金属矿产

东准噶尔北缘两类花岗质岩石及其地质意义

张 栋[1],路彦明[1,2],范俊杰[1],潘爱军[1,3],张玉杰[1],朝银银[1,3]
(1. 武警黄金地质研究所,河北廊坊 065000; 2. 北京大学地球与空间科学学院,北京 100871;
3. 中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083)

[摘 要] 对东准噶尔北缘造山带内花岗质岩石以岩石地球化学特征为主的对比研究发现,该区主要存在两类花岗质岩石:造山带钙碱性花岗岩类和富碱花岗岩类。部分钙碱性花岗岩与新疆北部的埃达克质岩具有相似的岩浆亲和性,而富碱花岗岩更多的表现出碱性花岗岩的岩石地球化学特点。两类花岗质岩石分别产于大陆碰撞造山带造山演化的俯冲环境和陆内后碰撞环境,并且在空间上并存于同一造山带演化体制内。钙碱性花岗岩即出现在大陆造山带演化的俯冲造山阶段,也产出于陆内后碰撞阶段,富碱花岗岩是后碰撞环境伸展时期的标志产物,标志着碰撞造山运动的结束。钙碱性花岗岩构造环境的多样性可能初步印证了具有大型斑岩成矿潜力的卡拉先格尔和IOCG成矿作用的老山口南东一带成岩成矿构造环境的差异。

[关键词] 岩石地球化学 两类花岗质岩石 构造环境 后碰撞作用 东准噶尔北缘
[中图分类号] P611.3 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2011)04-0577-16

Zhang Dong, Lu Yan-ming, Fan Jun-jie, Pan Ai-jun, Zhang Yu-jie, Chao Yin-yin. Two types of granitoid rocks in the northern margin of the eastern Junggar area and their geological implications [J]. Geology and Exploration, 2011, 47(4): 0577-0592.

造山带是大陆地壳碰撞造山作用和花岗岩类最为发育的区域。以碰撞事件作为标志,造山带的演化一般划分为俯冲、主碰撞和后碰撞等三个主要阶段,其中后碰撞代表了碰撞后(主洋关闭)的继续会聚直至造山后(板内)伸展以前的构造环境(Liegeois,1998)。大量研究已经证实(韩宝福等,1998,2006,2007;肖庆辉等,2002;赵振华等,2006a;侯增谦,2007;周刚,2007①;洪大卫等,2003,李宗怀等,2004;张成立等,2004;夏祖春等,2005),造山带中普遍存在相当数量的后碰撞花岗岩类。后碰撞环境亦是除大陆边缘活动带(岩浆弧)外花岗岩类的主要形成构造环境。岩石构造成因类型以钙碱性I型为主,同时还可以存在M型、S型和A型花岗岩类。在岩石地球化学特征上部分后碰撞花岗岩类属于埃达克岩或埃达克质岩石。在中亚造山带后碰撞花岗岩还表现为具有Nd同位素标志的正ε_{Nd}值花岗岩(洪大卫等,2003)。新疆北部作为中亚型多块体多缝合带镶嵌(肖序常等,1992)的巨型造山带的重要组成部分,其碰撞造山演化的后碰撞期和显生宙地壳垂向生长的典型代表产物富碱火成岩(包括高钾钙碱性花岗岩和富碱花岗岩)是中亚造山带碰撞造山作用与花岗岩类动力学背景研究的重要成果之一(赵振华等,2006)。

据现有资料(肖序常等,1992;何国琦等,1994;陈衍景,1996;胡霭琴等,1997;李华芹等,2004),晚古生代是准噶尔地区最重要的大陆碰撞造山时期。大约在早石炭世-晚二叠世经历了主碰撞后的由挤压向伸展构造演化的陆内后碰撞期(韩宝福等,1999,2006;王京彬等,2006)。东准噶尔作为西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块的接合部位,经历了晚古生代强烈的陆间板块碰撞、陆内造山运动时期,孕育和形成了大规模强烈的后碰撞构造-岩浆-成矿活动,因此,是研究碰撞造山作用与花岗岩类及其构造环境的理想地区。

[收稿日期] 2010-07-03; [修订日期] 2011-04-06; [责任编辑] 郝情情。
[基金项目] 本文为地质大调查项目(编号:1212010732503、1212010781069和1212010913028)资助的成果。
[第一作者] 张 栋(1979年-),2002年毕业于桂林工学院,获学士学位,工程师,现主要从事金矿床地质和构造地质研究。E-mail: dahei7989@tom.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

笔者对前人研究成果综合分析的基础上，重点对东准噶尔北缘地区出露的晚古生代造山带中花岗质岩石进行岩石地球化学特征对比研究，目的以探讨主要花岗质岩石类型与产出的构造环境之间的时空联系与演化规律；此外，该地区是新疆北部重要的铜金成矿有利区，岩浆岩中浅侵位花岗闪长质斑岩与铜金成矿关系密切，已形成卡拉先格尔、哈腊苏一带众多斑岩型铜金矿床（点）和老山口-加马特氧化铁型 Cu-Fe-Au-Co 多金属矿田（路彦明等，2009；2010），进而探讨金属成矿作用有利的岩浆岩成岩与成矿构造环境。

1 区域大地构造背景

东准噶尔北缘地处西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块结合部位，额尔齐斯-布尔根板块缝合带以南的东准噶尔陆缘活动带（何国琦等，2004）。大地构造单元分区（图 1A）由北至南依次为：北-具古板块缝合带性质的构造混杂岩带，中-具准噶尔微板块活动大陆边缘性质的晚古生代岛弧，南-具早期微地块活动大陆边缘性质的早古生代岛弧。本区主要位于晚古生代岛弧区，是新疆北部重要的铜金铁多金属成矿区。

区域晚古生代地层、构造和岩浆活动发育。区内出露地层主要为下泥盆统托让格库都克组、中泥盆统蕴都卡拉组、北塔山组的海相中基性-中酸性火山岩及其碎屑岩建造，还有少量下石炭统姜巴斯套组的海陆交互相中酸性火山碎屑岩建造。它们均成北西向展布，与区域构造线一致。岩浆活动以海西期中酸性-碱性侵入岩为主，除卡拉先格尔一带为华力西早期俯冲花岗岩（张招崇等，2006），主要为华力西中晚期后碰撞花岗岩（Chen *et al.*，2004，2005；周刚，2007）。

2 两类花岗质岩石

2.1 花岗质岩分布概况

东准噶尔北缘地区花岗质岩主要分布于玛因鄂博深断裂以南，沿缝合带内次级断裂和构造单元分区界线分布，主要侵位于泥盆系岛弧火山岩地层（图 1B）。产状上多呈岩株（岩脉）等小岩体及少量岩基产出。区域上可能受北西端二台活动断裂的叠加复合或活动性影响，现今岩体规模表现为北西端肢解破碎，明显收敛约束，特别表现为岩浆分异演化晚期的富碱岩类的似层状、透镜状空间产出状态；而南东端表现为晚期富碱岩体大量单独完整出露，总体表现出北西收敛向南东撒开的空间分布趋势。

岩石类型主要分为两类，一类为主体由钙碱性花岗质岩石单元并包括分异演化晚期的富碱花岗质岩石单元组成的杂岩体。集中发育于哈腊苏-卡拉先格尔、老山口-加马特、哈旦逊、乌图布拉克等地区。该类岩体常多期脉动侵入，相伴有浅成或次火山岩侵入体，构成复杂的潜火山杂岩（刘家远，2001，2002），且在老山口一带最为典型。另一类为单一的碱性或富碱花岗质岩石单元组成的碱性花岗岩体，构成东准噶尔三条典型的富碱花岗岩带之一的布尔根碱性花岗岩带，包括布尔根及口岸富碱花岗岩体。

2.2 岩石学

笔者把研究区不同产地岩体按照两类花岗质岩石的化学成分及特征参数进行对比，并参照新疆北部壳幔同熔型、俯冲及底侵埃达克质岩和幔源重熔分异型、富碱火成岩类型特点（赵振华等，2001，2006），归纳出岩石地球化学方面的主要特征。研究样品主要采自老山口金铜铁矿带的老山口铜金矿区，以及卡拉先格尔斑岩铜矿带的哈腊苏、卡拉先格尔矿区内的浅成花岗闪长质斑岩，并结合已有区域岩浆岩岩石地球化学资料进行综合分析（表 1、2）。

研究区内发育大量浅侵位花岗质斑岩和中深成侵入体钾长花岗岩及富碱花岗岩，斑晶长石矿物含量相对较高，因此，我们采用 Streckeisen（1976）的长石类标准矿物的岩石化学-矿物定量分类法进行岩石学分类探讨。如图 2 所示。

该图解反映，研究区各岩体岩石类型虽有差异，但主体为二长花岗岩-花岗闪长岩-（钾长）花岗岩等造山带钙碱性花岗岩及其浅成相斑岩类，均具有富碱岩石单元或单独成一类型（如布尔根碱性花岗岩体），具体表现为杂岩体岩石类型复杂多样，主要包括辉石闪长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、石英二长岩、二长花岗岩、正长岩、钾长花岗岩及其相伴的斑岩。富碱岩石类型较为单一，包括由碱性暗色矿物及碱性长石组成的碱性花岗岩和富碱侵入岩如正长岩、石英碱长正长岩和正长花岗岩等。

2.3 岩石化学

由表 1，2 可以看出，主量元素及特征参数反映出以下特点：

（1）钙碱性花岗岩普遍低 Si（SiO_2 介于 45% ~ 70%）、高 Al（Al_2O_3 介于 14% ~17%）、高 Ca（CaO>1），部分与埃达克质岩富 Na_2O（N/K>1）和高 Al_2O_3（> 15%），高钾（部分中钾）钙碱性系列相似（图 3、4）。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

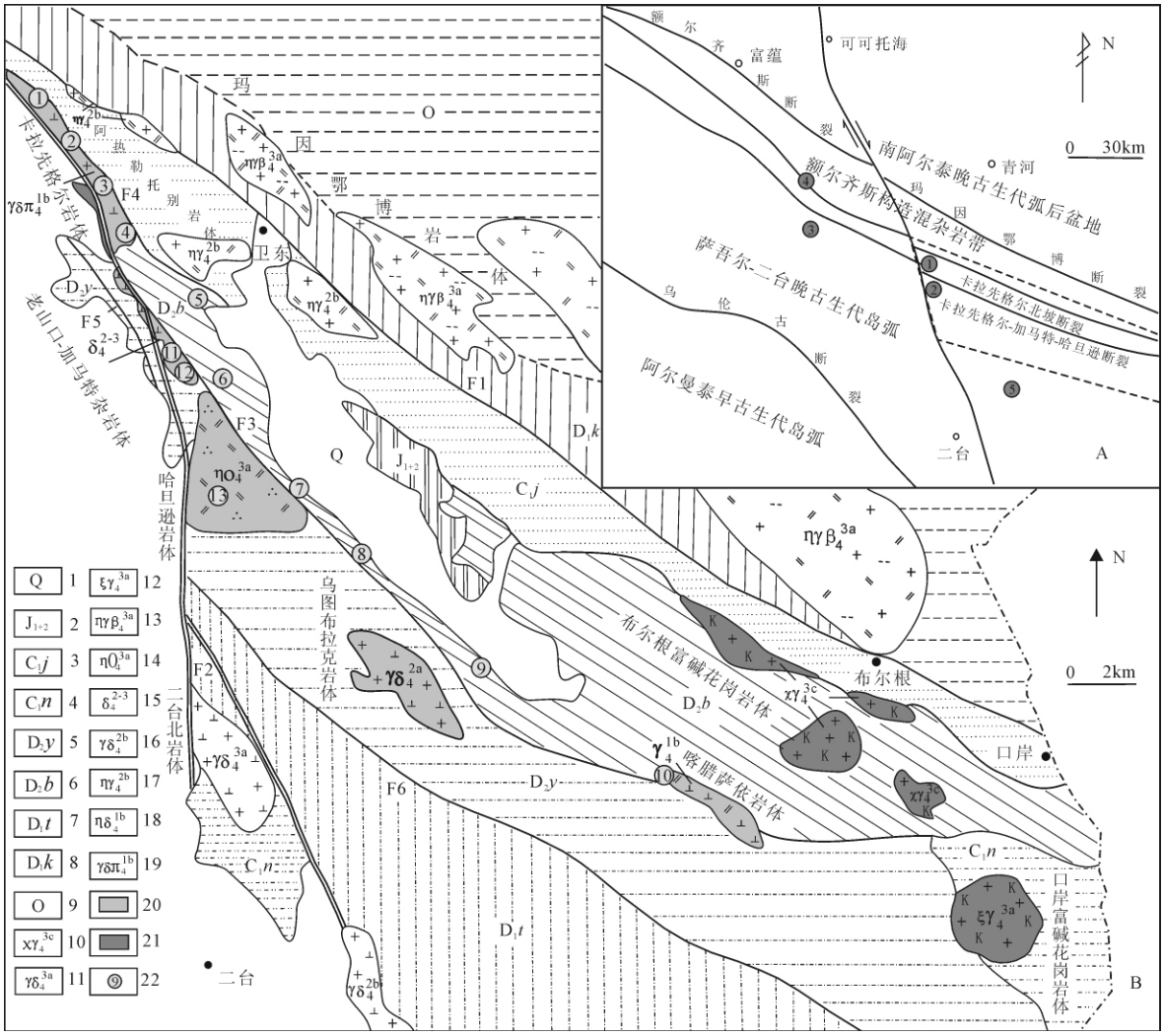


图 1　东准噶尔北缘花岗质岩地质背景与地质简图

Fig. 1　Map showing tectonic setting and geology of granites in the northern margin of East Junggar

A–区域地质背景图(据闫升好等,2006,综合修改) ; B–花岗质岩与矿床(点) 综合地质简图; 图 1A–黑色虚线框为研究区范围; ①–哈腊苏斑岩型铜矿床; ②–老山口铁氧化物型铜–金–铁–钴矿床; ③–喀拉通克岩浆熔离型铜–镍矿床; ④–乔夏哈拉海相火山岩型铜–铁矿床; ⑤–科克萨依变质热液型金矿床; 图 1B: 1–第四系; 2–下中侏罗统; 3–下石炭统姜巴斯套组; 4–下石炭统南明水组; 5–中泥盆统蕴都喀拉组; 6–中泥盆统北塔山组; 7–下泥盆统托让格库都克组; 8–下泥盆统康布铁堡组; 9–奥陶系; 10–碱性花岗岩; 11(16) –花岗闪长岩; 12–正长岩; 13–黑云母二长花岗岩; 14–石英二长岩; 15–闪长岩; 17–二长花岗岩; 18–二长闪长岩; 19–花岗闪长斑岩; 20–钙碱性花岗岩; 21–碱性花岗岩; 22–矿床(点) ; 主要断裂: F1–玛因鄂博断裂; F2(F5) –二台断裂; F3–卡拉先格尔–加马特–哈旦逊断裂; F4–卡拉先格尔北坡断裂; F6–克孜勒塔乌断裂; 矿床点: 1–玉勒肯哈腊苏铜矿; 2–哈腊苏铜矿; 3–卡拉先格尔 2 号铜矿点; 4–卡拉先格尔 3 号铜矿点; 5–玉勒肯铜金矿点; 6–努日萨勒铜矿点; 7–哈旦逊东铜矿点; 8–小红山铜金矿点; 9–卡布尔特铜矿点; 10–喀腊萨依铜矿; 11–老山口铁铜金矿; 12–加马特铜金钴矿点; 13–哈旦逊西铜金钴矿点

A–tectonic setting (modified after Yan Shenghao *et al.* ,2006) ; B–sketch geological map of granites and deposits or ore points; 1A–study area : black dashed box; ①–Halasu porphyry copper deposit; ②–Laoshankou IOCG copper–gold–iron–cobalt deposit; ③–Kalatongke magma liquation copper–nickel deposit; ④–Qiaoxiahala marine volcanic copper–iron deposit; ⑤–Kekesayi metamorphic hydrothermal gold deposit; 1B: 1–Quaternary System; 2–Lower and Middle Jurassic Series; 3–Jiangbasitao Formation in Lower Carboniferous Series; 4–Nanmingshui Formation in Lower Carboniferous Series; 5–Yundukala Formation in Middle Devonian Series; 6–Beitashan Formation in Middle Devonian Series; 7–Tuoranggekuduke Formation in Lower Devonian Series; 8–Kangbutiebao Formation in Lower Devonian Series; 9–Ordovician System; 10–alkali–granite; 11(16) –granodiorite; 12–syenite; 13–biotite–monzoniticgranite; 14–adamellite; 15–diorite; 17–Mo–nzonitic granite; 18–monzonitic diorite; 19–granodiorite–porphyry; 20–calc–alkalic granite; 21–alkali–granite; 22–deposits; major faults: F1–Mayinebo fault; F2(F5) –Ertai fault; F3–Kalaxiangeer–jiamate–hadanxun fault; F4–Northern kalaxiangeer fault; F6–Kezile–tawu fault. Deposits or points: 1–Yulekenhalasu copper deposit; 2–Halasu copper deposit; 3–Number 2 of kalaxiangeer copper point; 4–Number 3 of Kalaxiangeer copper point; 5–Yuleken copper and gold point; 6–Nurisale copper point; 7–Eastern hadanxun copper point; 8–Xiaohongshan copper and gold point; 9–Buerkate copper point; 10–Kalasayi copper deposit; 11–Laoshankou iron–copper–gold deposit; 12–Jiamate copper–gold–cobalt point; 13–Western hadanxuncopper–gold–cobalt point

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

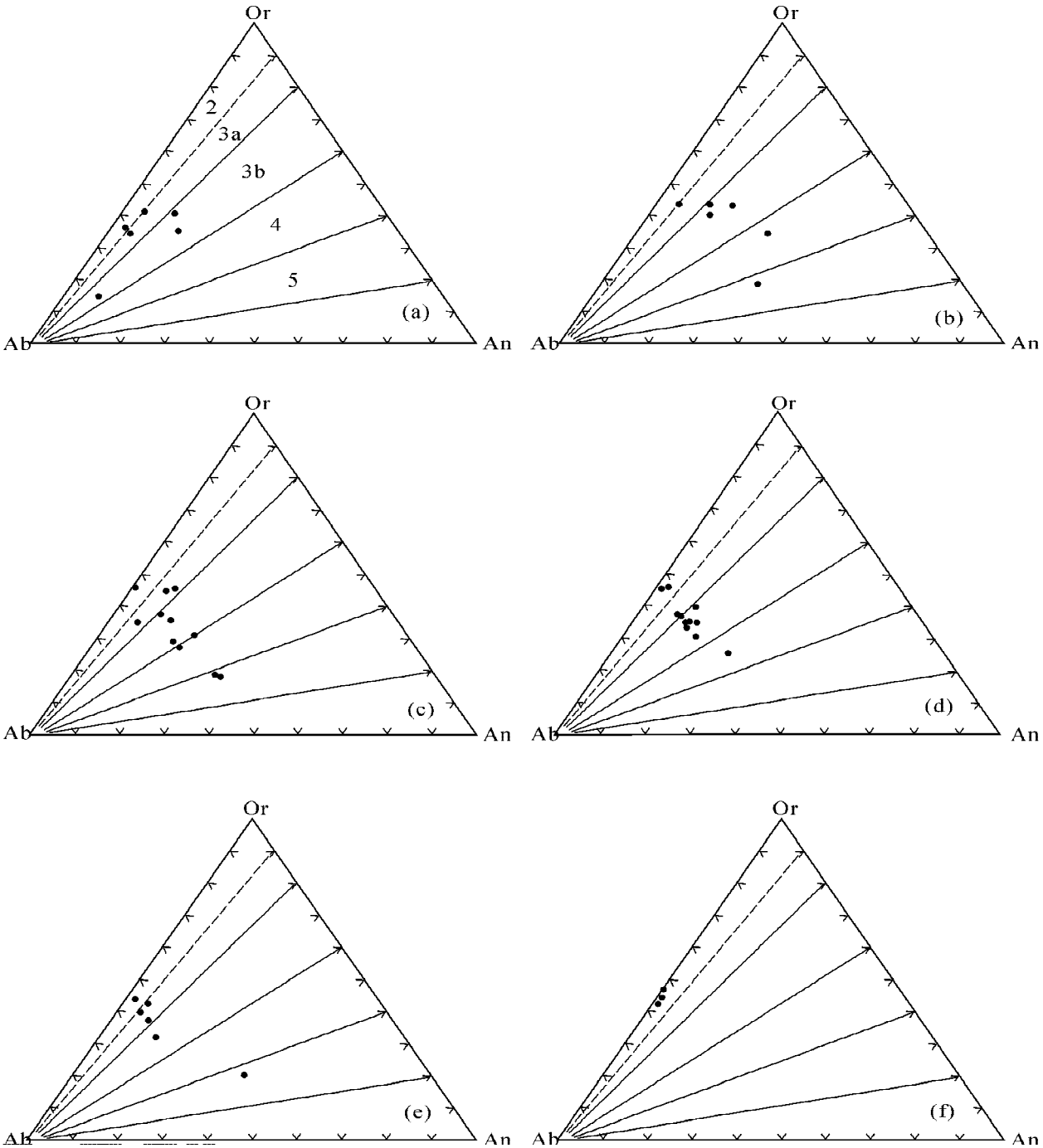


图 2 岩石化学-矿物分类命名图解(据 Streckeisen,1976)

Fig. 2 Diagrams of rock chemical-mineral classification (after Streckeisen,1976)

2-碱性-碱长花岗岩;3a-钾长花岗岩;3b-二长花岗岩;4-花岗闪长岩;5-英云闪长岩

(a)-卡拉先格尔+哈腊苏;(b)-老山口;(c)-哈旦逊;(d)-乌图布拉克;(e)-口岸;(f)-布尔根

2-Alkali of alkali-feldspar granite; 3a-Potassium feldspargranite; 3b-Monzonitic granite;

4-Granodiorite; 5-Trondjemite

(a)-Kalaxiangeer+halasu; (b)-Laoshankou; (c)-Hadanxun; (d)-Wutubulake; (e)-Kouan; (f)-Buergen

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　东准噶尔北缘钙碱性花岗岩类化学成分及相关参数

Table 1　Rock geochemical parameters for calc-alkali granites in north margin of East Junggar

岩石类型	钙碱性花岗岩					壳幔同熔型	底侵型埃达克质岩	俯冲型埃达克质岩
岩石名称	辉石闪长岩-闪长(玢)岩-石英闪长岩-花岗闪长岩-石英二长岩-二长岩-二长花岗岩							
样数	3(1)	6	11	2(2)	3	7		
产地	老山口	哈旦逊	乌图布拉克	哈腊苏	卡拉先格尔	新疆北部		
资料来源	刘家远等,2002 本文	周刚等,2006 周刚,2007①	周刚,2007①	杨文平等,2005 本文	杨文平等,2005 本文	赵振华等,2001; 2006b		
SiO_2	52.27 ~ 58.34	53.56 ~ 61.36	62.06 ~ 71.65	61.21 ~ 63.78	62.97 ~ 65.45	65.68	62 ~ 71	53 ~ 71
Na_2O	3.33 ~ 4.58	4.60 ~ 6.40	3.82 ~ 4.38	3.76 ~ 5.59	3.52 ~ 5	3.95	富钠	富钠
K_2O	2.14 ~ 5.64	2.18 ~ 4.74	2.99 ~ 4.38	1.56 ~ 4.58	3.6 ~ 4.04	2.28	富钾 2.06 ~ 4.62	
Al_2O_3	16.01 ~ 18.72	16.08 ~ 20.59	13.34 ~ 16.6	14.81 ~ 16.85	15.75 ~ 16.52	16.19	13.03 ~ 16.32	>15
CaO	4.31 ~ 9.80	3.09 ~ 8.08	1.21 ~ 2.6	0.94 ~ 1.92	0.61 ~ 2.11	4.50		
N/K	0.67 ~ 2.02	1.10 ~ 2.34	0.87 ~ 1.36	0.84 ~ 3.58	0.98 ~ 1.24	>1	>1 或<1	>1
A/CNK	0.67 ~ 0.85	0.76 ~ 0.87	0.91 ~ 1.04	1.05 ~ 1.24	1.16 ~ 1.29	1±	0.85 ~ 1.16	>1
δ	4.51 ~ 8.03	3.59 ~ 7.77	2.15 ~ 2.61	2.81 ~ 3.79	2.26 ~ 4			
AR	1.60 ~ 2.39	1.73 ~ 3.36	2 ~ 3.52	2.42 ~ 2.78	2.3 ~ 3.18			
Or	12.65 ~ 33.33	12.88 ~ 28.01	17.9 ~ 25.9	9.22 ~ 27.07	21.27 ~ 23.87	13.49		
Ab	28.18 ~ 38.75	33.92 ~ 46.44	32.3 ~ 37.1	31.82 ~ 47.30	29.79 ~ 42.31	93.40		
An	11.65 ~ 24.46	4.97 ~ 24.98	5.53 ~ 18.4	3.25 ~ 8.29	1.79 ~ 9.47	19.71		
Nb	5.5 ~ 8.0	2.35 ~ 16.60	11.5 ~ 19.5	3.18 ~ 3.32	3.97 ~ 5.35	低		
Zr	80.6 ~ 124.3	50.70 ~ 193	68.6 ~ 169	137 ~ 142	83.3 ~ 130	低		
Rb	43.1 ~ 86.5	16.70 ~ 68.30	45.7 ~ 101	150 ~ 154	64.5 ~ 134			
Sr	520 ~ 636	831 ~ 1896	209 ~ 402	329 ~ 381	378 ~ 447		>400, 集中于 800	>400, 集中于 500
Y	14.58 ~ 18.0	7.59 ~ 29.20	8.97 ~ 12.6	15.2 ~ 20.7	10.4 ~ 24	低	4 ~ 15,<18	7 ~ 18,<18
Sr/Y	31.22 ~ 43.62	28.46 ~ 212.12	17.93 ~ 40.50	18.40 ~ 21.64	15.75 ~ 42.98		>50	>20 ~ 40
Eu	0.69 ~ 1.12	1.16 ~ 2.72	0.46 ~ 1.02	0.86 ~ 1.02	0.60 ~ 1.16	相对富集	相对富集	相对富集
δEu	0.77 ~ 1.00	0.97 ~ 1.26	0.72 ~ 0.98	0.98 ~ 1.11	1.02 ~ 1.25	0.3 ~ 1(0.5±)	弱正异常-弱负异常	弱正异常-弱负异常
ΣREE	58.80 ~ 75.67	70.62 ~ 209.24	64.25 ~ 105.3	58.60 ~ 61.46	32.87 ~ 64.63	变化大, 40 ~ 190		
$(La/Yb)_N$	2.99 ~ 4.56	7.00 ~ 19.26	6.3 ~ 13.4	2.73 ~ 3.87	2.50 ~ 3.82	3 ~ 22(7±)	>5(明显富轻稀土)	>5(明显富轻稀土)
Yb	1.41 ~ 2.0	0.87 ~ 3.49	1.13 ~ 1.86	1.81 ~ 2.54	1.29 ~ 2.23		≤1.9	≤1.9
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$		0.703804 ~ 0.703951	0.703743 ~ 0.704753	0.7022 ~ 0.7043	0.7037 ~ 0.7042		>0.704	<0.704
$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$		0.512795 ~ 0.512825	0.51244 ~ 0.51255	0.5128 ~ 0.5129	0.51284 ~ 0.51296		<0.5126	>0.5129
εNd(t)		6.46 ~ 6.50	4.46 ~ 6.58	6.7 ~ 7.1	7.2 ~ 8.4		偏离 MORB (低正值)	接近 MORB (高正值)

注: 括号内为本文数据,本文数据只包括主量元素,由中国科学院地球物理地球化学勘查研究所分析,分析方法: XRF; 常量为%,微量为$\times 10^{-6}$。哈腊苏与卡拉先格尔 Sr-Nd 同位素组成数据由 380Ma 推算含矿斑岩获得(杨文平等,2005)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 东准噶尔北缘富碱花岗岩类化学成分及相关参数

Table 2 Rock geochemical parameters for rich-alkali granites in the northern margin of East Junggar

岩石类型	富碱花岗岩					幔源重熔分异型	富碱火成岩(碱性花岗岩)
岩石名称	正长岩-石英碱长正长岩-(钾化)花岗岩-钾长花岗岩-碱性花岗岩-钠铁闪石花岗岩						
样数	2	5	2	10	7	4	
产地	老山口	哈旦逊	乌图布拉克	口岸	布尔根	新疆北部	
资料来源	刘家远等,2002	周刚,2007①	周刚,2007①	刘家远等,1996 童英等,2006 赵振华等,2006a	刘家远等,1996 王中刚等,2006 赵振华等,2006a	赵振华等,2001;2006a	
SiO_2	61.84~62.46	67.98~75.4	74.76~74.82	61.23~76.17	71.46~65.45	75.16	≥73
K_2O+Na_2O	9.93~11.78	8.40~8.99	8.86~9.48	8.78~11.71	8.38~10.62	9.1	>8
Al_2O_3	16.66~17.56	12.68~15.44	12.68~12.8	12.03~17.58	11.73~13.63	11.9	<13
CaO	2.12~3.39	0.13~3.13	0.327~0.334	0.62~5.08	0.50~0.97	0.18	≤1
N/K	1.11~1.26	0.70~1.00	0.8~0.84	0.85~1.43	0.82~0.97	>1 或≤1	大部分≤1
A/CNK	0.86~0.91	0.80~1.05	0.95~1.03	0.87~0.94	0.73~1.11	≤1	≤1
AR	2.96~3.98	2.43~4.42	5.15~6.37	2.53~5.79	3.48~4.84		
Or	34.16~38.77	25.65~29.55	29~30.4	24.19~37.66	26.29~29.70	25.99	
Ab	36.13~46.45	29.02~36.89	33.4~36.6	38.46~49.35	33.55~35.42	96.79	
An	4.99~9.76	0.41~10.20	0.11~1.4	2.47~10.47	0~0.80	0	
Ga		15.4~27	20.9~30.9	18.5~33			>20
Nb	7.0~7.8	6.18~28.9	10.8~29.6	12~122	28~92		>30
Y	11.97~14.74	5.20~63.6	29.4~32.2	28.55~111.36	56~89		
Rb	100.3~132.1	87.5~174	19.8~110	44~250	132~220		
Zr	150.8~218	112~431	105~129	62.31~364.89	399~1024		>200
Sr	104~329	20.4~907	55.8	10~41.20	3~29		<50
Eu	0.48~0.61	0.35~0.79	0.3~0.36	0.20~4.03	0.66		含量低(亏损)
δEu	0.63~0.95	0.12~0.91	0.15~0.21	0.06~1.00			0.1~0.2(负异常)
ΣREE	50.68~71.49	61.56~247.98	148.82~183.53	233.86~525.38			变化大,100~600
$(La/Yb)_N$	4.29~5.76	3.51~28.16	5.1~7.4	3.01~5.58			1~5(重稀土相对富集)
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$				0.7038~0.7040	0.7048~0.7084		0.704~0.710
$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$				0.5128~0.51282	0.5125~0.51274		0.5125~0.5128
εNd(t)				6.2~6.3	0.62~3.40		偏离 MORB (近 0 正值或低正值)

注:常量为%,微量为$\times10^{-6}$。

(2) 富碱花岗岩一般高 Si(SiO_2>70%)、富碱(K_2O+Na_2O 介于 9%~12%)、低 Al(Al_2O_3 值 12%±)、低 Ca(CaO≤1),属于碱性系列(图 2-3),部分与碱性花岗岩富 Si(SiO_2≥73%)、富碱(全碱>8%)、低 Al(Al_2O_3<13%),A/CNK≤1 相似。其中,老山口与口岸等地的部分富碱岩(主要是正长岩)不同与传统意义上的碱性花岗岩,而与新疆北部碱性正长岩的主元素平均值(赵振华等,2001)如 SiO_2(65%±)、Al_2O_3(17%±)和全碱(10%~13%)十分接近。

2.4 微量和稀土元素地球化学

研究区的微量元素及特征参数反映出以下几点主要的特征:

(1) 钙碱性花岗岩贫 Nb(4×10^{-6}~20×10^{-6})、Zr(50×10^{-6}~170×10^{-6})、Y(<18×10^{-6}),高 Sr(200×10^{-6}~1200×10^{-6}),部分与埃达克质岩高 Sr(>300×10^{-6})和低 Y(≤18×10^{-6}),Sr/Y>20~40 相似(图 5)。

(2) 富碱花岗岩富 Ga(20×10^{-6}~33×10^{-6})、

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

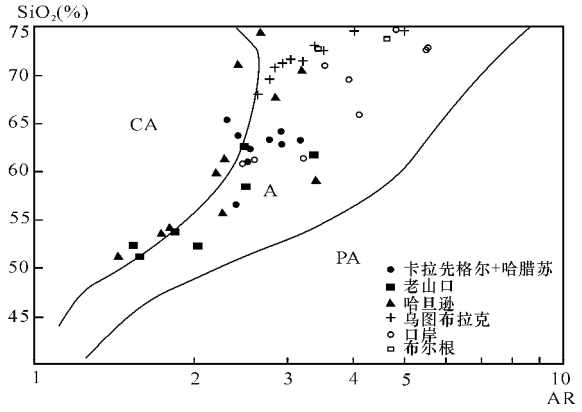


图 3　SiO_2 与碱度关系图解

Fig. 3　Diagram showing relationship between SiO_2 and alkalinity

CA–钙碱性; A–碱性; PA–过碱性

CA–calc–alkalic; A–alkalic; PA–parlkaline

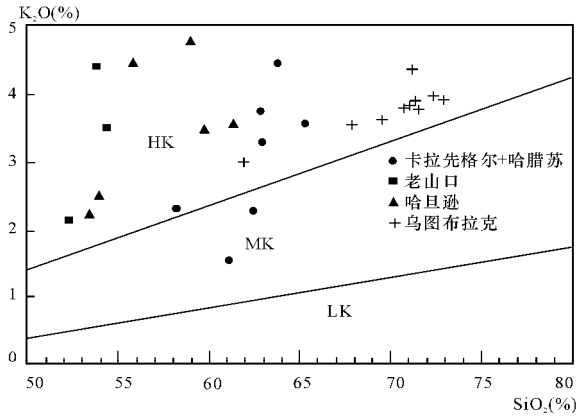


图 4　K_2O–SiO_2 图解

Fig. 4　Diagram of K_2O–SiO_2

HK–高钾; MK–中钾; LK–低钾

HK–high kalium; MK–middle kalium; LK–low kalium

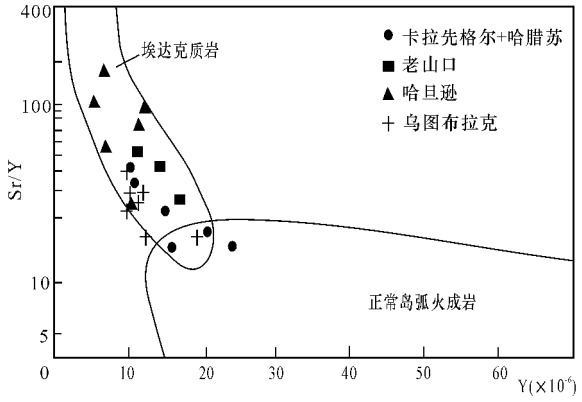


图 5　埃达克质岩 Sr/Y–Y 二元相关图解

Fig. 5　Sr/Y–Y binary diagram for adakite

Nb($>30\times10^{-6}$) 、Zr($98\times10^{-6}\sim1024\times10^{-6}$) ,低 Sr($3\times10^{-6}\sim56\times10^{-6}$) ,部分与碱性花岗岩高 Ga($>20\times10^{-6}$) 、Zr($>200\times10^{-6}$) 、低 Sr($<50\times10^{-6}$) 相似,其中低 Sr 是碱性花岗岩的明显特点。

从微量元素蛛网图(图 6) 上可看出两类花岗质岩石对比明显,具体表现在以下几个方面:

(1) 钙碱性花岗岩富 Ba、Sr,贫高场强元素(Nb、Zr、Hf) 和贫大离子亲石元素(Rb、Th 峰不突出) 。

(2) 富碱花岗岩富大离子亲石元素和高场强元素,贫 Ba、Sr 、P、Ti。

研究区的稀土元素特征参数可反映出以下几点主要的特征:

(1) 钙碱性花岗岩富 Eu($0.42\times10^{-6}\sim2.72\times10^{-6}$) ,δEu 值集中于 0. 7 ~ 1. 2。LREE 富集,ΣREE 变化大,部分与埃达克质岩低 Yb($\leqslant1.9\times10^{-6}$) ,$(La/Yb)_N>20$,富集 LREE 相似。

(2) 富碱花岗岩 Eu 强烈亏损,Eu 含量相对较低,δEu 值一般在 0. 2 左右,或甚至更低。HREE 相对富集,$(La/Yb)_N$ 值介于 1 ~ 5,ΣREE 变化大且高于钙碱性花岗岩类,部分岩石与碱性花岗岩 Eu 强烈亏损,重稀土相对富集相似。Eu 亏损(负异常) 和重稀土相对富集亦是新疆北部碱性花岗岩的典型特征。

稀土元素分布模式图(图 7) 对比明显,具体表现为钙碱性花岗岩类具有右倾平滑或较陡的分布模式,而富碱花岗岩类则具有 V 型或海鸥型、轻稀土缓右倾斜,重稀土近水平状的分布模式。

2. 5　Sr–Nd 同位素组成

研究区两类花岗质岩石 Sr–Nd 同位素组成差异明显,反映了不同的源区性质。其中钙碱性花岗岩具有($^{143}Nd/^{144}Nd)_i>0.5129$,($^{87}Sr/^{86}Sr)_i<0.704$,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 值为 5 ~ 8,接近 MORB,通常认为直接来源于大洋板片部分熔融,与俯冲洋壳有关的岛弧(岩浆弧) 环境的源区性质; 以及($^{143}Nd/^{144}Nd)_i<0.5126$,($^{87}Sr/^{86}Sr)_i>0.704$,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 值为 1 ~ 5,偏离 MORB,反映源区与幔源岩浆底侵至下地壳,引起下地壳部分熔融,产生新生年轻地壳有关的陆内后碰撞环境的源区性质。而富碱花岗岩则通常具有($^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 比值为 0. 5125 ~ 0. 5128,($^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 比值为 0. 704 ~ 0. 710,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 值为

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

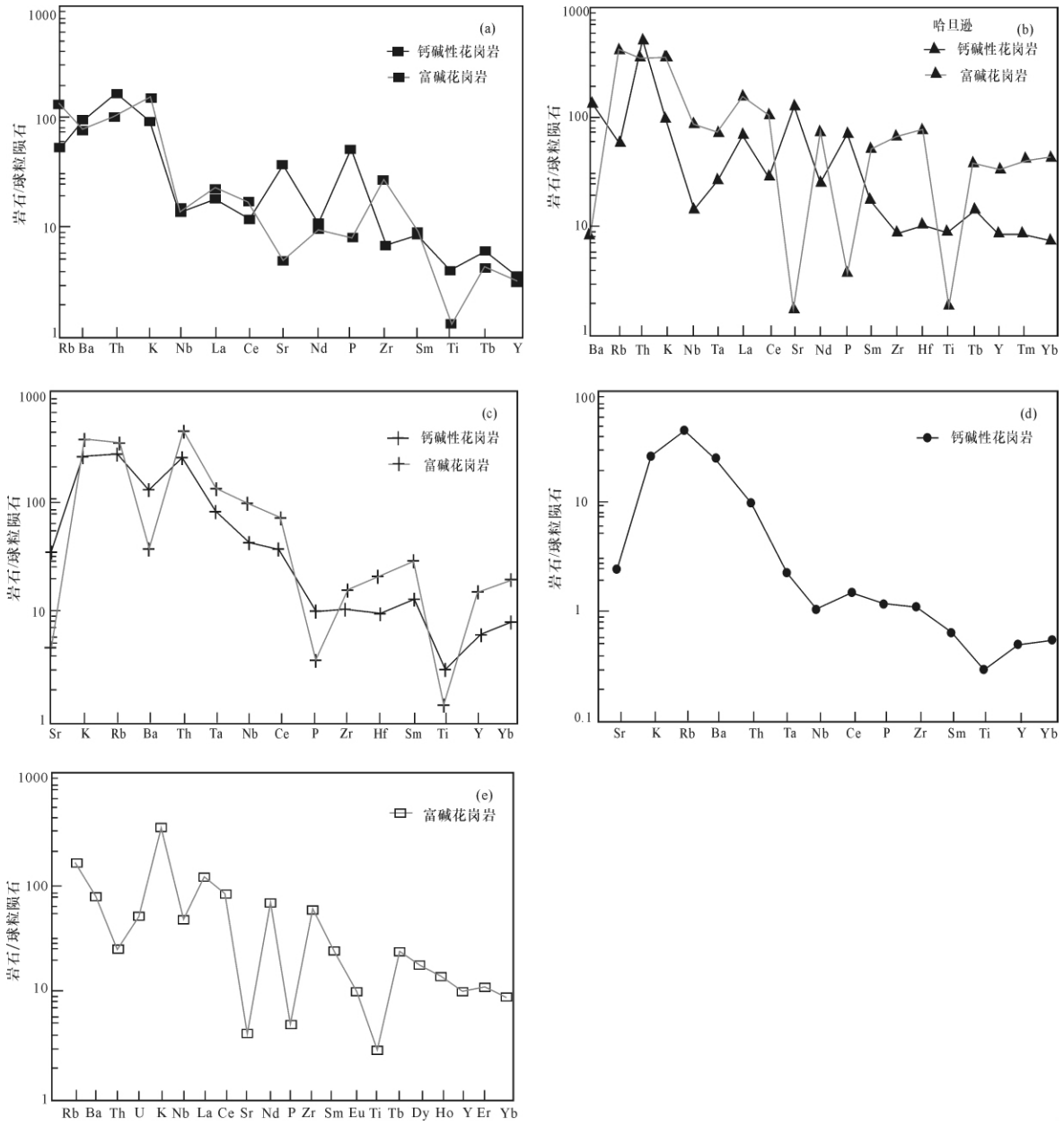


图 6 微量元素比值蛛网图(据 Pearce,1982; Thompson,1982)

Fig. 6 Multi-elements spidergram(after Pearce,1982; Thompson,1982)

(a)-老山口; (b)-哈旦逊; (c)-乌图布拉克; (d)-卡拉先格尔+哈腊苏; (e)-口岸

(a)-Laoshankou; (b)-Hadanxun; (c)-Wutubulake; (d)-Kalaxiangeer+halasu; (e)-Kouan

0~5,偏离 MORB,即反映了后碰撞环境的源区性质。即研究区内的钙碱性花岗岩既可以产出在岛弧环境也可以产出于大陆后碰撞环境。而富碱花岗岩只单一产出于后碰撞环境,特别是碱性花岗岩在新疆北部地区是指示该环境的标志产物(赵振华等,2006a)。

在 I_{Sr}-$\varepsilon_{Nd}(t)$ 图解(图 8)中可以看到,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 均为正值,反映了来源深源即幔源提供岩浆源区的特点。但 Sr-Nd 同位素组成差异表明,两类环境显然来自于不同的岩浆源区。岛弧环境投点集中分布于第二象限,靠近 MORB,反映了源区物质与俯冲洋壳的密切关系。大陆后碰撞环境投点区多位于第一象限或第一、二象限交界处,较偏离(低于) MORB,反映了其成岩过程中受到了幔源岩浆底侵作用加厚的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

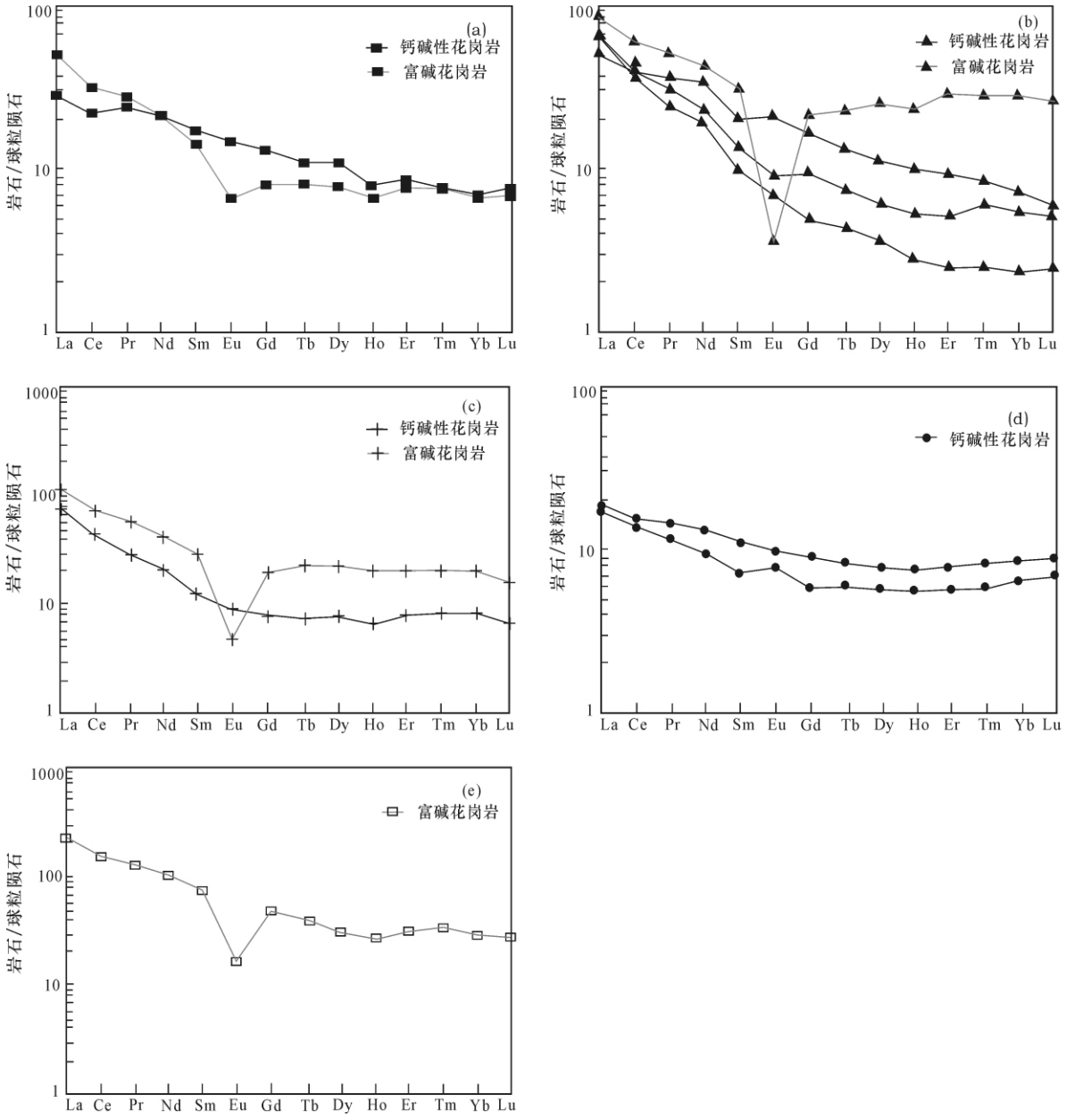


图 7　稀土元素球粒陨石标准化分布模式图

Fig. 7　Chondrite-normalized REE patterns

(a)-老山口; (b)-哈旦逊; (c)-乌图布拉克; (d)-卡拉先格尔+哈腊苏; (e)-口岸

(a)-Laoshankou; (b)-Hadanxun; (c)-Wutubulake; (d)-Kalaxiangeer+halasu; (e)-Kouan

下地壳的混染。

2.6　同位素年代学

综合分析已有的关于研究区内岩浆岩同位素年代学资料(表 3),区内两类花岗质岩石侵入期主要集中于两期,即华力西早期(380Ma±)和华力西中晚期(358～253Ma)。钙碱性花岗岩或杂岩体钙碱性单元形成时代范围较广,包括华力西早期和华力西中晚期。富碱花岗岩形成时代则相对单一,早期认属为华力西晚期产物,最近的年代学研究表明,布尔根碱性花岗岩形成于早石炭世,同位素年龄(SHRIMP 和 LA ICP-MS 锆石 U-Pb)介于 358±4～343±3Ma(童英,2006②),口岸富碱侵入岩体中正长岩(锆石 U-Pb)年龄为 286±1Ma(童英等,2006),属 C_1-P_1 后造山环境不同时期产物(童英,2006②)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 东准噶尔北缘两类花岗质岩石同位素年代学

Table 3 Isotope chronology for two types of granitoids in the northern margin of East Junggar

岩石类型	侵入期	岩体名称	岩石类型	测定方法	年龄/Ma	资料来源
钙碱性花岗岩	华力西早期	哈腊苏	花岗闪长斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	381±6	张招崇,2006
		喀腊萨依	二长闪长斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	376±10	张招崇,2006
	华力西中晚期	乌图布拉克	花岗闪长岩	全岩 Rb-Sr	334±6	周刚,2007①
		哈旦逊	石英二长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	289.5±3.6	周刚,2007①
富碱花岗岩	华力西中晚期	口岸	正长岩	锆石 U-Pb	286±1	童英等,2006
		布尔根	碱性花岗岩	全岩 Rb-Sr	253	王中刚,1989③
				SHRIMP 锆石 U-Pb	358±4	童英,2006②

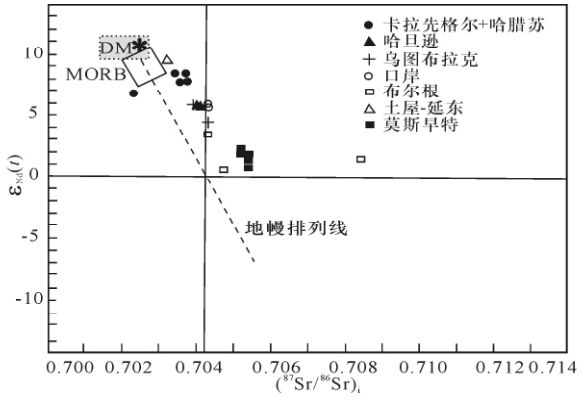


图 8 东准噶尔北缘及邻区花岗质岩石(含矿斑岩) Sr-Nd 同位素组成图解

Fig. 8 Sr-Nd isotope diagram for granitoids (containing mineral porphyry) in the northern margin of East Junggear and adjacent regions

DM-亏损地幔; MORB-大洋中脊玄武岩; 土屋引自芮宗瑶等(2002); 莫斯早特引自赵振华等(2006a)

DM-Depleted mantle; MORB-Mid-ocean ridge basalt; Tuwu after Rui *et al.*,(2002); Mosizaote after Zhao *et al.*,(2006a)

3 成岩大地构造环境

根据花岗岩类微量元素 Y+Nb-Rb 构造环境判别图(图 9),两类花岗质岩石分别落入岛弧和后碰撞环境区域。又根据 Q-A-P 实际矿物三元图解判别构造环境(图 10),投点结果虽然较分散,但明显有向两个环境内的花岗质岩类集中的趋势,即与洋陆俯冲会聚作用形成的岩浆弧有关的花岗岩类和与(碰撞后)伸展作用有关的花岗岩类有关,碰撞后伸展作用始于主碰撞作用后的陆内后碰撞作用,且演化至板内伸展作用的非造山阶段。投点结果与花岗岩微量元素构造环境判别图所得结果是近于一致的。此外,根据 Sr-Nd 同位素组成(图 7)判断源区性质,岩浆来源主要与俯冲岩浆事件有关和大陆后碰撞岩浆侵位有关。

尽管研究区有两类花岗质岩石,但从岩石地球化学特征来判断,并结合构造环境分析,钙碱性花岗岩即可以产出在岛弧环境,也可以产出在后碰撞环境,显示了钙碱性花岗岩构造环境的多样性。而富碱花岗岩主要产出在后碰撞环境,往往代表了伸展体制的构造背景(胡霭琴等,1997; 刘家远等,1996,1999; 赵振华等,2006a),证明了后碰撞期是一种挤

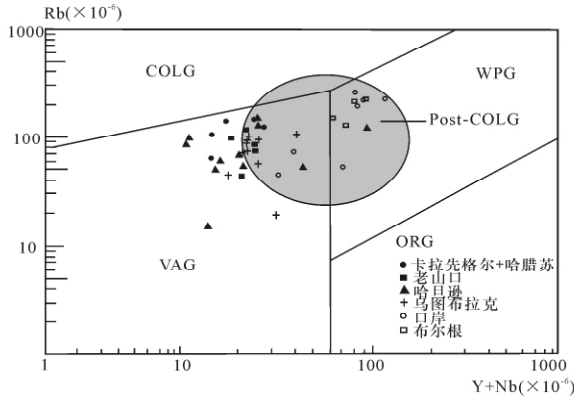


图 9 花岗岩类 Y+Nb-Rb 构造环境判别图(据 Pearce,1996)

Fig. 9 Y+Nb-Rb discrimination diagram of granitoids(after Pearce,1996)

压向伸展构造演化的重要转变期。

上述两类花岗质岩石在构造环境方面表现出的差异可能暗示出以下几点:

(1) 花岗质岩石的构造环境主要产出于陆缘俯冲岛弧环境和陆内造山后碰撞环境。构造环境在空间上叠置于同一大陆造山带体制内,花岗质成岩过程受造山带不同演化阶段相应构造环境的制约。

(2) 钙碱性花岗岩即可以出现在俯冲造山阶段,也可以产出于陆内后碰撞阶段,富碱花岗岩是后碰撞环境伸展时期的标志产物,标志着碰撞造山运动的结束,并且演化至板内阶段,显示了岩浆活动连续演化的特点;

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

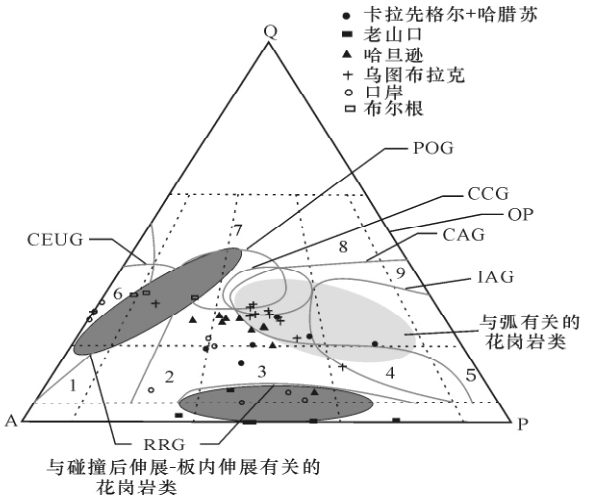


图 10　石英(Q)–碱性长石(A)–斜长石(P)实际矿物三元图解(据肖庆辉等,2002)

Fig. 10　Ternary diagram of Q(quartz)–A(alkali–feldspar)–P(plagioclase) mineral of granitoids(after Xiao *et al.*,2002)

IAG–岛弧花岗岩类; CAG–大陆弧花岗岩类; CCG–大陆碰撞花岗岩类; POG–后造山花岗岩类; RRG–与裂谷有关的花岗岩类; CEUG–与大陆造陆抬升有关的花岗岩类; OP–大洋斜长花岗岩; IAG–Island–arc granitoids; CAG–Continent–arc granitoids; CCG–Continent–collision granitoids; POG–Post–orogenic granitoids; RRG–Related rift granitoids; CEUG–Created earth uplifting granitoids; OP–Oceanic plagiogranite

(3) 造山带内花岗质岩石岩演化序列以钙碱性花岗岩类开始,往往分异演化晚期以富碱花岗岩类结束,这在分异杂岩体内尤为典型。而富碱花岗岩的大量单独出现,即大约 300Ma 左右可作为后碰撞期挤压向伸展转变的过渡期。

4　讨论

4.1　构造意义

大陆碰撞造山带的造山演化可能主要经历了包括陆缘俯冲造山、陆间大陆碰撞造山和陆内碰撞造山,直至造山后崩塌的全部过程。陆间碰撞造山前期的陆缘大洋板块俯冲会聚作用产生的岩浆弧环境已被较早识别并被众多专家学者所接受。而陆内造山的大陆后碰撞环境的识别和单独划分出来是最近几年大陆动力学研究的成果,并被大量中国学者所证实。研究表明(韩宝福等,1998,1999,2006; 赵振华等,2006a; 侯增谦等,2007; 周刚,2007),中国大陆内部喜马拉雅造山带的冈底斯和中亚造山带的新疆北部是大陆后碰撞环境最为发育的地区。显然,一个完整的造山带环境应该包括不同演化时期形成的构造环境,同一造山带演化体制下可能并存或叠加有侧向增生俯冲作用和垂向增生后碰撞作用下的构造环境标志产物。造山带内的花岗岩类可能能够作为证据反映出这一问题,即代表不同造山演化时期和大地构造背景的岩浆岩岩石地球化学示踪性可能完整地记录了造山带演化的全部过程。

研究区划分出来的两类花岗质岩石产出在同一大陆碰撞造山带体制内不同的演化构造环境中。不同的钙碱性花岗岩类既代表了俯冲造山时期的岛弧环境也反映了陆内碰撞造山时期的后碰撞环境。而富碱花岗岩类是指示后碰撞期是由挤压向伸展构造演化的重要转变期的标志产物。这种反映构造环境的客观实体的共存性很好的说明了同一造山带碰撞造山演化体制内可以并存不同构造环境的标志产物。

基于这种认识,笔者对卡拉先格尔斑岩铜矿带与老山口金铜铁成矿带实地考察后发现,卡拉先格尔与老山口南东一带的钙碱性花岗岩内都存在广泛的金属成矿作用。卡拉先格尔已达中型且形成数量众多斑岩矿点的斑岩成矿带; 老山口以 IOCG 成矿作用为主,区域钠质火山岩、钾化闪长岩类是赋矿围岩(路彦明等,2009),此外老山口南东一带的哈旦逊杂岩体内新发现类似老山口的铜铁多金属矿点。两地的含矿中–浅侵位岩体空间上相距不远(十几公里之内),岩石学特征类似。但从其岩石地球化学特征来看,特别是成岩时代及源区性质反映两地的花岗质岩石在构造环境上有较明显差异。卡拉先格尔一带斑岩体形成于造山演化早期的俯冲期,其成岩时代集中于 380Ma 左右,源区性质表现为亲 MORB 源的俯冲环境,而老山口南东一带杂岩体主要形成于陆内后碰撞阶段,其成岩时代集中于 330~290Ma 之间,源区性质表现为偏离 MORB 源的大陆后碰撞环境。即两地的含矿(斑)岩体是不同时代和构造环境的产物,后碰撞期侵入体叠加于造山演化早期的岛弧环境内,这种推测很可能对于研究区的基础地质和实际找矿问题有很重要的启示意义。

4.2　找矿意义

部分钙碱性花岗岩的岩石地球化学特征是富钠、高 Al,属于高钾钙碱性系列,高 Sr、低 Y,Sr/Y 比值高,LREE 富集,低 I_{Sr},$\varepsilon_{Nd}(t)$ 正值的特点,与埃达

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

克质岩石突出的岩石地球化学特征具有相似性。埃达克岩不仅具有地球动力学方面的意义,而且,埃达克岩可作为斑岩型矿床的找矿标志来使用(Defant *et al.*,1990),与埃达克质岩石有关的铜金成矿作用亦受到广泛重视(Defant,2001;张旗等,2001;许继峰等,2001;熊小林等,2001;Mungall,2002;王强等,2001,2002;侯增谦等,2003;张连昌等,2004)。研究区内卡拉先格尔斑岩铜矿带亦有含矿斑岩为埃达克岩的实例(杨文平等,2005;万博等,2006)。

研究成果表明(侯增谦,2004,2007),斑岩型矿床产出的构造环境除岩浆弧环境外,大陆环境特别是幔源岩浆底侵至下地壳,致使其部分熔融产生的新生地壳来源的后碰撞环境也是该矿床产出的有利构造环境。研究区部分具有埃达克质岩特征的含矿花岗质岩石在构造环境上主要产出于陆缘俯冲岛弧环境,其次陆内后碰撞环境下的部分钙碱性花岗岩也具有相似的底侵型埃达克质岩石亲和性。与邻区天山造山带内的含矿埃达克质岩石源区性质对比(图8),研究区陆内后碰撞环境内产出的钙碱性花岗岩类可能具有形成斑岩型矿床的潜力。

从研究区实际地质背景看,区内浅侵位钙碱性花岗岩类除形成较为广泛的斑岩成矿作用以外(卡拉先格尔斑岩成矿带已发现矿床点10处),还存在IOCG型铜铁多金属成矿作用(集中于老山口及其南东一带,发现矿点3处),后者的构造环境很可能为陆内后碰撞伸展环境,且与卡拉先格尔一带的洋陆俯冲过程形成的岛弧环境有较明显的差异。东准噶尔北缘晚古生代陆缘活动带及活动大陆边缘成矿系统的存在是毋庸置疑的,哈腊苏、卡拉先格尔斑岩铜矿的存在即为佐证。但大陆碰撞造山带演化并不是在洋陆俯冲阶段就戛然而止,碰撞及碰撞后的演化及成矿才是其主流趋势。研究表明(胡霭琴等,1994;陈衍景,1996;李华芹等,1998;喻亨祥等,2000;李锦轶等,2004),新疆北部在陆内后碰撞期或陆内造山挤压-伸展转变期,即晚石炭世-二叠纪(大约330~250Ma)是金属成矿作用的高峰期。由于中亚型造山带具有多块体多缝合带镶嵌的大地构造格局(肖序常等,1992),海西期的碰撞造山作用具有多岛海特征(陈海泓等,1999),在广泛的微地块活动陆缘(岛弧)基础上发生碰撞造山作用,继而侵位陆内造山作用的后碰撞深成岩浆岩是正常的,因此后碰撞期与早期俯冲期深成岩类的识别及与成矿的关系将变得重要。大陆后碰撞环境除与活动陆缘(岛弧环境)产出类似的斑岩矿床外,是否还提供了特定金属成矿作用的地球动力学背景是值得考虑的。研究区少数的后碰撞期侵入体发生了IOCG型铜铁成矿作用,因其与火山岩地层或类矽卡岩化密切相关曾称之为火山岩型或矽卡岩型铁铜矿床,早期的岛弧火山岩地层(张招崇等,2007)是否受侵入的后碰撞期钙碱性花岗闪长质岩株或岩脉等小岩体交代或改造(钾质-钠质蚀变)而形成铜铁多金属成矿作用是值得深入探讨的。后碰撞环境除发育典型的斑岩成矿作用外,特别是后碰撞伸展环境与拉张、伸展体制有关的金属成矿作用是否也是IOCG型铁铜金矿床的产出构造环境,笔者将此提出来,意在引起同行对大陆后碰撞环境成矿作用的复杂性及IOCG型矿床产出的构造环境与花岗岩类的关系给予足够重视。

5 结论

(1)对东准噶尔北缘花岗质岩石以地球化学为主的研究发现,该区主要存在两类花岗质岩石,其主体为造山带钙碱性花岗岩类和富碱花岗岩类。部分钙碱性花岗岩与新疆北部的埃达克质岩具有相似的岩浆亲和性,而富碱花岗岩更多的表现出碱性花岗岩的岩石地球化学特点。

(2)花岗质岩石的构造环境产出于陆缘俯冲岛弧环境,以及其后叠加有碰撞演化至陆内造山的后碰撞环境,且在空间上并存于同一造山带演化体制内。

(3)钙碱性花岗岩即可以出现在大陆造山带演化的俯冲造山阶段,也可以产出于陆内后碰撞阶段,富碱花岗岩是后碰撞环境伸展时期的标志产物,标志着碰撞造山运动的结束。

(4)钙碱性花岗岩构造环境的多样性可能初步印证了具有斑岩成矿潜力的卡拉先格尔和IOCG铜铁成矿作用的老山口南东一带成岩、成矿构造环境的差异。

[注释]

① 周 刚. 2007. 新疆玛因鄂博断裂断裂带两侧后碰撞花岗岩类的年代学、岩石学和地球化学研究[D]. 北京:中国地质科学院博士学位论文,26-126

② 童 英. 2006. 阿尔泰造山带晚古生代花岗岩年代学、成因及其地质意义[D]. 北京:中国地质科学院:18-112

③ 王中刚. 1989. 阿尔泰花岗岩类及其与成矿关系的研究[R]. 新疆

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

政府国家三 0 五项目办公室.

[References]

Chen B, Jahn B-m. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence [J]. Asian Earth Sciences, 23: 691-703

Chen B, Arakawa Y. 2005. Elemental and Nd-Sr isotopicgeochemistry of granitoids from the West Junggar foldbelt (NWChina), with implications for Phanerozoic continental growth [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 69: 1307-1320

Chen Hai-hong, Hou Quan-lin, Xiao Jiao-you, 1999. Collosion orogenic research in China [M]. Beijing: China Ocean Press: 232 (in Chinese)

Chen Yan-jing. 1996. Mineralization during collisional orogenesis and its control of the distribution of gold deposits in Junggar mountains, Xinjiang, China [J]. Acta Geologica Sinica, 70(3): 253-261 (in Chinese with English abstract)

Defant M J, Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. Nature, 374: 662-665

Defant M J and Kepezhinskas p. 2001. Evidence suggests slab melting in arc magmas [J]. Eos, 82: 62-69

Han Bao-fu, He Guo-qi, Wang Shi-guang, Hong Da-wei. 1998. Postcollisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in North Xinjiang [J]. Geological Review, 44(4): 396-406 (in Chinese with English abstract)

Han Bao-fu, He Guo-qi, Wang Shi-guang. 1999. Post collisional mantle-derived magmatism, under-plating and implications for basement of the Junggar basin [J]. Science in China (Series D), 42(2): 113-119 (in Chinese with English abstract)

Han Bao-fu, Ji Jian-qing, Song Biao, Chen Li-hui, Zhang Lei. 2006. Late paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggat basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism [J]. Acta petrologica Sinica, 22(5): 1077-1086 (in Chinese with English abstract)

Han Baofu. Diverse post-collisional granitoids and their tectonic setting discrimination [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(3): 64-72 (in Chinese with English abstract)

He Guo-qi, Li Mao-song, Liu De-quan. 1994. Paleozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang of China [M]. Urümqi: Xinjiang People's Publishing House: 1-427 (in Chinese)

He Guo-qi (Ed.). 2004. Regions tectonic map manual (1: 250 million) of Xinjiang and adjacent, China [M]. Beijing: Geological Publishing House: 16-26 (in Chinese)

Hong Da-wei, Wang Shi-guang, Xie Xi-lin, Zhang Ji-sheng, Wang Tao. 2003. Correlation between continetal crustal growth and the supercontinental cycle: Evidence from the granites with positive ε_{Nd} in the central Asian orogenic belt [J]. Acta Geologica Sinica, 77(2): 203-209 (in Chinese with English abstract)

Hu Ai-qin, Zhang Guo-xin, Li Qi-xin, Fan Si-kun, Zhang Qian-feng. 1994. The geological evolution and ore-foming relationship in Northern Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 12(1): 32-39 (in Chinese with English abstract)

Hu Ai-qin, Wang Zhong-gang, Tu Guang-Chi. 1997. Geological Evolution, in Northern Xinjiang, NW China [M]. Beijing: Science Press: 1-246 (in Chinese)

Hou Zeng-qian, Mo Xuan-xue, Gao Yong-feng, Qu Xiao-ming, Meng Xiang-jin. 2003. Adakite, A possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in Northern Chile [J]. Mineral Deposits, 22(1): 1-12 (in Chinese with English abstract)

Hou Zeng-qian. 2004. Porphyry Cu-Mo-Au deposits: Some new insights and advances [J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 131-144 (in Chinese with English abstract)

Hou Zeng-qian, Pan Xiao-fei, Yang Zhi-ming, Qu Xiao-ming. 2007. Porphyry Cu-(Mo-Au) deposits no related to oceanic-slab subduction: examples from Chinese porphyry deposits in continental settings [J]. GeoScience, 2007, 21(2): 332-351 (in Chinese with English abstract)

Li Hua-qin, Xie Cai-fu, Chang Hai-liang. 1998. Study on metallogenic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in North Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 202-206, 264 (in Chinese)

Li Hua-qin, Chen Fu-wen. 2004. Isotopic geochronology of regional mineralization in Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House: 39, 76, 280-285 (in Chinese)

Li Jin-yi, Xu Xin. 2004. Major problems on geologic structures and metallogenesis of Northern Xinjiang, Northwest China [J]. Xinjiang Geology, 22(2): 119-124 (in Chinese with English abstract)

Liegeois J P. 1998. Preface-Some words on the post-collisional magmatism [J]. Lithos, 45: ⅩⅤ-ⅩⅤⅱ

Li Zong-huai, Han Bao-fu, Li Xin-zi, Du Wei, Yang Bin. 2004. Microgranular dioritic enclaves in Junggar granites and their implications for the origin and evolution of post-collisional granitic magmatism in North Xinjiang [J]. Acta Petrologica et mineralogica, 23(3): 214-226 (in Chinese with English abstract)

Liu Jia-yuan, Yuan Kui-rong, Wu Guo-quan, Xin Jian-gang, Liu Sheng. 1996. Rich alkali granites and mineralization in Eastern Junggar, Xinjiang [M]. Changsha: Central South Industrial University Press: 18-157 (in Chinese)

Liu Jiayuan, Yu Hengxiang, Wu Guoquan. 1999. Two kinds of alkaline granites in eastern Junggar, Xinjiang and their geological significance [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 18(2): 89-94 (in Chinese with English abstract)

Liu Jia-yuan. 2001. Continental volcanism and gold-copper metallogenesis in Eastern Junggar, Xinjiang [J]. Geotectonica et Metallogenia, 25(4): 434-438 (in Chinese with English abstract)

Liu Jia-yuan, Qian Jian-ping, Cheng Zhi-ping, Shan Na-lin. 2002. Continental volcanism and Au-Cu mineralization in East Junggar, Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House: 48-90 (in Chinese)

Lu Yan-ming, Nie Feng-jun, Fan Jun-jie, Yun Fei, Li Cheng-wen. 2009. Identification of the IOCG Deposits along the Northeastern Margin of the Junggar Basin, Xijiang [J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(2): 277-278 (in Chinese with English abstract)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Lu Yan-ming,Zhang Dong,Pan Ai-jun ,Chen Xiao-wu,Zhang Yu-jie, Fan Jun-jie,Nie Feng-jun. 2010. IOCG deposits on LaoShanKou along the Northeastern margin of the Junggar Basin,Xijiang [J] . Mineral Deposits,29(Supp.) : 27 - 30(in Chinese with English abstract) .

Mungall J E. 2002. Rosting the mantle: slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposit [J] ,Gelolgy,30: 915-918

Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries [A] . In: T-horpe R S(ed.) ,Andesits,Chichester: Wiley [C] : 525-548

Pearce J A. 1996. Sources and settings of granitic rocks [J] . Episodes,19 (4) : 120-125

Rui Zong-yao,Liu Yu-lin,Wang Long-sheng,Wang Yi-tian. 2002. The Eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework [J] . Acta Geologica Sinica,76(1) : 83 - 94(in Chinese with English abstract)

Streckeisen A. 1976. Classification of common igneous rocks by means of their chemical composition,A provisional attempt [J] . New Jahr b. Mineral,1807(1) : 25-32

Thompson R N. 1982. Magmatism in the British Tertiary volcanic province [J] . Scott J. Geol,18: 49-107

Tong Ying,Wang Tao,Kovach V P,Hong Da-wei,Han Bao-fu. 2006. Age and origin of the Takeshiken postorogenic alkali-rich intrusive rocks in southern Altai,near the Monglian border in China and its implications for continental growth [J] . Acta Petrologica Sinica,22 (5) : 1267-1278(in Chinese with English abstract)

Xia Zu-chun,Xu Xue-yi,Xia Lin-qi,Li Xiang-min,Ma Zhong-pin, Wang Li-she. 2005. Geochemistry of the carboniferous-permian post-collisional granitic rocks from Tianshan [J] . Northwestern Geology,38(1) : 1-14(in Chinese with English abstract)

Xiao Xv-chang,Tang Yao-qing,Feng Yi-min,Zhu Bao-qing,Li Jin-yi, Zhao Min. 1992. The tectonics in the Northern Xinjiang and its adjacent area [M] . Beinjing : Geological Publishing House,1 - 169(in Chinese)

Xiao Qing-hui,Deng Jin-fu,Ma Da-quan,2002. The ways of investigation on granitoids [M] . Beijing: Geological Publishing House: 21-30 (in Chinese)

Xu Ji-feng,Wang Qiang,Xu Yi-gang,Zhao Zhen-hua,Xiong Xiao-lin. 2001. Geochemistry of Anjishan intermediate-acid intrusive rocks in Ningzhen area: Constraint to origin of the magma with HREE and Y depletion [J] . Acta Petrologica Sinica,17(4) : 576-584(in Chinese with English abstract)

Xiong Xiao-lin,Zhao Zhen-hua,Bai Zhen-hua,Mei Hou-jun,Wang Yi-xian,Wang Qiang,Xu Ji-feng,Bao Zhi-wei. 2001a. Awlale adakite type Na-intermediate-acidic rocks and crust vertical hyperplasia in Western Tianshan [J] . Chinese Science bulletin,46(4) : 281 - 287 (in Chinese with English abstract)

Xiong Xiao-lin,Zhao Zhen-hua,Bai Zhen-hua,Mei Hou-jun,Xu Ji-feng,Wang Qiang. 2001b. Origin of Awlale adakittic sodium-rich rocks in western Tianshan: Constraints for Nd and Sr isotopic compositions [J] . Acta Petrologica Sinica,17(4) : 514 - 522(in Chinese with English abstract)

Wan Bo,Zhang Lian-chang. 2006. Geochemistry of ore-bearing porphyries in the Kalaxianger copper belt on the southeastern margin of the Altay Mountains,Xinjiang [J] . Geology In China,33(3) : 618 - 625 (in Chinese with English abstract)

Wang Jing-bin,Xu Xin. 2006. Post-collisional Tectonic Evolution and Metallogenesis in Northern Xinjiang, China [J] . Acta Geologica Sinic,80(1) : 23-31(in Chinese with English abstract)

Wang Qiang,Zhao Zhen-hua,Xiong Xiao-lin,Xu Ji-feng. 2001. Melting of the underplated basaltic lower crust: Evidence from the Shaxi adakitic sodic quartz diorite-porphyrites,Anhui Province,China [J] . Geochimica,30(4) : 353-362(in Chinese with English abstract)

Wang Qiang,Zhao Zhen-hua,Xiong Xiao-lin,Li Xian-hua,Bao Zhi-wei. 2002. Ascertainment of the Shaoxing-Enping alkali-rich intrusive rock zone and preliminary discussion on its geodynamic implications [J] . Geochimica,31(5) : 433 - 442(in Chinese with English abstract)

Wang Zhong-gang,Zhu Xiao-qing,Bi Hua,Wang Yuan-long,Wu Bai-qing,Zou Tian-ren,Zhao Zhen-hua,Gui Xun-tang. 2006. Granites in Xinjiang,China [M] . Beijing: Geological Publishing House,100-110(in Chinese) .

Yan Sheng-hao,Teng Rong-li,Zhang Zhao-chong,Chen Bai-lin,Chen Wen,Zhou Gang,He Li-xin. 2006. New understanding on origin of Kalaxiangeer copper deposit on southern margin of Altay mountain, Xinjiang: Constraints from S-Pb-H-O isotope geochemistry and $^{40}Ar-^{39}Ar$ age of Halasu copper deposit [J] . Mineral Deposit, 25 (3) : 292-301(in Chinese with English abstract)

Yang Wenping,Zhang Zhaochong,Zhou Gang,Yan Sheng-hao,He Li-xin,Chen Bai-lin. 2005. Discovery of the Xileketehalasu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt [J] . Geology in China,32(1) : 107 - 114(in Chinese with English abstract)

Yu Heng-xiang,Xia Bin,Liu Jia-yuan,Wu Guo-quan. 2000. Collisional orogenesis and granitoids and relatemetallogenic series from eastern Junggar [J] . Journal of GuiLin Institute of Technology,20(3) : 213-219(in Chinese with English abstract)

Zhang Cheng-li,Liu Liang,Zhang Guo-wei,Wang Tao,Chen Dan-ling, Yuan Hong-lin,Liu Xiao-ming,Yan Yun-xiang. 2004. Determination of neoproterozoic post-collisional granites in the north Qinling Mountains and its tectonic significance [J] . Earth Science Frontiers, 11(3) : 33-42 (in Chinese with English abstract)

Zhang Lian-chang,Qin Ke-zhang,Ying Ji-feng,Xia Bin,Shu Jian-sheng. 2004. The relationship between ore-forming processes and adakitice rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan mountains [J] . Acta Petrologica Sinica,20(2) : 259-268(in Chinese with English abstract)

Zhang Qi,Wang Yan,Qian Qing,Yang Jin-hui,Wang Yuan-long,Zhao Tai-ping,Guo Guang-hui. 2001. Mesozoic adakite characteristics and structural-metallogenic significance of eastern,China [J] , Acta Petrologica Sinica ,17(3) : 236-244(in Chinese with English abstract)

Zhang Zhao-chong,Yan Shen-ghao,Chen Bai-lin,Zhou Gang,He Yong-kang,Chai Feng-mei,He Li-xin,Wan Yu-sheng. 2006. SHRIMP

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

U-Pb zircon dating of subduction granite in northern of East Junggar, Xinjiang [J]. Chinese Science bulletin, 51(13): 1565-1574 (in Chinese with English abstract)

Zhang Zhao-chong, Zhou Gang, Yan Sheng-hao, Chen Bai-lin, He Yong-kang, Chai Feng-mei, He Li-xin. 2007. Geology and geochemistry of the late Paleozoic volcanic rocks of the South Margin of the Altai Mountains and implications for tectonic evolution [J]. Acta Geologica Sinica, 81(3): 344-358 (in Chinese with English abstract)

Zhao Zhen-hua, Shen Yuan-chao, Tu Guang-chi. 2001. Metal mineral resources foundation research of Xinjiang [M]. Beijing: Science Press: 75-105 (in Chinese)

Zhao Zhen-hua, Bai Zhenghua, Xiong Xiaolin, Zhang Hai-xiang, NiuHe-cai, Xu Ji-feng, Bai Zheng-hua, Qiao Yu-lou. 2006b. The alkali-rich igneous rocks and related mineralization in northern Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-49-206 (in Chinese)

Zhao Zhen-hua, Wang Qiang, Xiong Xiao-lin, Zhang Hai-xiang, Niu He-cai, Xu Ji-feng, Bai Zheng-hua, Qiao Yu-lou. 2006b. Two types of adakites in north Xinjiang, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1249-1265 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

陈海泓,侯泉林,肖交友. 1999. 中国碰撞造山带研究 [M]. 北京: 海洋出版社: 232

陈衍景. 1996. 准噶尔造山带碰撞体制的成矿作用及金等矿床分布规律 [J]. 地质学报,70(3): 253-261

韩宝福,何国琦,王式洸,洪大卫. 1998. 新疆北部碰撞后幔源岩浆活动与陆壳纵向生长 [J]. 地质论评,44(4): 396-406

韩宝福,何国琦,王式洸. 1999. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质 [J]. 中国科学(D),42(2): 113-119

韩宝福,季建清,宋　彪,陈立辉,张　磊. 2006. 新疆东准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(Ⅰ)--后碰撞深成岩浆活动的时限 [J]. 岩石学报,22(5): 1077-1086

韩宝福. 2007. 后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性 [J]. 地学前缘,14(3): 64-72

何国琦,李茂松,刘德权. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社: 1-427

何国琦(主编). 2004. 中国新疆及邻区大地构造图(1:250 万)说明书 [M]. 北京: 地质出版社: 16-26

洪大卫,王式洸,谢锡林,张季生,王涛. 2003. 从中亚正 ε_{Nd} 值花岗岩看超大陆演化和大陆地壳生长的关系 [J]. 地质学报,77(2): 203-209

胡霭琴,张国新,李启新,范嗣昆,张前锋. 1994. 新疆北部地质演化及其与成矿的关系 [J]. 新疆地质,12(1): 32-39

胡霭琴,王中刚,涂光炽. 1997. 新疆北部地壳演化及成岩成矿规律 [M]. 北京: 科学出版社: 1-246

侯增谦,莫宜学,高永丰,曲晓明,孟祥金. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要的含矿母岩-以西藏和智利斑岩铜矿为例 [J]. 矿床地质,22(1): 1-12

侯增谦. 2004. 斑岩 Cu-Mo-Au 矿床: 新认识与新进展 [J]. 地学前缘,11(1): 131-144

侯增谦,潘小菲,杨志明,曲晓明. 2007. 初论大陆环境斑岩铜矿 [J]. 现代地质,21(2): 332-351

李华芹,谢才富,常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学 [M]. 北京: 地质出版社: 202-206,264

李华芹,陈富文. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学 [M]. 北京: 地质出版社: 39,76,280-285

李锦轶,徐　新. 2004. 新疆北部地质构造和成矿作用的主要问题 [J]. 新疆地质,22(2): 119-124

李宗怀,韩宝福,李辛子,杜　蔚,杨　斌. 2004. 新疆准噶尔地区花岗岩中微粒闪长质包体特征及后碰撞花岗质岩浆起源和演化 [J]. 岩石矿物学杂志: 23(3): 214-226

刘家远,袁奎荣,吴郭泉,忻建刚,刘　生. 1996. 新疆东准噶尔富碱花岗岩类及其成矿作用 [J]. 长沙: 中南工业大学出版社: 18-157

刘家远,喻亨祥,吴郭泉. 1999. 新疆东准噶尔两类碱性花岗岩及其地质意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报,18(2): 89-94

刘家远. 2001. 论新疆东准噶尔陆相火山成矿作用 [J]. 大地构造与成矿学,25(4): 434-438

刘家远,钱建平,程志平,单娜琳. 2002. 新疆东准噶尔陆相火山作用与金铜成矿 [M]. 北京: 地质出版社: 48-90

路彦明,聂凤军,范俊杰,云飞,李成文. 2009. 东准噶尔盆地北缘新发现老山口氧化铁型铜-金(IOCG)矿床 [J]. 地球学报,30(2): 277-278

路彦明,张栋,潘爱军,陈晓吾,张玉杰,范俊杰,聂凤军. 2010. 东准北缘老山口氧化铁型铜金(IOCG)矿床 [J]. 矿床地质,29(增刊): 27-30

芮宗瑶,刘玉林,王龙生,王义天. 2002. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局 [J]. 地质学报,76(1): 83-94

童　英,王　涛,V P Kovach,洪大卫,韩宝福. 2006. 阿尔泰中蒙边界塔克什肯口岸后造山富碱侵入岩体的形成时代、成因及其地壳生长意义 [J]. 岩石学报,22(5): 1267-1278

夏祖春,徐学义,夏林圻,李向民,马中平,王立社. 2005. 天山石炭-二叠纪后碰撞花岗质岩石地球化学研究 [J]. 西北地质. 38(1): 1-14

肖序常,汤耀庆,冯益民,朱宝清,李锦轶,赵　民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造 [M]. 北京: 地质出版社: 1-169

肖庆辉,邓晋富,马大铨. 2002. 花岗岩研究思维与方法 [M]. 北京: 地质出版社: 21-30

许继峰,王　强,徐义刚,赵振华,熊小林. 2001. 宁镇地区中生代安基山中酸性侵入岩的地球化学: 亏损重稀土和钇的岩浆产生的限制 [J]. 岩石学报,17(4): 576-584

熊小林,赵振华,白振华,梅厚均,王一先,王　强,许继峰,包志伟. 2001a. 西天山阿吾拉勒 adakite 型钠质中酸性岩及地壳垂向增生 [J]. 科学通报,46(4): 281-287

熊小林,赵振华,白振华,梅厚均,许继峰,王　强. 2001b. 西天山阿吾拉勒埃达克质岩石成因: Nd 和 Sr 同位素组成的限制 [J]. 岩石学报,17(4): 514-522

万博,张连昌. 2006. 新疆阿尔泰东南缘卡拉先格尔铜矿带含矿斑岩地球化学及其成矿意义 [J]. 中国地质,33(3): 618-625

王京彬,徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿 [J]. 地质学报,80(1): 23-31

王强,赵振华,熊小林,许继峰. 2001. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自沙溪 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据 [J]. 地球化学,30(4): 353-362

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

王强,赵振华,熊小林,李献华,包志伟. 2002. 华南绍兴-恩平富碱侵入岩带的厘定及其动力学意义初探[J]. 地球化学,31(5):433-442

王中刚,朱笑青,毕华,王元龙,吴柏青,邹天人,赵振华,桂训唐. 2006. 中国新疆花岗岩[M]. 北京:地质出版社:100-110

闫升好,腾荣丽,张招崇,陈柏林,陈 文,周 刚,何立新. 2006. 新疆阿尔泰山南缘卡拉先格尔斑岩铜矿带成因再认识-来自哈腊苏铜矿硫-铅-氢-氧同位素和$^{40}Ar-^{39}Ar$年龄的约束[J]. 矿床地质,25(3):292-301

杨文平,张招崇,周 刚,闫升好,何立新,陈柏林. 2005. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩 铜矿的发现及其意义[J]. 中国地质,32(1):107-114

喻亨祥,夏 斌,刘家远,吴郭泉. 2000. 东准噶尔碰撞造山作用与花岗岩类及有关金属成矿系列[J]. 桂林工学院学报,20(3):213-219

张成立,刘 良,张国伟,王 涛,陈丹玲,袁洪林,柳小明,晏云翔. 2004. 北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义[J]. 地学前缘,11(3):33-42

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[J]. 岩石学报,20(2):259-268

张旗,王 焰,钱 青,杨进辉,王元龙,赵太平,郭光辉. 2001. 中国东部中生代埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报,17(3):236-244

张招崇,闫升好,陈柏林,周刚,贺永康,柴凤梅,何立新,万渝生. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年[J]. 科学通报,51(13):1565-1574

张招崇,周 刚,闫升好,陈柏林,贺永康,柴凤梅,何立新. 2007. 阿尔泰山南缘晚古生代火山岩的地质地球化学特征及其对构造演化的启示[J]. 地质学报,81(3):344-358

赵振华,沈远超,涂光炽. 2001. 新疆金属矿产资源的基础研究[M]. 北京:科学出版社:75-105

赵振华,白正华,熊小林,梅厚均. 2006a. 中国新疆北部富碱火成岩及其成矿作用[M]. 北京:地 质出版社:149-206

赵振华,王 强,熊小林,张海祥,牛贺才,许继峰,白正华,乔玉楼. 2006b. 新疆北部的两类埃达克岩[J]. 岩石学报,22(5):1249-1265

Two Types of Granitoid Rocks in the Northern Margin of the Eastern Junggar Area and Their Geological Implications

ZHANG Dong[1], LU Yan-ming[1,2], FAN Jun-jie[1], PAN Ai-jun[1,3], ZHANG Yu-jie[1], CHAO Yin-yin[1,3]

(1. *Gold Geological Institute of CAPF, Langfang, Hebei* 065000; 2. *School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing* 100871; 3. *China University of Geoscience, Beijing* 100083)

Abstract: We have made a comparative study on petro-geochemical characteristics of the granitoid rocks in the northern margin of the East Junggar area. The result shows that two types of granitoids exist in the area, i. e., orogenic calc-alkali granite and alkali-rich granitoid. There are similar magmatic affinities between some calc-alkali granitoids and adakite in northern Xinjiang, while alkali-rich granite exhibits similar rock geochemistry characteristics of alkali granite. These two types of granites occur in the subduction environment evolved from a continental collision orogenic belt and intracontinental post-collision environment, respectively. They coexist in the same orogenic belt evolution system in space. Calc-alkali granite was produced in the island-arc environments and continental post-collision tectonic environments. Alkali-rich granite was the typical product of post-collision deep magmatic activities, indicating the end of collosional orogene movement. Diversity of tectonic environments of calc-alkali granites primarily explained the tectonic environmental differences between Kalaxiangeer with potential of large scale porphyry mineralization and southeast to Laoshankou with IOCG mineralization.

Key words: petro-geochemistry, two types of granitic rock, tectonic environment, post-collision, north margin of East Junggar

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net