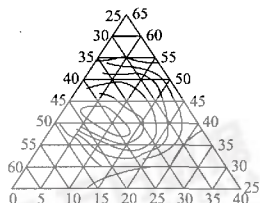


图 2  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MnO-SiO}_2$  系粘度图

Fig.2  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MnO-SiO}_2$  series viscosity diagram

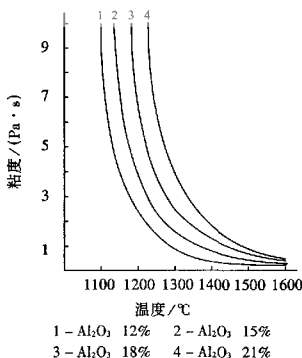


图 3 锰硅炉渣粘度  $\text{Al}_2\text{O}_3$  成分与温度的关系

Fig.3 Relation between manganese silicon slag viscosity,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  composition and temperature

### 3.2 对熔点的影响

生产实践表明, 在锰硅炉渣中随着  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的

增加,炉渣熔点升高,因此,高铝渣对提高炉温有利。但是,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量太高,炉渣粘度增加,不利于排渣;或者出炉后炉渣凝固快,导致渣铁分离不好,影响回收率。

### 3.3 对导电性的影响

由图 4<sup>[3]</sup>可知,在同一温度下,增加 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量将降低炉渣的导电性。炉渣比电阻增加后,有利于电极深插,提高炉温而创造良好的还原热力学条件。

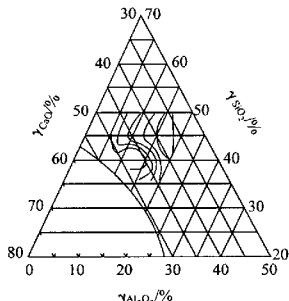


图 4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub> 渣系电率 ( $\gamma$ ,  $\times 10^{-2} \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ )  
Fig. 4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub> system of slag electricity ratio

### 3.4 对 SiO<sub>2</sub>、MnO 还原性的影响

由于硅酸钙、硅酸镁和硅酸铝比硅酸锰更加稳定,提高碱度和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量将有增大 MnO 活度的作用,适当提高碱度和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量有利于 MnO 的还原,降低渣中 MnO 含量,提高 Mn 回收率。实践表明,在碱度相同条件下,炉渣中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量增高,合金中 Si 含量也易提高。有关资料介绍<sup>[4]</sup>,在锰硅合金冶炼中,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量高的渣型有利于提高锰的回收率,如表 2 所示。

表 2 锰硅炉渣中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量与 MnO 含量的关系 %  
Tab. 2 Relation between Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content and MnO content in silicon manganese slag %

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15~16	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21
MnO	15.32	12.52	10.56	8.84	7.29	6.47

## 4 渣型确定

合理的锰硅炉渣要求有适宜的熔化温度、过热度、流动性、导电性和导热性等物理性质及较好的还原性。在选择炉渣时,要综合考虑炉渣组元(CaO、MgO、MnO 等碱性氧化物以及 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等)对炉渣性质的影响。在认识到 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 两种组元对炉渣的粘度、导电性等性质作用相反的特性,而且这两种

组元均有利于 SiO<sub>2</sub>、MnO 的还原,由此设想适当提高这两种成分在渣中的含量,以达到提高 Mn 回收率及降低渣量的目的。

## 5 提高锰硅冶炼中 Mn 的回收率

四川川投峨铁公司近两年以来,在 16.5 MVA、25 MVA 电炉进行试验,在供电状况、电炉参数、原料状况等一定的条件下,在合理选择渣型和强化操作管理等方面进行了生产实践,取得较好冶炼效果,进一步提高了 Mn 回收率。

### 5.1 渣型的选择

碱度控制在一定范围内(0.6~0.9),炉渣中主要组分 CaO、MgO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成分范围如表 3。

表 3 选择炉渣成分范围 %  
Tab. 3 Choosing of slag composition range %

SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
37~42	18~24	8~14	10~18

### 5.2 工艺操作措施

- 5.2.1 维护好设备,减少电炉热停时间。
- 5.2.2 及时调整炉况,确保电炉持续稳定运行。
- 5.2.3 严格操作管理,杜绝操作环节的金属浪费。

### 5.3 实践效果

冶炼品种:锰硅合金(Mn68Si18)。  
典型炉渣成分见表 4,锰回收率见表 5。

表 4 典型炉渣成分 %  
Tab. 4 Typical slag composition %

序号	MnO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	渣铁比/(kg/t)
1*	6.11	41.28	20.15	12.86	10.55	0.80	1 000~1 100
2*	7.29	40.85	19.22	9.21	16.31	0.70	950~1 050
3*	7.32	38.48	17.69	10.86	14.36	0.72	1 000~1 050

表 5 锰回收率与渣铁比  
Tab. 5 Manganese recovery rate and slag ratio to iron

年份	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
	及以上			
Mn 回收率/%	< 80	82.16	85.2	85.7
渣铁比/(kg/t)	1150~1250	1100~1250	1000~1100	950~1100

## 6 结语

影响锰硅合金锰元素回收率的因素较多,如供

电制度、电炉参数、原料条件、渣型选择等。其它情况相同时,通过合理地选择  $Al_2O_3$ 、 $MgO$  两种组元都比较高的渣型冶炼普通锰硅合金,在实践中可以进一步提高锰回收率。

## 7 致谢

峨铁公司副总经理、高级工程师邓小东指导并审阅本文,史江涛、马跃庆、金怀德等领导 & 工程技术人員做了大量工作,在此一并致谢!

## 参考文献

- 1 韩水光,李贵仁.高锰硅合金的生产.铁合金,2003(4):8
- 2 舒莉.锰硅合金炉渣中碱性氧化物的作用.铁合金,1997(4):2-7
- 3 赵乃成,等编.铁合金生产实用技术手册.北京:冶金工业出版社,1998:92-93
- 4 戈宝武,等.用高碳铬铁渣作造渣剂冶炼锰硅合金的实践.铁合金,1999(4):22
- 5 傅维贤.低渣比生产锰硅合金的研讨.铁合金,1987(4):18

## 行业信息

### 基本符合准入条件的 70 家铁合金生产企业名单出炉

根据《铁合金行业准入条件》,各省自治区、直辖市发改委(经贸委、经委)会同省级环保部门审查推荐了符合准入条件的铁合金生产企业,国家发改委会同国家环保总局等组织专家进行了复核,现已将复核后基本符合《铁合金行业准入条件》拟公告的 70 家铁合金生产企业名单(第一批)予以公示,欢迎社会各界予以监督,并提出意见。公示期限为 2005 年 12 月 31 日至 2006 年 1 月 10 日。

### 我国钢铁行业产能过剩矛盾突出

截止到去年中国炼钢能力已达到 4.7 亿 t,钢产量达 3.48 亿 t,产能明显超出需求。作为世界上最大的产钢国和消费国,中国钢产量相当于排名 2 至 4 位的美国、俄罗斯和日本三国的总和。

国家发展和改革委员会最近对东北、华东和华北三个重要产钢地区的调研结果显示,目前中国钢铁产能过剩的矛盾仍然十分突出。中国现有钢铁企业 1 499 家,其中钢产量 500 万 t 以上的企业 15 家,钢产量 300 至 500 万 t 的 11 家,100 万 t 至 300 万 t 的 29 家。

从目前在建和拟建能力看,未来中国钢铁产能将大大超出预期需求。目前中国钢铁产能主要集中在华北、华东和东北三个地区,炼钢能力排名前 5 位的省份是河北、江苏、山西、辽宁、山东,合计能力达 2.1 亿 t,占全国的一半。产能增长过快的矛盾也主要集中在上述地区,钢铁行业在建生产能力达 5 280 万 t,而这些在建能力经国家批准的不到 25%。

此外,钢铁行业低水平产能仍占相当比重,落后的炼铁和炼钢生产能力主要集中在华北和华东。从产品品种看,棒线材等低端产品严重过剩,冷轧硅钢片、轿车用板、高档家电板等高附加值产品仍然不足。为此,国家发改委提出,“十一·五”期间,中国将基本淘汰 1 亿 t 落后炼铁生产能力和 5 500 万 t

落后炼钢生产能力,使钢铁生产能力与市场需求基本适应。

### 加大对东北振兴的财税政策支持

财政部副部长李勇在哈尔滨市参加“改善投资环境促进东北振兴国际研讨会”期间表示,“十一·五”期间,国家财政将加大财税政策的支持力度,推动东北地区等老工业基地振兴,促进区域协调发展。

李勇说,财政部将继续支持深化国有企业改革,加快东北地区国有企业改制、改组、改造的步伐,加大对国有企业政策性关闭破产的支持力度,推进国有经济布局与结构的战略性调整;研究完善振兴东北老工业基地各项税收扶持政策,尽快出台豁免老工业基地历史欠税的政策措施;认真总结东北三省完善城镇社会保障体系试点工作,进一步调整财政支出结构,增加社会保障投入。

李勇表示,财政部将加大对东北粮食主产区 and “三农”的补助力度,增加中央农业开发资金投入,积极推进农业产业化经营,促进农民增收致富;继续加大商业性和政策性金融对振兴的支持力度。同时,加强基础设施和能源建设投入,配合搞好资源型城市经济转型。

### 今年首季度挪威 Elkem 计划继续缩减硅产量

有消息称,由于金属硅价格低迷,挪威 Elkem 计划在今年首季度继续缩减硅产量。其中,该公司所属的 Fiskaa 厂的最后一台炉子可能在本月底停产,最早到 3 月份才可能恢复生产。Fiskaa 厂共有 4 台炉子,其他 3 台(总产能 2.5 万 t/年)已于去年 7 月份、9 月底及 10 月初相继停产。另外,Elkem 将在近期召开董事会以决定是否缩减 Meraker 厂的产量,该厂有 3 台炉子(总产能约 3 万 t/年)。挪威 Fesil Holla 硅厂暂时也没有恢复生产的计划。近日欧洲市场金属硅价格为 1 150 ~ 1 200 欧元/t,去年同期的价格为 1 300 ~ 1 350 欧元/t。据统计,欧洲金属硅总产能约 22 万 t,其中大部分产能在挪威。

摘自 <http://www.thj.cn> 及《铁合金经济技术信息》