

# 白钨盐酸分解渣工艺矿物学研究

梁勇<sup>1,2</sup>, 刘寅亮<sup>2</sup>, 蒲婷<sup>2</sup>, 陈赞鸿<sup>2</sup>

(1. 战略有色金属绿色低碳冶金江西省重点实验室, 江西 赣州 341000;

2. 江西理工大学 冶金工程学院, 江西 赣州 341000)

**摘要:**以白钨盐酸分解渣作为研究对象,采用综合矿物分析系统(TIMA)、X射线荧光光谱仪(XRF)、X射线衍射(XRD)、扫描电镜(SEM)等方式分析了其化学成分、物相组成及主要矿物的赋存状态。结果表明:白钨盐酸分解渣中矿物颗粒呈自形-半自形-它形块状结构,其主要物相为钨酸、萤石、石英、锡石、黄铁矿、辉钼矿、毒砂、蓝铁矿,质量分数分别为 66.93%、28.22%、1.12%、1.26%、0.3%、0.07%、0.2%、0.04%;钨酸嵌布粒度为 110  $\mu\text{m}$  以上,而萤石、石英、锡石、黄铁矿、辉钼矿、毒砂矿石嵌布粒度主要集中在 5~20  $\mu\text{m}$  之间,颗粒较细且与钨酸紧密镶嵌或被钨酸包裹。

**关键词:**白钨盐酸分解渣;TIMA;矿物特性;物相组成

**中图分类号:**TF841.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-2617(2025)03-0294-07

**DOI:**10.13355/j.cnki.sfyj.2025.03.002

钨是全球重要的战略金属,素有“工业牙齿”之称,更是“高端制造业的脊梁”。因其具有熔点高、密度大、硬度和耐磨性强等特性,广泛应用于国民经济和国防军工等领域<sup>[1-2]</sup>。我国是钨资源大国,约占全球钨资源储量的 70%<sup>[3-6]</sup>。近年来,随着黑钨矿资源的日益枯竭,白钨矿( $\text{CaWO}_4$ )已成为我国钨冶炼的主要工业原料。

目前针对白钨矿的主要处理方式传统的碱压煮—离子交换工艺<sup>[7-10]</sup>。该工艺因具有对钨矿原料适应性强、处理量大、金属收率高等优点,被国内众多钨冶炼企业所采用,但存在危废量大、废水量大及治理成本高等问题。为解决上述问题,相继研发出了多种钨冶炼新工艺<sup>[11-13]</sup>,工艺虽有不断创新,但钨冶炼中间体主要仍以钨酸铵溶液蒸发结晶获取的仲钨酸铵(APT)产品为主,在此过程中不可避免产生氨尾气,易对环境造成污染,无法实现真正的绿色冶炼。有研究人员提出以钨酸代替 APT 的新思路<sup>[14]</sup>,即根据  $\text{WO}_4^{2-}$  能与双氧水配合配位的特性,开发出“硫酸分解—双氧水萃取—热分解”工艺。该工艺全流程无氨/铵摄

入,能较好解决传统钨冶炼产生的“三废”问题,同时大幅缩减冶炼流程;但因双氧水在高温下性质不稳定易分解,使得到的分解液无法循环使用,后续仍需大量补充,会导致生产成本增加。

通过前期调研和试验发现,草酸具有与双氧水相似的配合配位特性<sup>[15-16]</sup>,能与  $\text{WO}_4^{2-}$  结合为易溶于水的  $\text{H}_2[\text{WO}_3(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}]$ ,后续通过加热可从配合液中析出钨酸,且所得分解液能循环用于钨酸的萃取。因此,利用草酸代替双氧水可从源头上解决氨废气和氨氮废水的产生,降低生产成本,实现分解液或母液的闭路循环。另外,盐酸分解白钨矿的热力学趋势比硫酸更强,分解效率更优,且仅有钨酸一种固相产生,可初步实现钨与钙的分离<sup>[17-18]</sup>。

用盐酸浸出白钨矿的产品主要为粗钨酸,与此同时,白钨矿原料中的钼、氟、磷、砷、硅等伴生元素在酸浸过程中也会不同程度地进入溶液,或聚集形成相对独立的相嵌布在钨酸上,影响后续钨酸产品纯度。因此,利用综合矿物分析系统

收稿日期:2024-12-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52364046);江西省主要学科科学技术带头人培养项目-领军人才项目(20243BCE51049);战略有色金属绿色低碳冶金江西省重点实验室项目(2024SSY11031)。

第一作者简介:梁勇(1979—),男,博士,教授,主要研究方向为稀有金属冶金。

(TIMA)对白钨盐酸分解渣进行了系统的矿物研究分析,以期探明白钨盐酸分解渣中各矿相组成和赋存状态,从而为后续含钨配合溶液的净化除杂及钨酸的制备提供理论指导。

### 1 样品及测试方法

白钨盐酸分解渣:取自江西省赣州市某钨冶炼厂。先采用 X 射线荧光光谱仪(XRF,理学电企仪器(北京)有限公司,ZSX Primus II)和转靶 X 射线衍射仪(日本理学,Rigaku D/max2550VB 18kW)表征白钨盐酸分解渣中的化学元素及物相组成,再采用综合矿物分析系统(TIM A)对其样品的嵌布粒度、矿相组成、元素分布进行系统研

究。采用光薄片制片方式,将白钨盐酸分解渣与环氧树脂制备为直径 2.5 cm 的测试靶材,随后圈定待测的矿物颗粒,用 TIMA 进行面扫分析,在检测过程中采用点扫模式,其扫描区域范围为 1 mm×1 mm,像素大小为 2.5 μm,能谱扫描步长为 7.5 μm。

### 2 试验结果与讨论

#### 2.1 化学成分分析

采用 XRF 对白钨盐酸分解渣进行化学元素表征,结果见表 1。可知,白钨盐酸分解渣的主要元素为 W、O、Si、Sn、Ca、F、S、Fe,其中 W、O、Ca、F 含量较高。

表 1 白钨盐酸分解渣的 XRF 分析结果  
Table 1 XRF analysis result of scheelite hydrochloric acid decomposition residue %

O	F	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Ti	Fe
26.82	10	0.139	0.273	0.131	0.138	0.17	18.6	0.022	0.263
Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	I	Ta	W	
0.005	0.014	0.025	0.047	0.025	0.098	0.035	0.037	39.95	

#### 2.2 物相分析

采用 XRD 对白钨盐酸分解渣进行物相分析,结果如图 1 所示。可知,白钨盐酸分解渣的主要物相为钨酸和萤石(CaF<sub>2</sub>)。考虑到其他部分低含量矿物无法采用 XRD 进行表征,因此采用 TIMA 对于白钨盐酸分解渣各矿相进行系统表征和定量分析,以确定样品物相组成、成分含量等重要参数,结果如图 2、表 2 所示。

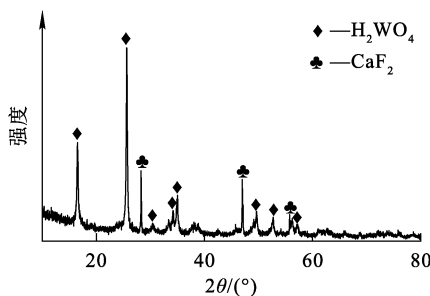


图 1 白钨盐酸分解渣的 XRD 图谱  
Fig. 1 XRD pattern of scheelite hydrochloric acid decomposition residue

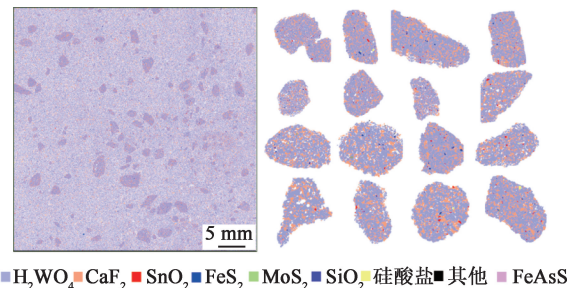


图 2 白钨盐酸分解渣的 TIMA 分析结果  
Fig. 2 TIMA analysis result of scheelite hydrochloric acid decomposition residue

表 2 白钨盐酸分解渣的物相组成及含量  
Table 2 Phase composition and content of scheelite hydrochloric acid decomposition residue

矿物名称	w <sub>B</sub> /%	矿物名称	w <sub>B</sub> /%
钨酸(H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> )	66.93	辉钼矿(MoS <sub>2</sub> )	0.07
萤石(CaF <sub>2</sub> )	28.22	毒砂(FeAsS)	0.20
锡石(SnO <sub>2</sub> )	1.26	蓝铁矿(FePO <sub>4</sub> )	0.04
黄铁矿(FeS <sub>2</sub> )	0.30	硅酸盐	1.70
石英(SiO <sub>2</sub> )	1.12	其他	0.16

由图 2 和表 2 可知:白钨盐酸分解渣中主要物相为钨酸与氟化钙,这与上述 XRD 分析结果一致,占比分别为 66.93%和 28.22%;此外,渣中还存在部分氧化物,如二氧化硅、二氧化锡,占比分别为 1.12%和 1.26%;还有少许硫化物,如二硫化铁、二硫化钼,占比分别为 0.30%和 0.07%;其余物相主要为硅酸盐(以长石、黄玉、锆石、云母等)、毒砂、磷酸铁等,占比分别为 1.70%、0.20%、0.04%。

### 2.3 不同矿物嵌布粒度分析

采用 TIMA 对白钨盐酸分解渣中各类矿物的嵌布粒度进行测定与分析,结果见表 3。可知,除钨酸外的其他矿物,其粒度累计分布在 5~20 μm 之间,其中 5~10 μm 的粒度分布率占 40.75%,10~20 μm 的粒度分布率占 34.51%,说明其矿物粒度较细;而钨酸粒度分布较广,作为样品中主要的矿物相,在+110 μm 粒度范围分布率最多,其占比为 30.08%。

表 3 白钨盐酸分解渣中不同矿物的粒度分布

Table 3 Particle size distribution of different minerals in scheelite hydrochloric acid decomposition residue

粒度/μm	分布率/%						
	萤石	石英	锡石	黄铁矿	辉钼矿	毒砂	钨酸
-5	9.53	4.21	7.6	5.99	1.86	3.46	1.27
-10 ~ +5	38.91	45.52	45.96	43.77	23.1	47.29	10.93
-20 ~ +10	26.92	40.22	33.18	35.35	37.59	33.85	12.66
-30 ~ +20	18.49	8.91	12.35	12.53	37.43	15.38	16.12
-40 ~ +30	3.00	1.11	0.89	2.33	—	—	5.44
-50 ~ +40	1.88	—	—	—	—	—	5.28
-110 ~ +50	1.22	—	—	—	—	—	18.19
+110	—	—	—	—	—	—	30.08

### 2.4 白钨盐酸分解渣的主要物相分布特征及赋存状态

为了更加直观判断粗钨酸中各物相的分布特征及赋存状态,采用 TIMA、扫描电镜对其除钨酸外其余具体物相(萤石、石英、锡石、黄铁矿、辉钼矿、毒砂)进行表征,但蓝铁矿因占比<0.05%,且受视域限制,辨识度较低,因此无法被 TIMA 清晰表征。

#### 2.4.1 氟化钙

钙(Ca)作为白钨矿中的主要有价金属元素,主要以钨酸钙(CaWO<sub>4</sub>)、萤石(CaF<sub>2</sub>)、方解石(CaCO<sub>3</sub>)等矿物相赋存于白钨矿中<sup>[19-20]</sup>。由表 2 已知,白钨盐酸分解渣中主要含钙矿物相为 CaF<sub>2</sub>,采用 SEM、TIMA 对样品中 CaF<sub>2</sub> 的嵌布关系及赋存状态进行系统分析,结果如图 3 所示。可知:样品中 CaF<sub>2</sub> 主要呈条状和不规则块状,聚集分布在钨酸介质之中,并与钨酸颗粒紧密镶嵌,嵌布粒度在 5~30 μm 之间,(如图 3(a)~(d)所示);同时,部分 CaF<sub>2</sub> 与 FeS<sub>2</sub>、SnO<sub>2</sub> 毗邻连生(图 3(b)、(d)),少部分 CaF<sub>2</sub> 以单体形式存在(图 3(e)、(f))。

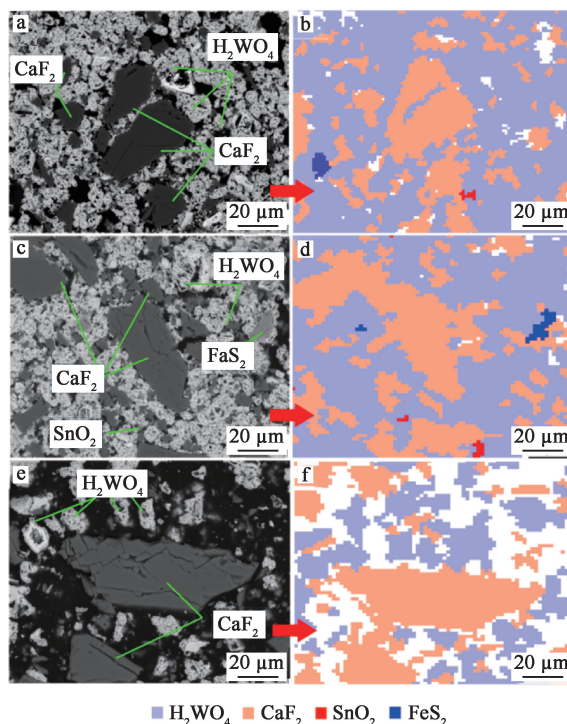


图 3 白钨盐酸分解渣中 CaF<sub>2</sub> 的嵌布关系

Fig. 3 Intercalation relationship of CaF<sub>2</sub> in scheelite hydrochloric acid decomposition residue

### 2.4.2 二氧化硅

采用 SEM、TIMA 对样品中石英( $\text{SiO}_2$ )的嵌布关系及赋存状态进行系统分析,结果如图 4 所示。可知: $\text{SiO}_2$  颗粒多呈长柱形、菱形等不规则块状,其赋存状态具有显著差异性,部分  $\text{SiO}_2$  被  $\text{H}_2\text{WO}_4$  包裹(图 4(a)、(b)), $\text{H}_2\text{WO}_4$  以浸染状嵌于  $\text{SiO}_2$  颗粒边缘分布;部分  $\text{SiO}_2$  以独立单体形式存在(图 4(c)、(d))。剩余部分  $\text{SiO}_2$  则与  $\text{H}_2\text{WO}_4$  (钨酸)和  $\text{CaF}_2$  (氟化钙)紧密镶嵌,其中 TIMA 分析显示钨酸与氟化钙密集环绕于  $\text{SiO}_2$  颗粒周边区域(图 4(e)、(f))。

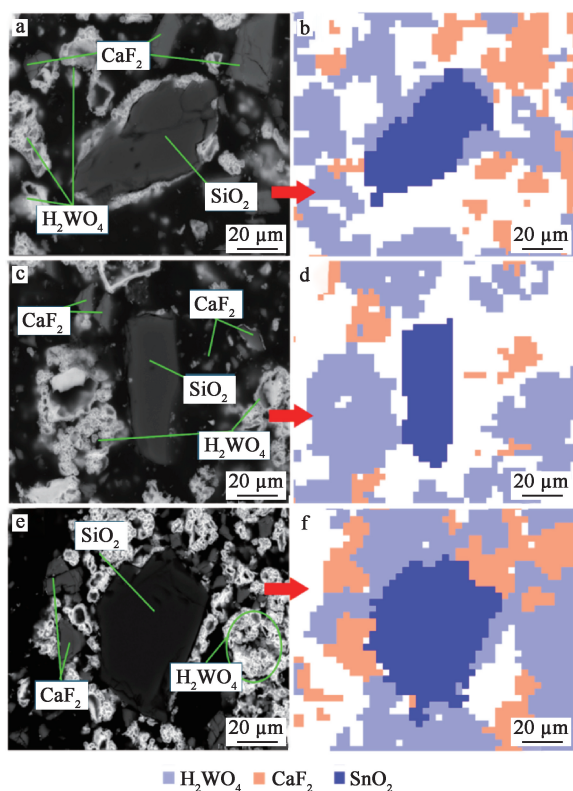


图 4 白钨盐酸分解渣中  $\text{SiO}_2$  的嵌布关系

Fig. 4 Intercalation relationship of  $\text{SiO}_2$  in scheelite hydrochloric acid decomposition residue

### 2.4.3 二氧化锡

白钨矿原料中的锡主要有 2 种形态,即氧化物形态的锡石( $\text{SnO}_2$ )和硫化物形态的黝锡( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ )<sup>[19]</sup>,通过 TIMA 检测结果已知白钨盐酸分解渣中主要含锡矿物相为  $\text{SnO}_2$ ,采用 SEM、TIMA 对样品中  $\text{SnO}_2$  的嵌布关系及赋存状态进行系统分析,结果如图 5 所示。可知:

$\text{SnO}_2$  主要呈斑块状和半自形状,表面较为平整光滑,嵌布粒度在  $5 \sim 20 \mu\text{m}$  之间;部分  $\text{SnO}_2$  与  $\text{H}_2\text{WO}_4$  和  $\text{CaF}_2$  紧密交织(图 5(a)、(b));而部分嵌布粒度较细的  $\text{SnO}_2$  与  $\text{CaF}_2$  镶嵌(图 5(c)、(d))。由于 TIMA 对于细颗粒扫描分辨率不高,无法清晰表征锡石周围所镶嵌的矿物(图 5(e)、(f))。为此,后续采用 EDS 对细颗粒  $\text{SnO}_2$  周围的物相进行表征,结果见表 4。可知:外层物相中 Sn 含量较少,主要元素以 W、O 为主,由此推断包裹相为钨酸。

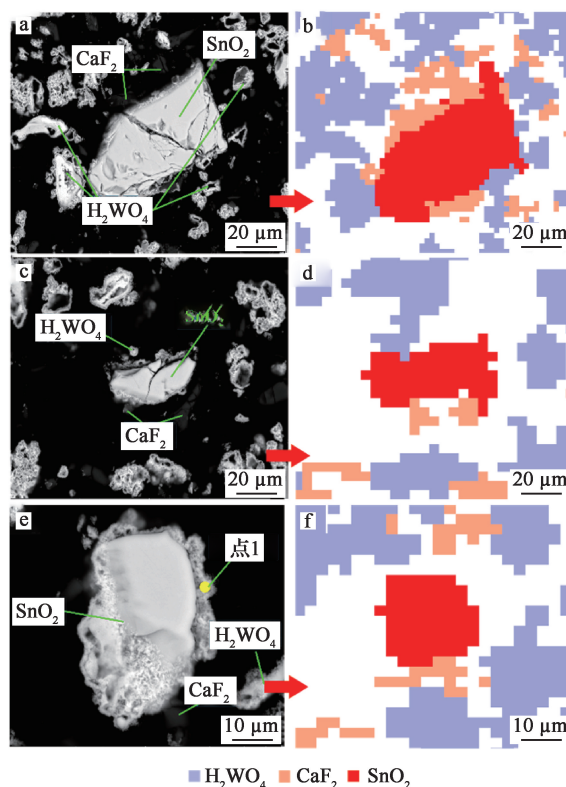


图 5 白钨盐酸分解渣中  $\text{SnO}_2$  的嵌布关系

Fig. 5 Intercalation relationship of  $\text{SnO}_2$  in scheelite hydrochloric acid decomposition residue

表 4 锡石化学成分的能谱分析结果

Table 4 Energy spectrum analysis results of cassiterite chemical components

W	Ca	O	F	Sn
22.56	1.03	69.5	7.49	0.45

### 2.4.4 二硫化铁

采用 SEM、TIMA 对白钨盐酸分解渣中黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )的嵌布关系及赋存状态进行系统分析,结果如图 6 所示。可知: $\text{FeS}_2$  呈自形-半

自形块状,少量  $\text{FeS}_2$  以单体形式存在(图 6(a)、(b)),颗粒表面平整光滑,边界较为平直;而部分  $\text{FeS}_2$  则与  $\text{H}_2\text{WO}_4$  胶结或被  $\text{H}_2\text{WO}_4$  和  $\text{CaF}_2$  包裹(图 6(c)~(f)),且包裹边界不规则。此外,采用 EDS 对于黄铁矿样点 1、2 的外层包裹物相进行分析表征,结果见表 5。可知:其主要元素为 W、O,推断其最外层包裹相主要为钨酸。

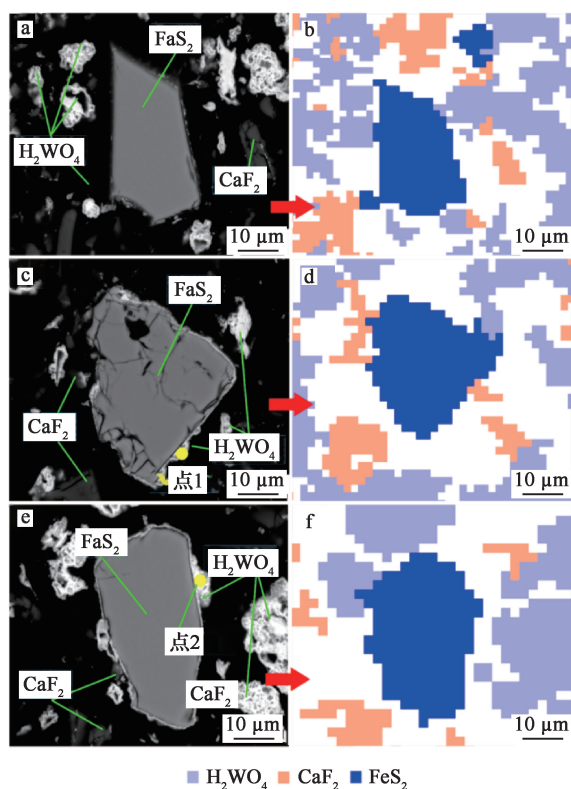


图 6 白钨盐酸分解渣中  $\text{FeS}_2$  的嵌布关系  
Fig. 6 Intercalation relationship of  $\text{FeS}_2$  in scheelite hydrochloric acid decomposition residue

表 5 黄铁矿化学成分能谱分析结果

Table 5 Energy spectrum analysis results of

pyrite chemical components							%
样点	W	Ca	O	F	Fe	S	
1	21.68	2.35	42.39	0.13	8.68	24.73	
2	27.06	3.511	60.58	4.37	2.67	1.78	

### 2.4.5 二硫化钼

白钨矿原料中的钼主要有 2 种形态,即氧化物形态钼酸钙( $\text{CaMoO}_4$ )和硫化物形态的辉钼矿

( $\text{MoS}_2$ )。由表 2 已知,样品中含钼物相主要以  $\text{MoS}_2$  为主<sup>[19-20]</sup>,采用 SEM、TIMA 对样品中  $\text{MoS}_2$  的嵌布关系及赋存状态进行系统分析,结果如图 7 所示。可知: $\text{MoS}_2$  呈它形块状,嵌布粒度主要分布在  $10\sim 30\ \mu\text{m}$  之间,大部分  $\text{MoS}_2$  与  $\text{H}_2\text{WO}_4$ 、 $\text{CaF}_2$  相互侵蚀胶结(图 7(a)~(d)),且胶结边界不清晰呈残余状分布,部分  $\text{MoS}_2$  则被  $\text{H}_2\text{WO}_4$  包裹或被  $\text{H}_2\text{WO}_4$  侵蚀且呈浸染状分布(图 7(e)、(f))。

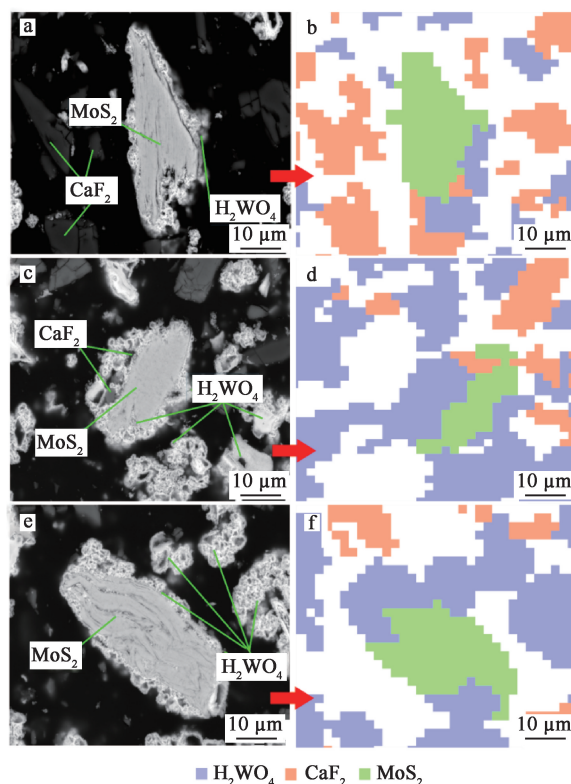


图 7 白钨盐酸分解渣中  $\text{MoS}_2$  的嵌布关系  
Fig. 7 Intercalation relationship of  $\text{MoS}_2$  in scheelite hydrochloric acid decomposition residue

### 2.4.6 毒砂

白钨矿中的砷主要呈毒砂( $\text{FeAsS}$ )产出,其次以少量臭葱石产出,同时也有一部分砷以类质同象代替硫的形式赋存于  $\text{FeS}_2$  等硫化物中<sup>[19]</sup>。由表 2 已知,在本样品中砷主要以  $\text{FeAsS}$  为主,采用 SEM、TIMA 对样品中  $\text{FeAsS}$  的嵌布关系及赋存状态进行系统分析,结果如图 8 所示。可知: $\text{FeAsS}$  呈半自形-它形块状,其嵌布特征、赋存状态与上述矿物观察结果相似,主要与  $\text{H}_2\text{WO}_4$ 、 $\text{CaF}_2$  连生镶嵌或被  $\text{H}_2\text{WO}_4$  包裹(图 8(a)~(f))。

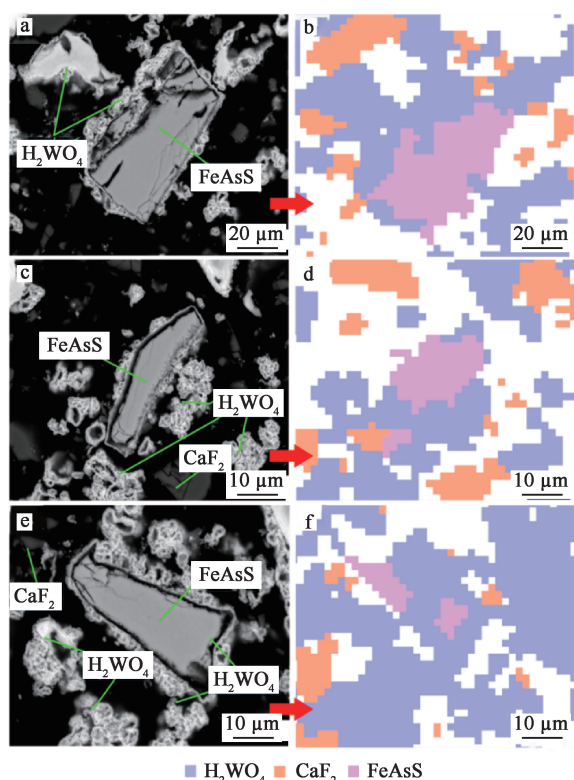


图 8 白钨盐酸分解渣中 FeAsS 的嵌布关系

Fig. 8 Intercalation relationship of FeAsS in scheelite hydrochloric acid decomposition residue

### 3 结论

1) 白钨盐酸分解渣的主要物相为钨酸、萤石、石英、锡石、黄铁矿、辉钼矿、毒砂, 占比分别为 66.93%、28.22%、1.12%、1.26%、0.3%、0.07%、0.2%, 除钨酸外, 其他矿物嵌布粒度主要累计分布在 5~20 μm 之间, 钨酸粒度主要分布在 110 μm 以上。

2) 白钨盐酸分解渣中矿物特征主要呈自形-半自形-它形的块状结构, 萤石与钨酸作为白钨盐酸分解渣的主要物相, 分布较为广泛且紧密镶嵌, 常包裹或与石英、锡石、黄铁矿、辉钼矿、毒砂紧密嵌合, 形成复杂多样的矿物组合形态。

3) 通过 TIMA 对于白钨盐酸分解渣的表征与分析, 能判断白钨盐酸分解渣中各矿物相的赋存状态及分布特征, 为后续草酸溶解钨酸过程中杂质的迁移行为及赋存状态提供理论依据。

#### 参考文献:

[1] 徐国钻, 张代彬, 黄成龙, 等. 用 HCl-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 协同分解白钨

矿试验研究[J]. 湿法冶金, 2025, 44(1): 45-51.

XU Guozuan, ZHANG Daibin, HUANG Chenglong, et al. Synergistic decomposition of scheelite by HCl-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [J]. Hydrometallurgy of China, 2025, 44(1): 45-51.

[2] 唐萍芝, 王寿成, 王京. 全球钨消费历史分析及需求预测 [J]. 中国国土资源经济, 2021, 34(1): 55-59.

TANG Pingzhi, WANG Shoucheng, WANG Jing. Historical analysis and demand forecast of global tungsten consumption [J]. Natural Resource Economics of China, 2021, 34(1): 55-59.

[3] TANG L, WANG P, GRAEDEL T E, et al. Refining the understanding of China's tungsten dominance with dynamic material cycle analysis [J]. Resources Conservation and Recycling, 2020, 158. DOI:10.1016/j.resconrec.104829.

[4] 余泽全. 中国钨行业现状分析及建议 [J]. 国土资源情报, 2020(10): 55-60.

YU Zequan. Current situation analysis and suggestions of tungsten industry in China [J]. Land and Resources Information, 2020(10): 55-60.

[5] 赵中伟, 孙丰龙, 杨金洪, 等. 我国钨资源、技术和产业发展现状与展望 [J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(9): 1902-1916.

ZHAO Zhongwei, SUN Fenglong, YANG Jinhong, et al. Status and prospect for tungsten resources, technologies and industrial development in China [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2019, 29(9): 1902-1916.

[6] 陶乐, 张勤, 陈俊英, 等. 盐酸预处理-软锰矿+硫酸协同浸出钨钼矿工艺研究 [J]. 湿法冶金, 2024, 43(4): 385-390.

TAO Le, ZHANG Qin, CHEN Junying, et al. Hydrochloric acid pretreatment-pyrolusite + sulfuric acid synergistic leaching process of molybdenum tungsten ore [J]. Hydrometallurgy of China, 2024, 43(4): 385-390.

[7] 万林生, 晏慧娟, 肖学有, 等. 我国钨冶炼离子交换工艺的技术发展与工艺评价 [J]. 中国钨业, 2003, 18(6): 30-32.

WANG Linsheng, YAN Huijuan, XIAO Xueyou, et al. Technical development and technological evaluation of ion-exchange process in tungsten metallurgy in China [J]. China Tungsten Industry, 2003, 18(6): 30-32.

[8] WAN L S, YANG S S, ZHAO L F, et al. The Technology progress and development of APT green smelting in China [J]. Advanced Materials Research, 2012, 30(6): 682-686.

[9] 何利华, 刘旭恒, 赵中伟, 等. 钨矿物原料碱分解的理论及工艺 [J]. 中国钨业, 2012, 27(2): 22-27.

HE Lihua, LIU Xuheng, ZHAO Zhongwei, et al. Theory and technologies on the alkali decomposition of tungsten ores [J]. China Tungsten Industry, 2012, 27(2): 22-27.

[10] 陈升, 戴林明, 熊庆, 等. 浅析白钨分解的理论及工艺 [J]. 价值工程, 2019, 38(26): 148-150.

CHEN Sheng, DAI Linming, XIONG Qing, et al. Analysis of the theory and technology of scheelite leaching [J]. Value Engineering, 2019, 38(26): 148-150.

[11] 赵中伟, 曹才放, 李洪桂. 碳酸钠分解白钨矿的热力学分析

- [J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(2): 356-360.  
ZHAO Zhongwei, CAO Caifang, LI Honggui. Thermodynamics on soda decomposition of scheelite[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2008, 18(2): 356-360.
- [12] LI J T, GAO L L, ZHAO Z W, et al. Efficient recovery of tungsten from scheelite concentrates using a sulfur-phosphorus mixed acid leaching system[J]. Tungsten, 2024, 6(4): 821-832.
- [13] 薛祥, 杨亮, 万林生, 等. 氟化钙在磷酸铵-氨水溶液中的溶解行为研究[J]. 江西冶金, 2019, 39(4): 7-11.  
XUE Xiang, YANG Liang, WAN Linsheng, et al. A study on the dissolution of calcium fluoride in the mixture solution of ammonium phosphate and ammonia[J]. Jiangxi Metallurgy, 2019, 39(4): 7-11.
- [14] XIAO L P, JI L, YIN C H, et al. Tungsten extraction from scheelite hydrochloric acid decomposition residue by hydrogen peroxide[J]. Minerals Engineering, 2022, 179. DOI:10.1016/j.mineng.107461.
- [15] POTASHNIKOV Y M, GAMOLSKII A M, MOKHOSOEV M V, et al. Kinetics of the dissolution of calcium tungstate in oxalate acid solution [J]. Zh Neor Khim, 1970, 15(2): 502-508.
- [16] KALPAKLI A, ILHAN, S, KAHRUMAN C, et al. Dissolution behavior of calcium tungstate in oxalic acid solutions [J]. Hydrometallurgy, 2012, 121/122/123/124: 7-15.
- [17] 赵中伟, 李江涛, 陈星宇, 等. 我国白钨矿钨冶炼技术现状与发展[J]. 有色金属科学与工程, 2013, 4(5): 11-14.  
ZHAO Zhongwei, LI Jiangtao, CHEN Xingyu, et al. Technology status and development of scheelite metallurgy in China[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2013, 4(5): 11-14.
- [18] 李洪桂. 钨冶金学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2010.
- [19] 许德清, 吴自兰. 影响钨精矿质量的主要杂质存在状态[J]. 有色金属(选矿部分), 1983(3): 44-48.  
XU Deqing, WU Zilan. The presence of main impurities affecting the quality of tungsten concentrate[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 1983(3): 44-48.
- [20] 余金杰, 杨郟城, 陈其慎, 等. 中国钨矿的矿床类型划分、空间分布和开发利用现状[J/OL]. 地球学报, 1-9[2024-12-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3474.P.20241125.1241.004.html>.  
YU Jinjie, YANG Yuncheng, CHEN Qishen, et al. Deposit types, spatial distribution, development, and utilization of tungsten deposits in China[J/OL]. Acta Geoscientica Sinica, 1-9[2024-12-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3474.P.20241125.1241.004.html>.

## Mineral Characteristics of Scheelite Hydrochloric Acid Decomposition Residue

LIANG Yong<sup>1,2</sup>, LIU Yinliang<sup>2</sup>, PU Ting<sup>2</sup>, CHEN Zanhong<sup>2</sup>

(1. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Green and Low Carbon Metallurgy for Strategic Nonferrous Metals, Ganzhou 341000, China;

2. School of Metallurgical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** The chemical composition, phase composition, and occurrence state of the main minerals in scheelite hydrochloric acid decomposition residue were systematically studied by a comprehensive mineral analysis system (TIMA), X-ray fluorescence spectrometer (XRF), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and other methods. The results indicate that the mineral particles in the hydrochloric acid decomposition residue of scheelite exhibit euhedral to subhedral to anhedral blocky structures. The primary phases identified are tungstic acid, fluorite, quartz, cassiterite, pyrite, molybdenite, arsenopyrite, and vivianite, with their respective mass fractions being 66.93%, 28.22%, 1.12%, 1.26%, 0.3%, 0.07%, 0.2%, and 0.04%. The grain size of tungstic acid is above 110  $\mu\text{m}$ , while the grain sizes of fluorite, quartz, cassiterite, pyrite, molybdenite, and arsenopyrite are mainly concentrated between 5~20  $\mu\text{m}$ . These particles are relatively fine and are either closely intergrown with tungstic acid or encapsulated by it.

**Key words:** scheelite hydrochloric acid decomposition residue; TIMA; mineral characteristics; phase composition