

# 云南大屯锡粗精矿工艺矿物学研究

周耀文<sup>1</sup>, 文书明<sup>1,2</sup>, 王伊杰<sup>2</sup>, 张 谦<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 省部共建复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室, 云南 昆明 650093;

2. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 以云南大屯选矿厂锡粗精矿为研究对象, 采用化学分析、X射线衍射分析及光学显微镜分析等手段对该粗精矿的化学组成、矿物组成、矿物嵌布粒度特征等进行了详细的研究。结果表明, 锡粗精矿中有价元素锡的品位为13.80%, 锡矿物主要以锡石形式产出。锡粗精矿中 TFe 含量为 30.78%, 主要以褐铁矿、磁黄铁矿的形式存在, 磁黄铁矿是导致粗精矿含硫高的主要原因。锡粗精矿中主要的脉石矿物有白云石、透闪石、电气石、石英、白云母、萤石等, 且脉石矿物与锡石均有不同程度的毗邻连生、包裹共生关系。本次工艺矿物学研究认为, 大屯选矿厂锡粗精矿宜采用浮选预先脱硫, 除去其中的硫化物, 再对浮选尾矿采用重选工艺提高锡品位和回收率。该研究结果可以为大屯选矿厂工艺流程改造和合理开发利用锡资源提供科学依据。

**关键词:** 锡粗精矿; 工艺矿物学; 重选; 脱硫

中图分类号: P618.44; P579

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)06-0779-06

## Process mineralogical research on the rough tin concentrate in Datun, Yunnan Province

ZHOU Yao-wen<sup>1</sup>, WEN Shu-ming<sup>1,2</sup>, WANG Yi-jie<sup>2</sup> and ZHANG Qian<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** With rough tin concentrate of Datun dressing plant as the study object, the authors used chemical analysis, X-ray diffraction analysis and optical microscopy analysis to investigate chemical composition, mineral composition and mineral assemblage of rough tin concentrate. The results indicate that the grade of tin in rough concentrate is 13.80%, and tin mainly exists in the form of cassiterite. The TFe possesses 30.78% in rough tin concentrate, and mainly exists in the forms of limonite and pyrrhotite, whereas the pyrrhotite is the main factor for the high sulfur content of the rough tin concentrate. The main gangue minerals are dolomite, tremolite, tourmaline, quartz, muscovite, fluorite etc., and gangue minerals and cassiterite have complex association relationship and encapsulation relationship. According to the results of process mineralogy, the rough tin concentrate of Datun dressing plant is suitable for pre-desulfurization by flotation, which is designed to desorb the sulfide, and the gravity separation process of flotation tailings should be adopted to improve tin grade and recovery. The results of the study provide scientific basis for process modification and rational exploitation of tin resources in Datun dressing plant.

**Key words:** rough tin concentrate; process mineralogy; gravity separation; desulfurization

收稿日期: 2017-06-07; 接受日期: 2017-08-25

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAB02B04)

作者简介: 周耀文(1992-), 男, 汉族, 硕士研究生, 主要研究方向为资源综合利用与环保, E-mail: 937007334@qq.com。

**Fund support:** National Key Technology Research and Development Program of Ministry of Science and Technology of China(2015BAB02B04)

我国锡资源储量位居世界首位,2015 年美国地质调查局发布的数据显示,全球锡储量共约 480 万吨,中国拥有 150 万吨,已查明资源储量约占全球查明资源储量的 32% 左右(王晓等, 2011)。锡矿是我国的优势矿产资源之一,但是其存在着资源分布不均匀、大中型矿床品位低、多金属共伴生矿较多的特点(张福良等, 2014; 张建斌等, 2015),使得近年来我国部分锡选矿厂产出的锡精矿成分复杂,品位下降。前人研究(宋兴诚, 2005; 阮文萍, 2013; Yang Jianguang *et al.*, 2014; 李慧等, 2016)发现,锡精矿还原熔炼时,随着还原温度和保温时间的不同,杂质元素在金属 Sn 相和渣相中的分布率有显著差别,杂质元素含量较多的锡精矿在熔炼过程中需要更高的还原温度或更长的保温时间才能达到理想的金属相与渣相分离,导致冶炼过程中锡金属综合回收率降低,冶炼成本升高。在此背景下,为了高效清洁利用锡资源,提高企业经济效益,针对某些可选性差、杂质含量高、锡品位低的锡粗精矿进行工艺矿物学研究,在此基础上采用有效的选矿工艺得到合格的锡精矿是十分必要的(赵姝等, 2011)。

云南个旧大屯选矿厂氧化矿车间于 1954 年建成投产,投入运营后为满足不同时期的生产需求曾进行了多次流程改造。近年来国内矿业经济增速放缓、进入新的发展周期,且矿山产出的矿石性质变化较大,目前大屯选矿厂氧化矿精选车间选别工艺流程存在锡金属回收率偏低、中间选别产物未能够高效利用、磨矿作业能耗较高等问题,该选矿厂原有的选别工艺流程已不能满足当下的生产需求及经济技术指标。因此,对大屯选矿厂氧化矿精选车间的锡粗精矿进行工艺矿物学研究具有重要意义。本文工艺矿物学研究旨在查明矿石的结构和构造、元素赋存状态、矿物成分和含量以及矿物间的嵌布粒度关系等,在此基础上考察矿石性质与影响选矿指标因素间的关系,从而为制定合理的选矿方案提供理论依据。

## 1 实验材料与方法

本文以云南个旧大屯选矿厂 300 t/d 氧化矿精选车间的锡粗精矿为研究对象,通过实地定点取样、

混匀、缩分、烘干制备出实验分析矿样。矿样呈深咖色不均匀细粒状,肉眼可见具金属光泽的微细颗粒散布其中。

化学多元素分析委托云南昆明冶金研究院分析测试部进行。锡物相分析委托国土资源部昆明矿产资源监督检测中心进行。

X 射线衍射分析(XRD)采用日本 Rigaku 公司的 D/Max 2200 型 X 射线衍射分析仪对矿样进行测定。以 Cu 靶  $K\alpha$  射线作为激发源,石墨单色器作滤波片,施以 40 mA 的加速电流,40 kV 的加速电压,以  $3^\circ/\text{min}$  的扫描速度进行扫描,扫描角度范围为  $10^\circ\sim 90^\circ$ ,从而得到矿样的 XRD 图谱,运用 Jade6 软件进行物相分析,确定矿样中主要的矿物种类。

光片、薄片的镜下鉴定与图像采集设备为德国 Leica DM4500P 型偏光显微镜。光片、薄片制备均采用环氧树脂 E-44 为粘接剂,三乙醇胺为固化剂(所用试剂皆为分析纯),环氧树脂 E-44 与三乙醇胺按体积比为 8:1 配制。充分晾干后的薄片用 W28 号金刚砂进行粗磨,用 W5 号金刚砂细磨至  $0.02\sim 0.03$  mm 后抛光备用。

## 2 矿样的化学组成与粒度分析

### 2.1 化学多元素分析

为了确定锡粗精矿中各元素的含量,对矿样进行了化学多元素分析,分析结果( $w_B/\%$ )为 Fe 30.78%, Sn 13.80%, CaO 11.35%,  $\text{SiO}_2$  9.30%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  8.78%, S 3.19%, MgO 2.01%,  $\text{CaF}_2$  0.68%, As 0.38%, Cu 0.19%, Mn 0.098%,  $\text{WO}_3$  0.69%, K 0.21%。分析结果表明,锡粗精矿中主要的有用元素是 Sn,含量为 13.80%,杂质成分主要是 Fe、CaO、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、S 和 MgO 等,所占的质量分数较高。

### 2.2 锡物相分析

为进一步确定原矿中有益组分锡的赋存状态,对锡的物相进行了分析,结果见表 1。通过锡物相分析结果可以看出,锡粗精矿中锡的主要存在形式是锡石,锡石中的锡占总锡比例为 96.28%,少部分锡以胶态锡和黝锡矿形式存在,二者所占比例分别为 3.19% 和 0.53%。

表 1 锡物相分析结果  $w_B/\%$

Table 1 Analytical results of tin phase				
相态	胶态锡	锡石锡	黝锡矿	合计
含量	0.46	13.82	0.08	14.35
分布率/%	3.19	96.28	0.53	100.00

### 2.3 矿样粒度分析

矿样的粒度组成以及各粒级中锡、铁组分的分析结果见表 2。

表 2 矿样粒度组成分析

Table 2 Particle size composition and analyses of the sample

粒级/ $\mu\text{m}$	产率/%	品位/%		金属率/%	
		Sn	Fe	Sn	Fe
+149	13.28	4.24	45.27	4.01	19.08
-149+74	29.03	10.89	38.14	22.50	35.14
-74+44	40.06	16.57	26.82	47.24	34.10
-44+37	1.41	17.26	24.23	1.73	1.08
-37+20	11.97	18.53	20.84	15.78	7.92
-20	4.24	28.97	19.90	8.74	2.68
合计	100.00	14.05	31.51	100.00	100.00

由表 2 可以看出,随着粒级减小,各粒级中锡的品位呈逐渐增加趋势,铁的品位呈逐渐降低趋势。锡粗精矿中锡组分主要分布在 +149、-149+74 和 -74+44  $\mu\text{m}$  这 3 个粒级中,锡在这 3 个粒级中的总金属率为 73.75%,其中 -74+44  $\mu\text{m}$  粒级锡的产率为 40.06%,锡品位为 16.57%,锡金属率占比达最高 47.24%。在 +44  $\mu\text{m}$  的 3 个粒级中,铁的金属率同样较高,达 88.32%。此外还可看出, -37+20  $\mu\text{m}$  粒级锡的产率为 11.97%,金属率为 15.78%,20  $\mu\text{m}$  粒级以下锡的产率为 4.24%,但品位高达 28.97%,这两个粒级的锡若采用摇床重选,则很难达到理想的回收指标。

### 3 锡粗精矿矿物组成与粒度分布特性

矿样 X 射线衍射分析结果见图 1。由图可知锡粗精矿中主要的矿物有锡石、石英、萤石、方解石、磁铁矿、赤铁矿、白云石等。

为进一步查明锡粗精矿中矿物的组成、种类以及主要矿物的粒度分布特性,通过制备光片、薄片进行镜下观察测量和统计分析,查明了锡粗精矿中有金属-半透明矿物、透明矿物两大类,包含锡石、褐铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、白云石、透闪石、电气石等 14

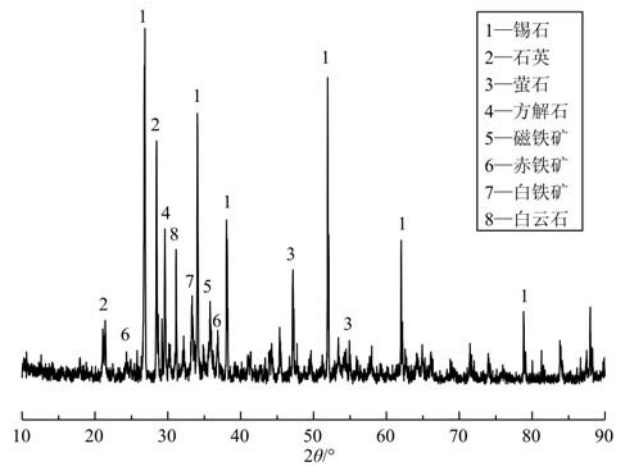


图 1 矿样 X 射线衍射分析结果  
Fig. 1 XRD analyses of the sample

种矿物。原矿中可回收利用的金属矿物主要为锡石,以目前的经济技术条件,回收利用其中的磁铁矿难度较大。杂质矿物主要为褐铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂及少量黄铜矿,鉴于其中磁黄铁矿等硫化矿物所占比例较大,可考虑浮选回收。脉石矿物主要为白云石、透闪石、电气石和石英以及少量的长石、绿泥石、白云母、萤石等。锡粗精矿中各矿物组成、粒度分布特性见表 3。

表 3 矿物组成及粒度分布特性  
Table 3 Composition and particle size distribution characteristics of the sample

物质类型	矿物名称	分子式	粒度/mm	含量/%
金属及半透明矿物	锡石	$\text{SnO}_2$	0.05~0.15	25
	褐铁矿	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n \text{H}_2\text{O}$	0.02~0.05	25
	磁黄铁矿	$\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$	0.02~0.30	20
	磁铁矿	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	0.01~0.03	5
	黄铁矿	$\text{FeS}_2$	0.02~0.10	2
	黄铜矿	$\text{CuFeS}_2$	0.001~0.10	微量
	毒砂	$\text{FeAsS}$	0.005~0.30	1
	透明矿物	白云石	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	0.02~0.15
透闪石		$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	0.02~0.15	7
电气石		$\text{NaR}_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH},\text{F})_4$	0.01~0.15	2
石英		$\text{SiO}_2$	0.02~0.15	1
白云母		$\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$	0.01~0.20	1
萤石		$\text{CaF}_2$	0.01~0.20	<1
钾长石		$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	0.02~0.15	微量
合计				100

### 4 主要矿物的嵌布特征

#### 4.1 锡石

锡石化学式为  $\text{SnO}_2$ ,属四方晶系类氧化矿物,理论含锡 78.6%,是冶炼金属锡的最主要矿物。锡

粗精矿中锡石含量为25%，主要以半自形-它形晶不规则粒状产出，且大部分锡石已单体解离，解离度为80%，已单体解离的锡石颗粒直径主要分布在0.05~0.15 mm之间，这一粒级的锡石采用摇床重选就能很好回收。少数已解离单体粒度小于0.02 mm，这一粒级的微细粒锡石的高效回收一直是选矿界尚待解决的难题之一(刘杰等, 2014)。未解离的锡石，矿物粒度介于0.02~0.07 mm之间，这部分微细粒锡石多与磁黄铁矿、褐铁矿、磁铁矿致密共生，形成极细小的包裹体，且在磁黄铁矿、褐铁矿中的锡石很难在磨矿过程中解离，难以回收。此外还有少部分锡石与萤石、绿泥石毗邻连生(图2a)，或锡石与微细粒嵌布的透闪石紧密或包裹连生，形成复杂的细粒浸染集合体(图2b)。常规球磨工艺处理此类型矿石往往因过磨而导致重选回收率大幅下降，因此在锡石碎磨过程中，要严格控制磨矿细度、尽量避免过磨导致后续选别作业的锡金属流失。优先考虑使用过粉碎较轻、产物较均匀的棒磨机处理微细粒嵌布锡石，现已成为国内大多数锡选厂的共识。

#### 4.2 褐铁矿

褐铁矿主要化学成分为 $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，是一种无定形的铁的氧化物和氢氧化物，以针铁矿 $[\alpha\text{-FeO}(\text{OH})]$ 、水针铁矿 $(\alpha\text{-HFeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$ 为主要组成(谢兴中等, 2010)，其含铁量普遍较低。褐铁矿在锡粗精矿中含量约25%，多数以不规则它形粒状产出，少数呈胶状结构嵌布于白云石、透闪石和石英之间。矿石中褐铁矿单体解离度约为95%，已解离褐铁矿颗粒粒度介于0.02~0.05 mm之间，非均匀分布于矿石中(图2c)。这部分褐铁矿硬度较低，磨矿过程中极易形成次生矿泥，导致锡精矿品位降低，通常难以回收利用。未解离褐铁矿较少，主要与黄铁矿紧密连生或包裹于微细粒白云石、透闪石之中，少数褐铁矿微细粒颗粒充填于石英颗粒间隙中，形成填隙结构。

#### 4.3 磁黄铁矿

磁黄铁矿化学式为 $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ，其中 $x=0.1\sim 0.2$ ，是常见的含硫铁矿物， $x$ 值不同，其晶体结构可出现六方、斜方及单斜晶系等不同变化。磁黄铁矿含硫可达40%，可用于制取硫酸。锡粗精矿中约含有20%的磁黄铁矿，这部分磁黄铁矿是导致锡粗精矿硫含量偏高的主要原因。通过镜下观察，磁黄铁矿矿物颗粒呈半自形-它形结构产出居多，单体解离度约为90%~95%，已解离颗粒直径介于0.02~0.30

mm之间，未解离者粒度约为0.02~0.10 mm，并与锡石、毒砂、磁铁矿紧密或包裹连生(图2d)。磁黄铁矿性脆，具有强磁性，且磨矿过程中易氧化、泥化，因此要降低原矿中的硫含量，首先应该考虑脱除其中的已单体解离的磁黄铁矿等硫化矿物，这是提高锡精矿产品质量的关键。极少部分与磁铁矿致密共生的磁黄铁矿，因嵌布粒度较细、回收难度较大，可考虑采用弱磁选同磁铁矿一起脱除。

#### 4.4 其他金属矿物

除上述3种主要金属矿物以外，锡粗精矿中还含有少量磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿和毒砂等金属矿物。其中黄铁矿多呈半自形晶微粒状结构产出，原矿中约含有2%的黄铁矿，单体解离度约为60%，粒度在0.02~0.10 mm之间，未解离的黄铁矿多与褐铁矿、石英紧密或包裹连生。磁铁矿在原矿中约占5%，呈包含-填隙结构的集合体，粒度小于0.03 mm，且磁铁矿与黄铜矿嵌布紧密(图2e)，因此单独回收原矿中的磁铁矿难度较大，若采用弱磁选工艺回收这部分磁铁矿，应避免机械夹杂带来的问题。黄铜矿在矿石中含量较少，与磁铁矿共生，属极微细粒嵌布，镜下偶见几颗呈它形粒状、星点状的矿物颗粒不均匀散布于矿石中，矿物粒径介于0.001~0.10 mm之间。毒砂，化学式为 $\text{FeAsS}$ ，在原矿中含量约为1%，矿石中约50%的毒砂已单体解离，呈半自形柱状形态产出，粒度在0.005~0.03 mm之间，少量未解离的毒砂与磁黄铁矿、透闪石等透明矿物形成不规则的粒状构造。

#### 4.5 透明矿物

矿石中透明矿物主要有白云石、透闪石、电气石、石英、萤石、白云母等。原矿中白云石、透闪石的含量分别为10%和7%，这两种矿物是透明矿物的主要组成部分，含有较多的钙、镁、硅元素。白云石、透闪石矿物颗粒粒度介于0.02~0.15 mm之间，二者中大部分矿物颗粒已单体解离，未解离透明矿物与锡石、磁黄铁矿等金属矿物以不规则状连生体或包裹体形式存在(图2f)。电气石、萤石大部分已单体解离，呈半自形晶粒状产出，粒度在0.01~0.20 mm之间(图2g)，二者在矿石中含量分别为3%、1%。石英是矿石中主要的成岩矿物，占矿物总量的1%，受变质作用和地质动力作用的影响，石英主要以角砾状结构产出，矿物粒度在0.02~0.15 mm之间，部分已单体解离，部分未解离的石英与金属矿物锡石毗邻连生(图2h)。矿石中白云母含量为1%，

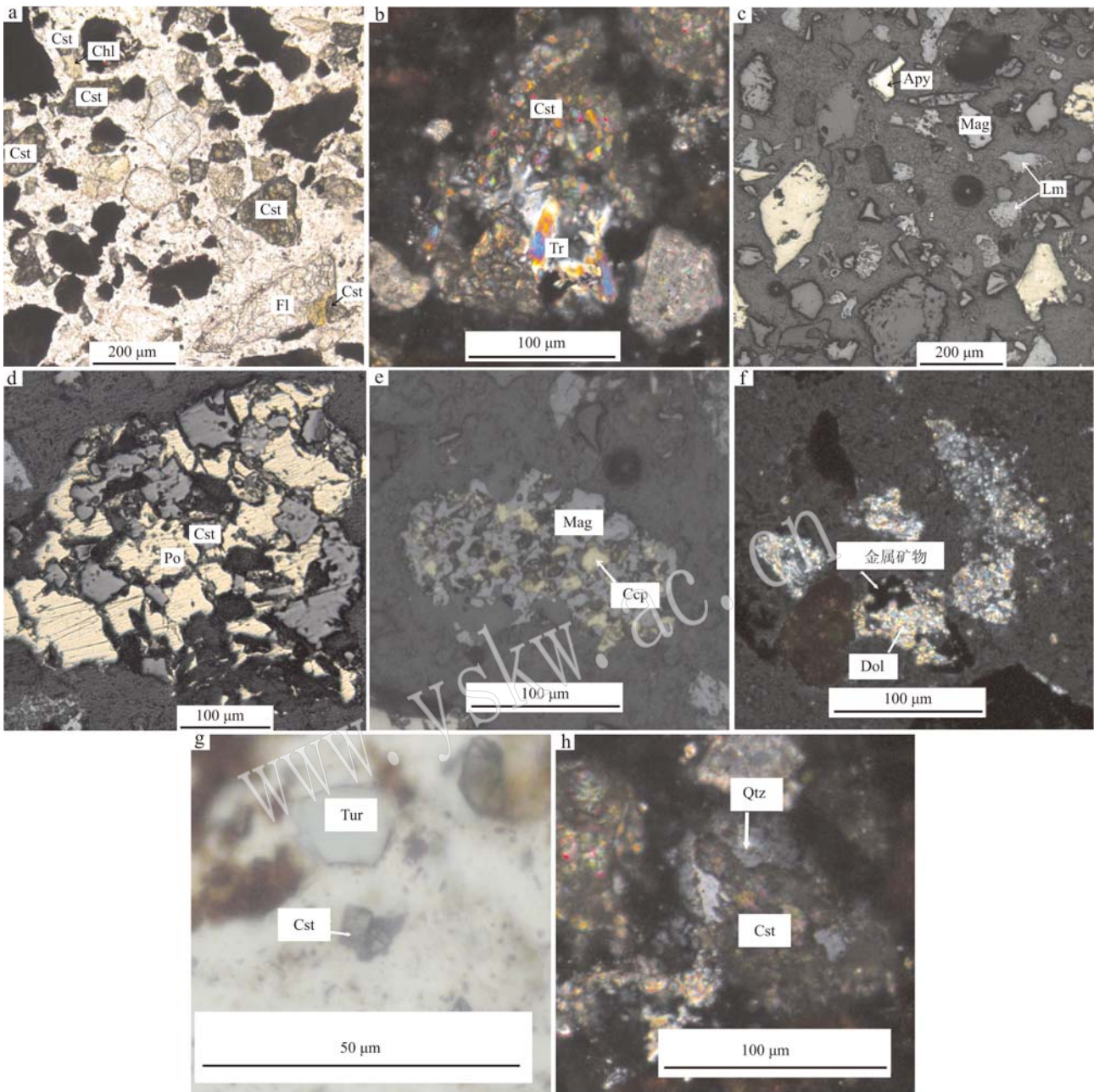


图 2 锡粗精矿样品中主要矿物的显微照片

Fig. 2 Microphotographs of main minerals in samples

a—锡石与萤石、绿泥石连生关系(透射单偏光); b—锡石中的微细粒透闪石(透射正交偏光); c—褐铁矿的产出与分布(反射单偏光); d—锡石包裹于磁黄铁矿中(反射单偏光); e—黄铜矿包裹于磁铁矿中(反射单偏光); f—白云石的产出与分布(透射斜交偏光); g—锡石与电气石单体矿物(反射单偏光); h—石英与锡石毗邻连生(透射正交偏光); Apy—毒砂; Ccp—黄铜矿; Chl—绿泥石; Cst—锡石; Dol—白云石; Fl—萤石; Lm—褐铁矿; Mag—磁铁矿; Po—磁黄铁矿; Py—黄铁矿; Tr—透闪石; Tur—电气石; Qtz—石英

a—synergetic relationship over cassiterite, fluorite and chlorite (transmitted plainlight); b—micro-grained tremolite in the cassiterite body (transmitted crossed nicols); c—modes of occurrence and distribution of limonite (reflected plainlight); d—cassiterite wrapped in pyrrhotite (reflected plainlight); e—chalcopyrite wrapped in magnetite (reflected plainlight); f—modes of occurrence and distribution of dolomite (transmitted oblique polarization light); g—monomeric minerals of cassiterite and tourmaline (reflected plainlight); h—quartz adjacent to cassiterite (transmitted crossed nicols); Apy—arsenopyrite; Ccp—chalcopyrite; Chl—chlorite; Cst—cassiterite; Dol—dolomite; Fl—fluorite; Lm—limonite; Mag—magnetite; Po—pyrrhotite; Py—pyrite; Tr—tremolite; Tur—tourmaline; Qtz—quartz

主要与锡石、磁黄铁矿、黄铁矿等形成连生的片状集合体。

## 5 结论

(1) 云南大屯锡粗精矿中 Sn 的品位 13.80%，锡主要以锡石的形式存在，锡石中的锡占总锡的 96.28%。其中 80% 的锡石已单体解离，矿物粒度介于 0.05~0.15 mm 之间，可采用摇床富集。部分未解离锡石与磁黄铁矿、褐铁矿及透明矿物共生关系复杂，建议在保证锡石单体解离且不过磨的前提下，采取阶段磨矿阶段选别流程，以提高锡的综合回收率。

(2) 该锡粗精矿中 TFe 的品位 30.78%，铁主要以褐铁矿、磁黄铁矿为主，磁铁矿、黄铁矿含量较少。其中褐铁矿单体解离度达 95%，粒度介于 0.02~0.05 mm 之间，这部分褐铁矿易形成次生矿泥。矿石含硫高的原因是磁黄铁矿含量较多。需要通过浮选脱硫，降低精矿中硫的含量，提高锡精矿品位。

## References

Li Hui, Long Ping, Ren Xinlin, *et al.*. 2016. Distributions of elements in metal and slag phases during the reduction smelting process of complex tin concentrate[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 16(1): 132~137(in Chinese with English abstract).

Liu Jie, Han Yuexin, Zhu Yimin, *et al.*. 2014. Research status and prospective on separation technology of fine cassiterite[J]. Metal Mine, (10): 76~81(in Chinese with English abstract).

Ruan Wenping. 2013. Research on a new process technique and production practice on improving the quality of tin concentrate[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), (2): 44~46(in Chinese with English abstract).

Song Xingcheng. 2005. Analysis and comparison of direct recovery rate in crude tin reduction smelting between reverberatory furnace and Ausmelt furnace[J]. China Nonferrous Metallurgy, 34(6): 32~36 (in Chinese with English abstract).

Wang Xiao, Tong Xiong and Zhou Yongcheng. 2011. Process mineralogy and ore-dressing process of cassiterite[J]. Mining & Metallurgy, 20(4): 15~19(in Chinese with English abstract).

Xie Xingzhong and Wang Yuhua. 2010. Current situation and thinking of mineral processing technique on limonite ore[J]. Metal Mine, (1): 6~10(in Chinese with English abstract).

Yang Jianguang, Wu Yongtan and Zhang Xuliang. 2014. Study on separation of tin from a low-grade tin concentrate through leaching and low-temperature smelting processes[J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 123(4): 228~233.

Zhang Fuliang, Yin Tengfei and Zhou Nan. 2014. The current situation and thinking of the tin ore resources development and utilization all over the world[J]. Modern Mining, 30(2): 1(in Chinese with English abstract).

Zhang Jianbin, Ding Jianhua and Nan Geli. 2015. The characteristics and potential of tin resources in China[J]. Geology in China, 42(4): 839~852(in Chinese with English abstract).

Zhao Shu and Liu Siqing. 2011. Beneficiation research on rough tin concentrate and discussion on industrial production[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, (5): 48~52(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

李慧, 龙萍, 任新林, 等. 2016. 复杂锡精矿还原熔炼过程中元素在金属和渣相中的分布[J]. 过程工程学报, 16(1): 132~137.

刘杰, 韩跃新, 朱一民, 等. 2014. 细粒锡石选矿技术研究进展及展望[J]. 金属矿山, (10): 76~81.

阮文萍. 2013. 提高锡精矿质量的新工艺及生产应用研究[J]. 有色金属: 选矿部分, (2): 44~46.

宋兴诚. 2005. 反射炉和澳斯麦特炉粗锡还原熔炼直接回收率的分析与比较[J]. 中国有色冶金, 34(6): 32~36.

王晓, 童雄, 周永诚. 2011. 锡石工艺矿物学与选矿工艺[J]. 矿冶, 20(4): 15~19.

谢兴中, 王毓华. 2010. 褐铁矿选矿研究现状与思考[J]. 金属矿山, (1): 6~10.

张福良, 殷腾飞, 周楠. 2014. 全球锡矿资源开发利用现状及思考[J]. 现代矿业, 30(2): 1.

张建斌, 丁建华, 南格利. 2015. 中国锡矿资源特征及主要远景区潜力分析[J]. 中国地质, 42(4): 839~852.

赵姝, 刘四清. 2011. 粗锡精矿精选工艺研究及工业生产有关问题探讨[J]. 矿产综合利用, (5): 48~52.