

某低品位铌矿石工艺矿物学特征 及可选性研究

Study on process mineralogical characteristics and processability of
a certain low grade niobium ore

叶超, 罗政(鹰潭市九一二地质大队, 江西 鹰潭 335413)

摘要:通过对某低品位铌矿石进行详细的工艺矿物学研究,发现该矿石结构复杂,主要为斑状结构和粗面结构,特点是岩石由长石和辉石微晶组成,金属矿物与脉石矿物间交织共存,并存在互为包裹体的形态;有价元素铌未见独立矿物,分散存在于辉石、长石、磁铁矿、角闪石等矿物中;辉石是选矿回收铌的主体矿物。选矿试验最终确定推荐“磁选预富集—粗精矿浸出”联合流程提取矿石中的有价元素铌;流程可获得浸出液产品含铌 87.44 mg/L,铌的选冶回收率为 63.12%。

关键词:铌矿石; 工艺矿物学; 磁选; 浸出; 联合流程

中图分类号: TD923 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)06-0087-05

Abstract: Through the detailed process mineralogical study of a certain low grade niobium ore, it can be found that the ore has complex structure, dominated by porphyritic structure and trachytic texture. It has such characteristics that the rock is composed of feldspar and pyroxene microlite; metal minerals and gangue minerals coexist and are mutually inclusive; the valuable element niobium is not found as an independent mineral but dispersed in pyroxene, feldspar, magnetite, amphibole, etc.; pyroxene is the main mineral for niobium recovery. Through beneficiation tests, the combined process of “magnetic separation for pre-concentration-rough concentrate leaching” was recommended for extracting the valuable element niobium from the ore; The leachate containing 87.44 mg/L niobium can be obtained from this process and the recovery rate of niobium is 63.12%.

Key words: niobium ore; process mineralogy; magnetic separation; leaching; combined process

1 前言

我国钽铌矿矿石品位普遍偏低,嵌布粒度细而分散,赋存状态差,多金属伴生,造成难采、难分、难选,回收利用率低。中国钽、铌矿床类型主要有 8 种,即白云鄂博型、碱性岩-碳酸岩型、钠长石花岗岩型、花岗伟晶岩型、热液脉型、风化壳型、夕卡岩型、砂矿型,各类型矿均有典型应用。国内不同类型的钽铌矿床及产地不同的钽、铌矿矿石组分及性质差别大,导致其分选工艺也各不相同。我国钽、铌矿选矿多采用联合工艺流程,常用的联合流程有重选—浮选/磁选—重选联合流程、浮选—磁选—重选联合流程、重选—磁选—电选联合流程、磁选—浮选—浸出联合流程、浮选—磁选—浸出—浮选联合流程等。

吉林某大型铌矿床,矿石储量大,平均含 Nb_2O_5

316 g/t、 Ta_2O_5 17.5 g/t,铌钽品位远高于我国规定的铌钽矿床最低工业品位指标 [$(Ta, Nb)_2O_5$ 160 g/t],矿床开发潜力大。由于矿石中有价元素高度分散且矿物间镶嵌关系复杂,用常规选矿流程均无法获得铌钽精矿产品,铌的回收技术一直未得到解决。在国内现有生产技术条件下,探索一条经济可行的回收方案,对其代表性矿样进行了详细的工艺矿物学和选矿工艺技术研究,为矿石中铌回收的工艺技术提供了更多渠道。

2 矿石工艺矿物学特征

2.1 矿石的物质组成

1) 化学成分

矿石化学多项分析见表 1。矿石中 Nb_2O_5 和 Ta_2O_5 含量分别为 316 g/t 和 17.5 g/t,依据稀有金属矿产地质勘查规范(DZ/T0203—2002)可知:该矿石的铌钽品位远低于原生铌矿床的边界品位($(Ta, Nb)_2O_5$ 品位 500~600 g/t),但又比其他几种铌钽矿床(风化壳矿床、花岗伟晶岩类矿床、碱性长石花岗

[作者简介] 叶超(1985—),男,主要从事选矿方面研究。

[引用格式] 叶超,罗政.某低品位铌矿石工艺矿物学特征及可选性研究[J].中国矿山工程,2021,50(6):87-91+96.

表1 矿石化学多项分析结果

元素	Nb ₂ O ₅ *	Ta ₂ O ₅ *	Rb ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
含量/%	316	17.5	0.036	1.24	0.062	5.23	6.54	18.84	59.93
元素	MnO	TFe	TREO	Cu	S	ZrO ₂	Y ₂ O ₃ *	Au*	Ag*
含量/%	0.14	2.91	0.069	0.00056	0.0099	0.25	83.3	0.041	1.47
元素	Sc*	Ga*	Cs ₂ O*	Rh**	Ru**				
含量/%	2.16	35.7	4.69	6.34	5.54				

注: * 单位为 10⁻⁶; ** 单位为 10⁻⁹。

岩类矿床、河流类砂矿床)的一般工业品位高。

2) 矿物组成

通过光学显微镜、扫描电镜(SEM)和X射线衍射分析(XRD)对矿石进行了详细鉴定。矿石主要矿物有辉石、碱性长石、磁铁矿、角闪石等,次要矿物

有赤铁矿、钛铁矿、石英、锆石等,偶见楣石、云母、黄铁矿、氟碳铈矿等,矿石中未发现铌、钽的独立矿物^[1-3]。矿石X射线衍射分析如图1,矿石主要矿物的含量见表2。

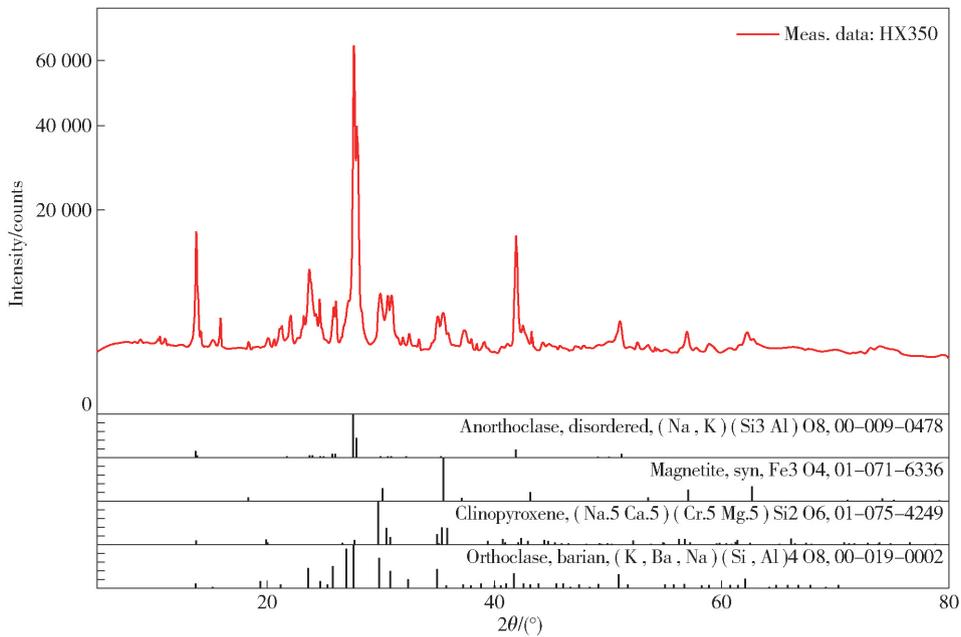


图1 矿石X射线衍射

表2 矿石矿物组成

矿物种类	含量/%	矿物种类	含量/%	矿物种类	含量/%
辉石	52.30	赤铁矿	0.124	石英	0.424
碱性长石	43.20	锆石	0.362	云母	0.121
角闪石	1.511	钛铁矿	0.132	楣石	0.095
磁铁矿	1.351	黄铁矿	0.033		

2.2 矿石结构构造

1) 矿石的结构

该矿石的主要构造包括风化构造、隐晶状构造和斑状构造。

风化状构造矿石:一般为磨圆状,土灰色,表面有明显的风化特征,表层常见黏土矿物以及磨蚀痕

迹。

隐晶状构造矿石:矿石为致密的块状,表面干净,没有风化的特征。

斑状构造矿石:矿石新鲜断面见明显的浅色斑晶,推断为长石矿物,基地为深绿色的辉石或者角闪石,典型的浅层成因的岩浆岩矿石^[4-6]。

2) 矿石的构造

矿石的结构包括斑状结构和粗面结构。

斑状结构:矿石中的碱性长石以斑晶的形式镶嵌在辉石的基地中,碱性长石表现为自行-半自行的结晶特征,常常可以观察到卡式双晶,辉石表现为长柱状的微晶集合体,这些集合体常常表现出一定的流动特征。

粗面结构:偏光显微镜观察结果显示矿石主要为粗面结构,其特点是岩石由长石和辉石微晶组成,部分呈平行排列特征,具有一定的方向性。粗面结构中的金属矿物含量极低,且粒度微细,分散分布在脉石矿物中间。

2.3 主要矿物的特征及其成分分析

1) 辉石

辉石:矿石中辉石矿物与长石矿物紧密共生,是矿石的主要组成。辉石矿物穿插在长石矿物形成的孔隙中,二者紧密交织,关系密切。粒度主要集中在0.075~1 mm,整体粒度偏细,加之其纤维状晶体形态,辉石类矿物解离难度较长石类矿物要大。通过能谱多点分析,可以看出辉石中不含有钽,铌含量波动范围为0.067%~0.089%,平均值0.076%。

表3 辉石化学成分能谱分析结果

序号	化学成分能谱分析结果/%							
	Nb ₂ O ₅	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1	0.075	1.647	20.740	1.460	28.640	0.650	1.669	45.120
2	0.068	1.580	20.340	1.310	30.120	0.650	1.602	44.330
3	0.078	1.590	20.140	1.120	31.420	0.643	1.890	43.119
4	0.076	1.563	20.030	1.140	31.450	0.632	2.160	42.949
5	0.069	1.614	19.990	1.470	28.670	0.678	2.340	45.169
6	0.089	1.634	19.970	1.780	29.340	0.747	2.160	44.280
7	0.067	1.634	21.360	1.650	29.870	0.941	1.780	42.698
8	0.081	1.632	21.650	1.340	29.650	0.321	2.060	43.266
9	0.077	1.598	20.340	0.910	30.140	0.541	1.690	44.704
10	0.084	1.479	21.090	1.360	30.570	0.415	2.340	42.662
平均	0.076	1.597	20.565	1.354	29.987	0.622	1.969	43.830

2) 长石

长石:长石矿物相对辉石矿物粒度较粗,且结晶形态较好,因此相互交织形成了矿石的基本骨架,而辉石类矿物和其他矿物则穿插其间,组成了一种类似毛毡的结构,学术上一般称为粗面结构。长石粒度主要集中在0.075~1 mm,粒度偏细。通过能谱

多点分析,可以看出长石中不含有钽,铌含量波动范围为0.011%~0.024%,平均值0.018%。

3) 磁铁矿

磁铁矿:矿石中部分磁铁矿和辉石等矿物紧密包裹,部分呈微细分散状态分布于脉石矿物中。磁铁矿的粒度主要集中在0.075 mm以下。通过能谱多点分析,可以看出磁铁矿中不含有钽,铌含量波动范围为0.01%~0.102%,平均值0.079%。

表4 长石化学成分能谱分析结果

序号	化学成分能谱分析结果/%						
	Nb ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1	0.011	3.040	21.390	1.034	2.010	20.450	52.065
2	0.013	4.440	10.930	0.587	2.310	21.330	60.390
3	0.021	3.110	12.100	0.791	2.310	15.690	65.978
4	0.019	3.480	13.540	0.369	2.450	18.790	62.352
5	0.022	4.560	15.640	1.023	1.690	16.980	60.085
6	0.018	4.680	15.690	0.634	3.010	17.650	60.122
7	0.017	4.780	11.230	0.789	2.560	18.690	61.934
8	0.014	5.030	15.460	0.510	1.980	14.750	62.256
9	0.024	3.210	15.690	0.630	1.740	16.370	62.336
10	0.016	5.340	14.670	0.740	0.560	14.680	59.220
平均	0.018	4.167	14.634	0.710	2.062	17.538	60.674

表5 磁铁矿化学成分能谱分析结果

序号	化学成分能谱分析结果/%				
	Nb ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃
1	0.102	93.360	5.268	0.430	0.840
2	0.094	94.560	4.196	0.410	0.740
3	0.098	96.890	1.852	0.510	0.650
4	0.091	95.370	3.159	0.530	0.850
5	0.010	97.560	1.200	0.470	0.760
平均	0.079	95.548	3.135	0.470	0.768

4) 角闪石

角闪石:角闪石和榍石特征和辉石的特征完全

一致,角闪石夹杂在辉石中间,穿插于长石晶体形成的孔隙中,与长石等矿物紧密共生,通过能谱多点分

析,可以看出角闪石中铌含量波动范围为 0.063% ~ 0.079%,平均值 0.07%。

表 6 角闪石化学成分能谱分析结果

序号	化学成分能谱分析结果/%							
	Nb ₂ O ₅	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1	0.063	6.380	13.320	7.010	16.720	0.950	0.340	55.217
2	0.075	5.470	14.010	6.970	15.690	0.870	0.351	56.565
3	0.069	6.380	13.650	6.890	16.310	0.56	0.333	56.368
4	0.063	6.240	13.240	6.990	16.870	0.980	0.333	55.284
5	0.079	5.780	13.870	7.320	16.660	0.870	0.332	55.089
平均	0.070	6.050	13.618	7.036	16.450	0.918	0.338	55.705

2.4 矿石中铌的分布

由于矿石中并未发现铌的独立矿物,以传统的单矿物平衡配分无法获得铌的分布情况。研究采用能谱探针数据进行配分,采用相对集中系数这个概念来表示分散元素的分布规律^[7-8]。铌在矿石矿物中的分布情况见表 7。表中结果表明:铌金属主要分布在辉石中,相对集中系数 81.118%。因此,可以通过富集辉石来回收矿石中的铌元素。

表 7 矿石中铌的分布情况

矿物名称	矿物含量/%	铌含量/%	相对集中系数/%
辉石	52.30	0.076	81.118
长石	43.20	0.018	15.869
角闪石	1.511	0.070	2.159
磁铁矿	1.351	0.079	2.178
综合	100		100.000

1) 原矿磁选试验

磁选条件试验包括矿石的磨矿细度、磁场强度大小、磁选脉冲大小、磁选转环转速等。确定原矿的磁选全流程如图 2 所示,磁选全流程结果见表 8。

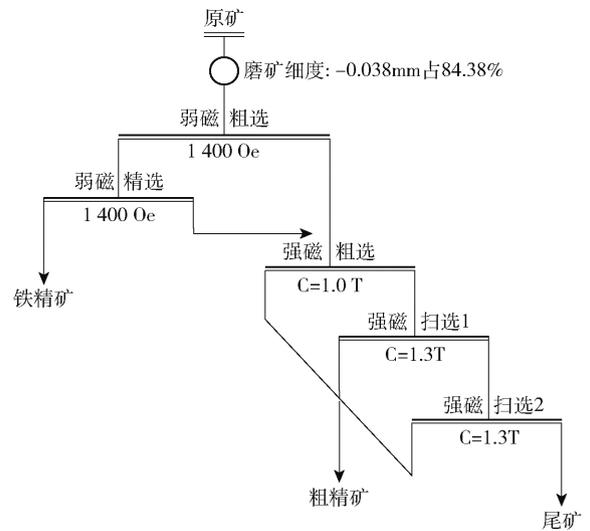


图 2 原矿磁选流程图

表 8 原矿磁选试验结果

产品名称	产率/%	Nb ₂ O ₅ 品位/ g·t ⁻¹	回收率/%
铁精矿	1.07	910	2.95
粗精矿	53.11	508	81.77
尾矿	45.82	110	15.28
原矿	100	330	100.00

3 矿石可选性试验研究

3.1 选矿方案

如前所述,该矿石为超低品位的碱长粗面岩型原生铌矿石,矿石结构非常复杂,岩石由长石和辉石微晶组成;有价元素铌高度分散赋存于矿石矿物中,各矿物间相互交织共存。通过对原矿进行磁选、浮选、重选三种选矿方法探索试验发现,磁选的手段最有效,通过磁选方法可达到尾矿抛除率约 50% 左右,粗精矿中铌回收率在 80% 左右的效果;浮选、重选只能实现部分铌钽矿物的回收,但效果均不及磁选,特别是重力选矿,产品品位低、回收率低,既不能获得较好品位产品,也无法达到预先抛尾的效果。综合考虑,确定原矿选矿原则流程为原矿-磨矿-磁选预富集-粗精矿浸出。

数据表明,原矿通过磨矿-弱磁-强磁流程可获得铁精矿产率 1.07%,含铌 910 g/t,回收率 2.95%;粗精矿产率 53.11%,含铌品位 508 g/t,回收率 81.77% 指标。粗选可抛除产率 45.82% 的尾矿。

2) 粗精矿浸出铌的试验

针对低品位的含铌物料,目前用的较多的有氢氟酸分解、硫酸分解以及酸化焙烧(或碱熔融)-浸出的方法等。综合考虑,试验采用操作简单、对环境影响较小的硫酸浸出法提取铌。试验主要进行了助浸剂的种类及用量、浸出温度、浸出时间、液固比等条件试验,确定浸出硫酸浓度为40%,助浸剂萤石加入比10%,浸出温度90℃,液固比L/S为4:1,浸出时间8h。在该条件下铌的浸出率为75.84%(相对粗精矿)。粗精矿铌浸出的综合试验条件流程如图3所示。

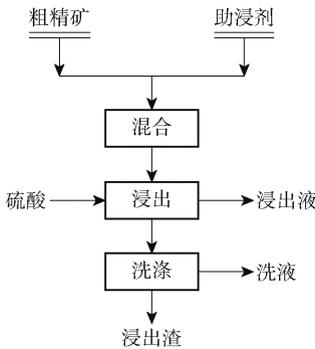


图3 粗精矿浸出试验流程

3) 原矿全流程试验

原矿通过磨矿-磁选预富集-浸出可有效提取原矿中的铌金属元素。试验流程如图4所示,试验结果见表9。表中数据表明,原矿经选矿富集-粗精

表9 综合条件试验结果

产品名称	产率/%	Nb ₂ O ₅ 品位/ g·t ⁻¹	回收率/%	浸出率/%
浸液	-	-	63.12	
浸渣	49.93	130		浸渣
尾矿	44.02	114		尾矿
原矿	100.00	312		原矿

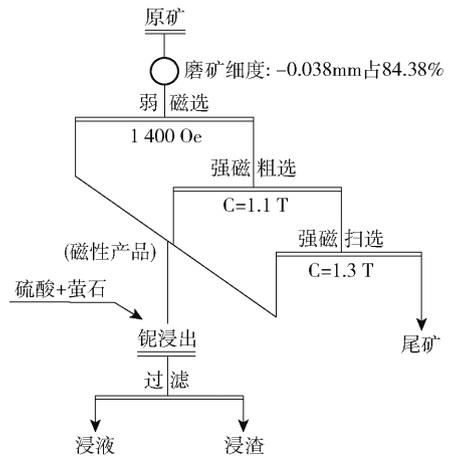


图4 综合条件试验流程

矿浸出可获得铌浸出率63.12%的指标。

3.2 产品检测

浸液的化学多项分析见表10,浸渣荧光光谱分析结果见表11。

表10 浸液多项分析结果

元素	Nb ₂ O ₅ *	Ta ₂ O ₅ **	TFe	Al	F ⁻	Fe ²⁺ *	Fe ³⁺	SiO ₂
含量/g·t ⁻¹	87.44	5.58	10.63	14.68	8.72	76	10.62	120
元素	Zr	TREO *	H ₂ SO ₄	Ti	Mg	K ⁺	Na ⁺	Ca
含量/g·L ⁻¹	0.19	2.32	274.4	0.14	0.33	6.61	8.86	0.25

注:表中*单位为mg/L; **单位为μg/L

表11 浸渣荧光光谱分析结果

元素	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	F	SiO ₂
含量/%	3.255	1.747	1.793	6.334	2.084	60.929
元素	SO ₃	CaO	TiO ₂	Mn	Sr	Zr
含量/%	11.766	7.768	0.018	0.027	0.022	0.105

从浸液的化学多项和浸渣X荧光光谱分析结果可知,硫酸实际消耗占总酸用量的54.81%,萤石实际消耗占总氟用量的52.75%。浸液残余的氢离子和氟离子,亟待进一步回收。浸出渣含主要元素为Ca、Al、Si、S、O,还含少量的Fe、F、Na、K、Ti、Zr等元素。由于浸渣Nb₂O₅含量较低,X射线荧光光谱

分析未能发现铌。浸渣主要物相为SiO₂和CaSO₄、其他物相为铝硅酸钠盐、少量难溶于酸的角闪石、辉石等铁硅酸盐。

4 结论

(1)工艺矿物学研究表明该矿石为低品位碱长粗面岩型铌矿石;矿石结构复杂,主要为斑状结构和粗面结构,金属矿物与脉石矿物间交织共存,并存在互为包裹体的形态;矿石含辉石52.30%,碱性长石43.20%,角闪石1.50%,铁氧化物为1.50%,其它矿物为1.50%;矿石矿样中未发现铌和钽的独立工业矿物,二者分散分布,铌以类质同象形式集中分布

(下转第96页)