

金属矿石形成特点、组合类型及其与选矿的关系讲座

第一讲：矿石工艺性质研究的意义、 主要内容和要求

中南矿冶学院 王大伟

金属矿产的地质勘探工作，就是为了给冶金工业提供原料资沉的。勘探出的矿产资沉，既要求能够开采，更要求能够选、冶回收，而且越方便越经济越好。因此国家在不同的勘探阶段，会提出不同内容和不同程度的技术要求。对作为矿山企业设计依据的地质报告，不仅要求在品位、储量、物质组成、矿体形态和产状等方面，具备相当完整、精确的资料，而且对矿石工艺性质的研究，也要求达到相应的深度和广度。当然，这些技术要求都是与勘探工作的目的性分不开的。

近年来，由于林彪特别是“四人帮”搅乱了人们的思想，把符合客观实际的合理规定也当做“条条框框”来批判，对矿石工艺性质的研究，在有的地质报告中被省略了，因而就会出现这样的情况：一个矿区，详细勘探已经结束，品位、储量都达到了工业要求，开采条件也很好，就是由于矿石工艺性质当时没搞清楚，事后才发现难选、难冶，甚至目前根本不可能选、冶，造成呆矿，既浪费了勘探资金，又延误了矿山建设。例如有一铁矿，矿石品位已达工业要求，但勘探中对铁的赋存状态没有查清，全铁中有很大一部分是硅酸铁，建矿建炉后竟炼不出铁

来！

与此相反，好的例子也是不少的，如江苏某铁矿，矿石全铁含量虽仅20%左右，其中又有百分之几的硅酸铁，但是通过研究，发现矿石可选性很好，有用矿物成分简单，粒度大，与其它矿物嵌镶关系简单而规则，单体解离性能好，用单一磁选就能取得满意的选矿效果。这说明了：即使是低品位的矿石，只要它的可选性好，也可能具有经济价值，甚至有的表外矿石也能被利用起来。可见，矿石的工艺性质，直接关系到生产建设，绝对不能忽视。而矿石的工艺性质又取决于矿石的形成特点和组合类型，这就是本讲要讲述的主要内容，因为它对冶金资沉勘探工作的目的性来说，是具有非常现实的意义。

下面，先举几个实例，阐明矿石形成特点、组合类型及其所表现的工艺性质，对选矿方法的选择、磨矿细度和流程的确定所起的作用。

表1列举了三种不同类型的铁矿。由于他们的形成条件不同，矿石矿物组合类型有较大差别，根据其各自的矿石工艺性质特点，分别选用不同的选矿方法和流程，而最终取得的选矿指标都较满意。

表 1

矿床实例			湖 南 × × 铁 矿 (沉积变质铁矿)	江 苏 × × 铁 矿 (高、中温热液交代铁矿)	江 西 × × 铁 矿 (铁帽型铁矿)
矿 石 性 质及选矿实践	矿 物 组 成	有矿用物	赤铁矿(50~55%), 磁铁矿 (40~45%), 少量褐铁矿	磁铁矿(82%), 赤铁矿(1 ~5%), 少量褐铁矿	褐铁矿(水针铁矿、针铁矿) 占90%, 少量赤铁矿、磁铁矿
		脉矿石物	石英、绢云母及少量绿泥 石、角闪石、黑云母等	辉石、长石、角闪石、方解 石及少量石英	石英为主, 少量高岭土、 绢云母、绿泥石等
	品 位		TFe = 27.7% FeO = 6.38%	TFe = 21.4% FeO = 7.35%	TFe = 38.8%
	嵌布特征及粒度		磁铁矿、赤铁矿属微粒一次 微粒均匀嵌布, 磁铁矿中 85%为48~192微米, 赤铁 矿中80%为2~48微米	磁铁矿属中一细粒嵌布, 磁铁矿粒度主要为0.2~1 毫米	褐铁矿常呈疏松土状或 致密块状, 属中一粗粒 嵌布, 但石英细小, 为 细一微粒嵌布
	嵌 镶 关 系		磁铁矿、赤铁矿与脉石矿物 多属规则毗连嵌镶。部分 磁铁矿与脉石矿物成海湾状 毗连嵌镶, 磁铁矿中包果嵌 镶微细脉石矿物	磁铁矿与脉石矿物多为 规则毗连嵌镶	褐铁矿中包果嵌镶 微细脉石矿物
	构 造 与 结 构		条带状构造, 浸染状构造 斑状变晶结构, 溶蚀交代结 构等, 磁铁矿常呈细粒斑 晶, 自形程度较高	浸染状、细脉浸染状和 角砾状构造, 磁铁矿呈 粒状结构, 自形程度较高	疏松土状和致密块状构 造, 蜂窝状构造等 放射状、针状、环带状结 构等
选 矿 实 践	磨矿细度及解离 情 况		一段磨矿 -200目占94%, 铁矿物 解离率达90%	一段磨矿 -200目占, 60~65%, 磁 铁矿解离率达90%	二段磨矿 -200目占90%, 褐铁矿 解离率达90%
	选 矿 方 法		弱磁—离心机选矿	磁选	正浮选
	简 单 流 程		原矿—磨矿—脱泥—弱 磁—离心机—精(尾)矿	原矿—破碎—磨矿—磁 选—精(尾)矿	原矿—破碎—磨矿—浮 选—精(尾)矿
	选 矿 效 果		产率 $\gamma = 35 \sim 38\%$ 精矿品位 $\beta = 50 \sim 55\%$ 回收率 $\epsilon = 70 \sim 75\%$	产率 $\gamma = 24\%$ 精矿品位 $\beta = 60\%$ 回收率 $\epsilon = 76\%$	产率 $\gamma = 66\%$ 精矿品位 $\beta = 53\%$ 回收率 $\epsilon = 86\%$

湖南××铁矿 属沉积变质铁矿, 其主要有用矿物为赤铁矿和磁铁矿, 少量褐铁矿。脉石矿物则以石英、绢云母、绿泥石为主。另有少量硫化物, 如黄铁矿等。其中赤铁矿与磁铁矿的比例为58:42。从表2可见各主要矿物在矿石中的含量及铁在矿物中的分布情况。该矿石的化学分析资料是: TFe = 27.7%, FeO = 6.38%, SiO₂ = 45~50%, S = 0.2~0.3%。

从所获资料看, 这种矿石属赤铁矿—磁铁矿高硅低硫矿石, 应根据其矿物组成情况及物理或物理化学特性来考虑不同的选矿方法, 以综合回收全部有用组分, 例如用磁选

回收磁铁矿, 用重选或浮选以至焙烧磁选回收赤铁矿……。选择选矿方法时, 还得考虑其它工艺性质和经济技术条件等因素。目前该矿试验选厂用的是弱磁选和离心机选矿。

表 2

矿 物	重量百分数 (%)	铁含量(%)	铁的分布(%)
赤铁矿	18.8	13.1	47.3
磁铁矿	13.5	9.8	35.4
褐铁矿	0.5	0.3	1.1
硫化物	0.2	0.1	0.7
脉 石	67.0	4.4	15.5
总 计	100.0	27.7	100.0

在确定磨矿细度时,重要的两个因素就是有用矿物在矿石中的嵌布特征及矿物嵌镶关系(用矿石的“构造和结构”这种概念尚难充分反映这两个因素的内容)。例中铁矿物嵌布粒度都很细,磁铁矿的粒度85%是在48~192微米之间(但-200目也占70%以上),赤铁矿粒度则80%在48微米以下。因此磨矿细度肯定要求比较细。磁铁矿颗粒虽稍大,但常被脉石矿物所熔蚀交代,二者构成波状、海湾状毗连嵌镶关系,磁铁矿颗粒内部还包裹不少2~5微米以下脉石矿物,因此更难于充分解离。目前,通过矿石的可选性试验,得出-200目占94%为最佳磨矿细度。

有了关于矿石工艺性质的资料后,还应该对选矿的可能效果和指标有个大体的估计,以使心中有数。从该矿石中组成矿物定量测定和铁的分布资料知道,磁铁矿中铁占全矿石的含铁量35.4%,赤铁矿的铁占47.3%,而硫化物、脉石(硅酸盐矿物)中的铁共占去16.2%。这样,我们假定磁铁矿、赤铁矿,经磁选-离心机选矿全部得到回收,而最高的回收率只能有80%多一点。因此,目前回收率达70~75%,也算基本达到要求了。至于能否进一步提高回收率或精矿品位,就需要对选矿流程产物(精、中、尾矿等)进行研究才能得出结论。

这里应该着重提一下脉石矿物中含铁的问题。近年来无论是从事岩矿鉴定或地质化验工作的同志,都开始重视硅酸盐矿物(如绿泥石、黑云母、角闪石等)中铁的可溶性问题。过去由于受了外国人的影响,错误地将“全铁-可溶铁=硅酸铁”作为经典公式,应用于评价各种类型的铁矿床,使得一些铁矿石内可溶性含铁硅酸盐矿物(绿泥石等)中的铁,被误认为是有用铁,造成错误的评价,给钢铁生产带来损失。例如华东某铁矿,原矿全铁品位为28%,据化验资料计算出 $TFe-SFe=7\%$ 。这样似乎有21%的

铁可以利用,但实际上,由于硅酸盐矿物中的一部分铁也是可溶的,这一部分就占去14%的铁,因此真正可用的铁只剩14%了。就是这一评价错误,导致了已建的矿山、高炉下马。此外,由于含铁的硅酸盐矿物常含有相当比例的二价铁,所以在这种情况下,用亚铁比来划分铁矿石类型显然是不够恰当的。

江苏××铁矿为一赋存于闪长玢岩体内高、中温热液交代铁矿床,主要铁矿物为磁铁矿(约占82%),另有少量赤铁矿、褐铁矿。脉石矿物有长石、辉石、角闪石、方解石、绿泥石等。矿石主要为浸染状、细脉浸染状、角砾状构造等。化学分析及物相分析获知 $TFe=21.4\%$,磁铁矿中的铁约占全铁的68%。磁铁矿结晶较完好,常呈自形到半自形晶粒。粒度一般为0.2~1毫米,大的可达3~4毫米,在矿石中应属中一细粒均匀嵌布,它与脉石的嵌镶关系简单,多为规则毗连嵌镶。

根据这些矿石工艺性质,在选择选矿方法时,针对矿物组成以磁铁矿为主这一特征,选择磁选比较合适。如考虑到20%的其它铁矿物的回收,当再辅以其它方法。目前矿山用单一磁选即能达到满意的选矿指标(精矿品位60%,回收率75~78%)。

由于磁铁矿粒度较大、嵌布均匀、与脉石矿物嵌镶关系规则而平直,矿山使用自磨机的磨矿细度到0.2毫米(即-200目的占60~65%时),磁铁矿已基本解离。值得注意的是磁铁矿与脉石矿物的物理性质,也是有利于解离的。前者晶形完好,较坚硬,后者含石英很少,多数是辉石、绿泥石、长石等硬度较低的矿物,且受不同程度的风化,所以在磨矿过程中也易于沿磁铁矿晶体接触面剥离。这就正合乎自磨工艺的特点。即:它的研磨产品易于沿矿物颗粒边界破裂,便于保持颗粒自然外形,减少过磨现象。

在分析选矿结果时,如果抛掉百分之儿

的硅酸铁不考虑,磁铁矿实际占铁矿物的82%,可知留在尾矿中的有用组分是很少了,因而可以认为效果是理想的。

江西××铁矿 为一含铁夕卡岩及硫化矿床经氧化富集而形成的铁帽型褐铁矿矿床。整个矿床平均含铁品位 $TFe = 38.76\%$,矿石中主要有用矿物为褐铁矿(水针铁矿、针铁矿),占90%以上,只有少量赤铁矿、磁铁矿。脉石矿物主要是石英及少量高岭土、绢云母、绿泥石等。褐铁矿矿石分为两类:一类为占全矿石60%的夕卡岩型褐铁矿,主要由黄色、黄褐色疏松土状,质轻较软的褐铁矿组成;另一类为高硅型褐铁矿,主要由褐色及深褐色、致密块状、质地坚硬的褐铁矿组成。矿石中褐铁矿嵌布粒度虽然粗,而脉石矿物(石英等)粒度较细,多被包裹嵌镶于褐铁矿中。

一般说,氧化作用形成的铁帽型褐铁矿矿石,当品位达到40~45%时,可直接入炉炼铁,但该矿石全铁只有38%,必须经过选矿才能利用。矿山在多种试验的基础上,最后应用了正浮选法选矿。但是仅就矿石的组成矿物性质来看,这也不一定就是最好的方法,如有条件搞焙烧磁选,也可能取得更好的效果。

这类矿石一部分褐铁矿成块状,嵌布粒度较粗,但因石英等脉石矿物颗粒细小,又是包裹嵌镶于铁矿物中。因此要把它们解离出来,磨矿就得较细,如用反浮选,这点将更突出。目前磨矿细度选择为-200目占75%,此时褐铁矿90%已解离成单体。但矿石中另有60%属疏松土状的黄褐色褐铁矿,在这样的磨矿细度必然会泥化更厉害。故有必要考虑将上述两种矿石分别处理,或是破碎磨矿时分段处理,以免过分泥化。

由于这类褐铁矿石大多数为多金属硫化矿床氧化而形成的,因而常在矿石中含有原生矿中的有害和有益元素,如As、P、S、Cu、Pb、Zn等,甚至还伴生有益的希散元素Ga、

In、Ge和贵金属Au、Ag等。如有这些有用元素,选矿时应考虑回收,如不可能,则留待冶炼时回收。

表1中的三个实例说明,虽然它们都含有磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿三种铁矿物,但因其含量比例各不相同,故采取的选矿方法各异,由于矿石构造、结构和嵌布特征以及嵌镶关系的不同,采取的磨矿细度也不一样。这三个铁矿,物质成分都较简单,所以应用的选矿方法和流程也都较简单。至于对矿床形成条件或物质组分复杂的矿石,那就需要采取较复杂的选矿方法和流程了。

例如某黑钨石英脉矿床,是高温热液矿床,成矿过程经历了高、中温热液阶段,矿物成分复杂。主要矿物有黑钨矿、钨石、白钨矿,伴生组分还有辉钼矿、辉铋矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、毒砂等。脉石矿物以石英、方解石为主。矿石构造和结构复杂,特别是黑钨矿与硫化物常成熔蚀交代结构,交代残余结构,细脉、网脉结构,还有硫化物之间的乳浊结构等,形成矿物间复杂的嵌镶关系,如不规则毗连嵌镶、包裹嵌镶等。

有用矿物在矿石中均属不均匀嵌布。黑钨矿粒度大的在20厘米以上,小的仅0.5~2毫米,有的又被白钨矿交代、与之共生而呈微粒(0.03~0.05毫米);钨石大的2~3厘米,一般1厘米,少数0.2~0.3毫米;白钨矿1~2毫米;闪锌矿0.2~2毫米;黄铜矿一般0.2~2毫米,但又有一部分是以乳浊状分布于闪锌矿中的,呈微粒,仅0.02毫米左右。这样的嵌镶关系使得白钨矿与黑钨矿、黄铜矿与闪锌矿很难分离,并且钨石、黑钨矿又常与毒砂等硫化物密切共生,前者多被后者熔蚀交代,形成复杂的嵌镶关系,因此均不易分选完全,影响精矿质量。

从上述情况可知,这类矿石的特点是:矿物组分复杂,伴生有用组分多可综合回收;有用矿物比重大,一般颗粒较粗,单体

分离早,原矿含泥少,在粗粒级时可选弃大量围岩和脉石。一般说,黑钨矿、钨石的晶体颗粒粗,比重大,通常可用重选法选别。但这个黑钨石英脉矿床的矿石,还伴生着铜、铅、锌、铋、钼等的硫化物,如用单一的重选,可能因其它矿物混入而影响钨精矿指标,故钨精矿尚需再经粒浮,磁选,电选,浮选,冶金等联合工艺才能得到多种合格的产品。所以这类矿石的选矿工艺流程要分粗选、重选和精选三段:

粗选段 包括洗矿、破碎、脱泥、手选等作业。主要目的是通过手选丢弃大块的废石。部分矿山对50~20毫米粒级的原矿,已采用光电选矿选出废石,在人工复选中拣出块钨和少数花石。

重选段 根据矿石中主要有用矿物比重大、颗粒粗的特点,重选则是全流程中的重要环节,它包括棒磨、跳汰、粗选、摇床等。这一阶段中,应该是“少磨多选,能收早收,能丢早丢,按窄级别分选”。这就能使粗颗粒矿物避免过粉碎和尽早回收。但是通过跳汰、摇床等选矿后,黑钨粗精矿一般不纯,很多硫化物没有与黑钨矿分离,或因比重较大而混到精矿中来,表3就说明了这个问题。

精选段 从表3多元素分析可知,粗精矿中存在多种有用组分。为提高钨精矿质量和综合回收这些组分。还需采用其它选矿方法,这就到了精选阶段。

精选主要是粒浮和浮选脱硫,用重选进一步提高品位,用磁选使黑钨矿、锡石、白钨矿、氧化铋等分离,用电选或粒浮、浮选分离白钨和锡石。铜、钼、铋、铅、锌等的硫化物,则利用浮选使之分离并回收成单独

产品。至于伴生的贵金属和一些稀有元素,则需在冶金过程中回收。

为提高钨精矿质量和回收金属硫化物,必须进一步磨矿,以使硫化物充分分解离。如黄铜矿、闪锌矿,要磨矿到-200目占80~85%时,才达到黄铜矿单体解离67%和闪锌矿单体解离90%。硫化物的分离顺序一般为辉钼矿→辉铋矿;方铅矿→黄铜矿→闪锌矿→黄铁矿。综合回收必须引起重视。过去湖南一个钨矿,由于对铋、钼没有搞清楚赋存状态,使铋、钼回收率仅达30%多,造成浪费。

又如某铜矿,矿石分硫化矿石和氧化矿石两类,对前者采用单一的浮选法选矿就能达到要求;对后者却采用过离析—浮选,细菌浸出等从冶金到生物的多种方法。

从上面铁、钨、铜矿的几个例子可以看出,对一个矿床进行工业评价,仅仅知道矿石品位、储量、矿体形态、产状和一般物质组成还是不够的,还应该对矿石的工艺性质进行全面了解,真正做到综合评价,以供矿山设计部门根据这一比较完整、可靠的资料考虑最经济有效的选矿方法,确定最佳的磨矿细度及最合理的选矿流程,尽可能地综合回收全部有用组分。

从选矿、冶金的角度,对矿石工艺性质研究的要求是非常具体的,大体包括:

- 1.查明矿石中组成元素的种类及含量。
- 2.矿石中组成矿物的鉴定及定量分析。
- 3.在弄清矿石构造、结构的基础上,对矿石中有用矿物的嵌布特性及嵌镶关系进行详细描述,并查明有用矿物粒度分布情况,必要时绘制粒度特性曲线图。
- 4.磨矿产品的矿物组成考查和粒度、解

某钨矿粗精矿多元素分析结果(含量)

表3

元 素	WO ₃	Sn	Cu	Zn	As	S	Mn	V ₂ O ₅	TiO ₂	[Cd]	Al ₂ O ₃	元素	Au	Ag
%	9.25	3.26	1.30	3.74	14.85	14.93	0.85	0.06	0.32	0.16	4.09	克/吨	0.032	138.44

离度(率)分析。

5. 主要有关矿物的物理性质及物理化学性质的测定:

(1) 比重、导电性、导磁性; (2) 硬度、脆性、解理、矿石可磨性; (3) 矿石的孔隙度、含水性; (4) 矿物的氧化度、可溶性; (5) 矿物表面电位、表面湿润性以及其它表面特性; (6) 矿物自然pH值; (7) 与选矿有关的其它物理化学性质及晶体化学性质的研究。

6. 元素赋存状态的研究, 特别是稀有分散元素及有害元素分布规律的考查。

7. 矿石中有关元素平衡关系的研究。

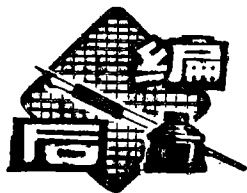
以上内容, 不是对所有金属矿石的统一要求, 而是需要根据矿石的形成特点及其组合类型的不同、勘探程度的不同, 提出对矿石工艺性质研究的不同要求, 研究项目的繁简、研究程度的深浅、侧重与省略的方面, 均视具体对象而定。大体有三种情况:

一、为地质评价服务的矿石的可选性试验。它要求查明矿石组成元素和含量; 组成

的矿物种类和含量; 矿石的构造、结构, 及同有用矿物有关的嵌布特性和嵌镶关系; 查明有用矿物的粒度, 指出80%以上的粒度范围。配合某些选矿试验做些流程产物考查。

二、为提供选厂设计依据的矿石的选矿试验研究。它要求查明矿石中组成元素及含量、矿物组成及含量; 要对矿石构造、结构和因而形成的有用矿物嵌布特性及嵌镶关系, 有详尽的描述; 对主要有用矿物粒度要作详细统计, 并绘制有用矿物粒度特性曲线; 查明有用矿物在不同磨矿细度下的解离度; 对矿石中某些重要的有益、有害元素作赋存状态的考查; 必要时需对主要回收金属作元素平衡计算; 根据需要, 对主要有用矿物进行物理或物理化学性质的测定; 密切配合选矿试验做好流程产物的考查工作。

三、为解决复杂难选矿石或新矿种选矿途径的研究工作。对这类性质的研究、试验, 需根据具体的疑难问题设立研究专题, 这是需要地质勘探单位与其它有关部门进行更广泛的协作才能加以解决的。



本刊约请中南矿冶学院地质系和矿山系撰写的“金属矿石形成特点、组合类型及其与选矿的关系讲座”, 是为从事矿区勘探评价和矿石综合利用查定工作的地质勘探和矿山地质人员编写的。鉴于以往在矿石评价工作中, 往往注意了矿石中主要有用、有害组份的化学成分及含量, 而对其存在状态、粒度、嵌布特性、嵌镶关系, 以及矿石在破碎过程中的

连生、解离情况等工艺性质则有所忽略, 以致在提交储量报告或开采设计时, 不得不返工进行专门的补充试验和查定工作, 既浪费了人力物力, 又耽误了时间, 造成不必要的损失。

为此, 本讲座拟以大量金属矿床勘探和开采的实际资料为依据, 着重讨论有关矿石形成特点、组合类型及其与选矿的关系等问题, 提供这方面的经验和教训, 以期引起有关同志的重视, 少走弯路, 多快好省地开发矿业。

讲座计划分八讲于年内讲完。前两讲讨论矿石的工艺性质, 以后各讲分别介绍贵金属、黑色金属、稀有金属、有色金属矿石, 最后还要论述有关选矿流程产物、矿泥矿渣以及其他冶炼产物中有用组份存在状态查定等问题。

读者对讲座有何意见和要求, 望及时函告我们。