阿尔金断裂南侧吐拉铝质A型花岗岩的特征及构造环境

吴锁平[1], 吴才来[1], 陈其龙[2]
WU Suo- ping[1], WU Cai- lai[1], CHEN Qi- long[2]

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 首都师范大学, 北京 100037
1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
2. Capital Normal University, Beijing 100037, China

摘要: 吐拉花岗岩体位于阿尔金断裂南侧吐拉以东40 km处。岩石化学以富Si高K、低Mg贫Ca、偏铝质及TFeO/MgO比值很高为特点, A/CNK比值为0.918~0.969。岩石稀土元素总量高, 强烈富集HFSE, 明显亏损Ba、Sr、P、Ti, 稀土元素配分模式为典型的"右倾海鸥型", 属于偏铝质A型花岗岩, 进一步分析属A_2(PA)亚型岩体。该花岗岩形成于中泥盆世末期造山后的伸展环境, 这一环境很可能与同期阿尔金断裂左行走滑引起的拉分作用有关。

关键词: 阿尔金断裂; A型花岗岩; 造山后; 中泥盆世; 伸展环境
中图分类号: P588.12+1; P595 **文章标志码**: A **文章编号**: 1671- 2552(2007)10- 1385- 08

Wu S P, Wu C L, Chen Q L. Characteristics and tectonic setting of the Tula aluminous A- type granite at the south side of the Altyn Tagh fault, NW China. Geological Bulletin of China, 2007, 26(10):1385- 1392

Abstract: The Tula A- type granite pluton is located 40 km east of Tula Town, at the south side of the Altyn Tagh fault. Petrochemically, it is Si- rich, K- high, Mg- low and Ca- poor, metaluminous with very high TFeO/MgO ratios (from 13.5 to 61.1) and A/CNK=0.918- 0.969. The granite has a higher REE abundance with ΣREE=159- 187 μg/g and is strongly enriched in HFSE but obviously depleted in Ba, Sr, P and Ti. It shows typical "right- inclined seagull wing- shaped" REE distribution patterns, belonging to metaluminous A- type granite. Further analysis indicates that the Tula granite belongs to the A_2 (PA) subtype and was formed in an postorogenic extensional environment at the end of the Middle Devonian. This environment is very likely to be associated with pulling- apart caused by the sinistral strike- slip motion of the Altyn Tagh fault.
Key words: Altyn Tagh fault; A- type granite; post- orogenic; Middle Devonian; extensional environment

对阿尔金地区的地质研究多年来一直属于热点课题, 前人的研究已经取得很多进展[1- 9]。值得注意的是, 沿阿尔金断裂有许多大小不一的花岗岩体呈线状展布(见图1左下角小图中的暗色斑块), 它们与阿尔金造山带的演化和阿尔金断裂的形成、发展有密切的联系。但目前对阿尔金地区花岗岩的研究仍然比较薄弱, 笔者近几年的研究取得了一些成果, 陆续获得了区内部分岩体的SHRIMP年龄数据, 为配合解释区内的构造演化提供了可靠的时代证据。特别是第一次在阿尔金断裂的南侧厘定了吐拉和花土沟北沟2个A型花岗岩岩体, 并获得了吐拉A型花岗岩385.2 Ma±8.1 Ma的锆石SHRIMP U- Pb年龄(同位素年代学内容将另文发表), 为精确描述阿尔金地区的地质构造演化提供了有力的证据。本

收稿日期: 2007- 07- 13; **修订日期**: 2007- 08- 01
基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40672049)、中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212010611803)资助。
作者简介: 吴锁平(1963-), 男, 在读博士, 从事矿物学、岩石学及矿床学研究。E- mail:spwu3721@163.com
© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

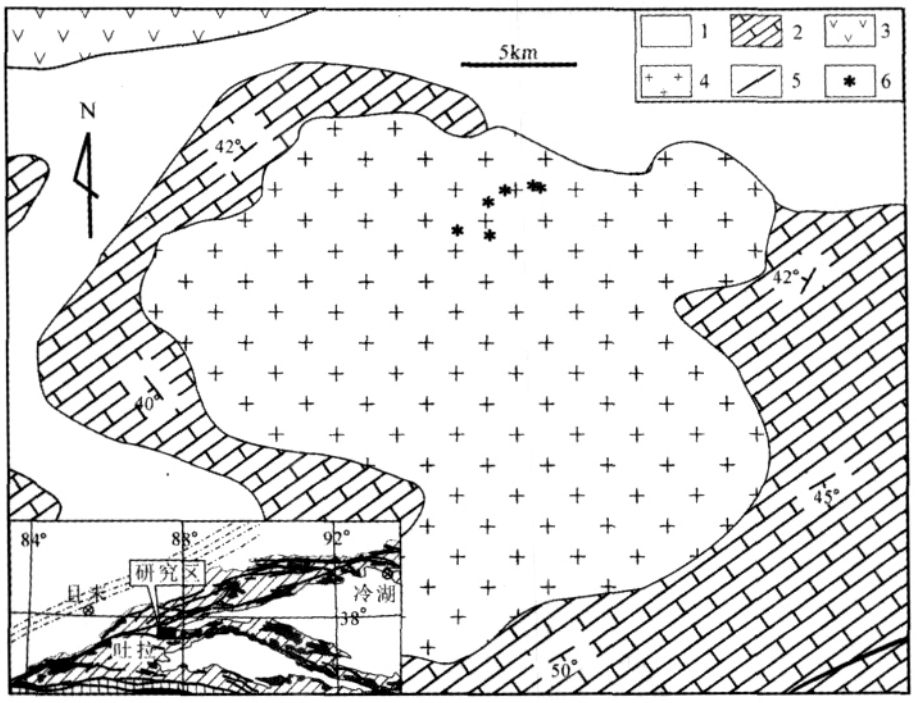


图1 阿尔金断裂南侧吐拉花岗岩体地质略图(据参考文献[11]编绘)

Fig. 1 Geological sketch map of the Tula granite intrusion on the south side of the Altyn Tagh fault

1—新生界;2—上奥陶统-下志留统;3—下奥陶统;4—花岗岩;5—断层;6—采样点

文仅对阿尔金断裂南侧吐拉A型花岗岩体的岩石地球化学及构造环境进行初步的探讨。

1 地质背景及岩石学特征

吐拉A型花岗岩岩体位于且末东南、阿尔金断裂的南侧,西距吐拉约40 km。岩体呈近等轴状的岩株,东北和西南各有一角伸出略呈S形,NW—SE向长约30 km,NE—SW向宽约25 km,面积约750 km^2(图1)。

岩体侵入于上奥陶统—下志留统祁漫塔格群(砂板岩、千枚岩、基性火山岩夹大理岩),东北部被新生界沉积物覆盖。根据《青海省区域地质志》[10],岩体侵入于上石炭统,被侏罗系覆盖,推测为晚古生代的产物;在1∶150万青藏高原地质图上,该岩体的时代被定为二叠纪[11]。但本次锆石SHRIMP U-Pb定年得到了385.2 Ma±8.1 Ma的岩体结晶年龄,在国际地层年表中恰好处于中上泥盆统的分界线上。另外,岩体中未见任何定向构造的痕迹,可能是被动侵位。

吐拉岩体岩性为单一的碱长花岗岩,岩石具等粒及似斑状结构(以中粗粒为主,细粒次之),块状构造。矿物组成及基本特征为:斑晶为钾长石,一般含量为10%,基质中钾长石的含量为40%~46%,平均为43.4%,呈自形—半自形板状,可见卡氏双晶,有时见钠长石出融条纹、蠕英结构、锆石包裹体及不完整的钠化边,表面高岭土化明显;斜长石含量为15%~30%,平均21.8%,呈半自形板状,聚片双晶常见,沿解理出现绢云母化,多属酸性—中性更长石;石英含量为26%~33%,平均29.5%,他形不规则粒状;含黑云母(2%~5%,平均为3.5%)及少量角闪石(已黑云母化),但不含白云母。副矿物组合为磁铁矿-褐帘石-锆石-萤石型。

2 岩石地球化学特征

吐拉花岗岩的样品测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成,主量元素用X荧光光谱仪3080E,稀土元素与微量元素用等离子质谱Excell测试。岩石化学成分、稀土元素、微量元素组成及主要地球化学参数见表1。

2.1 岩石化学特征

吐拉花岗岩各样品的岩石化学成分特征非常近

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1　吐拉花岗岩主量元素、稀土元素和微量元素分析结果

Table 1　Major element, trace element and REE analysis of the Tula granite

样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	H_2O^+	Total	
A20-2A	76.08	0.071	12.02	1.43	0.83	0.066	0.071	0.59	3.85	4.88	<0.1	0.48		99.54	
A20-3	74.92	0.098	12.27	1.53	1.06	0.025	0.180	0.97	3.80	4.94	<0.1	0.98		99.71	
A20-4	76.26	0.028	12.31	1.02	0.67	0.018	0.026	0.46	3.97	5.15	<0.1	0.50		99.74	
A20-7	76.58	0.130	11.56	1.82	1.42	0.020	0.100	0.68	3.42	4.68	<0.1	0.62		99.61	
A20-8	74.41	0.10	13.04	1.62	1.24	0.024	0.096	0.97	4.46	4.38	<0.1	0.68		99.80	
A20-10	76.69	0.067	11.89	1.43	1.2	0.023	0.051	0.61	3.73	4.94	<0.1	0.58		100.01	
样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
A20-2A	40.0	80.8	7.3	34.0	8.69	0.22	8.22	2.17	10.4	2.24	6.13	0.98	5.72	0.93	58.2
A20-3	51.8	98.7	9.67	42.4	10.6	0.52	10.4	1.82	11.3	2.38	6.36	0.97	5.69	0.62	61.1
A20-4	36.5	79.4	8.05	37.8	12.3	0.18	13.4	2.9	18.1	3.77	10.6	1.8	11.8	1.63	106
A20-7	55.5	110.0	10.8	46.5	11.5	0.44	11.1	2.03	11.3	2.27	6.07	0.86	4.81	0.53	54.5
A20-8	52.5	101.0	10.0	45.0	11.2	0.60	10.5	2.11	12.3	2.62	6.93	1.07	6.17	0.9	65.9
A20-10	30.6	69.4	7.35	34.0	10.4	0.23	10.6	2.05	13.0	2.70	7.45	1.13	6.92	1.04	74.9
样品号	Sc	Nb	Rb	Sr	Ba	Zr	V	Ta	U	Th	Hf	Cr	Co	Ni	
A20-2A	5.69	21	450	11	91.3	61.6	1.68	1.12	2.72	28.7	4.82	7.88	0.73	1.21	
A20-3	4.42	28.4	441	19.1	93	66.4	10.3	1.7	4.74	34.3	4.8	12.4	1.16	2.46	
A20-4	6.8	24.5	465	10.1	82.7	69.8	1.09	1.38	7.45	41	8.27	9.66	0.47	1.11	
A20-7	7.24	20.2	341	18.9	159	88.7	0.44	0.74	4.79	33.5	4.7	12.2	1.05	1.65	
A20-8	7.39	18.2	364	25.3	161	84.4	4.27	1.08	3.68	30.7	4.01	3.95	1.09	1.64	
A20-10	5.83	16.3	455	14.6	82.1	77.7	2.38	0.62	5.32	56	4.16	9.05	0.68	1.12	
样品号	ALK	K/Na	s	A/CNK	A/NK	DI	R_1	R_2	A/MF	C/MF	AR	SREE	SCe/SY	dEu	Fe/Mg
A20-2A	8.73	1.27	2.30	0.947	1.38	63.5	2500	303	3.78	0.34	5.50	159	11.88	0.79	29.8
A20-3	8.74	1.30	2.39	0.918	1.40	62.2	2419	354	3.14	0.45	4.88	187	11.75	0.89	13.5
A20-4	9.12	1.30	2.50	0.951	1.35	63.8	2421	292	5.31	0.36	6.00	166	14.34	0.79	61.1
A20-7	8.10	1.37	1.96	0.969	1.43	65.4	2691	303	2.52	0.27	4.91	173	8.696	0.73	30.6
A20-8	8.84	0.98	2.49	0.942	1.48	56.2	2261	363	3.2	0.43	4.42	159	8.26	0.76	28.1
A20-10	8.67	1.32	2.24	0.944	1.37	64.5	2540	299	3.25	0.3	5.53	166	8.604	0.80	48.8

注: 参数计算使用路远发的Geokit软件进行, 其中: ALK=$w(Na_2O+K_2O)$%, K/Na=$w(K_2O)/w(Na_2O)$, σ为里特曼指数, DI为分异指数, A/MF=Al_2O_3/(TFeO+MgO)(mol), C/MF=CaO/(TFeO+MgO)(mol), AR为碱度率, R_1=4Si−11(Na+K)−2(Fe+Ti), R_2=6Ca+2Mg+Al, ΣCe/ΣY为轻重稀土元素总量比值, Fe/Mg=TFeO/MgO。氧化物含量%; 稀土、微量元素含量10^{-6}

似。SiO_2含量变化不大, 为74.41%~76.69%, 平均为75.82%; 全碱含量较高, 为8.10%~9.12%, 平均8.70%; K_2O/Na_2O比值多大于1(0.98~1.37), 平均1.25; 里特曼指数为1.96~2.50, A/CNK比值为0.918~0.969, 在A/NK- A/CNK图解(图略)上全部落入准铝质并靠近过铝质的范围, 在CIPW标准矿物计算中也没有出现刚玉分子, 在(K_2O+Na_2O)- SiO_2图解(图略)上全部落入高钾钙碱性系列。CaO含量为0.46%~0.97%, MgO含量为0.026%~0.18%, TFeO/MgO高达13.5~48.8。可见, 该岩体以高Si富K贫Ca低Mg为特征, 属A型花岗岩[12]。从哈克图解(图2)可以看出, 随着SiO_2含量的增加, Al_2O_3、TiO_2、CaO和Na_2O都有递减的趋

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

势，但MgO、K_2O含量与SiO_2含量之间的相关性不强，而Fe_2O_3、K_2O+Na_2O与SiO_2的含量之间相关性更差，结合岩石的分异指数只有56.2~65.4，说明吐拉花岗岩结晶分异程度较低，不属于岩浆高度分异的产物。

在TFeO/MgO- SiO_2图解(图3- a)和Nb- SiO_2图解(图3- b)[13-14]上，6个样品全部落入A型区，结合岩石的K_2O/Na_2O比值可知，吐拉花岗岩应属A型花岗岩。

2.2 微量元素和稀土元素的特征

从吐拉花岗岩的微量元素含量(表1)、吐拉花岗岩与中国、世界各类型花岗岩重要微量元素参数对照表(表2)来看，存在Ba、Sr、Nb、Zr负异常。从吐拉花岗岩的微量元素配分模式(图4)来看，有Ba、Ta、Zr的负异常，其中Ba、Sr、Zr负异常非常强烈，而Rb则表现为明显的正异常。A型花岗岩以强烈富集HFSE(Nb、Zr、Y、Ga)而亏损Sr和Ba区别于其他类型的花岗岩[12]。总体上看，吐拉花岗岩的微量元素特征与中国、世界A型花岗岩的平均值趋势完全一致。

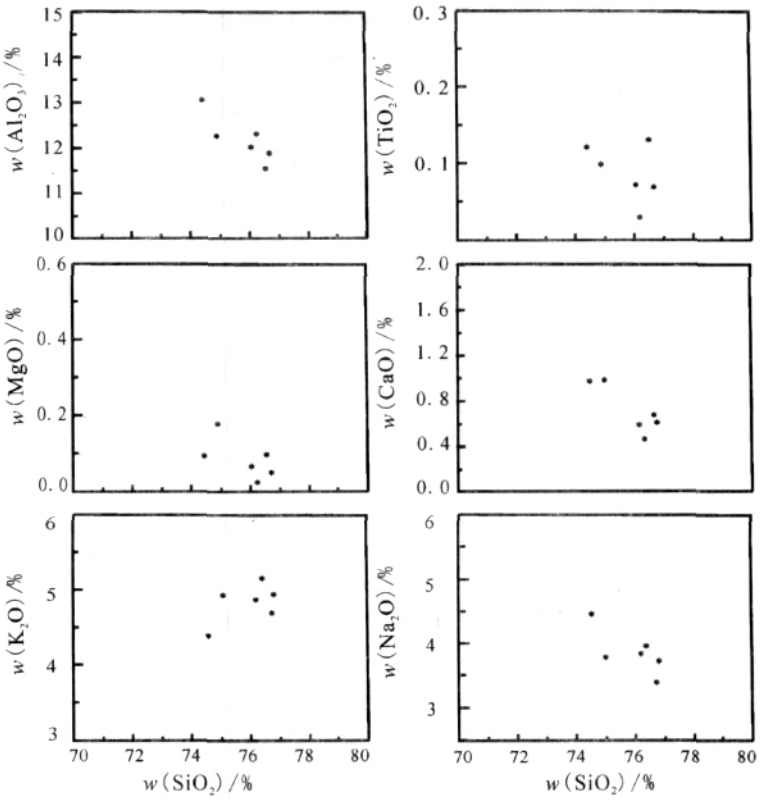


图2 吐拉花岗岩哈克图解

Fig. 2 Harker diagram of the Tula granite

吐拉花岗岩的稀土元素总量较高(表1)，为159~187(μg/g)，轻重稀土元素比值介于8.26~14.34之间，平均为10.59，δEu均小于1(为0.73~0.89)，在稀土元素配分模式图上，轻稀土元素稍有分异，而重稀土元素无明显的分异，各重稀土元素几乎在同一水平上，负Eu异常特别明显，稀土元素配分模式表现为典型的“右倾海鸥型”(图5)，再次证明吐拉岩体不是岩浆高度分异的产物。而高的稀土元素总量和“右倾海鸥型”的稀土元素配分模式正是A型花岗岩的重要识别标志之一。

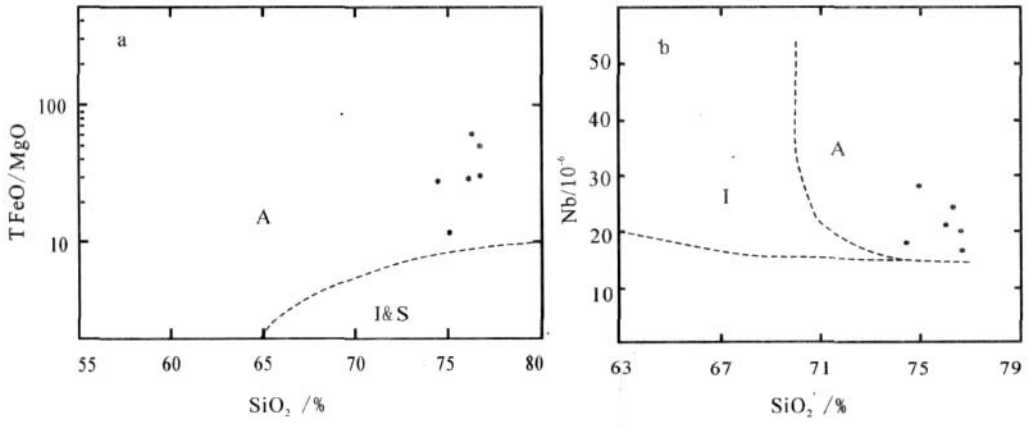


图3 花岗岩AIS类型判别图解

Fig. 3 Discrimination diagram of A-, I- and S-type granite

a—TFeO/MgO-SiO_2(据参考文献[13])；b—Nb-SiO_2(据参考文献[14])

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

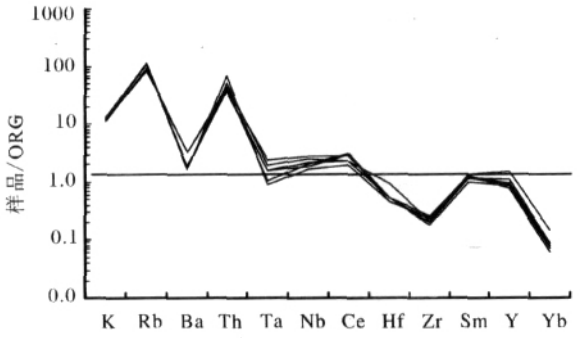


图4　吐拉花岗岩微量元素蛛网图
(ORG标准化数据引自Pearce J A等,1984)
Fig. 4　ORG-normalized trace element patterns for the Tula granite

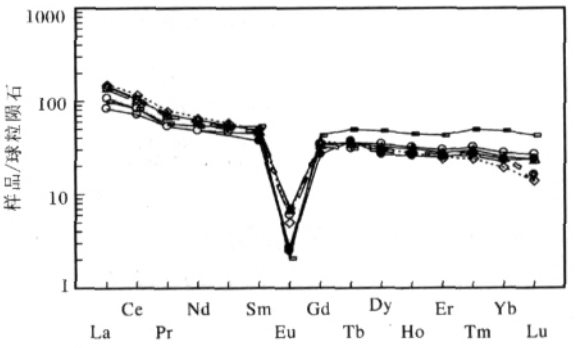


图5　吐拉花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式
(用Talor等1985年IDMS法平均CI数据标准化)
Fig. 5　Chondrite-normalized REE patterns for the Tula granite

3　构造环境判别

花岗岩成因类型通常分为S、I、M、A型。近些年来，关于花岗岩的成因类型及其形成的构造环境发表了不少成果,但观点不一。如Eby[15]将A型花岗岩分为A_1型和A_2型,与之对应的是洪大卫等[16]的AA型和PA型。Castro等[17-18]提出了H型花岗岩的概念,建议用H型花岗岩来代替I型花岗岩。Rogers[19]提出了花岗岩的构造分类方案。Pitcher[20]对近年花岗岩的研究成果作了系统的总结，提出了花岗岩的地质环境分类,将花岗岩分成5类:①形成于大洋岛弧的M型花岗岩;②形成于活动大陆边缘弧的安第斯I型花岗岩;③形成于闭合后隆起区的加里东I型花岗岩;④形成于大陆碰撞带或克拉通上韧性剪切带的海西S型花岗岩;⑤形成于非造山裂谷区的A型花岗岩。Maniar等[21]按照花岗岩的主要元素成分将其形成环境划分为岛弧花岗岩类(IAG)、大陆弧花岗岩类(CAG)、大陆碰撞花岗岩类(CCG)、造山后花岗岩类(POG)、与裂谷有关的花岗岩类(RRG)、陆内造陆运动隆起花岗岩类(CEUG)和大洋斜长花岗岩类(OP)共七大类,其中IAG、CAG、CCG和POG属于造山花岗岩类,RRG、CEUG和OP为非造山花岗岩。下面将根据吐拉花岗岩的岩石化学、稀土元素和微量元素的特征,结合有关的判别图解(图6至图8),探讨其成因类型及构造环境。

3.1　岩石地球化学证据

吐拉花岗岩6个样品在Ce/Nb-Y/Nb图解(图6-a)和Nb-Y-Ce三角图解(图6-b)上全部落入A_2区,相

表2　吐拉花岗岩与中国、世界各类型花岗岩的重要微量元素参数对照

Table 2　Parameter comparison of important trace elements in A-, I-, M- and S-type granites among Tula, China and the world

元素及	吐拉	中国花岗岩平均				世界花岗岩平均			
元素比	A(6)	A(140)	M(4)	I(28)	S(11)	A(148)	M(17)	I(991)	S(578)
Ba	111.52	235.96	177.00	988.18	664.18	352.00	263.00	538.00	466.00
Rb	419.33	269.69	8.00	119.42	227.08	169.00	17.50	151.00	217.00
Sr	16.50	57.54	62.30	469.94	156.65	48.00	282.00	247.00	120.00
Nb	21.43	34.93	4.07	11.40	14.14	37.00	1.30	11.00	12.00
Zr	74.77	333.77	111.00	148.32	114.20	528.00	108.00	151.00	165.00
Y	70.10	54.03	43.40	19.32	17.31	75.00	22.00	28.00	32.00
Rb/Sr	25.41	20.58	4.69	0.21	1.55	3.52	0.06	0.61	1.81
Rb/Ba	3.76	8.94	1.14	0.09	0.46	0.48	0.07	0.28	0.47

注:A(6)表示A型花岗岩6个样品平均值;中国及世界花岗岩平均值转引自参考文献[12];元素含量10^{-6}

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

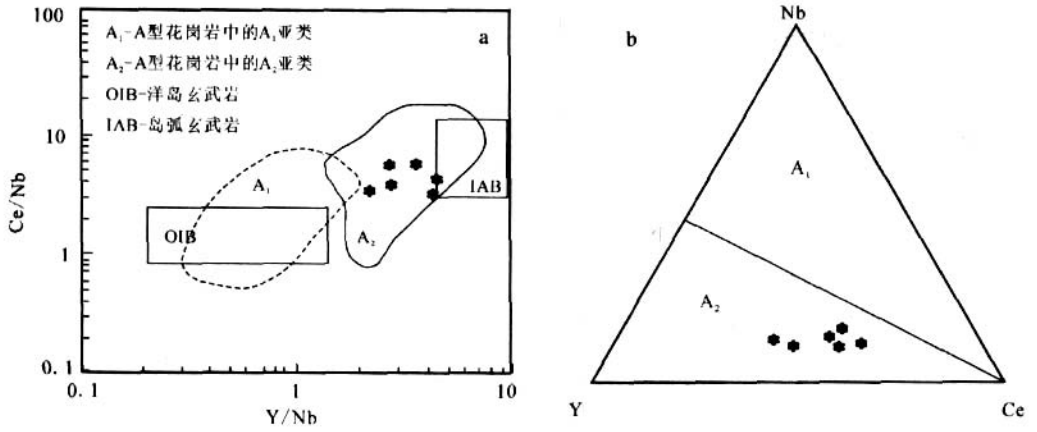


图6 花岗岩A_1、A_2类型判别图解[15]

Fig. 6 Discrimination diagram of A_1- and A_2-type granite

当于洪大卫等[16]的PA型花岗岩区,即造山后花岗岩。Maniar等[21]的主要元素构造环境判别图解适合于SiO_2含量大于60%、石英实际含量大于2%和形成时代为显生宙的花岗岩类,吐拉花岗岩完全符合这些条件。在Al_2O_3- SiO_2(图7- a)、TFeO/(TFeO+MgO)-SiO_2(图7- c)和(TFeO+MgO) - CaO(图7- d)3个图解上多数样品落入POG区,在TFeO - MgO图解(图7- b)上所有样品落在(RRG+CEUG)与(IAG+CAG+CCG)区的界线两侧但靠近POG区,这主要是吐拉花岗岩普遍极度贫Mg造成的,综合来看吐拉A型花岗岩当属POG型。在Batchelor等[22]的R_1- R_2因子判别图解(图8)上多数样品落入第七区,仍然属于造山期后花岗岩。在Brown的$lg[CaO/(K_2O+Na_2O)]$-SiO_2判别图解[23](图9)上,4个样品落入伸展型花岗岩

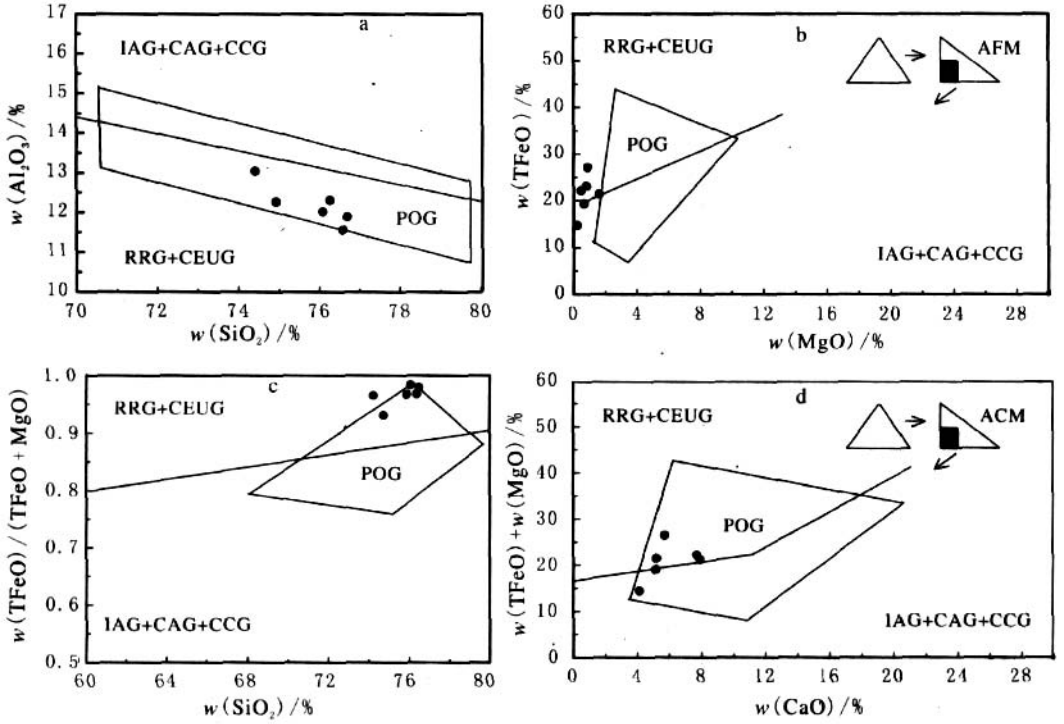


图7 吐拉花岗岩构造环境判别图解[21]

Fig. 7 Tectonic environment discrimination diagram of the Tula granite

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的范围, 2个样品落入伸展型与挤压型重叠区, 但是在挤压型区的边界线附近。所以可以肯定吐拉花岗岩是张性构造环境中的产物。

3.2 地质构造分析

岩体中不见矿物和包体的定向, 也不见压扁拉长的捕掳体等变形组构, 不存在 '边强中弱 '的主动侵位应变形式, 说明岩体是在张性构造环境中被动就位的。从空间关系上看, 吐拉花岗岩岩体夹持于北侧阿尔金断裂和南侧分支断裂之间。当断裂发生左行走滑时, 夹持在其间的小断块极易产生左旋剪切变形而派生张裂, 地壳深部岩浆随之充填定位。另外, 有一条NEE向的韧性剪切带被该岩体东南部所破坏❶, 该剪切带形成于岩体定位之前, 走向与阿尔金断裂平行。岩体在平面上呈近等轴状并略做S形扭曲似乎也暗示了这种侵位机制。

就活动时间而言, 吐拉花岗岩的结晶年龄为385.2 Ma±8.1 Ma, 相当于中晚泥盆世之交。对阿尔金断裂带的活动时间主要有2种认识。一种认为从元古宙就开始活动了[24-27], 主要依据是断裂带内元古宙麻粒岩中存在反映断裂左行走滑牵引的韧性变形。有些学者[28-30]则强调阿尔金断裂自早古生代以来具有多次活动的特点。另一种[31-36]认为阿尔金断裂到晚中生代才开始活动。近年来取得的很多变形年代学数据[6-8,37]也支持后一种认识。但总体来说, 阿尔金断裂属于大型构造单元的边界性断裂, 具有长期多次活动的特点, 而且在不同的地质时期具有不同的活动性质(拉张、转换、逆冲、走滑等)。周勇等[26]曾在乌什喀特地区测得斜长角闪岩的K-Ar年龄为877.3 Ma±26.3 Ma, 认为该年龄代表阿尔金断裂的初始活动时间。宋忠宝等[38]在北祁连山西段巴个峡—黑大坂一带获得花岗闪长岩体的单颗粒锆石U-Pb年龄为481.6 Ma±3.3 Ma, 并认为阿尔金断裂的形成时代应当大于该年龄值(相当于早中奥陶世)。区域上也存在晚古生代的岩浆活动, 如吴才来等[39]曾获得过383 Ma±3.3 Ma的锆石LA-ICP-MS年龄, 修业群等[40]最近获得阿尔金北缘枕状玄武岩的锆石U-Pb年龄为448.6 Ma±3.3 Ma。所以, 阿尔金断裂在晚古生代有可能发生过活动。

4 结　论

(1)吐拉花岗岩的岩石化学组成具有富Si高K、低Mg贫Ca、偏铝质及TFeO/MgO比值很高的特点, 稀土元素总量高, 强烈富集HFSE(Nb+Zr+Y+Rb+Th等), 明显亏损Ba、Sr、P、Ti, 稀土元素配分模式属于典型的 '右倾海鸥型 ", 显然不同于I、M及S型花岗岩。综合判定结果为高钾钙碱性铝质A型花岗岩。

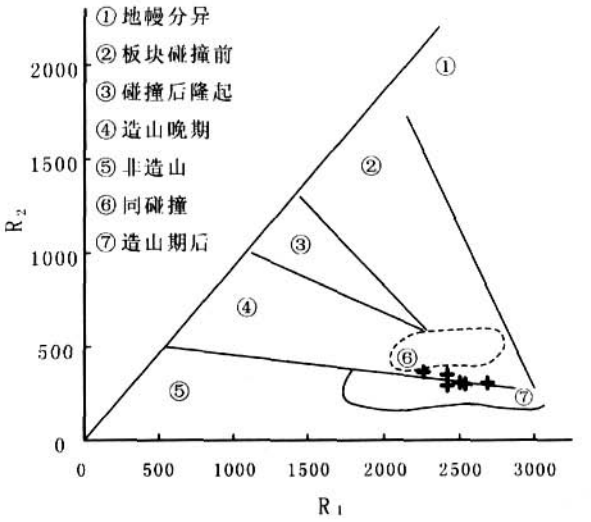


图8　花岗岩类R_1-R_2因子判别图解(据Hoskin等, 2000)

Fig. 8　R_1 vs. R_2 factor discrimination diagram of granitoids

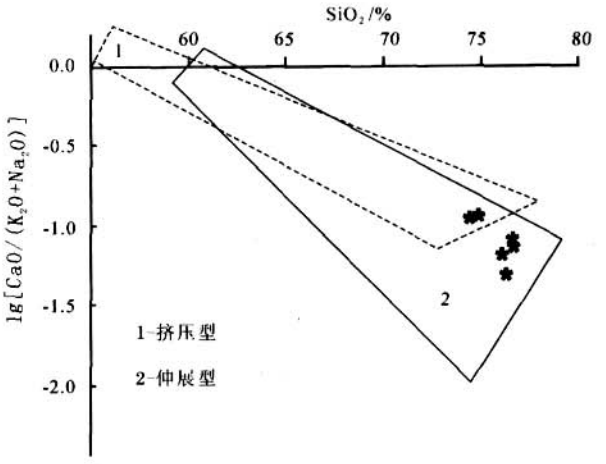


图9　$lg[CaO/(K_2O+Na_2O)]$-SiO_2图解[23]

Fig. 9　Diagram of lg $[CaO/(K_2O+Na_2O)]$-SiO_2

(2)根据岩体被动侵位, 结合与阿尔金断裂的时空关系, 再配合岩石地球化学图解综合分析, 认为吐拉花岗岩属于A_2(PA)型及POG型, 即吐拉花岗岩形成于造山后的拉张环境。

(3)吐拉A_2型花岗岩(锆石SHRIMP U-Pb年龄为

❶ 广西地质调查院.1∶25万阿尔金山幅地质图.2001.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

385.2Ma±8.1Ma)的厘定表明,在中泥盆世末期,阿尔金地区处于造山后的伸展环境,这种伸展环境很可能与阿尔金断裂在同一时期的左行走滑所引起的拉分作用有关。

参考文献:

[1]葛肖虹,刘永江,任收麦,等.对阿尔金断裂科学问题的再认识[J].地质科学,2001,36(3):319- 325.

[2]葛肖虹,刘永江,任收麦.青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂[J].中国地质,2002,29(4):346- 350.

[3]崔军文,张晓卫,李朋武.阿尔金断裂:几何学、性质和生长方式[J].地球学报,2002,23(6):509- 516.

[4]刘良,孙勇,肖培喜,等.阿尔金发现超高压(>3.8GPa)石榴二辉橄榄岩[J].科学通报,2002,47(9):657- 662.

[5]刘海涛,马立祥,葛肖虹,等.阿尔金断裂的研究现状及其控油意义[J].西安石油学院学报(自然科学版),2003,18(6):5- 9.

[6]刘永江,Franz Neubauer,葛肖虹,等.阿尔金断裂带年代学和阿尔金山隆升[J].地质科学,2007,42(1):134- 146.

[7]刘永江,葛肖虹,Genser J,等.阿尔金断裂带构造活动的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄证据[J].科学通报,2003,48(12):1335- 1341.

[8]李海兵,杨经绥,许志琴,等.阿尔金断裂带对青藏高原北部生长、隆升的制约[J].地学前缘,2006,13(4):59- 79.

[9]覃小锋,李江,陆济璞,等.阿尔金碰撞造山带西段的构造特征[J].地质通报,2006,25(1/2):104- 112.

[10]青海省地质矿产局.青海省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991:1- 662.

[11]中国地质科学院地质研究所.青藏高原及邻区地质图(1∶150万)[M].北京:地质出版社,2005.

[12]吴锁平,王梅英,戚开静.A型花岗岩研究现状及其述评[J].岩石矿物学杂志,2007,26(1):57- 66.

[13]Eby G N. The A- type granitoids:A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. Lithos, 1990,26:115- 134.

[14]Collins W J, et al. Nature and origin of A type granites with paticular reference to Southeast Australia[J].Contrib. Miner, Petro., 1982, 80: 189- 200.

[15]Eby G N. Chemical subdivision of the A- type granites: Petrogenetic and tectonic implications[J]. Geology, 1992, 20:641- 644.

[16]洪大卫,王式,韩保福,等.碱性花岗岩的构造分类及其鉴别标志[J].中国科学(B辑),1995,25(4):418- 426.

[17]Castro A, Moreno- Ventas I, De la Rosa J D. Microgranular enclaves as indicators of hybridization processes in granitoid rocks, Hercynian belt[J]. Spain, Wally Pitcher Conference, Univ. of Liverpool, Geol. J.,1990, 25:391- 404.

[18]Castro A, Moreno- Ventas I, De la Rosa J D. H- type (hibrid) granitoids: a proposed revision of the granite- type classification and nomenclature[J]. Earth Science Reviews, 1991, 31:237- 253.

[19]Rogers J W, Greenberg J K. Late- orogenic, post- orogenic, and anorogenic granites: distinction by major- element and trace- element chemistry and possible origins [J].The Journal of Geology, 1990, 98:291- 309.

[20]Pitcher W S. The nature and origin of granite(2nd ed.)[M]. London: Chapman & Hall, 1997:386.

[21]Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101:635- 643.

[22]Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters [J]. Chemical Geology, 1985,48:43- 55.

[23]Brown G C. Calc- alkaline intrusive rocks :their diversity, evolution, and relation to volcanic arcs[C]//Thorpe R S. Andesites- orogenic andesites and related rocks. New York: John Wiley and Sons, 1982: 437- 464.

[24]张治洮.阿尔金断裂带的地质特征[J].中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,1985,(9):20- 32.

[25]周勇,潘裕生.茫崖—肃北段阿尔金断裂右旋走滑运动的确定[J].地质科学,1998,33(1):9- 15.

[26]周勇,潘裕生.阿尔金断裂早期走滑运动方向及活动时间探讨[J].地质论评,1999,45(1):1- 9.

[27]于海峰,陆松年,赵风清,等.古阿尔金断裂的岩石构造依据及意义[J].前寒武纪研究进展,1998,21(4):10- 15.

[28]许志琴,崔军文.大陆山链变形构造动力学[M].北京:冶金工业出版社,1996.

[29]Zhou Da, Stephan A G. Extrusion of the Altyn Tagh wedge: A kinematic model for the Altyn Tagh fault and palinspastic reconstruction of northern China[J]. Geology, 1996, 24(5):427- 430.

[30]Edward R S, Nicolas Arnaud. A possible middle Paleozoic suture in the Altyn Tagh, NW China[J].Tectonics, 1999, 18(1):64- 74.

[31]Erchie Wang. Displacement and timing along the northern strand of the Altyn Tagh fault zone, northern Tibet[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997,150:55- 64.

[32]郭召杰,张志成,王建君.阿尔金北缘蛇绿岩带的Sm- Nd等时线年龄及其大地构造意义[J].科学通报,1998,43(18):1981- 1984.

[33]Yue Yongjun, Bradley D Ritts, Stephan A Graham. Initiation and longterm slip history of the Altyn Tagh fault[J]. International Geology Review, 2001,43:127.

[34]陈正乐,白彦飞,陈柏林,等.阿尔金山索尔库里北盆地沉积与构造演化[J].地质通报,2003,22(6):405- 411.

[35]陈正乐,刘健,孙知明,等.阿尔金山脉新生代剥露历史——前陆盆地沉积记录[J].地质通报,2005,24(4):302- 308.

[36]任收麦,葛肖虹,刘永江,等.晚白垩世以来沿阿尔金断裂带的阶段性走滑隆升[J].地质通报,2004,23(9/10):926- 932.

[37]Arnaud N, Delvill E N, Montel J M, et al. Paleozoic to Cenozoic deformation along the Altyn Tagh fault in the Altun Shan massif area, Eastern Qilian Shan, NE Tibet ,China[C]. American Geophysical Union Annual Meeting Abstracts ,1999:F1018.

[38]宋忠宝,任有祥,李智佩,等.北祁连山西段巴个峡—黑大坂一带几个花岗闪长岩体的侵入时代讨论——兼论古阿尔金断裂活动时间[J].地球学报,2004,25(2):205- 208.

[39]吴才来,杨经绥,杨宏仪,等.北祁连东部两类I型花岗岩定年及其地质意义[J].岩石学报,2004,20(3):425- 432.

[40]修业群,于海峰,刘永顺,等.阿尔金北缘枕状玄武岩的地质特征及其锆石U- Pb年龄[J].地质学报,2007,81(6):787- 794.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net