

# 缅甸某钛铁矿工艺矿物学研究

王 墨<sup>1,2</sup> 张汉平<sup>2</sup> 谢 峰<sup>2</sup> 雷 霆<sup>1,2</sup>

(1. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093; 2. 昆明冶金研究院, 云南 昆明 650031)

**摘 要:** 利用化学多元素分析、化学物相分析、X 射线衍射、扫描电镜、光学显微镜等综合手段, 研究缅甸某钛砂矿的工艺矿物学特性。查明了原矿石的结构构造、矿物组成、嵌布特征、粒度组成等特性。在弄清该矿工艺矿物学特性的基础上, 阐明影响选矿工艺的因素, 提出选矿工艺可采用先强力搅拌、脱泥, 使钛铁矿、磁铁矿、磁赤铁矿、金红石充分解离, 为该矿的选矿提供了依据。

**关键词:** 钛铁矿; 工艺矿物学; 解离度; 嵌布特征

中图分类号: TF823 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2014)03-0046-04

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2014.03.011

## Research on Process Mineralogy of an Ilmenite in Myanmar

Wang Mo<sup>1,2</sup> Zhang Hanping<sup>2</sup> Xie Feng<sup>2</sup> Lei Ting<sup>1,2</sup>

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China; 2. Kunming Metallurgy Research Institute, Kunming 650031, Yunnan, China)

**Abstract:** Through multi-element analysis, XRD, SEM, microscopic analysis and other measurement methods, the process mineralogical studies on an ilmenite in Myanmar were carried out to identify the chemical composition, mineral composition, grain size distribution and dissemination characteristics of the ore. The factors affecting mineral processing were discovered, based on the research results of process mineralogy of the ilmenite. The mineral processing including strong stirring and desliming for sufficient dissociation of ilmenite, magnetite, maghemite and rutile was proposed, which provides the basis for beneficiation of the ore.

**Key words:** ilmenite, process mineralogy, degree of dissociation, dissemination characteristics

## 0 引言

钛是一种轻金属材料, 具有抗高温、耐腐蚀、强度大等特点, 因此在工业及日常生活中应用广泛<sup>[1]</sup>。全球已探明的钛资源储量为 205 亿 t, 其中经济探明储量 11.8 亿 t。我国钛资源十分丰富, 20 多个省均有分布<sup>[2]</sup>。钛矿床类型有岩浆矿床、外生矿床和变质矿床, 其中外生矿床是钛精矿的主要来源<sup>[3]</sup>。钛矿有钛岩矿和钛砂矿。钛岩矿的主要特点是 FeO、脉石含量高, 结构致密, 所以在选矿分离

时较困难; 钛砂矿是由大自然作用富集形成, 精矿中 TiO<sub>2</sub> 品位 50% 以上, 因此选矿分离时易与杂质分离<sup>[4-6]</sup>。

钛铁矿的选矿方法可以分为物理法和化学法, 物理法一般有磁选、重选等。用物理法处理的钛铁矿的主要特点是矿物密度和比磁化系数不同<sup>[7-8]</sup>。生产中主要的钛铁矿选矿工艺有“重选—强磁选—浮选”和“重选—强磁选—电选”两种, 采用的选矿设备主要包括: 抛弃尾矿的螺旋溜槽、除强磁矿物的弱磁选机、选钛铁矿的强磁选机、浮硫化物的浮选机、精选钛

铁矿的电选机等<sup>[9]</sup>。因此,在选择用何种选矿方法及设备处理钛铁矿前,必须对钛矿的工艺矿物学特性进行研究,只有在了解该矿物特性的基础上才能更好地选择分离。

笔者通过对缅甸的钛砂矿的工艺矿物学研究,揭示该钛砂矿的性质,查清钛砂矿选冶工艺的工艺矿物学因素,为制定合理的选矿工艺提供依据。

### 1 矿石多元素分析

原矿多元素分析结果见表 1。由表 1 可知,该原矿中主要含有 Fe、TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 等 7 种化学成分,其中 TiO<sub>2</sub> 含量 6.18%,CaO 的含量为 0.31%。属于具有经济开采价值的矿物,原矿中所含的 CaO 量属于低钙量范围,可用于高钛渣的原料生产。

表 1 原矿多元素分析结果

Table 1 Multi-element analysis result of raw ore %

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	TiO <sub>2</sub>	CaO	K	Na
17.35	42.98	14.34	6.18	0.31	0.62	0.13

### 2 矿石的结构构造

该钛砂矿从直观上看,色调为红褐色,大多数为粒度小于 0.2 mm 的粒状及粉状颗粒,还有少数颗粒固结成粒度为 5~30 mm 的疏松块状,构成了矿

石的疏松土状构造。由此可知,该矿的破碎成本较低、粒度集中。

通过显微照片可知该矿石的主要结构有 4 种:①泥质结构。该矿的主要结构是由粒度小于 0.004 mm 的泥质组成。②显微鳞片变晶结构。该结构主要由绢云母组成,绢云母呈显微鳞片状,其集合体隐约呈板状,可能是长石蚀变形成。③半自形—它形颗粒状结构。矿石中金属矿物多呈它形颗粒状,有时见钛铁矿、磁赤铁矿呈半自形—它形颗粒。④包含结构。部分矿石中可见钛铁矿和磁赤铁矿相互包裹,有时也能见到褐铁矿包于金红石中、黄铜矿包含于钛铁矿中。

### 3 矿石矿物成分

经磨制成光、薄片镜下观察,采用化学分析、X-射线衍射分析、人工重砂分析等方法,查出矿石中有氧化物、碳酸盐、硅酸盐、硫化物四类共 13 种矿物存在,其中氧化物占 49.73%,硅酸盐占 49.72%,其它少量。矿物成分和嵌布粒度情况见表 2。

### 4 矿物粒度筛析

将原矿分别用 +0.5、+0.2、+0.074、+0.037 mm 的筛子进行分级,小于 0.037 mm 的再进行水析,可以得到不同粒度分布的 TiO<sub>2</sub> 的粒度筛析结果,如表 3 所示。

表 2 矿物成分和嵌布粒度分析

Table 2 Mineral composition and Dissemination size of ore

类型	矿物名称	分子式	矿物粒度/mm	矿物含量/%
氧化物	石英	SiO <sub>2</sub>	0.06~0.5	21.92
	钛铁矿	FeTiO <sub>3</sub>	0.012~0.6	8.8
	磁赤铁矿	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.012~0.6	2.24
	磁铁矿	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.06~0.18	1.11
	金红石	TiO <sub>2</sub>	0.012~0.5	0.06~0.6
	褐铁矿	FeOOH	最大 2.7	15.66
碳酸盐	白云石	CaMg[CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub>	0.06~0.3	0.55
	蓝铜矿	Cu <sub>3</sub> [CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	0.18	偶见
	白铅矿	PbCO <sub>3</sub>	0.1	偶见
硅酸盐	多水高岭石	Al <sub>4</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>8</sub>	<0.006	41.9
	绢云母	K{Al <sub>2</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub> }	<0.006	6.33
	斜长石	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0.01~0.12	0.79
	电气石	Na(MgFeLiAl) <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ][BO <sub>3</sub> ] <sub>3</sub> (OH,F) <sub>4</sub>	0.006~0.012	0.7
绿泥石	(Mg,Fe,Al) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> {(Mg,Fe,Al) <sub>3</sub> [(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub> }	0.12	偶见	
硫化物	黄铁矿	FeS <sub>2</sub>	0.1	偶见
	黄铜矿	CuFeS <sub>2</sub>	0.006~0.06	偶见
	方铅矿	PbS	0.004	

表 3 原矿粒度筛析结果  
Table 3 Screen analysis result of raw ore

粒级/mm	TiO <sub>2</sub> 质量分布率/%		TiO <sub>2</sub> 品位/%		Ti 金属分布率/%	
	个别	累计	个别	累计	个别	累计
+0.5	2.92		4.91		2.26	
-0.5 ~ +0.2	8.15	11.06	18.22	14.71	23.41	25.66
-0.2 ~ +0.074	7.72	18.78	19.82	16.81	24.12	49.79
-0.074 ~ +0.037	11.38	30.16	20.32	18.13	36.46	86.24
-0.037 ~ +0.019	4.37	34.53	3.25	16.25	2.24	88.48
-0.019 ~ +0.010	6.01	40.54	2.06	14.15	1.95	90.44
-0.010	59.46		1.02		9.56	
合计	100.00		6.34		100.00	

从表 3 可知,原矿 -37 μm 质量分布率为 70% 左右,TiO<sub>2</sub> 金属分布率只占 14% 左右,建议在生产中可以预先脱除 -37 μm 部分。

### 5 MLA 粒度分析

选取粒级为 -0.3 mm 的原矿,对其粒度检测分析。

经矿石专用扫描分析(MLA 分析),矿石的主要金属矿物粒度特征分布情况见图 1。

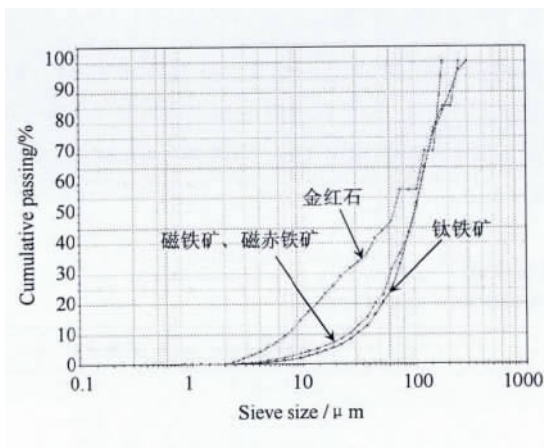


图 1 主要金属矿物粒度特征分布  
Fig.1 Mineral grain size distribution

钛铁矿: 最小粒径为 2 μm,最大粒径为 250 μm;主要粒径区间在 16 ~ 250 μm;颗粒 0.019 mm 筛上率为 94.59%,0.037 mm 筛上率为 87.17%,0.074 mm 筛上率为 66.93%,0.106 mm 筛上率为 46.87%,0.150 mm 筛上率为 23.66%,0.212 mm 筛上率为 10.10%。

磁铁矿、磁赤铁矿: 主要粒径区间在 13.5 ~ 212 μm;颗粒 0.019 mm 筛上率为 92.75%,0.037 mm 筛上率为 84.65%,0.074 mm 筛上率为 63.18%,

0.106 mm 筛上率为 47.81%,0.150 mm 筛上率为 21.81%,0.212 mm 筛上率为 14.69%;

金红石: 最小粒径为 1.75 μm,最大粒径为 250 μm;主要粒径区间在 2 ~ 150 μm;颗粒 0.019 mm 筛上率为 73.88%,0.037 mm 筛上率为 63.55%,0.074 mm 筛上率为 42.43%,0.106 mm 筛上率为 42.43%,0.150 mm 筛上率为 29.64%。

结果表明: 钛铁矿完全解离的颗粒占全部钛铁矿颗粒总质量的 17%,磁铁矿、磁赤铁矿完全解离的颗粒占全部磁铁矿、磁赤铁矿颗粒总质量的 7%,金红石完全解离的颗粒占全部金红石颗粒总质量的 3%。

### 6 钛、铁的赋存状态

化学分析结果显示,矿石中 TiO<sub>2</sub> 的含量 6.18%,经镜下观察、人工重砂分析及电子探针分析,钛主要有两种赋存形式: 一是以独立矿物的形式赋存在钛铁矿和金红石中; 二是以类质同象或机械混入的形式赋存在磁铁矿、磁赤铁矿和褐铁矿中。

化学分析结果显示,矿石中 Fe 的含量有 14.34%,经镜下观察、人工重砂分析及电子探针分析,铁主要以独立矿物的形式赋存在钛铁矿、磁铁矿、磁赤铁矿、褐铁矿中。

### 7 分析讨论

矿石具疏松土状构造,主要有泥质结构、显微鳞片变晶结构、半自形—它形粒状结构、包含结构。矿石中有氧化物、硫化物、硅酸盐、碳酸盐 4 类 17 种矿物存在。氧化物主要约占矿石总质量的 49.73%; 硅酸盐次之,约占矿石总质量的 49.72%; 碳酸盐约占矿石总质量的 0.55%; 硫化物偶见。其中钛的矿

石矿物约占矿石总质量的 27.81% ,铁的矿石矿物约占矿石总质量的 26.70% 。

选取粒度为 -0.3 mm 的原矿进行制样,经 MLA 粒度分析结果显示,钛铁矿颗粒最小粒径为 2  $\mu\text{m}$ ,最大粒径为 250  $\mu\text{m}$ ,主要粒径区间在 16 ~ 250  $\mu\text{m}$ ; 磁铁矿、磁赤铁矿颗粒最小粒径为 2  $\mu\text{m}$ ,最大粒径为 212  $\mu\text{m}$ ,主要粒径区间在 13.5 ~ 212  $\mu\text{m}$ ; 金红石颗粒最小粒径为 1.75  $\mu\text{m}$ ,最大粒径为 250  $\mu\text{m}$ ,主要粒径区间在 2 ~ 150  $\mu\text{m}$ 。钛铁矿完全解离的颗粒占全部钛铁矿颗粒总质量的 17% ,磁铁矿、磁赤铁矿完全解离的颗粒占全部磁铁矿、磁赤铁矿颗粒总质量的为 7% ,金红石完全解离的颗粒占全部金红石颗粒总质量的 3% 。虽然钛铁矿、磁铁矿、磁赤铁矿、金红石单体解离颗粒很少,但其主要是与多水高岭石、绢云母等黏土矿物连生,黏土矿物附着力弱,可通过强力搅拌、搓洗,脱去黏土矿物,使其解离。建议选矿工艺可先强力搅拌、脱泥,使钛铁矿、磁铁矿、磁赤铁矿、金红石充分解离。

## 参考文献

- [1] Zhao Hongkai ,Wang Chunliang ,Ren Fei *et al.* Progress in research on titanium alloy welding [J]. Journal of Materials 2007 , 5( 21) : 342. )  
( 赵红凯,王春亮,任飞,等. 钛合金焊接的研究进展 [J]. 材料导报 2007 5( 21) : 342. )
- [2] Yang Jia ,Li Kui ,Tang Aitao , *et al.* Comprehensive utilization of ilmenite resources: Present status and future prospects [J]. Journal of Materials 2003 8( 17) : 44.  
( 杨佳,李奎,汤爱涛,等. 钛铁矿资源综合利用与发展 [J]. 材料导报 2003 8( 17) : 44. )
- [3] Yu Yongfu. Progresses of home and abroad dressing technologies [J]. Mineral Engineering 2004( 5) : 25 - 29.  
( 余永富. 国内外铁矿选矿技术进展 [J]. 矿业工程 2004( 5) : 25 - 29. )
- [4] Lei Ting ,Zhu Congjie ,Zhang Qiang *et al.* Study on the resent situation of titanium resource in Yunnan and its exploitation countermove [J]. China Mining Magazine ,2005 ,10: 7.  
( 雷霆,朱从杰,张强,等. 云南钛资源性状及开发利用对策 [J]. 中国矿业 2005 ,10: 7. )
- [5] Wang Zhi ,Yuan Zhangfu . Progress and status reporting on the comprehensive utilization technology of titanium resources in China [J]. Chemical Industry and Engineering Progress ,2004 4: 49.  
( 王志,袁章福. 中国钛资源综合利用技术性状与新进展 [J]. 化工进展 2004 4: 49. )
- [6] Wu Xian ,Zhang Jian. Ceographical distribution and characteristics of resources in China [J]. Titanium Industry Progress ,2006 , 6( 23) : 8 - 12.  
( 吴贤,张健. 中国的钛资源分布及特点 [J]. 钛工业进展 2006 6( 23) : 8 - 12. )
- [7] Sun Yubo Gravity separation [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press ,1991.  
( 孙玉波. 重力选矿 [M]. 北京: 冶金工业出版社,1991. )
- [8] Wang Changren. Magnetic separation [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press 2006.  
( 王常任. 磁电选矿 [M]. 北京: 冶金工业出版社 2006. )
- [9] Dai Xingyu. Progress of dressing technology on raw ilmenite ore [J]. China Mining Magazine ,2001.  
( 戴新宇. 原生钛铁矿选矿技术的进展 [J]. 中国矿业 2001. )

## 8 结论

1) 矿石中的钛主要有两种赋存形式: 一是以独立矿物的形式赋存在钛铁矿和金红石中; 二是以类质同象或机械混入的形式赋存在磁铁矿、磁赤铁矿和褐铁矿中。矿石中的铁主要以独立矿物的形式赋存在钛铁矿、磁铁矿、磁赤铁矿、褐铁矿中。

2) 原矿 -0.037 mm 质量分布率为 70% 左右,此部分  $\text{TiO}_2$  金属分布率只占 14% 左右,建议在生产中可以预先将原矿中 -0.037 mm 这部分脱除,这样既可减少矿泥在选别时的干扰,又可对原矿进行预富集。

3) 由 MLA 分析结果可知,钛铁矿、磁铁矿、磁赤铁矿、金红石单体解离颗粒很少,其主要是与多水高岭石、绢云母等黏土矿物连生; 黏土矿物附着力弱,可通过强力搅拌、搓洗,脱去黏土矿物,使其解离。建议选矿工艺可先强力搅拌、脱泥,使钛铁矿、磁铁矿、磁赤铁矿、金红石充分解离。