

“吐哈天窗”卡拉塔格岩体的地球化学和岩石成因

李文铅¹ 王 冉² 王 核¹ 夏 斌²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室, 广东 广州 510640;
2. 中国科学院边缘海地质重点实验室 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要:卡拉塔格岩体是吐哈盆地南缘古生代天窗中唯一的一个岩体。主量元素特征表明卡拉塔格岩体属富钠的钙碱性系列; 岩石富集轻稀土和 Ba、K、La 等大离子亲石元素, 而亏损 Th、Nb、P 和 Ti 等高场强元素, 具弱的 Eu 负异常, 具有低的 Sr 同位素比值和高的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(+7.74 ~ +9.13)。这些特征表明:(1)卡拉塔格岩体具有俯冲带幔源岩石的成分特点, 反映其形成于岛弧环境。(2)卡拉塔格岩体来源于亏损地幔源区, 且基本上未受到古老大陆地壳物质的污染, 其形成与康古尔古大洋板块向北的俯冲带熔作用具有直接的成因关系。(3)该岩体的总体特征表明, 吐哈盆地南缘在早古生代晚期为一活动的大陆边缘环境, 卡拉塔格斑岩型金铜矿的形成与该区的古洋壳俯冲有成因联系。

关键词:卡拉塔格岩体; 地球化学; 岩石成因; 构造环境; 东天山; 新疆

中图分类号: P591⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)03-0559-07

卡拉塔格地区位于吐哈盆地南缘古生代天窗中, 属大南湖—哈尔里克岛弧带的北段, 南距康古尔塔格大断裂 60 km, 东距哈密市 150 km, 北距兰新铁路约 50 km, 为戈壁丘陵景观, 区内海拔高度在 400~750 m。继东天山古生代造山带土屋—延东超大型斑岩铜矿的发现^[1]之后, 于吐哈盆地南缘古生代“天窗”中又发现了卡拉塔格斑岩型金铜矿床^[2], 因而, 研究卡拉塔格地区的成矿地质背景, 成为目前的急需。前人对东天山的花岗岩进行较多的研究^[3-6], 然而, 目前尚未见本区唯一的岩体卡拉塔格岩体的同位素及地球化学研究资料, 故笔者将对卡拉塔格岩体进行详细的地球化学研究, 以解决卡拉塔格斑岩型金铜矿的成矿大地构造背景。

1 区域地质概况

卡拉塔格岩体位于康古尔塔格断裂以北, 距哈密土屋铜矿约 80 km 的卡拉塔格地区(图 1-a), 构造上隶属于哈萨克斯坦—准噶尔板块。岩体出露面积约 74 km², 是吐哈盆地南缘古生代“天窗”中唯一的一个岩体。卡拉塔格岩体呈不规则状、岩株、岩枝状产出, 外接触带见有角岩化、硅化及褐铁矿化蚀变现象。岩体由英云闪长岩、红色花岗闪长岩及红色二长花岗岩组成, 三者为脉动式侵入接触(图 1-b)。

目前未见卡拉塔格岩体同位素测年资料, 其时代是依据

地质接触关系确定的。区域地质调查资料显示^①, 被卡拉塔格岩体侵位的地层其上具两条不整合界线(图 1-b), 最上面的一条不整合界线之上为有化石依据的下泥盆统大南湖组。泥盆纪之下的地层依据区域对比, 将两条不整合界线之间的地层定为中—上志留统红柳峡组, 将最下伏的地层定为中奥陶统荒草坡群大柳沟组。在泥盆纪与下伏地层不整合的底砾岩中见有该花岗岩类砾石, 因而将该岩体暂定为志留纪。该岩体是本区出露最老的岩体。

2 岩石学特征

英云闪长岩: 灰色, 粒状结构, 块状构造。岩石由斜长石(65%~66%)、石英(20%~22%)、角闪石(11%~14%)及黑云母(1%)组成, 有少量磁铁矿。斜长石为中长石, 呈半自形—自形板状, 粒度大小一般为 0.17~3 mm, 具聚片双晶及环带构造, 有轻—中度高岭土化、绢云母化。石英呈他形粒状或粒状集合体分布于斜长石之间, 粒度 0.16~3.4 mm, 具波状消光。角闪石呈半自形粒状、柱状的细粒晶分布于浅色矿物之间, 有中度或强阳起石化, 伴有绿泥石化。他形鳞片状黑云母, 已绿泥石化、绿帘石化。

花岗闪长岩: 灰褐色, 似斑状结构, 块状构造。岩石主要由斜长石(61%)、石英(22%)、钾长石(12%)组成, 有少量黑云

收稿日期: 2006-01-12; 改回日期: 2006-04-10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409805)与中科院创新重要方向性项目(KZCX3-SW-137) 联合资助。

作者简介: 李文铅, 男, 1962 年生, 研究员, 大地构造与成矿专业; E-mail: gzwqil@gig.ac.cn。

① 张兴龙, 李文铅. 新疆东天山五堡幅 1:25 万区域地质调查报告, 2003。

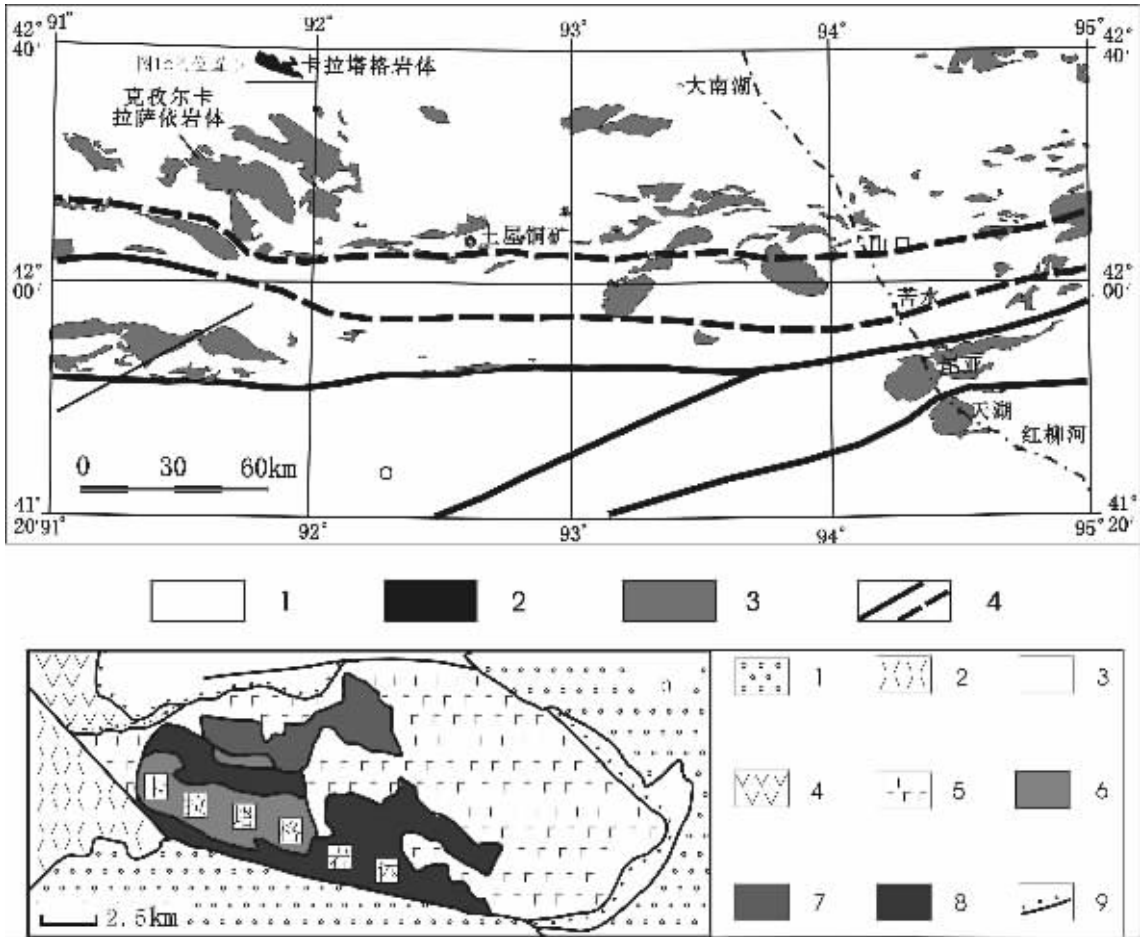


图 1 卡拉塔格岩体的分布位置图(a)和地质简图(b)

- a: 1—古生代造山区; 2—早古生代中酸性侵入岩; 3—晚古生代中酸性侵入岩; 4—断裂与推测断裂; b: 1—中—新生代地层; 2—二叠纪地层; 3—泥盆纪地层; 4—志留纪地层; 5—奥陶纪地层; 6—卡拉塔格二长花岗岩; 7—卡拉塔格花岗闪长岩; 8—卡拉塔格英云闪长岩; 9—实测不整合

Fig. 1 Distribution map (a) and geological sketch map (b) of the Kalatag granite

- a: 1—Paleozoic orogenic area; 2—Early Paleozoic intermediate—acid intrusive rocks; 3—Late Paleozoic Intermediate—acid intrusive rocks; 4—Fault and inferred fault; b: 1—Meso—Cenozoic strata; 2—Permian strata; 3—Devonian strata; 4—Silurian strata; 5—Ordovician strata; 6—Kalatag monzogranite; 7—Kalatag granodiorite; 8—Kalatag tonalite; 9—Unconformity

母(5%)及磁铁矿。斜长石为更—中长石,呈半自形—自形板状,粒度大小一般为0.28~2.8 mm,具强高岭土化、弱绢云母化。正长石呈他形粒状或不规则状分布于斜长石或石英之间(钾长石和石英为同结晶形成),具强高岭土化。石英呈他形细粒状,粒度0.1~2 mm,波状消光。黑云母呈鳞片状,已完全绿泥石化、绿帘石化,析出少量钛质,已白钛石化。

二长花岗岩:浅肉红色,文象结构—结粒结构,块状构造。主要由斜长石(37%~38%)、钾长石(25%~30%)、石英(30%~35%)组成,有少量黑云母、副矿物。斜长石为中长石。呈半自形—自形板状,粒度0.24~4 mm,具聚片双晶和环带构造,有

较强高岭土化和轻度绢云母化。条纹长石呈他形粒状,粒度0.16~2 mm,具强高岭土化,大部分钾长石和石英呈文象共生状分布。石英呈他形粒状,粒度0.4~4.8 mm,分布较均匀,弱波状消光。黑云母呈鳞片状、叶片状,已变为绿泥石、绿帘石集合体。副矿物以磁铁矿为主,有褐铁矿化。

3 岩石地球化学特征

主量元素利用XRF方法分析,微量元素用PE—Elan型电感耦合等离子体—质谱仪(ICP—MS)分析,详细的实验方法和精度见有关文献^[7,8]。Nd、Sr同位素比值在激光探针—多接

表 1 卡拉塔格岩体主量元素分析 (%)

Table 1 Major element analysis of the Kalatag intrusion (%)

Sample	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
D8-XI-5 [#]	二长花岗岩	76.3	0.26	11.12	1.21	1.52	0.14	0.51	1.64	3.52	2.24	0.03	1.23	99.72
03D-25	二长花岗岩	68.7	0.4	15.24	1.80	2.41	0.1	1.33	3.68	3.68	1.44	0.08	1.27	100.13
03D-24	二长花岗岩	68.5	0.37	15.07	1.81	2.17	0.12	1.1	3.33	3.8	1.78	0.07	1.87	99.99
D8-XI-10 [#]	二长花岗岩	64.26	0.52	13.54	2.54	4.23	0.19	2.93	4.98	2.61	2.38	0.1	1.06	99.34
03D-28	二长花岗岩	63.88	0.44	15.13	3.07	3.09	0.12	2.61	5.52	2.91	1.23	0.07	1.55	99.62
D8-XI-1 [#]	花岗闪长岩	65.1	0.4	13.27	2.93	3.38	0.2	2.41	4.67	2.95	1.42	0.09	2.07	98.89
D8-XI-11 [#]	花岗闪长岩	62.98	1.13	13.53	4	4.1	0.27	1.69	2.59	5.01	2.33	0.39	1.51	99.53
03D-27	花岗闪长岩	63.4	0.47	15.24	3.08	3.24	0.12	2.86	5.62	3.11	1.12	0.07	1.59	99.92
03D-26	花岗闪长岩	63.41	0.47	15.17	3.32	3.3	0.13	2.8	5.8	2.91	0.93	0.08	1.46	99.78
03D-29	英云闪长岩	62.49	0.47	14.31	3.39	3.88	0.13	3.32	6.01	2.38	1.63	0.09	1.85	99.95
D8-XI-9 [#]	英云闪长岩	60.85	0.57	12.99	2.92	5.93	0.23	3.89	5.42	2.4	2.19	0.15	1.68	99.22

注：# 引自张兴龙,李文铅,新疆东天山五堡幅 1:25 万区域地质调查报告,2003。

收器等离子体质谱(LAM-MC-ICPMS)上测定,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 和 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比值分别用 ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194 和 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219 标准化。Sr 用标样为 NBS987,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.710250;Nd 用标样为 Shin Eston Jndi-1,¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.512115,分析流程见有关参考文献^[9,10]。以上各项分析均在中国科学院同位素年代学和地球化学重点实验室完成。

3.1 主量元素特征

从卡拉塔格岩体的主量元素分析(表 1)可看出,英云闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩的岩石 SiO₂ 含量为 60.85%~76.3%。Na₂O 为 2.4%~5.01%,K₂O 为 0.93%~2.38%,Na/K 比值为 1.67~4.76,显示富 Na 特征。A/CNK 值变化为 0.80~1.07,均值为 0.93,小于 1.1。除 03D-24、03D-25 样品中 CIPW 标准矿物中出现刚玉(含量分别为 0.99%、1.11%)外,其余样品的 CIPW 标准矿物中均出现透辉石,含量在 0.03%~3.36%。里特曼指数(σ)为 0.72~2.70,均值为 1.13。表明该花

岗岩为铝弱过饱和型和钠质-正常钙碱性系列。Chappell 等^[11] 将此类花岗岩划为 I 型花岗岩。

3.2 微量元素特征

从卡拉塔格岩体的微量元素分析(表 2)可看出,该岩体二长花岗岩-花岗闪长岩-闪长岩稀土元素丰度低,REE 值平均 73.3×10⁻⁶。(La/Yb)_N 为 2.49~5.09,平均为 3.52。表明轻稀土相对富集,轻、重稀土之间分馏相对明显。卡拉塔格岩体的稀土元素球粒陨石标准化曲线(图 2)为略向右倾并具负 Eu 异常的密集曲线簇,其 δEu 为 0.42~0.83。(La/Sm)_N 值较高(1.57~2.66),反映轻稀土的分馏相对明显;(Gd/Lu)_N 值较低(0.96~1.38),反映重稀土的分馏不明显。岩体的稀土元素特征具有活动大陆边缘花岗岩类的一般特征^[12]。由原始地幔标准化的蛛网图(图 3)可知,卡拉塔格岩体中花岗岩至英云闪长岩的曲线形态一致,明显地富集 Ba、K、La 等元素,而相对亏损 Th、Nb、P 和 Ti 等高场强元素,且 Th、Nb 和 Ti 具

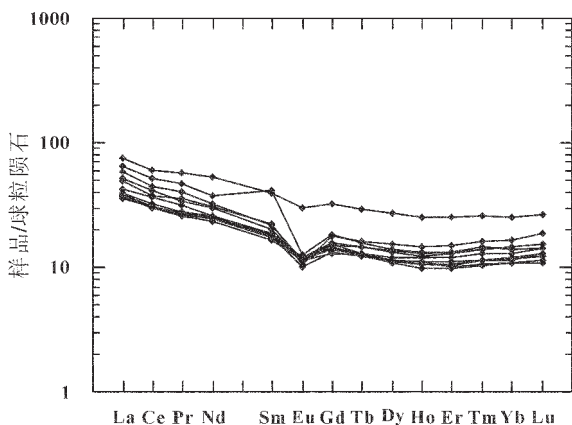


图 2 卡拉塔格岩体的稀土元素配分型式 (球粒陨石值据参考文献[18])

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns for the Kalatag granite (chondrite data from Boynton, [18])

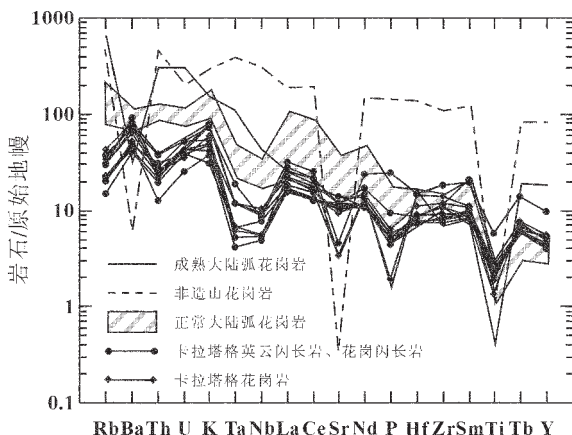


图 3 卡拉塔格岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图 (原始地幔值据参考文献[19])

Fig. 3 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams for the Kalatag granite (primitive mantle data from Wood, [19])

表 2 岩体微量元素分析
Table 2 Trace element analysis of the Kalatag intrusion

Sample	D8-XI-5 [#]	03D-25	03D-24	D8-XI-10 [#]	03D-28	D8-XI-1 [#]	D8-XI-11 [#]	03D-27	03D-26	03D-29	D8-XI-9 [#]
岩石名称	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	花岗闪长岩	花岗闪长岩	花岗闪长岩	花岗闪长岩	英云闪长岩	英云闪长岩
La	14.78	11.72	10.79	17.37	11.45	12.81	22.23	10.94	11.33	15.65	19.53
Ce	29.62	25.18	24.03	34.76	24.16	28.52	47.35	23.22	23.45	32.47	40.44
Pr	4.23	3.31	3.15	4.80	3.19	3.71	6.79	3.32	3.07	4.05	5.49
Nd	17.65	15.11	14.44	18.96	14.32	14.93	30.45	14.55	13.53	17.39	21.88
Sm	4.18	3.52	3.42	4.11	3.32	3.49	7.41	3.33	3.13	3.82	7.82
Eu	0.76	0.86	0.86	0.82	0.83	0.81	2.13	0.72	0.81	0.79	0.89
Gd	4.50	3.91	3.80	3.82	3.51	3.62	8.17	3.36	3.27	3.71	4.59
Tb	0.74	0.67	0.68	0.59	0.59	0.59	1.35	0.57	0.58	0.58	0.72
Dy	4.76	4.27	4.10	3.58	3.47	3.76	8.47	3.50	3.49	3.41	4.39
Ho	1.02	0.91	0.86	0.78	0.74	0.83	1.76	0.77	0.74	0.69	0.92
Er	3.07	2.68	2.64	2.25	2.16	2.46	5.13	2.04	2.12	1.99	2.71
Tm	0.51	0.44	0.44	0.36	0.36	0.41	0.82	0.34	0.36	0.32	0.46
Yb	3.38	3.00	2.93	2.30	2.42	2.65	5.07	2.20	2.37	2.18	2.79
Lu	0.58	0.47	0.48	0.40	0.41	0.45	0.83	0.36	0.39	0.34	0.45
Rb	29.1	16.8	26.0	36.3	19.1	17.2	25.4	18.5	12.7	25.3	31.9
Sr	77	215	241	271	248	225	102	264	233	314	264
Y	26.1	25.1	23.7	19.9	20.6	22.1	45.7	21.8	20.3	18.8	23.6
Zr	153.0	98.8	98.2	128.0	85.7	91.0	197.0	116.8	80.6	84.8	123.0
Nb	6.30	3.38	3.42	5.70	3.33	5.30	5.60	2.94	4.72	3.23	5.20
Ba	611	393	476	616	316	353	687	362	300	513	536
Hf	4.90	3.10	3.06	3.80	2.64	2.50	5.20	3.01	2.57	2.63	2.90
Ta	0.50	0.28	0.28	0.50	0.26	0.50	0.50	0.18	0.27	0.22	0.80
Th	2.10	2.22	2.35	3.70	2.01	2.90	2.40	1.21	1.83	2.59	3.50
U		1.12	0.94		1.14			0.68	1.03	1.40	

注:#引自张兴龙,李文铅,新疆东天山五堡幅 1:25 万区域地质调查报告,2003。

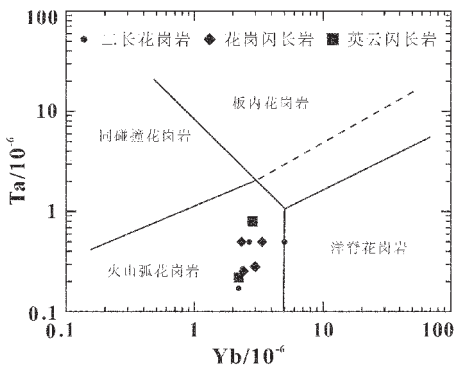


图 4 卡拉塔格花岗岩的 Ta-Yb 判别图解

Fig. 4 Ta-Yb discrimination diagram for the Kalatag granite (after Pearce et al., 1984)

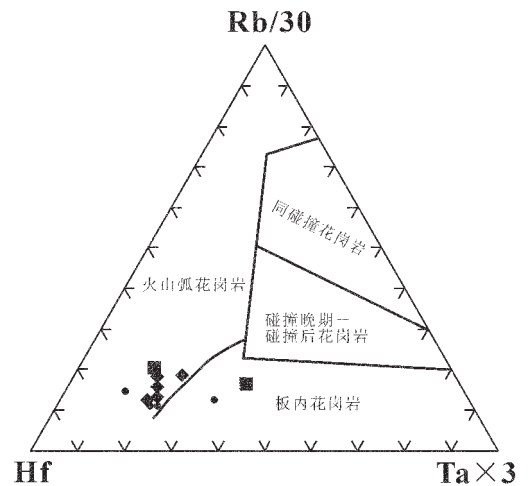


图 5 卡拉塔格花岗岩的 Hf-Rb/30-Ta*3 判别图解

● 二长花岗岩; ◆ 花岗闪长岩; ■ 英云闪长岩

Fig. 5 Hf-Rb/30-Ta*3 discrimination diagram for the Kalatag granite (after Harris et al., 1986)

● monzogranite; ◆ granodiorite; ■ tonalite

“TNT”负异常,其曲线形态与正常大陆弧花岗岩很接近^[13],显示出俯冲带幔源岩石的成分特点^[14,15]。在 Pearce^[16]的 Ta-Yb 图解(图 4)和 Harris^[17]的 Hf-Rb/30-Ta*3 判别图解(图 5)中,卡拉塔格岩体均落在 VAG(火山弧花岗岩)区域内。反映其形成于岛弧环境。

3.3 Nd-Sr 同位素特征及成因

卡拉塔格岩体的 3 个全岩样品的 Nd、Sr 同位素(表 3)资料显示,卡拉塔格花岗岩具有低的 Sr 同位素比值 I_{Sr} =

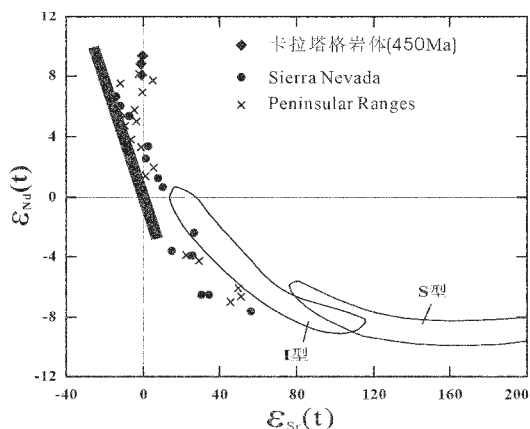
0.703 9~0.704 1(地质资料显示该岩体应形成于志留纪,故以 420 Ma 计算其参数),与东天山土屋、康古尔塔格及博格达地区的花岗岩基本一致^[3],与美国西部与俯冲有关的火山岩(安

表 3 岩体 Nd-Sr 同位素分析

Table 3 Nd and Sr isotopic compositions of the Kalatag intrusion

样号	年龄/Ga	Rb/10 ⁻⁶	Sr/10 ⁻⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	2σ	Isr	Sm/10 ⁻⁶	Nd/10 ⁻⁶	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2σ	ε _{Nd(0)}	f ^{Sm/Nd}	ε _{Nd(t)}	T _{DM} /Ga
03D-24	0.42	26.022	241.4	0.306	0.705829	16	0.7040	3.415	14.44	0.1430	0.512930	12	5.69	-0.27	8.57	0.48
03D-25	0.42	16.768	215	0.221	0.705392	13	0.7041	3.523	15.11	0.1409	0.512953	10	6.15	-0.28	9.13	0.41
03D-29	0.42	25.293	314.4	0.228	0.705298	13	0.7039	3.816	17.39	0.1327	0.512859	11	4.31	-0.33	7.74	0.55

注: $T_{DM} = 1/\lambda \cdot \ln \{ [((^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_S - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{DM}^0) / [((^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_S - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{DM}^0)] - 1 \}$; 式中 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{DM}^0 = 0.51315$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{DM}^0 = 0.2137$, $\lambda = 0.00654/\text{Ga}$; S—样品, DM—亏损地幔。

图 6 卡拉塔格花岗岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - \epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 图

(Sierra Nevada and Peninsular Ranges 花岗岩类据 DePaolo et al., 1981,

图中具有高 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和低的 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 值的样品点为石英闪长岩;

I-型和 S-型为澳大利亚东南部花岗岩(据 McCulloch and

Chapped, 1982); 黑色粗线表示地幔分布线

Fig. 6 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - \epsilon_{\text{Sr}}(t)$ diagram for the Kalatag granite

Sierra Nevada and Peninsular Ranges granitic rocks, in which quartz

diorites have high Nd(t) and low Isr values (after DePaolo et al.,

1981); I- and S- type granitic rocks of the Southeastern Australian

(after McCulloch and Chapped, 1982);

the black thick line denotes the mantle array

山岩)^[20]也相一致,暗示其形成与俯冲洋壳的分熔作用有关。

其 Nd 同位素比值高, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 在 0.512 859~0.512 953,

$\delta_{\text{Nd}}(t)$ 高达 +7.74 ~ +9.13。与东天山土屋铜矿含矿斜长花岗岩

一致,比康古尔塔格及博格达地区的花岗岩高^[3],与康古尔

塔格蛇绿岩、准噶尔地区的蛇绿岩和具有高 $\delta_{\text{Nd}}(t)$ 值的花岗岩

具有一致性,而与天山、塔里木北缘大陆地壳岩石的演化范围

完全不同^[21-22]。说明卡拉塔格岩体的母岩源区岩石来源于

与准噶尔地体类似的 Nd 同位素组成的源区,亦暗示卡拉塔格

花岗岩的形成与俯冲洋壳的分熔作用有关。

卡拉塔格岩体与加里福尼亚地区 Sierra Nevada 和

Peninsular Ranges 白垩纪石英闪长岩分布在相同的范围内

(图 6),它们均具有相近的 Nd-Sr 同位素组成^[23],而与澳大

利亚东南部的 I 型和 S 型花岗岩^[24]的区域则完全不同,反映卡拉塔格花岗岩的岩浆来源于由亏损地幔源区的派生物。

从表 3 中还可以看到,卡拉塔格岩体 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值在 0.13~0.14, $f^{\text{Sm/Nd}}$ 为 -0.27~0.33,处于大陆地壳岩石的正常范围内,均给出很年轻的 Nd 模式年龄, T_{DM} 为 0.41~0.55 Ga,说明其母岩自亏损地幔源分异后的地壳存留时间很短。3 个样品的 T_{DM} 的均值为 0.48 Ga,比康古尔塔格蛇绿岩的形成时代稍晚^[9],上述特征表明,卡拉塔格岩体为康古尔塔格蛇绿岩所代表的古洋壳俯冲过程中部分熔融的产物,形成的构造环境为活动陆缘的岛弧环境。

4 结 论

(1) 分布于东天山康古尔塔格断裂以北的卡拉塔格岩体,属于早古生代晚期的一个岩体。岩石组合为英云闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩,显示大陆边缘岛弧的岩石组合特征;主量元素的研究表明岩体为钠质钙碱性系列岩石;微量元素研究表明其均形成于活动陆缘的岛弧环境,说明在该时期已有岛弧存在,即表明有同期的洋壳俯冲活动,从而证明康古尔塔格古大洋在早古生代末期已经存在。

(2) Nd、Sr 同位素特征表明,卡拉塔格岩体源岩来源于亏损地幔源区;其源岩基本上未受到古老大陆地壳物质的污染,这些特征与东西准噶尔造山带的花岗岩类有可比性。表明其形成与康古尔古大洋板块向北的俯冲分熔作用具有直接的成因关系。

(3) 该岩体的总体特征表明,吐哈盆地南缘在早古生代晚期为一活动的岛弧陆缘环境,卡拉塔格岩体的形成与康古尔古大洋板块向北的俯冲有直接的成因联系,该环境与斑岩型铜、钼、金的成矿关系密切,暗示卡拉塔格斑岩型金铜矿的形成与康古尔古洋壳的俯冲有关,同时也表明,该区仍有巨大的斑岩型铜矿的找矿前景。

参考文献(References):

[1] 王福同,冯京,胡建卫,等. 新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义. [J] 中国地质, 2001, 28(1):36~39.

Wang Futong, Feng Jing, Hu Jianwei, et al. Characteristics and sig-

- nificance of the Tuwu porphyry copper deposit, Xingjing [J]. *Geology in China*, 2001, 28(1):36~39(in Chinese).
- [2] 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 吐哈盆地南缘古生代“天窗”卡拉塔格铜金矿化区的发现及其成矿潜力[J]. *中国地质*, 2001, 28(3):16~23.
- Qin Kezhang, Fang Tonghui, Wang Shulai, et al. Discovery of the Kalatage Cu-Au mineralized district and its prospecting potentiality, Paleozoic window at the south margin of the Tu-Ha basin [J]. *Geology in China*, 2001, 28(3):16~23(in Chinese).
- [3] 徐学义, 马中平, 夏祖春, 等. 天山石炭—二叠纪后碰撞花岗岩的 Nd, Sr, Pb 同位素源区示踪[J]. *西北地质*, 2005, 38(2):1~18.
- Xu Xueyi, Ma Zhongping, Xia Zuchun, et al. Discussion of the sources and characteristics on Sr, Nd and Pb isotopes of the Carboniferous to Permian post-collision granites from Tianshan [J]. *Northwestern Geology*, 2005, 38 (2):1~18 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张传林. 新疆康古尔地区花岗岩地质、地球化学特征及地质意义[J]. *新疆地质*, 1993, 11(1):56~62.
- Zhang Chuanlin. Geological and geochemical features of the granites and its geological significance in Kangger of north Tianshan, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 1993, 11(1):56~62 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王碧香, 李兆鼎, 赵光赞, 等. 新疆北天山东段花岗岩类地球化学[J]. *地质学报*, 1989, 63(3):236~245.
- Wang Bixiang, Li Zhaonai, Zhao Guangzan, et al. Geochemical characteristics of granitoids in the eastern sector of the northern Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1989, 63 (3):236~245 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李文明, 任秉琛, 杨兴科, 等. 东天山中酸性侵入岩浆作用及其地球动力学意义[J]. *西北地质*, 2002, 35:41~64.
- Li Wenming, Ren Bingchen, Yang Xingke, et al. The intermediate-acid intrusive magmatism and its geodynamic significance in Eastern Tianshan region [J]. *Northwestern Geology*, 2002, 35:41~64 (in Chinese with English abstract).
- [7] 刘颖, 刘海臣, 李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. *地球化学*, 1996, 25(6):552~558.
- Liu Ying, Liu Haichen, Li Xianhua. Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS [J]. *Geochimica*, 1996, 25 (6):552~558 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李献华, 刘颖, 涂湘林, 等. 硅酸盐岩石化学组成的 ICP-AES 和 ICP-MS 准确测定: 酸溶与碱熔分解样品方法的对比[J]. *地球化学*, 2002, 31(3):289~294.
- Li Xianhua, Liu Ying, Tu Xianglin, et al. Precise determination of chemical compositions in silicate rocks using ICP-AES and ICP-MS: A comparative study of sample digestion techniques of alkali fusion and acid dissolution [J]. *Geochimica*, 2002, 31(3):289~294 (in Chinese with English abstract).
- [9] Qiao G S. Normalization of isotopic dilution analysis [J]. *Scientia Sinica (Series A)*, 1998, 31(10):1263~1268.
- [10] Yang J H, Zhou X H. Rb-Sr, Sm-Nd and Pb isotope systematics of pyrite: implications for the age and genesis of lode gold deposits [J]. *Geology*, 2001, 29:711~714.
- [11] Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types [J]. *Pacific Geol*, 1974, 8:173~174.
- [12] Cullers R L, Graf J L. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: intermediate and silicic rocks—ore Petrogenesis [A]. In *Rare Earth Element Geochemistry* [C]. P Henderson (ed.), Amsterdam: Elsevier 1984, 275~308.
- [13] Brown G C, Thorpe R S, Webb P C. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arc and comments on magma sources [J]. *Journal of Geological Society*, 1984, 141:413~426.
- [14] Cornell D H, Shutte S S, Eglinton B L. The Ongeluk basaltic andesite formation in Grigualand West, South Africa; submarine alteration in a 2222 Ma Proterozoic sea [J]. *Precambrian Research*, 1996, 79:101~123.
- [15] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes [A]. In: Saunders A D and Norry M J (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society of Special Publications 42 [C]. 1989. 313~345.
- [16] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of suprasubduction zone ophiolites [A]. In: Kokelaar B P, Howells M F. *Marginal Basin Geology* [C]. Oxford: Blackwell, Geol. Soc. Spec. Publ, 1984, 16:77~94.
- [17] Harris N B W, Pearce J A., Tindle A G. Geochemical characteristic of collision-zone magmatism [A]. In: Coward M P. and Reis A C (eds), *Collision Tectonics* [C]. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond. 1986, 19:67~81.
- [18] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. In: Henderson P. (ed.). *Rare Earth Element Geochemistry* [C]. Amsterdam: Elsevier, 1984, 63~114.
- [19] Wood D A. A variably-veined sub-oceanic upper mantle: genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence [J]. *Geology*, 1979, 7:499~503.
- [20] Norman M D, Leeman W P. Open-system magmatic evolution of andesites and basalts from the Salmon Creek volcanics, southwestern Idaho [J]. *U.S.A. Chemical Geology*, 1990, 81(3):167~189.
- [21] Hu Aiqin, Jahn Bor-ming, Zhang Guoxin, et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I: Isotopic characterization of basement rocks [J]. *Tectonophysics*, 2000, 328:15~51.
- [22] 胡霭琴, 韦刚健. 关于准噶尔盆地基底时代问题的讨论—据同位素年代学研究结果[J]. *新疆地质*, 2003, 21(4):398~406.
- Hu Aiqin, Wei Gangjian. A review of ages of basement rocks from Junggar basin in Xinjiang, China—Based on studies of geochronology [J]. *Xinjiang Geology*, 2003, 21(4):398~406 (in Chinese with English abstract).

- [23] DePaolo D J. A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California[J]. *J. Geophys. Research*, 1981, 86(B11):10470~10488.
- [24] McCulloch M T, Chappell B W. Nd isotopic characteristics of S- and I-type granites[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1982, 58, 51~64.

Geochemistry and petrogenesis of the Kalatag intrusion in the “Tuha window”

LI Wen-qian¹, WANG Ran², WANG He¹, XIA Bin²

(1. *Key Laboratory for Metallogenic Dynamics, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China*; 2. *CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China*)

Abstract: The Kalatag intrusion is the unique intrusion in the Paleozoic inlier on the southern margin of the Tuha basin. The major element characteristics show that the intrusion belongs to the sodian calc-alkaline series. The rocks are enriched in light rare earth elements (LREE) and large ion lithophile elements (LILE) such as Ba, K and La but depleted in high field strength elements (HFSE) such as Th, Nb, P and Ti and have weak negative Eu anomalies and low Sr isotopic ratios and high $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values (+7.74~+9.13). These characteristics indicate that: (1) the Kalatag intrusion has an affinity for mantle-derived rocks of a subduction zone and probably formed in an island-arc environment; (2) the intrusion was derived from a depleted mantle source and in the main has not suffered from contamination with older continental crustal material and its formation have a direct generic relation to the fractional melting of the north-dipping subducted Kanggur paleo-oceanic plate; and (3) the intrusion can provide the evidence that the south margin of the Tuha basin was an active continental margin during the late part of the Early Paleozoic and that the Kalatag porphyry-type gold-copper deposit is related to the subduction of the paleo-oceanic crust in this area.

Key words: Kalatag intrusion; geochemistry; petrogenesis; tectonic environment; East Tianshan; Xinjiang

About the first author: LI Wen-qian, male, born in 1962, senior researcher, engages in the study of tectonics and metallogeny; E-mail: gzwqil@gig.ac.cn.