

北祁连东部两类 I 型花岗岩定年及其地质意义*

吴才来¹ 杨经绥¹ 杨宏仪² Joseph L. WOODEN³ 史仁灯¹ 陈松永¹ 郑秋光²

WU CaiLai¹, YANG JingSui¹, YANG HungYi², Joseph L WOODEN³, SHI RenDeng¹, CHEN SongYoung¹ and ZHENG QiuGuang²

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

2. 成功大学, 中国台湾

3. 斯坦福大学, 美国加州

1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2. Chungkung University, Taiwan, China

3. Stanford University, CA, USA

2003-04-14 收稿, 2004-01-24 改回.

Wu CL, Yang JS, Yang HY, Wooden J, Shi RD, Chen SY and Zheng QG. 2004. Dating of two types of granite from north Qilian, China. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3):425-432

Abstract Two types of granite with different characters occurred in strata of the lower Paleozoic. One is a representation of Jingzichuan rock body, which is characterized by dark mineral hornblende, the REE total $90 \times 10^{-6} \sim 106 \times 10^{-6}$ and the ratio of LREE/HREE to be less than 8 (ranged from 6.9 to 7.8) and having zircon SHRIMP age of 464 ± 15 Ma, tectonically, intruded in island arc environment. The other is the Huangyanghe rock body, which by dark mineral biotite, the REE total of $214 \times 10^{-6} \sim 250 \times 10^{-6}$, the ratio of LREE/HREE to be more than 8 (ranged from 8.2 to 9.7), having zircon LA-ICP-MS age of 383 ± 6 Ma, tectonically, intruded in post-collisional stage.

Key words East of north Qiliang, Two type of granite, Zircon dating

摘 要 北祁连东部早古生代地层中产出两种特征不同的 I 型花岗岩类, 其一以井子川岩体为代表, 暗色矿物以角闪石为主, 稀土总量为 $90 \times 10^{-6} \sim 106 \times 10^{-6}$, 轻重稀土比值小于 8, 锆石的 SHRIMP 年龄为 464 ± 15 Ma, 岩体形成的构造环境类似于岛弧; 其二是以黄羊河岩体为代表, 暗色矿物以黑云母为主, 稀土总量为 $214 \times 10^{-6} \sim 250 \times 10^{-6}$, 轻重稀土比值大于 8, 锆石的 LA-ICP-MS 年龄为 383 ± 6 Ma, 岩体形成于碰撞后环境。

关键词 北祁连东部 两种类型花岗岩 锆石定年

中图法分类号 P597.3; P588.121

北祁连东部三条呈近东西向分布的早古生代地层, 从北到南依次为黄羊河-古浪-大靖-白墩子(第一岩带), 雷公山-毛毛山-老虎山(第二岩带), 马雅雪山-石灰沟-白银(第三岩带)(图 1)。其中, 位于第二岩带上的老虎山地区主要由火山熔岩、超基性岩、辉长岩、硅质岩、砂板岩等组成, 被认为是典型的蛇绿岩组合(张旗等, 1997, 夏林圻等, 2001)。对这套早古生代地层的详细划分存在争论, 20 万分之一的地质图将其划分为晚奥陶世, 而甘肃地质志将其划分为志留纪。钱青等(1998)对产在该地层内的老虎山石英闪长岩进行了岩石地球化学及同位素年代学研究, 得出老虎山岩体的单颗

粒锆石的 U-Pb 年龄为 423.5 ± 2.8 Ma, 认为这套地层属中晚奥陶世, 那么, 这套砂板岩究竟是奥陶纪还是志留纪? 该岩体的时代究竟是不是中晚志留世的? 此外, 祁连东部诸多的花岗质岩体都是同一时代的且具有相同的地球化学特征吗? 然而, 到目前为止, 尚未有人对区内存在的上述问题做过系统的研究。本文选择了祁连东部的井子川岩体和黄羊河岩体进行锆石的年代学研究, 同时, 选择区内与其岩石学特征相似的岩体进行岩石地球化学研究, 探讨祁连东部花岗岩的构造属性。

* 本文是国家自然科学基金项目(49732070)、国土资源部“十五”重点科技项目(20010101)、国家地质调查项目(DKD2001003)、新中法项目(01CB71100104)的共同成果。

第一作者简介: 吴才来, 男, 1960 年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事岩石学研究, E-mail: wucailai@ccsd.org.cn

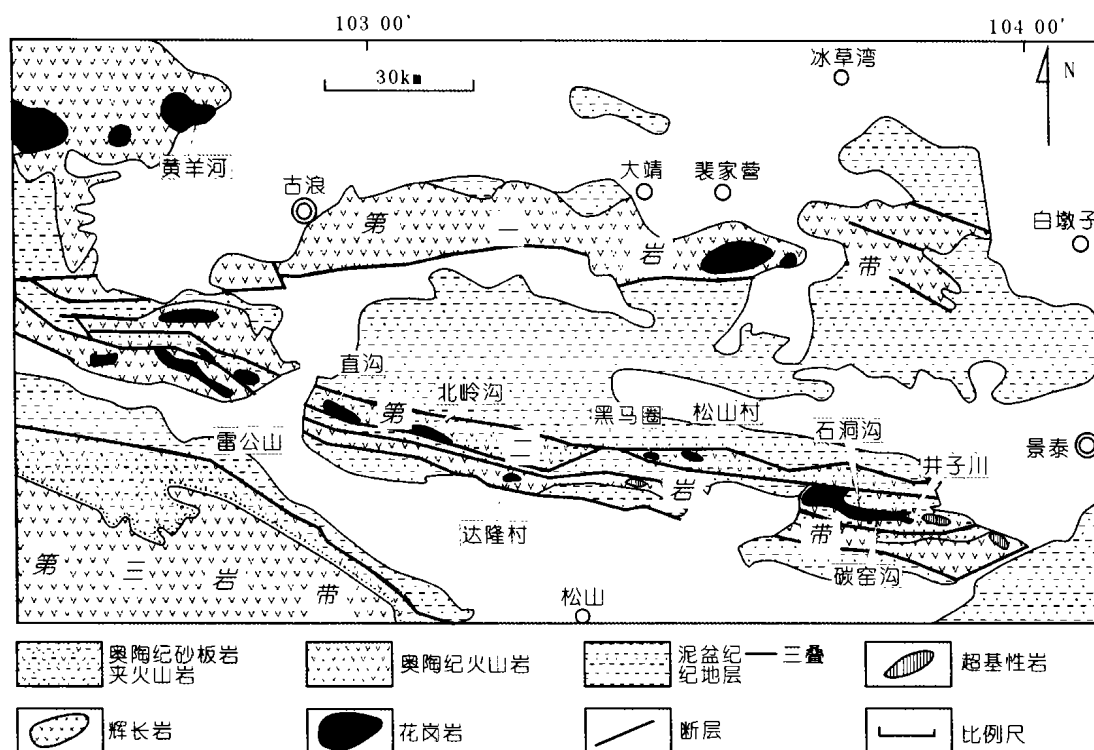


图1 祁连山东部地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of east Qilianshan, NW China

1 地质背景及样品特征

祁连山东部老虎山山脊及其北坡是一套奥陶-志留纪的火山岩-沉积岩组合(图1),其中产出雷公山、直沟、北岭沟、黑马圈、松山村、井子川岩体,这些岩体均呈小岩墙状或岩枝状产出;而老虎山南坡出露奥陶纪的火山岩,其中分布有超基性岩、辉长岩、辉绿岩、玄武岩及少量的中酸性侵入岩,如达隆村(图1),这套岩石被认为是典型的洋壳成分。同时,在黄羊河-古浪-大靖-白墩子早古生代地层中,出露小岩株状的花岗岩侵入体,如马营沟、沙河寺及黄羊河岩体,围岩火山岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 450Ma(夏林圻, 1998)。根据区域地质学和火山岩的地球化学研究得出,这是一套类似于岛弧型的火山岩(夏林圻, 1998)。

(1) 样品 CL817-1: 该样品取自第二岩带上的井子川岩体。该岩体侵位于奥陶纪砂板岩中,沿老虎山脊呈近东西向分布。岩体西部较宽,东部较窄且分叉呈燕尾状。岩体接触带发育角闪岩化。岩体主体相为石英闪长岩,主要造岩矿物为斜长石(40%~60%),其次为角闪石(15%)、石英(5%~10%),少量的碱性长石(3%~5%)。副矿物为磁铁矿、磷灰石和锆石等。斜长石多具有聚片双晶,部分具有环带结构。部分斜长石发生了绢云母化,部分角闪石发生了绿泥石化。岩石的 SiO_2 变化于 57.06%~61.72%,全碱的含量为 4.62%

~5.59%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值 1.74~2.49,里特曼指数为 1.52~1.69, A/NKC 比值 0.89,岩石组合为石英闪长岩-石英二长闪长岩-英云闪长岩,属于亚碱性系列普通类型,根据硅钾进一步判别为典型的钙碱性系列岩石组合(Irvine, I. N., 1971)。

(2) 样品 CL810-1: 该样品取自第一岩带上的黄羊河岩体。该岩体呈小岩株状,侵位于奥陶系中,围岩主要为变质砂岩、千枚岩夹石英岩、英安凝灰岩及流纹质英安斑岩,局部为片岩或混合岩。围绕岩体出现挤压变形特征,反映了岩体以底辟气球膨胀的方式侵位。该岩体主要为黑云母二长花岗岩,主要矿物为斜长石(30%~40%)、碱性长石(20%~30%)、石英(20%),其次为黑云母(5%~10%)。石英为细小的粒状,充填于其它较粗大的矿物颗粒之间;黑云母既有粗大的片状者,又有细小的片状者,反映了两个世代黑云母的特征。岩石的 SiO_2 为 68.01%,全碱含量为 6.69%, Na_2O 与 K_2O 基本相近, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为 1.01, A/NKC 为 1.03,岩石的组合指数 1.79,按欧文(1971)的 $\text{An}-\text{Ab}^*-\text{Or}$ 划分方案,属亚碱性系列花岗岩(Irvine, I. N., 1971),根据硅钾含量判别该岩体属高钾钙碱性。

2 实验条件及定年结果

两个样品的定年数据如表 1、2。

表 1 样品 98CL817-1 锆石 SHRIMP 定年结果

Table 1 The result of zircon SHRIMP dating for sample 98CL817-1

样品号	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Pb* (ppm)	²⁰⁴ Pb (ppb)	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb	f ₂₀₆	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±
98C8171_1.1	197	172	0.87	16	1	0.000106	0.0019	0.2611	0.00654	0.0212	0.00064	0.0709	0.00108
98C8171_2.1	216	118	0.54	17	5	0.000332	0.0059	0.1698	0.00702	0.0234	0.00106	0.0751	0.00124
98C8171_2.2	196	167	0.85	17	3	0.000226	0.0040	0.2680	0.01209	0.0238	0.00117	0.0758	0.00138
98C8171_3.1	163	133	0.82	14	5	0.000490	0.0088	0.2334	0.01118	0.0215	0.00145	0.0751	0.00296
98C8171_4.1	191	155	0.81	16	8	0.000622	0.0111	0.2487	0.00793	0.0225	0.00098	0.0733	0.0019
98C8171_4.2	215	116	0.54	18	6	0.000421	0.0075	0.1736	0.0066	0.0261	0.00110	0.0812	0.00133
98C8171_5.1	195	161	0.83	16	6	0.000450	0.0080	0.2543	0.00827	0.0229	0.00090	0.0745	0.00151

样品号	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th (Age)	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Age)	±	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U (Age)	±	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb (Age)	±	% CONC
98C8171_1.1	0.5443	0.02168	0.0557	0.00195	425	13	442	7	441	14	439	80	101
98C8171_2.1	0.5790	0.02552	0.0559	0.00217	468	21	467	8	464	17	450	89	104
98C8171_2.2	0.5817	0.04576	0.0556	0.00413	476	23	471	8	466	30	438	175	108
98C8171_3.1	0.5489	0.03892	0.0530	0.00288	429	29	467	18	440	26	330	128	141
98C8171_4.1	0.5273	0.03179	0.0522	0.00268	450	19	456	11	430	21	292	122	156
98C8171_4.2	0.5664	0.02926	0.0506	0.00238	521	22	503	8	456	19	223	113	226
98C8171_5.1	0.5657	0.03347	0.05510	0.00293	458	18	463	9	455	22	416	123	111

注: 数据是作者在美国斯坦福大学 SHRIMP 开放实验室测试, 误差范围 $\pm 1\sigma$, f 表示普通铅的百分含量, * 表示放射性成因铅

样品 CL817-1 在美国斯坦福大学离子探针实验室完成, 样品处理方法实验条件见参考文献(吴才来, 2001; Wu Cailai *et al.*, 2002)。锆石具有较好的晶形, 阴极发光照片显示出明显的环带结构(图 2), 为典型的岩浆结晶锆石, 共完

成 5 颗锆石 7 个点的测试。测试结果表明, 锆石 Th/U 比值均大于 0.5, 变化于 0.54 ~ 0.87, 应属岩浆型锆石(Hoskin *et al.*, 2000)。²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄变化于 $442 \pm 7 \sim 503 \pm 8$ Ma, 平均年龄为 464 ± 15 Ma(图 3)。

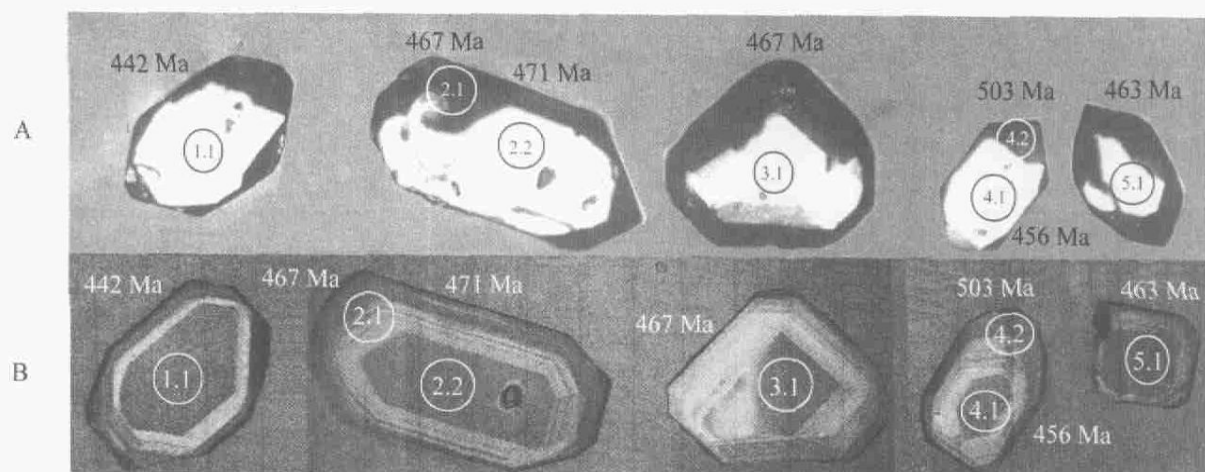


图 2 井子川石英闪长岩中锆石的正交偏光(A)和阴极发光照片(B)

Fig. 2 Photos of crossed polarization (A) and cathodoluminescence (B) of zircons in the granite from Jingzichun, east Qilian

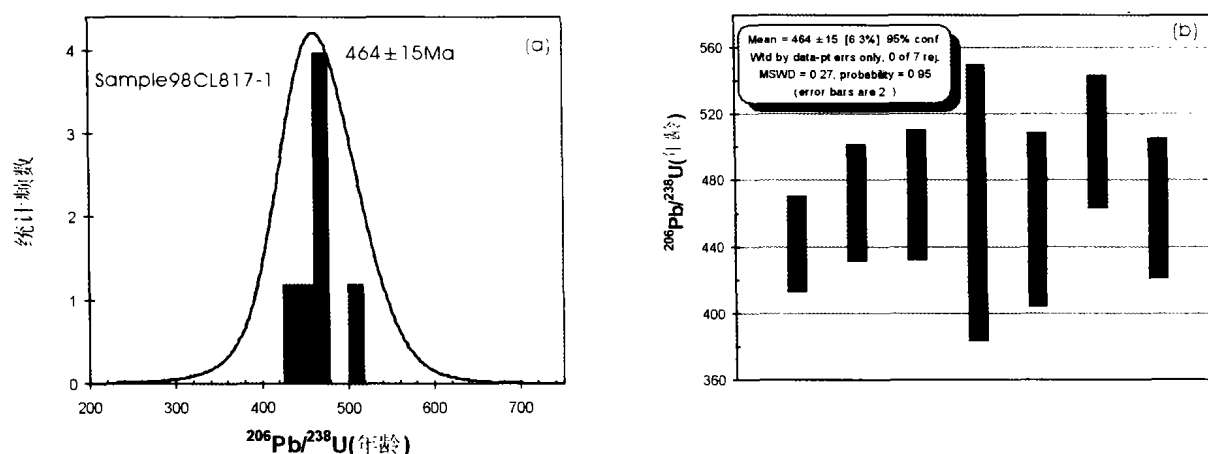


图3 钻石 SHRIMP 年龄统计直方图(a)和平均值年龄(b)

Fig. 3 a: Statistical histogram of ages; b: averaged age was calculated with SHRIMP data

表2 样品 CL810-1 锆石的 LA-ICP-MS 定年结果

Table 2 The result of zircon LA-ICP-MS dating for sample CL810-1

NO.	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{U}$	\pm	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	\pm	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	\pm	Age($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)	\pm
grain1	0.0960	0.00108	0.0599	0.00130	0.7931	0.01942	375	8
grain2	0.0540	0.00061	0.0612	0.00133	0.4559	0.01116	383	8
grain3	0.0573	0.00065	0.0646	0.00140	0.5098	0.01248	404	9
grain4	0.0723	0.00082	0.0598	0.00130	0.5961	0.01460	374	8
grain5	0.0553	0.00062	0.0610	0.00133	0.4653	0.01140	382	8
grain6	0.0580	0.00065	0.0852	0.00185	0.6821	0.01670	527	11
grain7	0.0692	0.00078	0.0760	0.00165	0.7251	0.01776	472	10
grain8	0.0598	0.00067	0.0767	0.00167	0.6328	0.01550	476	10
grain9	0.0533	0.00060	0.0630	0.00137	0.4634	0.01135	394	8
grain10	0.0611	0.00069	0.0614	0.00134	0.5173	0.01267	384	8
grain11	0.0555	0.00063	0.0653	0.00142	0.5000	0.01224	408	9
grain13	0.0523	0.00059	0.0607	0.00132	0.4380	0.01073	380	8
grain14	0.0559	0.00063	0.0622	0.00135	0.4794	0.01174	389	8
grain15	0.0503	0.00057	0.0598	0.00130	0.4146	0.01015	374	8
grain16	0.0575	0.00065	0.0603	0.00131	0.47803	0.01171	377	8
grain17	0.0520	0.00059	0.0604	0.00131	0.4326	0.01059	378	8
grain18	0.0491	0.00055	0.0594	0.00129	0.4017	0.00984	372	8

样品 CL810-1 在日本东京工业大学地球与行星科学系 Hirata 的 LA-ICP-MS 实验室完成。分析方法和实验条件见参考文献(Hirata *et al.*, 1995, 1997, 2000),共测试了 17 颗锆石。样品 CL810-1 锆石的年龄变化于 $372 \pm 8 \text{ Ma} \sim 527 \pm 11 \text{ Ma}$ 。年龄数据统计出现三个峰值(图 4 a),一组为 $527 \pm 11 \text{ Ma}$ (仅一颗锆石),第二组为 $472 \pm 10 \sim 476 \pm 10 \text{ Ma}$,第三组为 $372 \pm 8 \text{ Ma} \sim 408 \pm 9 \text{ Ma}$;从 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 投影图来看,也具有两个明显的年龄群(图 4 b),因此,结合年龄数据的分布特点,并考虑变化范围,分作两组数据分别用美

国斯坦福大学 SHRIMP 实验室提供的计算程序进行平均年龄计算,结果分别为 $383 \pm 6 \text{ Ma}$ 和 $487 \pm 29 \text{ Ma}$ (图 4c、4d)。

3 问题讨论

(1) 花岗岩的围岩时代:夏林圪等(1996)测定老虎山地区火山岩的 Sm-Nd 年龄为 454 Ma ,钱青等(1998)测定了老虎山闪长岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 423 Ma 。也就是说,老虎山地区火山岩的时代属中晚奥陶世,而老虎山岩体是中

志留世侵位的。然而,我们得到了井子川石英闪长岩的锆石 SHRIMP 年龄是 464 Ma ,说明岩体侵位时代属中奥陶世,而围岩时代至少大于或等于中奥陶世,而不是志留纪。产生年龄的差异可能由于不同定年方法本身造成的,Sm-Nd 全岩定年和单颗粒锆石 U-Pb 定年得到的年龄均是一种混合年龄或平均年龄,而不同岩石的锆石 SHRIMP 定年研究表明,同一个样品中的锆石特征不同,年龄也不相同;即使是同一颗锆石,其核部、幔部、边部都具有不同的年龄值。

黄羊河岩体的 LA-ICP-MS 定年数据明显存在两个集中区,一是 $372 \pm 8 \text{ Ma} \sim 408 \pm 9 \text{ Ma}$ (平均 383 Ma),另一个是 $472 \pm 10 \sim 527 \pm 11 \text{ Ma}$ (平均 487 Ma),结合区域地质特征和该岩体岩石地球化学特征,我们认为,该花岗岩的结晶时代为 383 Ma ,而 487 Ma 可能是残留的锆石年龄,根据花岗岩体产状特征,岩浆运移距离不远,可能是围岩部分熔融形成的。因此, 487 Ma 可能代表了围岩的年龄。

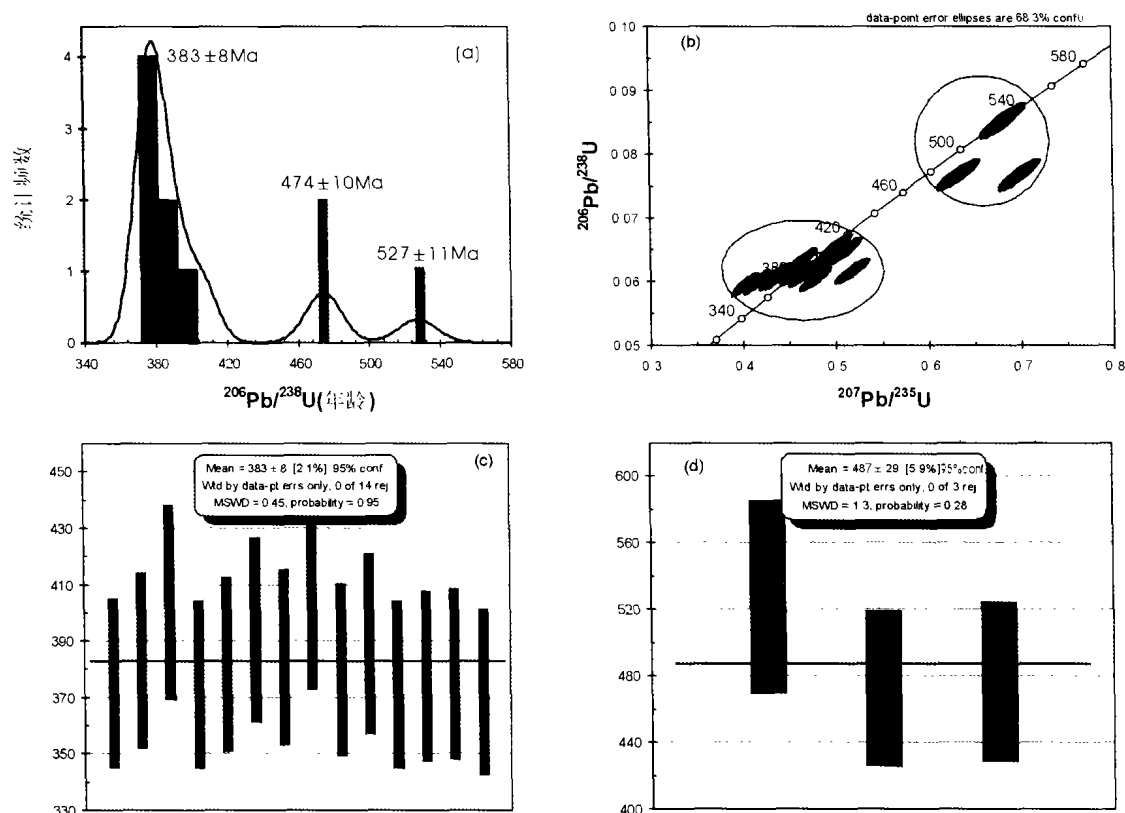


图4 a: 锆石 ICP-MS 年龄统计直方图, b: $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 投影图, c: 年龄变化范围为 $372 \pm 8 \text{ Ma} \sim 408 \pm 9 \text{ Ma}$ 的平均年龄, d: 年龄变化范围为 $472 \pm 10 \sim 527 \pm 11 \text{ Ma}$ 的平均年龄

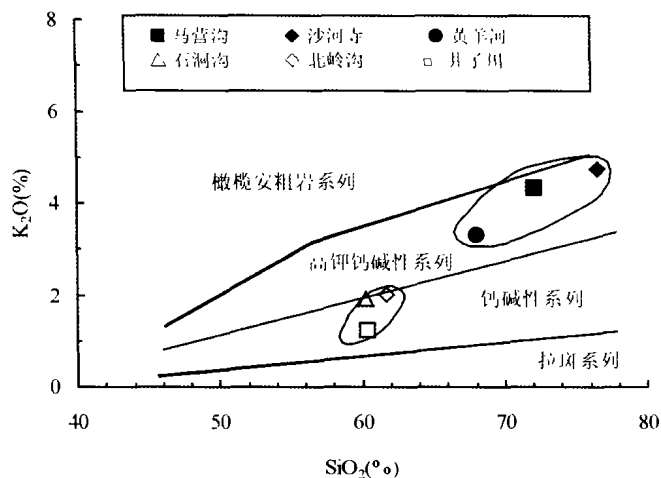
Fig. 4 a: statistical histogram of ages, showing three peaks of ages; b: project points between $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, existing two groups of ages; c: the averaged age from $372 \pm 8 \text{ Ma}$ to $408 \pm 9 \text{ Ma}$; d: the averaged age from 472 ± 10 to $527 \pm 11 \text{ Ma}$.

(2) 祁连东部花岗岩形成的构造环境: 祁连东部第二岩带上的花岗岩 Na_2O 含量远远大于 K_2O , 反映其原岩含有较多的火山岩成分, 而位于第一岩带上的黄羊河花岗岩的 Na_2O 含量小于 K_2O 或两者相近, 说明原岩含有较多的壳源成分 (表 3)。 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图表明 (图 5), 第二岩带上的花岗岩为典型的钙碱性系列, 而第一岩带上的黄羊河花岗岩为高钾钙碱性系列。一般认为, 高钾钙碱性花岗岩是碰撞后岩浆活动的重要特征之一, 其形成的构造环境为碰撞后环境 (Liegeois *et al.*, 1998)。

从稀土元素特征来看, 第一岩带上花岗岩的稀土总量 ($250 \sim 273 \text{ ppm}$) 高于第二岩带上花岗岩的稀土总量 ($61 \sim$

104 ppm), 轻重稀土比值大于 8, 第二岩带上花岗岩的轻重稀土比值均小于 8。从稀土配分模式图来看, 第一岩带上花岗岩岩体具有弱的负铕异常 ($\delta \text{Eu} 0.7 \sim 0.85$), 而第二岩带上花岗岩体负铕异常不明显 ($\delta \text{Eu} 0.84 \sim 0.95$) (图 6 a, b)。

两种类型花岗岩 ORG 标准化后的地球化学模型类似于 Jamalca 岛弧 I 型花岗岩 (图 6 c, d), 其中, 井子川诸岩体的 K、Rb、Ba、Th 相对富集, Ce 与洋脊型花岗岩相似, 其余元素 (Ta、Nb、Hf、Zr、Y、Yb) 的丰度均低于洋脊型花岗岩; 黄羊河等岩体不但 K、Rb、Ba、Th 相对富集, 而且 Ta、Nb、Ce 也高于洋脊型花岗岩, Hf、Zr 与洋脊型花岗岩相近, Y、Yb 低于洋脊型花岗岩。同时 Ce 比相邻的元素富集, Yb 的丰度特别低。

图5 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图Fig. 5 Diagram of $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$

上述这些特征表明,第二岩带上花岗岩类似于岛弧花岗岩,而第一岩带上的花岗岩类似于碰撞后花岗岩。

微量元素蛛网图上(图6 e,f),这些岩体具有相似的地幔岩标准化模型,均具有 Ba、Nb、P、Ti 的负异常,显示出岛弧花岗岩的特征,说明岩浆源自岛弧玄武岩。即源岩可能为岛弧型火山岩部分熔融或者是与形成岛弧型火山岩同源的岩浆演化形成。但两类花岗岩不同的是,黄羊河等岩体具有较高的微量元素丰度,而井子川等岩体的微量元素丰度较低;同时,一个最为重要的区别是黄羊河岩体具有明显的 Sr 负异常,说明该岩体在形成过程中,岩浆发生了强烈的分离结晶作用,同时也反映了岩石形成于相对长期的稳定环境,即非造山环境或造山后环境。结合花岗岩的锆石年龄,可以认为,第二岩带上的井子川等岩体,可能形成于岛弧环境,而第一岩带上的黄羊河等岩体可能形成于碰撞后环境,由岛弧火山岩部分熔融形成。

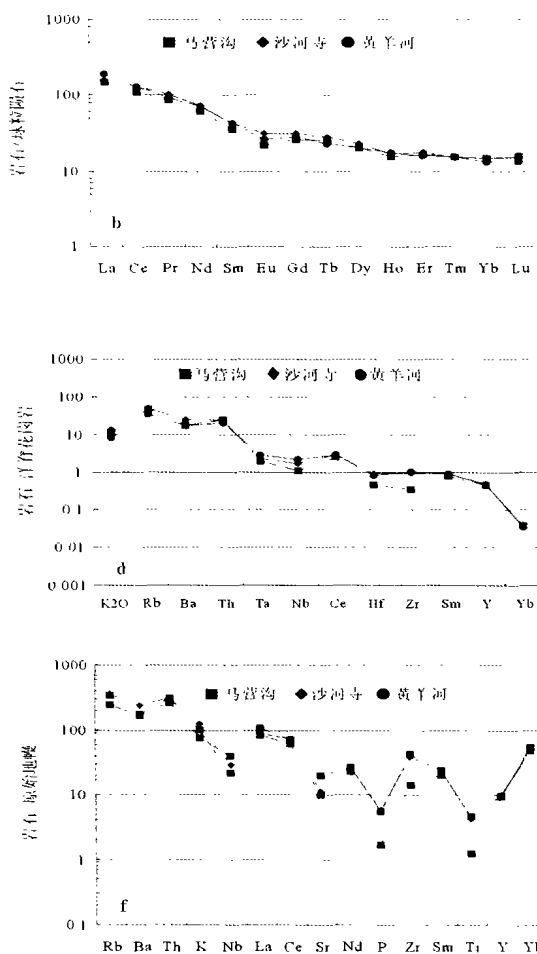
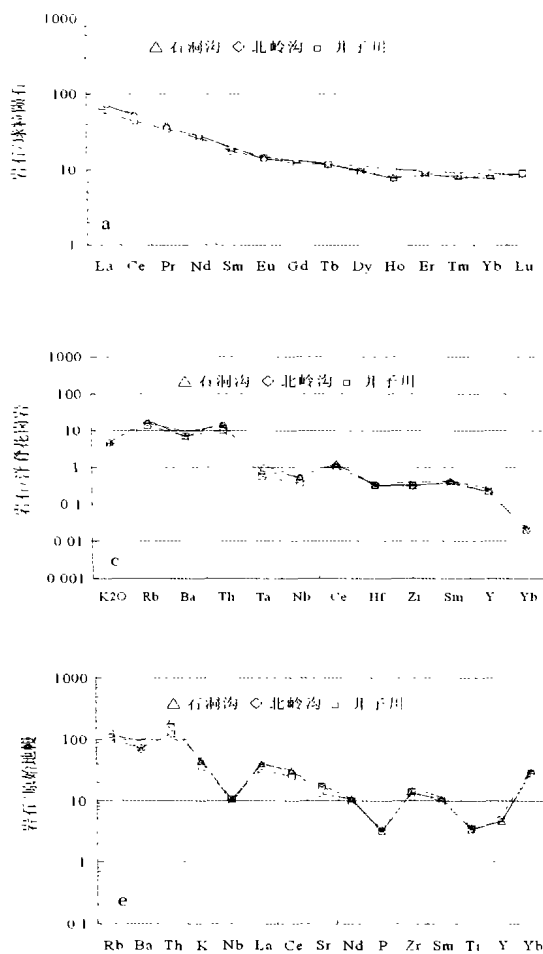


图6 祁连东部花岗岩类稀土微量元素地球化学图解

a,b: 稀土配分型式(球粒陨石值引自 Boynton, 1984), c,d: 洋脊花岗岩标准化模型(标准化值引自 Pearce *et al.*, 1984), e,f: 微量元素蛛网图(标准化值引自 Taylor *et al.*, 1979)

Fig. 6 Geochemical patterns of REE and trace elements of the granitoids from east Qilian

表 3 祁连东部花岗岩体化学分析结果

Table 3 Chemical composition of granitoids from the east Qilian

样品号 岩体名称	cl9987-1 石洞沟	cl990729-7 井子川	87812A01 北岭沟	87810A05 黄羊河	cl99-142 马营沟	cl99-154 沙河寺
SiO ₂	60.27	60.05	61.72	68.01	72.06	65.94
TiO ₂	0.54	0.56	0.59	0.74	0.20	0.69
Al ₂ O ₃	16.29	16.46	16.33	14.46	13.37	14.74
Fe ₂ O ₃	2.35	2.52	1.95	1.81	0.56	1.35
FeO	4.08	3.81	3.31	2.61	2.14	3.36
MgO	3.28	3.37	0.10	1.24	0.52	1.10
MnO	0.13	0.15	3.41	0.07	0.05	0.08
CaO	5.00	5.21	5.25	2.67	1.88	2.05
Na ₂ O	3.33	3.77	3.59	3.36	2.67	3.05
K ₂ O	1.91	1.54	2.01	3.33	4.34	5.46
P ₂ O ₅	0.13	0.13	0.14	0.23	0.07	0.24
H ₂ O ⁺	2.20	2.38			1.34	1.14
CO ₂	0.17	0.14			0.17	0.26
Σ	99.68	100.09	98.40	98.53	99.37	99.46
La	21.7	18.0	23.2	59.0	45.6	49.1
Ce	45.4	35.8	42.1	104.1	89.6	105
Pr	4.9	4.2	4.4	11.2	10.4	12.4
Nd	16.9	15.8	16.8	42.4	36.9	43.4
Sm	3.8	3.4	3.9	8.3	7.0	8.3
Eu	1.10	1.05	1.03	1.93	1.59	2.31
Gd	3.50	3.18	3.46	7.46	6.73	8.08
Tb	0.56	0.56	0.58	1.09	1.2	1.34
Dy	3.2	3.1	3.6	6.5	6.6	7.3
Ho	0.57	0.56	0.75	1.25	1.13	1.20
Er	1.91	1.77	1.97	3.36	3.47	3.73
Tm	0.25	0.27	0.30	0.50	0.5	0.49
Yb	1.76	1.58	1.91	2.80	3.11	3.12
Lu	0.29	0.30	0.29	0.44	0.52	0.50
Y	15.6	15.5	19.4	33.0	32	33.9
Ba	349	368	489	857	898	1228
Cr	35	35	90	18	9	19
Ni	10	11	30	13	3.9	6
V	134	140	104	61	9.2	45
Co	15	15			2	7
Cu	21	6	22	6	5	12
Zn	61	57	56	67	19	58
Rb	77	54	64	136	189	197
Sr	224	301	326	353	178	199
Pb	8	9	16	19	25	29
Th	13	8	11	17	20	20
U	0.8	1.0	1.8	2.7	1.7	2.2
Hf	2.93	3.03	3.25	7.28	4.11	8.21
Nb	5.8	6.0	5.0	22.2	11.9	16.3
Ta	0.57	1.13	0.86	2.00	1.32	1.24
Zr	107	115	134	359	118	322
Se	0.01	0.01	18.00	11.00	0.01	0.03

(3) 区域构造演化:20 世纪 70 年代以来,不少学者对北祁连造山带的构造演化进行了深入的研究(王荃等,1976;肖序常等,1978,1988;左国朝等,1987;许志琴等,1994;夏林圻等,1998)。概括起来,主要有两种观点:一是认为北祁连曾是古特提斯洋的一部分,其构造演化应属于古特提斯构造带的范畴之内;另一种观点认为,北祁连曾经是华北大陆板块(或中朝克拉通)南缘的一个洋盆,由陆缘拉张开始,逐渐

形成大洋,然后大洋闭合形成造山带。特别是 20 世纪 90 年代以来,夏林圻等(2001)对北祁连火山岩进行了详细的工作,并提出了北祁连的构造演化及岩浆作用过程。即在晚元古代-寒武纪(679~514Ma),由于地幔柱作用,导致北祁连山前寒武纪变质基底发生裂谷作用,进而形成北祁连洋,主要特征是碱性玄武岩和拉斑玄武岩共存。随着大陆裂解,在寒武纪末-早奥陶世(522~495Ma),形成洋脊玄武岩。到奥陶

纪(486~445Ma),北祁连洋板块自SW往NE向华北板块之下俯冲,形成一套岛弧拉斑玄武岩和岛弧钙碱性火山岩。随着俯冲作用的进行,在弧后形成了弧后盆地或次级洋盆(469~454Ma)。北祁连洋闭合的时代为晚奥陶纪-志留纪(445~428Ma)。因此,我们认为,第二岩带上井子川等花岗岩体形成于中奥陶世(464Ma),其侵入的构造环境为火山岛弧,第一岩带上的黄羊河等岩体形成于北祁连洋闭合后晚志留-泥盆纪(>383Ma)。

4 结论

根据上述定年结果,可以得出如下结论:

(1)祁连东部井子川岩体锆石 SHRIMP 年龄为 464 ± 15 Ma,黄羊河岩体锆石的 ICP-MS 年龄为 383 ± 6 Ma。

(2)井子川岩体的围岩时代应早于 464 ± 15 Ma,为中奥陶世,而不是志留纪。

(3)祁连洋壳俯冲的时代应早于中奥陶纪,井子川岩体形成于岛弧环境;黄羊河岩体属碰撞后花岗岩,是具岛弧性质的围岩部分熔融形成,岩体的年龄应代表板块闭合后的时代。

References

- Hirata T, Nesbitt R W. 1995. U-Pb isotope geochronology of zircon: Evaluation of the laser probe-inductively coupled plasma mass spectrometry technique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 2491 - 2500
- Hirata T. 1997. Soft ablation technique for laser ablation microprobe inductively coupled plasma mass atomic emission spectrometry. *J. Anal. At. Spectrom.*, 12: 13337 - 1342
- Hirata T. 2000. Development of a flushin spray chamber for inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J. Anal. Atom. Spectrom.*, 15: 1447 - 1450
- Hoskin P W O and Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *J. Metamorphic Geol.*, 18: 423 - 439
- Irvine I N. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8: 532 - 548
- Liegeois J P, Navez J, Hertogen J and Black R. 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids. The use of sliding normalization. *Lithos*, 45: 1 - 28
- Qian Qing, Wang Yueming, Li Huimin, Jia Xiuqin, Han Song and Zhang Qi. 1998. Geochemical Characteristics and Genesis of Diorites from Laohushan, Gansu Province. *Acta Petrologica Sinica*, 14(4): 520 - 528 (in Chinese with English abstract)
- Wang Qian, Liu Xueya. 1976. The ancient oceanic crust and tectonic significance in Qilianshan area, western China. *Scientia Geologica Sinica*, (1): 42 - 55 (in Chinese with English abstract)
- Wu Cailai, Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Trevor Ireland, Li Haibing, Wang Yusheng and Shi Rendeng. 2002a. Relationship between granite and eclogite on the south margin of the Qilian Mountains: Evidence from zircon SHRIMP ages of the Aolaoshan granite. *Acta Geologica Sinica*, 76(1): 118 - 125
- Wu Cailai, Yang Jingsui, J. Wooden, J. G. Liou, Li Haibing. 2002b. Zircon SHRIMP dating of granite from Qaidamshan, NW China. *Chinese Science Bulletin*, 47(5): 418 - 422
- Xia Linqi, Xia Zuchun and Ren Youqiang, Xu Xueyi and Yang Hequn. 2001. Dynamics of tectonic-volcanic magma-oreforming in the North Qilian Mountains. Beijing: China Dadi Publishing House. 1 - 296 (in Chinese)
- Xia Linqi, Xia Zuchun and Xu Xueyi. 1996. The Petrogenesis of Marine Volcanic Rocks from the North Qilian Mountains. Beijing: Geological Publishing House. 1 - 153 (in Chinese)
- Xia Linqi, Xia Zuchun and Xu Xueyi. 1998. Early Paleozoic mid-ocean ridge-ocean island and back-arc basin volcanism in the north Qilian mountains. *Acta Geologica Sinica*, 72(4): 301 - 312 (in Chinese with English abstract)
- Xiao Xuchang, Chen Guoming and Zhu Zhizhi. 1978. The geological structure significances of ancient ophiolite in Qilianshan, NW China. *Acta Geologica Sinica*, 54(1): 287 - 295 (in Chinese with English abstract)
- Xu Zinqin, Xu Huifen, Zhang Jianxin *et al.* 1994. The Zoulangnanshan Caledonian subductive complex in the north Qilian Mountains and its dynamics. *Acta Geologica Sinica*, 68(1): 1 - 15 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Wang Yueming, Qian Qing. 1997b. Geochemical characteristics of pillow lavas in ophiolite and its overlying rock sequence in the Laohushan area from Jingtai County, Gansu Province. *Acta Petrologica Sinica*, 13(1): 92 - 99 (in Chinese with English abstract)
- Zuo Guocao and Liu Jichen. 1987. the Early Paleozoic tectonic evolution of north Qilian. *Scientia Geologica Sinica*, 1: 14 - 24 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 王荃,刘雪亚. 1976. 我国西部祁连山地区的古海洋地壳及大地构造意义. *地质科学*, (1): 42 - 55
- 肖序常,陈国铭,朱志直. 1978. 祁连山古蛇绿岩的地质构造意义. *地质学报*, 54(1): 287 - 295
- 左国朝,刘寄陈. 1987. 北祁连早古生代大地构造演化. *地质科学*, (1): 14 - 24
- 许志琴,徐惠芬,张建新等. 1994. 北祁连走廊加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学. *地质学报*, 68(1): 1 - 15
- 夏林圻,夏祖春,徐学义. 1996. 北祁连海相火山岩成因. 北京:地质出版社, 1 - 153
- 夏林圻,夏祖春,徐学义. 1998. 北祁连山洋脊-洋岛和弧后盆地火山作用. *地质学报*, 72(4): 301 - 312
- 夏林圻,夏祖春,任有祥,徐学义,杨合群. 2001. 北祁连山构造-火山岩浆-成矿动力学. 北京:中国大地出版社, 1 - 269
- 钱青,王岳明,李惠民,贾秀琴,韩松,张旗. 1998. 甘肃老虎山闪长岩的地球化学特征及其成因. *岩石学报*, 14(4): 520 - 528
- 吴才来,杨经绥,李海兵,史仁灯. 2001. 祁连南缘峨眉山花岗岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义. *岩石学报*, 2001, 17(2): 215 - 221
- 张旗,王岳明,钱青,孙晓猛,王金荣,刘明强. 1997. 甘肃景泰县老虎山地区蛇绿岩及其上覆岩系中枕状熔岩的地球化学特征. *岩石学报*, 13(1): 92 - 99