

何晗晗, 艾尔肯·吐尔孙, 王登红, 等. 新疆别也萨麻斯矿区钽锰矿的矿物学特征及其 TIMS U – Pb 定年[J]. 岩矿测试, 2020, 39(4) :609 – 619.

HE Han – han, ARKIN Tulson, WANG Deng – hong, et al. Mineralogical Characteristics and TIMS U – Pb Dating of Tantalite – (Mn) from the Bieyesamas Rare Metal Deposit, Xinjiang[J]. Rock and Mineral Analysis, 2020, 39(4) :609 – 619.

【DOI: 10. 15898/j. cnki. 11 – 2131/td. 201912150172】

新疆别也萨麻斯矿区钽锰矿的矿物学特征及其 TIMS U – Pb 定年

何晗晗^{1,2}, 艾尔肯·吐尔孙^{3*}, 王登红², 王瑞江², 陈振宇²

- (1. 北京市地质调查研究院, 北京 100195;
2. 自然资源部成矿作用与资源评价国家重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3. 新疆维吾尔自治区有色地质勘查局 701 队, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 钽矿是我国的紧缺资源, 近年来对别也萨麻斯地区钽矿取得了找矿新进展, 包括新矿点的发现以及花岗伟晶岩型稀有金属资源的找矿突破。区内伟晶岩脉广泛发育, 为探究含矿脉体的成矿时代、查明区内典型钽钼矿物的矿物学特征, 本文以 L18 号伟晶岩脉中的钽锰矿为研究对象, 对其物理性质、化学成分、地质年代等进行了分析。应用电子探针测试钽锰矿的化学组成, 热电离质谱法 (TIMS) 测定其 U – Pb 年龄, 确定含矿脉体的形成年代。结果表明, 研究区钽锰矿中 Ta₂O₅ 含量为 51. 58% ~ 74. 80%, 均值 68. 49%, Nb₂O₅ 含量为 6. 15% ~ 27. 63%; 部分主量元素分布不均, 未表现出规律的分带性, 但矿物颗粒中心部位的 CaO 含量较边缘低, 横剖面上 SiO₂ 含量相对稳定, TiO₂ 与 WO₃ 显示不规则波动。这种特征表明钽锰矿并非单纯由结晶分异作用形成, 而是可能受到了后期交代作用的影响。钽锰矿的 U – Pb 年龄为 160Ma, 说明钽锰矿化发生于晚侏罗世早期, 与围岩海西期二云母花岗岩相差甚远, 后者并非 L18 号脉体的成矿母岩。

关键词: 钽锰矿; 别也萨麻斯矿区; 稀有金属; 伟晶岩脉; TIMS U – Pb 测年; 钽钼矿
要点:

- (1) L18 号伟晶岩脉钽锰矿化发生于晚侏罗世早期。
- (2) 海西期二云母花岗岩并非该伟晶岩脉的成矿母岩。
- (3) 钽锰矿主量元素分布特征表明其并非单纯由结晶分异作用形成。

中图分类号: P597. 3; O657. 63 文献标识码: A

钽锰矿属于钽钼矿物钽铁矿 – 钽铁矿一族, 晶体化学式为 (Mn, Fe) Ta₂O₆。钽钼矿物多产于世界各地的伟晶岩和花岗岩中, 如可可托海 3 号伟晶岩脉中的钽钼铁(锰)矿、细晶石、重钽矿等^[1–4], 苏州花岗岩中的钽铁矿和钽钼铁矿^[5], 法国中央高原 Beauvoir 花岗岩中的钽锰矿^[6], 瑞士 Varutrask 花岗伟晶岩中的钽铁矿、锡钽锰矿、重钽铁矿等^[7], 西班牙 LA Canalita 伟晶岩中的钽铁矿、钽锰矿^[8]及斯洛

伐克 Jezuitské Lesy 伟晶岩中的钽铁矿、重钽铁矿等^[9]。前人对于钽钼矿物作了较多研究, 包括矿物的化学成分、物理性质等^[7, 10–13]。近年来, 越来越多的研究倾向于通过含钽副矿物尤其是钽钼矿物的 U – Pb 定年^[14–18], 来确定稀有金属矿床的成矿时代。相较于岩体测年, 稀有金属矿物的年代学测试能够更加真实地反映成矿年龄^[19], 成为确定伟晶岩型稀有金属成矿时代的最佳方法之一^[20], 从而为后

收稿日期: 2019 – 12 – 15; 修回日期: 2020 – 03 – 01; 接受日期: 2020 – 04 – 16

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“中国矿产地志”项目 (DD20190379, DD20160346); 国家重点研发计划项目“我国锂能源金属成矿规律、靶区优选与重点查证”课题 (2017YFC0602701); 中国地质调查局中国矿产地志项目 (DD20190379 – 95)

作者简介: 何晗晗, 硕士, 工程师, 构造地质学专业。E – mail: he. hanhan@ 163. com。

通讯作者: 艾尔肯·吐尔孙, 工程师, 主要从事矿产资源研究。E – mail: arkin701@ 163. com。

续矿床成因研究、找矿预测等提供有利依据。

钽锰矿作为一种重要的铌钽矿物,含量上 $Mn > Fe, Ta > Nb$, 是钽元素的主要赋存矿物之一,此外,钽是我国的紧缺资源^[21-22],对钽锰矿的年代学与矿物学研究具有重要的现实意义。本文选取新疆别也萨麻斯矿区矿化伟晶岩脉中的钽锰矿为研究对象,应用电子探针测试其化学组成,分析矿物的元素分带性;通过应用热电离质谱法(TIMS)测定其 U - Pb 年龄,确定含矿脉体的形成年代,探讨矿化与围岩花岗岩侵入体的成因联系,以期为区内后续稀有金属找矿工作提供思路。

1 地质背景

1.1 矿区地质概况

别也萨麻斯矿区位于可可托海稀有金属矿床的北部,其大地构造位置属于西伯利亚板块阿尔泰陆缘活动带的诺尔特晚古生代火山带^[23]。区内出露

地层主要有下泥盆统诺尔特组、上泥盆统忙代恰组、上泥盆统库马苏组、下石炭统红山嘴组^[23]以及全新统冲洪积物^[24],岩性以凝灰岩、碎屑岩、绢云绿泥千枚岩、火山沉积岩等为主。构造上,区内发育多组断裂,如库热克特断裂(又名红山嘴或诺尔特),总体呈 NW - SE 向展布(图 1a)。区内侵入岩以花岗岩为主,包括二云母花岗岩、黑云母花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩等^[3,23]。二云母花岗岩体出露面积达上千平方公里,呈巨大的岩基状向 NWW 向延伸。二云母花岗岩体可分为外部边缘黑云母花岗岩(或二长花岗岩)相和内部二云母花岗岩(或钾长花岗岩)相,外部为中细粒结构,向中心逐渐过渡为中粗粒、似斑状结构。矿物组成主要为斜长石、微斜长石、石英、黑云母、白云母和少量钠长石。研究区伟晶岩脉体广泛发育(图 1b),根据其空间分布关系,将别也萨麻斯稀有金属矿区划分为三个伟晶岩密集区:阿克布拉克区、别也萨麻斯区和马伊普特区。

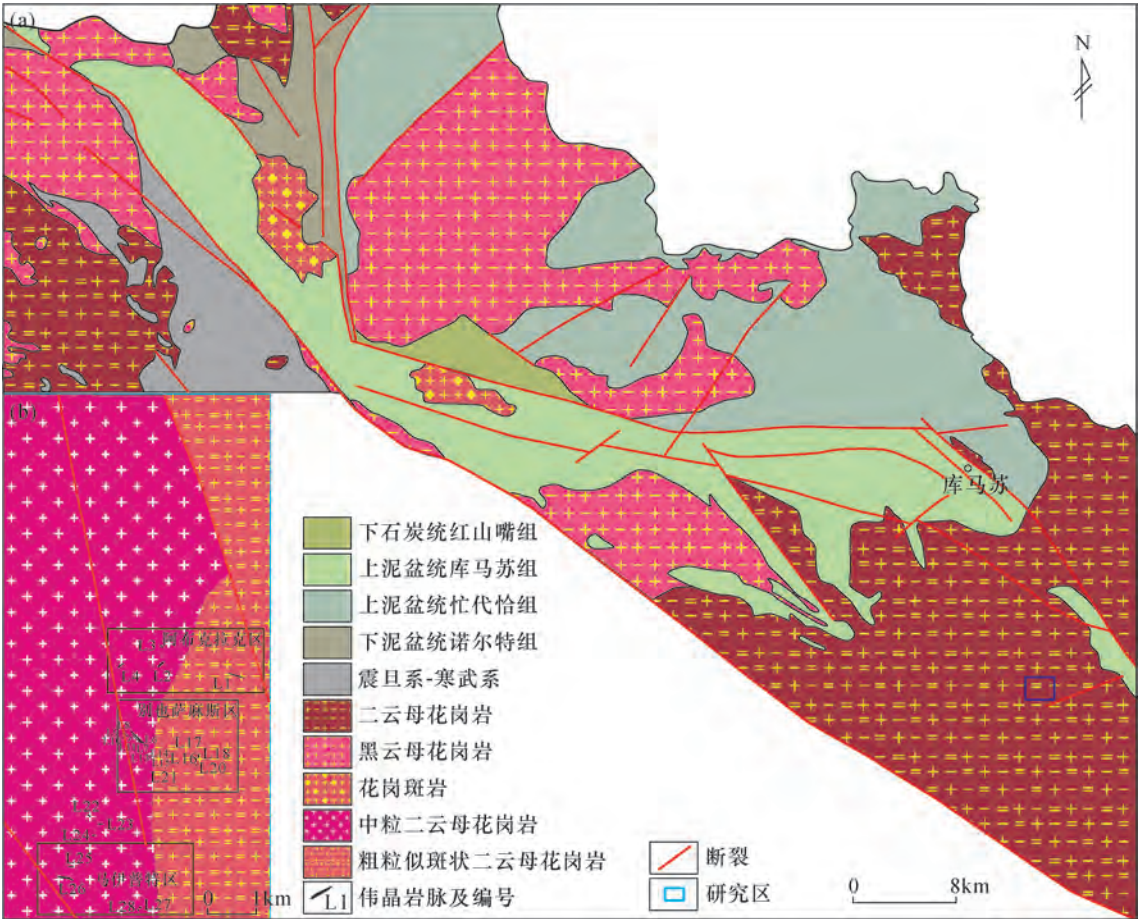


图1 (a)新疆北阿尔泰区域地质简图(据文献[23]);(b)别也萨麻斯矿区地质简图
Fig.1 (a) Geological sketch map of North Altay in Xinjiang (after Reference [23]); (b) Geological sketch map of Bieyesamasi orefield

1.2 别也萨麻斯区伟晶岩脉

别也萨麻斯含矿伟晶岩脉群位于富蕴县额尔齐斯河上游东侧,脉群地处阿尔泰山高山区,海拔 2300 ~ 3200m,为高山深切割区^[3],区内共发现 12 条伟晶岩脉,样品编号为 L6 ~ L21。

区内出露海西期二云母花岗岩(钾长花岗岩),仅局部被第四系残坡积及冲积物覆盖^[3]。别也萨麻斯伟晶岩脉主要分布在粗粒、似斑状二云母花岗岩与中粒二云母花岗岩的接触界带,以中细粒结构居多,受控于二云母花岗岩中的原生层节理和区域北西向构造所伴生或派生的构造裂隙,并受到后期断裂和褶皱构造的破坏^[22]。伟晶岩脉的主要造岩矿物有微斜长石、石英、白云母及少量的钠长石,常见的副矿物有磷灰石、锆石、电气石、石榴子石等,主要的稀有元素矿物有锂辉石、铌钽矿物、绿柱石以及少量的锂霞石、锂蒙脱石等^[3]。

本文研究的钽锰矿采集于 L18 号脉,该伟晶岩脉体产于海西期二云母花岗岩内,走向 220°,与围岩界线清楚。脉体可以划分为石英 – 白云母与石英核 2 个结构带,石英 – 白云母结构带占全脉断面积的 30%,石英核占全脉断面积的 70%。稀有金属矿物主要为铌钽铁矿、绿柱石,其中铌钽铁矿呈黑色,板状,晶体大小(1 ~ 3) cm × (1 ~ 2) cm × (0.5 ~ 1) cm;绿柱石呈淡绿色,晶形不完整,粒径约 2 ~ 5 cm。

2 实验部分

2.1 实验样品

钽锰矿是铌铁矿 – 钽铁矿族的一种。铌铁矿 – 钽铁矿族属斜方晶系,晶形多呈短柱状,沿(100)呈板状晶体,常见直角柱形,柱体末端呈锐角状。研究区 L18 号伟晶岩脉钽锰矿呈直角柱状,黑褐色,半金属光泽。本次采集的钽锰矿颗粒质量 18.7 g,体积 2.5 cm³,相当于密度为 7.48 g/cm³,与钽铁矿一致,比铌铁矿高(铌铁矿的比重为 5.2 ~ 6.25,钽铁矿的比重为 6.25 ~ 8.25^[10])。

2.2 电子探针分析

钽锰矿成分分析是在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室完成,使用仪器为 JXA – 8230 型电子探针,其工作条件为:加速电压 15 kV,探针电流 20 nA,光束直径为 5 μm。电子探针工作条件和矿物标样参见表 1。

2.3 钽锰矿 TIMS U – Pb 同位素年代学研究

为了查明钽锰矿的形成时代及其与围岩二云母

表 1 电子探针工作条件

元素	晶体	线系	计数时间(s)		矿物标样	检测限 (μg/g)
			峰	背景		
Na	TAP	Kα	10	5	硬玉	71 ~ 87
Mg	TAP	Kα	10	5	镁橄榄石	65 ~ 74
Al	TAP	Kα	10	5	硬玉	77 ~ 81
K	PETJ	Kα	10	5	钾长石	48 ~ 53
Ca	PETJ	Kα	10	5	硅灰石	64 ~ 77
Si	PETJ	Kα	10	5	硬玉	83 ~ 96
Fe	LIF	Kα	10	5	赤铁矿	87 ~ 99
Ti	LIF	Kα	10	5	金红石	236 ~ 244
P	PETJ	Kα	10	5	磷灰石	84 ~ 93
Cr	LIFH	Kα	10	5	三氧化二铬	112 ~ 137
Mn	LIFH	Kα	10	5	氧化锰	104 ~ 113
Ni	LIF	Kα	10	5	氧化镍	136 ~ 154
Nb	PETJ	Lα	10	5	铌酸钾	150 ~ 170
Ta	PETJ	Mα	10	5	钽酸锂	190 ~ 210

花岗岩体的关系,本次在中国地质调查局天津地质调查中心实验室进行了 TIMS U – Pb 同位素分析测试。使用仪器为美国 ThermoFisher 公司生产的 Triton 热电离质谱仪,该质谱仪配置 9 个法拉第杯和 9 个离子计数器接收器以及 1 个带有正负离子的电子倍增器,能够进行快速峰切换,接收器有效接收能力为 17% 的相对质量范围,仪器具有正负离子检测功能。在利用 Triton 热电离质谱仪测定样品前,使用国际上通用的铅标准物质 SRM982、铀标准物质 U – 500 对仪器进行优化校准。ID – TIMS 数据处理使用 PBDAT 程序^[25],不一致线和平均权重计算及作图使用 Isoplot 程序^[26],利用 Stacey – Kramers^[27]模式进行普通铅校正。

钽锰矿样品溶样及同位素稀释 – 热电离质谱(ID – TIMS)的 U、Pb 化学分离实验详细流程和条件,与金红石类似。首先对待测样品进行清洗,除去表面有机物及杂质,采用同位素稀释法进行 U – Pb 定年,钽锰矿的溶解,U、Pb 分离和质谱分析具体流程参见周红英等^[28]。

3 结果与讨论

3.1 钽锰矿电子探针分析结果

别也萨麻斯稀有金属矿区钽锰矿的电子探针测试结果见表 2。测点(BY – 1 – 1 ~ BY – 7 – 4)共计 42 个,均位于横跨钽锰矿横剖面的一条直线(近于直线)上(图 2a ~ g),因此各点的主微量成分可以反映钽锰矿由边部到中心的化学成分变化特征。

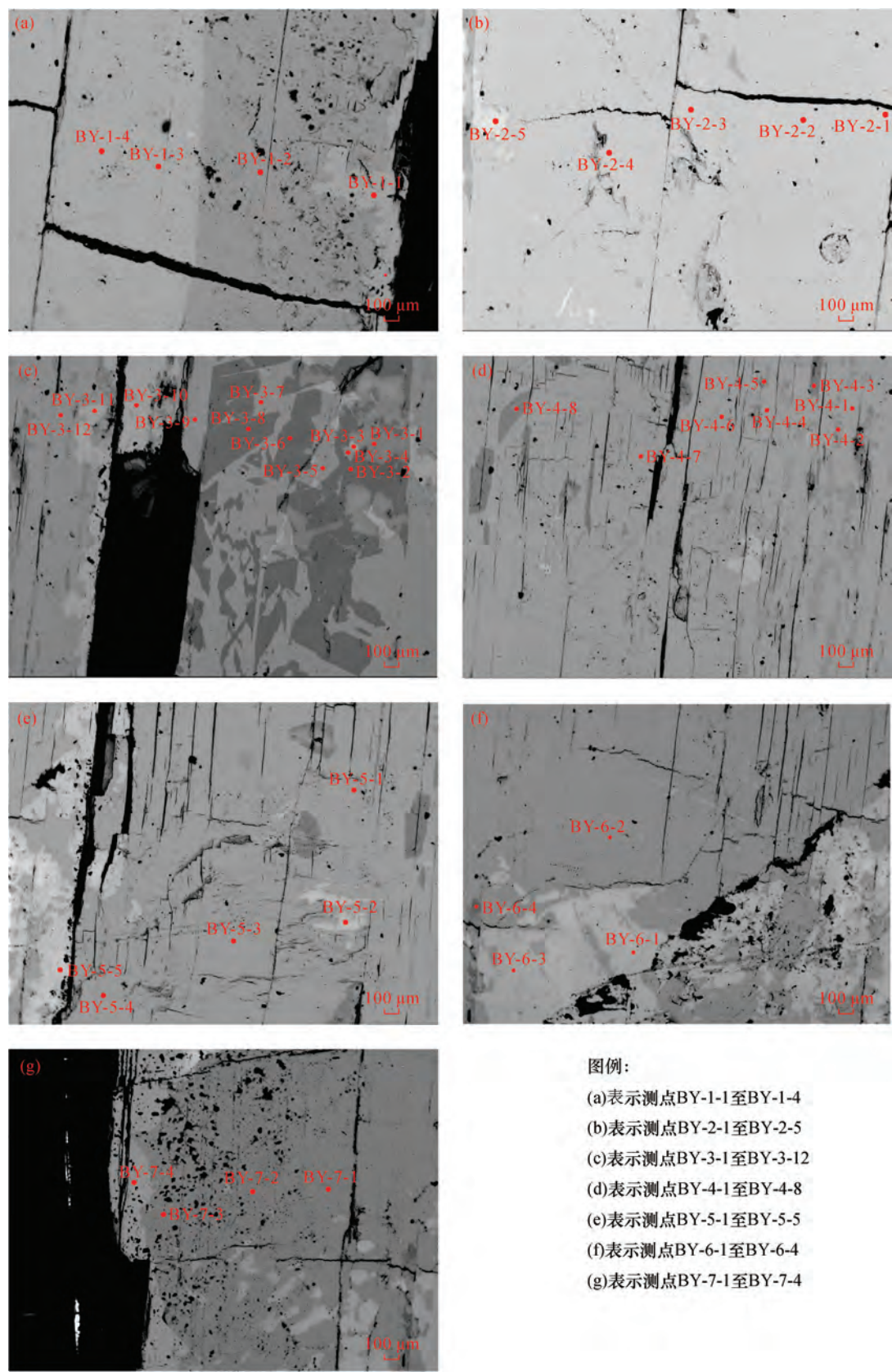


图2 钽锰矿背散射点位

Fig.2 Point locations for electron microprobe analyses of tantalite – (Mn)

表 2 别也萨麻斯矿区钽锰矿的电子探针分析结果

Table 2 Electron microprobe analyses of tantalite – (Mn) from Bieyesamasi orefield

测点	含量(%)													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	CaO	FeO	MnO	WO ₃	ZrO ₂	ThO ₂	UO ₂	V ₂ O ₃	TiO ₂	合计
BY – 1 – 1	0.35	–	60.85	19.77	0.006	1.50	13.69	3.68	0.044	0.049	–	–	0.063	100.00
BY – 1 – 2	0.36	–	60.02	19.39	–	1.32	15.11	3.88	–	0	0.075	–	0.156	100.31
BY – 1 – 3	0.48	0.003	73.43	6.71	–	1.12	13.49	4.34	0.019	0.057	–	0.005	0.072	99.72
BY – 1 – 4	0.41	0.020	72.09	7.52	0.033	1.09	14.05	4.46	0.117	–	0.017	–	0.062	99.86
BY – 2 – 1	0.49	–	72.19	6.79	0.015	1.29	14.26	4.21	–	0.018	–	0.015	0.123	99.40
BY – 2 – 2	0.45	0.011	70.19	9.20	0.003	1.33	14.24	5.38	0.014	0.043	0.007	0.002	0.090	100.95
BY – 2 – 3	0.46	0.020	69.99	10.11	0.039	1.13	14.03	4.43	0.085	–	0.010	–	0.090	100.39
BY – 2 – 4	1.14	–	69.82	9.56	0.003	1.10	14.44	4.38	0.081	–	0.028	–	0.095	100.64
BY – 2 – 5	0.40	–	74.61	7.85	0.017	0.96	12.48	2.54	0.021	0.012	–	–	0.175	99.06
BY – 3 – 1	0.22	0.016	59.12	26.99	0.003	1.10	10.52	2.30	–	–	–	–	0.098	100.37
BY – 3 – 2	0.34	0.003	53.25	26.12	0.012	2.08	15.00	3.49	–	0.022	0.003	–	0.037	100.36
BY – 3 – 3	0.42	–	73.00	10.86	0.040	0.96	11.50	2.85	–	–	–	0.006	0.079	99.71
BY – 3 – 4	0.49	–	72.26	7.88	–	1.17	13.95	4.30	0.083	–	0.001	0.005	0.036	100.18
BY – 3 – 5	0.50	–	73.10	7.35	0.023	1.09	14.20	2.50	0.007	–	–	0.023	0.103	98.89
BY – 3 – 6	0.35	0.008	52.76	26.61	0.022	1.78	15.46	3.23	–	–	0.015	–	0.058	100.28
BY – 3 – 7	0.46	–	74.65	6.15	0.047	1.23	14.30	2.62	0.064	–	0.026	0.006	0.069	99.61
BY – 3 – 8	0.36	–	52.69	26.60	0.034	1.69	15.54	3.53	0.002	0.018	0.009	–	0.010	100.48
BY – 3 – 9	0.46	0.014	73.50	6.31	–	1.13	13.99	4.16	0.026	–	0.023	0.031	0.097	99.75
BY – 3 – 10	0.42	–	73.68	7.56	0.031	0.96	13.04	4.11	0.026	–	–	0.066	0.049	99.94
BY – 3 – 11	0.43	0.016	74.12	6.76	0.005	1.10	14.39	2.38	0.002	–	0.009	–	0.125	99.34
BY – 3 – 12	0.45	–	72.75	9.01	0.042	1.14	14.22	2.19	0.064	0.001	0.024	0.011	0.100	100.01
BY – 4 – 1	0.42	0.006	72.50	6.81	0.007	1.17	14.15	4.58	0.105	–	0.019	0.002	0.064	99.82
BY – 4 – 2	0.37	–	63.48	16.88	–	4.11	11.86	2.19	–	0.002	–	–	0.176	99.06
BY – 4 – 3	0.31	–	51.58	27.07	–	1.48	15.50	3.26	–	0.023	0.006	0.003	0.126	99.35
BY – 4 – 4	0.45	0.010	73.04	7.50	–	1.13	14.57	2.57	0.028	0.037	–	0.014	0.102	99.45
BY – 4 – 5	0.37	–	63.67	16.81	–	4.85	11.88	1.89	–	–	0.017	0.009	0.189	99.68
BY – 4 – 6	0.44	0.006	73.13	8.34	0.026	1.24	14.25	2.09	0.033	0.005	–	0.037	0.023	99.62
BY – 4 – 7	0.44	0.017	69.90	9.38	–	1.11	14.58	4.51	0.069	0.011	0.025	0.028	0.087	100.17
BY – 4 – 8	0.40	0.012	57.70	23.94	0.001	1.85	14.75	1.69	–	0.020	–	0.014	0.029	100.40
BY – 5 – 1	0.42	–	71.60	8.51	0.001	1.13	13.82	4.45	0.137	0.029	0.048	–	0.010	100.15
BY – 5 – 2	0.290	–	73.32	17.19	0.015	0.42	6.38	1.96	0.021	0.020	–	–	0.023	99.64
BY – 5 – 3	0.44	0.007	71.12	7.44	0.027	1.19	14.42	5.41	0.164	–	–	–	0.095	100.32
BY – 5 – 4	0.46	0.008	74.04	6.53	–	1.08	14.27	3.42	0.045	–	0.023	–	0.061	99.94
BY – 5 – 5	0.32	0.009	74.80	8.08	0.006	1.04	11.72	3.42	0.002	0.015	–	0.050	0.135	99.59
BY – 6 – 1	0.39	–	73.60	22.90	–	0.04	0.42	2.37	–	0.011	–	–	0.064	99.80
BY – 6 – 2	0.43	–	71.94	10.69	0.042	1.16	13.15	2.06	0.057	–	0.024	–	0.061	99.61
BY – 6 – 3	0.20	–	70.12	25.45	0.013	0.08	1.30	2.42	0.043	0.030	–	0.02	0.020	99.68
BY – 6 – 4	0.30	0.012	53.04	27.63	0.028	1.79	14.57	1.37	0.029	–	0.017	–	0.123	98.91
BY – 7 – 1	0.44	0.010	71.15	9.24	0.024	1.14	13.20	4.26	0.116	–	–	0.028	0.061	99.66
BY – 7 – 2	0.44	0.025	72.91	8.75	–	0.98	13.37	2.46	0.133	–	–	–	0.074	99.14
BY – 7 – 3	0.45	0.002	72.02	8.55	–	1.04	13.57	4.08	0.107	0.054	–	–	0.094	99.98
BY – 7 – 4	0.38	0.031	73.73	12.70	0.014	0.78	9.71	1.76	–	–	0.009	–	–	99.12

注:所有测点位于同一矿物,测点对应位置参见图 2; “–”表示未检出。

钽锰矿在电子探针镜下呈三种不同颜色:浅灰白色、灰白色及灰色(图 2a ~ g),但未表现出分带性。钽锰矿中 Ta₂O₅ 含量也可划分为三个范围:51% ~ 58%、59% ~ 64%、69% ~ 75%,电子探针镜下颜色较浅的钽锰矿中 Ta₂O₅ 含量较高。Ta₂O₅ 含

量介于 51.58% ~ 74.80% 之间,均值 68.49%; Nb₂O₅ 含量介于 6.15% ~ 27.63% 之间,均值 13.23%; Ta₂O₅ + Nb₂O₅ 含量为 78.56% ~ 96.50%,均值 81.71%; Ta₂O₅/Nb₂O₅ = 1.91 ~ 12.14,变化较大,均值 6.94; WO₃ 含量较高,远高于南平伟晶岩中

的锡钽锰矿 (WO_3 含量为 $0.25\%^{[11]}$) 以及俄罗斯 Kolmozero 伟晶岩中的钽锰矿 (WO_3 含量为 $0.116\%^{[12]}$)。这与 W、Sn、Zr 地球化学性质接近,易于发生类质同象替代有关^[11-12]。

将本次测定的钽锰矿与世界各地伟晶岩中该矿物的化学成分数据投于钽铁矿-钽铁矿四方图中(图 3a,b),该图显示别也萨麻斯钽锰矿的 $\text{Ta}/(\text{Ta} + \text{Nb})$ 比值略小,但变化较大。钽钽族矿物的化学通式为 AB_2O_6 ,其中 $\text{A} = \text{Na}、\text{K}、\text{Ca}、\text{Mg}、\text{Mn}、\text{Fe}^{2+}、\text{Pb}^{2+}、\text{Sb}^{3+}、\text{Bi}、\text{U}、\text{Th}$; $\text{B} = \text{Nb}、\text{Ta}、\text{Ti}、\text{Zr}、\text{Fe}^{3+}、\text{Sn}^{4+}$ 等^[1]。以 6 个氧原子为基础计算钽钽锰矿晶体化学式为: $(\text{Mn}_{0.838}\text{Fe}_{0.080}\text{Ca}_{0.001})_{0.919}(\text{Ta}_{1.468}\text{Nb}_{0.449}\text{W}_{0.068}\text{Si}_{0.033}\text{Ti}_{0.005}\text{Zr}_{0.002})_{2.025}\text{O}_6$ 。

3.2 钽锰矿 TIMS U - Pb 定年结果

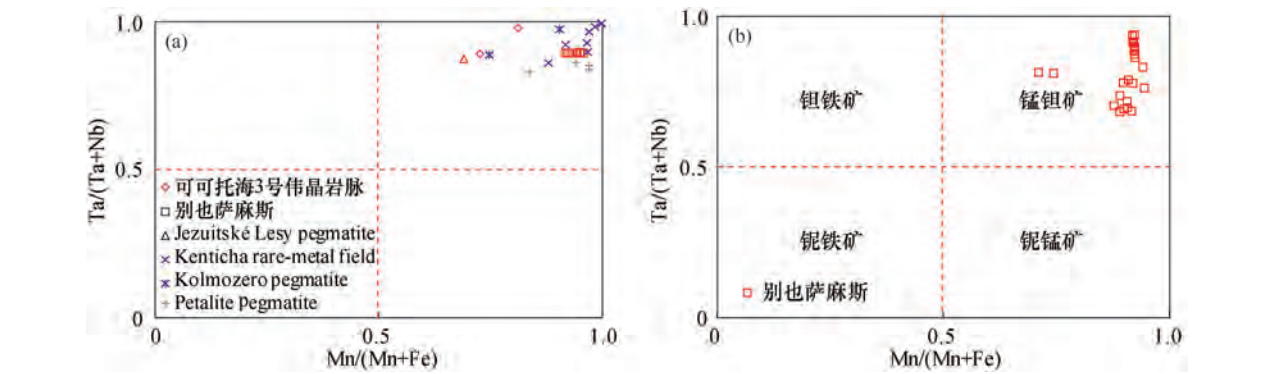
所研究的钽锰矿采集于别也萨麻斯矿区 L18 号

伟晶岩脉,呈直角柱状,黑褐色,半金属光泽。TIMS 钽锰矿 U - Pb 测年结果如表 3 和图 4 所示。

该钽锰矿样品 2 次测试(测号: H - N - 1、H - N - 2)中 U 含量为 13.112mg/g 、 11.845mg/g , Pb 含量为 3.192mg/g 、 5.421mg/g , U - Pb 谐和年龄为 $160.13 \pm 0.32\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.00095, n = 2$), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 平均年龄为 $160.1 \pm 1.1\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.0057, n = 2$)。这是本文应用 TIMS 方法获得钽锰矿的 U - Pb 年龄,此次获得的谐和年龄与平均年龄在误差范围内一致,表明区内钽锰矿化主要发生于晚侏罗世早期。

4 矿化伟晶岩脉与围岩花岗岩的成因联系

根据岩浆演化规律,由岩浆热液形成的稀有金属矿物,酸性组分趋于晚期富集。同一矿物颗粒,边



可可托海 3 号伟晶岩脉据文献[4]; 别也萨麻斯为自测; Jezuitské Lesy pegmatite 据文献[9]; Kenticha rare - metal field 据文献[29]; Kolmozero pegmatite 据文献[12]; Petalite pegmatite 据文献[30]。

图3 (a) 不同地区钽钽矿物成分关系;(b) 别也萨麻斯伟晶岩脉钽锰矿矿物成分关系图

Fig. 3 (a) $\text{Mn}/(\text{Mn} + \text{Fe})$ versus $\text{Ta}/(\text{Ta} + \text{Nb})$ of columbite - tantalites in different mining areas; (b) $\text{Mn}/(\text{Mn} + \text{Fe})$ versus $\text{Ta}/(\text{Ta} + \text{Nb})$ of tantalite - (Mn) from Bieyesamasi pegmatite vein

表3 别也萨麻斯矿区钽锰矿 TIMS U - Pb 分析结果

Table 3 TIMS U - Pb dating data of tantalite - (Mn) from Bieyesamasi orefield					
参数	测号 H - N - 1	测号 H - N - 2	参数	测号 H - N - 1	测号 H - N - 2
U (mg/g)	13.112	11.845	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0.0490	0.0494
Pb (mg/g)	3.192	5.421	误差(%)	6.98	10.90
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	25.34	22.02	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (Ma)	160.1	160.2
误差(%)	0.087	0.004	1σ	0.7	1.0
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	0.1701	0.1715	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄 (Ma)	159.5	160.7
误差(%)	7.34	11.40	1σ	11.7	18.3
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	0.0251	0.0252	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄 (Ma)	150.2	168.2
误差(%)	0.431	0.61	1σ	10.5	18.3

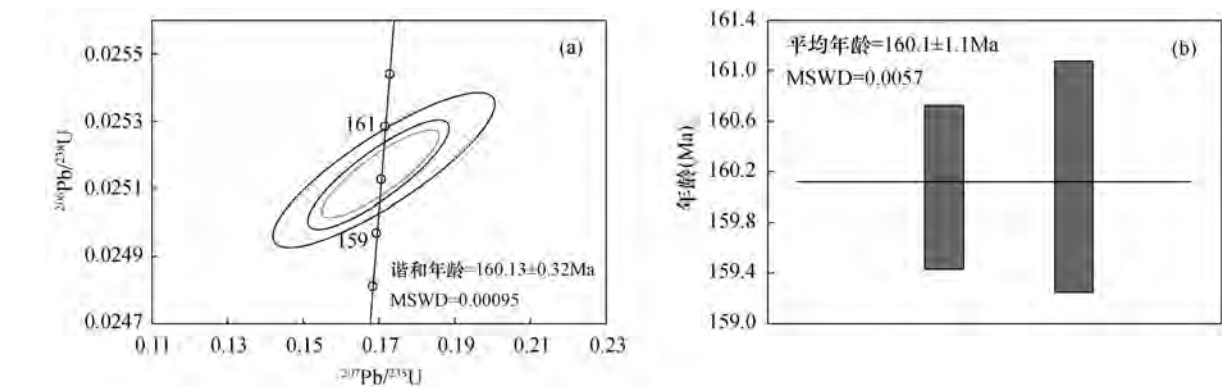


图 4 别也萨麻斯矿区钽锰矿(a)TIMS U - Pb 年龄谐和图与(b)加权平均年龄
Fig. 4 (a) TIMS U - Pb concordia diagram and (b) the weighted mean ages of tantalite - (Mn) from Bieyesamasi orefield

部的 SiO_2 、 WO_3 一般高于中心,而 CaO 、 FeO 等低于中心,但本次分析结果并不符合这种规律(图 5a~d)。别也萨麻斯 L18 号伟晶岩脉的钽锰矿,中心位置 CaO 含量较边部低, SiO_2 含量除在 BY-2 点处增高至 1.14% 外,在其余点处变化不大。因此钽锰矿并非单纯的由结晶分异作用形成,应当受到后期交代作用的影响:一方面发生 SiO_2 的带出与 CaO 的带入,另一方面也可能对已晶出的稀有金属矿物重熔和捕集,并在有利条件下进一步富集。

L18 号伟晶岩脉在空间上分布于中粗粒似斑状二云母花岗岩内,本次通过 TIMS 方法所获得的钽锰

矿 U - Pb 年龄为 $160.1 \pm 1.1 \text{ Ma}$ 。这一数据与矿区内石英 - 锂辉石伟晶岩脉的锆石 U - Pb 年龄 ($151.0 \pm 1.8 \text{ Ma}$)^[23]、锂矿区伟晶岩锆石 LA - ICP - MS U - Pb 年龄 (151 Ma)^[20] 相近,表明别也萨麻斯矿区的含矿伟晶岩形成于晚侏罗世。阿尔泰地区在二叠纪 - 侏罗纪期间出现了连续的成矿作用,形成了特色且复杂的稀有金属矿床^[20]。此次年龄数据表明别也萨麻斯钽锰矿化处于这一密集成矿期的末尾。L18 号伟晶岩脉的围岩为二云母花岗岩,形成于海西期 (449 Ma ^[23]; $412 \sim 396 \text{ Ma}$ ^[20,31]),脉体与围岩侵入体在空间上密不可分,但二者形成时代相差甚远,因此二云母花岗岩

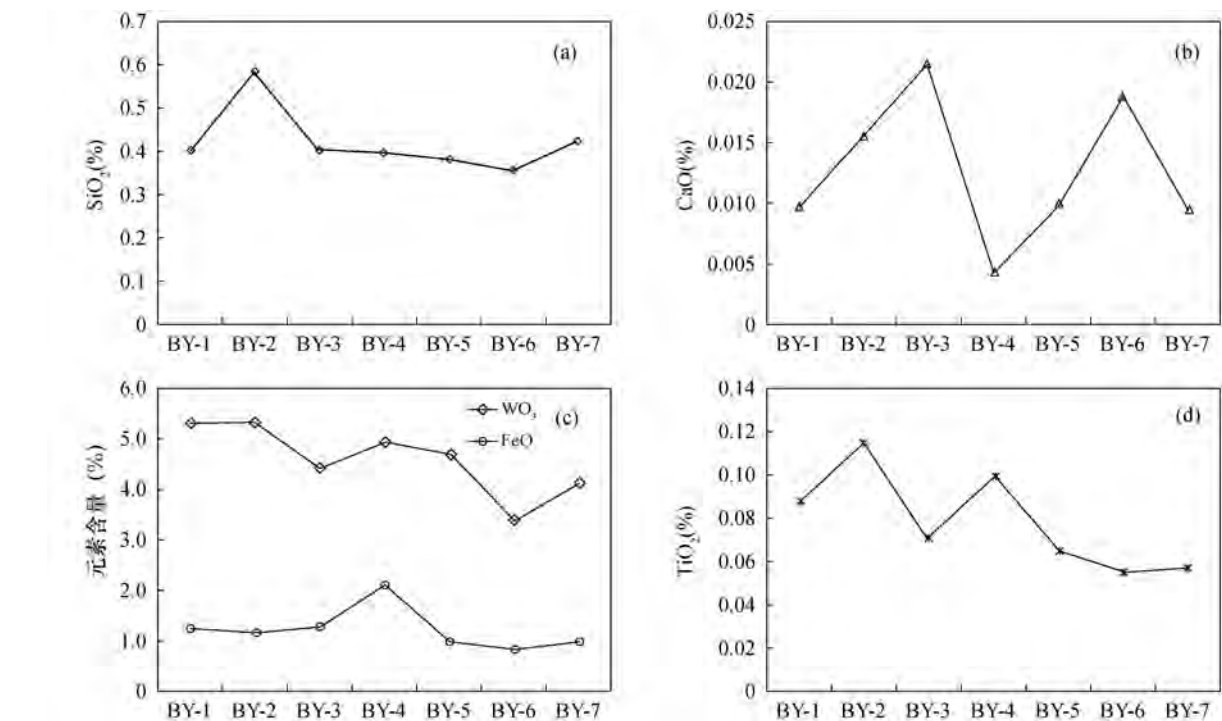


Fig. 5 钽锰矿横截面上的各成分含量变化(边部—中心—边部)
Fig. 5 Content variation of major elements along the tantalite - (Mn)'s cross section (edge—center—edge)

并非矿化伟晶岩的直接成矿母岩。此外,有学者^[23]研究表明别也萨麻斯含矿伟晶岩脉与二云母花岗岩的锆石 Hf 同位素组成具有一定差异,暗示二者的成岩物质来源不同,是不同演化阶段的产物,进一步证明了二者不具有成因联系。

此类伟晶岩矿化与围岩花岗岩不具有成因联系的情况并非个例。如王登红等^[32-34]研究发现可可托海3号脉形成于印支晚期—燕山期,也明显晚于其直接围岩——辉长岩及附近的海西期花岗岩;杨富全等^[20]测得阿尔泰地区沙依肯布拉克铍矿区的伟晶岩(202Ma)和稀有金属成矿与围岩花岗岩(406~531Ma)无关。至于出现这一现象的原因,存在两种可能性:①伟晶岩脉附近或深部存在与伟晶岩型稀有金属(本文指铌钽矿)矿化具有成因联系的燕山期花岗岩体;②缺失伟晶岩母体花岗岩,即深部岩浆房中的花岗岩熔体在地幔或下地壳流体的作用下发生了长期的分异演化,进一步形成了独立的伟晶岩岩浆。

5 结论

钽锰矿是稀有金属钽的主要赋存矿物之一,相较于铌铁矿、钽铁矿等常见铌钽矿物而言并不易见,对其研究有限。别也萨麻斯稀有金属矿区 L18 号伟晶岩脉中发育典型的钽锰矿,晶形完整粒度较大。本文以矿区内采集的钽锰矿为研究对象,通过电子探针、TIMS U-Pb 测年等方法,获得了钽锰矿的化学组成、形成年龄,计算了其晶体化学式,分析了矿化与围岩花岗岩的成因联系。主要结论概括为以下几点。

(1)采集于别也萨麻斯矿区 L18 号伟晶岩脉中的钽锰矿,呈直角柱状,黑褐色,半金属光泽,密度为 $7.48\text{g}/\text{cm}^3$,与钽铁矿一致。

(2)钽锰矿的成分不均,未表现出规律的分带性,但矿物颗粒中心部位的 CaO 含量较边部低,FeO 含量较边部高。矿物横剖面上 SiO_2 含量相对稳定, TiO_2 与 WO_3 显示不规则的波动。这种特征表明钽锰矿并非单纯的由结晶分异作用形成,也受到了后期交代作用的影响。

(3)通过 TIMS 法对钽锰矿 U-Pb 测年获得其成矿年龄为 160Ma,远远晚于围岩二云母花岗岩,后者并非 L18 号伟晶岩脉的成矿母岩体。

致谢: TIMS 钽锰矿 U-Pb 测年工作得到了中国地质科学院矿产资源研究所侯可军副研究员的帮助,核工业北京地质研究院科技信息研究所范光研究员提供了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

6 参考文献

- [1] 王贤觉,邹天人,徐建国,等.阿尔泰伟晶岩矿物学研究[M].北京:科学出版社,1981:1-140.
Wang X J, Zou T R, Xu J G, et al. Mineralogy of pegmatite in Altay [M]. Beijing: Science Press, 1981: 1-140.
- [2] 王贤觉,牛贺才,郭国章.阿尔泰三号伟晶岩脉岩浆演化过程中铌、钽示踪的研究[J].地球化学,1998,27(1):1-11.
Wang X J, Niu H C, Guo G Z. The tracking study of Nb and Ta in magmatic evolutionary process for pegmatite vein No. 3, Altay, China [J]. Geochimica, 1998, 27(1): 1-11.
- [3] 陈毓川,叶庆同,王京彬,等.中国新疆阿尔泰成矿带矿床地质、成矿规律与技术经济评价[M].北京:地质出版社,2003:1-401.
Chen Y C, Ye Q T, Wang J B, et al. The mineral deposits, metallogeny, technical and economic evaluation in Altay metallogenic belt, Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 1-401.
- [4] 张爱铤,王汝成,胡欢.新疆阿尔泰可可托海3号伟晶岩脉重钽铁矿研究[J].高校地质学报,2003,9(2):268-272.
Zhang A C, Wang R C, Hu H. Tapiolite from the Koktokay No. 3 rare metal granitic pegmatite dyke, Altai, Xinjiang Autonomous Region [J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(2): 268-272.
- [5] 夏建明,陈邦建.苏州富铌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.
Xia J M, Chen B J. Material composition of niobium and tantalum - rich granite and study of tantalum's occurrence state in Suzhou of Jiangsu Province [J]. Geology of Jiangsu, 1999, 23(4): 236-240.
- [6] 王汝成,Monchoux P,Fontan F.法国中央高原 Beauvoir 花岗岩中铌钽矿的带状构造:类型、化学成分和形成条件[J].矿物学报,1991,11(3):225-233.
Wang R C, Monchoux P, Fontan F. Zoning in columbite crystals from the Beauvoir granite, massif central, France: Types, composition and constraints on their formation [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1991, 11(3): 225-233.
- [7] Cerny P, Chapman R, Ferreira K, et al. Geochemistry of oxide minerals of Nb, Ta, Sn, and Sb in the Varutrask granitic pegmatite, Sweden: The case of an "anomalous" columbite - tantalite trend [J]. American Mineralogist, 2004, 89: 505-518.
- [8] Llorens T, Moro M C. Microlite and tantalite in the LCT

- granitic pegmatites of LA Canalita, Navasfrías Sn - W district, Salamanca, Spain [J]. The Canadian Mineralogist, 2010, 48: 375 - 390.
- [9] Chudík P, Uher P, Gadas P, et al. Niobium - tantalum oxide minerals in the Jezuitské Lesy granitic pegmatite, Bratislava Massif, Slovakia: Ta to Nb and Fe to Mn evolutionary trends in a narrow Be, Cs - rich and Li, B - poor dike [J]. Mineralogy and Petrology, 2011, 102: 15 - 27.
- [10] 刘源俊, 黎家祥, 胡蓉. 钽铋地质及普查勘探 [M]. 北京: 地质出版社, 1979: 1 - 191.
- Liu Y J, Li J X, Hu R. Geology and general exploration of niobium - tantalum [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979: 1 - 191.
- [11] 王文瑛, 杨岳清, 陈成湖, 等. 福建南平花岗伟晶岩中的钽铋矿物学研究 [J]. 福建地质, 1999, 20 (3): 113 - 134.
- Wang W Y, Yang Y Q, Chen C H, et al. Study on the Nb and Ta - minerals from the granitic pegmatites in Nanping, Fujian Province [J]. Geology of Fujian, 1999, 20 (3): 113 - 134.
- [12] Badanina E V, Sitnikova M A, Gordienko V V, et al. Mineral chemistry of columbite - tantalite from spodumene pegmatites of Kolmozero, Kola Peninsula (Russia) [J]. Ore Geology Review, 2015, 64: 720 - 735.
- [13] Shao T, Jiang K, Liu Y, et al. Geochemistry and a metal - logenic model for Nb - Ta - bearing granitic pegmatites from the Northern Qaidam Basin [J]. Geological Journal, 2018, 53 (Supplement 1): 113 - 123.
- [14] Che X D, Wang R C, Wu F Y, et al. Episodic Nb - Ta mineralisation in South China: Constraints from *in situ* LA - ICP - MS columbite - tantalite U - Pb dating [J]. Ore Geology Review, 2019, 105: 71 - 85.
- [15] Zhou Q F, Qin K Z, Tang D M, et al. LA - ICP - MS U - Pb zircon, columbite - tantalite and $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ muscovite age constraints for the rare - element pegmatite dykes in the Altai orogenic belt, NW China [J]. Geological Magazine, 2018, 155 (3): 707 - 728.
- [16] Yan Q H, Qiu Z W, Wang H, et al. Age of the Dahongliutan rare metal pegmatite deposit, West Kunlun, Xinjiang (NW China): Constraints from LA - ICP - MS U - Pb dating of columbite - (Fe) and cassiterite [J]. Ore Geology Reviews, 2018, 100: 561 - 573.
- [17] Singh Y, Sastry D V L N, Bagora S, et al. Dating of columbite - tantalite and monazite from pegmatites of the Kawadgaon - Challanpara area, Bastar Craton, Central India [J]. Journal of the Geological Society of India, 2018, 92 (1): 7 - 10.
- [18] Zhang R Q, Lu J J, Lehmann B, et al. Combined zircon and cassiterite U - Pb dating of the Piaotang granite - related tungsten - tin deposit, southern Jiangxi tungsten district, China [J]. Ore Geology Reviews, 2017, 82: 268 - 284.
- [19] 王倩, 侯克军, 邹天人. 适合于稀有金属矿床的同位素定年方法及其应用 [J]. 地质学报, 2019, 93 (6): 1523 - 1532.
- Wang Q, Hou K J, Zou T R. Isotopic dating method suitable for rare - metal deposits and its application [J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93 (6): 1523 - 1532.
- [20] 杨富全, 张忠利, 王蕊, 等. 新疆阿尔泰稀有金属矿地质特征及成矿作用 [J]. 大地构造与成矿学, 2018, 42 (6): 1010 - 1026.
- Yang F Q, Zhang Z L, Wang R, et al. Geological characteristics and metallogenesis of rare metal deposits in Altay, Xinjiang [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2018, 42 (6): 1010 - 1026.
- [21] 王瑞江, 王登红, 李建康, 等. 稀有稀土稀散矿产资源及其开发利用 [M]. 北京: 地质出版社, 2015: 1 - 425.
- Wang R J, Wang D H, Li J K, et al. The development and utilization of rare metals, rare earth scattered mineral resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015: 1 - 425.
- [22] 王登红, 王瑞江, 李建康, 等. 中国三稀矿产资源战略调查研究进展综述 [J]. 中国地质, 2013, 40 (2): 361 - 371.
- Wang D H, Wang R J, Li K J, et al. The progress in the strategic research and survey of rare earth, rare metal and rare - scattered elements mineral resources [J]. Geology in China, 2013, 40 (2): 361 - 371.
- [23] 丁建刚, 杨成栋, 杨富全, 等. 新疆阿尔泰别也萨麻斯稀有金属矿床含矿伟晶岩与花岗岩围岩成因关系 [J]. 地球科学院与环境学报, 2020, 42 (1): 71 - 85.
- Ding J G, Yang C D, Yang F Q, et al. Genetic relationship between ore - forming pegmatite and the surrounding granite of Bieyesamasi rare metal deposit in Altay of Xinjiang, China [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2020, 42 (1): 71 - 85.
- [24] 沈曹军. 新疆富蕴县别也萨麻斯一带稀有金属矿地质特征 [J]. 新疆有色金属, 2018 (6): 15 - 16.
- Shen C J. Geological characteristics of rare metal deposits in Bieyesamasi area, Fuyun County, Xinjiang [J]. Xinjiang Nonferrous Metal, 2018 (6): 15 - 16.
- [25] Ludwig K R. PBDAT for MS - DOS. A computer program for IBM PC compatibles for processing raw Pb - U - Th isotope data, version 1. 24 [R]. US Geological Survey, 1995.
- [26] Ludwig K R. Isoplot - aplotting and regression program for radiogenic - isotope data, version 2. 95 [R]. US

- Geological Survey, 1997.
- [27] Stacey J S, Kramers J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two - stage model [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1975, 26: 207 - 221.
- [28] 周红英, 李惠民. 金红石 U - Pb 同位素稀释法定年技术的改进 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2008, 27 (1): 77 - 80.
- Zhou H Y, Li H M. The improvement of the rutile isotope dilution U - Pb dating methodology [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2008, 27 (1): 77 - 80.
- [29] Tadesse S, Zerihun D. Composition, fractionation trend and zoning accretion of the columbite - tantalite group of minerals in the Kenticha rare - metal field (Adola, southern Ethiopia) [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1996, 23 (3): 411 - 431.
- [30] Tindle A G, Breaks F W. Columbite - tantalite mineral chemistry from rare - element granitic pegmatites: Separation Lake area, N. W. Ontario, Canada [J]. *Mineralogy and Petrology*, 2000, 70: 165 - 198.
- [31] 杨富全, 毛景文, 闫升好, 等. 新疆阿尔泰蒙库同造山斜长花岗岩年代学、地球化学及其地质意义 [J]. *地质学报*, 2008, 82 (4): 485 - 499.
- Yang F Q, Mao J W, Yan S H, et al. Geochronology, geochemistry and geological implications of the Mengku synorogenic plagiogranite pluton in Altay, Xinjiang [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82 (4): 485 - 499.
- [32] 王登红, 陈毓川. 新疆阿尔泰阿祖拜稀有金属 - 宝石矿床的成矿时代: 燕山期稀有金属 [J]. *地质论评*, 2000, 46 (3): 307 - 311.
- Wang D H, Chen Y C. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating for the Azubai rare metal - gem deposit in Altay, Xinjiang—New evidence for Yanshanian [J]. *Geological Review*, 2000, 46 (3): 307 - 311.
- [33] 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 阿尔泰加里东期变质成因伟晶岩型白云母矿床的成矿年代证据及其意义 [J]. *地质学报*, 2001, 75 (3): 419 - 425.
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G. Chronological study of Caledonian metamorphic pegmatite muscovite deposits in the Altay Mountains, northwestern China, and its significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75 (3): 419 - 425.
- [34] 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 阿尔泰造山带岩石和矿物的氩同位素研究 [J]. *长春科技大学学报*, 2001, 31 (2): 110 - 115.
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G. Argon isotopic study of rock and ore from the Altay orogenic belt [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2001, 31 (2): 110 - 115.

Mineralogical Characteristics and TIMS U - Pb Dating of Tantalite - (Mn) from the Bieyesamas Rare Metal Deposit, Xinjiang

HE Han - han^{1,2}, ARKIN Tulson^{3*}, WANG Deng - hong², WANG Rui - jiang², CHEN Zhen - yu²

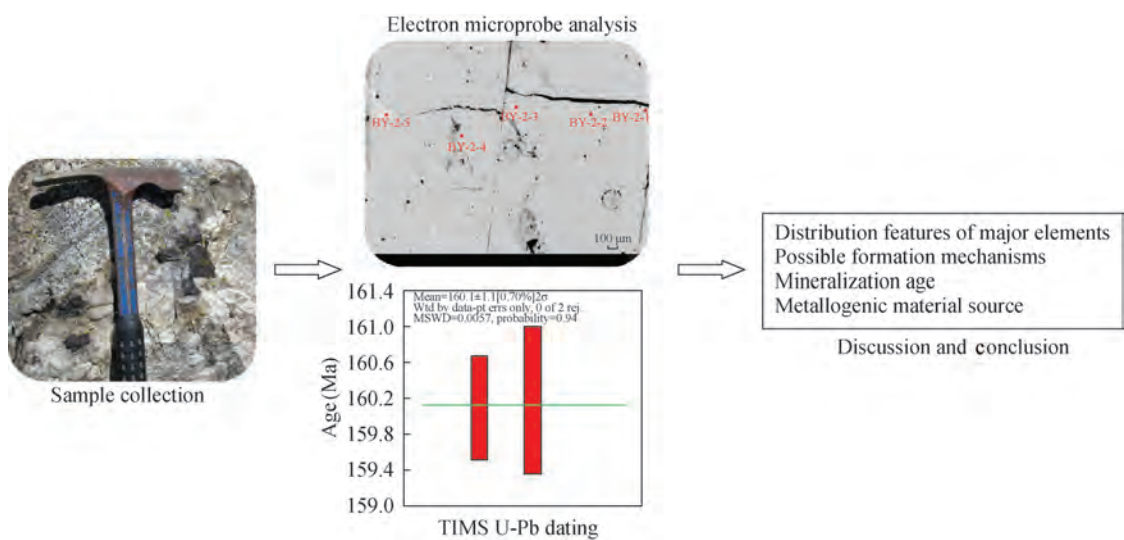
(1. Beijing Institute of Geological Survey, Beijing 100195, China;

2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Natural Resources; Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. 701 Team of Non - ferrous Geological Exploration Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Changji 831100, China)

HIGHLIGHTS

- (1) Mineralization of tantalite - (Mn) in the L18 pegmatite vein was formed in the Late Middle Jurassic.
- (2) The surrounding Hercynian two - mica granite was not the source of the L18 pegmatite vein.
- (3) Distribution characteristics of major elements indicate that the tantalite - (Mn) was not simply formed by crystal differentiation.



ABSTRACT

BACKGROUND: Tantalum is a scarce resource in China. A new breakthrough in ore prospecting was obtained on the tantalum ore in the Bieyesamasi area, Xinjiang, including new occurrences as well as the exploration of pegmatite – type rare metal resources.

OBJECTIVES: To explore the mineralization age of ore – bearing veins and the mineralogical characteristics of typical columbite – tantalite minerals, tantalite – (Mn) from L18 pegmatite veins, and to evaluate one of the most distinctive minerals in this area.

METHODS: Electron microprobe was used to characterize mineralogy of tantalite – (Mn), and TIMS U – Pb geochronology of this mineral was used to constrain the age.

RESULTS: The content of Ta₂O₅ in tantalite – (Mn) from L18 pegmatite veins ranged from 51.58% to 74.80% , with an average of 68.49% , while Nb₂O₅ contents varied from 6.15% to 27.63% . Some of the major elements were unevenly distributed and did not show regular banding, with the CaO content in the center of a mineral particle lower than at the edge, and the SiO₂ content relatively stable in the cross section. TiO₂ and WO₃ showed irregular fluctuations. This feature indicated that the tantalite – (Mn) was not formed solely by crystal differentiation, but may be affected by later metasomatism.

CONCLUSIONS: TIMS U – Pb dating of tantalite – (Mn) yields an age of 160Ma, indicating that the mineralization of L18 pegmatite was formed in the early period of Late Jurassic, different from the surrounding Hercynian granite. It is inferred that Hercynian granite is not the source of L18 pegmatite vein.

KEY WORDS: tantalite – (Mn); Bieyesamasi deposit; rare metals; pegmatite vein; TIMS U – Pb dating; columbite – tantalite ore