

金属矿石形成特点、组合类型及其与选矿的关系讲座

第八讲：选冶产品的工艺性质研究

卧石卧木

选矿对地质工作的要求，主要是提供原矿矿石工艺性质的资料。一般情况下，只要对原矿矿石进行研究就足够了；但是冶金系统的地质工作者总会遇到一些选矿、冶炼产品，诸如精矿、中矿、尾矿、矿泥、球团、冰铜、炉渣、烟尘等。下面分别谈谈这几方面的问题：

一 选矿产品的研究

对于选矿产品主要要求查明以下内容：

1. 主要元素的种类及含量；
2. 组成矿物的种类及其相对含量；
3. 主要组成矿物的粒度；
4. 目的矿物单体解离度（率）的测算，

并描述其中连生体的特性及各类连生体所占

的比例；

5. 提高产品检查结果，提出改进流程的意见。

对不同产品及选矿的具体要求，上述几项可以有所取舍，如磨矿产品常常只要求粒度分布及解离度资料，尾矿只要求了解有用矿物在尾矿中的粒度，丢失状态，有无回收的可能。

松散选矿产品的定量分析，须将样品制成光片置于显微镜下观测。在没有磨片设备的条件下，自己可用虫胶、牙托粉或松香（加松节油）等将产品制成团块，用不同型号的水砂纸进行粗、细、精磨，最后用氧化铬溶液在呢绒上抛光，制成光片观测。通过观测获得上述几项数据的方法在第二讲中大体都谈到了，这里不再多讲。下面举两个例

某铁矿磁—重选总精矿定量分析结果 表1

粒级, μ		+74	-74~+40	-40~+30	-30~+20	-20~+10	-10	总计
粒度分布, %		41.0	19.7	11.7	23.3	22.1	9.2	100
磁铁矿单体			1.23	0.78	3.62	5.20	3.24	14.07
磁铁矿—赤铁矿		1.56		3.86	2.08	2.59		10.09
磁铁矿—脉石		6.23	9.86	2.32	4.67	0.97	0.26	
赤铁矿单体				0.78	4.66	5.85	3.89	15.18
赤铁矿—脉石		3.12	4.92	3.12	4.16	1.94	0.52	
脉石单体		1.56			3.62	5.52	1.30	12.00
磁铁矿—赤铁矿—脉石		1.56	3.69	0.78	0.52			
矿物含量 (%)	磁铁矿	4.89	7.88	4.53	8.62	7.55	3.32	36.83
	赤铁矿	0.68	2.56	4.92	6.20	7.60	4.04	26.0
	脉石	8.45	9.25	2.30	8.45	6.90	1.82	37.17

予略加说明。

例1 某沉积变质铁矿的磁选、重选总精矿(表1),由于原矿石中矿物组成比较简单,除磁铁矿、赤铁矿单体外,含铁矿物的连生体仅磁铁矿—赤铁矿;磁铁矿—脉石;赤铁矿—脉石及少量磁铁矿—赤铁矿—脉石。此外,还有12%的脉石单体。

粒度分析86%的颗粒在200目以下,但颗粒中单体含铁矿物(包括将磁铁矿—赤铁矿连生体视为铁矿物单体)只有39.34%,占全部铁矿物(62.83%)的62.6%。此即全样品中铁矿物的解离率,说明在这种磨矿细度下,铁矿物解离的不充分。

从连生体的形态来看,磁铁矿—脉石的连生体,在较大粒级中多为两种类型(图1):不规则毗连连生和包果连生,尤以磁铁矿包果石英的连生颗粒为多,脉石石英颗粒多小于5微米。在较细颗粒中多为毗连连生体。赤铁矿—脉石连生体也是包果连生为主,因赤铁矿粒度极细,因此大多为脉石包果赤铁矿(见图1)。至于磁铁矿—赤铁矿连生体,因多能被弱磁选回收,故影响不大。



图1 某铁矿精矿中主要连生体类型

据目前已有的磨矿细度,矿物连生情况及其物理性质来看,想通过更细磨矿使有用矿物进一步解离是很困难的。提高精矿质量的有效途径,应该是改进选矿条件,除去混入精矿中占12%的脉石单体,按理这一部分杂质是可以除掉的。

计算精矿回收率时,由于此类矿石中含有其他硅酸铁、硫化铁,除用化验品位计算回收率外,应将测定矿物含量换算成金属量计算回收率,以供参考,因为有时硅酸铁等也被大量回收。

某铁矿中原矿化学分析品位TFe=27.7%,精矿TFe=52.7%,尾矿中TFe=12.3%,计算回收率为72.5%。而根据镜下测定的磁铁矿及赤铁矿量再换算成铁含量,得出精矿中TFe=44.9%,尾矿中TFe=10.7%,原矿中TFe=22.7%,这样计算的回收率为69.4%。若镜下统计确实精确的话,说明有相当一部分硅酸铁被回收了。

根据上述分析数据,可以认为进一步提高精矿品位的潜力还是存在的。

例2 某铜矿浮选尾矿的研究,目的是考查尾矿中铜丢失的原因。

该尾矿定量分析数据见表2。由表2可知,大于40微米粒级中丢失铜占40%左右,主要以黄铜矿与黄铁矿的连生状态丢失,二者为包果连生与海湾状毗连连生(图2),前者约占40%,后者约占60%。

某铜矿浮选尾矿定量分析结果

表2

级 别, μ	+74	-74~+40	-40~+20	-20~+10	-10~+5	-5
产 率, %	15.72	21.98	22.52	16.96	10.05	12.77
铜 品 位, %	0.22	0.16	0.12	0.091	0.11	0.39
铜分布率, %	20.73	20.15	15.45	8.82	6.34	28.51
黄铜矿单体	4.1	8.4	18.5	65.6	8.82	大部分
黄铜矿—黄铁矿	51.0	40.4	31.0	24.4	6.0	
黄铁矿中黄铜矿包果体	32.8	41.7	31.0	7.0	3.0	
铜兰—黄铁矿	0.2	6.0	6.5	0.5	0.8	
铜矿物及其他矿物	11.9	3.5	13.0	2.5	2.0	
铜矿物在连生体	-12 μ	52.3	43.1	85.0	89.3	99.2
中的比值及大小	12~20 μ	47.7	56.9	15.0	10.7	0.8

在40~10微米粒级中铜的丢失约占25%,黄铜矿单体和连生体都有;单体比连生体稍

多,而连生体中又以黄铁矿包果黄铜矿的类型稍多。而10微米以下粒级中则主要丢失是

黄铜矿单体。

总的说来，铜的丢失主要是黄铜矿，少量是铜兰等其它铜矿物，稍大的粒级中主要是连生体状态的铜，较小粒级中则是以黄铜矿单体状态存在的，因此对于较大粒级的可考虑加强磨矿，使黄铜矿单体解离，得以回

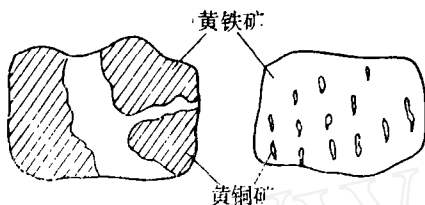


图2 某铜矿尾矿中黄铜矿—黄铁矿连生体

收。但同时要防止过粉碎，以免过多的黄铜矿单体进入10微米以下的各粒级中，影响回收。至于黄铁矿包果的黄铜矿因浮选过程很难回收，应该作为浮选尾矿的合理丢失，只能考虑其他方法回收。根据以上分析，如能防止粗粒级再磨过粉碎，并努力回收10微米以下级别的黄铜矿，那么尾矿品位是可以降低的。

二 矿泥组成和工艺性的查定研究

我国许多钨锡和铜多金属等矿床中，构造裂隙发育，受气候及地下水影响常形成较发育的氧化带，使部分矿石产生原生泥化，在制定选别流程时，必须单独处理。同时不少矿区由于原矿有用矿物性脆或过细，在破碎过程中也易于连同脉石矿物一起产生次生泥化，在制定选别流程时，同样必须加以考虑。以湘、赣、粤三省的钨矿为例，据近年统计，16个钨矿选厂钨矿泥的平均年产率为出窿原矿的10.2%，WO₃金属占有率（即从矿泥中选出的WO₃量，占全部选出WO₃量的百分比）为13.5%。云南某锡矿，锡金属回收率约为60%，其中矿泥工段生产量占全部实收率的10~12%，每年从矿泥中要生产几千吨的纯锡。因此加强对矿泥组成和工艺性的研究，是提高选矿实收率，制定合理流程的一个重要组成部分。

关于矿泥组成和工艺性的查定研究，主

要有以下几项内容：1.对矿泥进行筛析、水析或重液离心分级；2.鉴定矿物成分及测定相对百分含量；3.进行元素及有价元素的化学分析和物相分析；4.统计主矿物在各粒级中的分布率；5.查定主矿物在粒级中单体解离率；6.进行矿泥中主矿物的工艺性分析并作出相应结论。现以西南H矿为例，该矿泥的各级别矿物组成及含量如表3。表中的矿物含量及锡石单体量，都是以颗粒数及比重来计算的，因而只是概略含量。

H矿矿泥的各级别矿物组成及含量（重量%）
表3

粒级mm	0.2	0.074	0.037	0.019	0.010
矿物名称					
锡石	0.2	微	1.6	1.9	1.6
褐铁矿及少量赤铁矿、针铁矿	73.7	74.4	62.7	61.7	65
含铁质粘土	7.2	5			
磁黄铁矿	0.1	—	—	—	—
锰结核	9.6	11.9	19.2	15.9	5.3
白铅矿	微	微	微	微	微
砷酸铅	—	个别	个别	个别	—
铅铁矾	—	微	微	微	—
石英、方解石、白云石	5.8	7.1	15.8	19.8	28.1
云母、长石等风化物	2.9	1.4			
水锌矿	0.1	微	—	—	—
菱锌矿	—	微	个别	个别	—
砷钙铜矿	个别	微	个别	个别	—
电气石	0.4	微	—	—	—
灰屑、草渣	—	0.2	0.4	0.7	—

由表3可见，矿泥中主要成分为氧化铁及含铁粘土，次为石英、方解石、白云石及云母、长石等硅酸盐矿物的风化物。由于部分细粒级锡石被褐铁矿、针铁矿、锰结核等氧化物包果，所以在粗粒级矿泥中的锡石含量相对降低。

矿泥的化学分析结果（%）：Sn1.30，Pb2.68，Mn2.20，Fe35.31，Cu0.22，As0.67，Zn1.33，MgO1.71，CaO3.76，Al₂O₃7.63。

矿泥的物相分析表明，锡石占绝大部分，而酸溶锡（即在酸溶液中的溶解锡）只占很少部分，因此对锡的回收构成有利条件，其相对含量如表4。锡石粒度分析及其

在各粒级中的分布率如表 5。从表 5 可见，锡石主要集中于 0.074~0.037 及 0.037~0.019 毫米这两个级别之中。

H矿矿泥中锡石的物相分析结果 表 4

矿 物	酸 溶 锡	锡 石	合 计
含量, %	0.03	1.20	1.23
相对含量, %	2.44	97.56	100.00

表 5

级别, 毫米	γ	$\varepsilon\gamma, \%$	β	$\varepsilon\beta, \%$	$\Sigma\varepsilon, \%$
+0.2	0.94	0.94	0.399	4.20	4.20
-0.2~	11.79	12.37			
+0.074			1.435	58.97	64.17
-0.074~	49.03	61.76			
+0.037			1.646	32.52	96.69
-0.037~	23.57	85.33			
+0.019			1.323	2.9	98.78
-0.019~	1.88	87.21			
+0.010			0.207	2.22	100.0
-0.010	12.79	100.0			
合计	100.0		1.193 (平均)	100.0	100.0

γ —各级锡石含量占全部矿泥%; β —各级锡石中金属锡的分析品位%; ε —各级金属锡含量占全部矿泥%。或分别用 γ —产率; β —品位; ε —分布率

镜下测定的锡石单体解离率结果如表6。

H矿矿泥中各粒级锡石单体解离率分布表 表 6

粒级	解离率 %	单体	连 生 体			备 注
			$>\frac{4}{5}$	$\frac{4}{5}\sim\frac{1}{2}$	$<\frac{1}{2}$	
0.2 毫米	0	15	15	70		单体与连生体均按平均面积测定
0.074 "	16	24	18	42		
0.037 "	66	26	7	1		
0.019 "	74	23	8	0		
0.010 "	92	8	0	0		
-0.010 "	—	—	—	—		

从上述成分及各粒级锡含量与单体解离率的查定可知H矿矿泥的主要工艺特点是：

1.矿泥中主要有用矿物为锡石，此外褐铁矿及其他铁矿物占63%以上。其次是锰结核、石英、云母、方解石等，主要回收对象为锡石。

2.锡石品位为1.3%，主要集中在74~19微米部分，其中37微米部分重量占23.57%，金属率达32.5%，铁含量达35%，丢弃轻矿物后，也可作为矿石。

3.从单体与连生体在各粒级中的分布来看，增加磨矿作业不会提高选矿效率；若将 $>4/5$ 的连生体也作为单体看待的话，则单体加 $4/5$ 连生体占90%，因此不增加磨矿，也可取得较好的回收效果。

4.铅品位达2.68%，但主要成分为铅铁矾及其他难选铅矿物，易选铅矿物单体含量甚微。由于铅矿物比重较大，进入锡精矿而影响精矿质量，必须加以处理。

三 对烧结、冶炼产品组成及工艺性质的研究

近年来，国内外对细粒贫矿的工业利用多采用烧结、球团处理，除铁矿石外，铜镍矿石、硫铁矿石，烧结球团工艺运用也较多。此外，由于各种回收试剂的运用和工艺设备的改进，对冶炼产品，如炉渣、冰铜、烟尘也作为回收资源的途径之一。有价元素在上述产品中的状态、分布及工艺特征，也就成为矿石研究工作者所必须加以注意的一项重要内容。

1.焙烧和烧结、球团 我国拥有丰富的鞍山式铁矿资源，在第四讲中，曾对其矿物组分和结构构造特点作过介绍。这种矿石主要有用矿物为磁铁矿和赤铁矿。为了充分利用资源，简化选矿处理过程和降低生产费用，采用磁化焙烧后，可使弱磁性赤铁矿转变为磁铁矿，以获得较好的选矿效果。这一过程即为焙烧。其次由于矿石粒度过细，经破碎分选后，必须烧结成块或加入一定熔料造球后，并焙烧使之成为球团，才能进行冶炼。无论是焙烧、烧结、球团，在进行工艺处理时，都要对原料及其加工处理的结果，特别是处理后的有用组分的变化、有用矿物的粒级分布与其他矿物连生的情况，进行查定。换句话说，这是一种人造矿石，和天然矿石不同的只是经过了一定的工艺加工处理。如铁矿石烧结矿中，主要有用矿物为磁铁矿，由于结晶条件的不同，可以形成不同的结晶形状（如树枝状、骨骼状，直到结晶

良好的自形晶)。烧结矿中硅酸盐愈多,磁铁矿的晶形愈完整。由于烧结矿冷却时的再氧化作用,在烧结矿表面可以形成气孔和裂隙,沿磁铁矿的解理面,还可以形成叶片状赤铁矿。在烧结大颗粒矿石时,赤铁矿会增多。这是由于烧结时还原不足造成的。其次,燃烧时燃料不足也可以有大量的原生赤铁矿保留下来。后面这种烧结矿,往往具有红褐色和结构疏松的特点。烧结矿中新生的非金属矿物出现最多的是铁橄榄石。它常呈板状或不规则细小颗粒。其次为钙铁硅酸盐矿物($\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2$)。要注意的是,球团矿因加热的温度不同,生成的矿物也不一样。加热至 800°C 时,石英与方解石仍可保持原状不起反应,而在已烧结的矿石中,除核心外,磁铁矿大部分均氧化为赤铁矿。加热至 1000°C 时,可形成低熔点玻璃,并使核心部分磁铁矿氧化加大成集结体。加热至 1200°C 时,球团矿中的石英与方解石全部参加反应,形成含铁钙硅酸盐矿物,构成胶结均匀和网状结构的赤铁矿基底。

除贫铁矿石运用烧结、球团加工工艺外,近年来,还对黄铁矿型铜矿石、斑岩型铜矿石、夕卡岩型铜矿石等所选出的黄铁矿产品,利用高温氯化焙烧法综合利用烧渣中的各种有价金属元素。为此,对黄铁矿烧渣及其球团的矿物组成与结构构造特征,必须进行详细查定。特别是对烧渣后的松散样品,要进行银样,制成光片,测定其矿物组合、粒度、单体和连生体含量,以作为制定分离,提取有价成分(如铁、铜、铅、锌、钴、金、银等)工艺流程的重要依据。

2. 矿渣 炼铁炉渣现已广泛用作建筑材料的原料。铜、铅锌矿区的反射炉渣——冰铜,长期以来被当作废物。但近年来国内

外对此也引起注意,如用氨水、硝酸、硫酸、过氯酸等,对冰铜进行浸取,已获得一定成绩。但如何才能提高回收效果,降低成本和简化设备,则需要对炉渣的组分、熔炼过程以及气候条件进行研究,其中尤以组分的查定更为重要。我国华东A矿冰铜中,经查定主要硅酸盐矿物铁橄榄石(Fe_2SiO_4)占20%,含铁黄长石($\text{Ca}_2\text{FeSiO}_7$)占60%,硫化物中黄铜矿、斑铜矿占3%、银、砷、铋硫化物痕量;氧化物中以磁性氧化铁(Fe_3O_4)为主,占10%,其余玻璃状聚合物占60%。广西D矿有高铜锡渣,经鉴定主要组分有金属锡、硫化铜、硫化亚铜,另有部分Fe、Pb、As、Sb的硫化物,通过氧化焙烧,再用稀硫酸浸出,使铜锡分离,再将残渣送回反射炉,还原熔炼回收锡。这些含矿炉渣,均因有用组分、分布和含量的查清,从而大大提高了回收效果。

3. 烟尘 近年来,湖南S铅锌矿,云南H铅锌矿等冶炼厂从铅锌冶炼的旋涡炉烟灰中,通过布袋把灰及烟筒内红灰,按比例搭配,运用浆化—碱化—浸出流程,先从碱洗溶液中加入丹宁使锗沉出。再将渣液化,使镉、锌分离,从二次残渣中取得镉金属,并通过二次含锌溶液电解得锌。湖南、贵州的一些锑矿炼厂,通过收集锑矿冶炼的挥发物和烟尘,与废弃的炉渣——铁冰铜,通过一定的流程处理,使挥发物和烟尘中的锑取得有效回收。

总之,除了天然矿石组分、粒度分布、含量及连生特征研究除对选矿具有重要实际意义外,对选冶加工过程中的产品组成和工艺性进行系统研究,对于提高矿石的金属组分回收,制定合理的工艺流程也同样具有重要实际意义。

