

# 炼钢渣的冶金资源化利用及评价

何环宇<sup>1</sup>,倪红卫<sup>1</sup>,甘万贵<sup>2</sup>,刘吉刚<sup>1</sup>,陈佳<sup>1</sup>

(1. 武汉科技大学钢铁冶金及资源利用省部共建教育部重点实验室,湖北 武汉 430081;

2. 武钢冶金渣公司,湖北 武汉 430082)

**摘要:**从固态和热态两种物质形态总结了国内外炼钢渣的冶金资源化利用现状,并根据处理利用机理将炼钢渣冶金资源化分为稀释机理和再生机理两类,指出再生机理在炼钢渣的冶金二次利用率和适用范围上具有稀释机理无法比拟的优势,是今后炼钢渣冶金资源化利用的发展方向。

**关键词:**炼钢渣;冶金资源化;稀释;再生

**中图分类号:**TF09 **文献标识码:**A

## 0 引言

在炼钢生产环节如铁水预处理、炼钢和二次精炼过程中往往需要加入石灰、萤石等造渣料进行金属液的脱硫、脱磷和吸收夹杂等操作,同时这些过程也会排出大量炼钢渣。炼钢渣来源于冶炼过程中加入的造渣剂、精炼剂以及冶炼形成产物和侵蚀的耐材,主要由  $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  等氧化物、脱磷、脱硫产物以及  $\text{CaF}_2$  等卤化物组成<sup>[1]</sup>。由于炼钢渣反应形成温度高,碱度高,游离氧化钙含量大,并且夹带金属铁粒,使得炼钢渣往往具有硬度大、易磨性差,早期活性低、胶凝性差,易膨胀、体积稳定性差等特点,其利用率相对较低,应用范围也较窄,如2005年我国钢渣综合利用率仅为10%<sup>[2]</sup>。根据国家发展和改革委员会产业政策司发布的《2006年钢铁行业生产运行情况通报》显示,2006年全国粗钢产量41 878万t,炼钢渣排放量按粗钢产量的14%计算,全年排钢渣量达5 863万t<sup>[3]</sup>,堆放占地和处理带来的环境问题非常突出,因此发展新技术以提高炼钢渣的再循环利用率是我国冶金工业清洁、绿色生产的前提。

## 1 传统炼钢渣利用情况

传统的炼钢渣二次利用主要在以下领域进行<sup>[4-10]</sup>:(1)建筑业。这是传统炼钢渣最主要的应用范围,包括道路填筑、水泥生产、建筑物骨料生产以及钢渣砖生产等;(2)农业。主要是用做农肥和酸性土壤改良剂;(3)制造业。目前也有钢渣在玻

璃和染料等制造业中的应用。以上对炼钢渣的各种应用方式附加值低,利用量少,并不能真正发挥炼钢渣作为二次资源的价值。

炼钢渣的主要成分为  $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  等,这与冶金生产过程中使用的部分原料(如熔剂和造渣料)成分相近,因此,将炼钢渣在冶金工业中进行资源化再利用,不仅可大大提高炼钢渣的利用率,解决环境问题,同时节约冶金原料资源,因此炼钢渣二次利用最便捷经济的途径应该是作为冶金原料在钢铁厂自行循环利用。

## 2 炼钢渣冶金资源化利用现状

按渣的物质形态,炼钢渣在冶金工业中的二次利用分为固态(冷态)循环利用和熔融态(热态)循环利用两大类<sup>[11-12]</sup>。

### 2.1 炼钢渣固态冶金资源化循环利用现状

炼钢渣固态冶金资源化利用是一种将废渣从冶炼炉排出、冷却并简单处理后的再利用方式。其应用方式包括用作烧结和炼钢助熔剂、造渣剂和精炼剂等方面。

#### 2.1.1 用作烧结熔剂

钢渣用作烧结熔剂是目前最为成熟的炼钢渣冶金二次利用方式,已在我国和世界各国钢厂广泛采用。烧结矿中配加钢渣代替熔剂,不仅回收利用了钢渣中残钢、 $\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{MnO}$  等有益成分,而且由于高温熔炼后炼钢渣的软化温度低,物相均匀特点,对提高烧结矿质量,降低烧结燃料消耗也起着有益作用。梅山钢铁集团公司采用在烧

结原料中配加转炉钢渣 1.0%~2.0%后,取得烧结原料成本下降 3.1 元/t 的效果<sup>[13]</sup>。烧结中配加钢渣值得注意的是磷的富集问题。钢渣用作烧结熔剂会使烧结矿含磷量增加,而高炉不具备脱磷能力,从而加重炼钢脱磷负担。按照宝山钢铁集团的统计数据,烧结矿中钢渣配入量增加 10 kg/t,烧结矿的磷含量将增加约 0.003 8%,而相应铁水中磷含量将增加 0.007 6%<sup>[14]</sup>。考虑磷富集问题,钢渣配入烧结矿的比例目前我国不超过 3%。

### 2.1.2 用作炼钢返回料

炼钢渣富含  $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  的特点使得近年来出现了将钢渣用作炼钢返回渣料或助熔剂的技术。如宝山钢铁集团公司采用转炉脱磷脱碳双联炼钢工艺<sup>[15]</sup>,将磷含量较低的脱碳炉钢渣返回转炉利用,有效地促进转炉冶炼过程的前期化渣,降低副原料的消耗,达到降本增效的目的。崔九霄<sup>[16]</sup>等人利用精炼废渣成分与炼钢过程中所需的助熔剂——铝钒土的成分类似的这一特点,将精炼废渣配加一定的添加剂和含铁矿粉,经成型干燥后,代替铁矾土等加入转炉作为炼钢助熔剂,并在鞍钢一、二炼钢厂进行现场实验,取得了化渣速度快、节约炼钢助熔剂和石灰等效果。在炼钢和精炼过程中,钢液中的磷、硫经冶炼过程大量富集在钢渣和精炼渣中,上述将钢渣和钢包炉精炼废渣用作炼钢造渣剂和助熔剂的方法存在磷、硫富集的问题,因此限制了炼钢渣二次利用的利用率和适用钢种。

### 2.1.3 用作电炉喷吹剂

这是一种在意大利 Ferriere Nord 钢厂、北方钢公司和斯蒂发纳钢公司实施的一项旨在回收钢水包、中间罐和炼钢炉炉渣及耐火材料的技术<sup>[17]</sup>,这项技术于 2002 年 1 月投入使用,可连续处理和回收所产生的钢包炉渣。该技术将钢包炉渣冷却、破碎并运送到喷吹系统喷吹入电炉作为炼钢造渣剂。用这种技术可以显著节省石灰添加剂的用量(节省量可达 15%)。由于该技术仍属一种对炼钢渣进行的简单物理处理,同上述各炼钢渣循环利用技术一样,存在的主要的问题仍是循环利用过程中炉渣中有害物质的循环累积。

### 2.1.4 用作钢水精炼脱磷剂

该法是由日本福山钢管开发的技术,是在精炼过程中将仍具有较高磷容量的转炉渣加入精炼炉,并配加一定的石灰和硅酸苏打,吹气强烈搅拌,对钢液进行脱磷操作,该法的脱磷率可达 50%<sup>[18]</sup>。转炉冶炼完毕后转炉渣的磷含量较高,这

种简单的循环利用方式引起的有害物质循环累积现象也不能真正解决渣再利用的问题,同时为提高脱磷率加入的硅酸苏打对耐材有较大的侵蚀。

## 2.2 炼钢渣热态冶金资源化循环利用现状

炼钢渣热态冶金资源化循环利用是在冶金容器内保持渣熔融状态的再利用方式。其应用方式包括在不改变工艺条件下循环利用熔融态炼钢渣和炼钢渣的其它应用。

### 2.2.1 转炉溅渣护炉

转炉溅渣技术是美国国家钢公司大湖分厂普莱克斯气体有限公司开发的一种技术。钢水从转炉出钢后,其残留的炉渣被调节到合适的粘度,氮气在高压状态从氧枪吹入,使炉渣溅到耐火炉衬上固化,在随后的冶炼过程中充当可消耗耐火层<sup>[19]</sup>。该技术在世界范围特别是我国得到较广泛的应用,在提高转炉炉龄方面取得很好效果。该技术开发的目的是提高转炉炉龄,但在炼钢炉渣在冶金工业中的二次利用上起到一定的作用。但由于溅渣只在炉衬上形成 10~20 mm 厚的渣层,从渣的再利用量上看,起到的作用不大。

### 2.2.2 钢包炉渣热态循环利用

LF 精炼后熔渣的硫容量较高,仍具有一定的脱硫能力,唐山钢铁股份有限公司在精炼过程中将前一炉精炼后的熔渣留在炉内并配加一定的造渣剂进行废渣的热态循环再利用,以利用其具有的脱硫能力<sup>[20]</sup>。该法在减少造渣料的消耗、提高金属回收率上取得了较好的效果,其钢包炉渣在循环利用两次后硫容量  $C_s$  仍还能达到  $3 \times 10^{-2}$ 。随着熔渣循环次数的增加,热态循环渣的碱度下降,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量增加,渣指数减小,以及循环渣中硫含量的循环累积效果,使得循环渣的硫容量迅速减小,钢液精炼脱硫速度明显降低,大大限制了精炼后熔渣的热态循环利用次数和适用钢种,同时该法存在的另外一个问题是这种高硫含量、低硫容量渣作为精炼剂,为达到精炼效果需增加循环渣的用量,造成炉内净空小,熔渣容易喷溅和溢出。

### 2.2.3 脱磷渣循环富集

炼钢炉渣中的磷含量通常很高,无法返回烧结厂,但用于制造肥料,磷含量又过低。在寻找炼钢渣处理的过程中,文献[21]提出了脱磷渣重复使用的方法,使炉渣在炼钢过程中再循环,生成一种含磷量高、适于作肥料的炉渣。该法针对的是具有铁水预脱磷的冶炼工艺。炉渣在炼钢过程中再循环由以下步骤组成:(1)转炉渣返回预脱磷炉;(2)脱磷炉渣运至再生炉;(3)炉渣中大部分的磷转移到铁水中;(4)含磷铁水运至 2 次脱磷炉中,

并加入磷容量很高的合成炉渣,钢水中的磷转移至合成炉渣中,生成最终炉渣.最终炉渣的磷含量超过10%,可用作肥料原料.从该法对炼钢渣的二次利用方法和目的看,该法主要是将钢渣中的磷进行富集以用于磷肥生产,对钢渣的冶金资源化利用发挥的作用也不大.

#### 2.2.4 熔融渣再生循环处理工艺

该法是一种在原工艺流程中增加再生手段以对熔融渣再利用的方式,如德国的VAI-CON Desulf铁水预处理渣再生处理工艺<sup>[22]</sup>和文献<sup>[23]</sup>中的将钢包炉精炼废渣熔融态再生循环利用工艺.VAI-CON Desulf铁水预处理渣再生处理工艺是将铁水预处理炉渣留在脱硫反应容器内,利用水冷喷枪向渣中喷吹氧气(空气)将渣中的硫氧化成二氧化硫,实现炉渣的再生重复使用.该工艺的重要特征是:不需要脱硫剂,除渣时不产生铁损,也不需要进行炉渣处理.钢包炉精炼废渣熔融态再生循环利用工艺同VAI-CON Desulf铁水预处理渣再生处理工艺一样,也是将一火焰喷枪插入钢包炉渣内,将渣中的硫氧化为气态物质除去.该工艺需要注意的地方是必须避免吹入的氧气或空气将铁水中的碳和硅等元素氧化,枪头的位置约在渣层厚度的一半处,因此要求渣层必须具有相当的厚度,过厚的渣层容易造成炉内净空过小,渣层搅拌不均、处理效果不理想等问题.

### 3 炼钢渣冶金资源化利用现状评价

#### 3.1 炼钢渣冶金资源化利用评价

##### 3.1.1 炼钢渣利用状态评价

从冶金再循环利用时炼钢渣的存在状态可分为固态渣和熔融态渣再循环利用两类:

**a. 固态渣的利用:**冶炼完毕后将炼钢渣倾倒入冶炼设备并采用一定的方式进行冷却、固化、再利用是目前普遍采用的炼钢渣资源化利用方式,特别是在我国冶金企业中占绝大多数.炼钢渣以固态的方式利用主要在以下两个方面存在优势:一是处理过程离线进行,在原有渣场处理条件下可不需采用其他处理技术便可完成,处理方式简单、可靠;二是对渣的处理和利用是在炼钢主工艺以外进行的,不影响冶炼工艺流程,不会对冶炼工艺流程产生任何影响.但存在的问题也是显而易见的:一是炼钢渣的冷却、存放均会占据大量土地和设备,造成冶金企业用地紧张、设备投入大;二是渣的冷却和存放方式带来水和土地的污染等严重的环境问题.

**b. 熔融态渣的利用:**炼钢渣的熔融态循环利

用由于是在原冶炼容器内进行,因此解决了固态渣利用上存在的冶炼流程外额外的土地和设备投入以及严重的环境问题,特别是其在线处理特点,在循环利用周期短、处理带来的副作用小等方面更具有优越性.熔融态炼钢渣循环利用存在的缺陷主要是:一是由于是在线处理方式,必须在现有的冶炼流程上添加设备,往往受到原有冶炼流程和现场环境、空间等的限制,难以实现;二是由于废渣循环处理速度的限制,往往造成原工艺流程不能持续、稳定的进行.

从处理周期和环境因素等方面来看,熔融态炼钢渣循环利用具有固态渣循环利用无法比拟的优点,是今后炼钢渣循环利用状态的一个发展趋势,但在处理工艺和技术上还有待提高,以扩大其应用范围和领域.

##### 3.1.2 炼钢渣循环利用机理评价

按照处理机理目前炼钢渣的冶金资源化利用可分为稀释机理和再生机理两类:

**a. 稀释机理:**稀释机理是炼钢渣冶金资源化利用最普遍的机理,它依靠减少炉渣用量以降低渣中有害物质危害,以利用炼钢渣中的CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等有效成分代替部分炼钢资源.但是由于炼钢和精炼工艺的目的,决定了炼钢渣往往含有较高的硫含量或磷含量,在稀释机理中,炼钢渣仅进行了简单的物理处理,其化学组成并没改变,因此该机理下进行的炼钢渣冶金资源化利用不可避免的存在硫、磷等元素在渣中的循环富集问题,易引起钢液质量的恶化,因此,基于稀释机理进行炼钢渣的冶金资源化利用时,其循环利用量和适用性是非常有限的,不能从本质上解决炼钢渣的冶金资源化利用问题.

**b. 再生机理:**再生机理与稀释机理不同,它是采用再生手段去除炼钢渣中有害物质,并将再生处理后渣应用于冶金工业,如德国的“VAI-CON Desulf铁水预处理渣再生处理工艺”就属于该法,这种处理机理由于采用一定的方式去除了炼钢渣中影响金属液质量的硫等有害物质,不存在有害物质的循环累计,因此在炼钢渣利用率和适用性上具有稀释机理无法比拟的优势,是炼钢渣冶金资源化利用的良好途径,因此“VAI CON Desulf铁水预处理渣再生处理工艺”被《世界金属导报》评为2004年世界炼钢技术十大新闻之一.然而,在实际应用过程中VAI CON Desulf法要求渣层必须具有相当的厚度,容易造成炉内净空过小,渣层搅拌不均的问题,同时喷枪的安装往往受到厂房高度等因素的限制而不能进行,因此,还必须对

基于再生机理的炼钢渣处理工艺进一步完善。

### 3.2 炼钢渣冶金资源化利用的关键

从对炼钢渣冶金资源化利用评价可见,炼钢渣处理过程带来的环境等问题以及炼钢渣具有的高硫或磷含量对冶炼的危害是限制炼钢渣冶金资源化利用的最大障碍,炼钢渣冶金资源化利用的关键是采用合适的处理工艺对炼钢渣进行再生处理,在解决处理过程存在的环境问题的同时除去炼钢渣中硫、磷等对冶炼过程和金属液质量有害的物质,使得炼钢渣可在冶金过程进行无害化二次利用,提高炼钢渣冶金资源化利用的利用率,扩大炼钢渣冶金资源化利用范围。基于再生机理开发炼钢渣循环利用方式是解决该关键问题的有效方法,因此今后应大力发展炼钢渣的再生处理技术,开发有效的热态炼钢渣利用工艺,提高炼钢渣的冶金资源化利用率,以保证炼钢过程持续、清洁的进行。

## 1 结 语

a. 炼钢渣即是冶金工业的固体废弃物,同时其成分决定炼钢渣也可成为冶炼用原材料,因此将炼钢渣进行冶金资源化利用是一种经济、快捷的废渣二次利用方式。

b. 炼钢渣熔融态循环利用在处理周期和环境因素等方面具有固态渣循环利用无法比拟的优点,是今后炼钢渣循环利用状态的一个发展趋势。

c. 基于再生机理的炼钢渣循环利用方式通过再生手段除去炼钢渣中硫、磷等有害物质,在炼钢渣二次利用率和适用范围上具有明显优势,是今后炼钢渣冶金资源化利用的发展方向。

d. 炼钢渣冶金资源化利用的关键是采用有效工艺除去渣中影响金属液质量的有害物质,提高炼钢渣二次利用率和资源化适用范围。

### 参考文献:

- [1] 高泽平. 炼钢工艺学[M]. 北京:冶金工业出版社, 2006:331.
- [2] 李志然. 安钢钢铁渣资源化利用途径探讨[J]. 河南冶金, 2007, 15(3): 25-27.
- [3] 甘万贵. 钢渣用于填筑高速公路路基的研究[J]. 武钢技术, 2007, 45(4): 28-31.
- [4] 张德成, 谢英. 钢渣矿渣水泥的发展与现状[J]. 山东建材, 1998, (2): 12-15.
- [5] 邢军, 吕荣. 综合利用矿业废渣生产烧结空砖的研究[J]. 中国矿业, 2000, 9(3): 21-25.
- [6] 宋坚民. 钢渣的综合利用[J]. 上海金属, 1999, 21(6): 45-49.
- [7] 金恒阁, 于立波. 钢铁废渣与磷肥[J]. 中国物资再生, 1999, (3): 31-32.
- [8] 杨华明, 吕淑珍, 余晓勤. 炉渣在微晶玻璃中的应用[J]. 中国陶瓷, 1999, 35(4): 24-25.
- [9] 王峰云. 由含铁工业废渣制取高温陶瓷着色用氧化铁红颜料的方法[P]. 中国专利, 00131922, 2001-08-29.
- [10] 张广业. 钢渣资源化的现状与前景[J]. 矿产综合利用, 1999, 6(3): 35-37.
- [11] Geiseler J. Use of Steelworks Slag in Europe[J]. Waste Management, 1996, 16(1): 59-63.
- [12] S R Ramachandra Rao. Recovery and Application of metallurgical Slag [J]. Environment Science Technology, 1994(5): 476.
- [13] 韩风光, 丘海雨, 最慧远, 等. 梅山烧结配加转炉钢渣的试验研究[J]. 烧结球团, 2006, 31(5): 15-18.
- [14] 章耿. 宝钢钢渣综合利用现状[J]. 宝钢技术, 2006, (1): 20-24.
- [15] 张春雷. 国内外钢渣再利用技术发展动态及对鞍钢开发钢渣产品的探讨[J]. 鞍钢技术, 2003(4): 5-9.
- [16] 崔九霄. 冶金渣的循环利用——用 LF 炉精炼渣替代转炉助熔剂[D]. 辽宁科技大学, 2007.
- [17] Arqenta P, Guzzon M. Techint's latest developments in EAF environmental-friendly technologies[J]. Steel Times International, 2006, 30(3): 44-54.
- [18] 小林日登志, 曾超. 用转炉渣进行钢水脱 P 工艺[J]. 钢铁译文集, 1989(3): 44-45.
- [19] 李小明. 转炉渣渣护炉技术的发展及现状[J]. 铸造技术, 2007, 28(8): 1140-1143.
- [20] 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.
- [21] Dippenaar R. Industrial uses of slag (the use and re-use of iron and steelmaking slags) [J]. Ironmaking and Steelmaking, 2005, 32(1): 35-46.
- [22] Pirter H, Müller J. Nota tecnica-VIA-CON Desulf-A Pioncering for Hot-Metal Desulfurization [J]. Metallurgia Italiana, 2003, 95(4): 67-72.
- [23] Bigeev V A, Petrov L V, Vdovin K N, et al. Increasing the Efficiency of Ladle Desulfurization of Steel by Recycled Slags[J]. Metallurg, 1987, (10): 9.

## Resource utilization and evaluation of the steelmaking waste slag reuse in metallurgic flied

*HE Huan-yu<sup>1</sup>, NI Hong-wei<sup>1</sup>, GAN Wan-gui<sup>2</sup>, LIU Ji-gang<sup>1</sup>, CHEN Jia<sup>1</sup>*

(1. Key Laboratory for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China; 2. The Metallurgical Slag Company of WISCO, Wuhan 430082, China)

**Abstract:** From solid and melting phrase, this paper summarizes the resource utilization of steelmaking spent slag in metallurgic flied, and divides the reusing method of spent slag into two types: one is dilution and the other is regeneration. The regeneration reusing method of spent slag has obvious advantage in the utilizing ratio and applicability, so is better than dilution method, and the paper indicates that regeneration method is the development direction of steelmaking spent slag reusing in metallurgic flied.

**Key words:** steelmaking spent slag; metallurgic resource utilization; dilution; regeneration

本文编辑:萧 宁



(上接第 40 页)

## The circular economy mode and research on sustainable development strategy of chemical enterprises

*CHEN Wei-ya<sup>1</sup>, MA Yu-ming<sup>1</sup>, YUAN Bin<sup>2</sup>, GAO San<sup>3</sup>*

(1. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Hubei Xiagfa Chemical Group Co., Ltd. Yichang 443700, China;

3. Hubei Kaiyuan Chemical Industry Co., Ltd. Zhijiang 443200, China)

**Abstract:** This paper, on the basis of the analysis of the development of the circular economy mode in chemical industry and the theory of sustainable development and the characteristics of chemical industry, has proposed the sustainable development strategy of chemical enterprises based on the circular economy. It has a theoretical study on the circular economy mode of enterprises and the key links and channels about the development of circular economy of chemical enterprises was pointed out. The development of chemical enterprises should be based on resource-saving and environment-friendly principles so as to meet not only the demand of the development of enterprises but also has the conditions for sustainable development.

**Key words:** chemical enterprises; eco-products chain; circular economy; development strategy

本文编辑:萧 宁