

阿尔金南缘榴辉岩带中花岗片麻岩的时代及构造环境探讨

王超,刘良*,车自成,陈丹玲,张安达,罗金海

(大陆动力学国家重点实验室,西北大学地质系,西安 710069)

摘要: 阿尔金南缘江孜勒萨依一带榴辉岩的围岩花岗片麻岩具有高 SiO_2 ($>70\%$)、高铝 ($Al_2O_3 >13\%$) 和高碱 ($ALK=7.52\sim8.91$) 的特征,铝饱和度指数 $ASI=1.10\sim1.27$,属于钙碱性过铝质花岗质岩石;岩石强烈富集大离子亲石元素 Rb 和 Th,中等富集 K 和 Ba,亏损高场强元素 Nb, Zr, Hf, Y 和 Yb;具典型大陆碰撞型花岗岩相应的元素丰度特征;岩石的稀土元素含量较高,轻、重稀土分馏明显,总体呈右倾的“V”型稀土配分模式,显示壳源型花岗岩特征;在 R_1-R_2 构造环境判别图上落于同碰撞花岗岩区。锆石的阴极发光图像和微量元素分析结果显示了典型岩浆锆石的特征,利用 LA-ICP-MS 方法进行锆石微区 U-Pb 同位素定年,得到 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄值为 923 ± 13 Ma,表明江孜勒萨依花岗片麻岩的原岩形成时代为新元古代早期。阿尔金新元古代同碰撞花岗岩的确定,不仅明确了新元古代早期陆块汇聚在该区的存在,而且对区内新元古代早期造山作用的鉴别,重塑西部古大陆的演化历史、构造格架以及探讨它们之间的关系都有十分重要的意义,同时对于深入探讨区内高压-超高压岩石与围岩之间的相互关系提供了重要的约束资料。

关键词: 阿尔金;江孜勒萨依;同碰撞花岗岩;新元古代;锆石;LA-ICP-MS 定年

中图分类号: P588.34; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2006)01-0074-09

阿尔金南缘榴辉岩带位于阿尔金造山带西南缘,其中在江孜勒萨依一带榴辉岩最为发育并呈透镜体状产于花岗质片麻岩之中。近年来,在该带中已发现了超高压变质作用的证据,先后有许多学者对该区包括榴辉岩在内的高压-超高压岩石的变质作用及变质时代进行了深入研究(车自成等,1995;刘良等,1996,1998,1999,2002,2003,2005;张建新等,1999,2001,2002),但对其围岩研究较少,高压-超高压岩石与围岩之间的关系不十分清楚。部分学者通过对阿尔金断裂带两侧地质单元的对比,认为阿尔金南缘高压-超高压岩带是柴北缘高压-超高压岩带的西延部分(许志琴等,1999;陆松年,2002;于海峰等,2002),并由此推测,在阿尔金南缘高压-超高压岩带中应该出现一套类似于柴北缘沙

柳河—鱼卡河榴辉岩带中反映 Rodinia 超大陆事件的新元古代早期的花岗片麻岩。但由于对阿尔金地区花岗片麻岩原岩形成的大地构造环境和时代缺乏详细的研究,这种推测一直未得到证实。鉴于此,本文在对阿尔金江孜勒萨依榴辉岩围岩——花岗质片麻岩详细的地球化学研究基础上,利用阴极发光和激光等离子质谱(LA-ICP-MS)分析技术,对该岩石中的锆石进行了原位 U-Pb 同位素定年,进而探讨该花岗质片麻岩形成的大地构造背景及其时代。

1 地质背景简况与样品地质产状

近年来研究表明,阿尔金造山带是由早古生代古板块(或地块)之间相互俯冲-碰撞形成的复杂

收稿日期:2005-03-29;修回日期:2005-07-03

基金项目:国家重点基础研究发展规划(G1999075508);国家自然科学基金项目(40372088;40032010-C;49972063;40472043);陕西省自然科学基金(编号:2002D03)课题资助成果

作者简介:王超,1979年生,男,西北大学硕士生,从事岩石学大地构造学研究。通讯地址:西安市太白北路229号,邮编:710069。Email: Wangchao@mail@yaoweb.com; *通讯作者:刘良教授,Email: Liuliang@edu.cn

构造带,后来又被中新生的走滑断裂系改造。依据区内不同地质体的地质特征,以及岩石学、地球化学和同位素年代学等方面研究,该造山带由北向南依次可划分为阿北变质地体、红柳沟—拉配泉构造混杂岩带、阿中(米兰河—金雁山)地块、阿南茫崖构造混杂岩带等4个构造单元(刘良等,1999; Liu et al, 2000),阿尔金南缘榴辉岩带位于阿中(米兰河—金雁山)地块与阿南茫崖构造混杂岩带之间(图1)。

阿尔金南缘榴辉岩带的围岩,主要为一套英云闪长质—花岗质片麻岩,它与夕线石榴片麻岩、蓝晶石榴片麻岩以及石榴斜长角闪岩等以角闪岩相为主的变质杂岩一起构成“阿尔金山岩群”(于海峰等, 2002)。本文所研究的花岗质片麻岩位于且末地区的江孜勒萨依一带,采样位置见图1。该岩石呈灰白色,中粒鳞片粒状变晶结构,主要组成矿物有钾长石(30%)、斜长石(30%~45%)、石英(25%)和黑云母(12%~15%),含少量白云母(2%),粒度在0.3~1.0 cm之间,副矿物有锆石、磷灰石、钛铁矿等,具片麻状构造。岩石强烈变形,发生明显糜棱岩化,长英质矿物被拉长,呈条带状分布,定向流动明显。构造片理方向与阿尔金南缘主断裂(北东东)

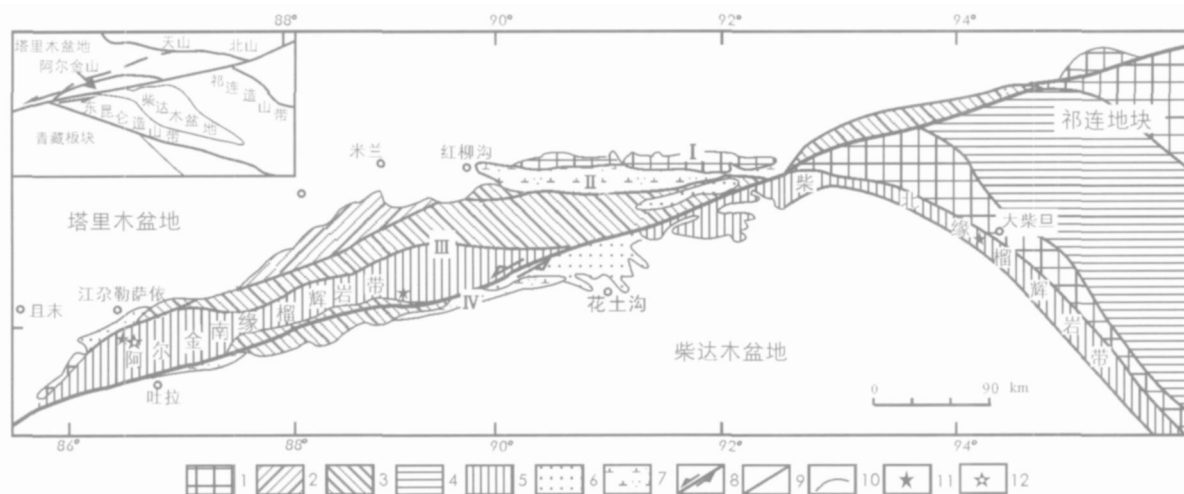
呈斜切关系。根据岩石的矿物组合及其结构构造特征分析,该岩石经历了角闪岩相的变质变形。

2 样品分析方法

全岩的主量和微量元素分析是在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成的。主量元素分析在日本理学 RIX2100 XRF仪上测定;微量和稀土元素是在美国 Perkin Elmer公司 Elan 6100DRC 型电感耦合等离子质谱(ICP-MS)仪上进行分析的,样品测试经 AVG-1和 BHVO-1国际标样监控。

对于锆石样品靶的制备,首先是将挑选好的锆石用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,抛光至锆石露出核部,然后进行锆石的 CL 显微成像及 LA-ICP-MS 分析。锆石的 CL 图象分析是利用中国地质科学院电子探针仪上加载的阴极荧光仪完成。

锆石的原位 U-Pb 年龄测定是利用西北大学大陆动力学国家重点实验室的四极杆 ICP-MS Elan6100DRC。本研究在标准模式下进行。激光剥锆石的原位 U-Pb 年龄测定是利用西北大学大陆动力学教育部重点实验室的四极杆 ICP-MS Elan6100DRC。本研究在标准模式下进行。激光剥



I. 阿北变质地体 (Abei metamorphic block), II. 红柳沟—拉配泉混杂岩带 (Hongliugou - Lapeiquan mélange), III. 米兰河—金雁山地块 (Milanhe - Jinyanshan block), IV. 茫崖混杂岩带 (Mangya mélange); 1. 太古代—早元古代 (Archaean - Epiproterozoic), 2. 中元古代 (Mesoproterozoic), 3. 中晚元古代 (Mesoproterozoic - Neoproterozoic), 4. 古生代褶皱带 (Paleozoic fold belt), 5. 含榴辉岩碰撞杂岩带 (eclogite-bearing collision complex zone), 6. 中生代 (Mesozoic - Cenozoic), 7. 蛇绿混杂岩带 (Ophiolite mélange), 8. 走滑断层 (strike-slip fault), 9. 断裂 (fault), 10. 构造界线 (boundary between tectonic units), 11. 榴辉岩产地 (location of eclogite), 12. 采样位置 (sampling location of Jianggaleisayi granitic gneiss)。

图1 阿尔金及邻区构造地质略图(据刘良等,1996;于海峰等,2002,等修改)

Fig 1 Geological sketch map of Altyn Tagh and its adjacent area (after Liu Liang et al, 1996; Yu Haifeng et al, 2002)

测试时激光束斑直径为 30 μm 。详细分析步骤和数据处理方法已有专文介绍(袁洪林等, 2003)。

3 地球化学特征

江孜勒萨依花岗片麻岩的 SiO_2 含量变化于 70.55%~74.07%, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.14\% \sim 14.62\%$, $\text{K}_2\text{O} = 4.71\% \sim 5.99\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 2.15\% \sim 3.22\%$, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, $\text{CaO} = 1.28\% \sim 2.19\%$ (表 1)。岩石为过铝质花岗岩 ($\text{ACNK} > 1.0$), 总体显示了高 SiO_2 ($> 70\%$)、高铝 ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 13\%$) 和高碱 ($\text{ALK} = 7.52 \sim 8.91$) 的特征。

表 1 江孜勒萨依花岗片麻岩的
常量元素 (%) 和微量元素 ($\times 10^{-6}$) 分析结果及参数

Table 1 Major and trace elements compositions and
parameters of the Jiangzileisayi granitic gneiss

元素	02a-03	02a-08	02a-24	lg-16
SiO_2	74.07	72.90	70.55	73.39
TiO_2	0.19	0.19	0.46	0.18
Al_2O_3	13.14	13.84	14.62	13.64
TFe_2O_3	1.87	1.76	3.47	0.98
FeO	1.32	1.28	2.78	0.66
MnO	0.03	0.03	0.06	0.02
MgO	0.29	0.37	0.54	0.24
CaO	1.40	1.45	2.19	1.28
Na_2O	2.15	3.22	2.81	3.03
K_2O	5.99	5.00	4.71	5.88
P_2O_5	0.14	0.08	0.14	0.07
LOI	0.53	0.91	0.33	0.04
TOTAL	99.80	99.73	99.88	99.67
Fe-number	0.82	0.78	0.84	0.73
ACNK	1.05	1.04	1.07	1.00
MAL I	6.74	6.77	5.33	7.63
ASI	1.18	1.16	1.27	1.10
Rb	306.00	278.70	164.10	234.00
Sr	78.20	77.50	175.00	97.00
Y	46.80	23.20	63.60	50.00
Zr	109.80	154.00	343.40	148.00
Nb	7.13	20.00	28.50	13.00
Th	9.11	28.59	35.20	18.00
Hf	3.56	5.26	11.30	6.58
Cs	13.76	11.32	12.24	1.13
Sc	3.10	3.14	7.50	3.00
Ta	0.77	2.89	1.86	1.55
U	1.72	4.27	3.49	16.70

续表 1

元素	02a-03	02a-08	02a-24	lg-16
La	28.20	43.50	100.60	98.00
Ce	62.10	87.20	217.00	179.00
Pr	7.58	10.34	23.80	19.12
Nd	29.80	38.70	94.10	64.10
Sm	6.77	8.20	17.50	12.60
Eu	1.18	0.79	3.47	0.61
Gd	6.33	6.72	15.00	9.53
Tb	1.23	0.97	2.07	1.17
Dy	7.22	4.39	10.90	5.63
Ho	1.55	0.70	2.30	0.93
Er	4.26	1.58	6.73	1.92
Tm	0.70	0.21	1.13	0.24
Yb	4.72	1.39	8.66	1.57
Lu	0.70	0.21	1.46	0.20
K/Rb	162.50	148.94	238.27	208.59
Y/Ho	30.20	33.11	27.66	53.76
Nb-Ta	9.28	6.92	15.33	8.39
δEu	0.56	0.33	0.66	0.17
$(\text{La/Yb})_N$	3.95	20.60	7.67	41.22
ΣREE	162.00	205.00	504.00	395.00

$\text{ACNK} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $\text{Fe-number} = \text{FeO} / (\text{FeO} + \text{MgO})$, $\text{MAL I} = \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO}$, $\text{ASI} = \text{Al} / (\text{Ca} - 1.67\text{P} + \text{Na} + \text{K})$; 02a和 lg 为样品编号。样品均为花岗质片麻岩, 由西北大学大陆动力学国家重点实验室分析测定。

岩石稀土元素总量相对较高, $\Sigma\text{REE} = (162 \sim 504) \times 10^{-6}$ (表 1), 轻、重稀土分异明显 $(\text{La/Yb})_N = 3.95 \sim 41.22$, 具强烈—中等的 Eu 负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.17 \sim 0.66$), 总体呈右倾的“V”型稀土配分模式 (图 2a), 显示了典型的地壳重熔型花岗岩的稀土组成特征。但从图 2a 可看出, 样品 02a-24、02a-03 相对于 02a-08, lg-16 具有较低的 $(\text{La/Yb})_N$ 比值和高 δEu 。从岩相学观察可知, 这主要是由于前两个样品中黑云母和斜长石含量 (分别为 15% 和 45%) 较高所导致; 由于斜长石强烈富集 Eu, 而暗色矿物黑云母相对富集重稀土, 从而使前两个样品的轻、重稀土的分馏降低, Eu 的负异常相对减弱。

在洋脊花岗岩标准化蛛网图上 (图 2b), 阿尔金花岗质片麻岩强烈富集大离子亲石元素 Rb 和 Th, 中等富集 K 和 Ba, 亏损高场强元素 Nb, Zr, Hf, Y 和 Yb, Ce 和 Sm 相对于其相邻元素的富集, 具有明显的 Nb-Ta 槽, 元素的丰度特征与典型陆-陆碰撞 S 型花岗岩 (Pearce et al., 1984) 相似。

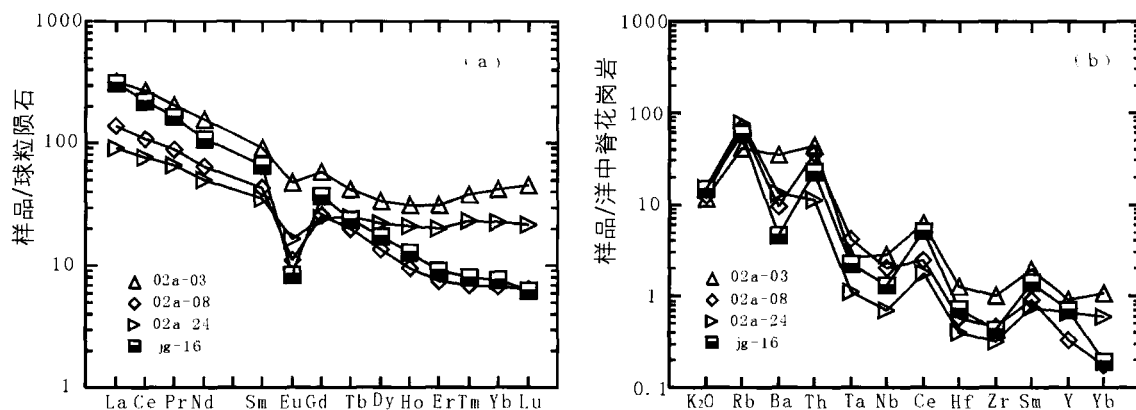


图 2 江孜勒萨依花岗片麻岩的稀土配分模式图 (a)及蛛网图 (b)

Fig 2 Chondrite-normalized REE patterns (a), Ocean ridge granite-normalized spider diagram (b) for the Jianggaleisayi granitic gneiss

4 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

4.1 锆石的 CL 图像

花岗质片麻岩 (样品 O2a-24) 中的锆石多呈长柱状, 透明度好, 粒度介于 $50 \sim 180 \mu\text{m}$ 之间。阴极发光图像 (图 3) 显示, 锆石内部结构比较复杂, 主要可以分为两类: 一类为具有核-幔结构的锆石, 核部为相对均匀的亮色残核, 应该为部分熔融过程中原岩锆石的残留, 幔部多具窄的岩浆振荡环带, 个别锆石边缘具亮色边 ($< 10 \mu\text{m}$; 1~4 号锆石), 可能是后期改造作用的结果, 但由于其边缘太窄而无法进行年代学研究; 另一类是岩浆锆石, 锆石的形态呈完好的自形晶, 具有清晰的振荡环带 (如 5 和 6 号锆石)。

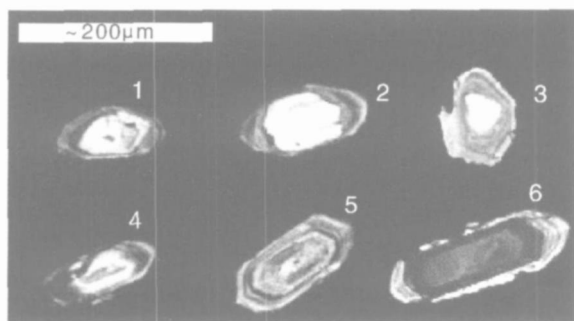


图 3 锆石的阴极发光照片 (图中 1~6 为锆石编号)

Fig 3 CL images of zircons from the Jianggaleisayi granitic gneiss (the number represents the grain's serial number)

4.2 锆石的微量元素特征

锆石 (样品 O2a-24) 微量元素分析结果 (表 2)

显示, 本区锆石的核部测点稀土总量高于幔部测点, 但是无论核部或幔部, 总体上 Th, U, Nb 和 Ta 含量均较高 (分别为 $(39.23 \sim 208.42) \times 10^{-6}$, $(295.16 \sim 993.48) \times 10^{-6}$, $(6.81 \sim 11.37) \times 10^{-6}$ 和 $(0.38 \sim 3.47) \times 10^{-6}$), Th/U 和 Nb/Ta 比值分别为 $0.13 \sim 0.58$, $3.10 \sim 17.78$; 锆石的稀土元素含量很高且变化范围大, $\Sigma\text{REE} = (237.90 \sim 1279.45) \times 10^{-6}$, 轻稀土亏损、重稀土强烈富集, $(\text{Yb}/\text{Gd})_N = 16.12 \sim 33.14$; 所有测点都具有明显的 Ce 正异常和 Eu 负异常 (图 4), 并且异常变化范围大 ($\delta\text{Ce} = 4.55 \sim 40.29$, $\delta\text{Eu} = 0.06 \sim 0.29$), 均显示了典型壳源岩浆锆石的特征 (Hermann et al, 1990; Vavra et al, 1996, 1999; Belusova et al, 2002; Rubatto, 2002; Whitehouse et al, 2003)。

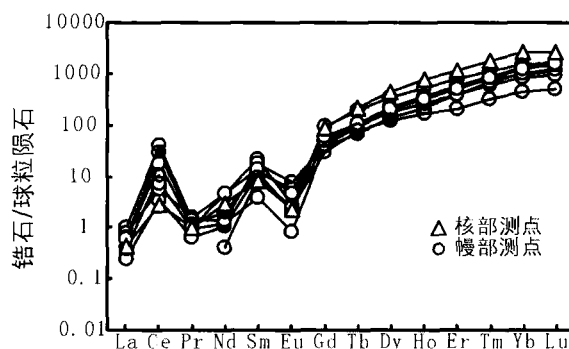


图 4 锆石的稀土元素分配型式

Fig 4 Chondrite-normalized REE patterns of zircons from the Jianggaleisayi granitic gneiss

表 2 江孜勒萨依花岗岩中锆石的微量元素 ($\times 10^{-6}$)

Table 2 Trace elements compositions ($\times 10^{-6}$) of zircons from the Jianggaleisayi granitic gneiss

微量元素	44-1m	44-2m	44-3m	44-4m	44-5m	44-6m	44-7m	44-8c
Nb	7.99	8.38	10.74	11.37	10.58	9.42	6.81	7.34
La	0.06	0.21	0.00	0.17	0.27	0.15	0.11	0.11
Ce	2.52	4.09	5.41	23.61	32.47	13.44	8.01	2.00
Pr	0.06	0.16	0.10	0.12	0.14	0.10	0.00	0.10
Nd	0.56	2.60	0.64	1.05	0.71	2.52	0.21	1.56
Sm	2.12	3.95	0.68	2.26	3.30	2.50	1.69	1.46
Eu	0.14	0.18	0.05	0.38	0.54	0.32	0.157	0.16
Gd	13.04	23.92	10.55	12.85	9.94	15.07	7.28	22.53
Tb	4.95	9.44	4.66	5.42	3.27	5.44	3.88	10.82
Dy	66.09	111.12	57.81	70.28	44.53	69.65	38.82	146.88
Ho	24.83	40.78	20.17	27.92	16.22	23.78	12.10	59.75
Er	116.78	174.08	86.44	125.82	87.52	114.88	43.63	269.58
Tm	25.79	37.31	20.07	28.99	22.19	26.40	10.34	61.16
Yb	221.26	345.11	182.64	299.22	234.33	277.48	95.12	605.11
Lu	39.53	58.40	32.34	50.74	42.78	57.01	16.56	98.23
Hf	9211	8538	9790	7712	7466	8393	8509	7727
Ta	1.24	0.77	3.47	1.62	1.58	1.90	0.38	1.33
Pb	12.44	12.46	26.11	60.02	47.51	23.87	9.21	15.45
Th	66.39	110.25	114.07	171.09	208.42	190.18	39.23	155.88
U	350.17	295.16	848.72	490.70	360.32	974.56	310.44	993.48
Th/U	0.19	0.37	0.13	0.35	0.58	0.20	0.13	0.16
Nb/Ta	6.44	10.88	3.10	7.02	6.70	4.96	17.78	5.52
Σ REE	517.74	811.35	421.56	648.83	498.21	608.74	237.90	1279.45
(Yb/Gd) _N	20.94	17.80	21.36	28.74	29.08	22.72	16.12	33.14
δ_{Ce}	9.55	5.35		40.29	40.12	26.1		4.55
δ_{Eu}	0.08	0.06	0.06	0.22	0.29	0.16	0.14	0.08

1~8为测点编号,c代表锆石核部测点,m代表锆石幔部测点

4.3 锆石的 U-Pb定年

本文对该花岗质片麻岩 (样品 O2a-24) 中的 12 粒锆石进行了 20 次分析, 其结果见表 3 和图 5。图 5 中所有测点的年龄数据几乎均落在一致曲线附近, 其中有 12 个测点组成一个年龄密集区 (图 5a), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 894~958 Ma 之间, 加权平均年龄 $923 \pm 13 \text{ Ma}$ (图 5b)。这 12 个测点均位于锆石具有岩浆振荡环带的微区, 具有较高的 U 和 Th 含量 (分别为 $(97.72 \sim 549.51) \times 10^{-6}$ 和 $(32.97 \sim 305.73) \times 10^{-6}$), 为岩浆锆石的特征 (Rubatto, 2002)。因此, $923 \pm 13 \text{ Ma}$ 的年龄值应该代表该花岗质片麻岩原岩的形成年龄; 来自锆石核部测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 1 039~2 341 Ma 之间, 均位于谐和线下方, 应代表遭受了不同程度重结晶改造的古老岩浆残留年龄。另外, 在 $923 \pm 13 \text{ Ma}$ 年龄集中区之下, 还有一个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $843 \pm 11 \text{ Ma}$ (测点 12.1), 该测点的位置靠近锆石颗粒的

边缘, 可能是混合了后期变质或其它地质事件影响的混合年龄。

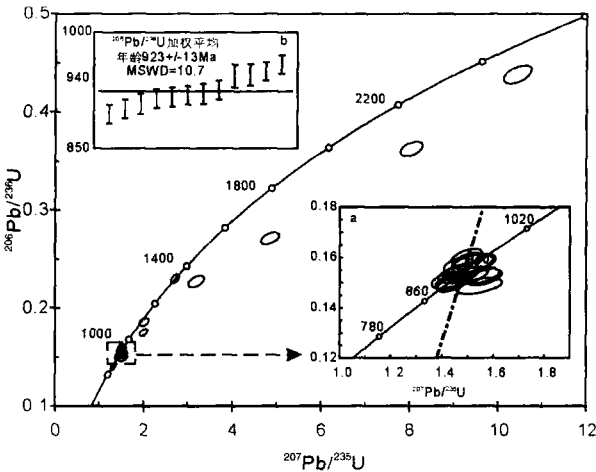


图 5 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图
Fig 5 Concordia diagrams showing U-Pb analyses of zircons from Jianggaleisayi granitic gneiss

表 3 江孜勒萨依花岗片麻岩中的锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果
Table 3 LA-ICP-MS U-Pb data for zircons from the Janggaleisayi granitic gneiss

测点	Th (/10 ⁻⁶)	U (/10 ⁻⁶)	Th/U	²⁰⁴ Pb (/10 ⁻⁶)	Pb* (/10 ⁻⁶)	同位素比值			年龄 /Ma		
						²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U
1. 1	46.3	97.7	0.47	11.8	75.22	0.06920 ± 0.00296	1.50275 ± 0.06307	0.15751 ± 0.00261	905 ± 59	932 ± 26	943 ± 15
2. 1	56.9	121	0.47	13.7	86.88	0.06927 ± 0.00252	1.46518 ± 0.05261	0.1534 ± 0.00235	907 ± 49	916 ± 22	920 ± 3
3. 1	65.0	263	0.25	9.07	232.09	0.07851 ± 0.00305	2.00866 ± 0.07225	0.18555 ± 0.00272	1160 ± 79	1118 ± 24	1097 ± 15
4. 1	66.5	104	0.64	7.58	116.31	0.10158 ± 0.00391	3.18308 ± 0.1197	0.22726 ± 0.00393	1653 ± 44	1453 ± 29	1320 ± 21
5. 1	33.0	246	0.13	11.33	197.39	0.08321 ± 0.00255	2.00637 ± 0.05491	0.17488 ± 0.00241	1274 ± 61	1118 ± 19	1039 ± 13
5. 2	86.1	203	0.42	7.39	459.21	0.17288 ± 0.0042	10.43511 ± 0.2091	0.43776 ± 0.006	2586 ± 41	2474 ± 19	2341 ± 27
5. 3	92.1	201	0.46	8.60	374.22	0.16081 ± 0.00401	8.03696 ± 0.16743	0.36246 ± 0.00495	2464 ± 43	2235 ± 19	1994 ± 23
6. 1	61.5	306	0.20	8.63	208.57	0.06962 ± 0.0019	1.43921 ± 0.03925	0.14992 ± 0.00207	917 ± 34	905 ± 16	901 ± 12
6. 2	88.6	231	0.38	6.60	164.06	0.07138 ± 0.00228	1.50633 ± 0.04773	0.15305 ± 0.00223	968 ± 41	933 ± 19	918 ± 12
6. 3	84.2	280	0.30	8.94	203.87	0.06867 ± 0.00169	1.50229 ± 0.03719	0.15864 ± 0.00212	889 ± 30	931 ± 15	949 ± 12
7. 1	82.0	150	0.55	8.06	111.76	0.07001 ± 0.00266	1.52347 ± 0.05697	0.15781 ± 0.00246	929 ± 51	940 ± 23	945 ± 14
7. 2	103.7	184	0.56	8.57	131.93	0.06876 ± 0.00239	1.43252 ± 0.04925	0.15108 ± 0.00226	892 ± 46	903 ± 21	907 ± 13
7. 3	94.9	180	0.53	8.43	131.03	0.06917 ± 0.00216	1.47168 ± 0.04548	0.15428 ± 0.00222	904 ± 40	919 ± 19	925 ± 12
8. 1	86.7	292	0.30	10.87	208.33	0.07349 ± 0.0026	1.54776 ± 0.05025	0.15275 ± 0.00213	1027 ± 73	950 ± 20	916 ± 12
8. 2	112.2	259	0.43	12.73	188.92	0.07537 ± 0.00302	1.54601 ± 0.05791	0.14877 ± 0.00212	1078 ± 82	949 ± 23	894 ± 12
10. 2	57.4	373	0.15	12.43	259.91	0.07452 ± 0.00216	1.56491 ± 0.04488	0.15228 ± 0.00215	1056 ± 35	956 ± 18	914 ± 12
11. 1	296	341	0.87	13.58	394.22	0.08538 ± 0.00188	2.70529 ± 0.06001	0.22976 ± 0.00305	1324 ± 23	1330 ± 16	1333 ± 16
12. 1	162	477	0.34	15.02	311.77	0.06794 ± 0.00176	1.30917 ± 0.03389	0.13971 ± 0.00188	867 ± 32	850 ± 15	843 ± 11
12. 2	306	549	0.56	12.57	423.27	0.06775 ± 0.0018	1.49717 ± 0.03971	0.16022 ± 0.00217	861 ± 33	929 ± 16	958 ± 12
13. 1	202	450	0.45	7.05	628.57	0.12973 ± 0.00412	4.84972 ± 0.13687	0.27114 ± 0.00397	2094 ± 57	1794 ± 24	1547 ± 20

5 讨论与结论

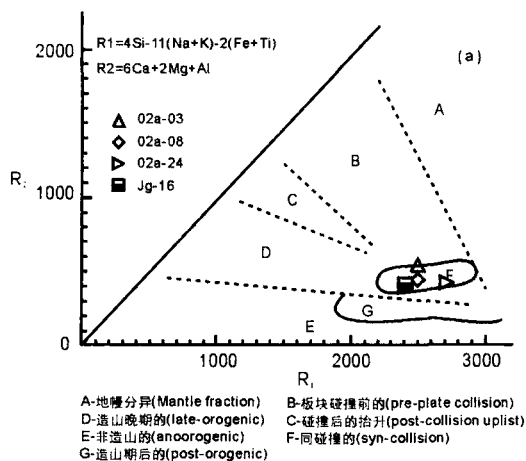
5.1 岩石成因

花岗质岩浆可形成在不同的构造背景下,可伴随板块构造作用的整个过程,因此,花岗质岩浆中包含了丰富的成因信息。不同的学者从不同的角度对花岗质岩浆进行了分类研究(Chappaeil & White, 1974; Pearce et al, 1984; Bachebr, 1985; Maniar & Piccoli, 1989; Barbarin, 1999; Frost et al, 2001)。最新的分类方案中,Forst等(2001)利用铁指数[Fe-number = FeO / (FeO + MgO)],钙碱指数[MAL I = K₂O + Na₂O - CaO]和铝饱和指数[ASI = Al / (Ca - 1.67P + Na + K)]等参数进行了花岗岩的地球化学分类。江孜勒萨依花岗片麻岩的 Fe-number = 0.73~0.84,钙碱指数 MAL I 变化于 5.33~7.63,铝饱和度指数 ASI = 1.10~1.27 (> 1.1),与 Frost 等定义的壳源同构造碰撞花岗岩的特征一致,结合 Barbarin (1999) 的花岗岩类分类,属于镁质、钙碱性、壳源过铝质花岗岩,亦表明其为大陆碰撞环境

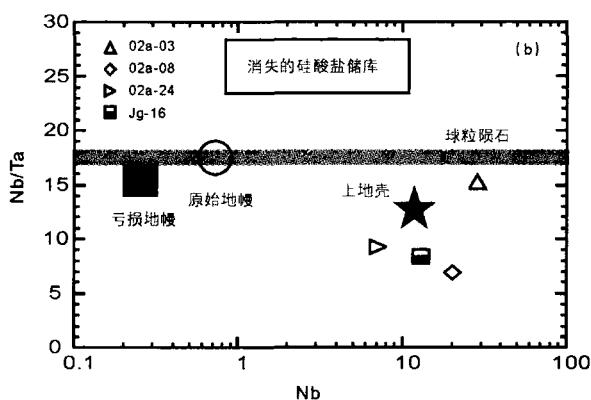
的产物,在花岗岩 R1 - R2 构造环境判别图上,本文所研究样品也全部落入同碰撞花岗岩区域(图 6a)。

岩石的微量元素中 Nb 和 Ta 含量分别为 (7.13~28.5) × 10⁻⁶ 和 (0.77~2.89) × 10⁻⁶, Nb/Ta = 6.92~9.28, 与陆-陆碰撞型花岗岩 ((6~16) × 10⁻⁶, (0.6~2.6) × 10⁻⁶ 和 6.5~10, Pearce et al, 1984) 相近;而且 Nb/Ta 比值 (6.92~9.28) 和 K/Rb 比值 (148.96~238.27) 分别与地壳岩石中的比值 (12~13, 150~350, Barth et al, 2000; Dostal et al, 2000) 相近,也显示了壳源演化岩石的特征。另外,岩石中 Rb/Nb 和 K/Nb 比值分别为 13.92~42.93 和 2.073.15~6.976.45, 皆高于地壳平均值 5~36 和 1.498~2.976 (Rudnick et al, 1995), 在 Nb/Ta - Nb 图解(图 6b)中样品点位于上地壳平均值附近,亦表明是由地壳物质熔融而成的。

江孜勒萨依花岗片麻岩的地球化学特征显示其具有地壳熔融型、同碰撞花岗岩的特点,为陆块汇聚的地质纪录。



据 Batchelor et al, 1985



据 Barth et al, 2000

图 6 江孜勒萨依花岗片麻岩的构造环境判别 R_1 - R_2 图解 (a) 和 Nb/Ta - Nb图解 (b)

Fig 6 Tectonic setting R_1 - R_2 diagrams (a) and Nb/Ta - Nb diagram (b) for the Jianggaleisayi granitic gneiss

5.2 构造意义

近年来,在阿尔金的周边地区已经不断筛分和鉴别出新元古代早期花岗片麻岩带:如东邻的柴北缘沙柳河、鱼卡河、六五沟一线花岗片麻岩(时代介于 1.0~0.8 Ga 之间,且以 0.9 Ga 左右为主, Lu et al, 1999);甘肃北山南缘柳园西古堡泉花岗片麻岩(锆石 U-Pb 年龄为 880 ± 31 Ma, 梅华林等, 1999);中祁连山东段响河花岗岩(锆石 U-Pb 年龄为 917 ± 12 Ma, 郭进京等, 1999);昆中断裂带两侧花岗片麻岩体(4 组锆石 U-Pb 年龄在 900 Ma 左右, 陆松年, 2002)等。本文阿尔金江孜勒萨依新元古代 (923 ± 13 Ma) 同碰撞花岗岩的确定,表明本区也存在新元古代的构造岩浆事件,可能对应于新元古代的罗迪尼亚 (Rodinia) 超大陆汇聚事件,说明塔里木、柴达木和祁连等微板块之间在新元古代早期曾经存在板块的汇聚碰撞。

值得注意的是中国西部的这些新元古代早期的花岗岩都与早古生代高压-超高压变质带在空间上相伴,它们与一些表壳副变质岩系一起构成了这些超高压变质岩的围岩。这些片麻岩与超高压变质岩之间的关系一直是人们关心的问题。目前,在该区及邻区的花岗质片麻岩(刘良等, 2004)和副片麻岩中(宋述光等, 2001)都发现了超高压变质作用的记录,那么,是否和中国东部大别-苏鲁的相同,中国西部不同产地的超高压变质岩的两种围岩也都经历

了超高压变质作用? 本文研究显示,阿尔金江孜勒萨依花岗质片麻岩的锆石缺乏超高压变质的结构和物质记录(包体),也不具有与超高压变质同期的变质年龄,因此说明中国西部不是所有的超高压变质岩的围岩都与超高压岩石一起经历了超高压变质作用;另外,花岗质片麻岩 923 ± 13 Ma 形成年龄值的确定,以及该年龄值远大于区内高压-超高压岩石变质的年龄值(约 500 Ma)(张建新等, 1999; 张安达等, 2004),进一步说明区内一部分花岗片麻岩的形成与高压-超高压岩石形成与抬升导致的地壳熔融无关,这对深入探讨区内高压-超高压作用的范围以及超高压变质岩与围岩之间的相互关系提供了重要的约束。

参考文献 [References]:

- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48, 43-55.
- Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46: 605-626.
- Barth M G, McDonough W F, Rndnick R L. 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chemical Geology*, 165: 197-213.
- Belousova E A, Griffin W L, Suzanne Y, O'Reilly, Fisher N I. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib Mineral Petrol*, 143: 602-622.
- 车自成, 刘良, 罗金海. 1995. 阿尔金高压变泥质岩石的发现及其

- 产出环境. 科学通报, 40(14): 1298~1300.
- [Che Z C, Liu L, Luo J H, et al. 1995. Discovery and occurrence of high pressure metapelitic rocks from Altun Mountain Areas, Xinjiang Autonomous Region. Chinese Science Bulletin, 40: 1988~1991.]
- Chappell B W, White A J R. 1974. Two contrasting granite types. Pacific Geol. 8: 173~174.
- Dostal J, Chatterjee A K. 2000. Contrasting behaviour of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton Nova Scotia, Canada. Chem. Geol., 163: 207~218.
- Frost B R, Barnes C G, Collins W J, et al. 2001. A Geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology, 42: 2033~2048.
- 郭进京, 赵凤清, 李怀坤. 1999. 中祁连东段晋宁期碰撞型花岗岩及其地质意义. 地球学报, 20(1): 10~15.
- [Guo Jinjing, Zhao Fengqing, Li Huaikun. 1999. Jinningian Collisional Granite Belt in the Eastern Sector of the Central Qilian Massif and Its Implication. Acta Geoscientia Sinica, 20(1): 10~15 (in Chinese with English abstract).]
- Hermann L M, Bowins R, Crockett J. 1990. The chemical composition of igneous zircon suites: Implications for geochemical tracer studies. Geochim. Cosmochim. Acta, 54: 1597~1607.
- Lu Songnian, Zhao Fengqing, Mei Hualin, et al. 1999. Discovery and significance of eclogite-granitoid belts in Northwest China. Gondwana Research, 2(1): 137~138.
- Liu L, Che Z C, Wang Y, et al. 2000. A discussion on the structure and tectonic evolution of the Altyn Tagh orogenic Zone. Earth Sci Front., 7 (Suppl): 206.
- 刘良, 车自成, 王焰, 等. 1996. 阿尔金西段榴辉岩的确定及其地质意义. 科学通报, 41(14): 1458~1488.
- [Liu L, Che Z C, Wang Y, et al. 1996. Recognition and implication of eclogite in the western Altun Mountains, Xinjiang. Chinese Science Bulletin, 42: 931~934.]
- 刘良, 车自成, 王焰, 等. 1998. 阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的 Sm-Nd 等时线年龄证据. 科学通报, 43(8): 880~882.
- [Liu L, Che Z C, Wang Y, et al. 1998. The evidence of Sm-Nd isochron age for the early Paleozoic ophiolite in Mangya area, Altun Mountains. Chinese Science Bulletin, 43: 754~756.]
- 刘良, 车自成, 王焰, 等. 1999. 阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义. 岩石学报, 15: 57~64.
- [Liu L, Che Z C, Wang Y, et al. 1998. The petrological characters and geotectonic setting of high-pressure metamorphic rocks belt in Altyn Mountains. Acta Petrol. Sin., 15: 57~64 (in Chinese with English abstract).]
- 刘良, 孙勇, 肖培喜, 等. 2002. 阿尔金发现超高压 (>3.8 GPa) 石榴石二辉橄榄岩. 科学通报, 47(9): 657~662.
- [Liu L, Sun Y, Xiao P X, et al. 2002. Discovery of ultrahigh-pressure magnesite-bearing garnet kherzolite (>3.8 GPa) in the Altyn Tagh, Northwest China. Chinese Science Bulletin, 47(11): 881~886.]
- 刘良, 孙勇, 罗金海, 等. 2003. 阿尔金英格利萨依花岗质片麻岩超高压变质. 中国科学, 33(12): 1184~1192.
- [Liu L, Sun Y, Luo J H, et al. 2003. Ultra-high Pressure metamorphism of granitic gneiss in the Yinggelisayi area, Altun Mountains, NW China. Science in China, 47(4): 338~346.]
- 刘良, 陈丹玲, 张安达, 等. 2005. 阿尔金超高压 (>7 GPa) 片麻状 (含) 钾长石榴辉石岩-石榴子石出溶单斜辉石的证据. 中国科学, 35(2): 105~114.
- [Liu Liang, Chen Danling, Zhang Anda, et al. 2005. Ultrahigh pressure (>7 GPa) gneissic K-feldspar (bearing) garnet clinopyroxenite in the Altyn Tagh, NW China—Evidence from clinopyroxene exsolution in garnet. Science in China, 48(7): 1000~1010.]
- 陆松年. 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京: 地质出版社, 35~117.
- [Lu Songnian. 2002. Preliminary Study of Precambrian Geology in the North Tibet-Qinghai Plateau. Beijing: Geological Publishing House, 35~117.]
- Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geol. Soc. Am. Bull., 101: 635~643.
- 梅华林, 李惠民, 陆松年, 等. 1999. 甘肃柳园地区花岗质岩石时代及成因. 岩石矿物学杂志, 18(1): 14~17.
- [Mei Hualin, Li Huimin, Lu Songnian, et al. 1999. The age and origin of the Liuyuan granitoid, northwestern Gansu. Acta Petrologica et Mineralogica, 18(1): 14~17 (in Chinese with English abstract).]
- Pearce J A, Nigel B W, Harris and Andrew G T. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25(4): 959~983.
- Rudnick R L and Fountain D M. 1995. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective. Rev. Geophys., 33: 267~309.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. Chemical Geology, 184: 123~138.
- 宋述光, 杨经绥. 2001. 柴北缘都兰地区榴辉岩中透长石+石英包裹体: 超高压变质作用的证据. 地质学报, 75(2): 180~185.
- [Song Shuguang, Yang Jingsui. 2001. Sanidine + quartz inclusions in Dulan eclogites: Evidence for UHP metamorphism on the north margin of the Qaidam basin, NW China. Acta Geologica Sinica, 75(2): 180~185 (in Chinese with English abstract).]
- Vavra G, Gebauer D, Schmid R, Compston W. 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): an ion microprobe (SHRIMP) study. Contrib. Mineral. Petrol., 122: 337~358.
- Vavra G, Schmid R, Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps). Contrib. Mineral. Petrol., 134: 380~404.
- Whitehouse M J, and Platt J P. 2003. Dating high-grade metamorphism—constraints from rare-earth elements in zircon and garnet. Contrib. Mineral. Petrol., 145: 61~74.
- 许志琴, 杨经绥, 张建新, 等. 1999. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制. 地质学报, 73(3): 193~205.
- [Xu Z Q, Yang J S, Zhang J X, et al. 1999. Comparison of the tectonic units on both sides of the Altyn Tagh fault and the mechanism of lithospheric shearing. Acta Geologica Sinica, 73: 193~205 (in Chinese with English abstract).]
- 于海峰, 陆松年, 刘永顺, 等. 2002. "阿尔金山岩群" 的组成及其构造意义. 地质通报, 21(12): 834~840.
- [Yu Haifeng, Lu Songnian, Liu Yongshun, et al. 2002. Composition of the Altyn Tagh formation-complex and its tectonic significance. Geological Bulletin of China, 21(12): 834~840 (in Chinese with English abstract).]
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 48

- (14): 1511~1520.
- [Yuan H L, Wu F Y, Gao S, et al 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICPMS. Chinese Science Bulletin, 48(22): 2411~2421.]
- 张安达, 刘良, 孙勇, 等. 2004. 阿尔金超高压花岗质片麻岩中锆石 SHR MP U-Pb 定年及其地质意义. 科学通报, 49(22): 2335~2341.
- [Zhang Anda, Liu Liang, Sun Yong, et al 2004. SHR MP U-Pb Dating of zircons and its geological significance from UHP granitoid gneiss in Altyn Tagh. Chinese Science Bulletin, 49(23): 2527~2532.]
- 张建新, 张泽明, 许志琴, 等. 1999. 阿尔金构造带西段榴辉岩的 Sm-Nd 及 U-Pb 年龄 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阿尔金构造带中加里东期山根存在的证据. 科学通报, 44(10): 1109~1112.
- [Zhang Jianxin, Zhang Zeming, Xu Zhiqin, et al 2002. The age of U-Pb and Sm-Nd for eclogite from the west Altun Mountains tectonic belt: the evidence for existence of Caledonian orogenic root. Chinese Science Bulletin, 44: 2256~2260.]
- 张建新, 许志琴, 杨经绥, 等. 2001. 阿尔金西段榴辉岩岩石学、地球化学和同位素年代学研究及其构造意义 [J]. 地质学报, 75, (2): 186~197.
- [Zhang Jianxin, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, et al 2001. Petrology, geochemistry and geochronology of eclogites from the western segment of the Altun tectonic belt, northwestern China. Acta Geologica Sinica, 75(2): 186~197 (in Chinese with English abstract).]
- 张建新, 杨经绥, 许志琴. 2002. 阿尔金榴辉岩中超高压变质作用证据. 科学通报, 47(3): 231~234.
- [Zhang J X, Yang J S, Xu Z Q, et al 2002. Evidence for the ultrahigh pressure metamorphism in Altun eclogite. Chinese Science Bulletin, 47(3): 231~234 (in Chinese).]

U-Pb Geochronology and Tectonic Setting of the Granitic Gneiss in Jianggaleisayi Eclogite Belt, the Southern Edge of Altyn Tagh

WANG Chao, LU Liang, CHE Zhi-cheng, CHEN Dan-ling, ZHANG An-da, LUO Jin-hai

(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: Geochemical studies on the Jianggaleisayi granitic gneiss suggest that the rocks are characterized by $\text{SiO}_2 > 70\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 13\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7.52\% \sim 8.91\%$, and with $\text{ASI} = 1.10 \sim 1.27$, belonging to syn-collisional S-type granite. The chondrite-normalized REE patterns are right-inclined, with a clear "V" trough, belonging to the granite of crustal source. The mid-ocean ridge granite-normalized trace element spidergrams are characterized by enriched L REE (such as Rb and Th) and depleted HFSE (such as Nb, Zr, Hf, Y, and Yb). On the $R_1 - R_2$ tectonic discrimination diagram they are plotted in the typical continent-continent syn-collisional granite field. The CL investigations reveal that zircons from the granitic gneiss are generally colourless, transparent and euhedral, and have distinct zoning of oscillatory bands, typical of magmatic origin. By means of LA-ICPMS U-Pb isotopic dating, the zircons yielded a weighted average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of 923 ± 13 (2 σ) Ma and indicative of Neoproterozoic time. Combined with the Neoproterozoic syn-collisional granite obtained from adjacent area, it is suggested that a collision and convergence between microcontinents in NW China took place during the Neoproterozoic time. This is very important not only for determining the existence of Neoproterozoic orogeny and for reconstructing the tectonic evolution of the ancient continents in northwestern China, but also for providing constraints for discussing the relationship between the HP-UHP rocks and their country gneisses in the study area.

Key words: LA-ICPMS; zircon U-Pb dating; syn-collisional granite; Neoproterozoic; Jianggaleisayi; Altyn Tagh