

# 关于修改铁矿石基本分析项目的建议

鞍钢地质勘探公司 研究室

长期以来,地质和物相分析工作者就发现,铁矿石的基本分析项目,对指导生产实践存在许多问题。为了弄清和解决这些问题,我们做了一点工作,现汇报如下,以供讨论。

## 一 现行铁矿石基本分析项目及存在的问题

按现行地质规范的规定,铁矿石基本分析试样要求分析全铁、可溶铁、氧化亚铁三个项目。在进行地质总结和矿床评价时,应用这些化验结果是基于以下认识的:即可溶铁就是工业可用铁,全铁减去可溶铁就是硅酸铁(指一种铁矿石含于含铁硅酸盐中的铁量,简称硅酸铁),它在工业上不能利用;化验氧化亚铁的目的在于圈定氧化带,计算磁性率以指导选矿和进行矿床评价。化验全铁是为了考察矿石品位,进行储量计算。但当全铁减去可溶铁大于3%时,就要按可溶铁计算储量,而不能用全铁计算储量。磁性率公式定为:(氧化亚铁/全铁)%。

这些规定是否能够满足生产实践的要求呢?从硅酸铁看,对于一般矿床,当硅酸铁含量不高时,上述规定是适用的。但对硅酸铁含量较高的矿床则不适用。因为绝大多数含铁硅酸盐矿物,在测定可溶铁的条件下(盐酸为溶剂)都不同程度地溶解,各种产状的绿泥石、蛇纹石、黑云母以及某些阳起石等几乎全部溶解,橄榄石、辉石、闪石类矿物

则大部或部分溶解,其易溶程度取决于蚀变程度,蚀变愈强愈易溶解。而所谓可溶铁与不可溶铁,是指铁矿石中各种铁矿物或含铁矿物在盐酸中的行为。过去一直认为,只有铁的金属矿物溶于盐酸,而硅酸铁则不溶。现已查明,各种含铁硅酸盐在盐酸中也大量溶解,这就使所测得的可溶铁含量中将有一部分是易溶硅酸铁。全铁减去可溶铁只是难溶硅酸铁(它仅是硅酸铁的一部分或一小部分)。而硅酸铁在选矿、冶炼上是无用矿物,故按上述规定,不论是用全铁还是可溶铁进行储量计算和矿床评价,对含硅酸铁较高或易溶硅酸铁较多的矿床,由于有相当一部分硅酸铁被算入矿量,因而导致错误。尤其对于一个新矿床,在未查清其物相组成的情况下,就更易造成错误,如山东苍驿、山西峨口铁矿勘探评价错误就是明显的例子(见《地质与勘探》1973年第5期29页)。

从氧化亚铁看,无论用它圈定氧化带,还是计算磁性率,一般都是指以磁铁矿石岩为主的矿床,所确定的 $\text{FeO}/\text{TFe}$ 公式(用其倒数 $\text{TFe}/\text{FeO}$ 衡量也可)也是基于磁铁矿的理论组成 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ )。然而,由于菱铁矿以及在测定氧化亚铁条件下含铁硅酸盐的溶解(铁大部分为两价),往往使计算出来的磁性率甚至远远高于按磁铁矿的理论组成所算得的磁性率(42.8),如以此来指导选矿和圈定氧化带,对某些矿床将造成严重错误。

在评价贾家堡子矿床的过程中,我们更清楚地认识到原有可溶铁与氧化亚铁测定方

法在实践上存在的问题。

贾家堡子是一个较有典型意义的矿区，区内矿石可分为三种类型：第一类为较好的矿石，含铁硅酸盐矿物较少，据实测硅酸铁（用氢气和碳粉还原法测定）结果，硅酸铁含量均在2~3%以下。这部分矿石储量约占整个矿区的一半。第二类为较差的矿石，一般含铁硅酸盐矿物约占整个矿石的10%，硅酸铁含量3~5%。储量约占整个矿区的1/3~1/4。第三类为不好甚至是不能用的矿石，含铁硅酸盐矿物较多，约占整个矿石的30~40%，硅酸铁含量均在5%以上，有的高达10~20%。这部分矿石约占整个矿石储量的1/4。

该矿区全部分析样品近千件，其全铁减去可溶铁的差值均小于1%。但从中抽出350件直接测定硅酸铁，其中200多件（约57%）硅酸铁大于3%；110件（占31%）大于5%；近百件大于10%。可见，对与贾家堡子矿区类似的矿床，如按原地质规范规定，用全铁、可溶铁数据进行矿床评价和储量计算，必将导致错误。

为了考查氧化亚铁测定方法所存在的问题，我们对贾家堡子矿区五个选矿实验样品进行了氧化亚铁和硅酸铁测定，结果如表1。

由表可见，五个样品的全铁减去可溶铁之差 $\Delta(T-S)$ 均小于1%，又已知该区铁的有用矿物基本为磁铁矿，如果矿石中不含

铁的其他矿物，则按理这些矿样应该是易磁选的，磁选回收率应很高，磁性率应接近按磁铁矿理论组或算得的磁性率（42.8%）。但3、5两个样品的磁选实验回收率却非常低，即使是4号样品的回收率也不能满足工业要求（对纯磁铁矿矿床，回收率的工业要求起码应达到80~85%）。什么原因造成磁选回收率不高呢？由表得知，3、5号样品的实测硅酸铁均很高，尤其是5号样品，硅酸铁含量高达14.87%，而全铁含量仅22.00%。如果矿石中有用矿物均为磁铁矿，它在磁选中能完全回收，而无用矿物基本是含铁硅酸盐，则磁选回收率可粗略用 $((TFe-硅酸铁)/TFe)\%$ 估算。用此式计算5号样品回收率仅为32%，可见由于3、5号两个样品的硅酸铁含量较高，因而致使磁选回收率很低。

关于磁性率问题，表中所列各样品，按原来磁性率计算方法所算得的磁性率均远远高于理论磁性率，5号样品的磁性率甚至高达99%，这显然是不合理的。因为该区矿石并不含菱铁矿，这一不合理现象的产生显然是由于矿样中含硅酸铁，其两价铁被大量溶解造成的。比较5号样的氧化亚铁（FeO）和磁选氧化亚铁（FeO<sub>磁</sub>）（即经磁选后测定磁性部分中的氧化亚铁量）可知，氧化亚铁中的铁绝大部分为硅酸盐中的两价铁，若用它来计算磁性率显然是不合理的，也起不到指导选矿的作用。为解决氧化亚铁测定免

表 1

| 项目<br>样号 | TFe, % | SFe, % | FeO, % | SFeO, % | FeO <sub>磁</sub> , % | $\Delta(T-S)$<br>% | 实测硅酸铁<br>Fe% | 磁性率<br>(FeO/TFe)<br>% | 回收率,<br>%<br>磁性实验 | (Fe <sub>磁</sub> /<br>TFe)% |
|----------|--------|--------|--------|---------|----------------------|--------------------|--------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1        | 28.60  | 28.10  | 13.70  | 13.90   | 10.95                | 0.50               | 2.20         | 48.00                 | 85.70             | 89                          |
| 2        | 30.55  | 29.70  | 14.20  | 14.30   | 11.90                | 0.85               | 2.35         | 46.50                 | 91.50             | 91                          |
| 3        | 16.35  | 15.40  | 10.65  | 10.50   | 4.85                 | 0.95               | 5.85         | 65.50                 | 54.20             | 69                          |
| 4        | 24.35  | 23.80  | 13.50  | 13.70   | 9.00                 | 0.55               | 3.95         | 60.50                 | 77.50             | 86                          |
| 5        | 22.00  | 21.80  | 21.70  | 21.90   | 4.15                 | 0.20               | 14.87        | 99.00                 | 22.80             | 43                          |

受硅酸铁中两价铁干扰问题,曾有人提出测定可溶氧化亚铁(即按测定可溶铁方法溶样后,测定溶液中的氧化亚铁),但因硅酸铁此时大量溶解而同样达不到预期目的。由表可见,五个选矿样品的可溶氧化亚铁( $SFeO$ )与全氧化亚铁( $FeO$ )完全一样,所以用测定可溶氧化亚铁来解决这一问题,对此类矿区是徒劳的。考虑到这些,我们测定了磁选氧化亚铁( $FeO_{磁}$ ),将其换算为磁铁矿中的铁( $Fe_{磁}\%$ )(系由 $FeO_{磁}\%$ 乘以 $3Fe/FeO = 2.33$ 得来),并计算( $Fe_{磁}/TFe$ )%比值。对于1、2号样品与磁选回收率几乎完全一致,同时若用磁选氧化亚铁 $FeO_{磁}$ 来计算磁性率,则应将公式 $FeO/TFe$ 相应修改为 $FeO_{磁}/(TFe - \text{硅酸铁})$ ,分别算出各个样品的磁性率(%)为41.5、42、46、44、52,这些数值已非常接近理论磁性率42.8;硅酸铁越高的样品其与理论值的差值越大,如3、5两个样品较理论磁性率偏高,说明即使经磁选亦仍有少量硅酸铁粘附或夹杂而被测入 $FeO_{磁}$ 中,但这样算得的磁性率其准确度已大大提高,用于指导实践基本可以满足要求。

为了进一步说明问题,我们又对鞍本地区弓长岭、关门山、烟龙山、胡家庙子、欢喜岭、独木山、贾家堡子等矿区进行了全面考察,查明多数矿区全铁减可溶铁之差都远低于直接测得的硅酸铁,二者差值均在3~5%,只有关门山、烟龙山、独木山等少数矿区两者稍为接近,其差值也在0~3%之间,有的甚至更高。

鉴于上述,我们探讨了硅酸铁的测定方法,对现行亚铁测定方法提出了改进意见,并在此基础上提出了关于修改铁矿石基本分析项目的建议。

## 二 硅酸铁的测定方法探讨

为避免硅酸铁被测入可溶铁,前人曾做过许多工作。最初有人企图寻求一种选择性

溶剂,以将铁矿物与含铁硅酸盐矿物中的铁选择性地溶解,然后分别测定之,但成效甚微。后来,有人根据氢气对铁矿物与含铁硅酸盐矿物的还原性能差别(即600℃时氢气基本可将铁矿物中的铁全部还原为金属铁,而含铁硅酸盐中的铁则很少还原),从而拟定了用氢气还原测定铁矿石中硅酸铁的方法。该法准确度较高,它对指导选矿和正确进行矿床评价提供了一个准确而有效的手段,但重现性较差,周期太长,加之工作时时有硫酸迸溅、氢气爆炸等危险。为此,我们对桂林冶金地质研究所提出的用碳粉还原测定硅酸铁的方法进行了详细探讨。

实验表明,将样品与木炭(或活性炭)粉(加工至40目左右)置于坩锅中混匀,并覆盖少许木炭粉,盖上坩锅盖,于800℃左右马弗炉中还原半小时,磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿、褐铁矿、菱铁矿等铁矿物,99%以上均还原为可被磁铁磁选分离的磁性矿物,而各种含铁硅酸盐(其中所含的铁称为硅酸铁)如橄榄石、辉石、闪石类、绿泥石、阳起石、蛇纹石、黑云母等,其磁化还原率基本均在10%以下,一般不超过5%。可见,如用碳粉于800℃还原,然后磁选,以分离铁矿物和含铁硅酸盐矿物,是一种行之有效的手段。通过对合成样品的测定以及对实际样品的实验考核,充分表明将其用于测定硅酸铁,其准确度较高,测定绝对误差可控制在0.5~1.0%,精密度也高(多次重复测定最大绝对误差一般不超过1.0%),且其效率较高(一个工作日可以做20件样品),对指导生产实践是行之有效的。(碳粉还原法测定硅酸铁的方法及实验数据可参见《鞍钢地质》(内部资料)1976年第2期)

## 三 对测定氧化亚铁方法的改进意见

测定氧化亚铁,无论是用于研究矿床成因,圈定氧化带,进行矿床分类,还是指导

选矿等,其实质都是要了解含于一种矿石的磁铁矿中的两价铁,以便确定矿石的二、三价铁比值或磁性率。含于矿石的其它矿物中的两价铁,对上述目的是毫无意义的。因此原有测定氧化亚铁(矿石中的全部两价铁量,即全氧化亚铁)的方法对不含菱铁矿且硅酸铁含量较低的矿石,一般能起到一定的指导作用,但对含菱铁矿、硫铁矿或硅酸铁含量较高的矿石,由于它们对氧化亚铁测定的影响,用现有测定氧化亚铁方法所测得的全氧化亚铁,对于前述目的是毫无价值的。为了探求一种合理的测定氧化亚铁的方法,选择了鞍、本地区各矿区部分有代表性的试样,经磁选后进行氧化亚铁测定并与原氧化亚铁(即全氧化亚铁)、可溶氧化亚铁(SFeO)结果进行了对照(表2)。

由表2可见,对于硅酸铁含量较高的矿石,如烟龙山的三个样品,氧化亚铁量已接近甚至超过全铁量,显然这是由于矿石所含硅酸铁中的两价铁干扰氧化亚铁测定的结果造成的,即使可溶氧化亚铁,由于硅酸铁的溶解,其结果也远远高于磁选氧化亚铁(即矿石含于磁铁矿中的氧化亚铁量),显然对

表 2

| 产地   | TFe % | SFe % | FeO % | SFeO % | Fe <sub>磁</sub> % |
|------|-------|-------|-------|--------|-------------------|
| 烟龙山  | 22.55 | 13.80 | 24.35 | 7.70   | 2.70              |
| "    | 28.90 | 9.00  | 28.25 | 9.30   | 6.00              |
| "    | 30.80 | 7.80  | 36.10 | 7.00   | 1.60              |
| 祁家沟  | 33.10 | 32.30 | 14.25 | 13.80  | 13.40             |
| "    | 32.40 | 31.20 | 13.90 | 13.40  | 12.60             |
| 马长岭  | 30.60 | 30.40 | 9.60  | 9.10   | 7.20              |
| "    | 39.10 | 28.80 | 12.00 | 11.40  | 4.20              |
| 独木山  | 33.60 | 32.40 | 15.20 | 14.00  | 13.20             |
| "    | 31.80 | 30.70 | 15.10 | 13.50  | 12.50             |
| 河北   | 37.45 | 36.10 | 13.70 | 13.20  | 12.30             |
| "    | 40.20 | 37.30 | 15.15 | 12.70  | 12.30             |
| "    | 23.20 | 22.20 | 5.85  | 5.50   | 5.20              |
| "    | 34.60 | 33.30 | 15.60 | 14.60  | 13.10             |
| 贾家堡子 | 27.05 | 26.30 | 7.10  | 7.10   | 6.30              |
| "    | 31.25 | 30.60 | 7.60  | 7.00   | 6.40              |

于这三个样品,若用原有的氧化亚铁甚至可

溶氧化亚铁指导圈定氧化带和计算磁性率等都将导致错误。只有将样品经磁选后所测得的磁性部分的氧化亚铁量,才能说明实际问题。当样品中含大量菱铁矿、硫铁矿时,经磁选后同样排除了它的干扰。

#### 四 修改铁矿石基本分析项目的具体意见

1.对原规定基本分析样品测定可溶铁一项应取消,用直接测定硅酸铁代替。

2.对野外观察和镜下鉴定确认矿床中铁矿物以磁铁矿为主,且其含铁硅酸盐量很少时(<2%),在基本分析样品中只分析全铁一项即可。

对野外观察和镜下鉴定确认含铁硅酸盐量较多的矿区,整个矿区矿石变化稳定,应在组合样品中分析硅酸铁,以求得该矿区硅酸铁的平均含量。

镜下鉴定确定含铁硅酸盐矿物很多,且变化复杂的矿床,在基本分析样品中均应分析硅酸铁项目,代替原可溶铁的测定,以便正确地圈定矿体和计算储量。

3.对以磁铁矿为主的矿床(硅酸铁、硫铁矿均很少时),应测定氧化亚铁项目,对含硅酸铁、菱铁矿、黄铁矿较高的矿床,应测定磁铁矿(即样品经磁选后测定磁性部分的氧化亚铁)中的氧化亚铁,且计算磁性率的公式应修改为  $FeO_{磁}/(TFe - \text{硅酸铁})$ 。

4.对于一个新勘探的铁矿床应选择少量有代表性的样品进行物相分析,特别是对含菱铁矿、黄铁矿的矿区更应搞清其物相组成及含量。

