

专家论坛

## 钢渣综合利用技术及进展分析

赵俊学, 李小明, 唐雯聃, 施瑞盟

(西安建筑科技大学冶金工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 钢渣是钢铁企业主要固体废物,在我国总体利用效率不高,合理利用钢渣对钢铁企业的发展具有重要意义。介绍了钢渣的组成、结构及性能,对现行的钢渣综合利用技术进行了总结和分析,并重点就钢渣减排和循环利用提出了建议。

**关键词:** 钢渣;综合利用;减排;技术进展

中图分类号: X757 文献标识码: A 文章编号: 1006-4613(2013)03-0001-06

### Technology for Comprehensive Utilization of Steel Slag and Analysis on Its Progress of Developments

Zhao Junxue, Li Xiaoming, Tang Wendan, Shi Ruimeng

(School of Metallurgical Engineering, Xian University of Architecture and Technology, Xian 710055, Shanxi, China)

**Abstract:** Steelmaking slag is normally resulted from steelmaking by iron and steel enterprises as the main solid waste. Generally speaking the utilization efficiency of the slag by recycling is relatively lower in China. However, it is of great significance for iron and steel enterprises to grow and improve on how to make the intelligent use of steel slag. So the composition, structure and performance of the slag are introduced. And also the existent technology for comprehensive utilization of steel slag is summarized and then analyzed. Finally some suggestions are given, especially focusing on reduction of steel slag emissions and recycling.

**Key words:** steelmaking slag; comprehensive utilization; reduction of steel slag emissions; technology progress

随着节能减排和环保要求的不断提高,企业降本增效的压力也不断增加,钢铁工业面临严峻挑战。仅环保理念就经历了控制排放、达标排放、清洁生产、生态冶金等的转化,进而给企业提出了发展方向和要求。钢铁工业固体废物主要是炉渣,其中炼铁炉渣约占钢产量的25%~30%,炼钢炉渣约占钢产量的11%~15%。钢铁企业不同炉渣的利用程度不同,其中高炉渣已基本全部利用,利用率达90%以上。钢渣的利用还很不充分,仅约10%<sup>[1-2]</sup>,多数仍然处于简单堆存和任意排放状态。我国已成为世界第一产钢大国,年钢产量逾

7亿t,其钢渣产生量之大是不言而喻的。合理利用这些钢渣将关系到我国钢铁工业的健康发展,也是冶金专家和社会关心的重点之一。

### 1 钢渣的组成和性质

#### 1.1 钢渣的化学组成及分类

钢渣综合利用的途径主要取决于炉渣的性质,而钢渣的物理化学性质与其化学成分及结构有很大的关系。钢渣中主要化学成分有CaO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、f-CaO、MnO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>等,有的钢渣中还含有V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和TiO<sub>2</sub>等<sup>[3-4]</sup>。炼钢过程一般有多个处理工序,不同工序钢渣的化学成分相差很大,见表1。

赵俊学,教授,博士生导师,西安建筑科技大学冶金工程学院冶金学科学术带头人。E-mail: Zhaojunxue1962@126.com

表1 炼钢过程不同工序炉渣的典型成分(质量分数)

%

工序	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO (TCa)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	CaF <sub>2</sub> (F)	FeO (TFe)
预脱硅	14.3	3.9	1.4	4.5	(19.0)	2.48	0.041	(3.5)	32.6(43.1)
预脱硫	28.3	6.0	1.6	0.9	(43.0)	0.07	2.014	(3.2)	6.2(10.7)
预脱磷	15.2	5.1	1.4	1.3	(34.9)	4.37	0.226	(17.6)	15.8(10.1)
电弧炉	10~15	2.5~3.5	8.0~12.0		20.0~30.0	0.50~0.70	0.150~0.250	8.0~13.0	12.0~20.0
转炉	18.6~24.3	6.0~8.0	8.1~10.3	3.0~6.0	42.8~48.0	0.53~1.68	0.120~0.280	1.4~4.0	14.8~19.6
LF炉	8.0~15.0	17.0~25.0	6.0~10.0	0.1~0.5	50.0~55.0	0~0.05	0.210~0.760	2.0~6.0	(0.5~2.0)
电渣炉	1.1~3.8	44.0~46.5	0.6~12.3		42.5~45.0	0~0.06	0~0.060	8.0~10.6	0.2~0.6

注: 铁水预处理渣只选择了某厂的部分代表性数据。

从化学组成看, 钢渣属于高碱性炉渣, 根据其反应特征可以分为氧化性炉渣和还原性炉渣两大类。从工序分, 可归为铁水预处理渣、氧化脱碳渣和精炼渣三大类。

### 1.2 钢渣的矿物组成

产出量最大的钢渣是氧化渣和精炼渣。这些钢渣的主要矿物有<sup>[5]</sup>: 硅酸二钙(2CaO·SiO<sub>2</sub>), 以C<sub>2</sub>S表示; 硅酸三钙(3CaO·SiO<sub>2</sub>), 以C<sub>3</sub>S表示; RO相; 蔷薇辉石(3CaO·RO·SiO<sub>2</sub>), 以C<sub>3</sub>RS<sub>2</sub>表示; 橄榄石(3CaO·RO·SiO<sub>2</sub>), 以CRS表示; 铁酸二钙(2CaO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 以C<sub>2</sub>F表示; 游离氧化钙f-CaO; 游离氧化镁f-MgO。

此外, 有的钢渣中还会出现黄长石(2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>), 以C<sub>2</sub>AS表示; 尖晶石(Fe、Mg、Mn)O·(Fe、Cr、Al)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等。

钢渣的主要矿物组成和碱度( $\omega(\text{CaO})/\omega(\text{SiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ )紧密相关, 不同碱度钢渣的矿物组成见表2。

表2 不同碱度钢渣的矿物组成

碱度	主要矿物
0.9~1.4	橄榄石(3CaO·RO·SiO <sub>2</sub> )
1.4~1.6	蔷薇辉石(3CaO·RO·SiO <sub>2</sub> )
1.6~2.4	硅酸二钙(2CaO·SiO <sub>2</sub> )
> 2.4	硅酸三钙(3CaO·SiO <sub>2</sub> )

### 1.3 钢渣的性质

钢渣性质的研究结果主要是针对氧化性炉渣, 不同类型炉渣的性质有待补充与完善。钢渣的主要性质如下<sup>[3,5]</sup>:

#### (1) 密度

氧化性钢渣含有大量高密度化合物(FeO、MnO、…), 因此钢渣密度较高, 一般为 $3.1\times 10^3\sim 3.6\times 10^3\text{ kg/m}^3$ , 还原性炉渣的密度要小些。

#### (2) 强度

钢渣抗压强度为169~306 MPa, 冲击强度为15次, 莫氏硬度为5~7。钢渣强度较高, 质地坚硬, 难破碎。

#### (3) 易磨性

由于钢渣铁质多、硬度大, 较难磨碎。

#### (4) 活性

高碱性钢渣中,  $\omega(\text{C}_3\text{S}+\text{C}_2\text{S})=65\%\sim 75\%$ , C<sub>3</sub>S、C<sub>2</sub>S等为活性矿物, 具有水硬胶凝性。

#### (5) 稳定性

钢渣含游离氧化钙(f-CaO)、游离氧化镁(f-MgO)、C<sub>3</sub>S、C<sub>2</sub>S等, 其中, f-CaO要消解为Ca(OH)<sub>2</sub>, 体积将膨胀100%~300%, f-MgO会变成氢氧化镁, 体积也要膨胀75%~80%。因此, 含f-CaO、f-MgO的常温钢渣是不稳定的, 只有f-CaO、f-MgO消解完或含量很少时, 才会稳定。因此, 自然冷却的渣块堆放一段时间后, 发生膨胀风化, 变成粉状。

## 2 钢渣的传统利用方式及现状

### 2.1 我国与其它国家的钢渣综合利用比较

钢渣的合理利用和有效回收是现代钢铁工业技术进步的重要标志之一。工业发达国家20世纪初期就开始关注钢渣的利用价值, 注重于研究钢渣的综合利用技术, 已经开发了多种有关钢渣综合利用的途径, 主要包括冶金、建材等领域。据相关资料<sup>[1,6]</sup>介绍, 美国、德国、日本等国家的钢渣利

用率都在95%以上,其中厂内循环在20%以上。我国钢渣综合利用率仅为10%左右,与工业发达国家存在明显的差距。

## 2.2 钢铁企业内部循环再利用

### (1) 从钢渣中分选回收废钢和钢粒

钢渣中一般含有7%~10%的废钢或渣铁,经破碎、磁选、筛分等分选技术可回收其中90%以上的废钢及部分磁性氧化物<sup>[4,7]</sup>。这已经成为钢铁企业最基本的利用措施。

### (2) 钢渣用作烧结矿熔剂

用钢渣代替部分石灰石作烧结配料用,可回收钢渣中Fe、Ca、Mn等有用元素,减少石灰石等熔剂的消耗,降低烧结矿的生产成本<sup>[7-9]</sup>。加上水淬钢渣疏松、粒度均匀,料层透气性好,有利于烧结造球及提高烧结速度。该措施目前只在部分企业应用,且主要目的是利用渣中的铁。

### (3) 钢渣用作高炉炼铁熔剂

钢渣返回高炉利用,不仅可以回收钢渣中的Fe、Ca、Mn等元素,而且可以把CaO、MgO等作为助熔剂。此外,钢渣中的MnO和MgO也有利于改善高炉渣的流动性,对改善高炉运行状况有一定的益处<sup>[3,9]</sup>。由于和烧结具有同等效用,该方面应用较少。

### (4) 钢渣作为炼钢造渣材料

在钢渣中有害元素含量较低时,可以返回再利用。

上述途径主要是利用渣中的铁和CaO、MgO的有效组元。

## 2.3 钢渣在建筑领域的利用

钢渣在建筑领域的主要应用如下<sup>[1,4,5]</sup>:

### (1) 建筑材料

将钢渣焖渣处理、自然堆放,经过足够的时效处理,控制游离CaO的含量,降低膨胀性,可以生产砌块空心砖及其它混凝土制品。也可通过对炉渣快速冷却,进而加工成钢渣微粉使用。

### (2) 铺筑道路和回填

经处理后的钢渣具有较好的稳定性,可用于道路的基层、垫层及面层。钢渣和沥青有很好的亲和性,与部分天然石料相混可铺筑高质量柔性道路。钢渣有很好的抗冻解冻性,适应寒冷气候开放道路使用。

上述两个应用方向主要对炉渣的稳定性有较

高要求,是目前钢渣选铁后的主要应用方向。

### (3) 生产水泥

钢渣含有与硅酸盐水泥熟料相同的硅酸二钙( $C_2S$ )和硅酸三钙( $C_3S$ ),含量在50%以上,是生产水泥的良好原料<sup>[1]</sup>。钢渣中含有硅酸盐水泥熟料中所没有的橄榄石(CRS)和蔷薇辉石( $C_3RS_2$ ),因此钢渣水泥具有良好的耐磨性、耐腐蚀性、耐抗融性、水化热低、收缩率小等特性。目前,我国已有钢渣水泥系列品种,如钢渣矿渣水泥、钢渣道路水泥、低热钢渣水泥、钢渣砌筑水泥等并有相应的国家标准及国家行业标准。

这方面主要对炉渣中硅酸二钙( $C_2S$ )和硅酸三钙( $C_3S$ )等化学活性有要求,所以一般采用具有急冷效果的粒化处理方式。

## 2.4 钢渣用作农业生产

钢渣中含有较高的硅、钙及各种微量元素,有些还含有磷,可根据不同元素的含量作不同的应用,提供农作物所需要的营养元素。发达国家一般有10%的冶金渣用于农业,如日本已将钢渣、矿渣的硅酸质确定为普通肥料。我国钢渣在农业改良土壤的应用始于20世纪50年代末,目前用钢渣生产的磷肥品种有钢渣磷肥和钙镁磷肥<sup>[10-11]</sup>。目前该技术的应用十分有限。

## 2.5 其它

钢渣对水中的重金属元素等的吸附具有选择性,可用作被污染水域的水质净化剂。也可利用钢渣进行尾气脱硫以及生产喷磨料。

## 2.6 转炉渣的加工处理

对于热态转炉渣,首先必须对其进行冷却、破碎,才能进行选分及进一步磨碎加工。目前常用的冷却方式有热闷法、热泼法、盘泼法、水淬法、滚筒法及风淬法等<sup>[12]</sup>。这些处理主要是基于如下目的:一是使钢渣粉化,有利于选分铁及铁氧化物;二是保留钢渣的活性;三是促进钢渣中游离氧化钙及氧化镁的消解,提高炉渣的稳定性。采用风淬技术还可以回收其中的物理热。

## 3 目前钢渣利用存在的问题

### 3.1 炉渣的排放及收集缺乏有效控制

随着炼钢工艺的不断优化,铁水预处理和炉外精炼技术普遍应用,冶炼过程的炉渣产出点增多,炉渣功能不同,组成和性质也各不相同。炼钢

产出的炉渣不仅仅是转(电)炉渣,还包括铁水预处理渣和炉外精炼渣。企业的原料条件不同,冶炼工艺不同,炉渣的产出量和炉渣成分也不同。特钢企业除转炉或电炉外,还可能设有电渣炉等进一步的精炼设备,产出的还有电渣精炼渣,因而有必要从系统利用的角度出发,进行炼钢炉渣的综合利用研究<sup>[3]</sup>。

目前,多数企业未建立不同炉渣的分类收集制度,甚至对钢渣和高炉渣界定不清。不同类型钢渣混杂、组成波动成为进一步提高钢渣综合利用面临的一个主要问题。

### 3.2 需要更高层面的综合利用规划

从减少固体废弃物排放的“3R”原则出发,对钢渣的综合利用应从三个环节入手:一是减少炉渣的产出;二是钢渣的循环利用;三是对外排钢渣的利用。前两个环节属于过程控制,第三个环节为末端控制。而钢渣利用目前仍处于以末端治理为主,前两个环节关注不够。这是一项系统工程,需要多方参与,协同行动。

### 3.3 综合利用的地域、环境不平衡

建材方面的利用是钢渣综合利用的主要方向。在已有的综合利用技术中,选铁后的钢渣主要用作铺路、建设回填材料。由于建材总体价格较低,应用直接受到运输距离的限制,因此,在经济发达、城市群集中的地区,钢渣的综合利用率明显高于其它地区,也就是说靠江沿海的经济发达地区的钢铁企业钢渣应用较好,尤其是城市周边。但钢铁企业正在逐步迁出这些地区,给钢渣综合利用提出新课题。

### 3.4 应用技术层面的问题

#### (1) 钢渣作建材的难点

钢渣利用的主要难点在于炉渣的碱度过高,渣中含有大量的自由氧化钙和氧化镁,使钢渣体积不稳定。近年来,我国转炉炼钢企业普遍采用溅渣护炉等技术后,转炉炉渣中自由氧化镁进一步升高,精炼渣的碱度更高,炉渣的自由氧化钙也更高,直接作建筑材料的难度较大。另外,钢渣不易磨,直接用于水泥生产会降低生产能力。

#### (2) 钢渣用作冶炼熔剂的局限性

钢渣在钢铁企业内部回用是一种理想的方法,但目前作烧结熔剂和高炉炼铁熔剂虽然有积极的报道,但烧结和炼铁过程均无法脱磷。钢渣的

循环利用必然使铁水的磷含量不断提高,给下一步的炼钢增加负担,要求炼钢工序消耗更多的石灰以满足脱磷,会产生更多的渣量,所以从工艺全盘考虑不一定是合理的。另外,高炉冶炼实践表明,钢渣的铁含量仅为10%~15%,钢渣的配入必然降低高炉入炉料品位,入炉品位降低1%,焦比升高2%,产量降低3%,在高炉焦炭价格居高不下的今天,钢渣用作烧结和高炉熔剂需要慎重。

## 4 钢渣综合利用新进展及思考

从钢渣减排考虑,减少钢渣产出和在内部循环使用是最积极的方向。

### 4.1 钢渣梯级利用概念的提出

脱磷和脱硫是炼钢的两大任务,分析各工序的炉渣成分可以发现:

(1) 炼钢各阶段炉渣均未达到最大限度的脱磷和脱硫,因此具有很大的脱磷或脱硫潜力。越是后步工序的炉渣,其杂质含量(S、P)越低,回用潜力越大。电渣重熔炉渣、LF精炼渣具有比铁水预处理脱磷更强的脱磷能力,但其排出硫含量却远低于后者;转炉渣(特别是使用预处理脱磷铁水的转炉渣)脱磷能力高于铁水预处理脱磷渣,但其磷携带量远低于后者。

(2) 从功能上分析,电渣重熔炉渣可满足高碱度、低氧化性要求,经调和可应用于LF精炼渣;硫较低的LF渣经适当调整,可循环利用于LF精炼,也可作为转炉和电炉的化渣剂;转炉渣具有高碱度、高氧化性,经调整成分,降低熔化温度后可返回用于铁水预处理脱硅和脱磷。

因而,通过对炉渣成分和性能的调整,逐级返回应用,即梯级回用,使之得到充分利用是很有潜力也是完全可能的。由此可以构建出转炉(或电炉)冶炼工艺的炉渣梯级利用示意图,见图1。

通过梯级利用,一方面使原本当作废物排出的钢渣作为造渣材料返回利用,可减少造渣材料消耗,降低生产成本,提高经济效益;另一方面,钢渣的梯级利用可提高造渣材料的使用效率,减少钢渣的最终排出量<sup>[3,13]</sup>。

### 4.2 部分钢渣内部循环利用成果及问题

#### (1) 转炉渣用于铁水预处理脱硅脱磷

转炉渣具备高碱度、高氧化性的优势,因而,转炉渣足以替代石灰系脱磷剂中的一部分石灰和

氧化剂。转炉渣属预熔料,铁水温度条件下熔化速度快,有利于脱磷<sup>[14-15]</sup>。对铁水预脱硅同样如此。

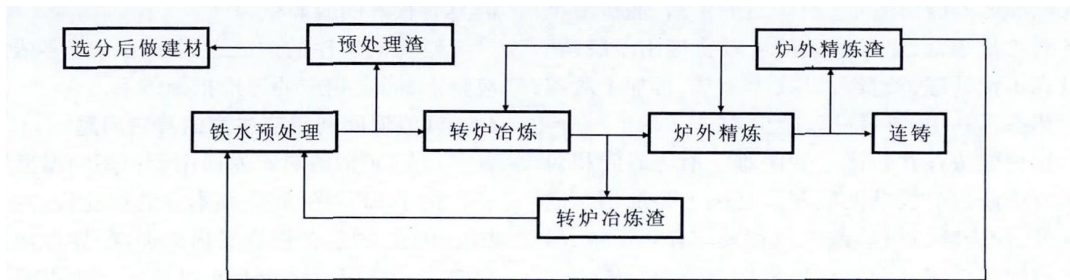


图1 转炉冶炼工艺炉渣梯级利用示意图

在采用铁水预处理脱硅脱磷的工艺中,转炉只是作为一个脱碳反应器,脱碳、升温成了转炉的主要任务。和传统工艺相比,转炉渣携带的磷含量大大降低,返回利用价值提高。所以采用铁水预脱磷处理工艺不但降低了转炉渣的产生量,而且使转炉渣中磷含量减少,为转炉渣返回用于铁水预脱磷提供了良好的条件。

转炉渣熔点较高,不适合直接用于铁水预处理,需要经过调整,所以转炉渣目前多以冷态形式用于铁水预处理脱硅脱磷,其物理热及热态炉渣的反应性未得到有效发挥。

(2) LF 钢渣的利用

LF 炉主要进行钢液的脱氧、脱硫、合金化、去夹杂等冶金反应<sup>[16]</sup>,以精炼钢液。LF 精炼后的钢渣仍然具有一定的硫容量,有再利用的价值,可以考虑将 LF 钢渣用于以下领域:LF 钢渣经调整成分和熔化温度后,可用于铁水预处理脱硫;LF 钢渣可用于转炉冶炼,替代部分石灰,减少造渣材料的消耗;LF 钢渣可循环利用于 LF 精炼,同时回收钢包浇余。

LF 钢渣返回用于 LF 精炼可以在热态进行,回用在精炼车间完成,工艺简单可行,已在部分钢铁企业应用,效果明显。如唐钢一炼钢厂采用 LF 炉热态还原钢渣循环再利用技术,回收钢包浇余 0.9~1.2 t/炉,可使钢渣循环 3 次,钢渣利用率达到了 90% 以上。由此减少 LF 钢渣排放量在 70% 以上,每年可减少钢渣排放量达 4 万 t,节电、降低石灰和萤石消耗等年创效可达 2 000 多万元<sup>[15]</sup>。

4.3 转炉渣热态返回利用工艺

转炉渣热态返回是理想的钢渣利用方式,可以利用转炉渣中的显热,降低热量损失。由于铁水预处理比转炉中脱硅脱磷更为有效,因此总体上渣量大幅度降低。日本一些钢厂最早采用如下的少渣冶炼工艺<sup>[17]</sup>:

(1) 同炉出铁排渣——再装入工艺

同炉出铁排渣——再装入工艺如图 2 所示。该工艺过程为铁水在顶底复吹转炉中脱磷后,将铁水倒入铁水包并排出脱磷渣,然后把铁水重新装入同一座转炉中脱碳。脱碳后出钢,脱碳渣留在转炉内作为下一炉铁水的脱磷剂。

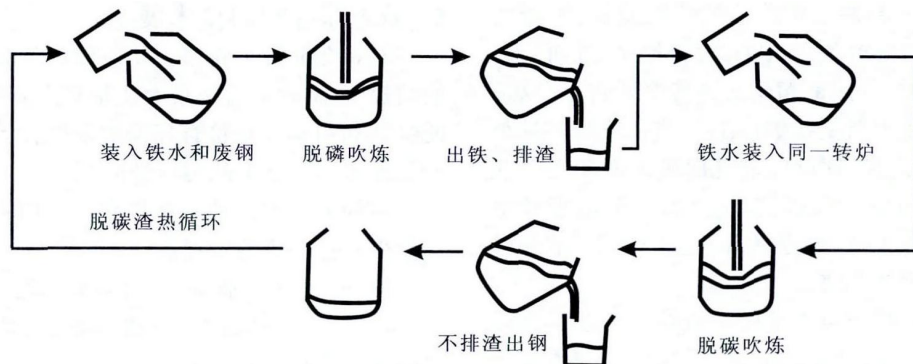


图2 同炉出铁排渣—再装入工艺

该工艺可能被带入脱碳过程的脱磷渣很少,可大幅降低脱碳渣渣量。且经过脱磷后,脱碳渣携带的磷含量很低,高温脱碳渣可以直接用于脱磷。通过铁水预处理,渣量可以减少35%,再加上脱碳渣的热态再利用,渣量可以减少45%。

这种方法存在包罐运转困难、冶炼时间相对延长及炉渣成分波动的问题。必须加强炼钢车间的调度,使渣罐、钢包、铁水包和天车有效运转,尽量使每炉炉渣成分和总量稳定,为转炉脱碳渣的热态返回创造良好的条件。

#### (2) 同炉连续处理工艺

同炉连续处理工艺采用脱磷后不出铁,倾炉排渣后即开始脱碳,脱碳后出钢,脱碳渣留在转炉内作为下一炉铁水的脱磷剂。

该工艺没有中间出铁和再装的过程,冶炼周期短,高温脱碳渣可以直接用于脱磷,也是一种较好利用热态转炉渣的方法。但采用这种工艺,脱磷渣不易排尽,可能会使脱碳渣携带的磷较多,影响了脱碳渣的脱磷效率。

采用以上的少渣冶炼技术后,转炉渣实际上最终的排出状态是脱磷渣,渣中的磷含量可以达到7%以上。根据磷容量计算结果,此渣的实际磷容量已经接近理论磷容量,从脱磷角度出发,已经做到了充分利用,可直接外作磷肥等使用。

我国钢铁产能已经出现明显过剩,在激烈的市场竞争中,许多企业在积极考虑由普碳钢和低合金钢向高附加值的品种钢领域转移,这种少渣的综合冶炼技术值得关注。

#### 4.4 钢渣返回利用时的性能评价

由于冶炼渣在循环利用中必然会有有害元素的积累,所以应建立对炉渣性能的评价指标体系。例如,由于LF精炼加铝块或铝线强脱氧,钢渣的循环利用必然导致渣中 $Al_2O_3$ 含量增加,进而会影响其脱硫能力。对LF精炼渣的综合评价,可以采用硫容量和曼内斯曼指数(MI)。当钢渣硫容量小于0.05之后,渣-钢反应表现脱硫速率较慢的现象,如果再补加石灰,硫容量会增加,但随着渣中 $Al_2O_3$ 的增加,渣-钢硫容量上升空间较小,钢渣已失去再次利用的价值。

曼内斯曼指数可以反映炉渣的流动性,流动性好,硫容量高的炉渣才能取得好的脱硫效果。

$$MI=R:\omega(Al_2O_3)=[\omega(CaO)/\omega(SiO_2)]:\omega(Al_2O_3)$$

一般认为,当渣指数在0.25~0.35之间时,钢渣具有较好的脱硫效果<sup>[18]</sup>。

对不同工序的炉渣返回利用,需要依照其反应特点,制定相应的评价指标体系。

#### 4.5 钢渣返回利用应注意的其它问题

##### (1) LF钢渣热态返回用于精炼的温度控制

由于LF钢渣和浇余本身的量比较少,蓄积的热量有限,倒包会使热量损失加剧,导致热态钢渣和浇余可能产生结包及水口堵死。所以采用这种方法,必须保证钢包有足够的温度,尽快促使钢包周转,减少钢渣和浇余在空包中的存储时间。浇注完毕后把热态钢渣和浇余倒入下一炉钢水精炼是比较好的选择。

浇余钢水温度低于出钢钢水温度,若浇余较多,可能会降低下一炉钢水的温度,这就要求加强精炼提温。生产中要注意钢水温度的变化,采取适当的措施。

##### (2) 返回利用中的炉渣调制

当某工序产出的炉渣用于其它工序时,由于温度、性能要求等差异需要对返回炉渣进行调制。该工作一般可安排在应用工序进行,但也可在待用炉渣的产出工序进行调制,如LF钢渣,可在满足脱硫要求的条件下,通过成分调整,使其粉化程度降低,进而明显改善炉渣返回利用的操作环境。

##### (3) 与其它技术的有效配合

炉渣返回或循环利用必然会对使用中的部分技术产生影响。如铁水预处理脱磷后的转炉渣产出量和成分可能已无法满足我国转炉普遍采用的溅渣护炉要求,如何实现二者的协调配合,以达到整体效益的最佳化需要进行认真比较与研究。

## 5 钢渣综合利用技术展望

对企业而言,在承担相应的环保和社会责任的前提下,追求效益的最大化是其主要目标。钢渣的综合利用本身是符合环保要求的,因此核心问题是技术与经济上的可行性问题。

预期未来钢渣的减排与综合利用将会在如下方面得到进一步的发展:

(1) 实现分类收集与区别化应用;

(2) 建立系统性的钢渣减排、内部循环综合利用整体优化方案;

(3) 开发具有热态调制及控制冷却, 兼顾余热利用的技术;

(4) 继续开发钢渣高效利用技术, 拓宽钢渣利用途径。

钢渣曾作为固体废弃物带来一系列环境问题。近年来, 随着钢渣综合利用技术的开发, 部分钢铁企业已经从中受益。但总体来说, 我国钢渣综合利用水平仍然不高, 有大量的工作需要政策引导和企业的积极参与, 钢渣综合利用大有可为!

### 参考文献

- [1] 朱桂林, 张淑苓, 孙树彬, 等. 钢铁渣零排放与节能减排[J]. 中国钢铁业, 2009, (4): 11-17.
- [2] 苏世怀, 李辽沙, 陈广言, 等. 冶金固体废弃物资源综合利用的技术开发研究 [C]//2005 中国钢铁年会论文集 2, 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [3] 郭家林. 冶金炉渣梯级利用应用基础研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
- [4] 姜从盛, 丁庆军, 王发洲, 等. 钢渣的理化性能及其综合利用技术发展趋势[J]. 国外建材科技, 2002, 23(3): 3-5.
- [5] 朱桂林, 杨景玲, 李可, 等. 生产钢渣粉是钢渣高价值利用的重要途径[C]//2005 年中国钢铁年会论文集(第一卷), 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [6] D.R.Maedgen and H.D.Hunt. An update on Project STAR: Zero Waste Program at Chaparral Steel [J]. Ironmaking and Steel-making, January, 1998, 25(1): 29-33.
- [7] 刘守平, 文敏, 龙贻菊. 重钢转炉渣性能测试及铁资源选别方法的探讨[J]. 炼钢, 2002, 18(2): 48-51.
- [8] 戎玉萍, 何小平, 蔡滟夏, 等. 太钢转炉钢渣用于烧结矿的实验研究[J]. 钢铁, 2001, 36(6): 1-4.
- [9] R.Dippenaar. Industrial uses of slag (the use and re-use of iron and steelmaking slags) [J]. Ironmaking and Steelmaking, 2005, 32(1): 35-46.
- [10] 李灿华, 钟风万. 钢渣治理与利用技术的进展[J]. 武钢技术, 2006, 44(1): 50-52.
- [11] 任玉森, 张宏伟, 顾德仁, 等. 钢渣在农业领域的应用研究(一)[J]. 宝钢技术, 2005(3): 61-63.
- [12] 李光强, 朱诚意. 钢铁冶金的环保与节能[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [13] 樊君, 赵俊学, 陈艳梅, 等. 炼钢不同工序炉渣的循环利用研究[J]. 中国冶金, 2010, 20(12): 43-46.
- [14] 李强, 王治中. 太钢铁水预处理技术[J]. 炼钢, 1999, 15(5): 3-5.
- [15] 丁广友, 徐志荣, 史翠薇, 等. LF 热态钢渣循环再利用技术的开发与应用[J]. 炼钢, 2006, 22(4): 12-15.
- [16] 赵俊学, 李小明, 郭家林, 等. LF 钢渣返回利用的脱硫研究[J]. 炼钢, 2009(4): 38-41.
- [17] 李光强, 彭其春, 章奉山. 日本钢铁厂的少渣冶炼工艺和钢渣再利用 [C]//2003 年冶金能源环保生产技术会议论文集, 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [18] 孙中强, 姜茂发, 梁连科, 等. LF 精炼过程中顶渣硫容量、分配比和脱硫率的确定[J]. 钢铁研究学报, 2004, 16(3): 23-26.

(编辑 许营)

修回日期: 2013-05-06