

甘肃北山火石山哈尔根头口布花岗岩年代学、地球化学及其地质意义

王立社^{1,2)}, 杨建国²⁾, 谢春林²⁾, 雷永孝²⁾, 王育习²⁾, 曹红霞¹⁾, 杨鹏飞²⁾, 齐亚林³⁾, 金拴联³⁾

1) 西北大学地质系大陆动力学国家重点实验室, 西安, 710069; 2) 西安地质矿产研究所, 西安, 710054; 3) 长庆油田研究院, 西安, 710021

内容提要:首次利用锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法测得甘肃火石山东北部侵位于长城系、蓟县系以及志留系中的哈尔根头口布花岗岩形成于中泥盆世早期(同位素年龄为 387.6 ± 8.2 Ma), 同时发现该花岗岩体内存在晚蓟县世产物(继承性锆石年龄 1172 ± 7 Ma)。哈尔根头口布花岗岩体主要由钾长花岗岩、二长花岗岩、花岗岩组成, 岩石具有高硅(SiO_2 含量为 70.28%~79.4%)、富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为 6.52%~9.11%)、低铝(Al_2O_3 含量为 8.82%~14.05%)、低 Sr(含量为 $40 \sim 150 \times 10^{-6}$, 平均为 101.5×10^{-6})的特征、岩石的 $\delta < 3.3$ 、A/CNK 值为 0.8~1.1, 为钙碱性准铝质到弱过铝质岩石; 稀土元素具有明显的 LREE 富集(LREE/HREE=2.89~16.4, $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 1.82 \sim 25.18$)和 Eu 亏损, 相对富集 Rb、Th、Ce 和 Sm, 而亏损 Ta、Nb、Zr、Hf。综合分析认为该花岗岩为 A 型花岗岩, 产于构造挤压向构造伸展转换的地质背景之中。

关键词: 北山; 哈尔根头口布; 同位素年龄; 地球化学; 花岗岩

位于新疆-甘肃-内蒙古交接处的北山造山带, 属中亚古生代造山带的一部分。近年来的研究表明, 中亚造山带是地球上古生代大陆地壳生长的最重要地带之一, 已经引起了国内外学者们广泛的兴趣, 并成为国际地学界研究的一个热点地区(Coleman, 1989; Jahn et al., 2000; 洪大卫等, 2003)。北山地区位于中亚造山带的中东部, 侵入岩分布广泛, 其中 95% 以上为花岗岩类(聂凤军等, 2002a; 江思宏等, 2006)。花岗岩是大陆地壳的重要组成部分, 是地球特定演化阶段的产物, 其中蕴含了丰富的地学信息, 因此研究花岗岩特别是其形成年龄和地球化学特征具有重要的意义。前人(左国朝等, 1990; 穆治国等, 1992; 左国朝等, 1996; 修群业等, 1999; 李伍平等, 2001; 聂凤军等, 2002b; 戴霜等, 2003a; 江思宏等, 2003; 江思宏等, 2006; 齐瑞荣等, 2006; 杨合群等, 2006, 等等)对该区花岗岩进行了较深入的研究, 积累了丰富的资料, 但是已有的研究多集中在北山南部的红柳圆-帐房山一带附近和北部的红石山-清河口-六驮山一带附近, 花岗岩时代多为加里东期及华里西中晚期。对于北山中部地区的岩浆活动, 特别是岩石成因类型及时代

背景研究较为薄弱(戴霜等, 2003a), 华力西早期花岗岩研究甚少。红柳河-火石山-牛圈子蛇绿混杂岩带是北山造山带中部的重要组成部分, 是划分哈萨克斯坦和塔里木板块的重要缝合带, 该带所代表洋盆的开启、俯冲前人已有深入的研究(左国朝等 1990; 郭召杰等, 1993; 马瑞士等, 1993; 方国庆, 1994; 高俊等, 1994; 汤耀庆等, 1995; 王润三等, 1998; 于福生等, 2000; 任秉琛等, 2001; 董云鹏等, 2005; 郭召杰等, 2006; 王立社等, 2007), 但多集中于西段, 而北山段的构造演化(特别是该区构造环境由碰撞挤压向伸展拉张环境转化)的时间及相应的岩浆活动未见报道。

1 区域地质背景

哈尔根头口布花岗岩位于甘肃省苏北县马鬃山镇西约 60 公里处火石山的东北部(图 1), 在大地构造位置上位于红柳河-火石山-牛圈子蛇绿混杂岩带北侧哈萨克斯坦板块南缘活动陆缘带上。该带由前寒武纪结晶基底和古生代盖层组成, 结晶基底主要由长城系古铜井群(ChG)、蓟县系平头山组(Jxp)组成。古铜井群(ChG)分为上下两段, 下段为黑云石

注: 本文为中国地质调查局战略性矿产远景调查项目(编号 矿调[2004]8-2 号)、中央地质勘查基金 2007 年度地质矿产勘查项目(编号 2007651139)资助的成果。

收稿日期: 2008-05-13; 改回日期: 2008-12-26; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 王立社, 男, 1976 年生。博士研究生, 助理研究员。主要从事地质矿产、构造调查研究工作。电话: 029-87821985; Email: xawlishe@cgs.gov.cn。

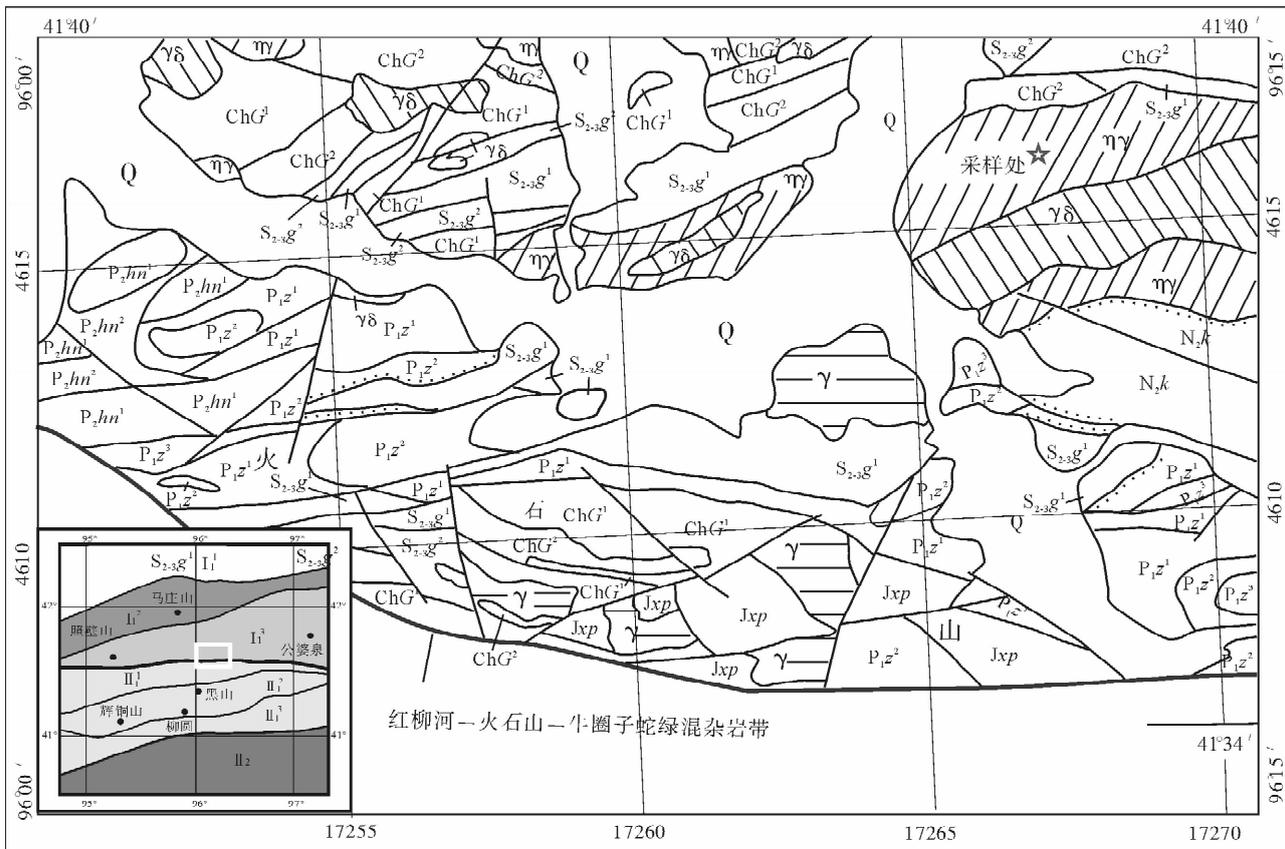


图1 火石山地区构造地质略图及采样位置图

Fig.1 Geological and structural sketch map showing sample locality of Huoshishan area

Q—第四系; N₂k—苦泉组; P₁z¹—哲斯组下段; P₁z²—哲斯组中段; P₁z³—哲斯组上段; P₂hn¹—红岩井组下段; P₂hn²—红岩井组中段; S₂₋₃g¹—公婆泉群下段; S₂₋₃g²—公婆泉群上段; Jxp—平头山组; ChG¹—古铜井群下段; ChG²—古铜井群上段; γ—花岗岩; ηγ—二长花岗岩; γδ—花岗闪长岩; I₁¹—准噶尔地块; I₁²—中天山地块; I₁³—哈萨克斯坦南缘活动陆缘带; II₁¹—营毛沱-牛圈子早古生代裂古带; II₁²—黑山-双鹰山早古生代裂陷带; II₁³—柳园-大齐山晚古生代裂谷带; II₂—阿北-敦煌地块

Q—Quaternary; N₂k—Kuquan formation; P₁z¹—Lower member of Zhesi formation; P₁z²—Middle member of Zhesi formation; P₁z³—Upper member of Zhesi formation; P₂hn¹—Lower member of Hongyanjing formation; P₂hn²—Middle member of Hongyanjing formation; S₂₋₃g¹—Lower member of Gongpoquan group; S₂₋₃g²—Upper member of Gongpoquan group; Jxp—Pingtoushan formation; ChG¹—Lower member of Gudongjing group; ChG²—Upper member of Gudongjing group; γ—Granite; ηγ—monzogranite; γδ—granodiorite; I₁¹—Junger plate; I₁²—Medium Tianshan massif; I₁³—Kazakhstan active continental margins; II₁¹—Early Paleozoic Yingmaotuo-Niujuanzi rift zone; II₁²—Early Paleozoic Heishan-Shuangyingshan aulacogen; II₁³—Late Paleozoic Liuyuan-Daqishan rift zone; II₂—Abei-Dunhuang massif

英片岩、绢云石英片岩、白云石大理岩夹薄层状磁铁石英岩, 上段为绢云绿泥石英片岩夹薄层大理岩、石英岩; 平头山组(Jxp)为青灰色、灰白色薄层状砂质白云质微晶灰岩夹磁铁矿透镜体。古生代盖层主要是志留系公婆泉群(S₂₋₃g)、二叠系哲斯组(P₁z)、红岩井组(P₂hn)。公婆泉群(S₂₋₃g)上段为杂色长石英砂岩、钙质砂岩、含凝灰质砂岩、糜棱岩化砂砾岩, 下段为灰绿色玄武岩、安山岩、安山质玄武岩、碧玉岩; 二叠系哲斯组(P₁z)主要为砾岩、细砾岩、钙质粗砂岩、粉砂岩及灰岩; 红岩井组(P₂hn)主要为砾岩、硅质生物碎屑灰岩、硬砂岩、炭质页岩和硅

质岩等。此外区内还发育有新生界, 主要为杂砾岩、细砂岩、细砾粉砂岩等陆相沉积物。区内岩体发育, 以古生代早期二长花岗岩、钾长花岗岩、花岗岩为主, 古生代晚期(二叠纪后)以侵入的花岗岩、花岗闪长岩、钾长花岗岩为主, 基性岩脉为次。区内断裂构造发育, 主要为近东西向左行走滑断裂, 此外还发育一系列北倾的低角度逆冲推覆断层(表现在前二叠系推覆于二叠系之上)和近南北向右行走滑断层。因此地层间也多以断层接触。该区褶皱并不多见, 仅在二叠系灰岩中见紧闭褶皱、鞘褶皱、肠状褶皱。

2 岩体地质及岩相学

哈尔根头口布花岗岩宏观上呈长舌状、点状东西向侵入于长城系古铜井群、蕲县系平头山组、志留系公婆泉群中,公婆泉群是岩体侵入的最新地层,局部见二叠系呈断层或平行不整合与其接触,新近系苦泉组平行不整合覆盖其上。岩石主要有二长花岗岩、钾长花岗岩、花岗岩等。年龄采样处(经纬度坐标为 $X=96^{\circ}12.37'$; $Y=41^{\circ}38.95'$; $H=2115\text{m}$)及周围呈剥蚀残丘状,基岩露头较广,但风化剥蚀极强(大部分已成砂屑状)。小冲沟中露头较新鲜,岩性为灰红色二长花岗岩。花岗岩为块状构造,压碎结构-变余花岗岩结构;主要矿物钾长石(条纹长石、微斜长石),占 $30\% \sim 45\%$ 、酸性斜长石占 $25\% \sim 35\%$ 、石英约占 $25\% \sim 30\%$ 、白云石 $<3\%$ 、一些样品中含少量白云母(7号样,11号样)或黑云母(6号样,8号样),副矿物有少量磁铁矿、榍石、锆石、金红石等;岩石遭受了构造挤压作用,被压成碎裂状,局部可见糜棱岩化,显微镜下见弯曲的长石双晶、波状消光的石英,岩石有轻微的绢云母化和绿泥石化。本区后期花岗岩类,以岩石新鲜、花岗结构清楚,且无明显糜棱岩化或碎裂岩化而与之区别。

3 同位素定年

测年样品重约 35kg,先在实验室利用颚式机和一次对辊机、二次对辊机破碎后,筛分出 32 目下的矿物通过洗泥、摇床分选及手工精淘,选出精矿烘干,再通过磁选和重液选,最后有针对性的挑选出锆石。锆石主要为淡黄色,少量黄褐色,浅烟灰色,晶

形以双锥柱状、锥状为主,短柱状次之,锆石透明度高,玻璃光泽,见极少量细小暗色矿物包体,晶面光滑、平整,晶体轮廓清晰,个别见横向裂纹。锆石的粒径一般在 $0.2 \times 0.006\text{mm} \sim 0.3 \times 0.1\text{mm}$ 左右,晶体长宽比值在 $4:1 \sim 3:1$ 。

在双目镜下选择晶形好且无明显包裹体及裂隙的锆石作为测定对象,用 DEVCON 环氧树脂将分选出的锆石固定,待环氧树脂充分固化后,仔细抛光至锆石露出核部,对其进行锆石显微(反射光和透射光)照相、CL 显微成像研究及 LA-ICP-MS 分析。

锆石的 CL 图像分析是在北京大学物理学院扫描电镜室采用 Gantan 公司 MONOCL3 仪器完成。首先根据锆石反射光和透射光照片进行初选,再与 CL 图像对比后选定测试点。锆石 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行,ICP-MS 为 PerkinEvlmer/SCIEX 公司最新一代,带有动态反应电池的四极杆 ICP-MS Elan6100DRC,所采用的激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200M。

本研究在标准模式下进行,测试时激光束斑直径为 $30\mu\text{m}$,激光剥蚀样品的深度为 $20 \sim 40\mu\text{m}$ 。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 和标准锆石 91500 进行仪器最佳化。数据处理及同位素比值计算采用 GLITTER (Version4.0) 软件进行计算,并按照 Andersen Tom 的方法 (Andersen T, 2002),用 LAM-ICPMS common Lead Correction(ver3.15)对其进行了普通铅的校正。U-Pb 年龄由 Isoplot (ver 3.23) 软件

表 1 哈尔根头口布花岗岩中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data for zircons from Haergentoukoubu granites

序号	含量			h/U	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb}) \pm \sigma$	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U}) \pm \sigma$	$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U}) \pm \sigma$	年龄 $\pm \sigma$ (Ma)		
	^{206}Pb ($\mu\text{g/g}$)	Th ($\mu\text{g/g}$)	U ($\mu\text{g/g}$)					$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$
1	5.12	99.96	148.31	0.6756757	0.06089 ± 0.00297	0.53509 ± 0.02547	0.06374 ± 0.00068	635 ± 108	435 ± 17	398 ± 4
2	4.5	142.62	283.14	0.5025126	0.05773 ± 0.00198	0.49805 ± 0.01656	0.06257 ± 0.00053	520 ± 77	410 ± 11	391 ± 3
3	1.25	114.8	167.74	0.6849315	0.05847 ± 0.00313	0.49865 ± 0.02611	0.06186 ± 0.00071	547 ± 120	411 ± 18	387 ± 4
4	5.64	81.08	325.87	0.2487562	0.05543 ± 0.00234	0.47378 ± 0.01964	0.06199 ± 0.00051	430 ± 97	394 ± 14	388 ± 3
5	6.18	198.62	248.97	0.8	0.06295 ± 0.003	0.54374 ± 0.02528	0.06265 ± 0.00064	706 ± 104	441 ± 17	392 ± 4
6	2.35	216.75	338.01	0.6410256	0.06252 ± 0.00272	0.52669 ± 0.02228	0.0611 ± 0.00062	692 ± 95	430 ± 15	382 ± 4
7	3.85	292.75	488.62	0.5988024	0.06385 ± 0.00162	0.5395 ± 0.01311	0.06129 ± 0.00046	737 ± 55	438 ± 19	383 ± 3
8	1.52	61.57	180.59	0.3412969	0.05951 ± 0.00304	0.50732 ± 0.02526	0.06183 ± 0.00071	586 ± 114	417 ± 17	387 ± 4
9	3.02	119.06	262.95	0.4524887	0.08004 ± 0.00133	2.19955 ± 0.03319	0.19931 ± 0.00136	1198 ± 33	1181 ± 11	1172 ± 7
10	3.22	143.2	282.73	0.5076142	0.06383 ± 0.00238	0.54102 ± 0.01952	0.06147 ± 0.00057	736 ± 81	439 ± 13	385 ± 3
11	2.71	204.34	302.24	0.6756757	0.06556 ± 0.00208	0.55899 ± 0.01709	0.06184 ± 0.00053	792 ± 68	451 ± 11	387 ± 3

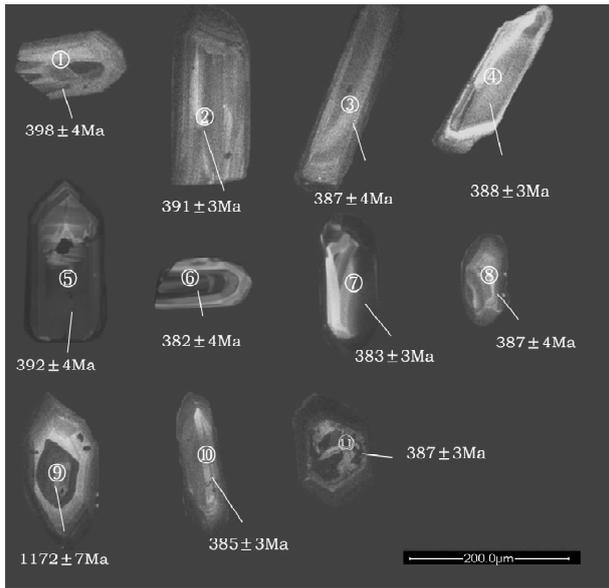


图2 哈尔根头口布花岗岩中锆石的阴极发光电子图像
Fig. 2 CL imaging of Zircons from Haergentoukoubu granites

圈内数字表示 U-Pb 分析点号,其它数据表示 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄

Number in the circle represent the analysis sport of U-Pb and other numbers represent age of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$

计算。详细分析步骤和数据处理方法以及仪器工作参数等参见柳小明等(2002)和袁洪林等(2003)的文章。

对选取得 11 颗锆石利用 $30\ \mu\text{m}$ 的激光剥蚀斑径对锆石打点。谐和图显示样品有少量的放射成因 Pb 丢失,使得数据点中心稍有偏离协和线,但对年龄影响不大;此外,谐和图及测试数据显示 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄明显分为两类:一类为除了⑨号点的 10 个数据点,其值范围为 $382\pm 4\text{Ma}\sim 398\pm 4\text{Ma}$,加权平均年龄 $387.6\pm 8.2\text{Ma}$,代表了花岗岩的结晶年龄;另一类即⑨号数据点表面年龄为 $1172\pm 7\text{Ma}$ 。通过对照其 CL 图像发现⑨号数据点恰位于锆石核部,该核部明显发暗且与锆石边部不协调,此外与其它锆石核部也明显不同,因此该年龄可能代表了岩石中的捕获晶锆石或残留的继承性锆石的年龄。

对测试数据的 Th/U 比值的计算显示(表 1),锆石 Th/U 值均大于 0.24,多数点的比值大于 0.50,环带清晰,晶型完整显示岩浆成因。

4 哈尔根头口布花岗岩地球化学特征

哈尔根头口布花岗岩的主量元素分析结果见表 2。其中 SiO_2 含量为 $70.28\%\sim 79.4\%$,全碱($\text{Na}_2\text{O}+$

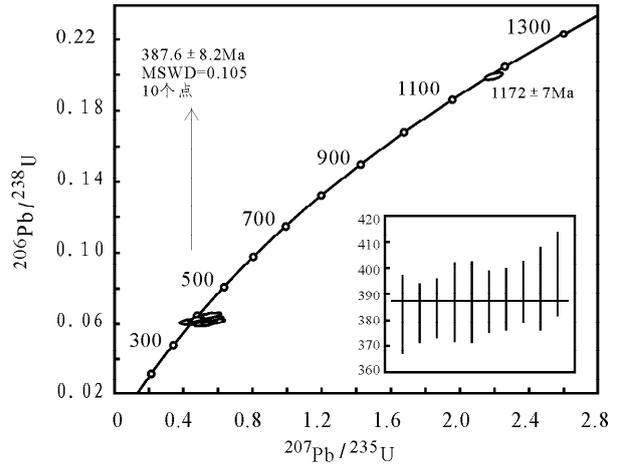


图3 哈尔根头口布花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Concordia diagrams showing U-Pb analyses of zircons for Haergentoukoubu granites

K_2O)为 $6.52\%\sim 9.11\%$, MgO 为 $0.09\%\sim 1.01\%$, TFeO 为 $1.03\%\sim 4.85\%$, CaO 为 $0.52\%\sim 1.67\%$, TiO_2 和 Al_2O_3 含量分别为 $0.04\%\sim 0.46\%$ 和 $8.82\%\sim 14.05\%$ 。岩石里特曼指数 δ 为 $1.2\sim 2.8$, 铝饱和指数 A/CNK 值介于 $0.8\sim 1.1$ 之间,在 A/NK-A/CNK 图解中(图 4),样品落入准铝质到弱过铝质之间,部分样品的 CIPW 标准矿物中出现少量刚玉反映了岩石具有准铝质到弱过铝质的性质, TFeO/MgO 比值为 $2.7\sim 12.9$ (平均 6.2),岩石碱度率 AR 为 $3.16\sim 4.37$,在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解中岩石样品全落入高钾钙碱性系列范围(图 5)。显然哈尔根头口布花岗岩多为高硅、富碱、低钙、低镁、准铝质到弱过铝质的钙碱

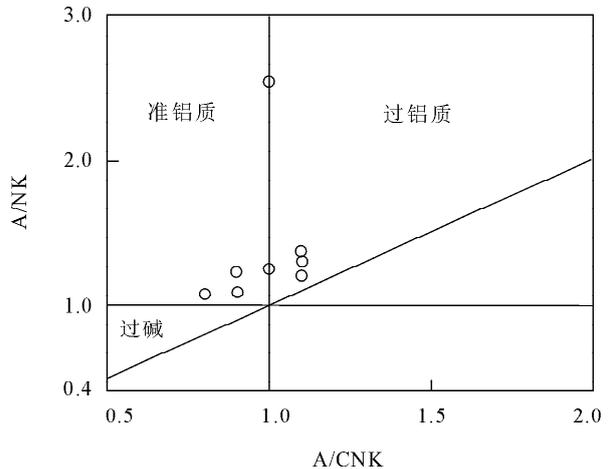


图4 花岗岩 A/CNK-A/NK 判别图解 (仿 Mlanier et al., 1989)

Fig. 4 A/CNK vs A/NK diagram of granites (after Mlanier et al., 1989)

表 2 哈尔根头口布花岗岩主微量元素分析结果及特征参数

Table 2 Representative major and trace element data for the Haergentoukoubu granites

样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
名称	钾长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	花岗岩	花岗岩
主要氧化物 (%)										
SiO ₂	72.42	72.92	72.38	72.74	72.16	70.28	79.4	71.51	76.62	72.33
TiO ₂	0.3	0.24	0.27	0.3	0.3	0.46	0.09	0.34	0.04	0.4
Al ₂ O ₃	13.46	13.26	13.41	13	13.87	14.05	8.82	13.63	12.75	13.49
Fe ₂ O ₃	3.24	0.68	0.23	1.03	0.48	0.83	0.93	1.03	0.54	1.09
FeO	1.97	0.93	1.79	0.64	1.53	2.05	0.2	1.54	0.68	1.44
MnO	0.02	0.06	0.04	0.03	0.07	0.07	0.05	0.05	0.03	0.05
MgO	0.42	0.24	0.42	0.3	0.72	1.01	0.15	0.48	0.09	0.6
CaO	1.1	1.55	1.32	1.67	1.33	1.56	1.57	0.99	0.52	1.24
Na ₂ O	3.07	3.69	3.57	3.31	4.88	3.18	1.83	2.9	4.17	3
K ₂ O	4.54	5.42	4.5	4.81	3.02	4.62	4.69	5.04	3.46	4.79
P ₂ O ₅	0.19	0.05	0.1	0.13	0.08	0.12	0.06	0.13	0.1	0.13
H ₂ O	0.14	1.28	0.98	1.41	0.6	1.48	1.1	1.67	0.66	0.96
CO ₂	0	0.4	0.7	1.32	0	0.07	0.59	0.29	0	0
LOI	0.07	0.03	0.03	0.03	0	1.47	1.69	1.63	1.02	1.66
Total	100.94	100.75	99.74	100.78	99.04	99.79	99.78	99.66	100.02	100.22
FeO _T	4.85	1.54	1.99	1.56	1.96	2.79	1.03	2.46	1.16	2.41
FeO _T /MgO	11.5	6.4	4.7	5.2	2.7	2.8	6.9	5.1	12.9	4
A/CNK	1.1	0.9	1.0	0.9	1	1.1	0.8	1.1	1.1	1.1
A/MF	1.68	4.74	3.44	4.36	3.01	2.15	4.77	2.89	6.77	2.72
C/MF	0.25	1.01	0.62	1.02	0.53	0.43	1.54	0.38	0.5	0.46
δ	2	2.8	2.2	2.2	2.1	2.2	1.2	2.2	1.7	2.1
AK	7.61	9.11	8.07	8.12	7.9	7.8	6.52	7.93	7.63	7.79
AR	3.19	4.2	3.42	3.48	3.16	3	4.37	3.37	3.71	3.24
CaO/Na ₂ O	0.36	0.42	0.37	0.50	0.27	0.49	0.86	0.34	0.12	0.41
微量元素 (×10 ⁻⁶)										
La	50.9	37.2	33.2	34.5	26	40.2	16.85	59.17	8.58	19.3
Ce	100	64.8	55.7	71.5	46.6	72.21	29.11	116	16.43	50.91
Pr	12.4	8.22	7.25	7.9	5.98	9.73	3.85	14.16	2.26	9.83
Nd	45.9	28.7	24.9	26	20.5	35.84	14.4	51.82	7.98	38.09
Sm	10.4	5.71	5.39	6.12	4.27	7.81	3.4	10.15	2.05	7.65
Eu	1.38	0.54	0.49	0.52	0.85	1.05	0.94	1.03	0.37	0.98
Gd	7.73	3.8	3.63	3.14	3.16	6.75	3.28	6.7	1.96	6.35
Tb	1.42	0.69	0.66	0.51	0.57	0.99	0.55	0.81	0.48	1.07
Dy	9.95	3.72	4.63	3.49	3.89	6.08	3.52	4.02	3.53	6.32
Ho	1.99	0.68	0.89	0.58	0.76	1.16	0.73	0.71	0.67	1.07
Er	4.76	1.66	2.42	1.47	1.88	3.39	2.17	2.06	2.24	3.22
Tm	0.74	0.26	0.38	0.23	0.3	0.43	0.3	0.26	0.44	0.53
Yb	4.21	1.43	2.48	1.42	1.84	2.57	1.81	1.59	3.18	3.45
Lu	0.72	0.21	0.36	0.22	0.29	0.36	0.26	0.23	0.51	0.55
Y	49.4	16	24.7	19	18.3	30.66	20.46	19.06	23.74	14.64
ΣREE	252.5	157.62	142.38	157.6	116.89	188.58	81.17	268.71	50.68	149.31
LREE	220.98	145.17	126.93	146.54	104.2	166.84	68.55	252.33	37.66	126.76
HREE	31.52	12.45	15.45	11.06	12.69	21.73	12.62	16.39	13.01	22.55
LREE/HREE	7.01	11.66	8.22	13.25	8.21	7.68	5.43	15.4	2.89	5.62
La _N /Yb _N	8.17	17.58	9.05	16.42	9.55	10.56	6.29	25.18	1.82	3.78
δEu	0.45	0.33	0.32	0.33	0.68	0.43	0.85	0.36	0.56	0.42
Sr	110	100	140	76	150	114	63.9	116	40.2	105
Rb	188	230	152	228	106	198	223	179	232.9	253.5
Ba	1210	770	630	670	960	963	829	565	164	549
Th	19	25	19	27	13	22.8	5.7	35.8	3.1	49
Ta	0.65	0.85	0.67	0.66	0.74	1.33	0.73	1.56	2.14	2
Nb	17	16	9.4	15	13	14.6	3.6	12.9	7.4	21.4
Zr	250	110	86	120	150	99.8	17	122	41.8	259
Hf	7.9	3.5	2.4	3.8	4.9	2.98	0.59	2.81	2.83	7.08
Co	2	3	1	1	9	5.31	2.07	2.86	2.3	6.4
U	1.6	4.7	4.7	5.2	1.7	2.15	1.18	2.24	0.86	3.96
V	21	21	16	25	73	34	3.6	13.2	7.86	28.3
Ni	4	2	3	5	24	11.1	4.03	1.89	7.9	11.3
Rb/Sr	1.71	2.30	1.09	3.00	0.71	1.74	3.49	1.54	5.79	2.41

注:1~5号样品数据引自马鬃山幅 1:25 万地质调查报告,6~10号样品由西安地质矿产研究所采用 XRF 法测定(本研究) A/MF=Al₂O₃/(TFeO+MgO)(mol),C/MF=CaO/(TFeO+MgO)(mol),A/CNK=nAl₂O₃/n(CaO+Na₂O+K₂O),AR=(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)/(Al₂O₃+CaO-Na₂O-K₂O);数据利用路远发编制的 Geokit 软件进行计算。

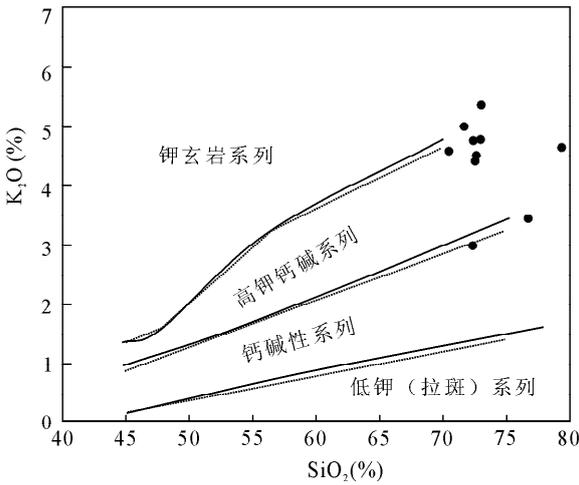


图5 花岗岩 K_2O-SiO_2 判别图解(仿 Rickwood, 1989)
 Fig. 5 K_2O vs SiO_2 diagram of granites
 (after Rickwood, 1989)

性花岗岩,这与 A 型花岗岩的主量元素特征相似。在 Na_2O-K_2O 图解(图 6)中,除 5、7、9 号样外,其余样品均落入 A 型花岗岩区。

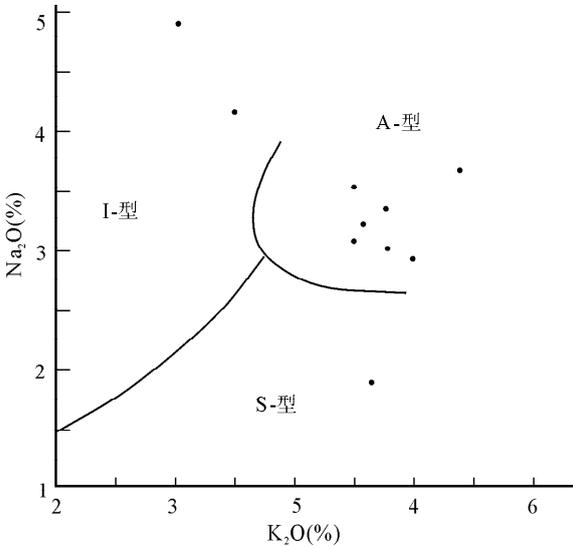


图6 花岗岩 K_2O-Na_2O 判别图解
 (转引自 路远发, 2004)

Fig. 6 K_2O vs Na_2O diagram of granites
 (from Lu Yuanfa, 2004)

稀土元素和微量元素分析结果如表 2 所示。其中 ΣREE 总量为 $50.68 \sim 288.28 \times 10^{-6}$ 平均值 168.52×10^{-6} 。花岗岩岩石具有相似的稀土配分模式(图 7),模式曲线显示 LREE 相对于重稀土富集(LREE/HREE 比值为 $2.89 \sim 16.4$, La_N/Yb_N 为 $1.82 \sim 25.18$)和 Eu 亏损(δEu 为 $0.32 \sim 0.85$ 呈弱到中等程度亏损),曲线整体呈右倾的海鸥式,这与

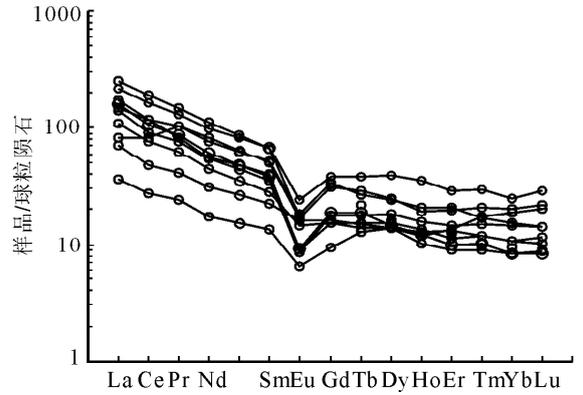


图7 哈尔根头口布花岗岩球粒陨石标准化图解
 (标准化值据 Taylor et al., 1985)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE Patterns for Haergentoukoubu granites(standard value after Taylor et al., 1985)

A 型花岗岩球粒陨石标准化模式一致(Collins, 1982)。

花岗岩的微量元素值经大洋中脊花岗岩标准化后,多数显示富集 Rb, Th, Ce 和 Sm, 而相对亏损 Ba, Ta, Nb, Zr, Hf, Y, Yb(图 8),与 A 型花岗岩中的 A_2 (PA) 亚类花岗岩特征一致(洪大卫等, 1995)。Ce/Nb-Y/Nb 图解也显示花岗岩主要为 A_2 型,少数为 A_1 型花岗岩,并有由 A_2 型向 A_1 型演化的趋势。该区花岗岩样品 Nb 的含量为 $(3.57 \sim 21.4) \times 10^{-6}$ (平均为 13.38×10^{-6}), Ta 含量为 $(0.65 \sim 2.14) \times 10^{-6}$ (平均为 1.17×10^{-6})与地壳岩石中 Nb, Ta ($Nb = (8 \sim 11.5) \times 10^{-6} \pm 2.6 \times 10^{-6}$, $Ta = (0.7 \sim 0.92) \times 10^{-6} \pm 0.12 \times 10^{-6}$) (Barth et al., 2000) 含量非常接近;样品的 Rb/Nb 比值($8.1 \sim 31.5$)和 K/

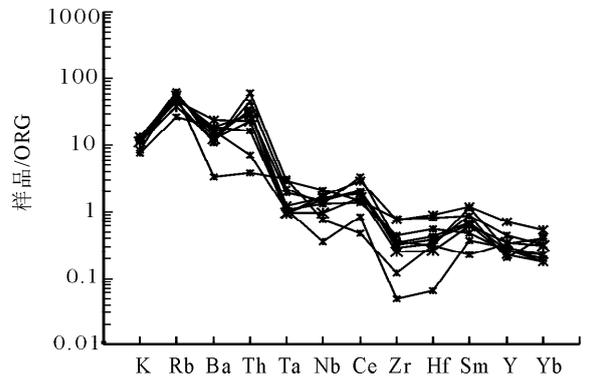


图8 花岗岩微量元素标准化图解
 (标准化值据 Pearce 等, 1984)

Fig. 8 Ocean ridge granites-normalized trace element distribution patterns for Haergentoukoubu granites(after Pearce et al., 1984)

Nb 比值(1858.1~3974)与地壳相应比值(5.36~6.55 和 1498~2976)近似,而明显高于地幔相应比值(0.24~0.89 和 249~349) (Rudnick et al., 1995);岩石的 La/Nb 及 Nb/Ta 平均比值分别为 1.13 和 13.51 与地壳相应比值 2.2 和 12~13 (Barth, 2000)一致。此外,前人(王中刚等,1989;赵振华等,1991)对中国花岗岩研究发现,典型的壳型花岗岩以钾质花岗岩、二长花岗岩多见,ΣREE 总量平均为 193×10^{-6} , La_N/Yb_N 为平均小于 10, $\delta Eu < 0.5$, 花岗岩归一化图解为右倾的“V”型分布模式;而壳幔型花岗岩类多以闪长岩、花岗闪长岩、英云闪长岩及石英闪长岩为主,其 ΣREE 总量平均为 158.7×10^{-6} , La_N/Yb_N 平均大于 10, δEu 平均为 0.84, 且归一化图解上为右倾的较平滑型分布模式,由此可以推断哈尔根头口布花岗岩与地壳更具亲缘性,与 A₂ 型花岗岩特征一致。

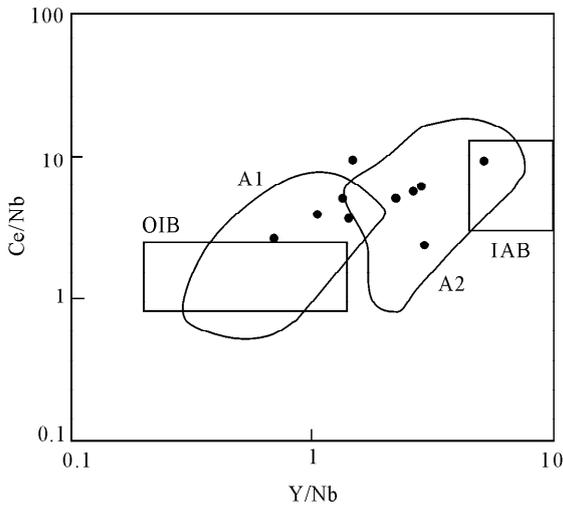


图 9 A 型花岗岩的 Y/Nb-Ce/Nb 图解
(仿 Eyb, 1992)

Fig. 9 Y/Nb vs Ce/Nb diagram for A₂ type granites
(after Eyb, 1992)

A₁—A₁ 型花岗岩亚类; A₂—A₂ 型花岗岩亚类;

OIB—洋岛玄武岩; IAB—岛弧玄武岩

A₁—A₁-type granites; A₂—A₂-type granites;

OIB—Ocean island basalts; IAB—Island arc basalts

5 讨论

北山地区在经历了中元古代蓟县纪和新元古代青白口纪巨厚的碳酸盐岩及碎屑岩沉积之后,发生了晋宁运动,使前震旦系完全固结形成统一古大陆克拉通(左国朝等,1996)。震旦纪大陆开始裂解(红柳河北、破城山及洗肠井南等地中基性火山岩开始发育)。寒武纪时,红柳河—火石山—牛圈子—洗肠

井一带南、北侧沉积了一套陆源碎屑岩、碳酸盐岩及硅质岩。其中下寒武统(黑色岩系中)含磷、矾、铀、钇、铁锰等,局部地段(破城山、大豁落山等)富集成磷、矾矿、热水沉积型重晶石矿——为裂谷水体较深且相对缺氧的表现,显然裂谷已演化至初-中级阶段。早奥陶世古大陆裂解加剧,寒武系之上继续沉积奥陶纪碎屑岩、硅质岩、碳酸盐岩,但下奥陶统中的硅质岩明显增多,复理石沉积范围扩大并出现了营游生活的角石类古生物,加之(月牙山—洗肠井一带)双峰式火山喷发强烈,表明这一时期红柳河—火石山—牛圈子—洗肠井一带已发展为相当规模的裂谷带;中奥陶世初期该裂谷进一步演化成红柳河—火石山—牛圈子—洗肠井洋盆,将古陆分割为北侧的哈萨克斯坦板块和南侧的塔里木板块,形成两板间夹一洋的构造格局(何世平等,2005)。晚奥陶世时红柳河—火石山—牛圈子—洗肠井洋盆达到威尔逊旋回的顶峰后,开始向北俯冲,造就了中-上志留统公婆泉群岛弧相火山沉积岩系(左国朝等,1996;戴霜等,2003b;杜刚等,2003;何世平等,2005),使哈萨克斯坦板块的南缘成为活动陆缘(东部形成白云山东七—山岛弧带,西部形成窑洞努如—公婆泉岛弧带)。岛弧火山作用晚期形成了公婆泉铜矿等斑岩型铜矿(聂凤军等,2002a;杨合群等,2006)。左国朝和何国琦对北山泥盆系研究后发现:北山的泥盆系可分为南、北两个带,南带沿干泉—柳圆—墩墩山—碱泉子分布,北带沿雀儿山—大红山—百合山—芦苇井分布,两带的下泥盆统均具磨拉石建造特点。北山中部(明水、红柳河、公婆泉、火石山、石板井等地区)缺失泥盆系,表明泥盆纪时北山中部地区整体处于抬升剥蚀区,而其两侧(南、北部)为沉积区。早石炭世北山地区进入到造山期后伸展构造背景中,形成裂谷或断陷带,地壳呈拉张过渡壳特征(左国朝等,1996;夏林圻等,2006)。这说明哈尔根头口布泥盆纪花岗岩是产于碰撞挤压环境向伸展环境的过渡地质背景之中。

前已述及,哈尔根头口布花岗岩为 A 型花岗岩,且以 A₂ 型花岗岩为主, A₁ 型花岗岩为次,岩石有由 A₂ 型向 A₁ 型演化的趋势。前人对 A 型花岗岩进行了较深入的研究, Eyb (1992) 将 A 型花岗岩分为 A₁、A₂ 两个亚类, A₁ 型以其元素比值与洋岛玄武岩相似为特征,一般产于裂谷或断裂带环境; A₂ 型似平均地壳及岛弧玄武岩,岩浆起源于地壳或由岛弧岩浆派生,产于碰撞后或造山期后的张性构造环境。洪大卫等(1995)将 A 型花岗岩分为非造

山(AA)和后造山(PA)二类,对应于 A_1 型花岗岩和 A_2 型花岗岩;并指出拉张规模和深度的不同是产生非造山和后造山 A 型花岗岩的重要原因。由于 R_1 - R_2 构造环境判别图解涉及到 8 个主要元素的氧化物(占总含量 95% 以上,基本代表了岩石化学的总体特征),因此是划分不同构造环境岩石的有效手段,该图解显示哈尔根头口布花岗岩多为造山期后花岗岩(A_2 型)。

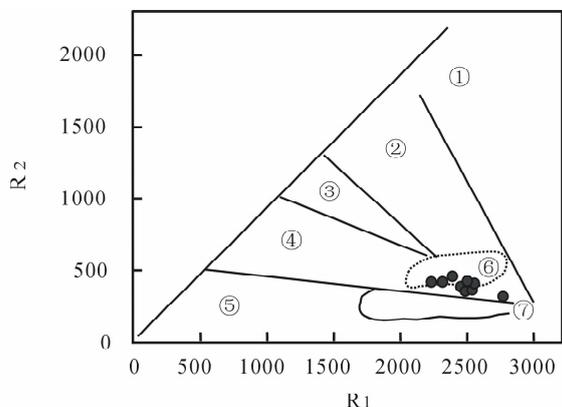


图 10 哈尔根头口布花岗岩 R_1 - R_2 构造环境判别图解(仿 Batchelor 等, 1985) ($R_1 = 4Si-11Na-11K-2Fe-2Ti$; $R_2 = 6Ca+2Mg+Al$)

Fig. 10 R_1 vs R_2 discrimination diagrams showing the tectonic settings for Haergentoukoubu granites (after Batchelor et al., 1985) ($R_1 = 4Si-11Na-11K-2Fe-2Ti$; $R_2 = 6Ca+2Mg+Al$)

- ①—地幔分异产物;②—板块碰撞前;③—碰撞隆起后;
④—造山晚期;⑤—非造山;⑥—同碰撞;⑦—造山期后;●—样品
①—Mantle differentiation production; ②—Pre-collision; ③—
Post-collision uplift; ④—Late orogeny; ⑤—Non-orogeny; ⑥—
Syn-collision; ⑦—Post-orogenic period; ●—samples

6 结论

(1) 侵位于哈萨克斯坦板块南缘早古生代活动陆缘带中的哈尔根头口布花岗岩主要由二长花岗岩、钾长花岗岩等组成。花岗岩体侵位于长城系古铜井群、蓟县系平头组及志留系公婆泉群中。

(2) 岩石的地球化学特征表明其为高硅、富碱、高 FeO_T/MgO 、低 Sr 的准铝质到弱过铝质钙碱性花岗岩;岩石富集 Rb, Th, Ce 和 Sm, 而相对亏损 Ba, Ta, Nb, Zr, Hf, Y, Yb; 岩石稀土元素含量较高, 且轻稀土相对重稀土富集, Eu 亏损, 稀土配分模式图呈右倾的“海鸥式”; 花岗岩 K_2O-Na_2O 判别图解及 Y/Nb-Ce/Nb 图解显示岩石为 A 型花岗岩, 以 A_2 型为主且具有向 A_1 型演化的趋势。

(3) 哈尔根头口布花岗岩于早-中泥盆世(锆石 U-Pb 同位素年龄为 387.6 ± 8.2 Ma) 侵位, 岩体中俘虏或继承有晚蓟县世物质(锆石 U-Pb 同位素年龄为 1172 ± 7 Ma)。

(4) 哈尔根头口布花岗岩同位素年龄及其地球化学特征共同表明, 红柳河-火石山-牛圈子-洗肠井构造带在 387 Ma 时, 处于由挤压环境向伸展环境转换的构造体制之下。

致谢:野外工作得到陈隽路博士、王静平工程师、孙继东教授等大力协助, 测试数据处理得到柳小明教授、刘军锋博士、林慈銮、张红硕等的热情帮助, 张复新教授、李行研究员、秦克令研究员、李智佩研究员等给予本文有益的指导, 审稿人提出了宝贵的修改建议, 在此一并谢过!

参 考 文 献

- 戴霜, 方小敏, 张翔, 王方成. 2003a. 北山中部地区闪长岩-花岗岩类成因及构造背景. 兰州大学学报: 自然科学版, 39(1): 86~92.
- 戴霜, 方小敏, 张翔, 王方成, 任育智, 高兆奎, 雷天柱, 程或. 2003b. 塔里木-中朝板块北缘志留纪公婆泉群火山岩地球化学及构造意义. 兰州大学学报: 自然科学版, 39(4): 80~87.
- 董云鹏, 周鼎武, 张国伟, 张成立, 夏林圻, 徐学义, 李向民. 2005. 中天山南缘乌瓦门蛇绿岩形成构造环境. 岩石学报, 21(1): 37~44.
- 杜刚, 李卫红, 杨文彬, 王伟, 白云来. 2003. 勒巴泉—公婆泉陆缘弧主要特征及动力学背景. 甘肃地质学报, 12(1): 16~20.
- 方国庆. 1994. 东天山古生代板块构造特点及其演化模式. 甘肃地质学报, 3(1): 34~40.
- 高俊, 肖序常, 汤耀庆, 赵民, 王军. 1994. 南天山蓝片岩的变质作用 Pt-Dt 轨迹及构造演化. 地质论评, 40(6): 544~553.
- 郭召杰, 马瑞士, 郭令智, 施央申. 1993. 新疆东部三条蛇绿混杂岩带的比较研究. 地质论评, 39(3): 236~247.
- 郭召杰, 史宏宇, 张志诚, 张进江. 2006. 新疆甘肃交界红柳河蛇绿岩中伸展构造与古洋盆演化过程. 岩石学报, 22(1): 95~102.
- 何世平, 周会武, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2005. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化. 西北地质, 38(03): 6~15.
- 洪大卫, 王式洗, 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. 地质学报, 77(2): 203~209.
- 洪大卫, 王式洗, 韩宝福, 靳满元. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. 中国科学 D, 25(4): 418~426.
- 江思宏, 聂凤军, 陈文, 刘妍, 白大明, 刘新宇, 张思红. 2003. 北山明水地区花岗岩时代的确定及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 22(2): 107~111.
- 江思宏, 聂凤军. 2006. 北山地区花岗岩类成因的 Nd 同位素制约. 地质学报, 80(6): 826~842.
- 李伍平, 王涛, 李金宝, 康旭, 于福生, 韩庆军, 马中平. 2001. 东天山红柳河地区海西期花岗岩的岩石学、地球化学及其构造环境. 地质论评, 47(4): 368~375.

- 柳小明,高山,袁洪林, Bodo Hatten, Dorf Günther, 陈亮, 胡圣红. 2002. 193nm LA-ICP-MS 对国际地质标准参考物质中 42 种主量和微量元素的分析. *岩石学报*, 18(3):408~418.
- 陆远发. 2004. Geokit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包. *地球化学*, 33(5):459~464.
- 马瑞士, 王锡银, 叶尚夫. 1993. 东天山构造格架及地壳演化. 南京: 南京大学出版社. 5~200.
- 穆治国, 刘弛, 黄宝玲, 侯贵廷, 左国朝, 刘春燕, 冯永忠. 1992. 甘肃北山地区同位素定年与构造岩浆热事件. *北京大学学报: 自然科学版*, 28(4):486~497.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 王新亮, 苏新旭, 李景春, 刘妍, 赵省民. 2002a. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向. 北京: 地质出版社. 55
- 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 陈文, 刘新宇, 张思红. 2002b. 甘肃花牛山东钾长花岗岩⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄及其地质意义. *地质科学*, 37(4):415~422.
- 齐瑞荣, 黄增保, 金霞. 2006. 甘肃北山大石山 A 型花岗岩体的地球化学特征及构造意义. *岩石矿物学杂志*, 25(2):90~96.
- 任秉琛, 何世平, 姚文光, 傅力浦. 2001. 甘肃北山牛圈子蛇绿岩锆同位素年龄及其大地构造意义. *西北地质*, 34(2):21~27.
- 汤耀庆, 高俊, 赵民, 李锦轶, 王军. 1995. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩. 北京: 地质出版社. 1~133.
- 王立社, 杨建国, 谢春林, 王育习. 2007. 甘肃北山火山石山地区早古生代蛇绿混杂岩的发现及其地质意义. *现代地质*, 21(3):451~456.
- 王润三, 王焰, 李惠民, 周鼎武, 王居里. 1998. 南天山榆树沟高压麻粒岩地体锆石 U-Pb 锆石定年及其地质意义. *地球化学*, 27(6):522~527.
- 王中刚, 于学元, 赵振华. 1989. 稀土元素地球化学. 北京: 科学出版社. 223~224.
- 夏林圻, 李向民, 夏祖春, 徐学义, 马中平, 王立社. 2006. 天山石炭-二叠纪大火成岩省裂谷火山作用与地幔柱. *西北地质*, 39(1):1~49.
- 修群业. 1999. 甘肃北山地区花岗岩类地球化学特征及大地构造意义. *前寒武纪研究进展*, 22(1):32~40.
- 杨合群, 李英, 杨建国, 李文明, 杨林海, 赵国斌, 叶得金, 赵彦青, 赵建国, 沈存利, 王新亮, 苏新旭. 2006. 北山造山带的基本成矿特征. *西北地质*, 39(2):78~85.
- 于福生, 王春英, 漆家福, 王涛. 2000. 甘新交界红柳河地区早志留世蛇绿混杂岩的厘定及大地构造意义. *矿物岩石*, 20(4):60~66.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入岩的激光锆石探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. *科学通报*, 48(4):1511~1520.
- 赵振华, 王中刚, 雒天人, 增田彰正. 1991. 阿尔泰花岗岩类型与成岩模型的 REE 及 O、Pb、Sr、Nd 同位素组成依据. *矿物岩石地球化学通报*, 3(24):176~178.
- 左国朝, 何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律. 北京: 北京大学出版社. 6~167.
- 左国朝, 李茂松. 1996. 甘肃北山地区早古生代岩石圈形成与演化. 兰州: 甘肃科学技术出版社. 1~93.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. *Chemical geology*, 192:59~79 (in Chinese with English abstract).
- Barth M G, McDonough W F, Rndnick R I. 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chemical Geol.*, 165(3~4):197~213.
- Batchelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol.*, 48:43~55
- Coleman R G. 1989. Continental growth of northwest. China. *Tectonics*, 8(3):621~635.
- Collins WJ, Beams S D, White A J R. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80:189~200.
- Dai Shuang, Fang Xiao min, Zhang Xiang, Wang Fang cheng. 2003a. The origin and tectonic settings of diorite granitoid in the centre of Beishan Region of Gansu. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 39(1):86~92 (in Chinese with English abstract).
- Dai Shuang, Fang Xiao min, Zhang Xiang, Wang Fang cheng, Ren Yu zhi, Gao Zhao kui, Lei Tian zhu, Chen Yu. 2003b. Island arc north of the Tarim-SK plate: the geology and geochemistry of Gongpoquan Group. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 39(4):80~87 (in Chinese with English abstract).
- Dong Y P, Zhou D W, Zhang G W, Zhang Chengli, Xia Linqi, Xu Xueyi, Li Xiangmin. 2005. Tectonic setting of the Wuwamen Ophiolite at the southern margin of middle Tianshan Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1):37~44 (in Chinese with English abstract)
- Du Gang, Li Wei hong, Wang Wei, Bai Yun lai. 2003. The Main Characteristics of Lebaquan-Gongpoquan Epicontinental Arc and the Dynamic Background for its Forming in the Contiguous Area Across Gansu, Xinjiang and inner Mongolia. *Acta Geologica Gansu*, 12(1):16~20 (in Chinese with English abstract).
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20:641~644.
- Fang Guoqing. 1994. Paleozoic Plate Tectonics of Eastern Tianshan Mountains Xinjiang, China. *Acta Geologica Gansu*, 3(1):34~40 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jun, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Zhao Min, Wang Jun. 1994. The Metamorphic Pt-Dt Parth of Blueschists and Tectonic Evolution the Southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang. *Geological Review*, 40(6):544~553 (in Chinese with English abstract).
- Guo Zhaojie, Ma Ruishi, Guo Lingzhi, Shi Yangshen. 1993. A comparative study on three ophiolitic mélange belts in eastern Xinjiang. *Geological Review*, 39(3):236~247 (in Chinese with English abstract).
- Guo Zhaojie, Shi Hongyu, Zhang Zhicheng, Zhang Jinjiang. 2006. The tectonic evolution of the south Tianshan Paleo-oceanic crust inferred from the spreading structures and Ar-Ar ages of the Hongliuhe ophiolite, NW China. *Acts Petrologica Sinica*, 22(1):95~102 (in Chinese with English abstract)
- He Shiping, Zhou Huiwu, Ren Bingchen, Yao Wenguan, Fu Lipu.

2005. Crustal evolution of Palaeozoic in Beishan area, Gansu and Inner Mongolia, China. *Northwestern Geology*, 38(03): 6~15 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, Zhang Jisheng, Wang Tao. 2003. Correlation between continental crustal growth and the supercontinental cycle: evidence from the granites with positive ϵNd in the Central Asian orogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 203~209 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Han Baofu, Jin Manyuan. 1995. Tectonic setting classifications and discrimination criteria for alkaline granites. *Science in China, Series B*, 25(4): 418~426 (in Chinese).
- Jahn B M, W F Y, Chen B. 2000. Granitoids of the central Asian orogenic belt and continental growth in the Phanerozoic. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 91: 181~193.
- Jiang Sihong, Nie Fengjun. 2006. Nd-Isotope Constraints on origin of Granitoids in Beishan Mountain Area. *Acta Geologica Sinica*, 80(6): 826~842 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Sihong, Nie Fengjun, Chen Wen, Liu Yan, Bae Daming, Liu Xinyu and Zang Sihong. 2003. The determination of the emplacement age of granite in Mingshui, Beishan area, and its implication. *Acta petrologica et mineralogica*, 22(2): 107~111 (in Chinese with English abstract).
- Li Wuping, Wang Tao, Li Jinbao, Kang Xu, Yu Fusheng, Han Qingjun, Ma Zhongping. 2001. Petrology, Geochemistry of Hercynian Granites of Hongliuhe Area and Its Tectonic Setting in Eastern Tianshan Mountains, Western China. *Geological Review*, 47(4): 368~375 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoming, Gao Shan, Yuan Honglin, Bodo Hatten, Dorf Günther, Chen Liang, Hu Shenghong. 2002. Analysis of 42 major and trace elements in glass standard reference materials by 193nm La-ICPMS. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 408~418 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yuanfa. 2004. GeoKit-A geochemical toolkit for Microsoft Excel. *Geochimica*, 33(5): 459~464 (in Chinese with English abstract).
- Ma Ruishi, Wang Ciyin, Ye Shangfu. 1993. Tectonic framework and crustal evolution of eastern Tianshan mountains. Nanjing: publishing House of Nanjing University (in Chinese with English abstract).
- McLanar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids *GSA Bull.*, 101(5): 635~643.
- Mu Zhiguo, Liu Chi, Huang Baoling, et al. 1992. The isotope age-dating and tectonics thermal events in the Beishan region, Gansu Province. *Universitatis Pekinensis (Acta Scientiarum Naturalium)*, 28(4): 486~497 (in Chinese with English abstract).
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, Wang Xinliang, Su Xinxu, Li Jingchun, Liu Yan and Zhao Shengmin. 2002a. Metallogenic studies and ore prospecting in the Conjunction area of inner Mongolia autonomous region, Gansu province and Xinjiang uygur autonomous region, Northwest China. *Geological Publishing House*. 55 (in Chinese with English abstract).
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Liu Yan, Chen Wen, Liu Xinyu, Zhang Sihong. 2002b. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Isotopic Age Dating on K-Feldspar separates from Eastern Huaniushan Granite, Gansu Province, and its Geological Significance. *Chinese Journal of Geology*, 37(4): 415~422 (in Chinese with English abstract).
- Pearce J A, Harris B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25(4): 956~983.
- Qi Ruihong, Huang Zengbao, Jin Xia. 2006. Geochemical characteristics and tectonic implications of the Dashishan A-type granitic intrusive in Beishan area, Gansu Province. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 25(2): 90~96 (in Chinese with English abstract).
- Ren Bingchen, He Shiping, Yao Wenguang, Fu Lipu. 2001. Rb-Sr isotope age of Niuquanzi ophiolite and its tectonic significance in Beishan district, Gansu. *Northwestern Geology*, 34(2): 21~27 (in Chinese with English abstract).
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22: 247~263.
- Rudnick R L, Fountain D M. 1995. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective. *Rev. Geophys.*, 33: 267~309.
- Tang Yaoqing, Gao Jun, Zhao min, Li Jinyi, Wang Jun. 1995. The ophiolites and blueschists in the southeastern Tianshan orogenic belt, Xinjiang, Northwest China. Beijing: Geology press, 1~133 (in Chinese with English abstract).
- Taylor S R, Mclellan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition of melts and Evolution*. Blackwell: Oxford Press, 312.
- Wang Lishe, Yang Jianguo, Xie Chunlin, Wang Yuxi. 2007. The Discovery and Geological Significance of an early Paleozoic Ophiolite mélange belt in the Huoshishan Part of Beishan Mountain, Gansu Province, China. *Geoscience*, 21(3): 451~456 (in Chinese with English abstract).
- Wang Runsan, Wang Yan, Li Huimin, Zhou Dingwu, Wang Juli. 1998. Zircon U-Pb dating of Yushugou terrain of high-pressure granulite facies in Southern Tianshan Mountains and its geological significance. *Chinese Journal of Geochemistry*, 27(6): 522~527 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhonggang, Yu Xue yuan, Zhao Zhen hua. 1989. Rare earth element geochemistry. Beijing: Science Press. 223~224 (in Chinese).
- Xia Linqi, Li Xiangmin, Xia Zucun, Xu Xueyi, Ma Zhongping, Wang Lishe. 2006. Carboniferous-Permian Rift-Related Volcanism and Mantle Plume in the Tianshan, Northwest China. *Northwestern Geology*, 39(1): 1~49.
- Xiu Qunye. 1999. Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of the Granitoids in Beishan Area, Gansu Province. *Progress in Precambrian Research*, 22(1): 32~40 (in Chinese

- with English abstract).
- Yang Hequn, Li Ying, Yang Jianguo, Li Wenming, Yang Linhai, Zhao Guobin, Ye Dejin, Zhao Yanqing, Zhao Jianguo, Shen Cunli, Wang Xinliang, Su Xinxu. 2006. Main metallogenic characteristics in the Beishan Orogen. *Northwestern Geology*, 39 (2): 78~95 (in Chinese with English abstract).
- Yu Fusheng, Wang Chunying, Qi Jiayu, Wang Tao. 2000. The Clarification and Tectonic Implication of the early Silurian Ophiolite Melange in Hongliuhe Area. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 20 (4): 60 ~ 66 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, Liu Xiaoming, Xu Ping and Sun Deyou. 2003. La-ICPMS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511~1520 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Wang Zhonggang, Chu Tianren, Zeng Tiangangzheng. 1991. The REE, isotopic composition of O, Pb, Sr, Nd and diagenetic model of granitoids in Altai region. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 3(24): 176 ~ 178 (in Chinese).
- Zuo Guochao, Li Maosong. 1996. Lithosphere Formation and Evolution during Early Paleozoic in Beishan, Gansu and Inner Mongolia. Lanzhou: Gansu Scientific and Technical Publishing House. 1~93. (in Chinese with English abstract).
- Zuo Guochao, He guoqi. 1990. Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan, China. Beijing: Peking University Press. 6~167. (in Chinese with English abstract).

Geochronology and Geochemistry of Haergentoukoubu Granites in the Beishan Area, Gansu, China and Their Geological Significance

WANG Lisha^{1,2)}, YANG Jianguo²⁾, XIE Chunlin²⁾, LEI Yongxiao²⁾, WANG Yuxi²⁾,
CAO Hongxia¹⁾, YANG Pengfei²⁾, QI Yalin³⁾, JIN Suanlian³⁾

1) *State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi, 710069;*

2) *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi, 710054;*

3) *Research Institute of Changqing Oil Field, Xi'an, Shaanxi, 710021*

Abstract

LA-ICP-MS U-Pb isotopic dating for zircon separated from the Haergentoukoubu granites yields two ages: 387.6 ± 8.2 Ma and 1172 ± 7 Ma. These granites were emplaced in the Changcheng System, Jixian System and Silurian System in Huoshishan, Beishan, Gansu. The former probably represents intrusive age (early-middle Devonian) of the granites and the latter probably represents the age of late Jixian System inherited zircon inside the granites. Composed mainly of monzonites, monzogranite, granodiorite, the granites are characterized by high SiO_2 (70.28%~79.4%), and high $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (6.52%~9.11%), low Al_2O_3 (8.82%~14.05%), and low Sr ($40 \sim 150 \times 10^{-6}$, averaging 101.5×10^{-6}). Trace elements analysis shows that the average ΣREE is 168.52×10^{-6} , the ratios of LREE/HREE and La_N/Yb_N are 2.89~16.4, 1.82~25.18 respectively. The REE distribution patterns show that the granites are enriched in Rb, Th, Ce and Sm, and depleted in Eu, Tm, Nb, Zr and Hf, with LREE/HREE = 2.89~16.4, $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 1.82 \sim 25.18$. The comprehensive analysis also suggests that the granites are metaluminous to slightly peraluminous calcic alkaline series rocks, which formed in the tectonic setting of transformation from collision to extension in earlier-middle Devonian.

Key words: Beishan; Haergentoukoubu; isotopic age; geochemistry; granites