第三十一卷 第二期 地 球 学 报 Vol.31 No.2
二〇一〇年四月: 170-182 Acta Geoscientica Sinica Apr. 2010: 170-182
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

东准噶尔卡拉麦里黄羊山花岗岩岩石成因探讨

杨高学[1,2)], 李永军[1,2)], 吴宏恩[3)], 司国辉[2)], 张永智[3)], 金 朝[1,2)]

1)西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西西安 710054;
2)长安大学地球科学与资源学院, 陕西西安 710054;
3)新疆维吾尔族自治区有色地质矿产勘查院, 新疆乌鲁木齐 830000;

摘 要: 黄羊山花岗岩体是卡拉麦里造山带典型的后碰撞花岗岩体, 发育大量闪长质微细粒包体。黄羊山花岗岩具有高硅(72.21%~77.36%)、低铝(9.00%~12.93%)、贫钙镁(CaO: 0.20%~1.21%; MgO: 0.03%~0.44%)、富碱(Na_2O+K_2O: 7.43%~9.02%)以及高分异(*SI*=0.28~3.47, *DI*=76.45~95.99)的特征。强烈富集 LILE 和 HFSE (Zr+ Nb+Ce+Y=260.01 μg/g~797.83 μg/g), Ga 含量高(10000×Ga/Al=3.95~5.69), 属于 A 型花岗岩类。岩石学和岩相学(包体细粒淬冷边, 反向脉, 复合包体以及寄主岩石和包体中斜长石斑晶在形态、成分、光性上的一致性等)、岩石地球化学(Y/Nb=2.77~6.82, La/Nb=0.91~4.33, Ba/Nb=0.13~37.86 等)、Sr 和 Nd 同位素(I_{Sr} 多数在 0.7031~0.7041, $\varepsilon_{Nd}(t)$在 5.2~7.1 之间)以及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年(寄主岩石为 311±12 Ma, 包体为 300±6 Ma)综合研究显示, 黄羊山花岗岩是壳-幔源岩浆混合成因。从晚石炭世到二叠世, 东准噶尔地区进入后碰撞构造演化阶段, 在后碰撞构造阶段, 早期的俯冲板片断离, 软流圈减压熔融, 玄武质岩浆底侵至下地壳底部, 底侵基性岩浆带来的巨大热量, 导致地壳物质熔融, 形成大规模的花岗质岩浆, 两种岩浆发生了不同程度的混合, 其中闪长质微细粒包体就是基性的幔源岩浆和酸性的壳源岩浆不同程度混合的产物。

关键词: 壳-幔混合成因; A 型花岗岩; 闪长质微细粒包体; 黄羊山岩体; 卡拉麦里; 东准噶尔
中图分类号: P581; P584 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2010)02-170-13

A Tentative Discussion on the Genesis of Huangyangshan Granite Body in Kalamaili Orogen, East Junggar

YANG Gao-xue[1,2)], LI Yong-jun[1,2)], WU Hong-en[3)], SI Guo-hui[2)], ZHANG Yong-zhi[3)], JIN Zhao[1,2)]

1) *Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering*, *Ministry of Education*, *Xi'an*, *Shaanxi* 710054; 2) *Earth Science and Resources College*, *Chang'an University*, *Xi'an*, *Shaanxi* 710054;
3) *Xinjiang Institute of Geological Exploration for Nonferrous Resources*, *Urumqi*, *Xinjiang* 830000

Abstract: The Huangyangshan pluton is a typical post-collision pluton in Kalamaili orogen of East Junggar, with many dioritic microgranular enclaves distributed in it. It is characterized by high Si (72.21%~77.36%), low Al (9.00%~12.93%), poor Ca and Mg (CaO 0.20%~1.21%, MgO 0.03%~0.44%), rich alkali (Na_2O+K_2O 7.43%~9.02%), high extent of differentiation (*SI*=0.28~3.47, *DI*=76.45~95.99), strong enrichment of LILE and HFSE (Zr+Nb+Ce+Y=260.01μg/g~797.83μg/g), and relatively high Ga content (10000×Ga/Al=3.95~5.69), indicating an A type granite. The lithologic and petrologic characteristics (such as the fine-grained cold-quenching ring of the enclave, the reverse vein, the complex enclaves, the consistency of plagioclase phenocrysts from both host rocks and enclaves in crystal form, composition and optic character), the petrogeochemical data (Y/Nb=2.77~6.82, La/Nb=0.91~4.33, Ba/Nb=0.13~37.86), the Sr and Nd isotope data (most I_{Sr} range from 0.7031 to 0.7041, εNd(t)=5.2~7.1) and the LA-ICP-MS zircon U-Pb dating (the age of the host rock is 311±12 Ma, and that of the enclaves is 300±6 Ma) all suggest that the Huangyangshan pluton is of the crust-mantle hybrid genesis. From Late Carboniferous to Permian, Junggar region entered into the post-collision tectonic evolution stage, during which the

本文由新疆青河、奇台县红柳沟-苏吉泉一带 1∶5 万区域地质矿产调查(编号∶QD200508)项目资助。
收稿日期: 2009-12-23; 改回日期: 2010-03-04。
第一作者简介: 杨高学, 男, 1980 年生。博士研究生。构造地质学专业。通讯地址: 710054, 西安市雁塔南路 126 号, 长安大学。E-mail: mllygx@126.com。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

early subduction slabs were ruptured and separated, the asthenosphere was decompressed and melted, the basalt magma experienced underplating due to the underplating of the basaltic magma, the low crust was melted by the high temperature and formed acid crust-magma, and the mixing between the basic magma from the mantle and the acid magma from the crust took place and formed the Huangyangshan magma-mixed pluton. The dioritic micro-granular enclaves thus serve as the recorder of the crust-mantle magmatic mixing process.

Key words: crust-mantle hybrid genesis; A type granite; diorite microgranular enclave; Huangyangshan intrusion; Kalamaili; East Junggar

东准噶尔是巨型中亚造山带的一部分, 也是中亚-兴蒙巨型构造成矿域的重要组成部分, 构造上位于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块的结合部位, 是一个构造背景复杂、岩浆活动强烈的地区。在古生代形成了多岛洋的局面, 多岛洋在发展进程中, 经历了早古生代与晚古生代两大构造旋回作用, 多次开合, 每次开合都形成一套沟-弧-盆体系(陈哲夫, 2004; 梁云海等, 2004)。在这种构造背景下, 广泛发育晚石炭世双峰式火山沉积岩系、富碱中酸性侵入岩, 以及早二叠世含铜镍矿的幔源基性超基性杂岩、酸性深成岩和基性火山岩(李锦轶, 2004)。前人对区内花岗岩有较多的研究(忻建刚等, 1995; 刘家远等, 1996, 1997a, 1997b; 喻亨祥等, 1998; 赵东林等, 2000; 苏玉平等, 2006; 林锦富等, 2007; 唐红峰等, 2007), 积累了丰富的岩石地球化学、同位素和年代学方面资料, 并提出了地壳岩石部分熔融、幔源岩浆高度分异等不同成岩模型, 但对黄羊山花岗岩体的研究较薄弱, 归纳起来, 主要有以下两个不足: ①缺乏系统的地球化学和同位素年代学研究; ②前人较重视萨北岩体和苏吉泉岩体研究, 但其两者仅为黄羊山岩体的一部分, 缺少对黄羊山岩体系统研究。本文在"新疆青河、奇台县红柳沟—苏吉泉一带 1∶5 万区域地质矿产调查项目"基础上, 对黄羊山岩体进行系统的地球化学和同位素年代学(另文讨论)研究的同时, 探讨该岩体岩石成因模式。

1　地质概况及岩体特征

卡拉麦里造山带位于新疆北部, 由西伯利亚板块和塔里木板块碰撞缝合形成, 是中亚构造框架一个非常重要的构造单元。一条北西向延伸的蛇绿混杂岩带沿卡拉麦里深大断裂断续分布, 其形成时代为早泥盆世(李锦轶等, 1990, 1995)。区内出露的地层以下石炭统黑山头组中酸性、中基性火山碎屑岩和凝灰岩以及下石炭统姜巴斯套组凝灰质粉砂岩、火山碎屑岩为主, 卡拉麦里深大断裂西南部零星分布少量泥盆纪卡拉麦里组陆源碎屑岩。花岗岩类岩浆活动在该区大规模发育, 构成与卡拉麦里断裂走向一致并受断裂控制的花岗岩带, 岩石类型包括花岗闪长岩、黑云母碱长花岗岩、角闪石碱长花岗岩、钠铁闪石碱长花岗岩和花岗斑岩等, 出露总面积约 1100 km^2, 由不同期次、大小不等的岩体组成, 它们多为岩基状发育(少数呈岩枝状), 具有高硅、富碱和高度分异的特点, 同位素年龄介于 248~338 Ma 之间(喻亨祥等, 1998)。

黄羊山岩体就位于卡拉麦里深大断裂带的东北侧(图 1), 岩体中心坐标为东经 90°20′00″, 北纬 45°07′00″。岩体地表形态似圆形, 出露面积约 230 km^2。侵入于石炭系黑山头组凝灰质粉砂岩中, 岩体与围岩呈突变接触。岩体由碱性寄主岩石和基性端元的暗色微细粒闪长质包体群及基性岩墙群构成。碱性寄主岩由中粒黑云母碱长花岗岩、中粒角闪石碱长花岗岩、中粒钠铁闪石碱长花岗岩、中细粒钠铁闪石碱长花岗岩、细粒黑云母碱长花岗岩和细粒混合花岗岩(含石墨)组成, 均为脉动接触关系, 而与区内东南部出露的斜长花岗岩呈超动接触关系, 暗色微细粒闪长质包体集群发育在中粒角闪碱长花岗岩边部。 另外, 岩体内部发育大量花岗斑岩脉、闪长(玢)岩脉以及少量辉绿(玢)岩脉, 总体走向为北东东向, 与卡拉麦里断裂呈锐角关系。

2　寄主岩及包体岩石学特征

2.1　寄主岩

寄主岩样品在 Q-A-P 图(图略)中全部落入碱长花岗岩区, 根据暗色矿物以及粒度不同, 可进一步识别出 6 种岩性, 而主要岩石类型有中粒黑云母碱长花岗岩、中粒角闪石碱长花岗岩和中粒钠铁闪石碱长花岗岩和中细粒钠铁闪石碱长花岗岩。它们的共性是具有中(细)粒花岗结构, 局部发育文象结构, 块状构造, 主要造岩矿物为钾长石、石英, 副矿物以磷灰石、钛铁矿、磁铁矿、萤石和锆石为主, 含微量榍石和褐帘石, X 射线粉晶测定钾长石结构状态, 表明其三斜率($\Delta\chi$131)和有序度(δ>0.67)均较高(喻亨祥等, 1998); 不同的是暗色矿物种类, 黑云母: 半自形, 片状, 片径为 0.5~1.0 mm, 褐色, 多色性明显, 是富 Fe 和 Li, 而贫 Mg 的铁叶云母或铁质黑云母(田慧新等, 1990); 闪石: 包括钠闪石、钠铁闪石

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

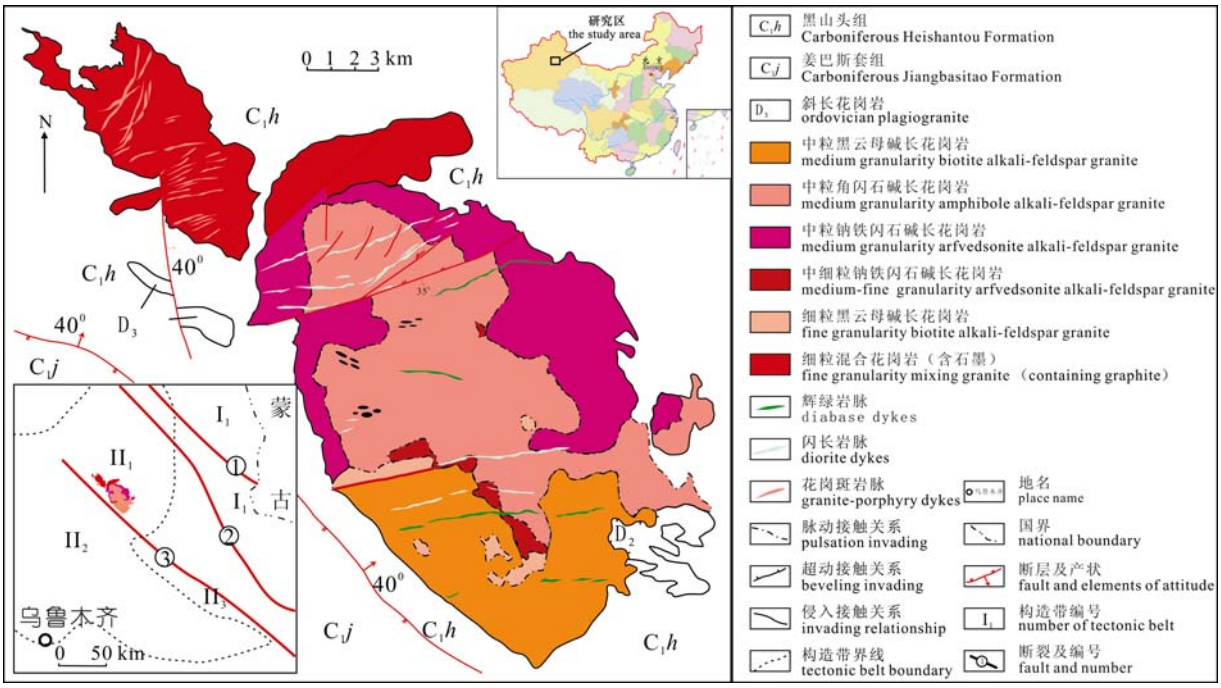


图 1 卡拉麦里地区黄羊山岩体地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of Huangyangshan pluton in Kalamaili area

I_1-阿尔泰构造带; I_2-阿尔曼太构造带; II_1-卡拉麦里构造带; II_2-准噶尔盆地; II_3-将军庙构造带;
①-额尔齐斯断裂; ②-阿尔曼太断裂; ③-卡拉麦里断裂

I_1-altay tectonic belt; I_2-aermantai tectonic belt; II_1-kalamaili tectonic belt; II_2-junggar basin; II_3-jiangjunmiao tectonic belt;
①-eerqisi fault; ②-aermantai fault; ③-kalamaili fault

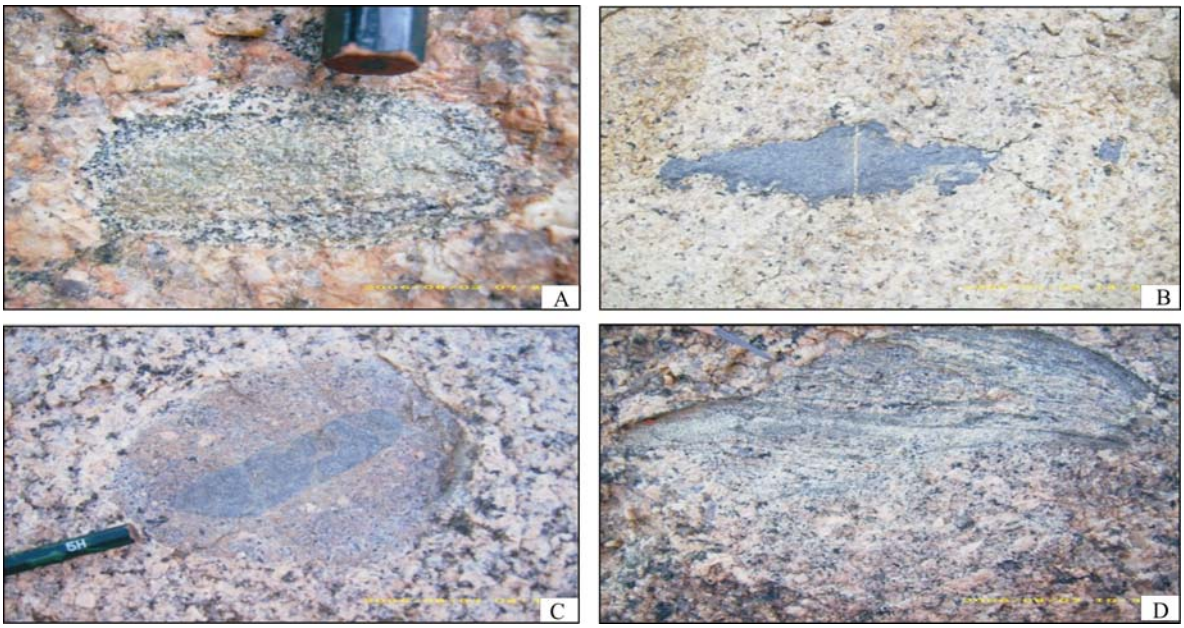


图 2 卡拉麦里地区黄羊山岩体中闪长质包体图

Fig. 2 Photograph of diorite microgranular enclaves in Huangyangshan pluton of Kalamaili area, eastern Junggar

A- 暗色的细粒淬冷边 dark side of the fine-grained quench; B- 具塑性形变特征的火焰状包体 plastic deformation characteristics of a flame-shaped enclave; C- 复合包体 compound enclaves; D- 暗色包体的取代残骸和阴影条带 dark enclaves in the wreckage and shadow of the replacement stripe

和角闪石，呈自形-半自形，长柱状-棒状，粒度 0.5~1.5 mm，深蓝色-黑色，多色性明显，分布于钾长石与石英的间隙中，它们是碱性花岗岩中典型的造岩矿物，碱长花岗岩中出现角闪石类矿物是反映其为幔源成因碱性系列岩石的一个标志(王中刚等，2006)；霓辉石：它形粒状，粒径为 0.05~0.2 mm，黄

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

绿-草绿色，多色性明显，具辉石式解理，多和碱性闪石、条纹长石连生，霓辉石一般出现在开放体系结晶的碱性花岗岩中(许荣华等，1990；廖忠礼等，2006)。另外，在黑云母碱长花岗岩中锆石柱体以{100}较发育为主，过渡到钠铁闪石碱长花岗岩中以{110}发育为主，晶形也逐渐较由 S5 和 S10 型向 L、G 和 A 型转变(刘显凡等，1990)，表明岩浆结晶温度降低。

2.2　闪长质包体

包体颜色为深灰色至灰黑色，形状大多为椭球状、纺锤状、卵圆状、浑圆状、放射状及不规则形态。大小变化范围很大，一般长径约 10~20 cm，其中最大的包体，长 1.5 m，宽 1.0 m，地表高 1.0 m，小的仅 1~2 cm，甚至有更小的如豆状和乳滴状。包体有时成群或呈串珠状，包体的分布往往有定向性，其长轴排列方向一般与钾长石斑晶排列方向一致。暗色包体在寄主花岗岩中的分布很不均匀，在黄羊山岩体中部较多并且较大，向四周逐渐减少并消失。

暗色包体与寄主花岗岩的界线在宏观上通常截然突变，有时呈弥散状(付建明等，2006)。暗色的细粒淬冷边十分常见(图 2A)，有时在包体周围形成一个浅色的酸性晕或一圈钾长石斑晶的富集带。有时见到具塑性形变特征的火焰状包体(图 2B)。暗色包体中细小的反向脉多见不鲜，一般宽 0.5~1.0 cm，其成分为花岗质，细粒结构为主。复合包体或双包体比较常见，即在深灰色的暗色包体内部，往往还包裹有一个灰黑色的包体内核(图 2C)。有时暗色包体的外缘颜色稍浅，并含有钾长石斑晶；有时可见暗色包体的取代残骸和阴影条带(图 2D)。

包体主要由斜长石、钾长石、石英、辉石、角闪石和黑云母等组成，见暗色矿物定向排列及“拖尾”等流线性形态，以半自形细粒结构为主，常见细粒斑状结构和中粒结构，块状构造。斑晶主要为斜长石(5%~10%)、钾长石(5%~10%)、角闪石(1%~5%)和石英(1%)，常呈浑圆状，这些斑晶在寄主花岗岩石中都有对应的矿物，而且二者在形态、成分、光性上都具一致性，有时在包体与寄主岩的接触界面上常见斑晶横跨两侧，有的长石棱角圆化，表明它们并非原地结晶形成的，而是来自寄主花岗岩浆的斑晶形成的捕虏晶，斜长石的异常环带结构发育，具更长石环边的钾长石巨晶。基质为斜长石(45%~70%)、角闪石(5%~10%)、石英(1%~10%)和黑云母(1%~5%)的等粒集合体，包体核心区几乎没有石英存在，斜长石颗粒自形程度好，粒度较大，具有强烈的绢云母化，角闪石和黑云母具有刀刃状和锯齿状的边缘，呈小颗粒分布于长英质矿物之间，此外，微细粒角闪石的港湾状边缘常为黑云母充填，这些可能都是岩浆混合熔蚀造成的。另外，包体中针状磷灰石、钛铁矿和磁铁矿含量高于寄主岩。

3　地球化学特征

3.1　测试方法

主量元素由宜昌地质矿产研究所在 2007 年用 X 射线荧光光谱(XRF)方法分析完成，经检查分析的 $H2O^+$和 $H2O^-$(包括烧失量)均小于 2.5%，氧化物总量介于 99.75%~100.25%，精度符合标准。微量元素、稀土元素在宜昌地质矿产研究所采用 ICP-MS 法分析，符合 DZ-0130-94 标准。

3.2　主量元素

对黄羊山岩浆混合花岗岩的四个主岩性以及包体进行岩石化学研究，样品的岩石化学分析结果及有关参数列于表 1。从表 1 可以看出，寄主花岗岩化学成分比较均匀，SiO_2 含量在 72.21%~77.36%，随着 SiO_2 含量逐渐增加，TiO_2、Fe_2O_3、MnO 和 P_2O_5 有上升趋势，Al_2O_3、FeO、MgO 和 CaO 明显下降，而 Na_2O 和 K_2O 基本稳定。*A/CNK*=0.83~0.99，*NK/A*=0.91~1.12，*AR*=4.11~9.48，属于准铝质范围；FeOt/MgO=7.85~95.02(平均为 27.90)，均高于分异的 S 型和 I 型花岗岩；*SI*=0.28~3.47，*DI*=76.45~95.99，表明岩浆分异演化较彻底；*FL*=87.73~97.40，*MF*=89.00~98.94，表明岩浆分离结晶作用程度较高；在 CIPW 标准矿物计算中，Q=26.77~57.93，Or=18.41~28.23，Ab 和 An 在中粒黑云母以及中粒角闪石碱长花岗岩个别样品中出现，普遍出现 Ac、Ns 和 Hy 而不出现 C，总体上具有高硅、低铝、贫钙镁、富碱的特征。

包体化学成分变化较大，SiO_2 含量为 62.43%~70.62%，个别样品高硅可能是寄主岩石同化混染造成的，随着 SiO_2 含量逐渐增加，TiO_2、Fe_2O_3、MnO、MgO 和 CaO 明显下降，Al_2O_3、P_2O_5、Na_2O 和 K_2O 基本稳定。*A/CNK*=0.71~0.87，*NK/A*=0.90~0.97，*AR* 均为 3.40，属于准铝质范围；FeOt/MgO=3.15~4.80(平均为 3.98)，与分异的 S 型和 I 型花岗岩的接近；*SI*=6.24~9.75，*DI*=80.03~88.70，表明岩浆分异演化程度不及寄主花岗岩；*FL*=73.72~81.75，*MF*=76.35~82.99，表明岩浆分离结晶作用程度较低；在 CIPW 标准矿物计算中，Q=2.77~21.72，Or=17.18~23.30，Ab=46.20~52.67，An=1.29~3.60，普遍出现 Hy，而不出现 Ac、Ns 和 C，总体上具有低硅、高铝、富钙镁、贫碱的特征。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　新疆东准噶尔卡拉麦里地区黄羊山岩体岩石化学数据(wt%)及相关参数

Table 1　Petrochemical data (wt%) and related parameters of Huangyangshan pluton in Kalamaili area, eastern Junggar

序号	单元	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失	总量	碱值	*AR*	*ACNK*	*NK/A*	*DI*	*SI*	*FL*	*MF*	来源
1	中粒黑云母碱长花岗岩	76.94	0.43	9.60	1.88	0.56	0.13	0.11	0.69	3.52	3.91	0.20	1.53	97.97	0.77	5.33	0.85	1.04	80.37	1.10	91.50	95.69	苏玉平等, 2006
2		75.75	0.57	10.86	1.93	0.60	0.14	0.14	0.77	3.54	4.40	0.27	1.01	98.97	0.73	4.11	0.91	0.97	94.54	1.32	91.16	94.76	
3		76.63	0.43	10.33	1.67	0.60	0.10	0.11	0.74	3.61	4.13	0.23	1.28	98.58	0.75	4.75	0.88	1.01	80.15	1.09	91.27	95.38	
4		76.46	0.51	10.48	1.58	0.81	0.12	0.11	0.71	3.43	4.14	0.23	0.97	98.58	0.72	4.17	0.91	0.97	94.78	1.09	91.43	95.60	
5	中粒角闪石碱长花岗岩	75.28	0.16	11.98	0.79	1.72	0.02	0.10	0.55	4.16	4.75	0.02	0.20	99.73	0.74	5.92	0.92	1.00	78.59	0.87	94.19	96.17	本文
6		73.67	0.22	12.50	0.88	2.40	0.04	0.29	0.79	4.14	4.55	0.03	0.13	99.65	0.70	4.78	0.95	0.94	91.32	2.40	91.65	91.77	
7		72.21	0.31	12.93	0.96	2.59	0.05	0.44	1.21	4.19	4.46	0.06	0.23	99.63	0.67	4.15	0.93	0.91	88.92	3.47	87.73	89.00	
8	中粒钠铁闪石碱长花岗岩	76.24	0.10	11.59	1.24	1.49	0.03	0.04	0.29	4.37	4.39	0.00	0.01	99.78	0.76	6.62	0.93	1.03	78.4	0.32	96.81	98.66	本文
9		76.02	0.09	11.32	2.29	0.79	0.02	0.03	0.41	4.71	4.05	0.00	0.11	99.82	0.77	6.91	0.88	1.07	76.45	0.28	95.57	98.94	
10		75.60	0.13	11.95	0.70	1.81	0.03	0.07	0.41	4.28	4.72	0.01	0.01	99.71	0.75	6.36	0.93	1.02	78.78	0.59	95.66	97.37	
11		75.51	0.16	11.80	0.79	1.85	0.03	0.09	0.45	4.29	4.73	0.02	0.01	99.72	0.76	6.59	0.91	1.03	78.53	0.74	95.30	96.80	
12	中细粒钠铁碱长花岗岩	76.98	0.48	9.74	0.83	0.95	0.16	0.11	0.40	3.58	3.98	0.20	1.96	99.37	0.78	6.86	0.89	1.04	82.10	1.16	94.97	94.18	唐红峰等, 2007
13		77.36	0.53	9.00	1.81	1.05	0.18	0.11	0.38	3.46	4.13	0.21	1.54	99.76	0.84	9.48	0.83	1.12	81.09	1.04	95.23	96.30	
14		76.68	0.53	9.27	1.61	0.71	0.16	0.11	0.47	3.07	4.48	0.28	2.17	99.54	0.81	7.89	0.86	1.03	82.77	1.10	94.14	95.47	
15		76.77	0.51	10.86	1.87	0.70	0.18	0.15	0.20	4.41	3.08	0.22	0.85	99.80	0.69	5.20	0.99	0.98	95.99	1.47	97.40	94.49	
16	闪长质包体	70.62	0.35	13.40	0.57	3.43	0.07	0.82	1.86	5.44	2.89	0.07	0.08	99.60	0.62	3.40	0.87	0.90	88.70	6.24	81.75	82.99	本文
17		62.43	0.72	14.85	1.25	4.14	0.10	1.67	3.59	6.17	3.90	0.18	0.51	99.51	0.68	3.40	0.71	0.97	80.03	9.75	73.72	76.35	

序号	单元	Q	Or	Ab	An	Lc	Ne	C	Ac	Ns	Di wo	Di en	Di fs	Hy en	Hy fs	Ol fo	Ol fa	Mt(FF)	He(F)	Il(FT)	Ap(CP)	total	来源
1	中粒黑云母碱长花岗岩	56.76	23.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.54	5.61	0.83	0.28	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.45	94.47	苏玉平等, 2006
2		38.01	26.30	30.23	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	1.44	1.09	0.60	99.89	
3		55.37	24.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.89	5.91	0.84	0.28	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.51	94.00	
4		40.53	24.84	29.41	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55	0.54	0.98	0.51	99.91	
5	中粒角闪石碱长花岗岩	50.37	28.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.29	7.62	1.10	0.10	1.12	0.16	1.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.04	93.14	本文
6		29.12	27.05	35.16	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.14	0.63	0.59	2.77	0.00	0.00	1.28	0.00	0.42	0.07	100.00	
7		26.77	26.54	35.62	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.25	0.81	0.85	2.75	0.00	0.00	1.40	0.00	0.59	0.13	100.00	
8	中粒钠铁闪石碱长花岗岩	52.36	26.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.59	7.67	0.60	0.02	0.65	0.08	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	93.16	本文
9		52.42	24.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.63	7.54	0.85	0.05	0.90	0.02	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	93.06	
10		50.77	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03	7.91	0.83	0.05	0.88	0.13	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.02	93.15	
11		50.46	28.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.29	7.86	0.89	0.07	0.92	0.16	2.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.04	93.31	
12	中细粒钠铁碱长花岗岩	57.93	24.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.46	6.58	0.35	0.07	0.31	0.21	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.45	94.44	唐红峰等, 2007
13		56.22	24.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.32	5.53	0.28	0.05	0.25	0.23	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.47	95.40	
14		55.56	27.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.77	4.94	0.30	0.08	0.22	0.20	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.63	95.47	
15		39.19	18.41	37.67	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.10	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	1.38	0.94	0.98	0.00	99.78	
16	闪长质包体	21.72	17.18	46.20	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	0.63	1.66	1.43	3.73	0.00	0.00	0.83	0.00	0.67	0.15	100.00	本文
17		2.77	23.30	52.67	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.53	2.80	3.73	1.41	1.88	0.00	0.00	1.83	0.00	1.38	0.40	100.00	

注：碱值 =(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3(wt%)；碱度率 AR=(Al_2O_3+CaO+(Na_2O+K_2O))/(Al_2O_3+CaO-(Na_2O+K_2O))(wt%)；铝饱和指数 A/CNK=Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)(分子比)；NK/A=(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3(wt%)；氧化指数 *OX*= FeO/(FeO+Fe_2O_3)(wt%)；分异指数 *DI*=Q+Or+Ab+Ne+Lc+Kp(CIPW 计算数据)；固结指数 *SI*=100×MgO/(MgO+Fe_2O_3+FeO+Na_2O+K_2O)(wt%)；长英指数 *FL*=100(Na_2O+K_2O)/(Na_2O+K_2O +CaO)(wt%)；镁铁指数 *MF*=100×(Fe_2O_3 + FeO)/(Fe_2O_3+ FeO+MgO)(wt%)。样品由宜昌地质研究所岩矿测试室用 ICP 原子光谱等方法分析，质量符合 DZ-0130-94 标准

表 2　新疆东准噶尔卡拉麦里地区黄羊山岩体微量元素含量(μg/g)及相关参数

Table 2　Trace element content (μg/g) and related parameters of Huangyangshan pluton in Kalamaili area, eastern Junggar

序号	单元	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	Ga	Ni	Cr	Hf	Sc	Ta	Sn	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ	L/H	δEu	Nb/Ta	La/Ce	Ni/Cr	(La/Yb)N	(La/Sm)N	(Gd/Yb)N	来源
1	中粒黑云母碱长花岗岩	17.3	292	4.06	93.8	153	18.5	20.0	25.1	23.8	52.0	8.33	3.81	1.72	10.3	27	64.9	8.13	34.4	9.13	0.03	11.5	1.99	13.2	3	9.04	1.44	9.64	1.42	289	0.99	0.01	10.8	0.42	0.46	1.89	1.86	0.96	苏玉平等，2006
2		287	103	35.2	51.7	238	7.58	9.9	21.1	12.2	30.7	8.03	5.38	0.76	3.24	32.8	72.3	8.79	36.0	8.13	0.2	8.73	1.39	8.82	1.91	5.61	0.85	5.61	0.82	244	1.85	0.07	10.0	0.45	0.40	3.94	2.54	1.26	
3		15.1	222	4.02	56.9	167	13.0	11.2	22.0	8.6	20.4	8.31	2.84	2.26	8.13	18.3	38.2	6.08	25.8	7.01	0.02	8.49	1.46	9.47	2.05	5.91	0.91	6.22	0.92	188	1.03	0.01	5.8	0.48	0.42	1.98	1.64	1.10	
4		26.8	210	7.9	61.7	152	12.0	19.1	20.6	15.3	33.6	7.49	1.59	1.2	18.9	19.3	46.6	6.57	28.5	7.95	0.04	9.73	1.63	10.2	2.21	6.32	0.94	5.94	0.86	208	1.09	0.01	10.0	0.41	0.46	2.19	1.53	1.32	
5	中粒角闪石碱长花岗岩	118	110	24.4	44.8	229	9.26	8.83	23.8	23.6	23.4	8.10	2.00	0.89	4.90	37.2	77.8	10.6	40.3	8.58	0.24	8.44	1.52	8.00	1.64	4.84	0.88	5.89	0.89	252	2.27	0.09	10.4	0.48	1.01	4.26	2.73	1.16	本文
6		230	118	61.8	48.0	290	10.8	8.66	24.7	4.94	36.1	9.71	3.12	0.89	7.00	34.2	73.4	10.2	39.2	8.72	0.42	8.26	1.61	8.76	1.79	5.12	0.90	5.93	0.88	247	2.04	0.15	12.1	0.47	0.14	3.89	2.47	1.12	
7		323	111	98.8	46.0	298	10.4	8.81	24.6	6.48	26.5	9.26	4.60	1.05	5.40	33.8	73.9	10.1	38.8	8.57	0.59	8.21	1.57	8.43	1.70	4.90	0.86	5.52	0.82	244	2.12	0.21	9.9	0.46	0.24	4.13	2.48	1.20	
8	中粒钠铁闪石碱长花岗岩	5.57	242	3.91	94.2	306	17.6	19.2	28.1	1.86	16.7	13.5	0.71	1.52	28.0	33.3	71.4	10.8	42.2	11.8	0.03	11.2	2.63	16.1	3.40	9.79	1.82	11.6	1.64	322	1.11	0.01	11.6	0.47	0.11	1.94	1.78	0.78	本文
9		3.94	189	9.53	39.1	405	14.1	9.68	30.3	3.34	23.4	12.1	0.54	1.49	7.40	12.8	31.0	4.39	16.2	3.73	0.03	3.79	0.88	5.97	1.42	4.74	1.07	7.78	1.22	134	1.03	0.02	9.5	0.41	0.14	1.11	2.16	0.39	
10		86.8	137	17.0	78.3	458	15.5	13.0	26.4	3.35	9.20	14.3	1.40	1.82	8.00	50.2	109	14.8	57.8	13.6	0.21	13.0	2.70	15.0	3.06	8.57	1.51	9.38	1.28	378	1.85	0.05	8.5	0.46	0.36	3.61	2.32	1.12	
11		103	125	17.4	71.2	568	15.2	11.1	23.9	2.29	8.52	14.2	1.50	1.77	7.00	50.4	104	15.0	57.8	13.2	0.25	13.0	2.53	13.6	2.74	7.80	1.35	8.93	1.30	363	1.97	0.06	8.6	0.48	0.27	3.81	2.40	1.17	
12	中细粒钠铁闪石碱长花岗岩	3.0	210	2.7	68	543	19.3	17.6	20.2		15.7	16.6	1.42	1.70	11.5	26.8	68	7.59	31.2	8.45	0.02	10.2	1.77	11.2	2.42	7.02	1.06	6.91	0.97	252	1.29	0.01	11.4	0.39	0.00	2.61	2.00	1.19	唐红峰等，2007
13		2.9	228	3.3	107	570	23.1	22.4	24.7		15.2	18.1	1.66	2.09	10.9	34.5	81.6	10.5	44.7	12.8	0.03	17	2.86	18.2	4.02	11.6	1.71	10.9	1.54	359	1.05	0.01	11.1	0.42	0.00	2.13	1.70	1.26	
14		11.6	192	7.1	58	330	16.1	15.3	22.7		20.3	12.0	2.41	1.37	11.2	31	68.7	9.15	38.3	9.73	0.04	10.8	1.7	10.3	2.23	6.54	0.99	6.88	1.04	256	1.59	0.01	11.8	0.45	0.00	3.04	2.00	1.27	
15		75.1	168	13.4	109	655	23.4	18.2	29.0		18.6	19.2	2.76	2.03	15.2	28.4	62	8.54	36.3	10.5	0.13	14.9	2.65	17.3	3.92	11.3	1.68	10.8	1.57	319	0.84	0.03	11.5	0.46	0.00	1.77	1.70	1.11	
16	闪长质包体	187	50.0	121	56.4	307	12.2	4.70	24.9	7.21	21.9	8.74	7.08	1.17	4.00	26.7	59.6	9.04	37.9	10.0	0.60	9.07	1.92	10.9	2.18	6.06	1.05	6.72	0.95	239	1.51	0.19	10.4	0.45	0.33	2.68	1.68	1.09	本文
17		392	108	208	53.4	156	9.65	6.50	21.0	11.3	26.5	5.24	14.0	1.49	11.5	23.2	50.6	7.34	30.4	7.58	1.08	7.20	1.55	8.85	1.83	5.04	0.84	5.14	0.72	205	1.42	0.44	6.5	0.46	0.43	3.04	1.93	1.13	

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.3 微量元素

微量元素含量列于表 2。从表 2 可以看出，寄主岩石均强烈富集大离子亲石元素(LILE)和高场强元素(HFSE)，较高的 Ga 含量(10000×Ga/Al=3.95~5.69，平均值为 4.67)，明显高于 I 型和 S 型花岗岩的平均值(分别为 2.1 和 2.28)(Whalen 等，1987)，并且有相当高的 HFSE 含量(Zr+Nb+Ce+Y=260.01 μg/g~797.83 μg/g，平均值为 520.82 μg/g)，使我们有理由把这些岩石归入 A 型花岗岩类的范畴，而包体中富集程度明显不及寄主岩石(10000×Ga/Al=2.93~3.85，平均值为 3.39，Zr+Nb+Ce+Y=113.65 μg/g~284.20 μg/g，平均值为 198.93 μg/g)。

寄主岩石 ΣREE 较高(134 μg/g~378 μg/g)，ΣREE 大多在 250 μg/g 左右，是本区与金、铜成矿关系密切的钙碱性花岗岩类(ΣREE=52.73 μg/g~132.58 μg/g)的 2~3 倍(喻亨祥等，2000)，相对富集轻稀土(LREE/HREE=0.84~2.27，$(La/Yb)_N$=1.11~4.26)，Eu 强烈亏损(δEu=0.01~0.21)，轻重稀土分馏程度均不明显($(La/Sm)_N$=1.53~2.73，$(Gd/Yb)_N$=0.39~1.32)。Y/Nb=2.77~6.82，La/Nb=0.91~4.33，Ba/Nb=0.13~ 37.86，反映了幔源物质成分的存在。相对而言，包体中 ΣREE 较低(205 μg/g~239 μg/g)，轻稀土富集不及寄主岩(LREE/HREE=1.42~1.51，$(La/Yb)_N$=2.68~3.04)，Eu 亏损较弱(δEu=0.19~0.44)，轻重稀土分馏程度均不明显($(La/Sm)_N$=1.68~1.93，$(Gd/Yb)_N$=1.09~1.13)。Y/Nb=4.62~5.53，La/Nb=2.19~2.40，Ba/Nb=15.33~40.62，和寄主岩石一样反映了幔源物质成分特点。

在不相容元素的原始地幔标准化的蛛网图(图 3a)上清晰可见，与原始地幔相比，寄主岩石和包体所有不相容元素均有不同程度的富集，尤其是图中左列不相容程度较高的大部分元素。在不相容元素总体明显富集的背景上，出现明显的 Ba、Sr、P、Ti 槽谷，而 Rb、Th、K、REE、Zr、Hf 则出现不同程度的峰。与相邻元素 Th、K 和 La、Ce 相比，几乎所有样品都出现一定程度的 Nb、Ta 亏损。在球粒陨石标准化稀土分布模式图(图 3b)上，可见稀土分布模式的类型(斜率)相近，总体为右倾“海鸥式”。

4 岩石成因探讨

4.1 岩浆混合的岩相学特征

暗色包体与寄主花岗岩的界线在宏观上以截然突变多见，有时呈弥散状，暗色的细粒淬冷边十分常见，表明包体不是同源岩浆内包体，也不是残留体。岩体内部暗色微粒包体极其发育，以闪长质为主，具岩浆成因的细粒半自形粒状结构，块状构造。包体由岩浆混合作用形成已经得到了众多学者的认同(Didier，1987；Barbarin，1988；Allen，1991；Barbarin and Didier，1992；Elburg，1996；Silva 等，2000)：在两端元混合过程中，处于过冷状态的基性镁铁质浆泡侵入到偏酸性的花岗闪长岩浆中，早期结晶的矿物如斜长石发生交代而形成钾长石的交代边，由于淬冷结晶出发育在斜长石中的与寄主岩石完全不同的针-柱状磷灰石(Barbarin，1988；Barbarin and Didier，1992)，针状磷灰石是快速冷却的标志性矿物，说明形成闪长质微粒包体的基性岩浆较寄主酸性岩浆有较大温度差，结晶过程中有快速的放热作用。接触过渡边缘区寄主岩石中见斜长石斑晶内部具自形的环带，其外缘发育多层它形生长边，表明斜长石有多次生长，斜长石中发育异常环带结构表明了结晶环境的动荡变化。包体中存在相对大颗粒的角闪石表明在混合作用发生之前，一些镁铁质矿物已

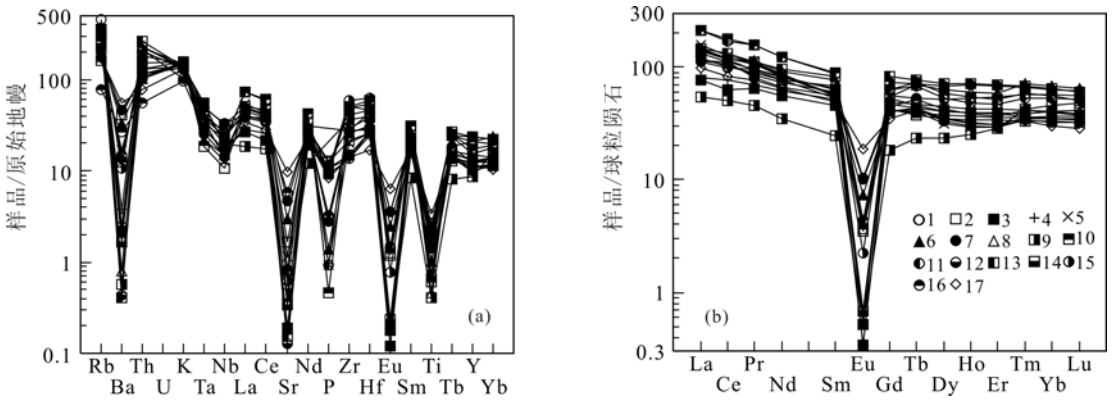


图 3 寄主岩和暗色包体的不相容元素的原始地幔标准化蛛网图(a)及球粒陨石标准化稀土分布模式(b)

Fig. 3 Primitive mantle-normalized spidergrams (a) of incompatible elements and chondrite-normalized REE patterns (b) of dioritic enclaves and Huangyangshan pluton

原始地幔标准化值和球粒陨石标准化据文献[Sun and McDough, 1989]

Standardized value of primitive mantle and chondrite from Sun and McDough, 1989

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

经开始结晶(Zorpi, 1989)，而长英质矿物则是在混合作用后期，当包体残余岩浆和花岗闪长质岩浆结晶速率相同时形成的(Vernon, 1991)。此外，混合过程中，在未达到部分平衡状态之前，基性岩浆和花岗闪长质岩浆由于化学扩散发生成分上的相互交换，从而使包体受到花岗闪长质岩浆的改造和同化。可能正是由于这样的成岩过程，才导致了黄羊山寄主岩及其包体化学成分和矿物组成上趋于一致。

4.2　岩浆混合的地球化学证据

在寄主岩石和包体的氧化物对 SiO_2 的哈克图(图略)中，该岩体表现出关系，TiO_2、Al_2O_3、FeOT、MgO 和 CaO 与 SiO_2 呈现负良好的线性相关，Na_2O+K_2O 不明显，在 Na_2O/CaO-Al_2O_3/CaO，Na_2O/CaO-SiO_2/CaO，SiO_2/MgO-Al_2O_3/MgO，CaO/MnO-MgO/MnO 同分母氧化物比值相关图(图 4)上也构成良好的线形关系，反映了寄主花岗岩和包体可能为混合作用的演化趋势，因为在分离结晶作用过程中，由于受固相矿物晶出的影响，其演化线多为曲线而不是直线；在 FeOT-MgO 图解(图 5)上，成分均落在了混合趋势线上，反映他们曾经发生过化学混合；在指示物源很灵敏的 K-Rb 关系(图 6)中可以清楚看到岩浆来自两个不同的源区；在 Sr-Rb/Sr 图(图 7)中，包体构成了一条近水平的演化曲线，而酸性侵入岩则构成了向右陡倾的斜线，二者具有明显不同的岩浆演化形迹，反映出这些岩石具有不同的岩浆来源及演化历程；在 Y/Nb-Yb/Ta(图 8)二元图解中，样品均落在 IAB 与 A_2 分界处，表明其源区非 OIB 和 MORB 的地幔源(亏损地幔)区，而是亲 IAB 的地幔源区，在物质起源上与岛弧玄武岩(IAB)具亲缘性。

在微量元素蛛网图(图 3b)中，较为相似的曲线特征表明形成包体和酸性的寄主岩石岩浆演化经历了 AFC 过程，从而使闪长质包体和主岩显示出某些地球化学特征上的相似性。相对于包体，中酸性岩较明显地亏损 Nb、Ta、P、Ti，主要归因于 P、Ti 等矿物的分离结晶作用，还表明岩浆为地壳来源或曾受到地壳物质的强烈混染。在球粒陨石标准化稀土分布模式图上，稀土分布模式的类型相近，但是寄主岩石重稀土部分与包体的稀土曲线有一定的交叉，反映两者可能来自不同岩浆源区。

4.3　岩浆混合的同位素佐证

对黄羊山花岗岩中取得的最新研究数据有：林锦富等(2007)测得东准噶尔萨北富碱花岗岩(属于黄羊山花岗岩中细粒钠铁闪石碱长花岗岩)SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 313±2 Ma；唐红峰等(2007)测得萨北碱性 A 型花岗岩(与前者一致)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 306±3 Ma 和萨惹什克锡矿石(中细粒钠铁闪石碱长花岗岩中的锡矿石)辉钼矿 Re-Os 同位素年龄

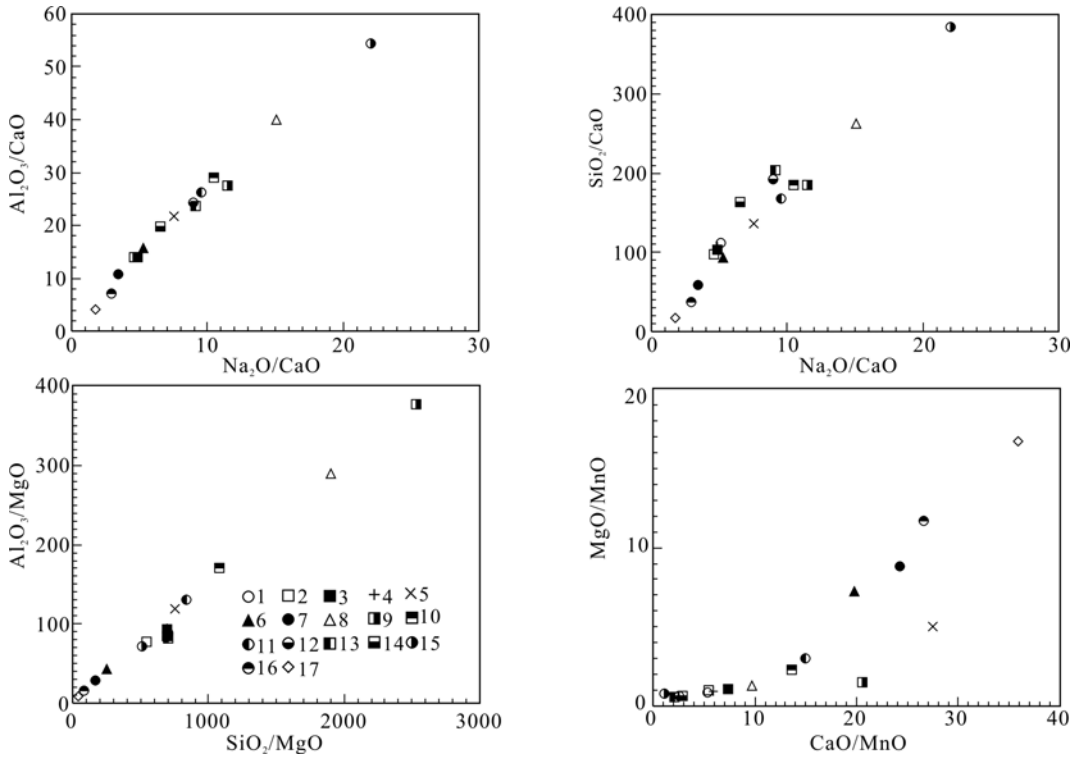


图 **4**　黄羊山花岗岩和包体同分母氧化物比值相关图解(其中序号和表 **1** 及图 **3** 中一致，下图同)

Fig. 4　Diagram showing predominant oxide ratios of Huangyangshan pluton and dioritic enclaves

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

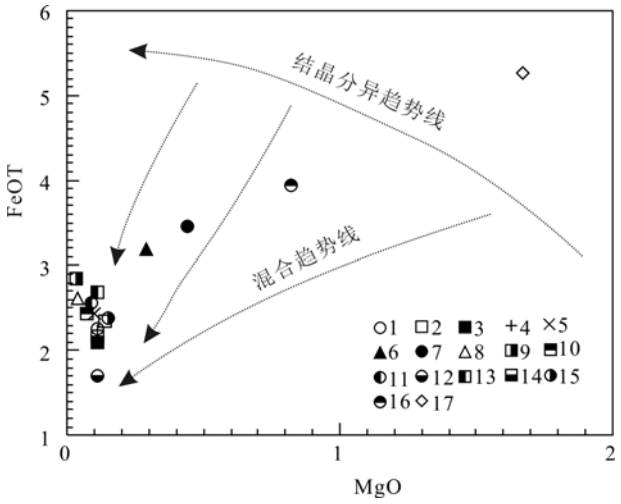


图 5 寄主岩和包体 FeOT-MgO 图解
Fig. 5 FeOT-MgO diagram of host rock and enclaves

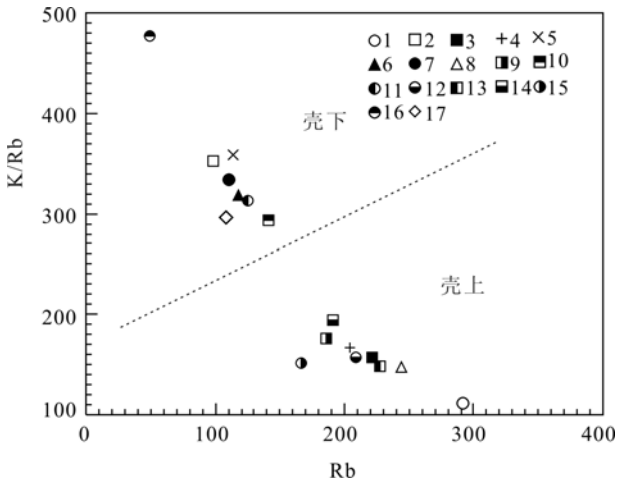


图 6 寄主岩和包体 K/Rb-Rb 关系图解
Fig. 6 K/Rb -Rb diagram of host rock and enclaves

307±11 Ma; 苏玉平等(2006)测得卡拉麦里地区苏吉泉铝质 A 型花岗岩(中粒黑云母碱长花岗岩) $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 304±2 Ma, 黄羊山岩体(中粒角闪石碱长花岗岩)单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 300Ma~305 Ma; 笔者中粒钠铁闪石碱长花岗岩及包体进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 获得寄主岩石和包体的年龄分别为 311±12 Ma, 300±6 Ma(杨高学等, 2009a), 寄主岩石以及包体的年龄在误差范围内完全一致, 并且和前人研究的三个主岩性年龄一致。寄主花岗岩和包体锆石 U-Pb 年龄的一致性, 排除了暗色包体是来源于深部固体变质岩石熔融残留体或浅部围岩捕虏体的可能性, 因为不论是花岗质岩浆的源岩还是围岩捕虏体, 其形成年龄均应早于花岗岩浆的形成年龄, 同时, 也排除了基性岩浆在花岗质岩浆固结后才侵入的可能(曲晓明等, 2002; 姜耀辉等, 2000)。

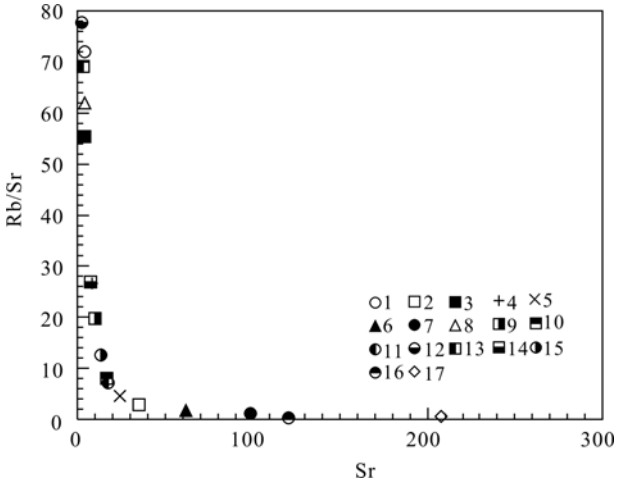


图 7 寄主岩和包体 Sr-Rb/Sr 图解
Fig. 7 Sr-Rb/Sr diagram of host rock and enclave

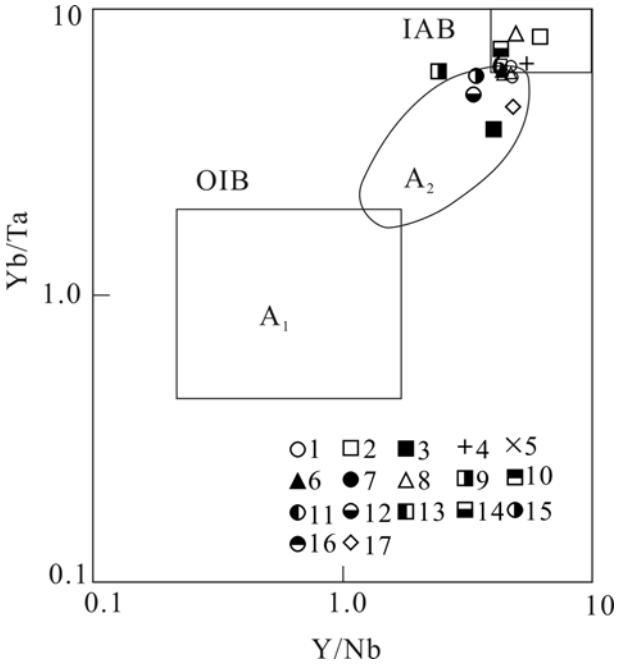


图 8 寄主岩和包体 Y/Nb-Yb/Ta 图解
Fig. 8 Y/Nb-Yb/Ta diagram of host rock and enclaves

另外, 中粒黑云母碱长花岗岩中的 $\varepsilon_{Nd}(t)$为 5.9~6.3, 表明其源区应以亏损地幔或以由亏损地幔而来的年轻地壳为主(苏玉平等, 2006), 中细粒钠铁闪石碱长花岗岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$在 5.2~7.1 之间, I_{Sr} 多数在 0.7031~0.7041 之间(林锦富等, 2007), 显示下地壳低 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值特征(0.702~0.705(杨学明等, 2000)), 或与亏损地幔有过物质交换, 产于中粒黑云母碱长花岗岩东侧的斜长花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$=9.47(唐红峰等, 2007), 卡拉麦里蛇绿岩的$\varepsilon_{Nd}(t)$为 7.2~9.8(刘希军等, 2007), 其值明显比黑云母花岗岩高。低 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值和高正 $\varepsilon_{Nd}(t)$为壳幔混合提供了有力的佐证(邱瑞照等, 2003; 刘成东等, 2003)。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4.4 岩浆混合模式

近年来国内外大量研究工作(周金城, 徐夕生, 1992; 周新民等, 1992; 张宏飞等, 1994; Han 等, 1997; 吴福元等, 1997; Hong 等, 1998; 王涛, 1998; 李昌年, 1999; 李武显等, 1999; 徐夕生等, 1999)表明: 对于花岗质岩石中常见的暗色微细粒包体来说, 岩浆混合理论是最重要和最有说服力的一种成因模式, 黄羊山岩体中广泛分布的暗色包体为这一认识提供了大量信息。

在早古生代, 准噶尔地区发生了俯冲、碰撞和增生等过程(何国琦等, 1994; Windley 等, 2002; Xiao 等, 2004), 从晚石炭世到二叠纪, 准噶尔地区进入后碰撞构造演化阶段(韩宝福等, 1998, 1999), 在后碰撞构造阶段, 早期的俯冲板片断离, 软流圈减压熔融, 玄武质岩浆底侵至下地壳底部, 底侵基性岩浆带来的巨大热量, 导致地壳物质熔融, 形成大规模的花岗质岩浆, 两种岩浆发生不同程度的混合。高温(约 1000℃或更高)低黏性的玄武质岩浆与低温(700~800℃)高黏性的花岗质岩浆混合时, 玄武质岩浆很快吸收并消化少量花岗岩的组分使玄武岩自身成分迅速发生变化, 变为玄武-安山质或安山质成分的岩浆, 岩浆成分向着闪长岩成分转变时, 由于闪长质岩浆固结的温度比玄武质岩浆低, 因此, 闪长质岩浆将很快固结, 形成淬冷却的结构(微粒包体), 当包体随温度下降而固结时, 花岗质岩浆由于结晶的温度低, 仍然可能处于熔融的塑性状态, 仍然具有流动性。但是, 这时的花岗质岩浆已经不可能与已经固结的闪长质的微粒包体发生物质交换作用(王涛, 2000; 杜杨松等, 2003; 李宗怀等, 2004a, 2004b; 于津海等, 2005; 朱金初等, 2006; 杨高学等, 2009b)。由于岩浆可能一直在运动, 而且是以不同的速度在运动(例如, 靠近岩浆房或岩浆通道边部的岩浆运移的速度较慢, 靠近岩浆的内部运移的速度较快), 可以将原先比较大的玄武质岩浆撕裂成小的块体, 构成野外常见的形态各异的暗色微粒包体群。

5 结论

(1) 黄羊山花岗岩总体上具有高硅、低铝、贫钙镁、富碱的特征, 强烈富集 LILE 和 HFSE (Zr+Nb+Ce+Y=260.01 μg/g~797.83 μg/g), Ga 含量高(10000×Ga/Al=3.95~5.69), 属于 A 型花岗岩类。

(2) 通过岩石学和岩相学, 岩石地球化学, Sr 和 Nd 同位素以及同位素年龄综合研究认为黄羊山花岗岩属于壳-幔源岩浆混合成因。

(3) 从晚石炭世到二叠纪, 东准噶尔地区进入后碰撞构造演化阶段, 在后碰撞构造阶段, 早期的俯冲板片断离, 软流圈减压熔融, 玄武质岩浆底侵至下地壳底部, 底侵基性岩浆带来的巨大热量, 导致地壳物质熔融, 形成大规模的花岗质岩浆, 两种岩浆在壳-幔边界附近发生不同程度的混合。其中闪长质微细粒包体就是基性幔源岩浆和酸性壳源岩浆不同程度混合的产物。

致谢: 野外工作得到了新疆有色地质勘查院的大力支持; 导师李永军给了极大的帮助; 匿名审稿人提出了宝贵的意见, 在此表示真诚的感谢。

参考文献:

陈哲夫. 2004. 新疆开合构造与成矿特征的有关问题[J]. 地质通报, 23(3): 214-221.

杜杨松, 车勤建, 秦新龙, 楼亚儿. 2003. 花岗质岩石中岩石包体研究的新进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 22(4): 334-339.

付建明, 谢才富, 彭松柏, 杨晓君, 梅玉萍. 2006. 湖南骑田岭花岗岩及其暗色微粒包体的地球化学与壳幔岩浆的混合作用[J]. 地球学报, 27(6): 557-569.

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

韩宝福, 何国琦, 王式洸. 1999. 后碰撞岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质[J]. 中国科学(D 辑), 29(1): 16-21.

何国琦, 李茂松, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1994.中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 香港: 香港文化教育出版社, 1-437.

姜耀辉, 芮行健, 郭坤一, 贺菊瑞. 2000. 西昆仑造山带花岗岩形成的构造环境[J]. 地球学报, 21(1): 23-25.

李昌年. 1999. 赣东北前寒武纪岩浆混合作用岩带的发现及其地质意义[J]. 地学前缘, 6(4): 331-337.

李锦轶, 肖序常, 汤耀庆, 赵民, 朱宝清, 冯益民. 1990. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. 地质论评, 36(4): 305-316.

李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. 岩石学报, 11(增刊): 73-84.

李锦轶. 2004. 新疆东准噶尔新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. 地质论评, 50(3):304-322.

李武显, 董传石, 周新民. 1999. 平漂和漳州深成杂岩中斜长石捕虏晶与岩浆混合作用[J]. 岩石学报, 15(2): 286-290.

李宗怀, 韩宝福, 李辛子, 杜蔚, 杨斌. 2004a. 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.

李宗怀, 韩宝福, 宋彪. 2004b. 新疆东准噶尔二台北花岗岩体和包体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 20(5): 1263-1270.

梁云海, 李文铅, 李卫东. 2004. 新疆准噶尔造山带多旋回开合构造特征[J]. 地质通报, 23(3): 279-285.

廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 赵志丹, 江新胜. 2006. 西藏过铝花岗岩副矿物特征及岩石成因意义[J]. 地球学报, 27(2): 115-122.

林锦富, 喻亨祥, 余心起, 狄永军, 田建涛. 2007. 新疆东准噶尔萨北富碱花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J].

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

岩石学报, 23(8): 1876-1884.
刘成东, 莫宣学, 罗照华, 喻学惠, 谌宏伟, 李述为, 赵欣. 2003. 东昆仑造山带花岗岩类 Pb-Sr-Nd-O 同位素特征[J]. 地球学报, 24(6): 584-588.
刘家远, 袁奎荣. 1996. 新疆东准噶尔富碱花岗岩类及成矿作用[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1-140.
刘家远, 袁奎荣, 吴郭泉. 1997a. 新疆卡拉麦里富碱花岗岩带组成[J]. 桂林工学院学报, 11(1): 18-25.
刘家远, 喻亨祥, 吴郭泉. 1997b. 新疆北部卡拉麦里富碱花岗岩带的碱性花岗岩与锡矿[J]. 有色金属矿产与勘查, 6(3): 129-135.
刘显凡, 卢秋霞. 1990. 新疆东准噶尔锡矿成矿带锆石形态标型特征与含矿性关系及成因意义[J]. 新疆地质科学, 北京:地质出版社, 第 2 辑: 114-127.
刘希军, 许继峰, 侯青叶, 白正华, 雷敏. 2007. 新疆东准噶尔克拉麦里蛇绿岩地球化学: 洋脊俯冲的产物[J]. 岩石学报, 23(7): 1591-1602.
邱瑞照, 邓晋福, 周肃, 肖庆辉, 蔡志勇, 刘翠. 2003. 青藏高原中新生代花岗岩 Sr、Nd 同位素研究[J].地球学报, 24(6): 611-617.
曲晓明, 侯增谦, 周书贵, 唐绍华. 2002. 川西连龙含锡花岗岩的时代与形成构造环境[J]. 地球学报, 23(3): 223-228.
苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 侯广顺, 梁莉莉. 2006. 新疆东准噶尔苏吉泉铝质 A 型花岗岩的确立及其初步研究[J]. 岩石矿物学杂志, 25(3): 175-184.
唐红峰, 屈文俊, 苏玉平, 侯广顺, 杜安道, 丛峰. 2007. 新疆萨惹什克锡矿与萨北碱性 A 型花岗岩成因关系的年代学制约[J]. 岩石学报, 23(8): l989-l897.
田慧新, 刘显凡, 徐德章. 1990. 新疆东准噶尔(西域)含锡花岗岩特征及黑云母对含矿性的判别作用[J]. 新疆地质科学, 北京: 地质出版社, 第 2 辑: 56-70.
王涛. 1998. 秦岭造山带核部花岗岩体形成、改造作用及构造动力学[D]. 西安: 西北大学, 85-92.
王涛. 2000.花岗岩混合成因研究及大陆动力学意义[J]. 岩石学报, 16(2): 161-168.
王中刚, 朱笑青, 毕化, 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, 93-100.
吴福元, 江博明, 林强. 1997. 中国北方造山带造山后花岗岩的同位素特点与地壳生长意义[J]. 科学通报, 42: 2188-2192.
忻建刚, 袁奎荣, 刘家远. 1995. 东准噶尔北部碱性花岗岩的特征、成因及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 19(3): 214-226.
许荣华, HARRIS N, LEWIS C. 1990. 拉萨至格尔木的同位素地球化学[M]//中英青藏高原综合地质考察队, 青藏高原地质演化.北京：科学出版社. 282-302.
徐夕生, 周新民, S Y O'RREILLY, 唐红峰. 1999. 中国东南部下地壳物质与花岗岩成因探索[J].岩石学报, 15(2): 217-223.
杨学明, 杨晓勇, 陈双喜. 2000. 岩石地球化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 86-190.
杨高学, 李永军, 吴宏恩, 司国辉, 金朝, 张永智. 2009a. 东准噶尔卡拉麦里地区黄羊山花岗岩和包体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及地质意义[J]. 岩石学报, 25(12): 3197-3207.
杨高学, 闫存兴, 李永军, 金朝, 吴宏恩, 司国辉, 夏昭德. 2009b. 东准噶尔库布苏南岩体中闪长质包体特征及地质意义[J]. 地质科技情报, 28(1): 38-44.
喻亨祥, 吴郭泉, 刘家远. 1998. 新疆东准噶尔地区两类花岗岩与两个成矿系列[J]. 大地构造与成矿学, 22(2): 119-127.
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.
于津海, 周新民, 赵蕾, 蒋少涌, 王丽娟, 凌洪飞. 2005. 壳幔作用导致武平花岗岩形成—Sr-Nd-Hf-U-Pb 同位素证据[J]. 岩石学报, 21(3): 651-664.
张宏飞, 骆庭川, 张本仁. 1994. 北秦岭灰池子花岗岩基成岩来源探讨[J]. 矿物岩石, 14(1): 67-73.
赵东林, 杨家喜, 胡能高, 许安东. 2000. 新疆东准噶尔老鸦泉含锡花岗岩体同位素年代学特征[J]. 西安工程学院学报, 22(2): 15-17.
周金城, 徐夕生. 1992. 微花岗岩类包体与岩浆的扩散作用和熔离作用[J]. 地质论评, 38(3): 197-208.
周新民, 姚玉鹏, 徐夕生. 1992. 浙东大巨山花岗岩中淬冷包体及其成因机制[J]. 岩石学报, 8(3): 234-242.
朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 2006. 桂东北里松花岗岩中暗色包体的岩浆混合成因[J]. 地球化学, 35(5): 506-516.

References:

ALLEN C M. 1991. Local equilibrium of mafic enclaves and granitoids of the Turtle pluton, southeast Califonia, Mineral, chemical and isotopic evidence[J]. Am. Mineral., 76: 574-488.
BARBARIN B. 1988. Field evidence for succesive mixing and mingling between the Piloard Diorite and the Saint-Julien-La-Vetre Monzogranite(Nord-Forez, Massif Central, France)[J]. Can. J. Earth, Sci., 25: 49-59.
BARBARIN B, DIDIER J. 1992. Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various type of interactions between coexisting felsic and mafic magmas[J]. Trans. R.Soc. Edinburgh, Earth Sci., 83: 145-153.
CHEN Zhe-fu. 2004. Problems relating to opening-closing tectonics and metallogenesis in Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 23(3): 214-221(in Chinese with English abstract).
DIDIER J. 1987.Contribution of enclaves studies to the understanding of origin and evolution of granitic magmas[J]. Geol.Rundsch., 76(1): 41-50.
DU Yang-song, CHE Qin-jian, QIN Xin-long, LOU Ya-er. 2003. A review of progresses in research of xenoliths in granitoids[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 22(4): 334-339(in Chinese with English abstract).
ELBURG M A. 1996. Evidence of isotopic equilibration between microgranitoid enclaves and host granodiorite, Warburton Granodiorite, Lachlan Fold Beh. Australia[J]. Lithos. 38: 1-22.
FU Jian-ming, XIE Cai-fu, PENG Song-bai, YANG Xiao-jun, MEI Yu-ping. 2006. Geochemistry and crust-mantle magmatic mixing of the Qitianling granites and their dark microgranular enclaves in Hunan province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 27(6): 557-569(in Chinese with English abstract).
HAN Bao-fu, WANG Shi-guang, JAHN Bor-ming, HONG Da-wei, KAGAMI H., SUN Yuan-lin. 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: geochemistry and Nb-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth[J]. Geochemical Geology, 138: 135-159.
HAN Bao-fu, HE Guo-qi, WANG Shi-guang, HONG Da-wei. 1998.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

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. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar Basin[J]. Science in China(Set. D), 29(1): 16-21(in Chinese).

HE Guo-qi, LI Mao-sun, LIU De-quan, TANG Yang-lin, ZHOU Rui-hong. 1994. Paleozoic crust evolution and oreforming in Xinjiang, China[M]. Hongkong: Hongkong Education and Culture House, 1-437(in chinese) .

HONG Da-wei, WANG Shi-guang, JAHN Bor-ming. 1998. Genesis of positive Nd granitoids in northern Xinjiang and middle Inner-Mongolia and implication for continental growth[J]. In: JAHN Bor-ming and HONG Da-wei (eds.). 1998, IGCP-420 First Workshop Abstract.

JIANG Yao-hui, RUI Xing-jian, GUO KUN-yi, HE Ju-rui. 2000. Tectonic environments of granitoids in the West Kunlun Orogenic Belt[J]. Acta Geoscientica Sinica, 21(1): 23-25(in Chinese with English abstract).

LI Chang-Nian. 1999. Discovery for Precambrian magmatic mixed zone from Northeast Jiangxi province and their geological significance[J]. Earth Sciene Fronties, 6(4): 331-337(in Chinese with English abstract).

LI Jin-yi, XIAO Xu-chang, TANG Yao-qing, ZHAO Min, ZHU Bao-qing, FENG Yi-min. 1990. Main characteristics of late paleozoic plate tectonics in the southern part of east Junggar, Xinjiang[J]. Geological Review, 36(4): 305-316(in Chinese with English abstract).

LI Jin-yi. 1995. Main characteristics and emplacement processes of the east Junggar ophiolites, Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 11(supp1.): 73-84(in Chinese with English abstract).

LI Jin-yi. 2004. Late neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China[J]. Geological Review, 50(3): 304-322(in Chinese with English abstract).

LI Wu-xian, DONG Chuan-shi and ZHOU Xin-min. 1999. Plagioclas xenocryst and magma mingling in Pingtan and Zhangzhou complexes[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(2): 286-290(in Chinese with English abstract).

LI Zong-hui, HAN Bao-fu, LI Xin-zi, DU Wei, YANG Bin. 2004a. 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).

LI Zong-hui, HAN Bao-fu, Song Biao. 2004b. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Ertaibei granodiorite and its enclaves from eastern Junggar, Xinjiang, and geological implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(5): 1263-1270(in Chinese with English abstract).

LIANG Yun-hei, LI Wen-qian, LI Wei-dong. 2004. Characteristics of polycyclic opening-closing tectonics in the Junggar orogenic belt, Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 23(3): 279-285(in Chinese with English abstract).

LIAO Zhong-li, MO Xuan-xue, PAN Gui-tang, ZHU Di-cheng, WANG Li-quan, ZHAO Zhi-dan, JIANG Xin-sheng. 2006. Characteristics of the accessory minerals from the peraluminous granites in Tibet and their implications[J] Acta Geoscientica Sinica 27(2): 115-122(in Chinese with English abstract).

LIN Jin-fu, YU Heng-xiang, YU Xin-qi, DI Yong-jun, TIAN Jian-tao. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geological implication of the Sabei alkali-rich granite from Eastern Junggar of Xinjiang, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1876-1884(in Chinese with English abstract).

LIU Cheng-dong, MO Xuan-xue, LUO Zhao-hua, YU Xue-hui, CHEN Hong-wei, LI Shuwei, ZHAO Xin. 2003. Pb-Sr-Nd-O isotope characteristics of granitoids in East Kunlun Orogenic Belt[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(6): 584-588(in Chinese with English abstract).

LIU Jia-yuan, YUAN Kui-rong. 1996. Alkali granites and deposits of the East Junggar area, Xinjiang[M]. Chang sha: South central Industry University Press, 1-140(in Chinese with English abstract).

LIU Jia-yuan, YUAN Kui-rong, WU Guo-quan. 1997a. The composition of the Kalamaili high-alkaline granite belt, Xinjiang[J]. Journal of Guilin institute of technology, 11(1): 18-25(in Chinese with English abstract).

LIU Jia-yuan, YU Heng-xiang, WU Guo-quan. 1997b. Alkali granites and tin deposits of the Kalamali area, northern Xinjiang[J]. Geological Exploration For Non-Ferrous Metals, 6(3): 129-135(in Chinese with English abstract).

LIU Xian-fan, LU Qiu-xia. 1990. Genetic relationship between the zircon typology and tin mineralization in the ore belt of east Junggar, Xinjiang, China[J]. Geoscience of Xinjiang, No.2, Beijing: Geological Publishing House, 114-127(in Chinese).

LIU Xi-jun, XU Ji-feng, HOU Qing-ye, BAI Zheng-hua, LEI Min. 2007. Geochemical characteristics of Karamaili ophiolite in east Junggar, Xingjiang: products of ridge subduction[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(7): 1591-1602.

QIU Rui-zhao, DENG Jin-fu, ZHOU Su, XIAO Qing-hui, CAI Zhi-yong, LIU Cui. 2003. Sr-Nd isotope studies of mesozoic-cenozoic granites in Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(6): 611-617(in Chinese with English abstract).

QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, ZHOU Shu-gui, TANG Shao-hua. 2002. The age and tectonic setting of Lianlong Sn-bearing granite in western Sichuan province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 23(3): 223-228(in Chinese with English abstract).

SILVA M M V G, NEIVA A M R, WHITEHOUSE M J. 2000. Geochemistry of enclaves and host granites from the Nelas area, central Portugal[J]. Lithos, 50: 153-170.

SU Yu-ping, TANG Hong-feng, LIU Cong-qiang, HOU Guang-shun, LIANG Li-li. 2006. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang[J]. Acta Petrologica et Minerailogica, 25(3): 175-184(in Chinese with English abstract).

SUN S S and MCDOUGH W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process[J]. In: Sauders A D and Norry M J(eds).

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society. Special Publication, 42: 3l3-345.

TANG Hong-feng, QU Wen-jun, SU Yu-ping, HOU Guang-shun, DU An-dao, CONG Feng. 2007. Genetic connection of Sareshike tin deposit with the alkaline A-type granites of Sabei body in Xinjiang: constraint from isotopic ages[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1989-1997(in Chinese with English abstract).

TIAN Hui-xin, LIU Xian-fan, XU De-zhang. 1990. Characteristics of tin-bearing granites in the west area of east Junggar and application of biotite in discrimination of ore-potentiality[J]. Geoscience of Xinjiang, No.2, Beijing: Geological Publishing House, 56-70(in Chinese).

VERNON R H. 1991.Interpretation of microstruture of microgranitoid enclaves[J]. In: J. Didier and B. Barbarin(eds.1). Enclaves and Granite Petrology.Elsevier, Amsterdam, 277-292.

WANG Tao. 1998. Formation and reworking of the granitoid pluton in the core of the Qinling orogenic belt and the implications for the tectonic dynamics[D]. Northwest University, PhD dissertation, 85-92 (in Chinese with English abstract).

WANG Tao. 2000. Origin of hybrid granitoids and the implications for continental dynamics[J]. Acta Petrologica Sinica, 16(2): 161-168(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, 93-100(in Chinese).

WHALEN J B, CURRIE K L and CHAPPELL B W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, dirimination and petrogenesis[J]. Contrib. Mineral. Petro1., 95: 407-419.

WINDLEY F B, KRONER A, GUO Jing-hui, QU Guo-sheng, LI Ying-yi, ZHANG Chi. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution[J]. J Geol, 110: 719-737.

WU Fu-yuan, JAHN Bor-ming and LIN Qiang. 1997. Isotopic characteristics of the post-orogenic granite in orogenic belt of northeastern China and their implications in crustal growth[J]. China Sci. Bull. 42: 2188-2192 (in Chinese).

XIAO Wen-jiao, WINDLEY B F, BADARCH G, SUN Shu, LI Ji-liang, QIN Ke-zhang, WANG Zhi-hong. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: implications for the growth of Central Asia[J]. J Geol Soc, 161: 339-342.

XIN Jian-gang, YUAN Kui-rong, LIU Jia-yuan. 1995. The alkali granites and their genesis and tectonic significance in the north area of the east Junggar, Xinjiang[J]. Geotectonic et Metallogenia, 19 (3): 214-226(in Chinese with English abstract).

XU Rong-hua, HARRIS N, LEWIS C. 1990. Isotopes geochemistry of the Lasa to Germu[M]. Origin: synthesis geology inspection party about Tibet of the China and Britain, geological evolution of the Tibet. Beijing: Science Publishing House, 282-302(in Chinese).

XU Xi-sheng, ZHOU Xin-ming, O' REILLY S Y, TANG Hong-feng. 1999. Exploration for the lower crustal materials and granite genesis sourtheast China[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(2): 217-223(in Chinese with English abstract).

YANG Xue-ming, YANG Xiao-yong, CHEN Shuang-xi. 2000. Petrochemistry[M]. Hefei: Science and Technology University Press, 86-190(in Chinese).

YANG Gao-xue, LI Yong-jun, WU Hong-en, SI Guo-hui, JIN Zhao, ZHANG Yong-zhi. 2009a. LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating of the Huangyangshan pluton and its enclaves from Kalamaili area Eastern Junggar, Xinjiang, and geological implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(12): 3197-3207(in Chinese with English abstract).

YANG Gao-xue, YAN Cun-xing, LI Yong-jun, JIN Zhao, WU Hong-en, SI Guo-hui, XIA Zhao-de. 2009b. Microgranular dioritic enclaves of Kalamaili area in Junggar Kubusunan granodiorite and geologic significance, Xinjiang[J]. Geological science and technology information 28(1): 38-44(in Chinese with English abstract).

YU Heng-xiang, WU Guo-quan, LIU Jia-yuan. 1998. The two ore-forming metals series closely related to the two granitoid series in eastern Junggar, Xinjiang[J]. Geotectonica et Metallogenia, 22(2): 119-127(in Chinese with English abstract).

YU Heng-xiang, XIA Bin, LIU Jia-yuan, WU Guo-quan. 2000. Collisional orogenesis and granitoids and related metallogenic series from eastern Junggar[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 20(3): 213-219(in Chinese with English abstract).

YU Jin-hai, ZHOU Xin-min, ZHAO Lei, JIANG Shao-yong, WANG Li-juan, LING Hong-fei. 2005. Mantle-crust interaction generating the Wuping granites: evdenced from Sr-Nd-Hf-U-Pb isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 651-664(in Chinese with English abstract).

ZHANG Hong-fei, LUO Ting-chuan and ZHANG Ben-ren. 1994. Discussion on source material of Huichizi granitic batholith from the north Qinling, China[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 14(1): 67-73(in Chinese with English abstract).

ZHAO Dong-lin, YANG Jia-xi, HU Neng-gao, XU An-dong. 2000. Isotopic geochronological characteristics of the Laoyaquan stanniferous granite in eastern Junggar basin in Xinjiang[J]. Journal of Xian engineering university, 22(2): 15-17(in Chinese with English abstract).

ZHOU Jin-cheng and XU Xi-sheng. 1992. Microgranitoid enclaves and related diffusion and liquid immiscibility of magma-evidence from the Cuidong and Shangbao pluton[J]. Geological Review, 38(3): 197-208(in Chinese with English abstract).

ZHOU Xin-min, YAO Yu-peng and XU Xi-sheng. 1992. Quenched enclaves in Dajushan granitoid and their genesis, east Zhejiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 8(3): 234-242(in Chinese with English abstract).

ZHU Jin-chu, ZHANG Pei-hua, XIE Cai-fu, ZHANG Hui, YANG Ce. 2006.Magma mixing origin of the mafic enclaves in Lisong Granite, NE Guangxi, western Nanling Mountains[J]. Geochimica, 35(5): 506-516(in Chinese with English abstract).

ZORPI M J, COULON C, ORSINI J B and COCIRTA C. 1989. Magma mingling, zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons[J]. Tectonophysics, 157: 315-329.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net