

# 转炉和含锌铅高炉尘泥的物性和物相分析<sup>①</sup>

王东彦 王文忠  
(东北大学钢铁冶金系, 沈阳 110006)

陈伟庆 周荣章  
(北京科技大学冶金系, 北京 100083)

**摘要** 对转炉和含锌、铅高炉尘泥的部分物性、化学成分、物相种类及分布, 尤其是含锌、铅物相分布的研究表明: 两种尘泥的粒度均较小; 转炉尘泥堆密度较大, 铁含量较高; 高炉尘泥的锌、铅、碳含量较高, 其中的大多数锌、铅氧化物均匀附着在硅酸盐和焦碳末粒子上。这些特点有利于对两种尘泥采用造球-直接还原方法处理。

**关键词** 尘泥 锌铅 物性分析 物相分析

**中图法分类号** TF046.6 TF01

1976年, 美国环境保护署根据电炉粉尘露天堆放时、在雨水作用下其中的锌/铅离子渗入地下污染地下水源的情况, 在新制定的环境资源保护及回收法中, 将其划归 KO61 类物质(有毒的固体废物), 要求钢铁厂对其中的锌、铅等有价值元素进行回收处理或钝化处理; 否则, 须将其密封堆放在由专人监管的山谷中。此后, 该类粉尘的堆放费用逐年升高, 到1990年已达 300\$ / t<sup>[1-6]</sup>。之后, 西方各国, 以及日本、南韩都制定了类似的法律。到80年代中期, 对含锌粉尘(泥)处理工艺及相关内容的研究已经成为世界冶金界的热点之一。

我国南方的铁矿石中普遍含有一定数量的锌、铅<sup>[7]</sup>, 它们经过高炉冶炼过程富集后, 形成大量含锌铅较高的高炉尘(泥); 这种尘(泥)和后续炼钢产生的大量转炉尘(泥), 既是巨大的环境污染源, 又是巨大的二次冶金资源, 有待开发和综合利用。而对该种尘(泥)的物相研究, 尤其是其中锌、铅物相的研究则是选择和开发各种综合利用方法的基础, 因此, 有必要对此进行系统和深入的研究。

## 1 物性及物相分析方法

转炉和高炉尘泥由具有代表性的广西柳州

钢铁厂提供。尘泥物性分析包括尘泥堆密度及粒度组成分析, 分别用量筒法及水筛法<sup>[8]</sup>进行。尘泥物相分析采用的方法为化学分析、反光显微镜观察、X衍射分析、电子探针与扫描电镜分析, 其中, 反光显微镜观察和电子探针及扫描电镜分析试样的制备方法为: 将尘泥块在真空下浸入稀释的环氧树脂中, 待树脂浸透尘泥块后, 取出烘干磨制, 经逐级磨光, 最后抛光。鉴于高炉尘泥中含有较多的焦碳, 干扰X光对尘泥中其它物相的衍射结果, 因此, 为使高炉尘泥中除焦碳相外的其它物相的衍射线条更加清晰, 对原始高炉尘泥进行了浮选除碳处理, 将尾矿烘干破碎后, 用于X衍射分析。尘泥烘干后的块度较大, 故采用振动筛将浮选前、后烘干的尘泥块破碎至 74 μm 以下, 用于化学分析和X衍射分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 尘泥堆比重及粒度组成

尘泥堆密度及粒度组成的测定结果如表1所示。

测量结果表明, 转炉尘和高炉尘中 74 μm 以下粒级均占 64% 以上, 其显著特点是 41 μm

① 收稿日期: 1996-07-19; 修回日期: 1996-10-29 王东彦, 男, 35岁, 博士后, 副教授

表1 两种尘泥的堆密度和粒度分布

Table 1 Pile density and particle size distribution of two kinds of sludges

| Type             | Pile density/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ | Particle size distribution/ % |                       |                      |                    |
|------------------|---|-------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
|                  |   | $\sim 147\mu\text{m}$         | 147~ 74 $\mu\text{m}$ | 74~ 41 $\mu\text{m}$ | < 41 $\mu\text{m}$ |
| Blast sludge     | 776   | 15.93                         | 17.53                 | 8.49                 | 58.07              |
| Converter sludge | 1176  | 19.77                         | 15.48                 | 10.05                | 54.03              |

以下粒级的极细颗粒较多(均在54%以上)。

### 2.2 尘泥成分

化学分析得到的两种尘泥的成分如表2所示。

由表2可知,转炉尘泥中总铁含量较高,但Zn、Pb、C含量很低;而高炉尘泥中Zn、Pb、C含量较高,总铁含量较低。

### 2.3 高炉尘泥X射线衍射结果

由图1可见,高炉尘泥中含锌物相为氧化锌,含铅物相为氧化铅,含铁物相为金属铁、磁铁矿和赤铁矿,其它杂质相中,除白云石和方解石相外,还有氧化硅和氧化钙等矿物。

### 2.4 反光显微分析

图2是转炉尘泥的反光显微镜照片。由图2可见,转炉尘泥中的物相比较简单,主要由含铁物相和硅酸盐杂质相构成,含铁物相( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 和金属铁)较由CaO、MgO、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 构成的硅酸盐相的颗粒大得多。

图3是高炉尘泥试样的反光显微镜照片。由图3可看出,高炉尘泥中的含铁物相(赤铁矿,磁铁矿和金属铁)以较大块分布在以焦炭和其它硅酸盐类相所构成的基底上,个别圆颗粒的氧化铅也混杂在基底相内,但在显微镜下观察不到含锌物相及其分布。因此,有必要对高炉尘泥进行电子探针分析和扫描电镜分析。

### 2.5 高炉尘泥的电子探针和扫描电镜分析

表2 尘泥化学成分

Table 2 Chemical compositions of sludges (%)

| Composition      | Fe <sub>T</sub> | FeO   | Zn    | Pb   | C     | CaO  | MgO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|------------------|-----------------|-------|-------|------|-------|------|------|------------------|--------------------------------|
| Blast sludge     | 55.36           | 50.37 | 0.47  | 0.40 | 3.01  | 4.63 | 6.61 | 3.34             | 2.02                           |
| Converter sludge | 12.01           | 5.90  | 13.63 | 7.05 | 16.35 | 5.98 | 12.0 | 11.59            | 4.18                           |

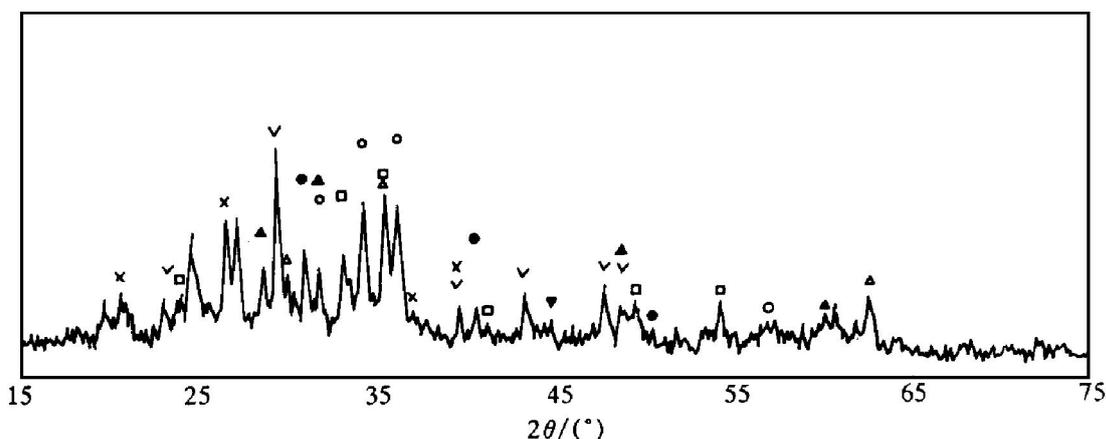


图1 除碳后的高炉尘泥X衍射图

Fig 1 X-ray diffraction pattern of blast furnace sludge after removing coke powder

▽— $\text{CaCO}_3$ ; ×— $\text{SiO}_2$ ; △— $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ; □— $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; ○— $\text{ZnO}$ ; ▲— $\text{PbO}$ ; ▼— $\text{Fe}$ ; ●— $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

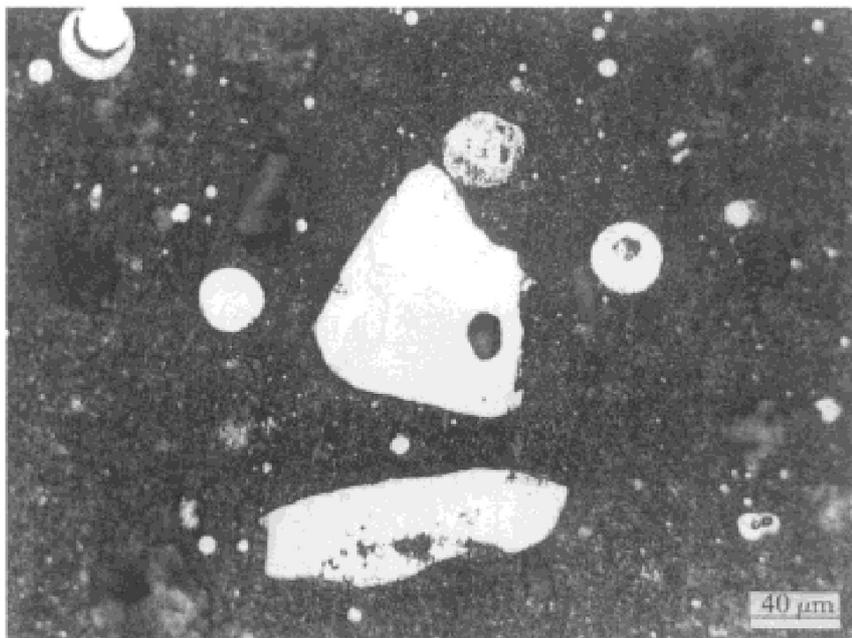


图 2 转炉尘泥显微照片(反光×250)

**Fig. 2 Micrograph of converter sludge (reflection × 250)**

Bright round particle—Iron; Bright irregular big lump—Magnetite;  
Gray background—Ca, Mg, Al oxides; Deep gray—Sample bores

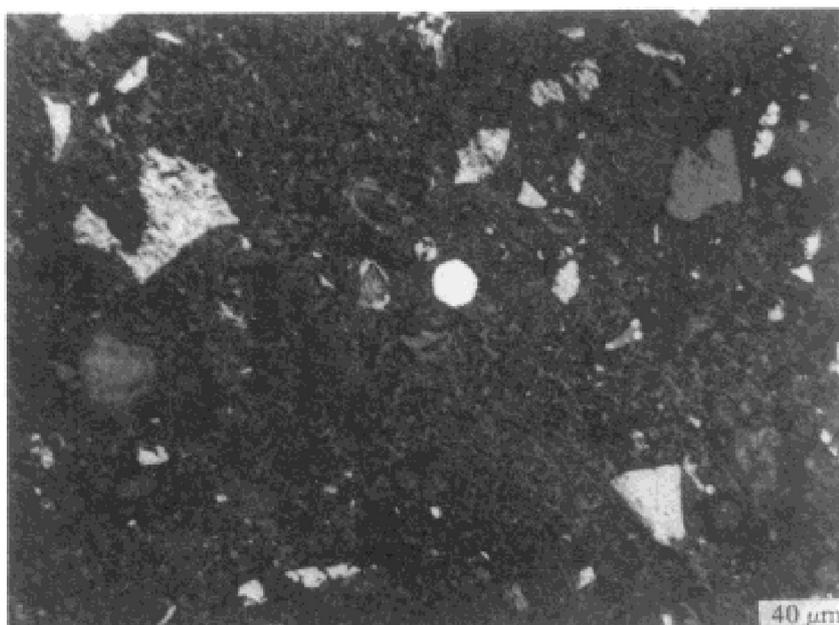


图 3 高炉尘泥显微照片(反光×250)

**Fig. 3 Micrograph of blast furnace sludge (reflection × 250)**

Bright round particle—Yellow lead; Bright irregular big lump—Hematite;  
White irregular big lump—Magnetite; Gray background—Ca, Mg, Al oxides and coke powder

图4是高炉尘泥的背散射照片,由图可见,方解石也以较大块和含铁矿相一起分布在基底相内。

对含锌铅两种矿相的电子扫描观察表明,锌的扫描图象中,亮点分布细密均匀;而铅的扫描图象上的亮点则有大小两种,大小两种亮点都分布均匀,且小亮点的面积较大亮点的面积大。

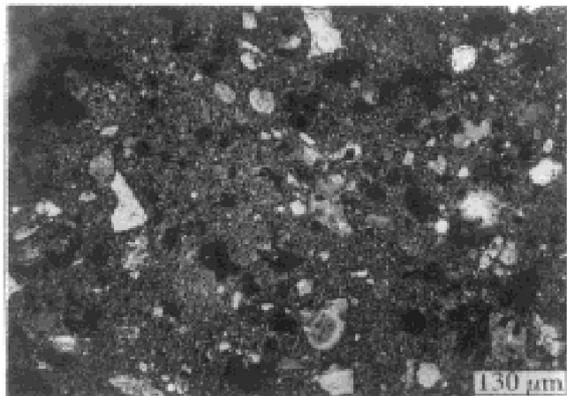


图4 高炉尘泥背散射照片

**Fig. 4 Back scattering photograph of blast furnace sludge**

Bright round particle—Yellow lead and iron;

Bright lump—Hematite;

Deep black—Calcite and dolomite;

Background—Ca, Mg, Al oxides and coke

powder attacked zinc and lead oxides

将电子探针与反光显微照片的观察结果结合起来,可对高炉尘泥中含锌、铅的物相形态和分布讨论如下:①含锌物相的扫描图象上的亮点细密均匀,说明氧化锌广泛存在于高炉尘中,但在反光观察中找不到氧化锌物相,说明氧化锌以极细颗粒附着在粉尘粒子上。显微观察表明硅酸盐和焦末为粉尘基底相,说明氧化锌主要附着在硅酸盐和焦末粒子上。②光镜下发现了以圆颗粒存在的氧化铅单一物相,电子探针也确定了这一点,探针同时确认了其在硅酸盐和焦末杂相中的存在。此外,含铅物相扫描电镜图象上出现的是大小两种均匀分布的亮点,且小亮点的面积大于大亮点的面积,说明

氧化铅除少部分以单相颗粒均匀分布在尘泥中外,和氧化锌相似,大部分氧化铅均匀附着在硅酸盐和焦末粒子上。

## 2.6 尘泥特点对尘泥处理工艺选择的影响

将上述尘泥特性和现有各种含锌铅尘泥处理工艺的特点<sup>[7]</sup>相对比可知:①高炉尘中Zn、Pb含量较高,碳含量也较高,但总铁含量较低;与此相反,转炉尘泥铁含量较高,而Zn、Pb含量很少。采用造球—直接还原工艺,将两种尘泥混合造球后直接还原,生产高炉用金属化球团和可冶炼锌、铅的高品位锌、铅,一方面可保证金属化球团中铁的品位,另一方面,高炉尘泥中较高的碳可在还原过程中充当还原剂,减少外加还原剂的量,有利于锌、铅、铁、碳的同时回收。此外,尘泥细颗粒较多,不必细磨,即可将其直接用于造球。转炉尘堆密度较大,还有利于增加还原后的金属化球团的强度。②高炉尘中的大部分氧化锌和氧化铅附着在焦碳末等粒子上,且粉尘较细,其中的铁、铅氧化物颗粒和焦碳粒也较细,因此,大大缩短了氧化物和碳表面的距离,减少了锌、铅、铁氧化物的还原的传质阻力,有利于加快锌、铅、铁氧化物的还原速度。上述分析表明,造球—直接还原工艺是一种非常适于处理含锌、铅钢铁厂粉尘的工艺。

## 3 结论

(1) 转炉尘泥和高炉尘泥的粒度均很小,转炉尘泥的堆密度远大于高炉尘泥的堆密度。

(2) 转炉尘泥中含有的有价元素主要是铁,高炉尘泥中含有的有价元素包括锌、铅、铁、碳。转炉尘泥中的铁含量较高,而高炉尘泥中的锌、铅、碳含量较高。

(3) 转炉尘泥中的物相主要有:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , 金属铁和由  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  组成的硅酸盐杂相;高炉尘泥中的物相有:金属铁、磁铁矿、赤铁矿、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{PbO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、方解石、白云石、焦碳、硅酸盐杂相( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Si}$ ) $\text{O}$ 。

(4) 高炉尘泥中的氧化锌大多数均匀附着

在由(Ca, Mg, Al, Si)O 和焦炭末形成的基底相上, 少部分附着在其它物相上。

(5) 氧化铅除小部分以单一圆颗粒均匀分布在高炉尘泥中外, 大部分均匀附着在由(Ca, Mg, Al, Si)O 和焦炭末形成的基底相上。

(6) 尘泥本身的特点有利于采用造球—直接还原的方法进行处理。

## REFERENCES

- 1 MC Allon J P. I & SM, 1987, 64(8): 14– 20.
- 2 Kotraba N L. JOM, 1990, 42(3): 58– 59.

- 3 Labee C J. I & S E, 1990, 67(3): 61– 64.
- 4 Labee C J. I & S E, 1992, 69(5): 48– 50.
- 5 Earl Akerlow P. E. *Electri Furn Proc*, 1986, 44: 349– 353.
- 6 Chapman C D, Cowx P M. *Steel Times*, 1991, 219(6): 301– 304.
- 7 Wang Dongyan(王东彦). PhD thesis, (in Chinese). University of Science and Technology Beijing, 1995: 138.
- 8 Kewuzuf A (科乌佐夫 A). *Measurement Method on the Physical and Chemical Properties of Industrial Dusts (工业粉尘理化性质的测定方法)*. Beijing: Chemical Industry Press, 1988: 4.

# ANALYSIS OF INTRINSIC PROPERTIES AND PHASE CONDITION ON CONVERTER SLUDGE AND BEARING-Zn-Pb BLAST FURNACE SLUDGE

Wang Dongyan and Wang Wenzhong

*Department of Ferrous Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110006, P. R. China*

Chen Weiqing and Zhou Rongzhang

*Department of Metallurgy, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, P. R. China*

**ABSTRACT** The study of partial intrinsic properties, chemical composition and phase condition (especially the distribution of containing Zn, Pb phases) of the converter sludge and bearing-Zn-Pb blast furnace sludge showed that the particle size of the two kinds of sludges are all very small, the pile density of the converter sludge is much larger than that of blast furnace sludge; and the zinc, lead and carbon contents of blast furnace sludge are much larger than that of converter sludge, moreover most zinc oxide and lead oxide are attached on the particles of coke powder and silicates. These characteristics of sludges make it suitable to deal with them by pellet making and directly reducing pellets.

**Key words** sludge zinc lead intrinsic properties phase condition

(编辑 袁赛前)