

鞍山地区 3.3 Ga 岩浆热事件 ——SHRIMP 年代学和地球化学新证据

周红英^{1,2,3}, 刘敦一^{2,4}, 万渝生^{2,4}, S A Wilde⁵, 伍家善⁴

(1. 中国地质大学 北京 100083; 2. 北京离子探针中心 北京 100037; 3. 天津地质矿产研究所 天津 300170; 4. 中国地质科学院 地质研究所 北京 100037; 5. Department of Applied Geology, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia, 6845, Australia)

摘要: 鞍山是世界上少有几个保留丰富的太古宙地质记录的地区之一。本文报道了该区东山古老岩石带古太古代闪长质片麻岩和细粒奥长花岗岩的 SHRIMP 测年结果和地球化学组成。闪长质片麻岩(A9317) 稀土元素总量较高($\Sigma\text{REE} = 145 \times 10^{-6}$) 轻重稀土元素分异不强($(\text{La}/\text{Yb})_n = 2.8$) $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 3321 ± 6 Ma。细粒奥长花岗岩(A0426) 稀土元素总量相对较高($\Sigma\text{REE} = 169 \times 10^{-6}$) 轻重稀土元素强烈分离($(\text{La}/\text{Yb})_n = 49.9$) $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 3321 ± 5 Ma。研究表明, 古太古代晚期是鞍山地区重要的陆壳增生时期, 存在来自亏损地幔源区和壳内再循环两种不同类型岩浆作用。

关键词: 花岗岩, 古太古代, 岩浆作用, SHRIMP, 鞍山

中图分类号: P597+.3; P591

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2007)02-0123-07

3.3 Ga magmatic events in the Anshan area: new SHRIMP age and geochemical constraints

ZHOU Hong-ying^{1,2,3}, LIU Dun-yi^{2,4}, WAN Yu-sheng^{2,4}, WILDE S A⁵ and WU Jia-shan⁴

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing SHRIMP Center, Beijing 100037, China; 3. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 4. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 5. Department of Applied Geology, Curtin University of Technology, Perth, West ern Australia, 6845, Australia)

Abstract: Anshan is one of the very few localities in the world where abundant Archaean geological records are preserved. The SHRIMP age data and geochemical results of the Palaeoarchaeon dioritic gneiss and fine-grained trondhjemitic of the ancient Dongshan rock belt from the Anshan area are reported in this paper. The dioritic gneiss is rich in rare earth elements ($\Sigma\text{REE} = 145 \times 10^{-6}$), and the light REE is weakly differentiated from the heavy REE [$(\text{La}/\text{Yb})_n = 2.8$]. The fine-grained trondhjemitic is slightly rich in REE ($\Sigma\text{REE} = 169 \times 10^{-6}$), and the light REE is strongly differentiated from the heavy REE [$(\text{La}/\text{Yb})_n = 49.9$]. Weighted average $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages of 3321 ± 6 Ma and 3321 ± 5 Ma have been obtained for the dioritic gneiss and trondhjemitic respectively. It is demonstrated that the late Palaeoarchaeon is a significant stage of the continental crust growth in the Anshan area, witnessing two types of magmatism, one originated from the depleted mantle source and an-

收稿日期: 2006-08-04; 修订日期: 2006-11-16

基金项目: 国土资源部地质调查局资助项目(1212010561608)

作者简介: 周红英(1966-), 女, 副研究员, 在读博士生, 主要从事同位素地质年代学研究工作, E-mail: zhouhy305@163.com 通讯作者:

刘敦一, 电话: 010-68311545, E-mail: liudunyi@bjshrimp.cn

other from recycled crustal source.

Key words: granite; Palaeoarchean; magmatism; SHRIMP; Anshan

古太古代是全球地壳形成演化的重要时期之一。尽管遭受后期地质作用强烈改造,3.3 Ga 地质记录仍广泛存在于全球许多古老克拉通,如 Pilbara (Sun *et al.*, 1998; Westall *et al.*, 2001; Westall, 2003; Van Kranendonk *et al.*, 2002; Martin *et al.*, 2003) Yilgarn (Wyche *et al.*, 2004; Kinny *et al.*, 1988; Nutman *et al.*, 1991) 西格陵兰 (Nutman *et al.*, 1996) Kaapvaal (Wilson and Carlson, 1989) Transvaal (Lowe and Byerly, 1986; Lowe *et al.*, 1989; Kyte *et al.*, 1992; Byerly and Lowe, 1994) 等克拉通。在鞍山已发现 3.3 Ga 陈台沟花岗岩、陈台沟表壳岩 (Liu *et al.*, 1992; 宋彪等, 1994; Song *et al.*, 1996; 万渝生等, 1997) 和东山古老岩带的 3.3 Ga 黑云斜长角闪岩 (万渝生等, 2001)。此外, 3.1 Ga 立山奥长花岗岩的 Nd 同位素亏损地幔模式年龄也为 3.3 Ga (万渝生等, 1998)。显然, 3.3 Ga 岩浆构造热事件不但在鞍山地区十分发育, 还具有全球意义。本文报道了鞍山地区东山古老岩石带 3.3 Ga 闪长质片麻岩和奥长花岗岩的地球化学和锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果, 不但丰富了该区古太古代岩浆作用类型, 还为该区古太古代地幔添加作用的

存在提供了证据。

1 地质特征

华北克拉通 (图 1a) 的东部辽宁鞍山地区, 具有很长的地质演化历史, 存在 3.8 ~ 2.5 Ga 不同时代、不同类型太古宙岩石, 总体构成以中太古代立山奥长花岗岩、铁架山花岗岩为中心的穹窿 (图 1b)。在立山奥长花岗岩和铁架山花岗岩之间存在一主体由 3.8 Ga 奥长花岗质岩石组成的古老岩带, 位于鞍山的东山风景区, 故通常将其称为东山 (风景区) 古老岩带 (万渝生等, 2001)。该带呈近东西向分布, 沿走向延长 1 000 m 以上, 其最大出露宽度为 10 m 左右。最初研究认为它们位于 3.1 Ga 立山奥长花岗岩和 3.0 Ga 铁架山花岗岩之间的强变形带内 (伍家善等, 1998; 万渝生等, 1999), 之后认为它们呈大型包体形式存在于 3.1 Ga 立山奥长花岗岩中 (万渝生等, 2001) (图 1b)。除 3.8 Ga 条带状奥长花岗质岩石外, 该带还存在透闪石岩、斜长角闪岩、闪长质片麻岩、细粒奥长花岗岩、二长花岗岩、伟晶岩脉和变石英闪长岩等不同类型岩石 (万渝生等, 2001)。除

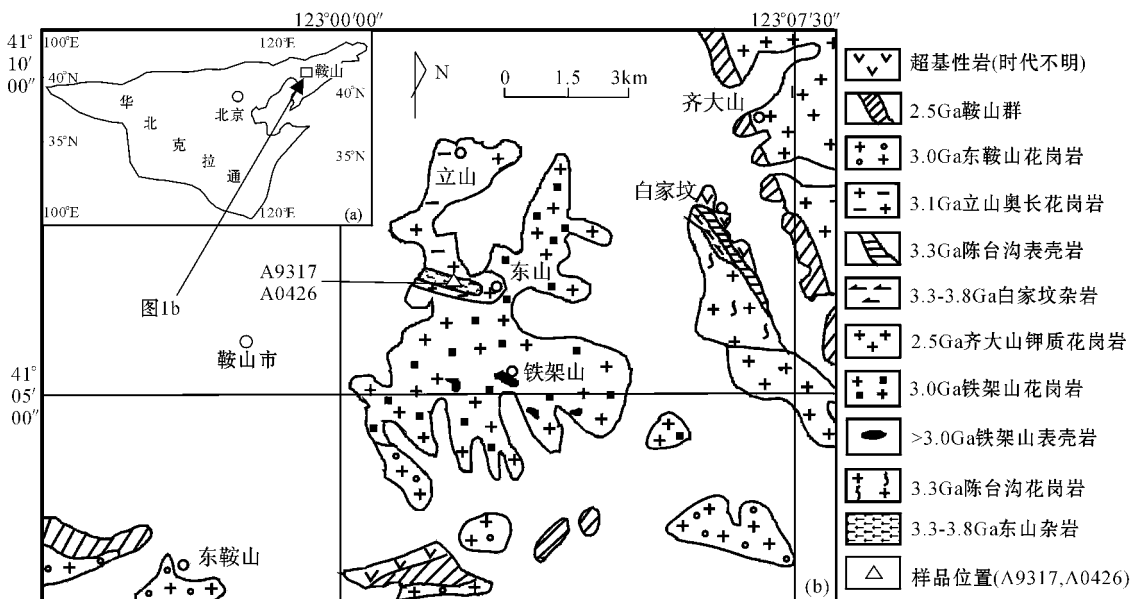


图 1 鞍山地区太古宙地质略图(据万渝生等, 2001)

Fig. 1 Sketch map showing the Archean geology in the Anshan area (after Wan Yusheng *et al.*, 2001)

获得石英闪长岩岩浆锆石年龄 3.8 Ga 外(Wan *et al.*, 2005),其余类型岩石准确的形成时代并不清楚。本文研究的闪长质片麻岩在该带内小规模零星分布,岩石片麻理走向与古老岩带延伸方向大致相同,局部显示出遭受深熔作用改造的特征。由于覆盖与四周其他岩石关系多不清楚,但可见被细粒奥长花岗岩(图2)和伟晶岩脉切割。细粒奥长花岗岩呈脉状在带内零星分布,通常只有十余厘米到几十厘米宽,切割闪长质片麻岩和 3.8 Ga 奥长花岗岩岩石。根据少量锆石蒸发法年龄及岩石外貌和地球化学组成特征,曾认为细粒奥长花岗岩脉为 3.1 Ga 立山细粒奥长花岗岩的派生产物(万渝生等,2001)。本文研究的闪长质片麻岩(A9317)和细粒奥长花岗岩(A0426)取自该带内同一露头(图2)。

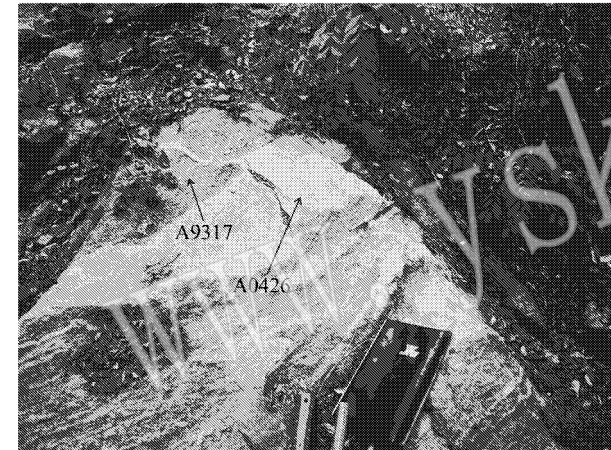


图2 闪长质片麻岩(A9317)和细粒奥长花岗岩脉(A0426)露头

Fig. 2 Outcrop of dioritic gneiss(A9317) and trondhjemite vein(A0426)

2 测试方法

全岩常量元素含量用 X 荧光光谱法测定,稀土和微量元素用等离子体质谱 ICP-MASS 测定,由国家地质实验测试中心完成。

SHRIMP U-Pb 锆石测年在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成。进行年龄测定之前,首先进行阴极荧光(CL)照相。测年方法见 Compston 等(1992)的方法,详细分析流程和原理参考 Williams(1998)。每个数据点测定由 5 次扫描给出。一次离子流强度为 4.5nA,束斑为 25~30 μm 。测试中使用标准锆石 SL13 和 TEM(Black *et al.*, 2003)。SL13

(年龄为 572 Ma, U 含量为 238×10^{-6})用于标定未知样品 U 含量,TEM(年龄为 417 Ma)用于校正未知样品年龄。在样品测定过程中,TEM 和未知样品交替测定,其比例为 1:3~4。数据处理采用 SQUID1.0 及 ISOPLOT 程序(Ludwig, 1999, 2001),根据实测 ^{204}Pb 进行普通铅校正。数据表中列单个数据点的误差为 1σ ,加权平均年龄具 95% 的置信度。

3 岩相学和地球化学

闪长质片麻岩(A9317)主要由斜长石、石英、黑云母、角闪石、帘石组成,副矿物为锆石和磷灰石,偶见石榴石。斜长石多细粒化,部分粒度较粗的斜长石具聚片双晶。石英呈长条状集合体形式,具三连点结构。角闪石呈绿-深绿色。黑云母呈绿色或暗绿色,含量变化较大,呈团块状不规则分布,多由角闪石退变形成。帘石呈细粒,由斜长石退变形成。早期矿物组合为斜长石、石英和角闪石。岩石 SiO_2 含量为 59.97%,明显高 TFeO(12.14%)低 MgO(0.86%)。稀土元素总量较高($\Sigma\text{REE} = 145 \times 10^{-6}$),但轻重稀土元素分异不强($(\text{La}/\text{Yb})_n = 2.8$),出现明显正铕异常($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.4$) (表1、图3a)。明

表1 样品的主量元素($w_B/\%$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)组成

Table 1 Major ($w_B/\%$) and trace element ($w_B/10^{-6}$) contents of samples

样号	A9317	A0426	样号	A9317	A0426
岩石名称	闪长质片麻岩	细粒奥长花岗岩脉	岩石名称	闪长质片麻岩	细粒奥长花岗岩脉
SiO_2	59.97	71.72	Zr	242	168
TiO_2	1.25	0.28	Y	25	9
Al_2O_3	13.44	15.21	Th	1.1	22.8
Fe_2O_3	5.59	0.99	U		1.20
FeO	7.11	1.29	La	19.90	49.20
MnO	0.22	0.04	Ce	39.60	78.40
MgO	0.86	0.44	Pr	6.50	7.51
CaO	5.36	1.41	Nd	30.40	23.30
Na_2O	2.20	6.06	Sm	8.08	3.45
K_2O	2.77	1.38	Eu	4.32	1.31
P_2O_5	0.10	0.07	Gd	10.80	2.58
H_2O^+	1.52	0.40	Tb	1.76	0.30
CO_2	0.26	0.05	Dy	10.90	1.53
Total	100.7	99.34	Ho	2.04	0.30
Cr	61	6	Er	4.84	0.81
Sc		1	Tm	0.92	0.10
Rb	207	70	Yb	4.74	0.65
Ba	875	1243	Lu	0.48	0.08
Sr	342	227	ΣREE	145	169
Nb	15.1	3.8	$(\text{La}/\text{Yb})_n$	2.8	49.9
Ta		0.6	Eu/Eu^*	1.4	1.3
Hf		3.4	Ba/Ba^*	0.8	0.8

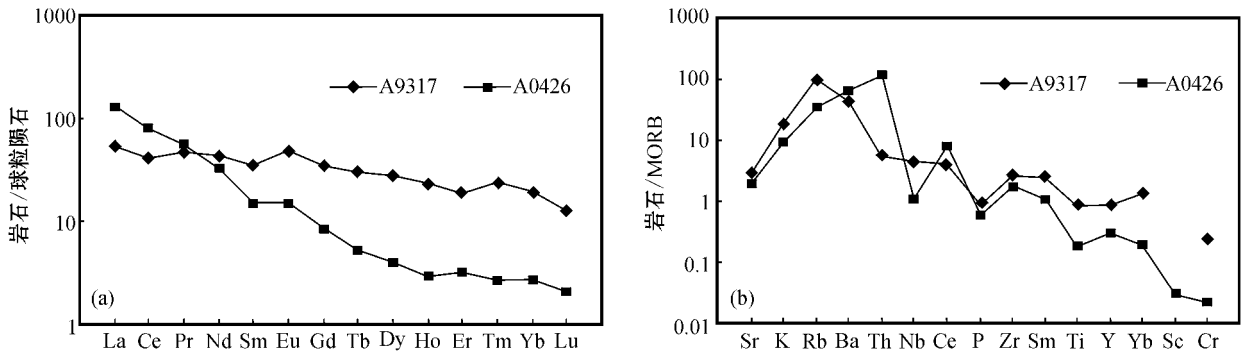


图3 样品的稀土元素配分模式(a)和微量元素Pearce图解(b)

Fig. 3 REE patterns (a) and Pearce diagrams (b) of samples

显富集大离子亲石元素,相容元素Cr明显亏损(图3b)。元素组成上与3.8 Ga 变石英闪长岩(Wan *et al.*, 2005)类似。

细粒奥长花岗岩(A0426)主要由斜长石、石英、微斜长石和少量黑云母、帘石组成。副矿物主要为磷灰石和锆石。黑云母呈棕色,石英呈集合体分布,具三连点结构,表明也遭受变质重结晶作用影响。 SiO_2 含量较高(71.72%), TFeO (2.18%), MgO (0.04%), CaO (1.41%)含量较低, Na_2O (6.06%)大于 K_2O (1.38%)。稀土元素总量相对较高($\Sigma\text{REE} = 169 \times 10^{-6}$),轻重稀土元素强烈分离(La/Yb)_n = 49.9(表1、图3a)相对亏损Nb、P、Ti等高场强元素(图3b)。元素组成上与附近立山细粒奥长花岗岩类似。

4 锆石特征和SHRIMP测年

闪长质片麻岩(A9317)中锆石紫-浅紫色,透明-

半透明,粒度大多为200~250 μm (沿长轴方向),大部分呈中长柱状,晶体长宽比一般2~2.5,有的锆石自形程度高。阴极发光下具很好的平行的岩浆环带,部分锆石存在窄的变质增生边(图4a),在现有条件下难以测定。9颗岩浆锆石上9个数据点分析, U 、 Th 含量和 Th/U 比值分别为 $66 \times 10^{-6} \sim 274 \times 10^{-6}$ 、 $33 \times 10^{-6} \sim 296 \times 10^{-6}$ 和0.51~1.12(表2)。得到的数据点集中分布在谐和线或其附近(图5a), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄变化范围为3310~3337 Ma, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 3321 ± 6 Ma(MSWD = 1.8),被解释为闪长岩形成时代。

细粒奥长花岗岩(A0426)中锆石紫色,透明-半透明,粒度基本为150~250 μm (沿长轴方向),大部分呈短柱状和近等轴状,锆石晶体长宽比一般为1.5~2.5,有的锆石晶形良好,而有的锆石呈浑圆状。阴极发光下多具平行环带,一些锆石存在组成均匀的成分域(图4b),但其年龄与具岩浆环带的锆石无区别,也应是岩浆作用产物。变质增生边不发育(图4b)。

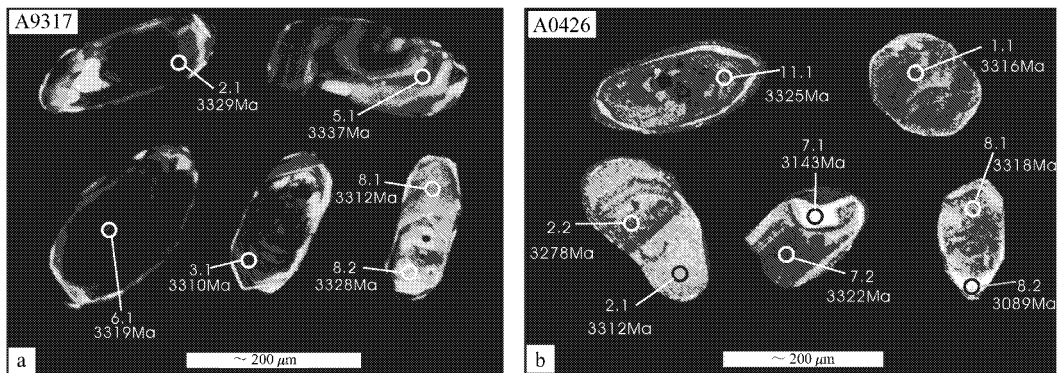


图4 闪长质片麻岩(a)和细粒奥长花岗岩(b)的锆石阴极发光图像

Fig. 4 Cathodoluminescence images of zircons from dioritic gneiss (a) and trondhjemite (b)

表 2 闪长质片麻岩 (A9317) 和细粒奥长花岗岩 (A0426) 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄
Table 2 SHRIMP U-Pb zircon dating of dioritic gneiss (A9317) and trondhjemite (A0426)

数据点	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ /%	$\omega_{\text{B}}/10^{-6}$		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	err corr	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Age	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	不一致 性/%	
		U	Th												$^{206}\text{Pb}^*$
A9317-1.1	0.05	97	40	54.5	0.43	0.272 0	0.48	24.48	1.2	0.652 6	1.1	0.912	3 239 ± 27	3 318 ± 8	2
A9317-2.1	0.13	229	161	125	0.73	0.274 05	0.32	24.01	0.92	0.635 6	0.87	0.939	3 172 ± 22	3 329 ± 5	5
A9317-3.1	0.04	127	66	71.9	0.54	0.270 7	0.39	24.58	1.0	0.658 6	0.97	0.928	3 262 ± 25	3 310 ± 6	1
A9317-4.1	0.04	227	156	129	0.71	0.272 82	0.29	24.88	0.89	0.661 4	0.85	0.947	3 273 ± 22	3 322 ± 5	1
A9317-5.1	0.08	86	56	49.9	0.67	0.275 4	0.47	25.50	1.2	0.671 7	1.1	0.912	3 312 ± 27	3 337 ± 7	1
A9317-6.1	0.06	260	160	145	0.63	0.272 22	0.27	24.27	0.86	0.646 6	0.82	0.951	3 215 ± 21	3 319 ± 4	3
A9317-7.1	0.04	274	296	157	1.12	0.272 14	0.26	25.04	0.99	0.667 3	0.95	0.964	3 295 ± 25	3 318 ± 4	1
A9317-8.1	0.09	89	39	51.4	0.45	0.271 0	0.43	25.00	1.1	0.669 3	1.0	0.917	3 303 ± 26	3 312 ± 7	0
A9317-8.2	0.10	66	33	38.0	0.51	0.273 9	0.49	25.16	1.2	0.666 2	1.1	0.909	3 291 ± 28	3 328 ± 8	1
A0426-1.1	0.16	102	68	59.1	0.69	0.271 7	0.45	25.17	1.3	0.671 8	1.2	0.935	3 313 ± 31	3 316 ± 7	0
A0426-2.1	1.09	65	26	38.6	0.42	0.271 1	0.67	25.50	1.5	0.682 4	1.3	0.889	3 353 ± 34	3 312 ± 11	-1
A0426-2.2	1.18	162	79	89.2	0.50	0.265 3	0.51	23.04	1.2	0.630 3	1.1	0.908	3 151 ± 28	3 278 ± 8	4
A0426-3.1	0.17	114	49	66.9	0.44	0.272 8	0.42	25.54	1.4	0.679 1	1.3	0.951	3 341 ± 34	3 322 ± 7	-1
A0426-4.1	0.11	75	29	45.7	0.40	0.273 0	0.51	26.70	1.4	0.709 6	1.3	0.933	3 457 ± 35	3 323 ± 8	-4
A0426-5.1	0.13	47	18	28.4	0.40	0.273 2	0.66	26.36	1.6	0.699 8	1.4	0.906	3 420 ± 38	3 325 ± 10	-3
A0426-6.1	0.09	93	38	53.1	0.42	0.271 9	0.48	24.90	1.3	0.664 2	1.2	0.929	3 284 ± 31	3 317 ± 8	1
A0426-7.1	0.21	105	2	57.1	0.02	0.243 5	0.51	21.24	1.3	0.632 6	1.2	0.917	3 160 ± 30	3 143 ± 8	-1
A0426-7.2	0.07	239	169	148	0.73	0.272 8	0.41	26.97	1.2	0.717 1	1.1	0.934	3 485 ± 29	3 322 ± 7	-5
A0426-8.1	0.11	130	97	74.8	0.77	0.272 0	0.39	25.08	1.2	0.668 5	1.2	0.948	3 300 ± 30	3 318 ± 6	1
A0426-9.1	0.83	293	89	109	0.31	0.244 7	0.49	14.41	1.2	0.427 2	1.1	0.913	2 293 ± 21	3 151 ± 8	27
A0426-8.2	0.10	94	5	44.0	0.05	0.235 4	0.59	17.67	2.7	0.545	2.6	0.976	2 803 ± 60	3 089 ± 9	9
A0426-10.1	0.25	90	39	50.8	0.45	0.274 3	0.51	24.90	1.3	0.658 3	1.2	0.921	3 261 ± 31	3 331 ± 8	2
A0426-11.1	0.17	139	91	80.3	0.68	0.273 3	0.38	25.34	1.2	0.672 4	1.1	0.947	3 315 ± 29	3 325 ± 6	0

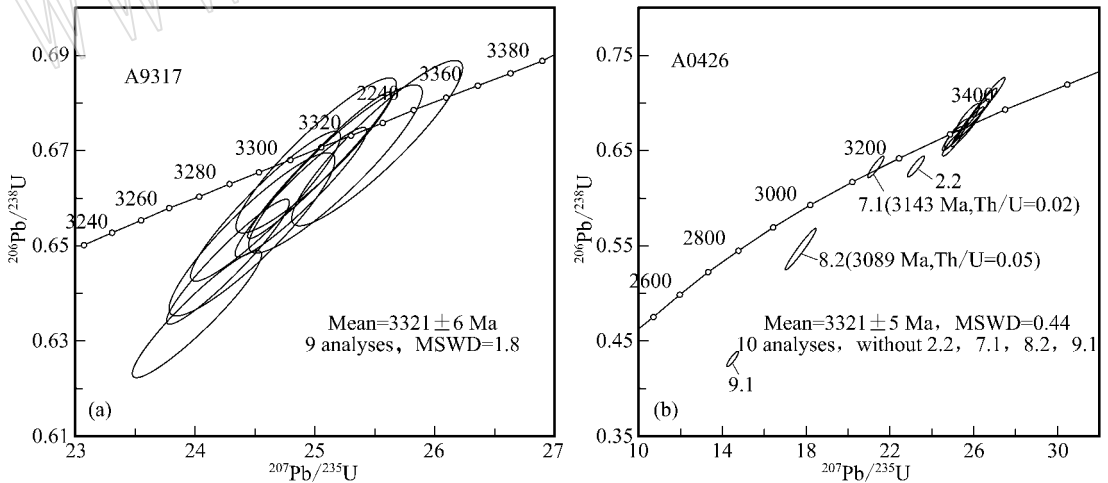


图 5 闪长质片麻岩 (a) 和细粒奥长花岗岩 (b) 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

Fig. 5 Concordia diagrams of SHRIMP U-Pb zircon ages of dioritic gneiss and trondhjemite

11 颗岩浆锆石上 14 个数据点分析, U、Th 含量和 Th/U 比值分别为 $47 \times 10^{-6} \sim 239 \times 10^{-6}$ 、 $18 \times 10^{-6} \sim 169 \times 10^{-6}$ 和 0.40~0.77, 其中 10 个数据点集中在谐和线上或其附近 (图 5b), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄变化范围为 3 312~3 331 Ma, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均

年龄为 $3 321 \pm 5$ Ma (MSWD=0.44), 代表细粒奥长花岗岩脉侵入年龄。增生边和重结晶域通常较小, 仅做了 2 个数据点分析, 数据点 8.2 位于增生边, 显示强烈铅丢失, Th/U 比值为 0.05, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3 089 \pm 9$ Ma, 真实年龄应更大一些, 数据点 7.1

位于重结晶域,从其形态看可能与流体作用有关,该数据点位于谐和线上(图 5b),Th/U 比值为 0.02, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3.143 \pm 8 \text{ Ma}$ 。

5 讨论与结论

闪长质片麻岩遭受深熔作用改造,但组成和结构均匀,锆石为岩浆成因,其原岩为岩浆成因,所以 $3.32 \pm 0.01 \text{ Ga}$ 应为原闪长岩的侵入年龄。侵入该闪长质片麻岩的细粒奥长花岗岩脉在岩石外貌和组成特征上与 3.1 Ga 立山奥长花岗岩类似(万渝生等, 2001),但形成时代为 $3.32 \pm 0.01 \text{ Ga}$,排除了为立山奥长花岗岩派生产物的可能。细粒奥长花岗岩与闪长质片麻岩形成时代一致,表明在闪长质片麻岩形成后奥长花岗岩脉马上就侵入了。闪长质片麻岩中部分岩浆锆石边部存在窄的增生边,但宽度太小,未能测定。细粒奥长花岗岩岩浆锆石边部变质增生边仅获得少量测年结果,其中 1 个数据点位于谐和线上, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3.143 \pm 8 \text{ Ma}$ 。该年龄与立山奥长花岗岩年龄一致,表明立山奥长花岗岩侵入影响的存在,推测闪长质片麻岩的深熔作用也与此有关。

闪长质片麻岩(A9317)高 TFeO、低 MgO,可能部分与后期变质深熔作用有关。但是,岩石相容元素 Cr 含量也低,表明高 TFeO、低 MgO 在相当程度上仍反映了原闪长质岩石的组成特征,并很可能是基性岩浆结晶分异的结果。这与岩石稀土元素总量较高而轻重稀土元素分离程度低的特征相吻合。细粒奥长花岗岩(A0426)高 SiO_2 、低 MgO,轻重稀土元素强烈分离,形成时代虽类似于闪长质片麻岩,但元素组成上与之却存在很大区别。细粒奥长花岗岩不是闪长质岩石进一步结晶分异的产物。岩石轻重稀土元素强烈分异表明石榴石分离在细粒奥长花岗岩形成过程中曾起过重要作用,而高 SiO_2 、低 MgO 的组成特征又表明它们与中酸性陆壳物质有关。

鞍山地区存在分布范围较大的 3.3 Ga 陈台沟花岗岩和陈台沟表壳岩(Liu *et al.*, 1992; 宋彪等, 1994; Song *et al.*, 1996; 万渝生等, 1997), 东山古老岩带中的黑云斜长角闪岩也可能形成于 3.3 Ga (万渝生等, 2001)。本文新的年龄资料进一步支持了鞍山地区存在 3.3 Ga 强烈构造岩浆热事件的认识。闪长质片麻岩组成特征上虽与 3.8 Ga 变石英闪长岩类似,但形成时代为 3.3 Ga 。这是首次在鞍山地

区分出 3.3 Ga 闪长岩。结合 3.3 Ga 陈台沟表壳岩斜长角闪岩的存在,显然,古太古代晚期鞍山地区存在重要的地幔添加作用,是陆壳形成的重要阶段。而 3.3 Ga 细粒奥长花岗岩和陈台沟花岗岩的形成,表明古太古代晚期鞍山地区也存在重要的壳内再循环作用。来自亏损地幔源区和壳内再循环两种不同类型岩浆作用的存在,对探讨鞍山地区古太古代晚期构造背景具有重要的意义。

References

- Black L P, Kamob S L, Allenc C M, *et al.* 2003. Temora 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. *Chemical Geology*, 200: 155~170.
- Byerly G R and Lowe D R. 1994. Spinel from Archaean impact spherules [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 3469~3486.
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, *et al.* 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale[J]. *J. Geol. Soc.*, 149: 171~184.
- Kinny P D, Williams I S, Froude D O, *et al.* 1988. Early Archaean zircon ages from orthogneisses and anorthosites at Mount Narryer, Western Australia[J]. *Precambrian Research*, 38: 325~341.
- Kyte F T, Zhou L and Lowe D R. 1992. Noble metal abundances in an early Archaean impact deposit[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 1365~1372.
- Liu D Y, Nutman A P, Compston W, *et al.* 1992. Remnants of $\geq 3800 \text{ Ma}$ crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton[J]. *Geology*, 20: 339~342.
- Lowe D R and Byerly G R. 1986. Early Archaean silicate spherules of probable impact origin, South Africa and Western Australia[J]. *Geology*, 14: 83~86.
- Lowe D R, Byerly G R, Asaro F, *et al.* 1989. Geological and geochemical record of 3400 Million years old terrestrial meteorite impacts[J]. *Science*, 245: 959~962.
- Ludwig K R. 1999. Using isoplot/EX, version 2, a geochronological toolkit for microsoft excel[A]. *Berkeley Geochronological Center Special Publication*[C], 47: 151~181.
- Ludwig K R. 2001. Squid 1.02: A user manual[A]. *Berkeley Geochronological Center Special Publication*[C], 19.
- Martin J, Van Kranendonk, Gregory E W, *et al.* 2003. Geological and trace element evidence for a marine sedimentary environment of deposition and biogenicity of 3.45 Ga stromatolitic carbonates in the Pilbara Craton, and support for a reducing Archaean ocean[J]. *Geobiology*, 1: 91~108.
- Nutman A P, Kinny P D, Compston W, *et al.* 1991. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Narryer Gneiss Complex, Western Australia[J]. *Precambrian Research*, 52: 275~300.
- Nutman A P, McGregor V R, Friend C R L, *et al.* 1996. The Itsaq

- Gneiss Complex of southern West Greenland; the world's most extensive record of Early crustal evolution 3 900 ~ 3 600 Ma [J]. *Precamb. Res.*, 78 : 1 ~ 39.
- Song Biao, Wu Jiashan, Wan Yusheng, *et al.* 1994. The minimum age of the Chentaigou rocks in Anshan area [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1 ~ 2 : 14 ~ 16 (in Chinese).
- Song B, Nutman A P, Liu D Y, *et al.* 1996. 3800 to 2500 Ma crust in the Anshan area of Liaoning Province, northeastern China [J]. *Precambrian Research*, 78 : 79 ~ 94.
- Sun S S & Hickman A H. 1998. New Nd-isotopic and geochemical data from the western Pilbara [J]. *AGSO Research Newsletter* 28.
- Van Kranendonk M J, Hickman A H, Smithies R H, *et al.* 2002. Geology and tectonic evolution of the Archaean North Pilbara terrain, Pilbara Craton, Western Australia [J]. *Economic Geology*, 97 : 695 ~ 732.
- Wan Y S, Liu D Y, Song B, *et al.* 2005. Geochemical and Nd isotopic compositions of 3.8 Ga meta-quartz dioritic and trondhjetic rocks from the Anshan area and their geological significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24 : 563 ~ 575.
- Wan Yusheng, Liu Dunyi, Wu Jiashan, *et al.* 1998. The origin of Mesoarchaean granitic rocks from Anshan-Benxi area: constraints of geochemistry and Nd isotop [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 14 (3) : 278 ~ 288 (in Chinese).
- Wan Yusheng, Song Biao, Liu Dunyi, *et al.* 2001. Geochronology and geochemistry of 3.8 ~ 2.5 Ga ancient rock belt in the Dongshan scenic park [J]. *Acta Geologica Sinica*, 75 (3) : 363 ~ 370 (in Chinese).
- Wan Yusheng, Wu Jiashan, Liu Dunyi, *et al.* 1997. Geochemistry and Nd, Pb isotopic characteristics of 3.3 Ga Chentaigou granite in Anshan area [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18 (4) : 382 ~ 388 (in Chinese).
- Wan Yusheng, Song Biao, Wu Jiashan, *et al.* 1999. Geochemical and Nd and Sr isotopic compositions of 3.8 Ga trondhjemitic rocks from the Anshan area and their significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 73 (1) : 25 ~ 36 (in Chinese).
- Westall F. 2003. Stephen Jay Gould, les procaryotes et leur évolution dans le contexte géologique [J]. *Comptes Rendus Palevol.* 2 : 485 ~ 501.
- Westall F, de Wit, Maarten J, *et al.* 2001. Early Archean fossil bacteria and biofilms in hydrothermally-influenced sediments from the Barberton greenstone belt, South Africa [J]. *Precambrian Research*, 106 : 93 ~ 116.
- Williams I S. 1998. U- Th- Pb geochronology by ion microprobe [A]. McKibben M A, Shanks W C and Ridley W I. *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes* [C]. *Reviews in Economic Geology*, 7 : 1 ~ 35.
- Wilson A H & Carlson R W. 1989. A Sm-Nd and Pb-Pb isotopic study of Archaean greenstone belts in the southern Kaapvaal Craton, South Africa [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 96 : 89 ~ 105.
- Wu Jiashan, Geng Yuansheng, Shen Qihan, *et al.* 1998. Archaean Geology Characteristics and Tectonic Evolution of China-Korea Palecontinent [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1 ~ 212 (in Chinese).
- Wyche S, Nelson D R and Riganti A. 2004. 4 350 ~ 3 130 Ma detrital zircons in the Southern Cross Granite-Greenstone Terrane, Western Australia: implications for the early evolution of the Yilgarn Craton [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 51 : 31 ~ 45.

附中文参考文献

- 万渝生, 刘敦一, 伍家善, 等. 1998. 辽宁鞍山-本溪地区中太古代花岗岩的成因——地球化学及 Nd 同位素制约 [J]. *岩石学报*, 14 (3) : 278 ~ 288.
- 万渝生, 宋彪, 刘敦一, 等. 2001. 鞍山东山水景区 3.8 ~ 2.5 Ga 古老岩带的同位素地质年代学和地球化学 [J]. *地质学报*, 75 (3) : 363 ~ 370.
- 万渝生, 宋彪, 伍家善, 等. 1999. 鞍山 3.8 Ga 奥长花岗岩的地球化学和 Nd, Sr 同位素组成及其意义 [J]. *地质学报*, 73 (1) : 25 ~ 36.
- 万渝生, 伍家善, 刘敦一, 等. 1997. 鞍山 3.3 Ga 陈台沟花岗岩地球化学和 Nd, Pb 同位素特征 [J]. *地球学报*, 18 (4) : 382 ~ 388.
- 宋彪, 伍家善, 万渝生, 等. 1994. 鞍山地区陈台沟表壳岩时代归属的初步研究 [J]. *地球学报*, 1 ~ 2 : 14 ~ 16.
- 伍家善, 耿元生, 沈其韩, 等. 1998. 中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1 ~ 121.