

内蒙古石灰窑花岗岩型铌钽铷矿床地质特征及成因

段先哲^{1,2,3}, 时 皓⁴, 谭凯旋^{1,2}, 谢焱石², 陈 亮², 韩世礼², 胡 杨², 冯志刚²,
张燕群², 郭恒飞², 蒋 乐²

1. 南华大学 矿业工程博士后科研流动工作站, 湖南 衡阳 421001; 2. 南华大学核资源与工程学院,
湖南 衡阳 421001; 3. 湖南省核燃料循环技术与装备协同创新中心, 湖南 衡阳 421001;
4. 内蒙古自治区矿产实验研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031

摘 要: 内蒙锡林浩特石灰窑铌钽矿床是我国最近发现的一处大型稀有金属矿床。通过详细分析该矿床地质特征、控矿因素及其成因, 主要获得如下认识: 1) 该矿床矿石属于碱性花岗岩系列; 2) 矿石中的铌钽矿物主要包括铌锰矿、铌钽铁矿、铌钽锰矿、锡锰钽矿和细晶石; 3) 该矿床可能是前期花岗岩岩浆结晶和后期热液交代综合作用的产物, 热液交代是铌钽铷主要成矿阶段; 4) 从铌钽铷矿化成因和富集规律可知, 金属矿化与钠长石化、云英岩化密切相关, 且矿体赋存于蚀变花岗岩中, 分布上严格受北东向构造的控制, 因此, 钠长石化、云英岩化的花岗岩是寻找上述稀有金属的直接找矿标志, 同时石灰窑燕山早期花岗岩出露地段很可能是寻找稀有金属矿的有希望地区; 5) 围绕石灰窑花岗岩主岩体周围寻找晚期侵位的钠长石化花岗岩小岩体的隆起和浅部部位, 是寻找铌钽铷矿的基本思路。

关键词: 花岗岩型铌钽铷矿床; 控矿因素; 矿床成因; 内蒙古

DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.01.006

GEOLOGY AND GENESIS OF THE GRANITIC NIOBIUM-TANTALUM-RUBIDIUM DEPOSIT IN SHIHUIYAO AREA, INNER MONGOLIA

DUAN Xian-zhe^{1,2,3}, SHI Hao⁴, TAN Kai-xuan^{1,2}, XIE Yan-shi², CHEN Liang², HAN Shi-li², HU Yang², FENG Zhi-gang²,
ZHANG Yan-qun², GUO Heng-fei², JIANG Le²

1. Mining Engineering Post-doctoral Mobile Research Station, University of South China, Hengyang 421001, Hunan Province, China;
2. The School of Nuclear Resource and Engineering, University of South China, Hengyang 421001, Hunan Province, China;
3. Cooperative Innovation Center for Nuclear Fuel Cycle Technology and Equipment, University of South China, Hengyang 421001, Hunan Province, China;
4. Inner Mongolia Institute of Mineral Experiment, Hohhot 010031, China

Abstract: The Shihuiyao Nb-Ta-Rb polymetallic deposit is a large rare metal deposit that was recently found in Xilinhot City, Inner Mongolia, China. By electronic microprobe (EMP) and X-ray fluorescence spectrometry (XRF) analyses on minerals and whole rock compositions of ores, with discussion on the geological characteristics and controlling factors as well as genesis of the deposit, the following results can be demonstrated: 1) The ores of this deposit belong to alkaline granite type series. 2) The Nb-Ta minerals in the ores mainly include manganocolumbite, columbite-tantalite, columbite-manganotantalite, wodginite and microlite. 3) This deposit may be an integrated product of crystallization of granitic magma in early stage and hydrothermal metasomatic interaction later, of which the latter is the main metallogenic stage of Nb, Ta

收稿日期: 2015-10-19; 修回日期: 2015-12-16. 编辑: 张哲.

基金项目: 国家自然科学基金(41503016); 湖南省教育厅优秀青年项目(15B201); 中国博士后科学基金(2015M582334); 内蒙古地质勘查专项资金; 国防基础科研项目(B3720110004); 南华大学博士科研启动基金(2014XQD08); 南华大学“蒸湘学者计划”。

作者简介: 段先哲(1985—), 男, 博士, 讲师, 主要从事地球化学和矿床学等方面的研究工作, 通信地址 湖南省衡阳市蒸湘区常胜西路 28 号, E-mail//duanxianzhe@126.com

通信作者: 时皓(1984—), 男, 工程师, 主要从事地球化学和矿床学等方面的研究工作, 通信地址 内蒙古自治区呼和浩特市玉泉区昭君路 16 号, E-mail//shihaobj2008@163.com

and Rb; 4) The Nb-Ta-Rb mineralizing genesis and enrichment patterns show that the mineralization is closely related to the albitization and greisenization of granite. The ore bodies mainly occur in altered granites, strictly controlled by NE-trending structures in distribution. Therefore, the albitized and greisenized granites are direct indicators for the prospecting of these metals. In addition, the areas where the Early Yanshanian granites outcrop are probably prospective targets for the rare metals. 5) The basic idea for Nb-Ta-Rb prospecting in Shihuiyao area is to seek for the uplift and the shallow parts of the small albitized granite rock mass emplaced in later stage around the main granite bodies.

Key words: granitic Nb-Ta-Rb deposit; ore controlling factor; deposit genesis; Inner Mongolia

铌、钽、铷是非常重要的稀有金属, 由于具有熔点高、耐高温、抗变形、抗腐蚀、导热性好、导电性强、可塑性高和化学稳定性好等优良特性, 不仅在电子、原子能、超导技术、航天航空等工业领域, 而且在钢铁、机械等民用工业领域有着广泛的应用, 在国民经济建设中起着极为重要的作用^[1-6]。我国目前正处于国民经济高速增长阶段, 对铌、钽、铷矿产品需求不断加大, 但由于铌钽的应用领域和产品研制、开发进展缓慢, 对市场的供应量非常有限, 因此, 加大该类矿产的勘查与开发是当务之急。内蒙锡林浩特石灰窑铌钽铷金属矿床是我国最近发现的一处大型稀有金属矿床, 初步探明总金属量超过 87×10^4 t^[6]。该矿床的发现不仅对内蒙古稀有金属矿地质找矿有重要指导意义, 亦为我国隐伏矿床的找矿研究提供了典型实例。因此, 了解和研究该矿床的地质特征、控矿因素及成因, 对寻找该类资源大有裨益。

1 矿区地质概况

锡林浩特石灰窑铌钽铷矿床大地构造上处于古生代板块内部的锡林浩特元古宙地块南部边缘(图1), 南侧即为乌力吉-林西华力西造山带。区内受多次造山运动的影响, 褶皱强烈, 断裂发育, 其中华力西晚期褶皱多为不对称的紧密背斜、向斜, 轴向北西向或近东西向, 主要包括敖日格勒敖包复式向斜、沃村图儒向斜。

矿区出露地层仅见上二叠统林西组(P_3l)。该地层主要位于种畜场石灰窑-敖包图一带, 其他地段出露零星。岩性以暗黑色炭质板岩、浅灰色粉砂质夹泥灰岩、变质砂岩为主。

矿区由3条大致平行的北北东走向挤压破碎带(出露长度0.5~9.7 km, 宽30~220 m)组成, 破碎带岩性为燕山期碎裂花岗岩、碎裂岩、花岗质糜棱岩及晚二叠世的千糜岩、绿帘石化灰岩。在动力作用下, 暗色矿物定向排列, 长石晶体折断, 晶纹弯曲, 板岩硅化, 小褶皱发育, 灰岩蚀变, 石英脉、伟晶岩脉、闪长岩脉

等中酸性脉岩沿破碎带发育, 且遭受破坏。

此破碎带控制着与燕山早期钠长石化、云英岩化花岗岩有关的稀有金属成矿带的分布。该破碎带为燕山早期岩浆岩和岩浆期后的气成热液活动创造了良好的条件, 使岩石遭受了多次交代作用, 形成了钠长石化、云英岩化及一系列伟晶岩、绿柱石石英脉等, 并伴随生成了有关的稀有金属矿产、其他内生矿产及萤石矿等。

矿区处于锡林浩特构造岩浆岩带中段, 岩浆活动频繁, 侵入岩比较发育, 岩浆岩体时代为二叠纪、侏罗纪, 其中侏罗纪碱性花岗岩岩体在矿区出露最广泛。通过1:1万地质草测圈定了具有一定规模的蚀变岩体8处, 编号为I~ , 其中V号岩体为主岩体。该岩体主要岩石为钠长石化花岗岩、云英岩化花岗岩、云英岩化钠长石化花岗岩及云英岩。岩石矿物成分为钠长石、微斜长石、石英、铁锂云母、白云母及少量条纹长石、黑云母、萤石、黄玉、黑钨矿、锡石、铌钽铁矿等。岩石具叶片、鳞片变晶结构、蚀变交代结构、变余花岗结构、糖粒状变晶结构, 块状构造。岩石副矿物特征为锆石-独居石型, 常伴有少量锡石、黑钨矿、辉铋矿、电气石、萤石、黄玉等。其分布和产出形态严格受北东向断裂带控制, 多呈岩株状、脉状产出。从区域上来看应属小乌兰沟-海流特山大基岩的南缘部分, 且剥蚀深度不大。受种畜场-海流特山大破碎带的影响, 部分地段岩石破碎呈碎裂花岗岩或具片麻状。

区内脉岩较发育, 分布范围广泛, 其规模一般长10~500 m, 宽1~20 m。主要岩脉有石英脉、伟晶岩脉、辉绿岩脉、正长斑岩脉、花岗细晶岩脉、霏细岩脉、闪长岩脉、花岗岩脉等。上述岩脉除闪长玢岩脉、花岗岩脉属华力西晚期外, 其余岩脉均属燕山早期以后产物。岩脉明显受断裂构造控制, 一般沿裂隙贯入, 脉岩走向北东、北北东、北西向, 个别呈东西向, 与区域构造方向吻合。

表 1 矿物电子探针分析结果
Table 1 Chemical compositions of minerals analyzed by electron microprobe

序号	点号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	SnO ₂	WO ₃	V ₂ O ₃	ZnO
1	RZ-5-7-3	0	0	0.003	0.115	0	0.054	0.032	0.33	0	0.022
2	RZ-5-8-1.1	0	0	0.014	0.073	0	0.053	0	0.53	0.039	0.095
3	RZ-5-8-5	0	0	0.005	0.116	0	0.028	0	0.42	0	0.042
4	RZ-5-8-6.1	0	0	0	0.148	0.01	0.045	0	0.62	0	0.045
16	RZ-5-2-4	0	0	0.005	0.244	0	0	0.002	0.93	0.087	0
17	RZ-1-3A-4	0	0	0.001	0.195	0	0	0.019	1.5	0	0
20	RZ-5-8-6.2	0	0	0	0.249	0	0	0.376	3.08	0.007	0
21	RZ-5-8-4.2	0	0	0	0.321	0	0	0.256	2.35	0	0
24	RZ-5-2-1	0	0	0	0.193	0	0	0.129	0.84	0.065	0
26	RZ-5-2-2.1	0	0	0.004	0.17	0	0	0.043	0.93	0	0
27	RZ-5-5F-4.2	0	0	0.015	0.18	0	0	0.064	2.02	0	0
29	RZ-5-5A-3.2	0	0	0	0.257	0.01	0	0.021	3.93	0	0
30	RZ-5-5F-3	4.339	0	0	0.358	0	10.065	0.79	2.32	0.037	0
31	RZ-5-5F-4	0	0	0.004	0.53	0	0.047	9.319	3.71	0.029	0
32	RZ-5-5E-5	0.148	0	28.34	47.45	9.9	0	0	0	0.066	0.015
33	RZ-5-5E-2	0.12	0	29.95	48.2	9.51	0.013	0	0	0	0.048
34	RZ-5-5E-4	0.162	0	28.48	46.46	9.9	0	0	0	0	0.066
35	RZ-5-5E-3	0.087	0	28.53	49.03	9.99	0	0	0	0.117	0.081
39	RZ-5-5C-4	0	0	0	0	0	0.007	0.097	75.5	0	0.062
40	RZ-5-5A-5	0.01	0	0	0	0	0	0	75.2	0	0
42	RZ-5-5A-2	0	0.01	0	0	0.02	0	0.096	76.1	0.028	0
43	RZ-5-5C-2.2	0	0	0	0	0.01	0.001	0.025	67.3	0	0
52	RZ-5-7-2	0	0.05	0.002	0.582	0	0.364	96.43	0.05	0	0.117
59	RZ-5-4B-4	0	0.05	0	0.657	0	0.41	97.57	0.21	0	0
60	RZ-5-4B-3	0.05	0.1	0.004	0.589	0	0.373	95.56	0.04	0	0
62	RZ-1-1B-1	0	0.09	0	0.642	0	0.417	97.84	0.43	0.134	0
101	RZ-5-5F-2.2	0	0	0	0	0	0.057	0.062	48.3	0.007	0
102	RZ-5-4A-5	3.922	0.02	0	0	0.07	0	0	0.08	0	66.35
103	RZ-5-6-5	0.041	0	0	0.026	0	0	0.016	0	0.44	0.143
105	RZ-5-6-1	0.038	2.55	0.401	0.952	0.11	0	0	0	0.246	0.093
106	RZ-5-6-2	0.024	0.12	0	0	0	0	0	0.01	0.332	0.093
109	RZ-1-3A-3	0	0.05	0	0.02	0	0	0	0.05	0.304	0
110	RZ-5-6-3	0.014	0.12	0.019	0.043	0.01	0	0	0	0.27	0.19

续 (Continued)

序号	点号	FeO	MnO	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	P ₂ O ₅	PbO	NiO	合计	矿物名称
1	RZ-5-7-3	0.828	18.322	0	0.21	65.42	15.96	0	0.434	0	101.73	铌锰矿
2	RZ-5-8-1.1	0.731	17.605	0	0.21	64.95	16.4	0	0.434	0	101.13	铌锰矿
3	RZ-5-8-5	0.507	18.593	0.07	0.12	64.02	16.11	0	0.51	0	100.54	铌锰矿
4	RZ-5-8-6.1	0.691	18.102	0	0.27	62.55	17.63	0	0.395	0	100.5	铌锰矿
16	RZ-5-2-4	9.773	8.276	0	0.56	48.59	32.01	0	0.324	0	100.81	铌钽铁矿
17	RZ-1-3A-4	12.02	5.4	0.05	0.63	42.15	37.82	0	0.341	0	100.12	铌钽铁矿
20	RZ-5-8-6.2	13.09	4.163	0.01	0.3	25.86	53.88	0	0.174	0	101.18	铌钽铁矿
21	RZ-5-8-4.2	12.73	4.294	0	0.27	25.62	53.58	0	0.204	0	99.616	铌钽铁矿
24	RZ-5-2-1	3.88	13.527	0	0.62	50.43	29.72	0	0.242	0	99.644	铌钽锰矿
26	RZ-5-2-2.1	2.415	13.703	0.03	0.82	49.74	31.08	0	0.34	0	99.287	铌钽锰矿
27	RZ-5-5F-4.2	7.673	9.779	0.09	0.32	44.1	35.63	0	0.31	0	100.18	铌钽锰矿
29	RZ-5-5A-3.2	1.555	14.621	0	0.31	22.87	55.84	0	0.183	0	99.598	铌钽锰矿
30	RZ-5-5F-3	0.091	0.141	0.08	0	21.8	59.06	0	0.188	0	99.267	细晶石
31	RZ-5-5F-4	4.472	6.051	0	0.05	20.92	53.98	0	0.528	0	99.642	锡锰钽矿
32	RZ-5-5E-5	7.616	0.771	0	0	0.015	0	0	0.015	0.01	94.349	白云母
33	RZ-5-5E-2	6.587	0.684	0	0	0.012	0	0	0.004	0	95.129	白云母
34	RZ-5-5E-4	7.292	0.686	0.03	0.02	0.002	0	0.006	0.026	0	93.138	白云母
35	RZ-5-5E-3	6.468	0.927	0	0.08	0	0	0	0.024	0.02	95.358	白云母
39	RZ-5-5C-4	6.137	18.481	0.06	0	0.307	0.093	0	0.049	0.09	100.84	黑钨矿
40	RZ-5-5A-5	6.5	18.003	0	0.01	0.288	0.023	0	0.038	0	100.08	黑钨矿
42	RZ-5-5A-2	7.789	16.477	0	0.03	0.261	0	0	0.009	0.02	100.8	黑钨矿
43	RZ-5-5C-2.2	5.562	12.587	0.09	0.22	0.242	0.082	0	13.85	0.02	100.01	黑钨矿
52	RZ-5-7-2	0.364	0.003	0	0.11	0.884	0.849	0	0	0	99.819	锡石
59	RZ-5-4B-4	0.188	0	0	0.01	0.33	0.266	0	0.009	0.01	99.709	锡石
60	RZ-5-4B-3	0.653	0.095	0.03	0.09	0.324	2.083	0	0	0	99.983	锡石
62	RZ-1-1B-1	0.089	0.016	0.02	0.18	0.252	0.185	0	0	0.03	100.32	锡石
101	RZ-5-5F-2.2	0.01	0.069	0	0.07	0.059	0	0.004	50.66	0.03	99.331	钨铅矿
102	RZ-5-4A-5	9.419	0.241	0	0.21	0.029	0	0	0.082	0.02	80.439	闪锌矿
103	RZ-5-6-5	88.6	0	0.28	0	0.037	0	0.018	0.004	0	89.602	赤铁矿
105	RZ-5-6-1	53.73	0.317	0.03	41.4	0.047	0	0.028	0.029	0	99.95	钛铁矿
106	RZ-5-6-2	45.89	2.232	0.04	51.2	0.04	0	0	0.026	0	99.969	钛铁矿
109	RZ-1-3A-3	47.21	0.983	0	51.7	0	0	0	0	0	100.29	钛铁矿
110	RZ-5-6-3	50.57	2.785	0.02	45.9	0	0	0.004	0.021	0	99.983	钛铁矿

续 2 Continued)

序号	点号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Rb ₂ O	Cs ₂ O	FeO	MnO	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Nb ₂ O ₅	合计	矿物名称
114	7-SHY5-1-1	0.2		21.1	45.363	9.498	0.045	0.861		12.152	1.875	0.096		0	91.239	绿鳞云母
121	7-SHY5-1-3	0.244		20.717	45.084	8.903	0.093	0.808		12.508	2.049	0.138		0.012	90.669	绿鳞云母
124	8-SHY5-2-9	0.341		22.544	42.341	9.407	0.016	0.7		14.294	2.057	0		0.059	91.759	绿鳞云母
125	8-SHY5-2-7	0.301		22.601	41.609	9.556	0	0.687		14.543	2.254	0		0.059	91.611	绿鳞云母
126	9-SHY04-218-12	0.154		21.773	41.385	9.647	0.023	0.656		17.817	1.298	0.049		0.037	93.433	黑云母
127	9-SHY04-218-11	0.192		21.58	40.066	9.401	0.011	0.642		19.071	1.396	0		0.129	93.243	黑云母
128	9-SHY04-218-10	0.146		21.245	40.72	9.532	0.009	0.63		17.855	1.264	0.012		0.129	92.31	黑云母
129	D1-1Mus	0.27	0.07	22.20	46.37	10.43	0.04	-	-	13.56	1.81		-		94.74	铁锂云母
130	D1-2Mus	0.26	-	21.82	47.32	10.04	0.01	0.29	0.05	12.97	1.88		-		94.63	铁锂云母
131	D2-1Mus	0.25	0.02	21.78	47.72	10.20	-	0.26	0.06	11.41	3.41		-		95.10	铁锂云母
132	D2-1Mus	0.20	0.01	20.23	51.95	10.50	0.18	0.24	-	9.36	2.54		-		95.21	铁锂云母
155	6a-SHY5-4-1-2	0.487		17.601	65.543	15.605	0.016	0.505		0	0	0		0.019	99.812	微斜长石
156	6a-SHY5-4-2-3	0.395		17.636	65.104	15.881	0.001	0.387		0	0	0		0.008	99.418	微斜长石
158	6a-SHY5-4-1-3	0.285		17.73	65.49	15.944	0	0.361		0	0.014	0.031		0.002	99.857	微斜长石
160	10a-shy5-3-2-3	0.3		17.879	64.848	15.746	0.004	0.342		0	0	0		0.03	99.165	微斜长石
183	D1-1Pl	11.67	-	18.71	68.35	0.15	0.06	-	-	0.04	-		0.03		99.01	钠长石
184	D3-1Pl	11.41	-	18.90	68.65	0.19	0.15	-	-	0.10	0.06		-		99.46	钠长石
185	D5-1Pl	11.60	-	18.92	68.81	0.15	0.09	-	-	0.09	0.01		-		99.68	钠长石
186	D7-1Pl	12.57	-	18.87	67.97	0.05	0.13	-	-	0.01	-		0.03		99.62	钠长石
189	D4-1Gao	0.18	0.24	37.47	47.01	-	0.14	-	-	0.61	0.04		-		85.69	锆石
190	6a-SHY5-4-2-7	0		0.016	99.695	0.004	0.003	0.003		0	0.021	0		0	99.761	石英

分析单位: 中国地质大学(北京)和中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室. 含量单位: %.

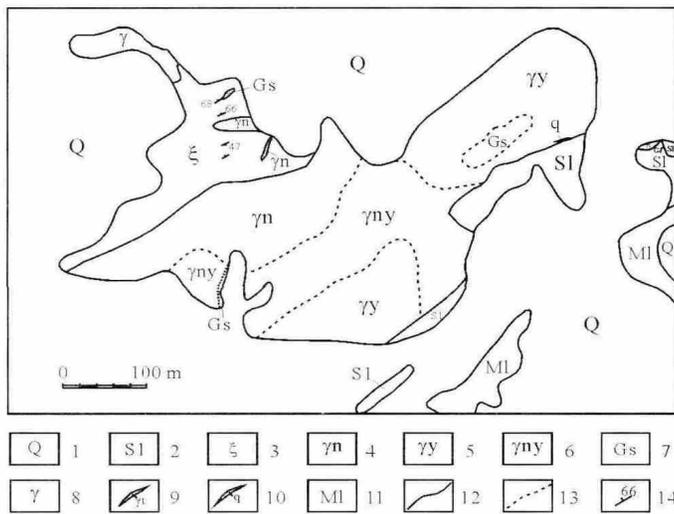


图 2 号岩体地质图

Fig. 2 Geological sketch map of No. V rock mass

1—第四系风成沙土及砂砾石层 Quaternary aeolian sand and gravel); 2—暗灰色板岩 (dark grey slate); 3—蚀变英安岩 (altered dacite); 4—钠长石化花岗岩 (albitized granite); 5—云英岩化花岗岩 (greisenized granite); 6—钠化云英岩化花岗岩 (albitized-greisenized granite); 7—云英岩 (greisen); 8—中粗粒花岗岩 (medium coarse grained granite); 9—花岗岩细晶岩脉 (granite-aplite dike); 10—石英脉 (quartz vein); 11—糜棱岩及糜棱岩化岩石 (mylonite and mylonitized rock); 12—实测地质界线 (surveyed geological boundary); 13—蚀变地质界线 (alteration boundary); 14—岩石产状 (attitude of rock)

钨铅矿、钛铁矿、褐铁矿、赤铁矿; 金属硫化物主要有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿; 非金属矿物有铁锂云母、白云母、绿鳞云母、黑云母、微斜长石(天河石)等.

2.2.2 矿石化学成分

取号花岗岩体中 4 件矿石样品 (编号分别为 HQ5、HQ6、BRB01、BRB02) 作 X 射线荧光光谱 (XRF) 主要元素和 ICP-MS 微量元素成分分析, 结果见表 2. 由表 2 可知, 矿石的主要化学成分为 SiO₂ (71.16%~75.96%)、Al₂O₃ (10.76%~15.64%)、K₂O (3.32%~4.09%)、Na₂O (1.08%~4.56%)、FeO (0.78%~3.63%) 和 Fe₂O₃ (0.74%~1.03%), 属于碱性花岗岩系列; 钽、铌、铷金属平均含量为: Ta₂O₅ 0.0134%, Nb₂O₅ 0.0105%, Rb₂O₅ 0.273%, 达到了最低工业品位要求, 具有工业利用价值.

2.2.3 矿石类型

矿石自然类型简单, 为伴生铷的原生 (碱性) 花岗岩型矿石.

1) 按矿物组合及结构构造划分

按岩性特征, 矿石类型分为云英岩化花岗岩铌钽矿、钠长石化云英岩化花岗岩铌钽矿、钠长石化花岗岩铌钽矿 3 种. 其中云英岩化花岗岩铌钽矿一般分布于矿体顶部, 而钠长石化云英岩化花岗岩铌钽矿和钠长

表 2 矿石化学成分
Table 2 Chemical compositions of the ore

样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	FeO	MnO	S
HQ5	72.28	15.38	1.03	0.46	0.13	3.58	4.28	0.016	0.016	0.85	0.19	0.004
HQ6	71.26	15.64	1.03	0.4	0.084	3.32	4.56	0.012	0.013	0.78	0.22	0.004
BRB01	75.96	10.76	0.94	0.058	0.068	4.09	1.08	0.017	0.007	3.63	0.782	
BRB02	74.22	14.17	0.74	0.233	0.061	3.38	3.6	0.0006	0.01	1.55	0.304	
样品号	H ₂ O*	Cl	F	B	WO ₃	Sn	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Rb ₂ O	Li ₂ O	Cs ₂ O	BeO
HQ5	0.79	0.014	4200	2.6	24.19	80.6	121	101	1691	949	30.5	15.6
HQ6	1.3	0.012	6425	4.3	29.44	141	87.7	78.3	1716	1368	50.3	118
BRB01						71.32	205.9	101.52	5325	13808	232.18	1246
BRB02						118.2	123.4	140.3	2171	3216	65.92	16.32

分析单位:内蒙古矿产实验研究所,核工业北京地质研究所.含量单位:主量元素为%(质量分数),微量元素为 10⁻⁶.

石化花岗岩铌钽矿分布于矿体中下部.上述 3 种矿石,其 Ta₂O₅ 或 Nb₂O₅ 含量变化不大.

2) 按化学成分划分

按照化学成分及圈矿工业指标的要求,可划分为铌钽伴生铷矿石:化学成分 Ta₂O₅ 的品位在边界品位以上,且共生组分有 Nb₂O₅,若 Ta₂O₅ ≥ 0.012%,且伴生 Rb₂O 者,称为工业铌钽矿石;若 0.008% ≤ Ta₂O₅ ≤ 0.012%,且伴生 Rb₂O 者,称为低品位铌钽矿石.

3) 按矿石的氧化程度划分

该矿石均属原生矿石,无需划分三带.

4) 矿石的工业类型

按照稀有矿床的分类属于与岩浆气液(中高温)有关的钠长石-锂云母花岗岩型铌、钽、铷矿床.

2.2.4 矿石结构、构造特征

矿石结构为变余花岗结构、交代残余结构、鳞片变晶结构、糖粒状变晶结构.

矿石构造以稀疏浸染状、块状构造为主,次为条带状构造、团块状构造.

3 控矿因素

3.1 构造控矿因素

矿区构造位置处于种畜场-海流特山破碎带中部,是矿区直接的控岩、控矿构造,燕山早期蚀变花岗岩体的长轴展布方向同区域性地层褶皱和断裂构造方向一致.同时蚀变岩体周围的花岗岩、板岩普遍具碎裂结构,这不仅是气成热液的良好通道,也有利于交代作用,对成矿有利.

铌钽矿体多呈壳状产于岩体顶部裂隙密集带的钠化、云英岩化花岗岩中,矿化主要受岩体的微细构造(原生节理及矿物颗粒间的空隙、解理、双晶结合面)和

后生构造裂隙所控制,这些微构造为矿体的直接储矿构造.

3.2 岩浆岩控矿因素

根据稀有金属矿床的地质特征,稀有金属元素主要富集在岩浆阶段末期以至岩浆期后阶段残余岩浆热液的挥发份中.花岗岩呈小岩株、岩墙侵入林西组地层中,易形成封闭或半封闭环境,致使岩浆长期处于熔融状态和挥发份的集中,有利于交代蚀变作用和稀有金属元素的富集.

3.3 矿化富集规律

1) 铌、钽、铷等稀有元素主要存在于钠长石化、云英岩化花岗岩中,含矿岩体多为复式岩体,而钨、锡等元素与云英岩化(石英细脉)有关.

2) 铌钽铷矿体赋存于蚀变花岗岩体的顶部和浅部,与钠长石化或云英岩化作用的强弱呈正相关,岩体交代蚀变现象普遍而强烈,多为面型交代蚀变,蚀变分带不甚明显,各带具有过渡关系,在发育完整的情况下,如 号岩体自上而下依次为云英岩化带-钠化云英岩化带(过渡带)-钠化带(中细粒)-弱钠化带(细中粒).钠化带是铌钽的富集地带,其上部强钠化带、过渡带及云英岩化带具有最明显的富集,具有较高的工业意义.

以 号花岗岩体为例,地表以岩体中南部钠化、云英岩化较强烈,为铌钽富矿地段,矿化连续均匀,探槽中 Ta₂O₅ 平均品位为 0.0158%~0.0184%,(Ta,Nb)₂O₅ 平均品位为 0.282%~0.0355%,伴生 Rb₂O 平均品位为 0.189%~0.233%.该岩体西部,随着钠化、云英岩化逐渐减弱,品位降低,探槽中 Ta₂O₅ 平均品位为 0.012%~0.0128%,(Ta,Nb)₂O₅ 平均品位为 0.0215%~0.0222%,伴生 Rb₂O 平均品位为 0.13%~0.155%.

岩体深部, 随着钠化、云英岩化减弱, 铌钽品位亦随之降低, 矿体出现分支现象且局部可见夹石, 钻孔中 Ta₂O₅ 平均品位为 0.0134%, (Ta, Nb)₂O₅ 平均品位为 0.02234%, 伴生 Rb₂O 平均品位为 0.163%。

4 矿床成因探讨

根据矿床地质特征, 铌钽铷矿体主要赋存于 号蚀变花岗岩体隆起部位的顶部和浅部, 矿体形态明显受岩体控制, 含矿岩体是岩浆早期结晶和岩浆后期交代综合作用的产物。其中热液交代作用是铌钽铷主要成矿阶段: 1) 在岩浆早期阶段, 伴随着构造运动, 花岗岩浆侵入地壳上部, 温度和压力的降低, 使组成花岗岩的主要矿物, 如长石、石英和云母以及一些稀有元素矿物 (如细晶石、云母类矿物、铌铁矿-钽铁矿组矿物等), 从花岗岩岩浆中逐渐结晶出来。在比较稳定的封闭环境中, 由于挥发组分的参与, 降低了熔浆的结晶温度, 粒度变小, 有利于分异作用的形成。随着结晶和分异作用的进行, 形成完好的带状、似层状和透镜状构造的岩体。由于 Nb、Ta 等稀有元素均属大半径的高电荷阳离子, 它们与挥发份都主要富集于花岗质残余岩浆中^[8]。2) 在岩浆后期阶段, 交代作用非常发育。在交代作用早期, 成矿元素大量的从花岗岩中 (主要为更长石和黑云母) 析出并进入溶液。一方面, 在高温高压条件下, 阴离子参与组成络合物, 其活度降低; 另一方面, 碱性元素在高温热液中呈离子状态存在, 热液显示强碱性, 主要表现为微斜长石化 (微斜长石置换斜长石)。微斜长石化主要发生在深部, 有关的矿化为铌和钽族稀土。由于温度、压力的逐渐下降, 络合物开始分解, 阴离子不断从络合物中分出, 导致钠转入溶液, 钠的活度增加, 发生了钠长石化。钠长石化表现为钠长石交代钾长石、早期更长石及石英, 出现特有的“雪球结构”(图 3)。与其共生的矿物有萤石、铌铁矿-钽铁矿组矿物等 (图 4)。钠长石化主要发育在岩体上部, 与之有关的是铌、钽、铷等稀有金属矿化^[1, 7-9]。钠长石化、微斜长石化和钾长石化反映了成矿热液中碱质较高。在交代作用晚期, 随着络合物的不断分解, 溶液中的碱质不断减少, 酸度进一步提高, 最终产生了云英岩化。云英岩化表现为石英和白云母置换长石, 与其共生的矿物还有黄玉、萤石、绿柱石等 (图 4)。云英岩化主要发育在岩体的顶部和边部, 矿化范围进一步缩小, 有关矿化为钽、锂、钨和锡^[7, 10-11]。由于溶液和围岩 (富碱质) 相互作用, 溶液的碱度又不断增高, 导致产生了晚期钠长石化。晚期

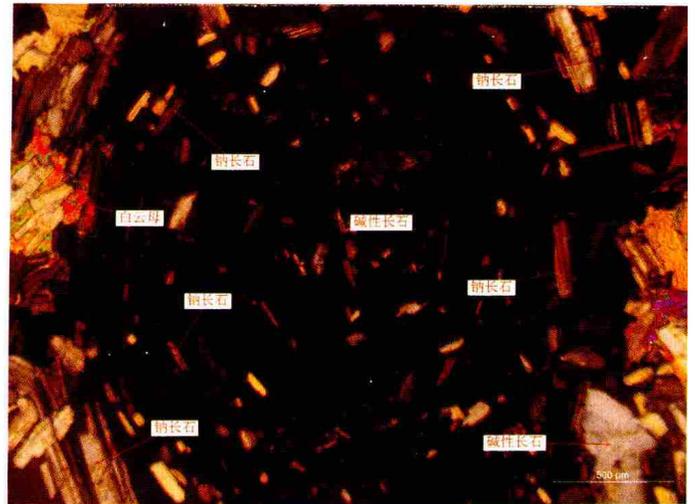


图 3 花岗岩中的“雪球”结构

Fig. 3 The “snowball” structure in granite

矿物	岩 浆 晚 期		岩 浆 期 后	中 低 温 热 液
	微斜长石化	钠长石化	云英岩化	
微斜长石	██████████			
钠长石		██████████		
铁锂云母、白云母			██████████	
绿柱石			██████████	
萤石		██████████		
黄玉		██████████		
电气石			██████████	
锡石			██████████	
黑钨矿			██████████	
铌铁矿-钽铁矿组矿物		██████████		
其他稀有金属矿物		██████████		
绢云母				██████████
金属硫化物				██████████

图 4 不同交代蚀变作用下的矿物共生组合

(据文献 [12] 修改)

Fig. 4 Mineral assemblage under different metasomatic alterations

(Modified from Reference [12])

钠长石化主要集中在岩体的最顶部。在含稀有金属蚀变花岗岩体中, 上述交代作用遵循由弱到强, 由低序级向高序级顺序持续发展, 而不同的稀有金属矿化与不同序级的交代蚀变作用密切相关。

矿区蚀变花岗岩的交代作用沿着微斜长石化-钠长石化系列和黑云母-铁锂云母-白云母系列进行。这两个交代蚀变系列, 既平行演化又相互叠加、交错发展, 产生了相应的蚀变岩石类型: 天河石化花岗岩、钠

① 内蒙古地质勘查院. 内蒙古自治区镶黄旗加不斯矿区铌钽矿勘探报告. 2012.

长石化花岗岩、云英岩化钠长石化花岗岩、云英岩化花岗岩等。而不同的交代蚀变作用又有不同的有益金属元素矿物和有益元素的富集。如铌、钽、铷等稀有金属元素,随着蚀变作用的增强,其含量呈增加的趋势。同时,不同阶段的交代蚀变作用相应产生了不同的矿物共生组合(图4)。

5 结论

本研究矿区是以铌、钽、铷为主的碱性花岗岩型稀有金属矿床,矿石达到最低工业品位,具有工业利用价值。通过探讨矿床地质特征、控矿因素以及矿床成因,可以获得如下认识:

1) 该矿床是前期岩浆结晶和后期热液交代综合作用的产物,热液交代是铌钽铷主要成矿阶段;

2) 从铌钽铷矿化成因和富集规律可知,金属矿化与钠长石化、云英岩化密切相关,且矿体赋存于蚀变花岗岩中,分布上严格受北东向构造的控制,因此,钠长石化、云英岩化的花岗岩是寻找上述稀有金属的直接找矿标志,石灰窑燕山早期花岗岩出露地段很可能是寻找稀有金属矿的有希望地区;

3) 围绕石灰窑花岗岩主岩体周围寻找晚期侵位的

钠长石化花岗岩小岩体的隆起和浅部部位,是寻找铌钽铷矿的基本思路。

参考文献:

- [1] 徐新光,智洪若,付法凯,等. 豫西某锂铌钽矿床成矿地质特征及找矿标志[J]. 西部探矿工程, 2010(4): 156—158.
- [2] 王汾连,赵太平,陈伟. 铌钽矿研究进展和攀西地区铌钽矿成因初探[J]. 2012, 3(2): 293—308.
- [3] 聂凤军,王丰翔,赵宇安,等. 内蒙古赵井沟大型铌钽矿床地质特征及成因[J]. 2013, 32(4): 730—743.
- [4] 程征,伍喜庆,杨平伟. 我国铌钽资源的特征及选矿技术[J]. 金属矿山, 2013(7): 97—100.
- [5] 王盘喜,包民伟. 我国钽铌等稀有金属矿概况及找矿启示[J]. 金属矿山, 2015(6): 92—97.
- [6] 孙艳,王瑞江,李建康,等. 锡林浩特石灰窑铷多金属矿床白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年代及找矿前景分析[J]. 地质论评, 2015, 6(2): 463—468.
- [7] 黄定堂. 江西横峰松树岗钨锡铌钽多金属矿床成因探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(4): 231—236.
- [8] 肖朝阳. 平江湖珮伟晶岩型铌钽矿床地质特征及成因[J]. 华南地质与矿产, 2003(2): 63—67.
- [9] 周旻,曾晓建,陈正钱. 江西葛源稀有金属矿床铌钽赋存状态[J]. 江西有色金属, 2006, 20(4): 1—5.
- [10] 张金明. 江西大吉山钨矿地质特征[J]. 资源调查与环境, 2006, 27(2): 149—152.
- [11] 王军升,王玉往,龙灵利,等. 江西大吉山钨矿地质特征及成矿机制[J]. 2014, 5(2): 249—252.