

西南天山前寒武纪基底时代和特征: 锆石 U-Pb 年龄和 Nd-Sr 同位素组成*

陈义兵 胡霭琴 张国新 张前锋

中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640

1999-01-28 收稿, 1999-11-08 改回

Chen Yibing, Hu Aiqin, Zhang Guoxin and Zhang Qianfeng 2000 Precambrian basement age and characteristics of Southwestern Tianshan: Zircon U-Pb geochronology and Nd-Sr isotopic compositions Acta Petrologica Sinica, 16(1): 91~ 98

Abstract The Southwestern Tianshan basement Muzhaerte Group comprises a amphibolite-facies metamorphic suite dominated by granitoid orthogneiss in the south slope of Haerke Mount. U-Pb zircon dating on the granitoid orthogneiss yields the following new results: 707 ± 13 Ma (MSWD = 0.33), which is the age of granitic magma emplacement. These orthogneisses have high ASI value ($1.1 < ASI < 1.3$), high LLE and LREE contents and high initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio values (0.7076~ 0.7096) and very low $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -4.4 \sim -7.1$. The granitoid orthogneiss was derived from ancient basement rocks with higher maturity, which have long evolution history before the partial melting. The granitic magma is interpreted as a product of partial melting of basement rocks, which coincide with major thermal events at Jinningian orogeny. Nd model ages of gneisses about 1.7~ 1.9Ga provide a close estimate of the average age of the basement.

Key words Zircon U-Pb age, Nd-Sr isotope, Granitoid orthogneiss, Southwestern Tianshan

摘要 采用锆石 U-Pb 定年方法, 精确测定了西南天山木扎尔特群花岗片麻岩的结晶锆石年龄为 (707 ± 13) Ma (MSWD = 0.33)。元素地球化学特征和低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值 ($-4.4 \sim -7.1$)、高的初始 Sr 比值 (0.7076~ 0.7096) 表明花岗片麻岩的岩浆物质来自成熟度很高的基底陆壳物质, 结晶锆石的年龄代表了基底岩石重熔生成花岗质岩浆的时代。Nd 模式年龄结果表明木扎尔特群基底岩石具有 1.7~ 1.9Ga 的地壳存留年龄。

关键词 锆石 U-Pb 年龄; Nd-Sr 同位素; 花岗片麻岩; 西南天山

中图法分类号 P597.3; P588.34

由于缺乏可靠的同位素年龄数据, 西南天山前寒武纪基底时代问题一直存在很大的争议。天山西段哈尔克山南缘元古宙地层主要分布于哈尔克山山前地带, 西自托木尔峰-南木扎尔特河塔列阔克坦-求阿伯, 东到却响侧铁列克厄肯一带。其上又被上石炭统不整合覆盖, 局部与上志留统呈断层接触。1938 年别良耶夫斯基首次在哈尔克山南缘划分出元古界; 1957 年地质矿产部十三大队将其命名为阿克苏群, 并与阿克苏地区的同时代地层进行对比(王宝瑜等, 1994)。新疆地矿局(1993)将其划归为下元古界, 命名为木扎尔特群。木扎尔特群主要为一套条痕状、眼球状混合岩、黑云斜长片麻岩和云母石英片岩等组成, 不整合于震旦系之下, 位于木扎尔特河中上游。从岩性看, 出露在阿克苏西南的阿克苏

群与哈尔克山南缘破城子北的木扎尔特群差异很大, 阿克苏群以蓝闪绿片岩系为代表, 以变质基性火山岩为主, 具有洋底拉斑玄武岩特征, 稀土元素配分曲线为平坦型, 火山岩夹薄层硅质岩及含铁石英岩, 属典型优地槽建造。西南天山广泛分布的阿克苏群蓝闪绿片岩系的层位在木扎尔特群之上, 在震旦系之下(王作勋等, 1990)。关于阿克苏群的时代, 曾经报道过蓝片岩全岩 Rb-Sr 模式年龄为 1720 ± 8 Ma 以及蓝闪绿片岩中多硅白云母的 K-Ar 年龄为 720 Ma (肖序常等, 1990)。胡霭琴等(1997)的研究表明, 阿克苏群 Pb-Pb 全岩等时线年龄为 1663 ± 16 Ma, 为蓝片岩-绿片岩系的生成时代; 其 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 636 ± 22 Ma, 代表区域内隆起冷却年龄。杨学昌(1985)在破城子北出露的木扎尔特群变质岩

* 本文研究由国家自然科学基金(编号: 49633250)资助, 属国家 305 项目(96-915-07-05A)。

第一作者简介: 陈义兵, 男, 1971 年生, 博士研究生, 同位素地球化学专业

系进行了同位素地质年代学研究, 眼球状片麻岩、黑云母片麻岩和二云母石英片岩三个点的 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 643Ma; 眼球状片麻岩中的锆石 U-Pb 法测得其 $T_{206/238}$ 年龄为 676Ma。由于交通不便, 木扎尔特群的研究程度较低, 没有获得十分可靠的年龄数据, 对西南天山区域范围内的年代学对比和地质演化历史的讨论尚存争议。因此, 在前人工作的基础上, 我们对木扎尔特群进行了锆石 U-Pb 年代学和 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素体系研究, 为进一步揭示西南天山前寒武纪地壳演化历史提供新的证据。

1 地质背景

木扎尔特群出露于南木扎尔特河的塔列克阔坦以南至破城子以北约 8km 的范围内, 从岩性上主要分为两类: 1) 花岗片麻岩类: 黑云母斜长片麻岩、含石榴石云母石英钠长片麻岩、二云斜长片麻岩等。岩石局部可见变余的半自形粒状结构, 变形强烈的部位矿物定向排列, 显示片麻状构造, 片麻理走向近东西, 大多数向北倾斜, 与区域构造线的展布一致。混合岩化作用改造强烈的部位, 岩石大多数具重熔交代残留结构、交代蠕英结构等, 以条带状、条痕状构造为主, 其次为眼球状构造或肠状构造。2) 表壳岩类: 主要为角闪片岩、黑云母片岩及二云片岩等。变质程度属于角闪岩相, 宏观产状上具有比较稳定的层状或似层状构造, 而且一般层厚不大。木扎尔特群受到后期粗粒角闪花岗岩的侵入, 沿接触带可见同化混染现象, 在本区岩石主体是花岗质片麻岩, 与表壳岩系一起受到变形、变质和混合岩化作用的强烈改造, 其南、北均以断层与古生代地层接触。

2 元素地球化学特征

主量元素用常规湿化学方法分析, 在中国科学院地球化学研究所完成; 微量元素用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)分析, 在中国科学院广州地球化学研究所完成, 分析流程及精度同刘颖等(1996); 测试结果列于表 1。

2.1 原岩特征及主元素组成

根据西蒙南的 $(aI + fm) - (c-alk) - Si$ 图解、普列多夫斯基 KAF 图解、Tarney 的 $TiO_2 - SiO_2$ 图、Winchester 等的 $Zr/TiO_2 - Ni$ 图和 Shaw 的 DF 判别函数(王仁民等, 1987)的综合判断, 表壳岩系和花岗片麻岩类均为火成岩。在 AFM 三角图中(王仁民等, 1987), 基性片岩投点在富 Fe 拉斑玄武岩区, 而花岗片麻岩类的投点显示出钙碱性系列的演化趋势。

花岗片麻岩类的 $SiO_2 = 65.26 \sim 74.72\%$, $TiO_2 = 0.16 \sim 0.65\%$, $Al_2O_3 = 13.25 \sim 16.62\%$, $FeO^* = 1.25 \sim 5.11\%$, $MgO = 0.3 \sim 2.4\%$, $CaO = 0.6 \sim 3.0\%$ 。从图 1 上可以看出花岗质片麻岩类的 MgO 、 TiO_2 、 FeO^* 、 Al_2O_3 含量与 SiO_2 呈

负相关, $Na_2O + K_2O$ 与 SiO_2 呈正相关, 表现出明显的火成岩变异趋势。在 $Mg^{\#} - FeO^*$ 、 TiO_2 等变异图上, 花岗质片麻岩类的 FeO^* 、 TiO_2 随着结晶分异作用的进行主要呈减少的趋势, 表现为钙碱性火成岩的演化趋势, 但是 966008-8 号样品明显偏离其主体演化趋势。从化学成分上看, 与花岗闪长岩、花岗岩的成分相当, 966008-8 号样品的 $Na_2O/K_2O > 1$, 其成分类似于奥长花岗岩。花岗片麻岩的 Al_2O_3 含量均较高, 表现在 CIPW 指数中标准刚玉分子为 1.1~4.0%, 均大于 1%, 而 $Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)$ 克分子比值为 1.07~1.29, 均明显大于 1.05, 相当于过铝质花岗岩。花岗片麻岩在岩石化学特点、变化趋势上类似于陆壳改造型花岗岩。

基性片岩的 $SiO_2 = 49.42\%$, $K_2O = 1.55\%$, $Na_2O = 1.12\%$, $TiO_2 = 0.56\%$, $Al_2O_3 = 20.72\%$, $FeO^* = 17.36\%$, $MgO = 1.2\%$, $CaO = 2.3\%$, 其 FeO^* 含量明显高于钙碱性系列的花岗片麻岩, 为富 Fe 拉斑玄武岩。

2.2 微量元素特征

花岗片麻岩的 K、Rb、U、Th 高度富集, Ba 的相对亏损和 Ce、Sm 的选择性富集, 而 Nb、Ta 和 Zr、Hf 亏损, $Rb/Sr = 0.19 \sim 1.03$, $Th/Ta = 11.54 \sim 23.71$, $Th/Yb = 4.14 \sim 9.69$, $Nb/Y = 0.52 \sim 0.63$, $Ti/Zr = 280.96 \sim 377.21$, $Zr/Y = 0.5 \sim 0.7$, $Ti/V = 55.77 \sim 83.55$, $Ga/Sc = 1.44 \sim 2.10$, $Ga/Al_2O_3 = 1.20 \sim 1.29$ 。花岗质片麻岩类的稀土元素总量为 145~345 $\mu g/g$, 稀土元素发生了明显分异, 具有轻稀土富集的分馏模式。镧的富集程度为球粒陨石的 124~401 倍, $(La/Yb)_N = 6.99 \sim 33.59$ 。轻稀土之间表现出明显的分馏, $(La/Sm)_N = 2.56 \sim 2.83$; 而重稀土之间的分馏不明显, 呈平坦的趋势, $(Gd/Lu)_N = 1.49 \sim 1.74$ 。铈有一定程度的负异常, $\delta Eu = 0.60 \sim 0.75$ 。稀土元素总量、轻重稀土分馏程度、镧的富集程度都呈有规律的增加, 这与火成岩的分异趋势是一致的, 并且在主要元素的相关变化(如 TiO_2 、 Al_2O_3/TiO_2 比值)上也有相似的规律。

3 同位素年代学和地球化学特征

3.1 锆石 U-Pb 年龄

本地区混合岩化作用比较发育, 有角闪片麻状混合岩、条痕状混合岩等。从眼球状花岗质混合岩中选出的锆石为无磁性, 无色或淡黄色, 透明、半透明, 短柱状自形晶, 晶形完整, 自形度较高, 主要为 {100}、{110} 和 {111} 的聚形。锆石长约 0.18~0.22mm, 长宽 = 2.1~2.5 μ 。在双目显微镜下仔细挑选晶形好、无暗色包体、无裂隙的锆石送中国科学院北京地质研究所同位素实验室, 采用 $^{205}Pb-^{235}U$ 混合同位素稀释法测定(许荣华, 1989), 结果列于表 2 和图 3。数据回归和年龄计算用 ISO PLOT(Ludwig, 1996)来处理。

表 1 西南天山木扎尔特群岩石的主量元素(%)和微量元素($\mu\text{g/g}$)分析结果

Table 1 Chemical analyses of rocks from Muzhaerte Group, Southwestern Tianshan

岩石名称	基性片岩		花岗片麻岩							
	966001	966005	966006	96007	966008-1	966008-2	966008-4	966008-6	966008-8	966008-9
SiO ₂	49.42	70.54	68.67	65.26	74.72	74.03	73.60	73.82	74.22	64.70
TiO ₂	0.56	0.35	0.59	0.59	0.24	0.25	0.25	0.19	0.16	0.65
Al ₂ O ₃	20.72	15.88	14.94	16.62	13.25	14.01	13.73	13.73	14.21	16.14
Fe ₂ O ₃	4.40	0.42	1.35	0.71	0.47	0.28	0.39	0.26	0.33	0.88
FeO	13.4	2.12	2.55	3.49	1.03	1.31	1.19	1.29	0.95	4.32
MnO	0.06	0.05	0.08	0.08	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.11
MgO	1.2	0.7	1.3	1.6	0.3	0.4	0.5	0.3	1.2	2.4
CaO	2.3	2.1	3.0	2.7	1.4	1.6	1.4	1.4	0.6	2.4
Na ₂ O	1.12	3.34	3.34	3.94	3.06	3.27	3.65	2.92	5.37	3.06
K ₂ O	1.6	3.9	2.6	3.1	4.3	4.3	3.9	4.8	1.5	2.9
P ₂ O ₅	0.21	0.17	0.11	0.18	0.06	0.10	0.11	0.10	0.16	0.15
烧失量	4.25	0.24	0.62	1.02	0.24	0.15	0.41	0.29	0.48	1.34
总和	99.19	99.78	99.07	99.34	99.10	99.73	99.18	99.13	99.16	99.05
Sc			9.15	14.07						12.96
V			50.63	55.13						75.01
Cr			17.76	23.51						49.85
Co			10.10	16.35						20.21
Ni			9.16	7.45						33.85
Cu			15.81	12.07						8.17
Zn			94.22	96.92						142.03
Ga			19.20	20.29						19.33
Ge			1.32	1.30						1.55
Rb*			48.71	100.04						149.52
Sr*			251.18	97.16						292.12
Y			23.11	22.60						24.01
Zr			14.55	15.43						11.09
Nb			14.50	11.75						13.27
Cs			3.68	10.35						9.45
Ba			1184.7	1179.9						638.92
La			95.06	39.92						29.57
Ce			129.52	80.46						60.16
Pr			14.82	9.75						7.36
Nd			51.24	34.84						26.10
Sm			8.80	6.36						5.02
Eu			1.67	1.49						1.16
Gd			8.12	5.77						4.93
Tb			1.02	0.87						0.77
Dy			4.74	4.36						4.17
Ho			0.90	0.86						0.88
Er			2.54	2.44						2.58
Tm			0.33	0.33						0.38
Yb			2.03	2.01						2.36
Lu			0.31	0.30						0.36
Hf			0.39	0.38						0.32
Ta			0.83	0.72						0.85
Pb			25.45	18.66						19.04
Th			19.68	11.18						9.78
U			1.09	1.11						1.51

注: 主量元素用常规湿化学方法分析, 中国科学院地球化学研究所李松荣等完成。微量元素用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)分析, 由中国科学院广州地球化学研究所刘颖、刘海臣等完成。* Rb, Sr 浓度均采用 D-TMS 的结果。

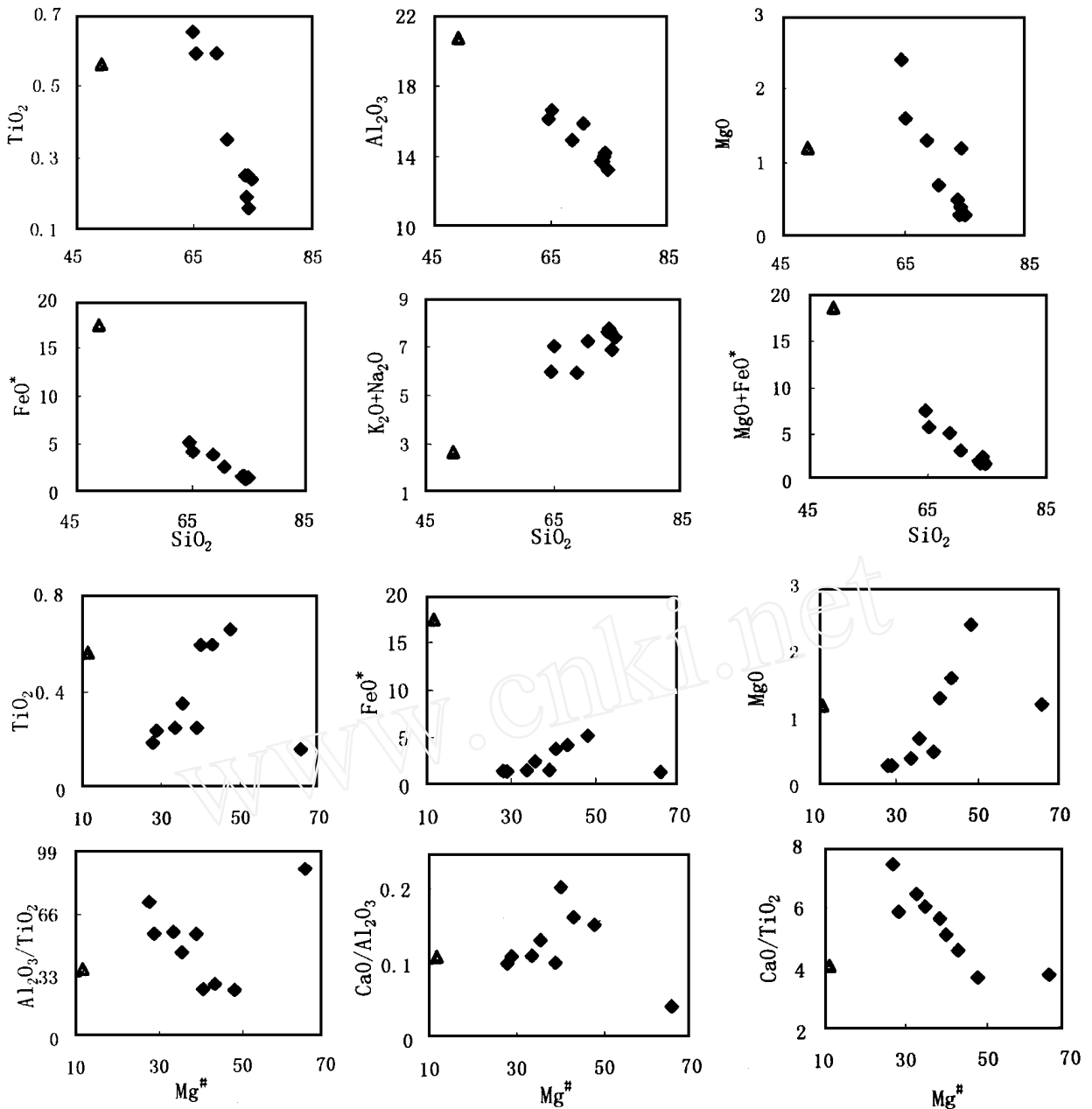


图1 木扎尔特群岩石的Harker 变量图解 基性片岩 花岗片麻岩
 $FeO^* = FeO + 0.89 * Fe_2O_3$, $Mg^{\#} = 100 * MgO / (FeO^* + MgO)$ 克分子比
 Fig 1 Harker variation diagrams for Muzaerte Group rocks Basic schist Granitic gneiss
 $FeO^* = FeO + 0.89 * Fe_2O_3$, $Mg^{\#} = 100 * MgO / (FeO^* + MgO)$ molar ratio

从表 2 和图 3 来看, 3 号点为无裂隙、无包裹体的岩
 锆石, 在误差范围内给出了一致的三组 U-Pb 和 Pb-Pb 年
 龄, 落在和谐线上, 可以代表锆石的结晶年龄(70Ma)。另
 有两份锆石(2, 4 号点) $^{206}Pb/^{238}U$ 和 $^{207}Pb/^{235}U$ 年龄
 低于锆石结晶年龄, 表现出不同程度的后期放射性成因 Pb
 丢失, 致使数据点落在谐和线下方。锆石的铅丢失可以
 由后期事件扰动造成, 也可以由连续扩散造成。这种现
 象在前寒武纪锆石中普遍存在, 反映了锆石 U-Pb 体
 系经历漫长演化历史的结果。

其表面年龄为 $t_{207/206} > t_{207/235} > t_{206/238}$, 与放射性成因 Pb 的
 丢失模式有关, 但其 $t_{207/206}$ 年龄结果在 771~ 794Ma 之
 间, 与锆石的结晶年龄相差近 80Ma, 已经超出了分析误
 差范围, 这可能是因为其 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值较低 (< 500),
 在扣除普通铅时引起较大的误差。这三点组成的不一
 致线上交点年龄为 $707 \pm 13Ma$ (MSWD = 0.33), 反映
 的是锆石的结晶年龄, 即花岗片麻岩岩浆的形成时代。
 后期的 Pb 丢失事件只造成了较低程度的放射性成因 Pb
 丢失, 所有数据点集中在结晶年龄的

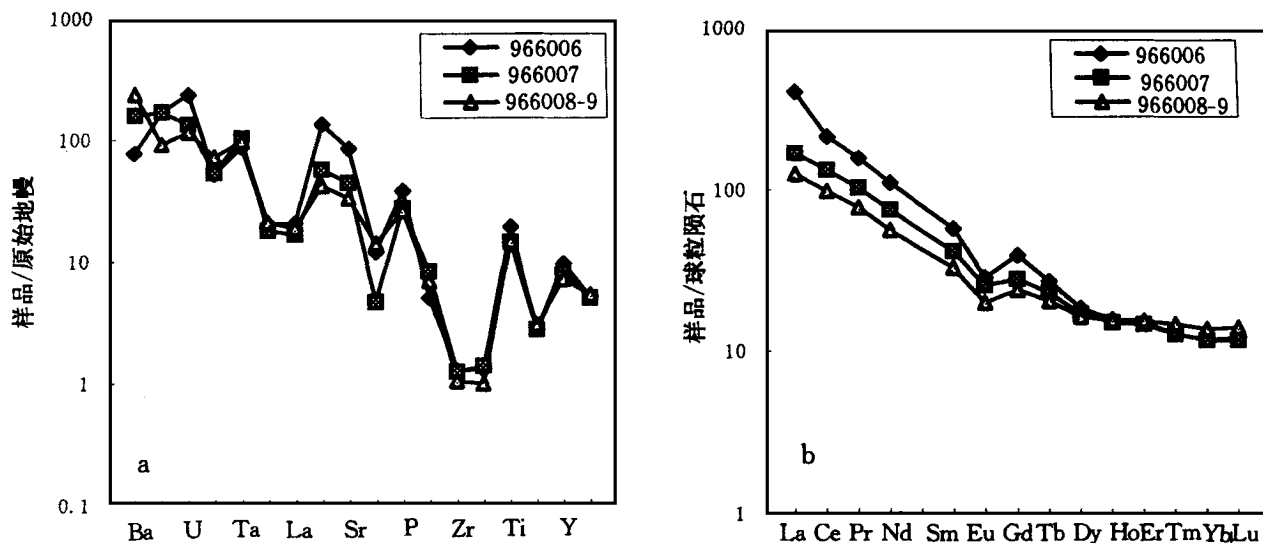


图 2 花岗片麻岩不相容元素的原始地幔标准化图解(a)和稀土元素配分模式图(b)
原始地幔值和球粒陨石值均采用 Sun and McDonough (1989)

Fig 2 PM-normalized trace element spidergrams(a) and chondrite-normalized REE distribution patterns(b) for granitic gneisses from Muzhaerte Group; the normalizing values are those of Sun and McDonough (1989)

表 2 西南天山木扎尔特群花岗片麻岩锆石 U-Pb 法同位素年龄测定结果

Table 2 U-Pb zircon data for granitic gneisses from Muzhaerte Group, Southwestern Tianshan

点号	样品号	浓度		铅同位素组成			同位素原子比率			表面年龄 (Ma)		
		U (ppm)	Pb (ppm)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
1	966007-1	406.8	63.87	978.474	81.9090	183.951	0.1220	1.1639	0.0692	742	784	904
2	966007-2	208.6	31.30	356.633	37.6805	82.6216	0.1073	0.9703	0.0656	656	689	794
3	966007-3	179.0	26.41	896.057	70.6407	159.120	0.1159	1.0058	0.0630	707	707	706
4	966007-4	124.2	20.13	276.855	32.2464	74.3256	0.1102	0.9855	0.0649	674	696	771

注: 由中国科学院地质研究所同位素实验室许荣华、乔广生等分析。全流程 Pb 本底为 0.021ppm (10^{-12} 克原子), 普通铅校正按 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.53$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.48$ 校正, 年龄计算所用的衰变常数为 $^{238}\text{U} = 0.155125\text{Ga}^{-1}$, $^{235}\text{U} = 0.98485\text{Ga}^{-1}$, $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ 比值为 137.88 (Steiger, R. H. et al., 1977)。

附近, 因此很难得到可靠的后期 Pb 丢失年龄。

第 1 点的 U-Pb 和 Pb-Pb 年龄既老于锆石的结晶年龄, 又有明显不一致性, 表明既有少量的继承 Pb, 又经历过后期 Pb 的丢失。通常残留锆石在岩浆形成过程中可能经历了较明显的 Pb 丢失, 使得其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄向结晶锆石年龄靠近。这一点和第 3 点组成的不一致线上交点年龄为 $2421 \pm 899\text{Ma}$ ($M\text{SWD} = 0.33$), 虽然误差很大, 但对指示其源岩物质的年龄有参考意义, 表明存在再循环的老地壳物质, 其 U-Pb 上交点年龄年龄 (2.4Ga) 是源区岩石成壳时代的一个近似估计。

3.2 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素特征

木扎尔特群变质岩的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素组成用同位素稀释法 (D-TMS) 测定, 其分析结果及有关计算参数列

于表 3。

花岗质片麻岩的 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值在 $0.0993 \sim 0.1334$ 之间变化, $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$ 值集中在 $-10.3 \sim -17.3$ 之间, 其 $f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$ 值为 $-0.32 \sim -0.50$, 其 Nd 模式年龄集中在 $1.7 \sim 1.9\text{Ga}$ 之间 (按地幔演化线 $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = +10$ 参数计算)。在花岗片麻岩中获得有 70Ma 的锆石结晶年龄, 岩石的 $\epsilon_{\text{Nd}}(70\text{Ma})$ 值为 $-4.4 \sim -7.1$, 与基性片岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(70\text{Ma})$ 值 (-4.5) 很接近, 说明其来源于古老地层的重熔。有一个花岗片麻岩 (966008-8) 的 $\epsilon_{\text{Nd}}(70\text{Ma})$ 值为 -11.6 , 其钨模式年龄为 2.6Ga , 明显老于其它的样品, 从化学成分上看, 这个样品也明显偏离钙碱性岩系的演化趋势, 说明有较多的古老地壳物质的混染。从 Rb-Sr 同位素的组成来看, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 0.5596 \sim 2.9783$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7153 \sim 0.7264$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_1 (0.707\text{Ga}) = 0.7076 \sim 0.7096$, 其 Nd, Sr 同位素组成特征均说明花岗片

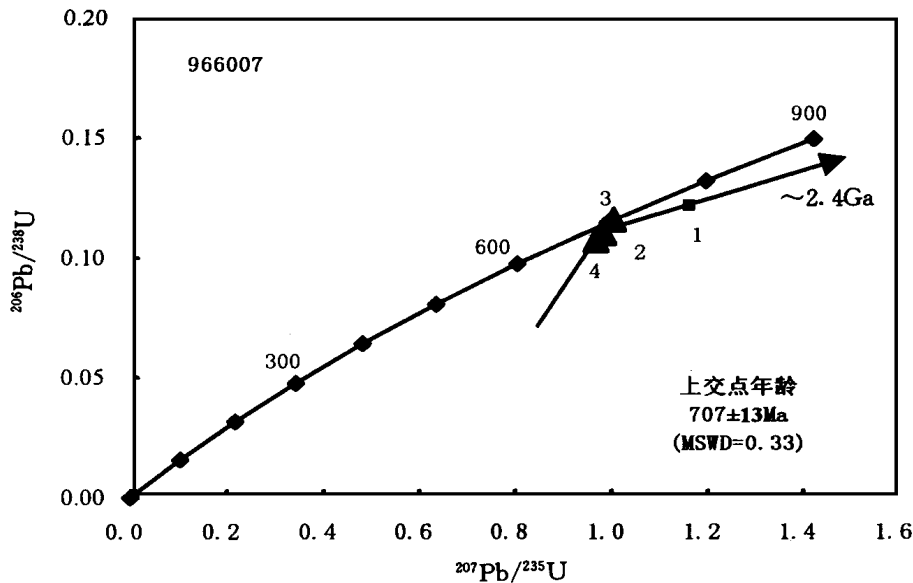


图3 花岗片麻岩中锆石U-Pb 谐和图解

Fig. 3 U-Pb zircon concordia diagram for the granitic gneiss from Southwestern Tianshan

表3 西南天山木扎尔特群变质岩的Sm-Nd和Rb-Sr同位素分析结果

Table 3 Sm-Nd and Rb-Sr isotopic analyses for metamorphic rocks from Muzhaerte Group, Southwestern Tianshan

岩性	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ($\pm 2\sigma$)	T_{DM} (Ga)	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	Rb ($\mu\text{g/g}$)	Sr ($\mu\text{g/g}$)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($\pm 2\sigma$)
966001 基性片岩	5.195	20.76	0.1513	0.512199 \pm 19	2.31	-4.5				
966006 花岗片麻岩	8.477	51.61	0.0993	0.511910 \pm 8	1.65	-5.4	48.71	251.2	0.5596	0.715256 \pm 13
966007 花岗片麻岩	6.348	36.61	0.1048	0.511885 \pm 15	1.77	-4.7	100.0	97.16	2.978	0.726402 \pm 21
966008-4 花岗片麻岩	5.298	24.37	0.1314	0.512112 \pm 10	1.92	-4.4				
966008-8 花岗片麻岩	5.241	23.74	0.1334	0.511751 \pm 10	2.64	-11.6				
966008-9 花岗片麻岩	6.379	34.81	0.1108	0.511874 \pm 9	1.88	-7.1	149.5	292.1	1.478	0.722493 \pm 17

注:中国科学院地质研究所黄董、乔广生等分析。 T_{DM} 的计算采用Goldstein *et al.* (1984)的模式, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值的计算取 $t=707\text{Ma}$ 。

麻岩的物质来源于古老基底地壳物质,反映其源岩成熟度较高。Nd模式年龄(1.7~2.6Ga)明显大于结晶年龄值,表明熔融母岩具有很长的地壳滞留时间,是古老的再循环地壳物质。

4 讨论

由于经受了多次构造-变质-岩浆活动,绝大多数的前寒武纪的花岗质岩石以片麻岩状花岗岩类产出。探讨花岗岩的成因成为一个关键问题,对该区地壳演化历史的反溯具有重要指示意义。

锆石U-Pb年龄 $707 \pm 13\text{Ma}$ 反映的是锆石结晶年龄,即花岗片麻岩岩浆的形成时代,这个年龄反映的是区域变质作用引起的地壳重熔后再结晶的年龄。花岗片麻岩是变质基底

地壳物质发生部分熔融而形成的。根据前人(杨学昌,1985)和本文的研究表明新元古代晚期,本区处于一个构造-岩浆-热事件活动频繁时期,这次构造岩浆活动热事件对古元古代基底的影响之大,造成基底岩石的广泛混合岩化和花岗质岩浆侵入活动。

由于Sm、Nd地球化学性质极为相似,壳内地质作用(包括剥蚀、沉积、变质作用)过程中,地壳岩石的Sm/Nd比值可保持不变。对于壳源型花岗岩,由于壳内熔融过程中Sm/Nd比值一般不会发生明显改变,因此其Nd模式年龄可反映源区地壳的平均成壳年龄(McCulloch and Wasserburg, 1978; O'Nions *et al.* 1983; Arndt *et al.*, 1987)。花岗片麻岩的 T_{DM} 值给出了基底地壳的年龄为1.7~1.9Ga左右,说明其源区物质在古元古代就可能从地幔分异出来,这与锆石中存在约2.4Ga的继承放射性成因Pb一样表明存在老的地壳物质。

奥长花岗质片麻岩的钼模式年龄为 2.6 Ga, 推测可能是由于岩浆形成中更老的地壳物质混染的结果。肖序常等(1990)和王作勋等(1990)均认为塔里木板块北缘断裂带南侧的阿克苏群的蓝片岩代表了洋盆的闭合位置, 推断可能是塔里木与哈萨克斯坦(中天山)板块聚合的缝合带。阿克苏群高压变质带的存在以及 720 Ma 的变质年龄(肖序常等, 1990), 说明这一洋盆封闭于元古宙晚期, 闭合方式很可能是洋盆向北侧伊犁-中天山地块之下俯冲聚合的结果。塔里木板块北缘断裂带北侧的木扎尔特群眼球状花岗片麻岩就是这次新元古代构造热事件的产物, 707 Ma 的锆石 U-Pb 年龄代表了由于古老地块的汇聚和碰撞拼贴而产生的基底区域性变质、地壳重熔等重大地质事件的时限。

5 结论

(1) 锆石的 U-Pb 年龄结果表明花岗片麻岩岩浆的形成时代为 707 ± 13 Ma。

(2) Nd-Sr 同位素组成表明花岗片麻岩的岩浆物质来自基底陆壳岩石的重熔, 其 Nd 模式年龄(1.7~1.9 Ga)反映了源区地壳的平均年龄为元古代。

致谢 杨学昌老师提供了许多地质资料和有益的建议; 许荣华研究员、乔广生研究员等完成锆石 U-Pb、全岩 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素分析, 并在数据讨论方面予以很大的帮助; 李荪蓉老师完成主元素化学分析; 刘颖、刘海臣、王甘霖帮助取得 ICP-MS 数据; 在此致以诚挚的谢意。

References

Arndt N T and Goldstein S L . 1987. Use and abuse of crust-formation ages. *Geology*, 15: 893~ 895

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region*, People's Republic of China, Ministry of Geology and Mineral Resources, Geological Memoirs. Beijing: Geological Publishing House, 12~ 15 (in Chinese)

DePaolo D J, Linn A M and Schubert G. 1991. The continental crustal age distribution: Methods of determining mantle separation age from Sm-Nd isotopic data and application to the Southwestern United States. *J. Geophys. Res.*, 96: 2071~ 2088

Goldstein S L, O'Nions R K and Hamilton P J. 1984. A Sm-Nd isotopic study of atmospheric dusts and particulates from major river systems. *Earth Planet. Sci. Lett.* 70: 221~ 236

Hu Aiqin, Wang Zhonggang, Tu Guangzhi *et al.* 1997. Geological evolution and diagenesis and metallogenetic regularity in northern Xinjiang. Beijing: Science Press, 28~ 30 (in Chinese)

Liu Ying, Liu Haichen and Li Xianhua. 1996. Simultaneous and

precise determination of 40 trace elements in rock samples by ICP-MS. *Geochimica*, 25: 552~ 558 (in Chinese with English abstract)

- Ludwig R K. 1996. ISOPLLOT: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data (Ver. 2.90). U.S. Geological Survey. Open File Rept., 91(445): 1~ 47
- McCulloch M T and Wasserburg G J. 1978. Sm-Nd and Rb-Sr chronology of continental crust formation. *Science*, 200: 1003~ 1011
- O'Nions R K, Hamilton P J and Hooker P J. 1983. A Nd isotope investigation of sediments related to crustal development in the British Isles. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 63: 229~ 240
- Steiger R H and Jager E. 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 359~ 362
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A. D. and Norry M. J. (eds.), *Magmatism in ocean basins*. Geol. Soc. London. Spec. Pub. 42: 313~ 345
- Wang Renming, Huo Gaoping, Chen Zenen, Zheng Songyan and Gen Yuanshen. 1987. Discrimination diagrams on the protolith of the metamorphic rocks. Beijing: Geological Publishing House, 2~ 146 (in Chinese)
- Wang Baoyu, Lang Zhijun, Li Xiandong, Qu Xun, Li Tianfu, Huang Cheng and Cui Xi. 1994. Comprehensive survey of geological sections in the west Tianshan of Xinjiang, China. Beijing: Science Press, 8~ 18 (in Chinese with English abstract)
- Wang Zuoxun, Wu Jiyi, Lu Xichao, Zhang Jingguo and Liu Chengde. 1990. Polycyclic tectonic evolution and metallogeny of the Tianshan mountains. Beijing: Science Press, 9~ 14 (in Chinese)
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi, Zhao Min, Feng Yin in and Zhu Baoqing. 1990. Discussion on tectonic evolution of north part of Xinjiang. *Geological Science of Xinjiang*, (1): 47~ 68 (in Chinese)
- Xu Ronghua. 1989. The single zircon U-Pb method. *Acta Petrologica Sinica*, 5(2): 88~ 93 (in Chinese with English abstract)
- Yang Xuechang. 1985. Study on the isotopic geochronology. In: Scientific investigation team of Chinese Academy of Sciences (ed.), *Geology and paleobiology of the area of Tomur Peak, Tianshan mountain*. Urumqi: People's Publishing House of Xinjiang, 85~ 94 (in Chinese)

附中文参考文献

- 王仁民, 贺高品, 陈珍珠, 郑松彦, 耿元生. 1987. 变质岩原岩图解判别法. 北京: 地质出版社, 2~ 146
- 王作勋, 邬继易, 吕喜朝, 张经国, 刘成德. 1990. 天山多旋回构造演化及成矿. 北京: 科学出版社, 9~ 14

- 王宝瑜, 郎智群, 李向东, 屈迅, 李天福, 黄诚, 崔曦 1994 中国天山西段地质剖面综合研究 北京: 科学出版社, 8~ 18
- 许荣华 1989 微量及颗粒锆石 U-Pb 定年方法 岩石学报, 4(2): 88~ 93
- 刘颖, 刘海臣, 李献华 1996 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素 地球化学, 25(6): 552~ 558
- 杨学昌 1985 同位素地质年龄的测定 见: 中国科学院登山科学考察队主编, 天山托木尔峰地区的地质与古生物 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 85~ 94
- 肖序常, 汤耀庆, 李锦轶, 赵民, 冯益民, 朱宝清 1990 试论新疆北部大地构造演化 新疆地质科学, 第 1 辑: 47~ 68
- 胡霭琴, 王中刚, 涂光炽等 1997 新疆北部地质演化及其成岩成矿特征 北京: 科学出版社, 28~ 30
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局 1993 新疆维吾尔自治区区域地质志 北京: 地质出版社, 12~ 15

《岩石学报》近期重点及优先发表选题

地壳物质组成与演化

早期地壳演化及深部地质作用过程的地球化学
中国古陆块对 Rodinia 全球超级大陆事件的响应

地球深部地质作用过程

地球内部流体的地球化学与成岩成矿作用
流体地质作用与成矿

碰撞造山机制与地质记录

碰撞造山与陆壳俯冲过程的地球化学动力学
典型造山带地壳和地幔细结构研究

同位素体系平衡及其地质年代学与动力学意义

地球化学示踪剂及示踪体系