矿产综合利用
Multipurpose Utilization of Mineral Resources
1999年 第4期 No.4 1999

# 闪速炉前期渣样的矿物学分析

曾令熙

摘要：本文通过对闪速炉前期炉渣的矿物学研究，分析矿物的组成及变化情况，以揭示炉内氧化气氛的强度及在后期冶炼中需注意控制的部分。

关键词：闪速炉；磁铁矿；锍
中图分类号：TD91　文献标识码：A　文章编号：1000-6532(1999)04-0029-04

# Mineralogical Analysis of Earlier Slag Samples of the Flash Furnace

ZENG Ling-xi

(Institute of Multipurpose Utilization of MineralResources,MGMR,Chengdu,Sichuan,China)

**Abstract**:By means of mineralogical study of earlier slag samples of the flash furnaceanalyze the mineralogical composition and its variation,So that expose oxidation atmosphere in furnace and required controlled parts in the later smelting.

**Key words:**Flash smelting; Magnetite; Matte

闪速炉冶炼是处理硫化铜镍精矿的一种大型高效的冶炼方法，与其他熔体冶炼法不同，硫化物精矿从炉顶喷嘴至炉底熔融层，须经过气固相下的冶炼过程，即在数秒钟内完成硫化物的氧化过程，形成初步的冰铜(镍)和渣；因此炉腔内的氧化还原气氛对生成合理的冰铜(镍)与渣，起着决定性作用。根据冶炼原理，若炉内氧化气氛太强，势必造成磁铁矿含量增加，使渣粘度提高，不利于渣与冰铜分离，同时会引起部分铜镍因氧化而损失于渣相中；若还原气氛太强，则会使铁大量地以铁硫化物或合金形式存在，达不到有效分离的目的。

对于冶炼效果的评定可以有多种方法，采用工艺矿物学方法对炉渣进行分析，不失为一种较为直观全面的分析方法。有资料显示，国外也多通过确定显微镜下矿物共生关系、产出状况等以分析验证冶炼原理及冶炼过程。

作者在金川镍铜多金属矿闪速炉冶炼产物的工艺矿物学研究中，对闪速炉经历气固相下的冶炼产物——反应塔渣样进行了矿物学研究。反应塔样品是闪速冶炼(气固相)的直接产物，也是后期沉淀池、贫化炉继续熔炼的基础，因此对此部分的物质组成研究既可对闪速冶炼的炉内气氛进行分析，还可为后期熔炼中需着重控制的部分提供依据，故特选取前期渣样——反应塔渣的研究情况介绍如下。

# 1　氧化物

氧化物的含量及种类直接受炉内氧化程度控制。本样品氧化物基本为铁氧化物，少量石英(硅氧化物)为未完全熔化的残留体，未见有铜镍的氧化物矿物。铁氧化物的含量为6.3%，主要成分为磁铁矿，其余有铬铁矿、铬尖晶石、方铁矿、赤铁矿等。

磁铁矿呈细粒自形、半自形、浑圆粒状、不规则状星散分布。多分布于辉石与橄榄石粒间以及锍滴的边缘或其中，局部呈环带包裹锍滴，玻璃质中亦见呈微细粒云雾状分布。

各矿物中氧化物的化学成分(电子探针分析结果)见表1。磁铁矿中含有少量的NiO(1.65%)；铜含量很低(CuO仅0.19%)，在铬铁矿及铬尖晶石中铜镍含量也很低。

在铜镍铁硫化物的氧化过程中，根据元素的化学特性，铁最易于氧化，即在氧化熔炼过程中铁首先被氧化，其反应如下：

$FeS_2+O_2=FeS+SO_2\uparrow$

或$3FeS_2+8O_2=Fe_3O_4+6SO_2\uparrow$

磁铁矿在辉石、橄榄石粒间呈散状分布，说明黄铁矿被氧化后，部分呈$Fe_3O_4$游离状分布于渣中。在锍滴中磁铁矿多分布于锍滴的表层，表明锍滴的氧化过程是从表至里进行的，而炉内氧化气氛的不均衡造成局部氧化程度较强，形成磁铁矿对锍滴的环带包裹现象。本样品中出现的赤铁矿，其分布均见于所取样品的表层，呈薄的皮壳状或丝网脉状分布，样品内部未见此矿物，因此该矿物可能因取样过程中受氧化形成。从本试验的氧化物组成看，不存在过氧化现象发生。

表1　铁氧化物的化学成分(%)

| 矿　物 | $Fe_3O_4$ | FeO | CaO | CoO | NiO | MgO | $Al_2O_3$ | $Cr_2O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 磁铁矿 | 95.70 | | 0.19 | 0.12 | 1.65 | 0.75 | 0.33 | 0.99 |
| 铬铁矿 | | 45.01 | 0.02 | 0.10 | 0.81 | 1.73 | 2.02 | 49.70 |
| 铬尖晶石 | | 53.29 | 0.02 | 0.08 | 0.38 | 2.24 | 13.12 | 28.52 |

# 2　硫化物

经闪速熔炼形成的锍滴为初期的冰铜(镍)。矿物学分析显示锍滴中硫化物组成较为复杂，可见部分呈过渡状态的成分，经统计锍滴的含量为9.0%；各种硫化物在锍滴中的相对含量(%)为：镍黄铁矿60，辉铜矿或斑铜矿21，磁黄铁矿11，三方硫镍矿45，黄铜矿3，铜镍合金1。

锍滴呈星散状、浸染状、斑状产出，即大小不等的集合体团粒分布于硅酸盐矿物粒间(最大粒径0.3mm，小者不足0.001mm)，或呈微细粒云雾状分散于玻璃质中。锍滴内各种矿物呈细粒致密结合。

锍滴的化学成分如表2。该数据显示其值与原矿中矿物化学成分或理论值均有一定差异。

表2　硫化物的化学成分(%)

| 矿　物 | S | Fe | Cu | Co | Ni | 化学式 | 原矿中成分 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 镍黄铁矿 | 31.88 | 37.72 | 4.19 | 0.45 | 25.36 | $(Fe_{5.43}Ni_{3.44})Cu_{0.39}S_8$ | $(Fe_{4.00}Ni_{4.87})S_8$ |
| 三方硫镍矿 | 24.78 | 1.48 | 2.83 | 0.30 | 70.84 | $Ni_{3.21}Cu_{0.12}Fe_{0.05}S_2$ | $Ni_3S_2$* |
| 辉铜矿 | 18.06 | 1.21 | 78.56 | 0.02 | 2.14 | $Cu_{2.18}S$ | $Cu_2S$* |
| 斑铜矿 | 23.43 | 7.73 | 67.4 | 0.07 | 1.17 | $Cu_{5.85}Fe_{0.81}S_4$ | $Cu_5FeS_4$* |
| 磁黄铁矿 | 36.60 | 52.26 | 1.50 | 0.52 | 9.12 | $Fe_{0.82}Ni_{0.14}S$ | $Fe_{0.84}S$ |
| 黄铜矿 | 34.19 | 35.38 | 27.98 | 0.12 | 1.37 | $Fe_{1.18}Cu_{0.82}S_2$ | $Fe_{1.03}Cu_{0.99}S_2$ |
| 铜镍合金 | 0.01 | 2.95 | 21.97 | 0.13 | 74.91 | $Ni_{3.7}Cu$ | |

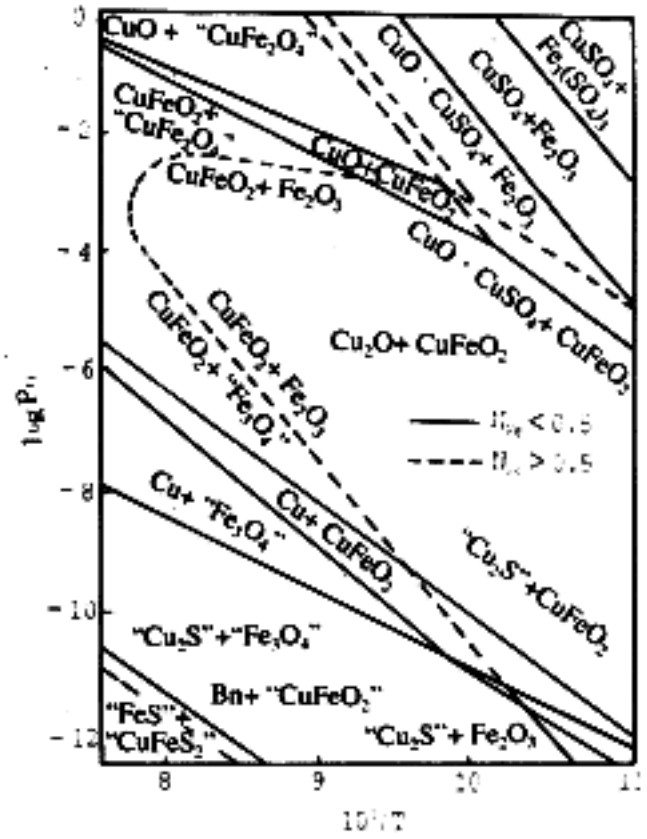
注：以上数值为平均值，带“ * ”为理论式。

冶炼生成的硫化物以镍黄铁矿为主，少量三方硫镍矿、磁黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿等，变化趋势为形成含硫低的硫化物，而原矿中高含硫矿物黄铁矿则完全消失，说明在炉内氧化气氛中黄铁矿等高含硫矿物首先被氧化烧失。本样品中出现少量黄铜矿，其成分与原矿中成分较接近，有资料显示在铜闪速炉冶炼中，根据铜的品位高低，黄铜矿从喷嘴到炉底过程中在炉腔内不同高度上逐渐消失，熔体中则很少有黄铜矿出现，本样品中出现黄铜矿则可能与形成环境有关，在Cu—Fe—S—O体系中(见附图)，在$P_{O_2}$分压足够低的情况下，黄铜矿在高温下也可作为稳定相保留。这也说明炉内$P_{O_2}$(氧分压)处于较低的水平。

## 3　硅酸盐

硅酸盐的组成矿物为辉石(紫苏辉石、铁紫苏辉石)、橄榄石(富铁橄榄石、铁橄榄石、镁铁橄榄石)以及一些玻璃质，原矿中脉石矿物的主要组成成分蛇纹石、滑石等均消失。

辉石多呈晶粒状、粒度较粗大，在0.5—0.1mm间，可见聚片双晶及砂钟构造。




附图　Cu—Fe—S—O体系相平衡中$\lg P_{O_2}$—1/T图

条件：$P_{SO_2}=1.013\times10^4$Pa

橄榄石多呈细晶集合体，局部见较细小的仔晶呈链状排列。

玻璃质呈不规则充填状，内含有较多杂质。

硅酸盐矿物的化学成分如表3。辉石中的NiO含量在0.23%左右， CuO很低0.02%—0.06%；橄榄石中的NiO含量有所增加，其值在0.45%—0.63%左右，CuO含量亦很低在0.02%—0.04%间；玻璃质的化学成分变化较大，其中的NiO及CuO含量也在较低水平。

硅酸盐矿物经闪速冶炼，由原矿中含水硅酸盐，转变为铁硅酸盐矿物即辉石和橄榄石。在所生成的硅酸盐矿物的化学成分中，Cu、Ni等成分含量较低，不同于强氧化环境　下硅酸盐及磁铁矿中可含有1%以上的Ni或Cu(如该闪速炉喷嘴附近产生的炉壁结瘤样)。说明在炉内气氛下基本局限于对铁硫化物的氧化，而Cu、Ni等仍就以硫化物等形式存在于锍滴中。

表3　硅酸盐矿物化学成分表(平均值)(%)

| 矿物 | FeO | CuO | NiO | MgO | $Al_2O_3$ | CaO | $SiO_2$ | 化学式 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 紫苏辉石 | 25.53 | 0.02 | 0.23 | 19.61 | 0.13 | 0.12 | 54.15 | $(Fe_{0.80}Mg_{1.09})_{1.89}Si_{2.03}O_6$ |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 铁紫苏辉石 | 40.56 | 0.06 | 0.00 | 6.01 | 2.63 | 3.09 | 48.45 | $(Fe_{1.37}Mg_{0.36}Cu_{0.13})_{1.86}(Si_{1.96}Al_{0.12})_{2.08}O_6$ |
| 镁铁橄榄石 | 48.31 | 0.02 | 0.63 | 16.31 | 0.06 | 0.15 | 33.94 | $(Fe_{1.22}Mg_{0.73})_{1.95}S_{1.01}O_4$ |
| 富铁镁铁橄榄石 | 54.24 | 0.04 | 0.45 | 9.09 | 0.16 | 0.15 | 35.47 | $(Fe_{1.38}Mg_{0.41})_{1.79}S_{1.08}O_4$ |
| 玻璃质 | 41—53 | 0.05—0.08 | 0.21—0.36 | 4—12 | 1—4 | 0.2—1.5 | 38—42 | |

## 4　结语

铜镍硫化物经闪速冶炼后，形成了镍铜铁的硫化物及少量合金组成的锍滴，以及辉石、橄榄石、磁铁矿等所构成的渣；形成了初期的冰铜(镍)和渣。在铁氧化物及硅氧化物中铜、镍含量较低，不存在过氧化现象发生。

本反应塔渣样中，锍滴中铁硫化物含量较高，渣相矿物由辉石与橄榄石组成。在后期焙烧过程中，须进一步分离降低锍滴中铁含量，渣型选择应以形成粘度较低的以橄榄石为主的渣为宜。

作者单位：(地矿部矿产综合利用研究所，四川　成都　610041)

收稿日期：1999-01-26。