

新疆吐哈盆地南缘铜矿带含矿斑岩的地球化学及形成环境*

张连昌¹ 万博¹ 李文铅² 唐红峰³

ZHANG LianChang¹, WAN Bo, LI WenQian² and TANG HongFeng³

1. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源重点实验室, 北京 100029

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

3. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002

1. Key Lab. of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

2005-10-28 收稿, 2005-12-08 改回

Zhang LC, Wan B, Li WQ and Tang HF. 2006. Geochemistry and tectonic setting of copper-bearing porphyries on the southern margin of Tuha basin, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 225–235

Abstract The eastern Tianshan porphyry copper belt is located on the southern margin of Tuha basin. Based on isotopic dating, the intrusive ages of copper-bearing porphyries were divided into two stages: early Carboniferous (i. g. Tuwu-Yandong porphyry) and late Carboniferous to early Permian (i. g. Sanchakou, Chihu and Linglong porphyry). The Contents of SiO₂ (64.92 ~ 73.05%), Al₂O₃ (14.24 ~ 17.08%), MgO (0.92 ~ 2.16%), Y (6.03 × 10⁻⁶ ~ 15.98 × 10⁻⁶), Yb (0.48 × 10⁻⁶ ~ 1.43 × 10⁻⁶) and Sr (347 × 10⁻⁶ ~ 920 × 10⁻⁶) and positive Eu anomalies of the plagiogranite porphyries indicate that Tuwu-Yandong and Sanchakou porphyries possess adakitic characteristics. The rocks also exhibit positive ε_{Nd}(t) values (+5.3 ~ +7.6) and low initial ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr values (0.70330 ~ 0.70416). Such features are similar to those of adakites derived from partial melting of a subduction-related oceanic slab. Based on our study of the geology and geochemistry, we suggest that Tuwu-Yandong adakitic magma in the Dananhu island was formed by direct melting of an obliquely-subducting early Carboniferous oceanic slab, but Sanchakou adakitic magma was formed by partial melting of thickening lower crust in late-collisional orogen processes. Our studies indicate that large porphyry copper deposits are related to adakitic rocks, and small porphyry copper deposits (or ore spots) have normal calc-alkaline affinity. We propose that large porphyry copper deposits are related to adakitic, highly oxidized, and water-rich melts, their melts are eventually derived from slab melting during flat subduction.

Key words Late Paleozoic, island arc, Porphyry copper deposit, Adakite, Eastern Tianshan

摘要 吐哈盆地南缘斑岩铜矿带位于中亚造山带东天山的中段。研究表明该铜矿带含矿斑岩的形成时代可分早石炭世和晚石炭世—早二叠世两期,前者以土屋-延东含矿斜长花岗斑岩为例,形成于与洋壳俯冲有关的岛弧环境,后者以赤湖和三岔口斜长花岗斑岩为例,形成于同碰撞造山的中—晚期。主量、微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学数据表明,吐哈盆地南缘铜矿带大多数斑岩具有钙碱性和岛弧花岗岩的特征,初始铈比值一般小于 0.7046, ε_{Nd}(t) 值为 5.3 ~ 7.6, 反映成岩物质的深源性;进一步可将斑岩划分为埃达克岩和非埃达克岩,其中延东-土屋和三岔口含矿斑岩具有埃达克岩的特征,而赤湖、灵龙、卡拉塔格和坳西矿化斑岩和成矿后斑岩不具埃达克岩特征。埃达克岩成因有两种:土屋-延东埃达克岩为洋壳板片熔融成因,三岔口埃达克岩为加厚下地壳的熔融成因。土屋-延东洋壳熔融埃达克岩的确定,进一步肯定了晚古生代石炭纪吐哈盆地南缘的岛弧环境。研究表明位于中亚造山带晚古生代岛弧环境和洋壳熔融成因的埃达克岩最有利于形成大型斑岩铜矿。

关键词 晚古生代; 岛弧; 斑岩铜矿; 埃达克岩; 东天山

中图法分类号 P588.122

* 国家自然科学基金(40473028)、国家重点基础研究计划项目(2001CB409805)和中国科学院创新项目(KZCX3-SW-137)资助

第一作者简介: 张连昌,男,1959年生,博士,副研究员,从事矿床与岩石地球化学研究, E-mail: lc Zhang@mail.igcas.ac.cn

1 引言

从上个世纪70年代以来,斑岩铜矿的研究经历了从注重矿床地质特征、蚀变系统,到矿床成因、构造控制,再到成矿环境和地球动力学背景等的转化。近年来研究表明,世界上斑岩铜矿主要产于大洋板片俯冲产生的岛弧(太平洋西岸)和陆缘弧(美洲大陆西岸)环境。中国学者研究证实,大陆碰撞造山带也是斑岩型矿床产出的重要环境,藏东玉龙斑岩铜矿带和冈底斯斑岩铜矿带是其典型代表(侯增谦等, 2004),实际上大陆碰撞造山带中的斑岩铜矿主要发育于碰撞后期地壳伸展阶段。岛弧环境的含矿斑岩通常是钙碱性的,而大陆环境的含矿斑岩多为高钾钙碱性,部分为钾玄质。关于斑岩岩浆的起源演化,过去通常认为含矿岩浆起源于被俯冲板片流体交代的地幔楔形区,但最近的研究表明,含矿斑岩并不具有典型的岛弧火山岩特征,它们多具有埃达克岩特征,这种埃达克岩产于岛弧环境并起源于大洋俯冲板片的熔融。

我们调查表明,东天山吐哈盆地南缘存在一系列含矿斑岩,其中以土屋-延东含矿斑岩最为有名,并已取得初步研究成果(芮宗瑶等, 2002; 秦克章等, 2002a; 李文明等, 2003; 刘德权等, 2003; 张连昌等, 2004a),但对位于土屋铜矿以东的灵龙、赤湖、三岔口和卡拉塔格等地的含矿斑岩研究较少。张连昌(2004a)等研究表明土屋-延东的含矿斑岩具有埃达克岩的地球化学属性,且形成于洋壳俯冲熔融作用。根据埃达克岩的产出具有成带分布的特点,对于土屋-延东斑岩以外的其它斑岩的地球化学属性和成矿性进行研究就非常必要。进一步研究这些斑岩的地质地球化学特征和形成时代,不仅对于认识斑岩所处的构造环境,而且对于识别哪些斑岩能够成矿、哪些斑岩能够成大矿均有重要意义。

2 区域地质背景与中酸性斑岩的分布

吐哈盆地南缘含矿斑岩带位于东天山晚古生代大南湖增生岛弧带(Zhang LC et al., 2004a; Xiao WJ et al., 2004),北临吐哈盆地,南以康古尔塔格断裂为界,东西向延长近300km,南北宽20~80km。在该范围内古生代钙碱性火山-侵入岩广泛分布。区域地质调查揭示,在土屋-延东矿带的外围,即西从克孜尔卡拉萨依,东到三岔口,北到卡拉塔格,沿大南湖岛弧有一系列中酸性浅成斑岩分布(图1),但目前仅发现为数不多的几处铜矿床,其中土屋-延东为大型斑岩铜矿,三岔口为中小型斑岩铜矿,卡拉塔格为与斑岩有关的低温热液金铜矿(秦克章等, 2002b),灵龙和赤湖为斑岩铜矿点;大南湖和克孜尔卡拉萨依为小型脉状铜矿,垆西为一小型金矿。

矿带范围出露地层主要为中泥盆世大草滩组和早石炭世企鹅山群,岩性为玄武岩、安山岩、安山质角砾熔岩、火山角砾岩、岩屑砂岩、复成份砾岩和沉凝灰岩等。石炭系地层之上直接被侏罗系含煤岩系覆盖。康古尔塔格断裂以南出露石炭系干墩组沉积岩。康古尔塔格断裂是一条重要的构造与成矿分界线,该断裂对岩浆活动和成矿作用具有显示的控制作用,断裂以北Cu-Mo矿为主,以南Au-Fe矿为主。大草滩断裂以北为泥盆系分布区,其中的侵入岩以大花岗岩岩基、深侵位为特征,花岗岩时代为383~357Ma(宋彪等, 2002)。

含矿斑岩具有小岩体、浅侵位的特征,主要分布于大草滩断裂以南的石炭系火山岩分布区。含矿斑岩除了土屋-延东、赤湖和三岔口外,近年又发现76号、翠岭、企鹅山等中酸性斑岩体。76号岩体位于土屋铜矿东8km处,是一由闪长玢岩和斜长花岗岩组成的混合物,面积2km²,围岩以石炭系玄武岩为主,另有少量火山碎屑岩和沉积碎屑岩,具强片

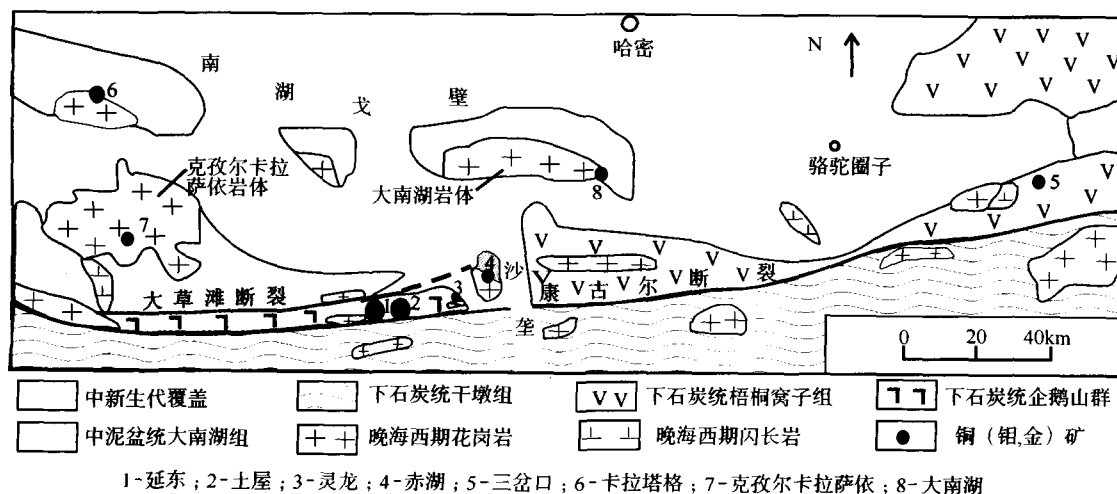


图1 东天山吐哈盆地南缘斑岩铜矿带地质略图

Fig. 1 Geological map of porphyry copper belt on southern margin of Tuha basin in eastern Tianshan

理化, 总体产出地质条件与土屋铜矿基本相似。企鹅山闪长玢岩出露面积约 0.8 km², 岩石呈灰绿色, 具较强烈的硅化和绿泥石化, 局部发育孔雀石化。

土屋-延东铜矿是吐哈盆地南缘规模最大的斑岩铜矿, 其容矿岩石主要是斜长花岗斑岩, 土屋矿区出露岩体 23 个, 出露最大岩体的面积约 0.03 km², 其余单个岩体面积均小于 0.01 km², 最小的斑岩体面积小于 10 m²。平面形态多呈不规则状, 剖面形态呈岩枝状产出。延东矿区出露一较大规模的斜长花岗斑岩体, 东西向带状延伸, 岩体出露长 800 m, 宽 80 ~ 100 m, 面积约 0.1 km²。斜长花岗斑岩具斑状结构、块状构造, 斑晶为石英、斜长石和黑云母; 基质呈半自形粒状结构, 以长英质为主。岩石蚀变类型有硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化和高岭土化。该类斜长花岗斑岩侵位于石炭系火山岩中, 局部被侏罗系地层覆盖。土屋-延东含矿斑岩锆石的 U-Pb 年龄为 333 ~ 356 Ma (刘德权等, 2003; 秦克章等, 2002), 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 322 ~ 343 Ma (芮宗瑶等, 2002; 张连昌等, 2004)。

赤湖铜钼矿化区含矿斑岩为斜长花岗斑岩和闪长玢岩, 其中斜长花岗斑岩分布于矿区中部, 呈南北向延长的椭圆状, 出露面积约 0.23 km², 该岩体侵位于闪长玢岩中。岩石浅灰-浅红色, 块状构造、斑状结构, 斑晶为斜长石、石英及少量黑云母, 基质主要由斜长石和石英组成。岩石热液蚀变明显, 主要由硅化、绢云母化和绿泥石化组成。闪长玢岩, 出露于矿区中部, 岩石呈浅灰绿色, 块状构造、斑状结构, 基质由细粒-微粒斜长石、少量角闪石和黑云母组成, 构成斑晶的斜长石呈半自形板状, 分布不均匀, 局部呈聚斑状。由于受斜长花岗斑岩侵入作用的影响, 在岩体接触带同化混染强烈。岩石硅化、黑云母化、绿泥石化和高岭土化明显。磁铁矿、辉钼矿、黄铜矿和黄铁矿等呈细脉和浸染状分布。初步研究表明, 斜长花岗斑岩与矿化关系最为密切, 岩体侵入年龄为 292 ~ 283 Ma (李文明等, 2003)。灵龙铜矿点位于赤湖铜矿区的西段, 出露的斑岩有斑状花岗岩、斜长花岗斑岩和闪长玢岩, 铜矿化与斜长花岗斑岩关系密切。

三岔口斑岩位于一复式岩体(出露面积约 65 km²)的边缘, 岩体边缘相长 18 km, 宽 0.1 ~ 1.5 km, 由斜长花岗斑岩和石英闪长玢岩组成。斜长花岗斑岩呈灰白色、斑状构造, 斑晶主要为斜长石, 基质由细粒斜长石和石英组成, 岩体中锆石 SHRIMP 年龄为 278 ± 4 Ma (李华芹等, 2004)。铜矿体产于斜长花岗斑岩体的边缘相带中, 受断裂破碎带控制。岩石具有强烈的硅化、黑云母化、绢云母化和帘石化, 黑云母是岩体含矿性的指示矿物, 矿化强弱与黑云母的含量有关。黑云母多沿微裂隙分布, 并与黄铜矿、辉钼矿和黄铁矿共生。镜下观察发现, 黑云母在岩石中的含量占 10% ~ 20%, 呈鳞片状与斜长石和石英相间排列或呈聚片状定向分布。黑云母常被绿泥石交代, 并有细小磁铁矿析出。

另外研究区还出露一些含金的石英斑岩和闪长玢岩(如垅西金矿、卡拉塔格铜金矿), 和成矿后石英斑岩(如延东矿

区西侧的石英斑岩)。

3 含矿斑岩的地球化学特征

含矿斑岩样品采自土屋-延东、灵龙、赤湖、垅西、卡拉塔格和三岔口等地。所取样品尽量避免矿化和蚀变的影响, 样品分析包括主量、微量和 Sr-Nd 同位素组成, 分析结果见表 1 和表 2。本次样品分析在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化实验室完成, 主量元素分析仪器为 PHILIPS PW-1400 型 X 荧光光谱仪; 微量元素用 Finnigan ELEMENT-2 型 ICP-MS 方法分析, 检出限为 0.01 × 10⁻⁶; Sr-Nd 同位素组成由 MAT262 质谱仪测试。

3.1 主量元素

表 1 显示土屋-延东含矿斑岩的 SiO₂、Al₂O₃ 和 MgO 含量范围分别为 64.92% ~ 73.05%、14.24% ~ 17.08% 和 0.92% ~ 2.16%, Na₂O 和 K₂O 含量分别为 2.98% ~ 5.93% 和 1.22% ~ 2.35%, Na₂O/K₂O 比值在 1.27 和 4.59 之间, 镁质 [Mg[#] = 100 × Mg²⁺ / (Mg²⁺ + Fe²⁺)] 为 41 ~ 48, TFeO 和 CaO 含量分别为 1.64% ~ 4.48% 和 0.30% ~ 3.49%, P₂O₅ 含量为 0.06% ~ 0.55%。三岔口含矿斑岩的主量元素组成与土屋-延东接近, 但 FeO 含量较高(2.38% ~ 2.92%), 而镁质较低 (Mg[#] = 31 ~ 32)。

灵龙、垅西和卡拉塔格石英斑岩以较低的 Al₂O₃ 和 MgO 含量为特点。赤湖斜长花岗斑岩与土屋-延东主量元素组成接近, 但 Mg[#] 明显偏低, 仅为 18 ~ 20。成矿后斑岩显示较低的 Mg[#] 值(31 ~ 38) 和 Al₂O₃ 含量(12.06% ~ 12.70%), 较高的 SiO₂ 含量(76.64% ~ 78.83%)。主量元素分析结果表明吐哈盆地南缘酸性斑岩均具有钙碱性和富钠质的特点。

3.2 微量和稀土元素

根据微量和稀土元素组成(表 1)及其配分曲线分布型式看(图 2), 吐哈盆地南缘斑岩总体分为两类: 一类为具有高 Sr (>400 × 10⁻⁶)、低 Y (<16)、低 Yb (<1.5)、重稀土强烈亏损和 Eu 正异常等特征的斑岩, 如土屋-延东和三岔口含矿斑岩(图 2a, b, f, g); 二类具有低 Sr、高 Y (>18 × 10⁻⁶)、高 Yb (>2 × 10⁻⁶)、重稀土亏损不明显和 Eu 负异常等特征的斑岩, 如赤湖-灵龙-垅西和成矿后斑岩(图 2c, d, e, h, i, j)。

其中, 土屋-延东含矿斑岩微量元素 MORB 配分曲线显示大离子亲石元素(LILE) Rb、K、Th 和 Sr 有相对高的富集, 而高场强元素(HFSE) Nb、Ta 和 Ti 以及重稀土元素(HREE) Yb 强烈亏损, 具有正 Eu 异常(δEu = 0.98 ~ 1.47)等特征(图 2a, f)。赤湖、卡拉塔格斑岩显示负的 Eu 异常和较高的 Yb 和 Y 值(图 2c, d, h, i)。成矿后斑岩更有不同的微量元素配分型式, 轻重稀土分馏不明显(图 2e, j), 具有强烈的 Ti、P、Sr 亏损和明显的负 Eu 异常(δEu = 0.23)。

表1 土屋-三岔口斑岩铜矿带斑岩主量(wt%)和微量元素($\times 10^{-6}$)组成Table 1 Major (wt%) and trace element ($\times 10^{-6}$) abundances of porphyries in Tuwu copper belt

岩石 样号	斜长花岗斑岩/土屋-延东						石英斑岩/延东西		
	YD203	YD-34	TW306	TW18	TW-33	TW-35	YD205-1	YD205-2	LL301
SiO ₂	70.12	68.76	70.62	64.92	69.76	73.05	76.64	78.83	77.45
TiO ₂	0.27	0.38	0.29	1.23	0.40	0.34	0.10	0.18	0.16
Al ₂ O ₃	15.59	15.89	17.03	16.42	15.89	14.24	12.70	12.06	12.69
Fe ₂ O ₃	1.31	2.34	0.78	2.08	1.10	1.70	1.28	1.25	0.82
FeO	0.87	1.30	0.86	2.40	1.05	1.07	0.74	0.56	0.90
MnO	0.03	0.02	0.02	0.14	0.03	0.02	0.06	0.02	0.05
MgO	0.93	1.24	0.97	2.16	1.28	1.17	0.75	0.48	0.52
CaO	2.05	1.01	1.11	3.49	1.22	0.30	0.54	0.11	1.18
Na ₂ O	5.60	2.98	4.73	3.35	4.93	3.45	4.83	2.34	2.22
K ₂ O	1.22	2.35	2.14	1.78	1.56	1.13	1.59	2.09	1.81
P ₂ O ₅	0.08	0.21	0.06	0.55	0.30	0.37	0.02	0.01	0.05
LOI	1.78	2.93	1.41	0.91	2.30	2.50	1.29	1.60	1.94
Total	99.85	99.41	100.02	99.43	99.82	99.34	99.54	99.93	99.79
Mg [#]	45	42	46	41	48	46	31	38	31
Ba	786.0	605.0	586.0	554.0	458.0	272.0	277.0	142.0	360.3
Cs	1.90	1.20	1.21	1.18	0.46	1.01	1.02	0.90	2.72
Rb	17.0	9.79	21.8	18.48	11.45	23.01	51.6	56.4	48.19
Sr	738	346.8	714	920.3	420.8	397.2	65.4	35.4	12.05
Y	8.94	13.3	5.23	15.98	6.30	6.03	39.1	43.2	18.26
Cr	45.9	183.8	16.6	111.2	17.9	11.86	16.3	14.4	1.54
Ni	34.2	108.6	6.80	79.91	12.81	8.14	3.15	3.14	7.80
Nb	1.44	2.74	2.21	8.39	2.18	3.05	17.1	16.4	6.42
Zr	37.4	73.8	37.0	146.3	86.65	74.26	231	227	85.79
Hf	1.06	1.89	1.09	3.53	2.29	2.00	7.14	7.03	2.80
Ta	0.16	0.21	0.12	0.56	0.21	0.28	1.57	1.53	0.87
La	6.28	6.73	7.71	16.46	7.33	9.94	40.6	41.7	16.32
Ce	14.4	16.37	15.5	36.09	15.24	20.1	90.1	95.5	33.71
Pr	1.93	2.25	1.83	4.44	1.77	2.33	11.0	11.4	3.73
Nd	8.58	10.52	7.19	18.76	6.86	8.69	40.5	41.5	14.08
Sm	2.04	2.60	1.27	3.86	1.39	1.45	7.91	8.13	3.09
Eu	0.78	1.01	0.60	1.28	0.54	0.42	0.56	0.60	0.54
Gd	2.07	2.88	1.19	3.80	1.25	1.10	6.99	7.62	2.68
Tb	0.29	0.41	0.16	0.50	0.19	0.17	1.14	1.21	0.48
Dy	1.70	2.38	0.92	2.82	1.06	0.92	7.00	7.43	3.22
Ho	0.34	0.49	0.18	0.57	0.22	0.19	1.45	1.55	0.67
Er	0.96	1.38	0.51	1.58	0.65	0.60	4.52	4.72	2.07
Tm	0.13	0.19	0.07	0.21	0.11	0.09	0.72	0.73	0.32
Yb	0.85	1.27	0.48	1.40	0.70	0.69	5.01	5.11	2.26
Lu	0.11	0.20	0.07	0.21	0.12	0.11	0.75	0.74	0.36
δ Eu	1.15	1.12	1.47	1.01	1.23	0.98	0.23	0.23	0.72

续表 1

Continued Table 1

岩石 样号	斜长花岗斑岩/灵龙-赤湖			石英斑岩/垅西		石英斑岩/卡拉塔格		斜长花岗斑岩/三岔口	
	YD203	YD-34	TW306	TW18	TW-33	TW-35	YD205-1	YD205-2	LL301
SiO ₂	71.40	65.75	68.23	74.34	72.35	76.62	70.26	65.49	65.04
TiO ₂	0.79	0.96	0.66	0.49	0.25	0.25	0.81	0.45	0.40
Al ₂ O ₃	14.60	16.67	15.38	12.55	14.79	12.52	13.96	16.77	16.88
Fe ₂ O ₃	3.62	1.94	3.16	2.37	1.12	1.61	2.65	1.62	2.29
FeO	2.58	2.11	1.32	0.90	0.93	0.75	1.45	2.92	2.38
MnO	0.02	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.10	0.09	0.10
MgO	0.75	0.61	0.43	0.65	0.68	0.61	1.25	1.70	1.49
CaO	1.14	3.71	0.68	0.81	1.80	0.43	0.56	4.07	5.06
Na ₂ O	2.09	4.40	4.63	4.73	4.11	4.75	5.42	3.62	3.70
K ₂ O	1.22	1.88	3.57	1.79	2.43	0.94	1.67	1.54	0.41
P ₂ O ₅	0.10	0.20	0.14	0.08	0.07	0.06	0.24	0.19	0.19
LOI	1.44	1.57	1.71	1.25	1.34	1.15	1.39	1.29	1.78
Total	99.95	99.78	99.97	100.01	99.92	99.73	99.76	99.75	99.72
Mg [#]	18	18	20	36	36	39	40	31	32
Ba	446.9	111.0	699.1	307.9	378.6	290.0	402.6	149	386.4
Cs	2.50	0.09	1.48	0.60	2.30	0.24	0.03	0.19	0.07
Rb	50.5	3.634	68.91	19.00	61.30	10.69	14.80	29.97	7.03
Sr	293.7	232.9	134.2	119.1	272.9	69.76	62.50	595.3	758.0
Y	17.17	25.73	23.10	25.87	10.21	20.88	31.36	13.01	10.24
Cr	146.7	0.87	10.88	2.910	8.540	0.161	0.60	1.41	1.91
Ni	73.59	7.94	16.81	23.23	15.36	3.48	9.33	10.68	2.45
Nb	6.41	5.51	9.21	4.07	4.46	8.17	7.37	3.17	2.43
Zr	195.7	209.6	293.2	236.0	113.0	165.6	126.6	65.52	60.54
Hf	5.40	5.59	7.31	6.78	3.24	5.37	3.79	1.71	1.65
Ta	0.89	0.68	1.27	0.49	0.97	0.77	0.78	0.45	0.31
La	18.12	17.16	23.14	14.10	13.0	8.92	17.90	14.82	10.34
Ce	38.13	41.71	50.29	29.23	25.41	21.16	35.68	27.80	22.61
Pr	5.28	5.40	6.47	3.54	2.94	2.84	4.70	3.52	2.97
Nd	22.27	22.24	27.05	16.08	11.26	12.01	20.31	13.71	12.24
Sm	5.03	5.29	5.91	4.74	2.49	3.13	5.19	3.15	2.87
Eu	1.18	1.24	1.16	0.86	0.55	0.50	1.20	1.10	0.85
Gd	4.32	4.48	4.95	4.35	2.03	2.69	5.28	2.62	2.27
Tb	0.67	0.73	0.78	0.78	0.33	0.50	0.95	0.41	0.34
Dy	3.79	4.65	4.57	4.95	1.92	3.70	6.36	2.52	2.05
Ho	0.75	1.02	0.94	1.06	0.38	0.88	1.38	0.51	0.40
Er	2.08	3.07	2.61	3.15	1.08	2.78	3.98	1.48	1.14
Tm	0.29	0.47	0.39	0.50	0.17	0.46	0.61	0.22	0.17
Yb	1.84	3.23	2.45	3.43	3.10	3.19	4.16	1.43	1.14
Lu	0.27	0.53	0.37	0.57	0.18	0.53	0.65	0.24	0.19
δEu	0.76	0.76	0.64	0.57	0.73	0.51	0.70	1.14	0.99

测试单位为中国科学院地质与地球物理研究所, 主量元素用 XRF、微量元素用 ICP-MS 方法测试

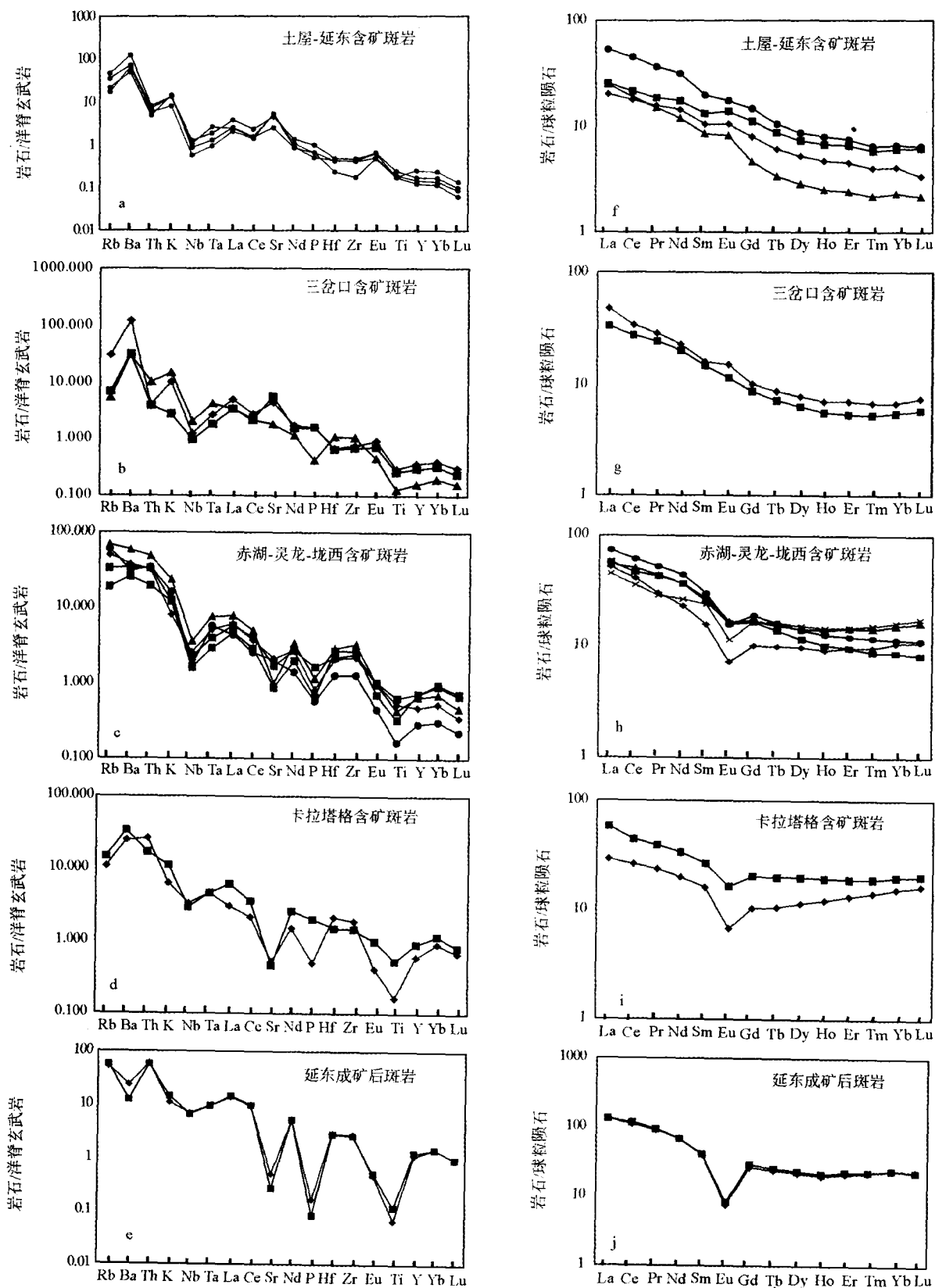


图2 吐哈盆地南缘斑岩微量与稀土元素配分曲线

Fig.2 MORB-normalized Trace element and Chondrite-normalized REE diagram for porphyries on the southern margin of Tuha basin

3.3 Sr-Nd 同位素

土屋-延东、赤湖和三岔口等地含矿斑岩的 Sr-Nd 同位素组成见表 2 和图 3。其中土屋-延东含矿斑岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分别为 $+5.0 \sim +7.6$ 和 $0.70330 \sim 0.70378$, 三岔口含矿斑岩显示类似的 Sr-Nd 同位素组成。这些岩石的 Nd 和 Sr 同位素组成与洋中脊玄武岩 (MORB) 以及新生代环太平洋起源于俯冲洋壳的埃达克岩组成 (初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0.7040$, Defant MJ and Drummond MS, 1990) 非常接近。灵龙和赤湖斑岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分别为 $+6.1 \sim +6.6$ 和 $0.70392 \sim 0.70458$ 。成矿后斑岩具有相对高的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 值 ($0.70461 \sim 0.70466$), 可能受到地壳物质的混染。

总体来看, 吐哈盆地南缘斑岩与中亚造山带其它地区海西期中酸性花岗岩类的 Sr-Nd 同位素组成 (Hong D *et al.*, 2003) 接近, 但不同于法国海西期花岗岩和澳大利亚花岗岩的组成 (McCalloch MT and Chappell BW, 1982, 图 3)。

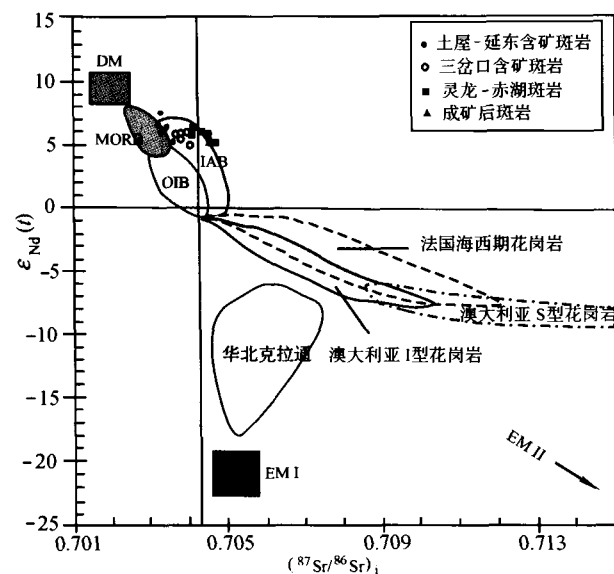


图 3 吐哈盆地南缘斑岩 $\epsilon_{Nd}(t)$ - $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 图解 (DM, MORB, IAB, OIB, EMI and EMII 据 Zindler A and Hart SR, 1986; 法国海西期花岗岩、澳大利亚 I 和 S 型花岗岩据 McCalloch MT and Chappell BW, 1982)

Fig. 3 Diagram of $\epsilon_{Nd}(t)$ vs. $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ for porphyries from southern margin of Tuha basin

4 讨论

4.1 含矿斑岩的期次

关于本地区含矿斑岩的形成期次, 过去曾被认为是一期, 即主要形成于碰撞造山前的早一中石炭世。最近越来越

多的证据表明土屋-延东含矿斑岩的侵位时代为 $356 \sim 333\text{Ma}$, 三岔口铜矿斑岩成岩时代为早二叠世 ($278 \pm 4\text{Ma}$, 李华芹等, 2004), 赤湖斜长花岗斑岩的侵入年龄在 $292 \sim 283\text{Ma}$ (李文明等, 2003)。结合区域构造演化, 可将东天山吐哈盆地南缘含矿斑岩形成时代分为两期, 一为碰撞造山前的早石炭世, 以土屋-延东含矿斑岩为例; 二为同碰撞造山期的晚石炭世—早二叠世, 以赤湖-灵龙和三岔口斑岩为例。

4.2 主要的含矿斑岩具有埃达克岩特征

土屋-延东和三岔口含矿斑岩样品的 SiO_2 范围在 $54\% \sim 72.23\%$, 以高 Na_2O ($3.5\% \sim 5.0\%$) 和高 Al_2O_3 (绝大部分大于 15.0%), 低钾 (小于 2.5%) 和 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1$ 为特征, FeO 、 MgO 和 CaO 含量中等, 但镁质较高 ($\text{Mg}^* = 40 \sim 55$)。这些中酸性岩石属于钙碱系列和低钾拉斑系列; 微量元素表现为富集大离子亲石元素, 亏损 HREE, 并具有明显的正 Sr、负 Nb 和 Ti 异常等特征 (图 2a, b)。Sr 含量高达 $384 \times 10^{-6} \sim 1666 \times 10^{-6}$, Y 和 Yb 含量低分别为 $4.18 \times 10^{-6} \sim 18.73 \times 10^{-6}$ 和 $0.60 \times 10^{-6} \sim 1.72 \times 10^{-6}$, Eu 表现为正异常 (图 2f, g)。上述高 Sr、 Na_2O 和 Al_2O_3 , 低 Y 和 HREE 等特征与 Defant MJ and Drummond MS (1990) 和 Drummond MS *et al.* (1996) 定义的埃达克岩地球化学特征是一致的, 在 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ - Yb_N 和 Sr/Y -Y 图解 (图 4) 中落入埃达克岩区。而赤湖、灵龙、卡拉塔格斑岩和成矿后斑岩在典型的岛弧钙碱性岩分布区。

4.3 埃达克岩的成因及有利的成矿条件

埃达克岩 (或埃达克质岩) 大致有 4 种成因类型: 一是形成于岛弧环境的板片熔融 (Defant MJ and Drummond MS, 1990; Martin H 1999); 二是加厚的下地壳底部的部分熔融 (Kay SM and Mpodozis C, 2001; 张旗等, 2002); 三是同源基性岩浆分离结晶作用; 四是拆沉作用 (Kay RW and Kay SM, 1993)。这几种成因的埃达克岩均由玄武质岩石在角闪岩相向榴辉岩相转变条件下部分熔融形成, 因而具有相似的岩石地球化学特征。但一些方面也有差别, 如俯冲洋壳熔融形成的埃达克岩位于火山弧, 形成于板块俯冲期, Sr-Nd 同位素组成接近于 MORB。而底侵玄武质加厚下地壳熔融形成的埃达克岩多形成于同碰撞造山作用的后期 (王强等, 2003), 有相对较高的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 比值。

东天山吐哈盆地南缘土屋-延东早石炭世埃达克质岩石形成于古天山洋向北俯冲时形成的岛弧带, 这些岩石的 Nd 和 Sr 同位素组成与洋中脊玄武岩 (MORB) 以及起源于俯冲洋壳的埃达克岩的 Nd 和 Sr 同位素组成相似, 并且埃达克质岩石 $\text{Mg}^* > 40$ (表 1), 表明它们可能是俯冲洋壳熔融的产物。Drummond MS *et al.* (1996) 指出, 由俯冲板片熔融产生的埃达克岩 Mg^* 通常大于 40。实验的结果 (Rapp RP and Watson EB, 1995) 证实, 由玄武质岩石部分熔融产生的埃达克质熔体, 其 Mg^* 绝大部分小于 40, 考虑三岔口斑岩的 Mg^* 在 30 左右, 因而推测三岔口埃达克岩可能形成于同碰撞造

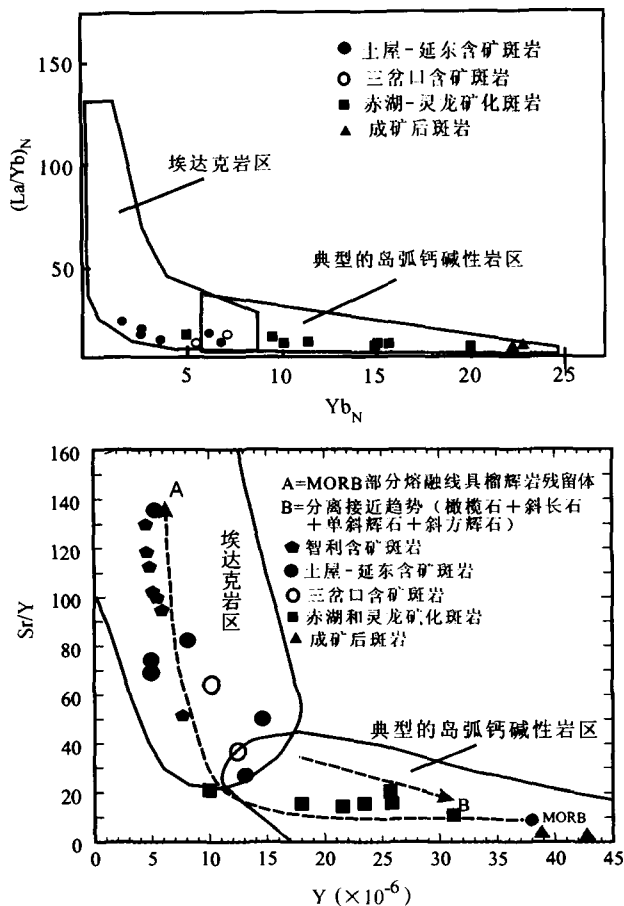


图4 吐哈盆地南缘斑岩 $(La/Yb)_N$ - Yb_N 和 Sr/Y - Y 相关图解
(据 Defant MJ and Drummond MS, 1990; Drummond MS *et al.*, 1996)
Fig. 4 Diagrams of Chondrite-normalized $(La/Yb)_N$ vs. Yb_N and Sr/Y vs. Y

山阶段后期发生的玄武质岩浆底侵使下地壳加厚导致的熔融作用。

在 $La-La/Sm$ 相关图解上(图5),土屋-延东和三岔口含矿斑岩样品投点均沿部分熔融线分布,而赤湖-灵龙斑岩和成矿后斑岩多沿结晶分异线分布。进一步说明土屋-延东等埃达克岩的洋壳熔融成因。

Oyarzun R *et al.* (2001) 认为形成巨型斑岩铜矿的有利条件是:两个板块斜向快速对接,导致板块缓倾角俯冲和俯冲板块的直接熔融,而产生深成埃达克岩;有利于防止 SO_2 逸散的挤压条件,富硫和高氧化的岩浆(封闭的岩浆系统)。本文研究表明土屋-延东含矿斑岩具备这些形成条件,含矿斑岩中黑云母属富镁黑云母,其 $Mg/(Mg + Fe + Mn) = 0.35 \sim 0.60$,结合矿石光片中见到大量赤铁矿和磁铁矿,认为斜长花岗斑岩属于高 fO_2 的产物。三岔口黑云母电子探针分析表明: MgO 含量在 11.86 ~ 16.98% 之间,多为镁质黑云母,含

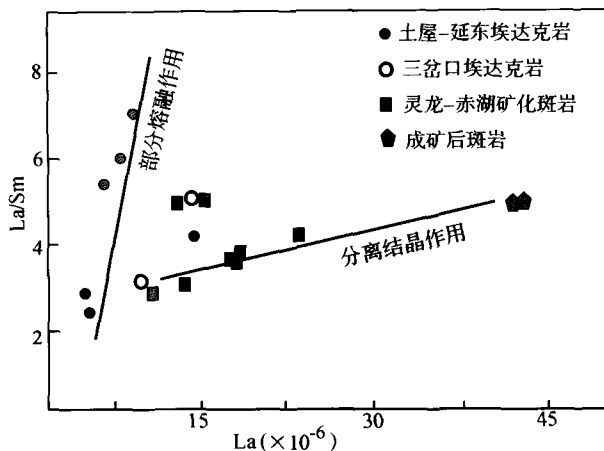


图5 吐哈盆地南缘斑岩 $La-La/Sm$ 相关图解
Fig. 5 La vs. La/Sm diagram for porphyries on the southern margin of Tuha basin

镁系数 > 0.5 , 也具有有利于成矿的氧化条件。

4.4 斑岩对构造环境的指示

关于吐哈盆地南缘在晚古生代石炭纪的构造环境,存在岛弧(姬金生等,1994;马瑞士等,1998;李锦轶等,2002;毛景文等,2002; Xiao WJ *et al.*, 2004) 和碰撞后裂谷(Xia LQ *et al.*, 2003; 徐学义等,2004) 等认识上的分歧。本文利用 Pearce *et al.* (1984) $Rb-(Yb + Ta)$ 、 $Rb-(Y + Nb)$ 、 $Ta-Yb$ 和 $Nb-Yb$ 微量元素构造环境判别图解,将吐哈盆地南缘斑岩样品投于图中(图6),结果表明除两个成矿后斑岩外其它样品均位于火山弧花岗岩的右上方;在 $Nb-Yb$ 相关图中投点位于火山弧和同碰撞花岗岩区域。结合考虑年代学和地球化学数据,本文认为土屋-延东含矿斑岩应为岛弧花岗岩类,而三岔口、赤湖和灵龙等含矿斑岩应为同碰撞花岗岩性质。反过来说,本区在早石炭世可能处于碰撞前的岛弧环境,在晚石炭世—早二叠世可能处于同碰撞到碰撞后期环境。

5 总结

通过对土屋-延东、灵龙-赤湖、三岔口及卡拉塔格等含矿斑岩的地质地球化学研究,表明新疆吐哈盆地南缘含矿斑岩的形成时代有两期,即早石炭世(碰撞造山前),以土屋-延东含矿斑岩为例;晚石炭世—早二叠世(同碰撞造山期),以赤湖-灵龙和三岔口含矿斑岩为例。按地球化学特征,延东-土屋和三岔口含矿斑岩为埃达克质岩,而灵龙和卡拉塔格含矿斑岩(石英斑岩),赤湖和垅西含矿斑岩(斜长花岗斑岩)不具埃达克质岩特征。埃达克岩成因有两种:土屋-延东埃达克岩为洋壳板片熔融成因,三岔口埃达克岩为加厚下地壳底部的熔融成因。由于土屋-延东含矿斑岩为大洋板片熔融成因,相对于三岔口而言更有利于形成大型矿床。

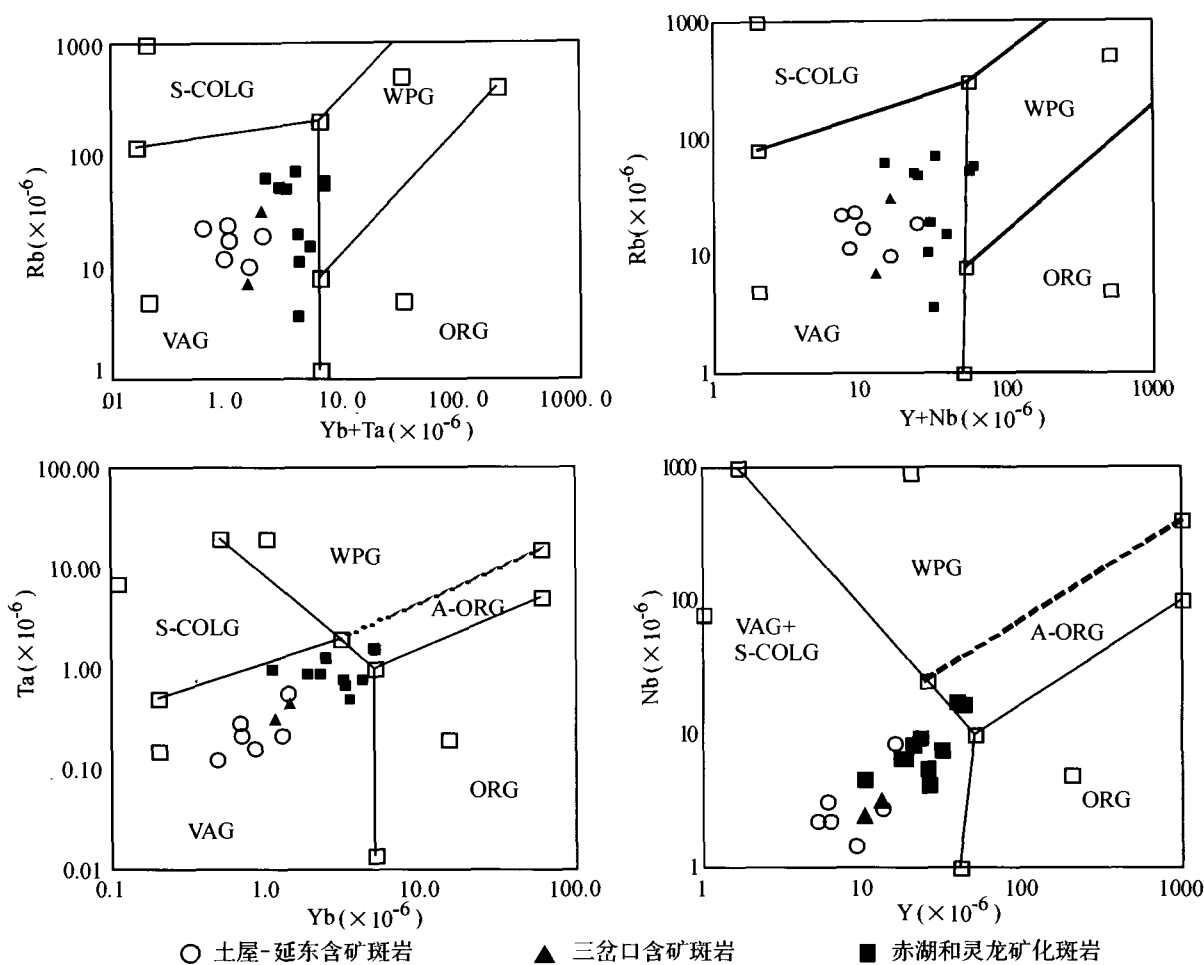


图6 吐哈盆地南缘斑岩微量元素构造环境判别图解

VAG-火山弧花岗岩;ORG-洋脊花岗岩;WPG-板内花岗岩;S-COLG-同碰撞花岗岩

Fig.6 Trace element discrimination diagram for porphyries on the southern margin of Tuha basin

进一步开展埃达克岩构造背景、成因类型的研究,划分与俯冲洋壳熔融有关的埃达克岩带及与板块俯冲无关的埃达克岩带,探索岛弧和活动陆缘环境两类埃达克岩的区别标志,重塑古生代洋陆俯冲和多块体碰撞造山期的地壳增生的埃达克岩记录,研究地壳增生过程中板片熔体参与下的壳幔物质交换和元素循环、富集机制,揭示埃达克岩形成的地球动力学背景及主要控制因素,是一项极其重要和紧迫的任务。

吐哈盆地南缘从黄山至秋格明塔什总长度大于300km,沿线分布有众多的中酸性斑岩体,近几年又相继发现了多处与铜矿相关的规模大、强度高、组合复杂的化探异常和激电异常。因此,从区域成矿地质条件分析,吐哈盆地南缘成矿带具有进一步寻找埃达克质斑岩铜矿的巨大潜力。

致谢 研究工作得到张旗、夏斌、赵振华、高俊、秦克章、李锦轶和肖文交研究员等的帮助,在此表示衷心感谢。

References

Defant MJ and Drummond MS. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347: 662-665

Drummond MS, Defant MJ and Kepezhinskas PK. 1996. Petrogenesis of slab-derived trondhjemite-tonalite-dacite/adakite magmas. *Transactions of the Royal society of Edinburgh. Earth Sciences*, 87: 205-215

Hong D, Wang S, Xie X, Zhang J and Wang T. 2003. Granitoids and related metallogeny of the central Asian orogenic belt. In: Mao JW, Goldfarb RJ, Seltmann R, Wang, DH, Xiao WJ and Hart C (eds). *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. Proceedings Volume of the International Symposium of the IGCP-473 Project in Urumqi*, 227-248

Hou ZQ, Gao YF, Meng XJ, QU XM and Huang W. 2004. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen. *Acta Petrologica Sinica*,

- 20(2): 239–248 (in Chinese with English abstract)
- Ji JS, Tao HX and Zeng ZR. 1994. Geology and mineralization of Kanggurtage gold matellogenic belt, East Tianshan. Beijing: Geological Publishing House, 325 (in Chinese with English abstract)
- Kay RW and Kay SM. 1993. Delamination and delamination magmatism. *Tectonophysics*, 219: 177–189
- Kay SM and Mpodozis C. 2001. Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA Today*, 11(3): 4–9
- Li HQ, Chen FW, Lu YF, Yang HM. 2004. Zircon SHRIMP U-Pb age and strontium isotopes of mineralized granitoids in the Sanchakou copper polymetallic deposit, east Tianshan mountains. *Acta Geoscientica Sinica*, 25: 191–195
- Li JY, Wang KZ, Li WQ, Guo HC, Song B and Wang Y. 2002. Tectonic evolution since the late Paleozoic and mineral prospecting in eastern Tianshan Mountains, NW China. *Xinjiang Geology*, 20(4): 295–301 (in Chinese with English abstract)
- Li WM and Ren BC. 2002. The intermediate-acid intrusive magmatism and its geodynamic signification in Eastern Tianshan region. *Northwestern Geology*, 35: 41–64 (in Chinese with English abstract)
- Liu DQ, Chen YC. and Wang DH. 2003. A discussion on problems related to mineralization of Tuwu-Yandong Cu-Mo Ore field in Hami, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 22:334–344 (in Chinese with English abstract)
- Ma RS, Shu LS and Sun J Q. 1997. Tectonic evolution and metallogeny of eastern Tianshan mountains. Beijing: Geological Publishing House, 202 (in Chinese with English abstract)
- McCalloch MT and Chappell BW. 1982. Nd isotopic characteristics of S- and I-type granites. *Earth Planet Sci. Lett*, 58:51–64
- Martin H. 1999. Adakitic magmas; modern analogues of Archean granitoids. *Lithos*, 46: 411–429
- Oyarzun R, Marquez A, Lillo J, Lopez I and Rivera S. 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile; adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineralium Deposita*, 36:794–798
- Pearce JA *et al.* 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology*, 25: 956–983
- Qin KZ, Fang TH and Wang SL. 2002a. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan Mountains, NW China. *Xinjiang Geology*, 20(4): 302–308 (in Chinese with English abstract).
- Qin KZ, Sun S, Li JL, Fang TH, Wang SL and Liu W. 2002b. Paleozoic epithermal Au and porphyry Cu Deposits in North Xinjiang, China: Epochs, Features, Tectonic Linkage and Exploration Significance. *Resource Geology*, 52(4): 291–300
- Rapp RP and Watson EB. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8–32kbar: Implications for continental growth and crust-mantle recycling. *J. Petrol.*, 36: 891–931
- Rui ZY, Liu YL, Wang LS and Wang YT. 2002. The eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework. *Acta Geologica Sinica*, 76(1): 83–94 (in Chinese with English abstract)
- Song B, Li JY, Li WQ, Wang KZ and Wang Y. 2002. Zircon SHRIMP age and its significances of Kezirkalaysayi and Dananhu granites on Tuha basin. *Xinjiang geology*, 4: 13–26 (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Xu J F and Zhao Z H. 2003. Intermediate-acid igneous rocks strongly depleted in heavy rare earth elements (or adakitic rocks) and copper-gold metallogenesis. *Earth Science Frontiers*, 10(4): 561–572 (in Chinese with English abstract)
- Xia LQ, Xu XY and Xia ZC. 2003. Carboniferous post-collisional rift volcanism of the Tianshan mountains, northwestern China, *Acta Geologica Sinica*, 77: 338–360 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Zhang LC, Qin KZ, Sun S and Li JL. 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia. *Am. J. Sci.*, 304: 370–395
- Xiong XL, Cai ZY, Niu HC, Chen YB, Wang Q, Zhao ZH and Wu J H. 2005. The late Paleozoic adakites in eastern Tianshan area and their metallogenic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 21: 967–976 (in Chinese with English abstract)
- Xu XY, Ma ZP, Xia ZC and Xia LQ. 2005. Discussion of the sources and characteristics on Sr, Nd, P, isotopes of the Carboniferous to Permian post-collision granites from Tianshan, Northwestern Geology, 38: 1–18 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LC, Qin KZ, Ying JF, Xia B and Shu JS. 2004a. The relationship between ore-forming processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 259–268 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LC, Xiao WJ, Qin KZ, Ji JS and Yang XK. 2004b. Types, geological features and geodynamic significances of gold-copper deposits in the Kanggurtage metallogenic belt, eastern Tianshan, NW China. *International Journal of Earth Sciences*, 93:224–240
- Zhang Q, Wang Y, Liu W, Wang, YL. 2002. Adakite: Its characteristics and implications. *Geological Bulletin of China*. 21: 431–435 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Qin KZ, Wang YL, Zhang FQ, Liu HT and Wang Y. 2004. Study on adakite broadened to challenge the Cu and Au exploration in China. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 195–204 (in Chinese with English abstract)
- Zindler A and Hart S R. 1986. Chemical geodynamics. *Ann. Rev. Earth Plant Sci.*, 14: 493–571

附中文参考文献

- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 曲小明, 黄卫. 2004. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因和构造控制. *岩石学报*, 20(2): 239–248
- 姬金生, 陶洪祥, 曾章仁, 杨兴科, 张连昌. 1994. 东天山康古尔金矿带地质与成矿. 北京, 地质出版社. p325
- 李锦铁, 王克卓, 李文铅, 郭华春, 宋彪, 王瑜. 2002. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查. *新疆地质*, 20(4): 295–301
- 李华芹, 陈富文, 路远发, 杨红梅, 郭敬, 梅玉萍. 2004. 东天山三岔口铜矿区矿化岩体 SHRIMP U-Pb 年代学及锶同位素地球化学特征研究. *地球学报*, 25: 191–195
- 李文明, 任秉琛. 2002. 东天山中酸性侵入岩浆作用及其地球动力学意义. *西北地质*, 35: 41–64
- 刘德权, 陈毓川, 王登红, 唐延龄. 2003. 土屋-延东铜铅矿田有关问

- 题的讨论. 矿床地质, 22:334 - 344
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿. 北京, 地质出版社. p202
- 毛景文, 杨建民, 韩春明. 2002. 东天山铜金多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型. 地球科学, 27(4): 413 - 424
- 秦克章, 方同辉, 王书来. 2002a. 东天山板块构造分区, 演化与成矿地质背景研究. 新疆地质, 20(4): 302 - 308
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 王义天. 2002. 新疆东天山斑岩铜矿带及其大地构造意义. 地质学报, 76(1): 83 - 94
- 宋彪, 李锦轶, 李文铅, 王克卓, 王瑜. 2002. 吐哈盆地南缘克孜尔卡拉萨依和大南湖花岗岩基锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. 新疆地质, 4:16 - 23
- 熊小林, 蔡志勇, 牛贺才, 陈义兵, 王强, 赵振华, 吴金花. 2005. 东天山晚古生代埃达克岩成因及铜金成矿意义, 岩石学报, 21: 967 - 976
- 徐学义, 马中平, 夏祖春, 夏林圻. 2005. 天山石炭-二叠纪后碰撞花岗岩的 Nd、Sr、Pb 同位素源区示踪, 西北地质, 38:1 - 18
- 王强, 许继峰, 赵振华. 2003. 强烈亏损重稀土元素中酸性侵入岩(或埃达克质岩)与成矿. 地学前缘, 10(4): 561 - 572
- 张连昌, 秦克章, 英基丰, 夏斌, 舒建生. 2004. 东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系. 岩石学报, 20(2): 259 - 268
- 张旗, 王焰, 刘伟, 王元龙. 2002. 埃达克岩的特征及其意义. 地质通报, 21:431 - 435