

阿尔金山东端余石山铌钽矿区霓辉正长岩的 LA-ICP-MS 定年及对成矿时代的制约

杨再朝^{1,2}, 校培喜^{1,2}, 高晓峰², 康磊², 谢从瑞², 余君鹏³

(1. 中国地质大学(武汉)地质调查研究院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 3. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 余石山铌钽矿床是近年来发现的一大型矿床, 位于阿尔金造山带之红柳沟-拉配泉蛇绿构造混杂岩带、祁连造山带、欧龙布鲁克微陆块的结合部位。对矿区进行成矿背景研究时发现, 矿区赋矿地层主要为长城系熬油沟组, 岩性组合为变质火山岩及大理岩, 穿插有霓辉正长岩体, 其中发育细粒烧绿石与霓辉石等富铌钽矿物。并对霓辉正长岩进行锆石 LA-ICP-MS 年代学测定, 结果表明霓辉石正长岩成岩年龄为 (776.8 ± 2.5) Ma, 成矿与成岩年龄相近或稍晚, 表明该霓辉正长岩和铌钽矿床可能形成于南华纪 Rodinia 超大陆裂解时所产生的大陆边缘裂谷构造环境。

关键词: 阿尔金东段; 余石山铌钽矿床霓辉正长岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

中图分类号: P618.86, P597

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2014)04-0187-11

LA-ICP-MS Dating of the Aegirine-Augite Syenite of Yushishan Nb-Ta Deposit in Eastern Altun and Its Constraints on the Metallogenic Age

YANG Zai-chao^{1,2}, XIAO Pei-Xi^{1,2}, GAO Xiao-Feng², KANG Lei², XIE Cong-Rui², YU Jun-Peng³

(1. Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 71005, China; 3. Gansu Geological Survey, Lanzhou 73000, China)

Abstract: Lying in the joint of Hongliugou-Lapeiquan ophiolitic melange zone (eastern part of the Altun Mountains), Qilian orogenic belt and Oulongbuluke microcontinent, Yushishan Nb-Ta Deposit is a large-size deposit recently discovered. Based on the study of its metallogenic background, the major ore-bearing strata is found to be Ao'yougou Formation of Changchengian Period. The lithological association includes metamorphic volcanic rock and marble, mixed with aegirine-augite syenite, where develop minerals rich in Nb-Ta such as fine-grain pyrochlore and aegirine-augite. The LA-ICP-MS dating for zircons from an aegirine-augite syenite sample yields the diagenetic age of 776.8 ± 2.5 Ma, indicating that the metallogenic age is similar or slightly later than the mineralization of the rock. Combined with petrological-mineralogical characteristic under the microscope and metallogenic age, the aegirine-augite syenite and Nb-Ta deposit were probably formed in continental rift tectonic background induced by the breakup of Rodinia supercontinent in Nanhua Period.

收稿日期: 2014-09-12; 修回日期: 2014-10-20

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查研究(1212011085034, 12120113044500) 国家自然科学基金(41202044)

作者简介: 杨再朝(1988-), 男, 广西来宾人, 壮族, 中国地质大学(武汉)地质调查研究院在读研究生, 专业方向为构造地质学。E-mail: yzch2012@163.com

Key words: Eastern Altun; aegirine-augite syenite of Yushishan Nb-Ta deposit; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating

甘肃余石山铌钽矿位于阿尔金造山带红柳沟-拉配泉蛇绿构造混杂岩带、祁连造山带和欧龙布鲁克微陆块结合部位,地质构造复杂多样。红柳沟-拉配泉蛇绿构造混杂岩带是北阿尔金地区重要的东西向构造带,北接敦煌-阿北地块,南侧为阿中地块(米兰河-金雁山地块)。前人通过蛇绿岩、高压变质岩和相关花岗岩的研究认为其为早古生代缝合带,同时也是区域上重要的成矿带(刘良等,1996,2002;许志琴等,1999; zhang et al., 2001; liu et al., 2006;);祁连造山带位于阿尔金山以东,华北板块西南缘,与秦岭、昆仑一起构成中国大陆中部的秦祁昆巨型造山带,经历了前寒武纪古陆形成、早古生代裂解和闭合主造山、华力西-印支早期后造山和中一

新生代叠复造山复杂的地质演化(殷鸿福等,1999;葛肖虹等,1999;桂棠等,2002;),形成了丰富的矿产资源(冯益民等,1996;夏林析等,1998;贾群子等,2007);欧龙布鲁克微陆块地处柴达木盆地北缘,是柴北缘古老陆块组成部分,基底地层以古元古界末和中一新元古界为主,盖层为南华系-震旦系浅变质的全吉群,构成了微陆块典型的双层结构模式(郝国杰等,2004;陈能松等,2007)。受阿尔金断裂左行走滑断裂带的影响,红柳沟-拉配泉蛇绿构造混杂岩带、祁连造山带两大成矿带和欧龙布鲁克微陆块在阿尔金东段交汇,余石山铌钽矿床即处于三者的结合部位,大地构造位置特殊,矿区地层、构造、岩浆岩复杂(图1)。

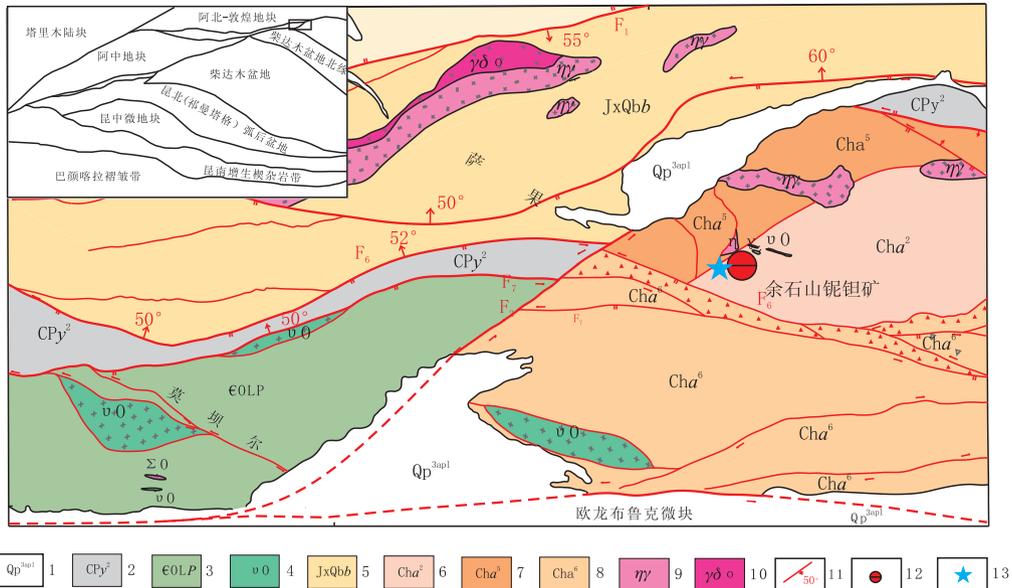


图1 北阿尔金余石山矿区区域地质图(据1:5万莫尔坝幅区域地质调查报告,2012 改编)

Fig. 1 Reongal geological map of the Yu Shishan mountain mining area in North Arkin

- 1. 第四系; 2. 石炭一二叠系羊虎沟组; 3. 寒武一奥陶系拉配泉群; 4. 奥陶纪辉长岩体; 5. 蓟县一青白口系冰沟南组; 6. 长城系熬油沟组二段;
- 7. 长城系熬油沟组五段; 8. 长城系熬油沟组六段; 9. 二长花岗岩; 10. 石英闪长岩; 11. 断层及产状; 12. 余石山铌钽矿床位置; 13. 采样位置

目前,关于余石山铌钽矿地层主要有3种观点:
 ①甘肃区调队(1978)在进行1:20万冷湖幅区域地质调查时,将该区地层划分为青白口系第二岩组。
 ②天津地质矿产研究所(2009)1:25万石棉矿幅在矿区西邻将前人划分的青白口系第二岩组划归为拉配泉群,自下而上划分出火山岩岩组、碎屑岩岩组、

碳酸盐岩岩组。③甘肃省地质调查院(2011~2014)1:5万莫尔坝等6幅区域地质调查,将矿区赋矿地层厘定为长城系熬油沟组,该组为板内裂谷拉斑质-碱性玄武岩夹(叠层石)灰岩-白云岩-泥质岩组合,反映了长城纪火山活动减弱,构造活动趋于稳定的斜坡-次深海环境。

笔者通过对该矿床含矿地层的野外调查和室内研究,初步查明赋矿地层主要为长城系熬油沟组一套变质火山岩、碎屑岩、碳酸盐岩,余石山铌钽矿床产在熬油沟组二段内铌钽矿床的矿石矿物主要为褐钇铌矿、铌铁矿、钽铁矿、烧绿石,这些矿物呈稀疏浸染状分布, $(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_5$ 平均品位为 0.061×10^{-2} , 最高品位达 0.16×10^{-2} ; 脉石矿物以斜长石、钾长石、石英、白云母、绿泥石为主(甘肃地调院, 2013)。同时在矿区发现了与铌钽矿关系密切的霓辉石正长岩、硅化正长斑岩。因此,对矿区霓辉正长岩的研究是认识矿床成因和成矿时代的关键。

1 区域地质和岩石学特征

1.1 区域地质

霓辉石正长岩分布于余石山铌钽稀有金属矿区的中部,其大地构造位置属于阿尔金山北缘的红柳沟-拉配泉东段、祁连造山带和欧龙布鲁克微陆块的结合部位,区内地层主要为长城系熬油沟组、蓟县—青白口系冰沟南组、寒武—奥陶系拉配泉群、石炭—二叠系羊虎沟组,侵入岩为华力西期二长花岗岩、石英闪长岩和碱性正长岩,发育有北东、北西和近东西

向3组断裂构造(甘肃地调院1:5万莫尔坝幅区域地质调查为参考)。

1.2 岩石学特征

霓辉石正长岩呈层状、似层状产出,局部变形强烈,发育揉皱、眼球状构造。与大理岩为断层接触,断层附近岩体硅化,钾化强烈,与斜长角闪岩为渐变过渡关系,岩石局部矿物定向,呈弱片麻状构造。手标本为块状构造,斑状结构,基质为细粒结构。

岩石中斑晶主要为霓辉石,含量约为12%~15%,晶体呈粒状,粒径大小为0.5~1.5 mm,正交偏光镜下具有明显多色性(绿色-浅黄绿色),辉石式解理发育,高突起,干涉色达二级,负延性,光轴角较小约 30° ;其次为碱性长石,约占10%,矿物种属为微斜长石与隐纹长石,晶体形态为粒状,粒径大小为0.5~0.9 mm。基质主要由碱长石组成,其种属有微斜长石、隐长石及钠长石,更长石少量,粒径大小为0.1~0.3 mm;副矿物有榍石、磷灰石。金属矿物为5%~6%,晶体多呈不规则粒状,有些呈板状,粒径为0.1~1 mm,还有少量黑云母,为高铁型,薄片见钙钛矿呈立方晶形以及细粒呈半自形程度的烧绿石位于霓辉石旁边(图2)。



图2 余石山铌钽矿床霓辉正长岩宏观特征及岩石学特征图

Fig. 2 Macro feature and petrologic feature of aegirine-augite feldspar syenite in Yushishan Nb-Ta ore deposit

2 测试分析

锆石挑选由河北省区域地质调查大队地质实验室完成,锆石 CL 图(阴极发光)拍摄和 LA-ICP-MS 激光剥蚀等离子体质谱)原位微区 U-Th-Pb 同位素测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。对分离出来的锆石在双目镜下挑选出结晶好、透明

度好、无裂隙、无包裹体的颗粒,用环氧树脂固定并抛光至颗粒一半露出。锆石样品在测定之前用浓度为3%的稀 HNO_3 清洗样品表面,以除去样品表面的污染物。然后进行阴极发光(CL图)内部结构和 LA-ICP-MS 原位微量元素分析。锆石阴极发光(CL图)分析在 FEI 公司生产的场发射扫描电镜附属的 Mono CL3+ 系统上进行。锆石定年所用的 ICP-MS 为 Agilent 公司最新一代带有 Shield

Torch 的 Agilent7500a。激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 Geolas200M, 该系统由德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102Excime 激光器(工作物质 ArF, 波长 193 nm)与 MicroLas 公司的光学系统组成, 对样品进行一次性剥蚀, 由 ICP-MS 采集各信号。详细分析方法可见参考文献(Yuan et al., 2003)。数据分析前用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器的最佳化, 使仪器达到最大的灵敏度、最小的氧化物产率($\text{ThO}^+/\text{Th}^+ < 2\%$)和最低的背景值。每测定 5 个样品点测定 1 个锆石 91500 和 1 个 NIST610 标样。数据处理采用 GLITTER(ver4.0) 程序, 年龄计算以标准锆石 91500 为外标进行同位素比值分馏校正; 元素浓度采用 NIST610 作外标, Si 作内标。锆石谱和图用 ISOPLOT(ver3.0) 程序(Ludwig et al., 2003) 获得, 对于年龄小于 1 Ga 的年轻锆石采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Griffin et al., 2004)。在样品分析过程中, 91500 标样的分析结果为 (1064.1 ± 3.2) Ma, GJ-1 标样的分析结果为 (601.1 ± 3.0) Ma, 与对应的年龄推荐值在误差范围内完全一致(Wiedenbeck et al., 1995; Simon et al., 2004)

3 分析结果

选取晶形完整(部分锆石破碎是由于碎样所致)、自形程度高、颗粒较大、具有明显的震荡环带的

40 颗锆石进行剥蚀测试, 测试分析的锆石阴极发光图像见图 3, 在进行普通铅校正后, 剔除 Pb 丢失严重的点, 最终选择 37 颗锆石的 45 个数据参与年龄计算。这些锆石颗粒比较大, 明显大于一般的锆石, 表面锆石在结晶的过程中, 熔体中 Zr 元素含量比较高, 锆石中 Th/U 值都集中为 $0.33 \sim 1.73$ (表 1), 环带结构发育, 且含有较高的 REE 和具有陡立的 HREE 模型(Buick et al., 1995)(图 4 左), 显示了岩浆锆石的特征。这 45 个数据给出的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(616 \pm 5) \sim (844 \pm 10)$ Ma, 其中 4、25、42 号点年龄约为 840 Ma, 代表了早期的捕获锆石年龄, 从 CL 图上可以看出 22、26、32、40 号点数据年偏新, 从 CL 图上可以看出, 这几个点的锆石是裂纹过多和变质锆石。最终选择 38 个数据进行加权平均其加权平均值为 (776.8 ± 2.5) Ma。这些分析点都分布于谐和线上或附近, 表明这些锆石几乎没有 U 或 Pb 的丢失和加入, 年龄数据能够代表锆石的结晶年龄(图 4 右), 因此本次测试认为余石山铌钽矿区霓辉正长岩岩体形成年龄为 (776.8 ± 2.5) Ma, 属于早南华世。

4 结论与讨论

4.1 讨论

本次研究在位于阿尔金山主峰南麓的余石山大型铌钽矿床矿区发现了霓辉正长岩体, 并进行了定年工作, 测年结果为 (776.8 ± 2.5) Ma, 表明该侵入

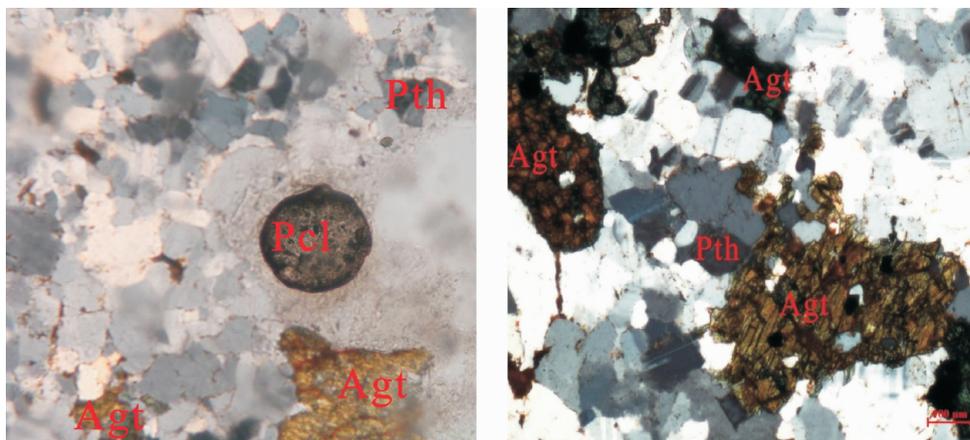


图 3 余石山铌钽矿床霓辉正长岩显微结构图

Fig. 3 microphotograph of aegirine-augite feldspar syenite in Yu Shishan Nb-Ta ore deposit

Pcl. 烧绿石; Mc. 微斜长石; Agt. 霓辉石; Pth. 条纹长石

表 1 余石山铌钽矿区霓辉正长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定结果表

Tab. 1 LA-ICP-MS U-Th-Pb Isotopes analyses of zircons from aegirine-augite syenite in Yu Shishan Nb-Ta ore deposit

测试编号	同位素比值				同位素年龄(Ma)				同位素含量 $\times 10^{-6}$									
	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	Pb	Th	U						
	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ										
12A18-01	0.065 00	0.001 39	1.145 35	0.013 43	0.127 79	0.001 06	774.0	25.0	775.0	6.0	775.0	6.0	752.0	7.0	91.47	384.50	564.16	0.68
12A18-02	0.064 34	0.001 43	1.137 66	0.015 00	0.128 23	0.001 10	753.0	27.0	771.0	7.0	778.0	6.0	768.0	7.0	74.15	259.62	433.64	0.60
12A18-03	0.065 22	0.001 64	1.152 45	0.020 19	0.128 16	0.001 20	781.0	34.0	778.0	10.0	777.0	7.0	768.0	8.0	44.31	244.73	250.16	0.98
12A18-04	0.064 28	0.001 53	1.234 74	0.019 28	0.139 32	0.001 25	751.0	29.0	816.0	9.0	841.0	7.0	889.0	9.0	44.57	192.53	245.54	0.78
12A18-05	0.062 90	0.002 31	1.111 58	0.035 40	0.128 16	0.001 61	705.0	62.0	759.0	17.0	777.0	9.0	791.0	21.0	14.81	31.11	93.84	0.33
12A18-06	0.064 96	0.001 77	1.150 24	0.023 62	0.128 42	0.001 27	773.0	37.0	777.0	11.0	779.0	7.0	780.0	10.0	22.36	114.56	132.22	0.87
12A18-07	0.065 14	0.001 36	1.150 04	0.012 49	0.128 03	0.001 05	779.0	21.0	777.0	6.0	777.0	6.0	732.0	6.0	148.33	1069.37	826.65	1.29
12A18-08	0.067 57	0.001 79	1.189 01	0.023 17	0.127 62	0.001 25	855.0	38.0	796.0	11.0	774.0	7.0	796.0	9.0	23.95	181.41	138.15	1.31
12A18-09	0.064 00	0.001 42	1.134 86	0.014 84	0.128 60	0.001 10	742.0	27.0	770.0	7.0	780.0	6.0	755.0	6.0	84.10	616.20	433.96	1.42
12A18-10	0.065 75	0.001 77	1.158 50	0.023 26	0.127 79	0.001 26	798.0	39.0	781.0	11.0	775.0	7.0	788.0	10.0	23.37	104.34	144.47	0.72
12A18-11	0.063 95	0.003 73	1.133 18	0.062 32	0.128 52	0.002 43	740.0	110.0	769.0	30.0	779.0	14.0	739.0	16.0	8.04	61.63	38.57	1.60
12A18-12	0.064 18	0.002 77	1.137 68	0.044 31	0.128 56	0.001 78	748.0	77.0	771.0	21.0	780.0	10.0	770.0	11.0	7.94	68.16	39.25	1.74
12A18-13	0.065 54	0.002 21	1.156 74	0.032 73	0.128 00	0.001 49	792.0	56.0	780.0	15.0	776.0	9.0	770.0	10.0	13.36	94.19	69.02	1.36
12A18-14	0.064 27	0.002 75	1.119 58	0.043 15	0.126 34	0.001 82	751.0	74.0	763.0	21.0	767.0	10.0	759.0	16.0	37.14	193.01	233.24	0.83
12A18-15	0.064 91	0.001 39	1.150 16	0.013 54	0.128 51	0.001 07	771.0	25.0	777.0	6.0	779.0	6.0	755.0	6.0	108.06	616.01	622.51	0.99
12A18-16	0.063 71	0.001 92	1.125 54	0.027 07	0.128 12	0.001 37	732.0	47.0	766.0	13.0	777.0	8.0	601.0	14.0	14.79	45.53	100.92	0.45
12A18-17	0.067 81	0.002 57	1.190 73	0.039 35	0.127 35	0.001 66	863.0	64.0	796.0	18.0	773.0	9.0	787.0	11.0	18.00	145.99	93.75	1.56
12A18-18	0.064 76	0.001 76	1.143 22	0.023 14	0.128 02	0.001 26	767.0	37.0	774.0	11.0	777.0	7.0	757.0	10.0	21.06	90.01	131.49	0.68
12A18-19	0.066 03	0.003 00	1.160 93	0.048 05	0.127 50	0.001 92	807.0	84.0	782.0	23.0	774.0	11.0	760.0	13.0	8.48	60.96	38.77	1.57
12A18-20	0.067 47	0.002 94	1.193 64	0.046 96	0.128 31	0.001 87	852.0	78.0	798.0	22.0	778.0	11.0	778.0	15.0	13.07	74.21	71.18	1.04
12A18-21	0.068 86	0.001 74	1.207 53	0.021 44	0.127 19	0.001 20	895.0	39.0	804.0	10.0	772.0	7.0	760.0	8.0	50.25	278.16	302.68	0.92
12A18-22	0.064 54	0.001 48	1.056 46	0.014 99	0.118 72	0.001 03	759.0	27.0	732.0	7.0	723.0	6.0	710.0	7.0	88.56	421.49	580.97	0.73
12A18-23	0.069 09	0.005 28	1.219 91	0.089 68	0.128 05	0.003 24	901.0	139.0	810.0	41.0	777.0	19.0	788.0	24.0	10.22	69.30	51.64	1.34

续表 1

测试编号	同位素比值				同位素年龄(Ma)				同位素含量 $\times 10^{-6}$									
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		Th/U					
	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ		Pb	Th	U		
12A18-24	0.064 86	0.004 77	1.140 32	0.080 55	0.127 51	0.002 98	770.0	134.0	773.0	38.0	774.0	17.0	728.0	20.0	7.72	57.08	33.99	1.68
12A18-25	0.066 92	0.002 55	1.287 51	0.042 99	0.139 54	0.001 82	835.0	65.0	840.0	19.0	842.0	10.0	873.0	14.0	9.97	56.23	50.59	1.11
12A18-26	0.063 36	0.002 24	1.075 20	0.036 03	0.123 08	0.001 36	720.0	77.0	741.0	18.0	748.0	8.0	749.0	8.0	27.12	106.37	163.25	0.65
12A18-27	0.063 61	0.001 88	1.119 02	0.026 06	0.127 58	0.001 34	729.0	46.0	763.0	12.0	774.0	8.0	780.0	10.0	40.46	228.53	239.33	0.95
12A18-28	0.063 45	0.001 74	1.110 58	0.022 85	0.126 95	0.001 26	723.0	39.0	758.0	11.0	770.0	7.0	741.0	11.0	37.47	141.13	245.40	0.58
12A18-29	0.067 15	0.005 13	1.189 10	0.087 44	0.128 43	0.003 22	842.0	135.0	796.0	41.0	779.0	18.0	795.0	27.0	10.96	62.83	55.98	1.12
12A18-30	0.067 78	0.003 52	1.191 14	0.057 56	0.127 44	0.002 21	862.0	86.0	796.0	27.0	773.0	13.0	799.0	20.0	8.74	41.16	49.37	0.83
12A18-31	0.069 50	0.003 01	1.218 98	0.047 57	0.127 20	0.001 86	914.0	72.0	809.0	22.0	772.0	11.0	854.0	16.0	8.98	52.01	48.30	1.08
12A18-32	0.068 32	0.002 82	1.106 68	0.043 41	0.117 49	0.001 52	878.0	88.0	757.0	21.0	716.0	9.0	710.0	8.0	22.22	152.18	128.00	1.19
12A18-33	0.068 69	0.002 36	1.202 32	0.034 90	0.126 95	0.001 53	889.0	56.0	802.0	16.0	770.0	9.0	887.0	20.0	13.99	34.08	98.46	0.35
12A18-34	0.065 80	0.001 46	1.154 98	0.015 05	0.127 31	0.001 08	800.0	26.0	780.0	7.0	773.0	6.0	796.0	7.0	96.43	488.45	565.52	0.86
12A18-35	0.064 54	0.001 53	1.187 27	0.018 32	0.133 42	0.001 19	759.0	38.0	795.0	9.0	807.0	7.0	837.0	10.0	44.92	147.54	272.34	0.54
12A18-36	0.062 70	0.001 54	1.098 21	0.018 51	0.127 03	0.001 16	698.0	42.0	752.0	9.0	771.0	7.0	758.0	9.0	84.56	366.77	534.86	0.69
12A18-37	0.064 42	0.001 50	1.136 01	0.016 79	0.127 89	0.001 12	755.0	37.0	771.0	8.0	776.0	6.0	768.0	8.0	47.97	173.83	292.39	0.59
12A18-38	0.064 37	0.002 32	1.145 92	0.035 48	0.129 11	0.001 60	754.0	72.0	775.0	17.0	783.0	9.0	794.0	15.0	28.37	114.54	166.43	0.69
12A18-39	0.063 91	0.001 44	1.126 55	0.015 53	0.127 84	0.001 10	739.0	35.0	766.0	7.0	776.0	6.0	772.0	8.0	57.83	229.65	356.00	0.65
12A18-40	0.065 09	0.001 34	0.901 05	0.009 21	0.100 39	0.000 81	777.0	28.0	652.0	5.0	617.0	5.0	507.0	4.0	172.13	906.65	1402.20	0.65
12A18-41	0.065 27	0.001 54	1.153 38	0.017 60	0.128 15	0.001 14	783.0	38.0	779.0	8.0	777.0	7.0	797.0	10.0	48.02	121.14	295.14	0.41
12A18-42	0.066 50	0.002 57	1.282 55	0.043 60	0.139 88	0.001 82	822.0	78.0	838.0	19.0	844.0	10.0	858.0	13.0	7.39	52.17	32.19	1.62
12A18-43	0.064 56	0.002 31	1.145 43	0.035 18	0.128 66	0.001 59	760.0	71.0	775.0	17.0	780.0	9.0	856.0	17.0	15.08	54.36	86.98	0.62
12A18-44	0.063 54	0.001 66	1.124 46	0.021 33	0.128 34	0.001 23	726.0	46.0	765.0	10.0	778.0	7.0	757.0	10.0	41.55	153.12	263.70	0.58
12A18-45	0.066 53	0.002 16	1.173 10	0.031 47	0.127 88	0.001 46	823.0	62.0	788.0	15.0	776.0	8.0	756.0	11.0	18.44	101.43	101.91	1.00



图 4 余石山铌钽矿区霓辉正长岩体(12A18)锆石阴极发光图像

Fig. 4 CL image of zircon from aegirine-augite syenite in Yu Shishan Nb-Ta ore deposit (12A18)

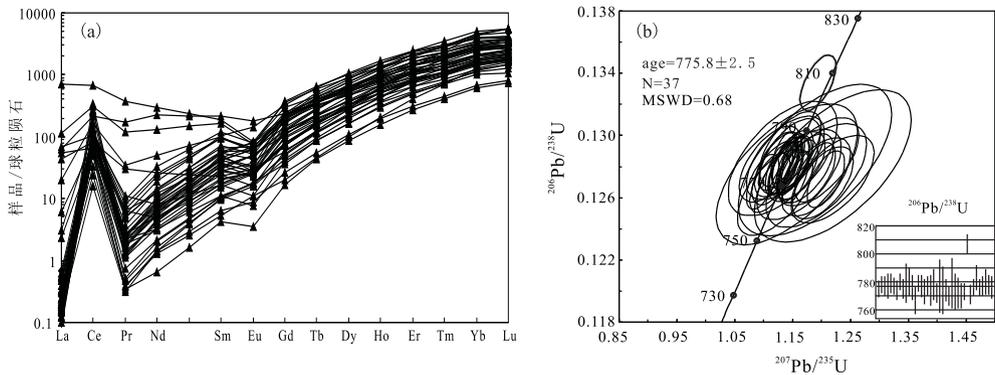


图 5 余石山铌钽矿区霓辉正长岩岩体锆石稀土元素球粒标准化图(a)及锆石 U-Pb 年龄谱和图(b)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns and U-Pb Concordia plot of zircon from aegirine-augite syenite in Yu Shishan Nb-Ta ore deposit

岩体形成于南华纪,这比刘涵等(2012)在恰什坎萨伊沟南口发现具大陆裂谷性质的双峰式火山岩年龄(749.8±4.6) Ma 稍早,与西安地质矿产研究所(2010)在阔什布拉克区调中所厘定具红海洋盆构造环境的索拉克组双峰式火山中岩玄武岩锆石中获得

(765±17) Ma 和(754±17) Ma 相近。在区域上,红柳沟-拉配泉蛇绿构造混杂岩带在南华纪时期发育有海相火山岩-碎屑岩建造(胡云绪等,2010),阿北地块则发育有陆缘裂谷火山岩-碎屑岩建造,同时发育有双峰式火山岩。刘良等(2007)研究南阿尔金

超高压变质岩锆石微区 LA-ICP-MS 定年发现其核部年龄(754±9) Ma, 并且其原岩也已具有洋壳性质, 指示南阿尔金在南华纪可能已经有洋壳出现。陆松年(2002)获取欧龙布鲁克的全吉群中产出的玄武安山岩锆石 U-Pb 表面年龄为(738±28) Ma, 由此推断全吉群的底界年龄约为 760 Ma, 这个年龄代表了晚元古代 Rodinia 超大陆裂解事件的开始时间, 李怀坤(2003)在全吉群底部发现了冰积砾岩, 并获取火山岩锆石 U-Pb 年龄约为 800 Ma, 结合岩石地球化学特征, 认为全吉群沉积序列是 Rodinia 超大陆在新元古代早期解体阶段的产物。苏建平(2004)在北祁连造山带西段的吊大坂花岗片麻岩中报道了一组单颗粒锆石年代(751±14) Ma, 曾建元(2006)通过 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年法, 获得来自北祁连山牛心山片麻状花岗岩与雷公山片麻状石英闪长岩的加权平均年龄, 分别为(776±10) Ma 和(774±23) Ma, 认为这一次岩浆活动可能与同时期全球 Rodinia 超大陆裂解有关。上述研究结论表明, 红柳沟-拉配泉蛇绿构造混杂岩带、祁连造山带和欧龙布鲁克微陆块三者在南华纪时期均存在与 Rodinia 超大陆裂解相关的构造侵入岩浆事件的记录。多数研究者认为富碱侵入岩是地球上产出环境特殊和分布较少的一种岩石类型, 形成于岩石圈拉张环境, 其物质来源较深。邱家骧等(1993)在研究秦巴碱性岩时发现, 几乎所有的碱性岩均来自拉张环境或裂谷作用, 阎国翰等(2007)认为, 在板内拉张环境下, 岩浆作用的产物主要包括碱性岩、基性岩墙群、双峰式火山岩、斜长岩、环斑花岗岩、层状镁铁质-超镁铁质岩、火成碳酸岩、金伯利岩、钾镁煌斑岩、高原溢流玄武岩、裂谷玄武岩等。霓辉正长岩的发现及年龄数据表明, 其形成的构造背景为塔里木-敦煌陆块南缘活动陆缘初始裂解的大陆裂谷时期, 在该时期, 由于地幔物质上涌, 岩石圈发生拉张, 同时伴有双峰式火山岩的出现, 这也与典型大陆裂谷的岩浆-构造组合是一致的。

依据铌钽矿石所赋存的岩石类型可以划分为沉积岩型和岩浆岩型, Pollard(1986)将岩浆岩型矿床分为伟晶岩型、花岗岩型、正长岩型和碳酸岩型。根据余石山矿区内发现的稀有、稀土矿物主要为易解石、褐钇铌矿、氟碳铈矿、铌(钽)铁矿, 独居石呈自形半自形-他形粒状集合体与磁铁矿、锆石连生, 分布在石英及碱性长石中(余君鹏等, 2012), 且在矿体内

发现含钙钛矿、烧绿石的霓辉石正长岩, 在正长岩附近的二长岩中, 发现含铌钽矿物的烧绿石, 推测余石山铌钽矿可能为正长岩型和岩浆热液交代复合型矿床。

虽然矿区内出现有花岗闪长岩和二长花岗岩, 但距离矿体比较远, 对其进行研究表明, 岩体的形成年龄约为 480 Ma, 形成于北阿尔金洋盆俯冲碰撞时期, 岩体主微量元素表明, 分异程度不高, 稀土配分与华南典型稀有金属花岗岩对比差异大(另文介绍)。因此, 表明铌钽矿床的形成可能是由于霓辉石正长岩上侵过程中, 携带有铌钽的成矿物质, 随着岩浆的冷凝固结晶而成矿, 而在区域上, 根据分析该类型的构造-成岩-成矿与 Mitchell & Garson(1981)划分的大陆裂谷和坳拉槽及翟裕生(1999)所论述的成矿系统特有的矿床相一致。综上所述, 余石山铌钽矿床形成年龄与霓辉石正长岩成岩年龄(776.8±2.5) Ma 相近或稍微晚一点, 成岩成矿与南华纪 Rodinia 超大陆裂解相关联, 即产于塔里木-敦煌陆块南缘的裂谷环境。

4.2 结论

(1) 余石山铌钽矿区发现的霓辉石碱性正长岩, 岩浆结晶年龄为(776.8±2.5) Ma, 表明侵入岩体形成于南华纪。

(2) 余石山铌钽矿床形成与碱性岩的侵位密切相关, 成矿可能与碱性岩的形成年代(776.8±2.5) Ma 相近或者稍晚些。

(3) 铌钽矿床形成的构造背景与南华纪 Rodinia 超大陆裂解相关联, 及产于塔里木-敦煌陆块南缘的裂谷构造环境之中。

致谢: 笔者得到中国地质调查局西安地质调查中心老师们的关心和帮助, 甘肃省地调院余石山项目组工作人员野外的帮助和指导, 以及审稿人细致修改, 再次一并谨致谢意。

参考文献(References):

- 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 阿尔金断裂系[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 137-213.
- Cui Junwen, Tang Zhemin, Deng Jinfu, et al. Altyn fault System[M]. Geological Publishing House, Beijing, 1999, 137-213(in Chinese with English abstract).
- 车自成, 刘良, 罗金海. 中国及其邻区区域大地构造学[M].

- 北京:科学出版社,2002:207-369.
- Che Z C, Liu L, Luo J H. Regional China and adjacent area geotectonics[M]. Science Publishers, Beijing, 2002, 207-369 (in Chinese with English abstract).
- 陈能松,王勤燕,陈强,等.柴达木和欧龙布鲁克陆块基底的组成和变质作用及中国中西部古大陆演化关系初探[J].地学前缘,2007,14(1):43-55.
- Chen N S, Wang Q Y, Chen Q, Li X Y. Components and metamorphism of the basements of the Qaidam and Olongbuluke micro-continental blocks, and a tentative interpretation of paleocontinental evolution in NW-Central China[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(1): 043-055 (in Chinese with English abstract).
- 高晓峰,校培喜,过磊,等.北阿尔金地区早古生代有限洋盆开启时限:来自斜长花岗岩的证据[J].中国科学:地球科学,2012,42(3):359-368.
- Gao X F, Xiao P X, Guo L, et al. Opening of an Early Paleozoic limited oceanic basin in the northern Altyn area: Constraints from plagiogranites in the Hongliugou-Lapeiquan ophiolitic mélangé[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2012, 42(3): 359-368(in Chinese).
- 葛肖虹,刘俊来.北祁连造山带的形成与背景[J].地学前缘,1999,6(4):223-230.
- Ge X H, Liu J L. Formation and tectonic background of the northern qilian orogenic belt[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(4): 223-230. (in China with English abstract)
- 冯益民,何世平.祁连山大地构造与造山作用[M].北京:地质出版社,1996.
- Feng Y M, He S P. Mother earth structure and orogenesis in Qiling[M]. The Geological Publishing House, Beijing, 1996 (in Chinese with English abstract).
- 刘良,张安达,陈丹玲,等.阿尔金山杂岩石榴辉岩和围岩锆石 LA-ICP-MS 微区原位定年及其地质意义[J].地学前缘,2007,14(1):98-107.
- Liu L, Zhang A D, Chen D L, et al. Implications Based on LA-ICP-MS Zircon U-Pb Ages of Eclogite and Its Country Rock from Jianggalesayi Area, Altyn Tagh, China[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(1): 98-107. (in Chinese with English abstract).
- 郝杰,王二七,刘小汉,等.阿尔金山脉中金雁山早古生代碰撞造山带:弧岩浆岩的确定与岩体锆石 U-Pb 和蛇绿混杂岩⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究的证据[J].岩石学报,2006,22(11):2743-2752.
- Hao J, Wang E Q, Liu X H, et al. Jinyanshan collisional orogenic belt of the early Paleozoic in the Altun Mountains: evidence from single zircon U-Pb and ⁴⁰Ar/³⁹Ar isotopic dating for the arc magmatite and ophiolitic melange[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(11): 2743-2752. (in Chinese with English abstract).
- 胡云绪,校培喜,高晓峰,等.东昆仑西段—阿尔金地区区域地层划分及地层时空格架建立[J].西北地质,2010,44(4):152-158.
- Hu Y X, Xiao P X, Gao X F, et al. Division and Space-Time Frame Foundation of Regional Stratum in the Western Sector of East Kunlun and the Altun Region[J]. Northwest Geology, 2010, 44(4): 152-158. (in Chinese with English abstract).
- 郝国杰,陆松年,王惠初,等.柴达木盆地北缘前泥盆纪构造格架及欧龙布鲁克古陆块地质演化[J].地学前缘,2004,11(03):115-122.
- Hao G J, Lu S N, Wang H C, et al. The Pre-Devonian tectonic framework in the northern margin of Qaidam basin and geological evolution of Olongbuluck palaeo-block [J]. Earth Sciences Frontiers, 2004, 11(03): 115-122 (in Chinese with English abstract).
- 贾群子,杨忠堂,肖朝阳,等.祁连山铜金钨铅锌矿床成矿规律和成矿预测[M].北京:地质出版社,2007.
- Jia Q Z, Yang Z T, Xiao C Y, et al. Tungsten, lead zinc deposit copper-gold Qilian metallogenic regularity and metallogenic prediction [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2007.
- 刘永顺,于海峰,辛后田,等.阿尔金山地区构造单元划分和前寒武纪重要地质事件[J].地质通报,2009,28(10):1430-1438.
- Liu Y S, Yu H F, Xin H T, et al. Tectonic units division and Precambrian significant geologic-al events in Altyn Tagh Mountain, China. Geological Bulletin of China, 2009, 28(10): 1430-1438 (in Chinese with English abstract).
- 刘函,王国灿,曹树钊,等.北阿尔金山华纪双峰式火山岩的发现及构造意义[J].地球科学(中国地质大学学报),2012,37(5):52-63.
- Liu H, Wang G C, Cao S Z, et al. Discovery of Nanhuaian Bimodal Volcanics in Northern Altyn Tagh and Its Tec-

- tonic Significance[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2012, 37(5): 52-63 (in Chinese with English abstract).
- 陆松年. 青藏高原北部前寒武纪地质初探[M]. 北京:地质出版社, 2002; 1-125.
- Lu S N. Prinutry Study of Precambrian Geology in the Northern Qinghai-Tibet Plateau[M]. Geological Publishing House, Beijing, 2002; 1-125 (in Chinese with English abstract).
- 李怀坤, 陆松年, 王惠初, 等. 青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录—全吉群[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(01): 27-37.
- Li HK, Lu SN, Wang HC, et al. Quanji Group: The geological record of the Rodinia supercontinent break-up in the Early Neoproterozoic preserved in the northern Qaidam margin, Qinghai, Northwest China[J]. Geological Survey and Research, 2003, 26(1): 27-37 (in Chinese with English abstract).
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, 21(11): 701-707.
- Pan G T, Li X G, Wang L Q, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(11): 701-707 (in China with English abstract).
- 苏建平, 胡能高, 张海峰, 等. 北祁连山西段吊大坂花岗岩片麻岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地质科技情报, 2004, 23(03): 11-14.
- Su J P, Hu N G, Zhang H F, et al. Single-zircon U-Pb dating and Geological significance of the diaodaban granitic gneiss in the western segment of north qilian mountains [J]. Geological Science and Technology Information, 2004, 23(3): 11-14.
- 邱家骧. 秦巴碱性岩[M]. 北京:地质出版社, 1993.
- Qiu JX. The alkaline rocks in Qin-Bashan area[M]. Geological Publishing House, Beijing, 1993 (in Chinese).
- 戚学祥, 吴才来, 李海兵. 北阿尔金喀孜萨依花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 859-866.
- Qi X X, Wu C L, Li H B. SHRIMP U-Pb age of zircons from Kazisayi granite in the northern Altay Tagh mountains and its significations[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3): 859-866 (in Chinese with English abstract).
- 夏林桥, 夏祖春, 任友祥, 等. 祁连山及邻区火山作用与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1996.
- Xia L Q X, Xia Z C, Xu X Y, et al. Marine Volcanics North Qilian [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1996.
- 许志琴, 杨经绥, 张建新, 等. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪机制[J]. 地质学报, 1999, 73(3): 193-205.
- Xu Z Q, Yang J S, Zhang J X, et al. A Comparison between the Tectonic Units on the Two Sides of the Altun Sinistral Strike-slip Fault and the Mechanism of Lithospheric Shearing [J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(3): 193-205. (in Chinese with English abstract).
- 阎国翰, 蔡剑辉, 任康绪, 等. 华北克拉通板内拉张性岩浆作用与三个超大陆裂解及深部地球动力学[J]. 高校地质学报, 2007, (2): 161-174.
- Yan G H, Cai J H, Ren K X, et al. Intraplate Extensional Magmatism of North China Craton and Break-up of Three Supercontinents and Their Deep Dynamics [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, (2): 161-174. (in Chinese with English abstract).
- 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学, 1998, 23(5): 438-442.
- Yin H F, Zhang K X. Evolution and characteristics of the central orogenic belt [J]. Earth Science, 1998, 23(5): 438-442 (in Chinese with English abstract)
- 翟裕生. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 72-88.
- Zhai Y S. Study of Regional Mineral Deposit [J]. Geological Publishing House, 1999, 6(1) 72-88. (in Chinese with English abstract).
- 余君鹏, 张新虎, 赵国建, 等. 甘肃阿尔金山余石山铌钽稀有金属矿找矿发现及意义[J]. 矿床地质, 2012, 31(增刊): 391-392.
- Yu J P, Zhang X H, Zhao G J, et al. Nb-Ta rare meta deposits prospecting discovery and significance of the Yu Shi Shan mountain in the Gan Shu [J]. Mineral Deposits, 2012, 31(sup.): 391-392.
- 张志诚, 郭召杰, 宋彪. 阿尔金山北缘蛇绿混杂岩中辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(3): 568-576.
- Zhang Z C, Guo Z J, Song B. SHRIMP zircon dating of

- gabbro from the ophiolite melange in the northern Altyn Tagh and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(3): 568-576 (in Chinese with English abstract).
- 曾建元, 杨宏仪, 万渝生, 等. 北祁连山变质杂岩中新元古代 (~775 Ma) 岩浆活动纪录的发现: 来自 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年的证据 [J]. *科学通报*, 2006, 51(05): 575-581.
- Zeng J Y, Yang H Y, Wang Y S, et al. Finding of Neoproterozoic (~775Ma) magmatism recorded in the metamorphic complexes from North Qilian orogen: evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating. *Science Bulletin*, 2006, 51(5): 575-581.
- Buick R, Thomett J R, M C Naughton N J, Smith J B, 1995. Barley ME, Savage M. Record of emergent continental crust similar to 3.5 billion years ago in the Pilbara craton of Australia [J]. *Nature*, 375: 574-575.
- Liu L, Zhou D W, Wang Y, et al. Study and implication of the high-pressure felsic granulite in the Qinling complex of East Qinling [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(Sup): 60-68.
- Liu L, Che Z C, Wang Y, et al. The petrological characters and geotectonic setting of high-pressure metamorphic rock belts in Altun Mountains [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(1): 57-64.
- Liu L, Che Z C, Luo J H, et al. A discussion on the structure and tectonic evolution of the Altyn Tagh orogenic Zone [J]. *Earth Sci Front*, 2000, 7: 206.
- Simon E J, Norman J P, Williams L G. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in-situ U-Pb zircon geochronology [J]. *Chemical Geology*, 2004, 211: 47-69.
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses [J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 1995, 19(1): 1-23.
- Griffin W L, Belousova E A, Shee S R, et al. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons [J]. *Precambrian Research*, 2004, 131(3/4): 231-282.
- Ludwig K R. Isoplot 3.0 - A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center, 2003: 1-70.
- Mitchell A H G, Garson M S. Mineral deposits and global tectonic settings [M]. Academic Press, London, 1981.
- Pollard P J. Geologic characteristics and genetic problems associated with the development of granite hosted deposits of tantalum and niobium [J]. Springer, 1986: 240-256.