

内蒙古赵井沟钽铌矿工艺矿物学研究*

马驰^{1,2}, 王守敬^{1,2}, 海东婧^{1,2}, 吕子虎^{1,2}, 刘长森^{1,2}

(1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006; 2. 河南省黄金资源综合利用重点实验室, 河南 郑州 450006; 3. 国土资源部多金属矿评价与综合利用重点实验室, 河南 郑州 450006)

摘要:针对内蒙古赵井沟钽铌矿,通过光学显微镜、人工重砂、X射线衍射分析以及电子探针分析,确定了该矿主要矿物组成及含量,详细研究了钽铌类矿物的化学成分、粒度和嵌布特征,以及钽、铌等元素的赋存状态。钽铌锰矿类矿物的粒度微细,一般在0.02~0.074 mm之间,以包裹体形式分布为主,占66.83%,粒间分布占33.17%。有用矿物为钽铌锰矿、铌钽锰矿2个矿物亚种,钽铌锰矿类矿物以富铁和富锰类为主,有一定量的钛等元素混入。根据金属量平衡结果,该矿钽、铌主要集中在钽铌锰矿类矿物中,主要分散分布在云母、长石、石英等脉石矿物中,Nb₂O₅的集中系数为61.23%,Ta₂O₅的集中系数为57.17%。在该研究的基础上,选矿工艺制定了合理的流程,取得了良好的选矿指标。

关键词:钽铌矿;工艺矿物学;内蒙古;赋存状态

中图分类号:TD91 文献标识码:B 文章编号:1001-0076(2017)06-0075-04

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2017.06.014

Process Mineralogy of the Zhaojinggou Tantalum – niobium Ore Deposit in Inner Mongolia Province

MA Chi^{1,2}, WANG Shoujing^{1,2}, HAI Dongjing^{1,2}, LV Zihu^{1,2}, LIU Changmiao^{1,2}

(1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China; 2. Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Gold Resource in Henan Province, Zhengzhou 450006, China; 3. Key Laboratory of Evaluation and Multipurpose Utilization of Polymetallic Ore of Ministry of Land and Resources, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: Taking the Zhaojinggou tantalum – niobium ore in Inner Mongolia as the research object, the main mineral compositions and the relevant content of raw ore are determined by optical microscope, artificial heavy sand, X – ray diffraction and electron probe analysis. The chemical composition, particle size and embedded features, as well as the occurrence state of tantalum, niobium and other elements are also studied in detail. Tantalum and niobium manganese minerals have fine grain sizes, usually in the range of 0.02—0.074 mm. Inclusion form is the main distribution state, and accounting for 66.83%. Valuable minerals include two mineral subspecies, namely tantalum – niobium manganese ore and niobium – tantalum manganese ore. The tantalum – niobium manganese ore is rich in iron or manganese with a certain content of titanium. According to the results of metal balance, the tantalum and niobium are mainly concentrated in tantalum – niobium manganese ore, and dispersed in gangue minerals such as mica, feldspar and quartz. The concentration coefficient of Nb₂O₅ is 61.23%, and that of Ta₂O₅ is 57.17%. Based on this study, a reasonable process of ore dressing process has been made, and good dressing indexes have been obtained.

Key words: tantalum – niobium ore; process mineralogy; Inner Mongolia; occurrence state

* 收稿日期:2017-09-26

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项项目(201211069)

作者简介:马驰(1981-),高级工程师,陕西武功人,主要从事工艺矿物学研究。

赵井沟铌钽矿区位于华北地台北缘内蒙古地轴中部阴山断隆大青山复背斜北翼,为华北地台北缘金、铁、稀有金属、稀土金属成矿带。矿区已发现 40 余条矿化岩脉,其中较大铌钽矿体 5 条,含钨锡石英脉数 10 条。矿区主要含矿岩石为含天河石钠长石化碱长花岗岩,次为花岗细晶岩、云英岩及天河石花岗伟晶岩,在近矿围岩、脉岩以及深部的花岗岩中,也存在不同程度的矿化现象。经地质详查工作获得 $\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5$: 探明的经济基础储量(331) 矿石量 170.12 万 t, 金属量 390.09 t; 控制的资源储量(332) 矿石量 2 495.37 万 t, 金属量 6 235.36 t; 推断的资源储量(333) 矿石量 839.64 万 t, 金属量 2 129.34 t; 全区原矿矿石量 3505.12 万 t, 金属量 8 744.78 t, 其中铌占 48.6%, 钽占 51.34%。

1 矿石化学成分

通过对原矿进行化学多项分析,查明矿石中所含主要化学成分的含量,结果见表 1。

表 1 原矿化学多项分析结果 /%

Table 1 Chemical analysis results of raw ore

成分	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Li ₂ O	Rb ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
含量	0.0111	0.0134	0.029	0.084	0.67	0.007
成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
含量	73.46	14.51	0.12	0.05	3.11	6.02
成分	MnO	WO ₃	Cs ₂ O	Ag	RE _x O _y	ThO ₂
含量	0.038	0.016	0.000 5	1.68	0.006 4	0.001 7

注:Ag 单位为 g/t。

由表 1 可以看出,矿石的有用元素 Ta、Nb 含量均达到工业利用品位。其他伴生金属元素 REE、Fe、S、W 等含量都很低,均没有达到工业利用品位。

2 矿石的矿物组成

矿区主要的含矿岩石为含天河石钠长石化碱长花岗岩,次为花岗细晶岩、云英岩及天河石花岗伟晶

岩。矿石中主要的含铌、铌矿物为钽铌锰矿和钽铌锰矿,含铷的矿物主要是天河石,金属矿物还有褐铁矿、黄铁矿;脉石矿物主要为钠长石、石英、天河石,次为白云母。矿石主要矿物相对含量见表 2。

表 2 矿石中主要矿物的相对含量 /%

Table 2 Relative content of the main minerals in raw ore

矿物	钽铌锰矿	黄铁矿	石英	天河石	白云母	钠长石
含量	0.018	0.04	25.5	15.2	2.4	55.7
矿物	萤石	钼锡石	褐铁矿	黄玉	锆石	独居石
含量	0.22	少量	0.03	0.022	微量	微量

3 矿石的主要矿物特征

3.1 铌铁矿族矿物[(Fe,Mn)(Nb,Ta)₂O₆]

斜方晶系,晶体呈柱状、板状,晶面条纹明显,颜色为铁黑色、褐黑色、暗褐红色,条痕灰褐色、暗红褐色,金属光泽或半金属光泽,解理中等-不完全,断口贝壳状-不平坦状,性脆。在薄片为暗红色,有时呈黑色,有些色调较浅,呈棕红色,色调不均匀,多色性明显^[1-4]。

钽铌锰矿和钽铌锰矿是矿石中主要的有用矿物,该类型矿物中铌和钽、铁和锰为完全类质同象,根据矿物中 Fe/Mn 和 Nb/Ta 的原子比,可分为铌铁(锰)矿、钽铌铁(锰)矿、钽铌铁(锰)矿、钽铁(锰)矿^[1]。该矿中钽铌类矿物 Ta、Nb 元素平均含量的结果为 Ta₂O₅ 31.76%、Nb₂O₅ 47.96%。钽铌矿物除呈单矿物形式存在外,尚有部分 Ta₂O₅、Nb₂O₅ 呈分散状态分布在脉石矿物之中。根据电子探针分析结果(表 3),可分为钽铌锰矿、钽铌锰矿共 2 个矿物亚种,以富锰和富铌为主,该类矿物铁与锰,铌与钽分别为完全类质同象^[5-7],有一定量的钛等混入,电子探针分析结果表明:一部分为钽铌锰矿,另一部分为钽铌锰矿(图 1)。

表 3 钽铌锰矿-钽铌锰矿电子探针测定结果 /%

Table 3 Results of electron probe measurements of niobium-tantalum manganese ore and tantalum-niobium manganese ore

MnO	Nb ₂ O ₅	K ₂ O	FeO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Ta ₂ O ₅	Total
12.568	68.106	0	6.662	0.015	0	0.081	11.114	98.547
13.673	64.400	0	4.873	0.026	0	0.092	16.274	99.339
13.077	64.239	0	5.965	0.01	0.006	0	13.479	96.777
13.681	64.127	0.015	5.594	0.017	0.008	0.142	15.591	99.175
13.497	63.975	0.003	5.765	0	0	0.109	13.865	97.214
14.000	62.003	0.02	5.015	0.063	0.028	0.815	17.259	99.247
14.067	37.394	0.008	2.892	0.036	0.015	0.343	41.941	96.695
13.842	31.722	0.01	2.177	0.066	0.034	0.136	47.643	95.677
14.042	30.103	0	2.283	0.012	0	0.183	53.682	100.305
13.954	21.208	0.002	1.329	0.023	0	0.284	60.889	97.689
13.413	20.380	0	6.676	0.011	0.038	0.194	57.534	98.246

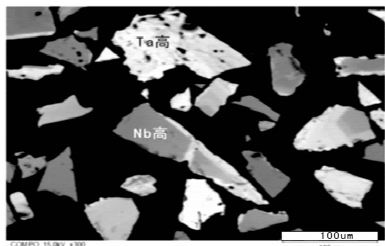


图1 钽铌锰矿-钽铌锰矿二者紧密共生,BSE图像

Fig. 1 Close symbiosis between niobium-tantalum manganese ore and tantalum-niobium manganese ore, BSE images

钽铌类矿物以板状、长条状、不规则粒状为主,晶体形态统计结果见表4,主要以板状形式存在,占49.11%,其次是长条状和不规则粒状。

表4 钽铌锰矿晶体形态统计结果

Table 4 Statistical results of crystal morphology of tantalum-niobium manganese ore

晶形	板状	长条状	不规则粒状	粒状	合计
颗粒数/粒	168	85	64	23	340
含量/%	49.41	25.00	18.82	6.77	100.00

钽铌类矿物嵌布形式主要被钠长石、白云母、石英、天河石等脉石矿物包裹图2(a、b),其中被钠长石和天河石包裹占36.21%,被石英包裹占21.76%,被白云母包裹占8.86%,脉石矿物粒间分布占33.17%,可以看出以包裹为主,这样导致该矿钽铌类有用矿物单体解离困难。

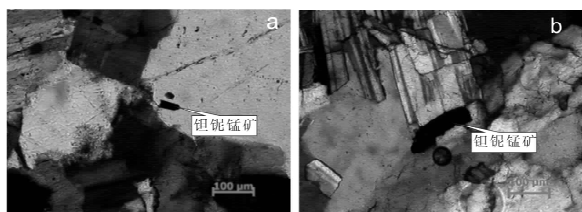


图2 a. 细粒的钽铌锰矿被石英包裹;b. 细粒的钽铌锰矿被钠长石包裹

Fig. 2 a. Fine tantalum-niobium manganese ore wrapped by quartz; b. Fine tantalum-niobium manganese ore wrapped by albite

粒度统计结果见表5。

表5 钽铌锰矿的原生粒度分布

Table 5 Primary particle size distribution of tantalum-niobium manganese ore

粒级/mm	+0.15	-0.15+0.074	-0.074+0.02	-0.02
含量/%	4.11	18.77	66.86	10.26
累计含量/%	4.11	22.88	89.74	100

粒度主要集中在0.074~0.02 mm之间,其中

-0.074 mm占77.12%,说明主要以微细粒嵌布为主,单体解离难度较大,这会严重影响选矿指标。

3.2 脉石矿物

脉石矿物主要有钠长石、天河石、石英和白云母,还有少量的萤石和黄玉。

钠长石:呈柱状、粒状,在单偏光下透明,在正交镜下,干涉色一级灰白,聚片双晶明显。天河石呈淡绿色,粒状,粒度较细,单偏镜下一组解理明显,表面有褐色质点的高岭土化。石英形成有两期,早期石英粒度较粗,晚期硅化石英呈细脉穿插在钠长石中,粒度一般小于0.01 mm。石英多包裹细粒的钠长石和钽铌锰矿,构成嵌晶结构。

萤石:粒状,玻璃光泽,单偏光下为淡紫色,均质体,在矿石中含量低。

白云母:在矿石中的含量为2.4%,呈鳞片状,珍珠光泽,无色,微弱的多色性,一组解理发育,二级干涉色,约有14.5%白云母约中含有钽铌锰矿的包体,包体较细,包体的最大粒度为0.05 mm左右,但是钽铌锰矿一般垂直于白云母的解理分布,这不利于钽铌锰矿的单体解离。

4 钽、铌元素的赋存状态

钽、铌主要以钽铌锰矿类矿物的形式存在,分散分布在云母、长石和石英中。为了定量的查明矿石中有用元素赋存状态,分析有用元素的集中和分散情况,对该矿石的钽、铌元素进行金属平衡计算(表6)。

从表6可以看出,已回收目的矿物钽铌锰矿计算,该矿 Nb_2O_5 的集中系数(集中系数为该元素的最大回收率)为61.23%, Ta_2O_5 的集中系数为57.17%。表明钽铌精矿理论最高品位为 Nb_2O_5 47.96%和 Ta_2O_5 31.76%, Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 的理论回收率为61.23%和57.17%。

影响该矿Nb和Ta元素回收的主要原因是:33.87%的Nb元素和34.87%的Ta元素高度分散分布在长石和石英中,难于回收。

5 影响选矿的工艺矿物学因素

(1)钽铌锰矿粒度微细,一般在0.02~0.074 mm之间,加之多被脉石矿物包裹,这样造成有用矿物单体解离困难;该矿存在一定量的褐铁矿,在强磁粗选时,褐铁矿易进入粗精矿,这将降低磁选后粗精矿的品位。

表6 钽、铌的金属量平衡表
Table 6 Metal balance sheet of tantalum and niobium

矿物名称	含量/%	Nb ₂ O ₅			Ta ₂ O ₅		
		Nb ₂ O ₅ 品位/%	Nb ₂ O ₅ 金属量/g	分布率/%	Ta ₂ O ₅ 品位/%	Ta ₂ O ₅ 金属量/g	分布率/%
钽铌锰矿	0.018	47.96	0.008 632 8	61.225 53	31.76	0.005 716 8	57.168
白云母	2.4	0.026 6	0.000 638 4	4.527 66	0.033	0.000 792	7.92
黄铁矿	0.04	0.006	0.000 002 4	0.017 021	0.003 9	0.000 001 56	0.015 6
褐铁矿	0.03	0.072 6	0.000 021 78	0.154 468	0.034 6	0.000 0103 8	0.103 8
萤石	0.22	0.002 9	0.000 006 38	0.045 248	0.001 3	0.000 002 86	0.028 6
黄玉	0.022	0.003 1	0.000 000 682	0.004 837	0.002 4	0.000 000 528	0.005 28
天河石	15.2	0.002 7	0.000 410 4	2.910 638	0.002 1	0.000 319 2	3.192
石英	25.5	0.006	0.001 53	10.851 06	0.001 5	0.000 382 5	3.825
钠长石	55.7	0.005	0.002 835	20.106 38	0.005	0.002 785	27.85
合计			0.014 077 842	99.842 85		0.010 010 828	100.108 3

(2) 由于有用矿物粒度微细,如果粗磨,单体解离不够;如果细磨,由于钽铌类矿物性脆,容易泥化,所以建议粗磨强磁选、粗精矿再磨再选的原则流程。再磨精选的关键制约因素是具有弱磁性的褐铁矿基本富集到磁选精矿中,这就需要对精矿再进行重选精选。所以建议的原则流程是磨矿—强磁选—重选—强磁精选。

(3) 矿石中约有 33.87% 的 Nb 元素和 34.87% 的 Ta 元素分散到长石和石英中,这部分是难以回收的,可以合理损失到尾矿中。

(4) 天河石和钠长石、石英之间交代结构发育,相互嵌布关系复杂,粒度较细,通过浮选法难以实现长石类矿物与石英的分离。

6 结论

(1) 赵井沟钽铌矿矿区主要含矿岩石为含天河石钠长石化碱长花岗岩,次为花岗细晶岩、云英岩及天河石花岗伟晶岩。矿石中主要金属矿物为钽铌锰矿、褐铁矿、黄铁矿;主要脉石矿物为钠长石、石英、天河石和白云母。钽铌锰矿的粒度为一般在 0.02~0.074 mm 之间,以微细粒嵌布为主。钽铌类矿物有两种嵌布形式,粒间分布占 33.17%,呈包裹体分布的占 66.83%。

(2) 钽铌锰矿类矿物主要为钽铌锰矿、钽铌

锰矿 2 个矿种,以富锰和富铌类占多数,铁与锰,铌与钽分别为完全类质同象,有一定量的钛等元素混入。

(3) 该矿中钽、铌主要赋存在钽铌锰矿类矿物中,部分呈高度分散分布在云母、长石、石英等矿物中。钽铌精矿理论最高品位为 Nb₂O₅ 47.96% 和 Ta₂O₅ 31.76%,理论回收率为 61.23% 和 57.17%。

参考文献:

- [1] 孙延锦. 钽铁矿—铌铁矿组矿物鉴定方法[J]. 地质与勘探, 1964(3): 28-31.
- [2] 梁冬云, 何国伟. 蚀变花岗岩型钽铌矿石的工艺矿物学研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2004(1): 1-3.
- [3] 罗明标, 郭国龙, 郭国林, 等. 包头稀土精矿中钽的赋存状态研究[J]. 稀有金属, 2010, 34(3): 471-473.
- [4] 程寄皋, 龚文浩, 何先池, 等. 体视学在工艺矿物学定量中的应用[J]. 武汉冶金科技大学学报, 1996, 19(2): 135-137.
- [5] 夏建明, 陈邦建. 苏州富钽钽花岗岩的物质组成及钽的赋存状态研究[J]. 江苏地质, 1999, 23(4): 236-240.
- [6] 梁冬云, 喻连香, 张永进, 等. 花岗伟晶岩型钽铌矿石的工艺矿物学研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2004(5): 1-3.
- [7] 伍超群. 电子探针在工艺矿物学中的应用[J]. 岩矿测试, 1994, 13(1): 45-48.

引用格式: 马驰, 王守敬, 海东婧, 等. 内蒙古赵井沟钽铌矿工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2017(6): 75-78.

MA Chi, WANG Shoujing, HAI Dongjing, et al. Process mineralogy of the zhaojinggou Tantalum-niobium ore deposit in Inner Mongolia Province[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2017(6): 75-78.