

# 南阿尔金山清水泉镁铁-超镁铁质侵入体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年及其意义

马中平<sup>1</sup> 李向民<sup>1</sup> 徐学义<sup>1</sup> 孙吉明<sup>1</sup> 唐卓<sup>1</sup> 杜涛<sup>2</sup>

(1. 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地矿局第二综合物化探大队, 陕西 西安 710016)

**摘要:**清水泉镁铁-超镁铁质层状侵入体位于南阿尔金山阿帕—茫崖构造带中-北部的清水泉地区, 其北部与南阿尔金山超高压变质带紧邻。该岩体包含有 3~4 个由辉石橄榄岩-角闪辉长岩构成的岩浆旋回, 与元古宙变质沉积岩系呈侵入接触关系。对其中的角闪辉长岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年, 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄为  $(461 \pm 2) \text{ Ma} \sim (471 \pm 2) \text{ Ma}$ , 其加权平均值为  $(467.4 \pm 1.4) \text{ Ma}$  ( $n=21$ ,  $\text{MSWD}=2.5$ ), 所测锆石具有明显的岩浆振荡环带,  $\text{Th}/\text{U}$  比值为 0.32~1.16 (平均 0.64)。测年结果显示, 清水泉镁铁-超镁铁质岩体的形成时代晚于南阿尔金山超高压变质岩的峰期变质时代 (504~487 Ma), 而老于该地区 A 型花岗岩的时代 (425 Ma 左右)。分析认为, 伴随着同时代的“双峰式”岩浆侵入作用及广泛的变质热事件, 大约 465 Ma 时的南阿尔金山已经由前期的陆-陆碰撞造山阶段转入到了碰撞后的裂谷伸展作用阶段。

**关键词:**南阿尔金山; 早古生代; 镁铁-超镁铁质层状杂岩; 构造演化; 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年

**中图分类号:** P588.34<sup>+</sup>5; P597<sup>+</sup>.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2011-3657(2011)04-1071-08

阿尔金山地处青藏高原北缘, 是中国迄今地质矿产研究程度较为薄弱的地区之一。近年来, 在南阿尔金山地区由于不同类型的超高压(UHP)变质岩的陆续发现, 使其成为国内外瞩目的超高压变质作用研究及相关的大陆深俯冲作用研究<sup>[1-11]</sup>的热点地区。而在与上述超高压变质带紧邻的南阿尔金山阿帕—茫崖蛇绿(混杂)岩带<sup>[12-14]</sup>中部的清水泉—长沙沟地区, 笔者等厘定出了若干镁铁-超镁铁质层状侵入体<sup>[15]</sup>, 同时, 近年来在南阿尔金山地区, 古生代花岗岩研究<sup>[16-18]</sup>以及阿尔金山变质基底多期构造-热事件的确认<sup>[19]</sup>等取得了一系列重要进展, 而南阿尔金山地区上述这些共存的超高压变质岩、镁铁-超镁铁质侵入岩、花岗岩以及相关变质热事件等在南阿尔金山构造演化(尤其是早古生代构造演化)中有何关联尚不明晰。本文在重点报道阿尔金山南缘清水泉镁铁-超镁铁质层状岩体的 LA-ICP-MS 锆石

U-Pb 同位素年龄的基础上, 结合南阿尔金山地区有关超高压变质岩、花岗岩等前人研究成果与进展对上述问题进行简要分析。

## 1 区域地质特征

清水泉—长沙沟地区的镁铁-超镁质杂岩体(或岩体群)位于新疆若羌县南部, 大地构造上处于南阿尔金山阿帕—茫崖构造带中部, 其北侧与南阿尔金山超高压变质带(图 1-a)直线距离不足 20 km。依产出位置, 将这些镁铁-超镁质杂岩体划分为清水泉岩体、长沙沟东段、长沙沟中段和黄土泉岩体(图 1-b), 它们分别分布于阿尔金山南缘主断裂的内部或其两侧, 相互间以主断裂或韧性剪切带相分隔。区内地层在主断裂以北主要为新太古代—古元古代阿尔金山岩群和青白口系索尔库里群变质沉积岩系(图 1-b), 主断裂以南主要为形成于  $(1827 \pm 13) \text{ Ma}$ <sup>[20]</sup>的古

收稿日期: 2011-04-20; 改回日期: 2011-05-06

基金项目: 国家十一五科技支撑计划新疆 305 项目(2006BAB07B03-02)、中国地质调查局综合研究项目(1212010818090、11212010786006)资助。

作者简介: 马中平, 男, 1970 年生, 博士, 副研究员, 从事岩浆岩及其相关矿产研究; E-mail: mzhongping70@163.com。

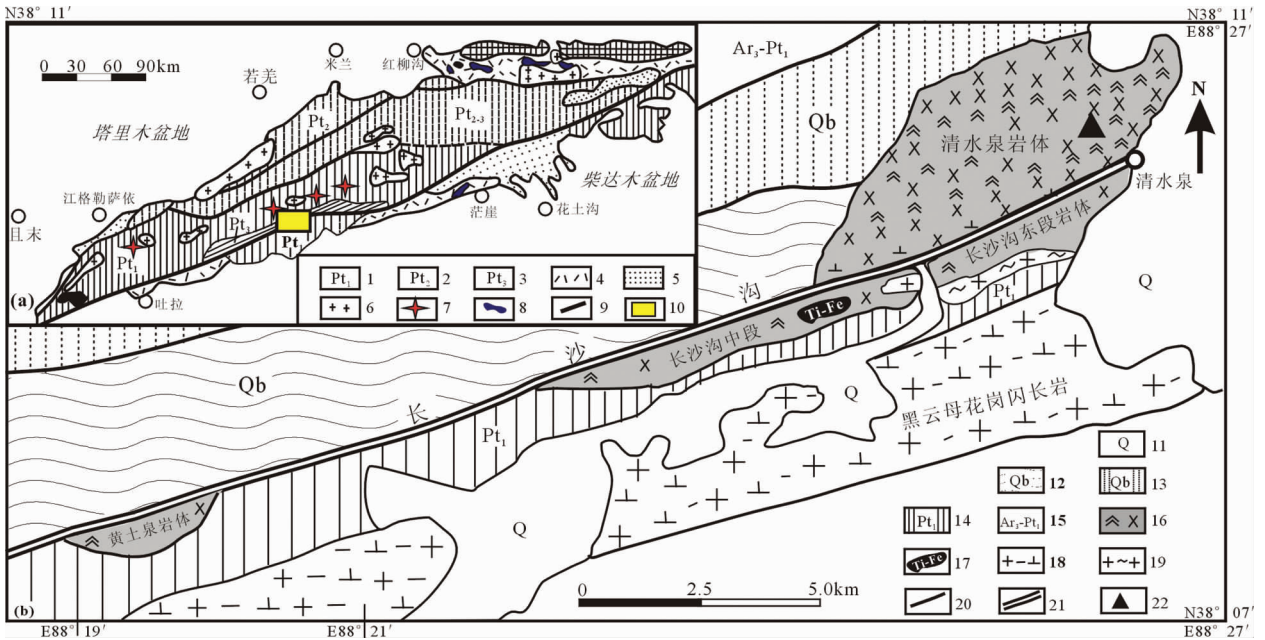


图1 阿尔金山南缘清水泉地区地质简图

(a 据文献[4,7,11,19]; b 据 1:25 万瓦石峡幅区域地质调查报告●和笔者等实测资料)

- 1—古元古界; 2—中元古界; 3—新元古界; 4—早古生界; 5—中生界; 6—花岗岩; 7—超高压变质岩; 8—超基性岩;
- 9—断层; 10—图 b 位置; 11—全新统; 12—青白口系钙质片岩、板岩; 13—青白口系灰岩—大理岩; 14—古元古界条带状斜长角闪岩; 15—阿尔金山群; 16—镁铁—超镁铁质侵入岩; 17—钛—磁铁矿矿体; 18—黑云母花岗闪长岩; 19—片麻状斜长花岗岩; 20—断层; 21—阿尔金山南缘主断裂; 22—采样位置

Fig.1 Geological map of Qishuiquan area, southern Altun Mountains

(a from references [4,7,11,19]; b from 1:250000 geological map● and this paper)

- 1—Paleoproterozoic metamorphic rocks; 2—Mesoproterozoic rocks; 3—Neoproterozoic rocks; 4—Early Paleozoic strata;
- 5—Mesozoic and Cenozoic covers; 6—Granites; 7—UPH metamorphic rocks; 8—Ultrabasic rocks; 9—Fault; 10—Location of Fig. 1b; 11—Quaternary; 12—Qingbaikou calc-schist; 13—Qingbaikou marble; 14—Paleoproterozoic amphibolite; 15—Neoproterozoic Paleoproterozoic metamorphic rocks; 16—Mafic-ultramafic intrusion; 17—Ti-magnetite ore body; 18—Granodiorite;
- 19—Gneissic plagiogranite; 20—Fault; 21—Major fault on the south margin of Altun Mountains; 22—Sampling location

元古代条带状斜长角闪岩，并发育有大量的早古生代酸性侵入体。本文的研究对象清水泉北镁铁—超镁铁质岩体与其西部及北部的青白口系大理岩（图 1-b）呈侵入接触，岩体内含有大量规模不等、强变形的大理岩捕虏体，在岩体西侧与青白口系灰色（含炭）钙质片、板岩间的接触界线附近岩体具冷凝边。

## 2 岩体地质及岩石学特征

清水泉岩体位于清水泉断裂（即南阿尔金山断裂）以北（图 1）。该岩体从北向南可分出 3~4 个由深绿色辉石橄榄岩—浅绿色（含石英）角闪辉长岩组成的岩浆旋回，产状南倾，局部地段可见有辉橄岩—角闪辉长岩—石英闪长岩—黑云母花岗闪长岩组成的

连续地岩浆堆晶—分异演化韵律层。其中，辉石橄榄岩（图 2-a）主要由橄榄石、单斜辉石和少量斜方辉石等组成，具包橄结构，可见半自形辉石包裹较自形或浑圆状的蛇纹石化橄榄石，橄榄石蛇纹石化较强；斜方辉石多被黑云母—金云母（褐红—淡褐色，属含镁较高的黑云母）或角闪石取代，也含有绿色—淡褐色鳞片状含铁较高的黑云母；副矿物主要由 2% 左右的磁铁矿、钛铁矿、铬尖晶石等金属氧化物矿物，局部地段含有 1% 左右的金属硫化物（黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿等）呈稀疏浸染状分布于橄榄石和辉石晶体之间。角闪辉长岩（图 2-b, c）的主要矿物为单斜辉石、斜长石、角闪石和云母类矿物，部分地段岩石中含有极少量的他形石英，具半自形—自形粒状结

① 广西地质调查院. 1:250000 瓦石峡幅 (45C002003) 地质图及区域地质调查报告, 2003.

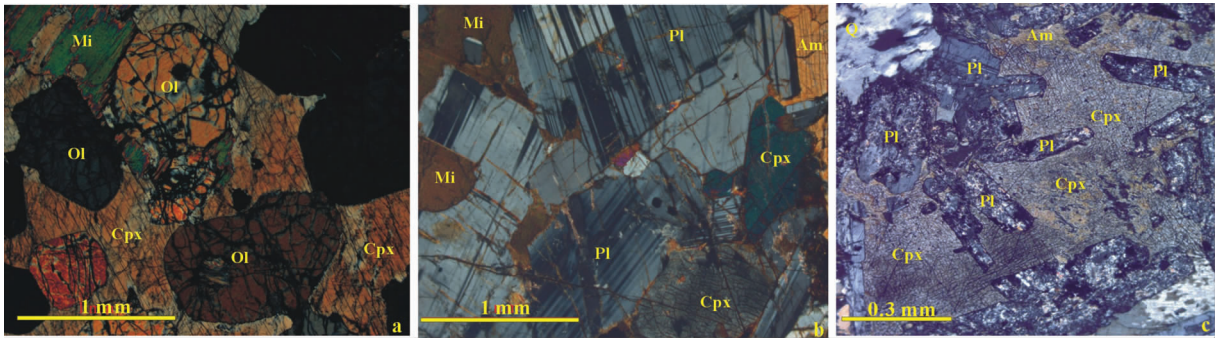


图 2 清水泉辉橄岩(a)和角闪辉长岩(b-c)显微相片  
Ol—橄榄石;Cpx—单斜辉石;Pl—斜长石;Am—角闪石;Mi—云母;Q—石英  
Fig.2 Microphotographs of mafic-ultramafic rocks in Qingshuiquan, southern Altun Mountains  
Ol—Olive; Cpx—Clinopyroxene; Pl—Plagioclase; Am—Amphibole; Mi—Mica; Q—Quartz

构、辉长结构及含长结构。

用于测年的角闪辉长岩的岩石地球化学特征如下:SiO<sub>2</sub> 49.41%~56.98%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.22%~19.15%、CaO 4.90%~9.94%、TiO<sub>2</sub> 0.86%~1.62%、MgO 2.11%~9.57%、FeOT 7.05%~12.15%、Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O,(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)含量较高,为 3.64%~5.68%;稀土元素总量为 39.75×10<sup>-6</sup>~266.40×10<sup>-6</sup>,LREE 相对于 HREE 明显富集,(La/Yb)<sub>N</sub>=3.53~7.57;大离子亲石元素(LILE),如 Cs、Rb、Ba、K、U、Th 等均为原始地幔的 10 倍以上,高场强元素(HFSE)含量相对较低,出现有较明显的 Nb、Ti 负异常。

清水泉岩体的岩相学特征(如含有富水矿物——原生云母类矿物)和上述地球化学特征,显示其源区应为曾受到过俯冲带流体交代的岩石圈地幔,其成因中可能存在一定程度的地壳混染。

### 3 测试方法

本文选择清水泉镁铁-超镁铁质层状岩体上部岩浆旋回中的角闪辉长岩中的锆石(08b-25)为测年对象,进行 U-Pb 同位素定年。锆石 CL(阴极发光)研究和 LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱)锆石微区 U-Pb 同位素年龄测定在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成。实验采用 Agilent 7500 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex 102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF,波长 193 nm)以及 Micro Las 公司的 GeoLas 200 M 光学系统联机进行。激光束斑直径为 30 μm,激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm。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 SRM 610 进行仪器最佳化,采样方式为单点剥蚀,数据采集选用一个质量峰一个点的跳峰方式,每完成 4~5 个测点的样品测定,加测标样一次。在对所测锆石样品分析了 15 个点前后,各测 2 次 NIST SRM 610。锆石年龄采用 91500 作为外标准物质,元素含量采用 NIST SRM 610 作为外标,<sup>29</sup>Si 作为内标。测试结果应用 GLITTER(ver 4.0,Mac-quaie University)软件计算得出,并按照 Andersen 的方法,用 LA-ICPMS Common Lead Correction(ver 3.15)对其进行了普通铅校正,年龄计算及谐和图采用 Isoplot(ver 3.0)<sup>[21]</sup>完成。

### 4 测试结果

根据锆石透、反射光显微镜下观察和阴极发光图像(图 3),测试对象角闪辉长岩样品(08b-25)的锆石多呈无色透明的短柱状(个别为长柱状)晶体。测试中选取颗粒较大,具有较明显岩浆振荡环带的 20 颗锆石进行激光剥蚀测试,获得了 21 个测试点的数据(表 1),所有点的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄介于(461±2) Ma~(471±2) Ma,加权平均年龄为(467.4±1.4)Ma(MSWD=2.5)。在 U-Pb 谐和图上,测试点都分布于谐和线或其附近(图 4 左),并且所测试锆石具有比较明显的岩浆振荡环带,Th/U 比值介于 0.32~1.16(平均 0.64)(表 1),呈现出岩浆成因锆石的特征。因此,(467.4±1.4) Ma 代表该角闪辉长岩的结晶年龄,也就是清水泉层状杂岩体的形成年龄。

### 5 讨论:对南阿尔金构造演化的制约

表 1 清水泉角闪辉长岩(样品 08b-25) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结果  
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating data of zircons from hornblende grabbro (sample 08b-25) in Qingshuiquan

点号	Pb <sup>*</sup> /%	Th /10 <sup>-6</sup>	U /10 <sup>-6</sup>	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb 比值	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U 比值	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U 比值	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th 比值	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb 年龄	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U 年龄	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U 年龄	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th 年龄											
08b-25-01	0.18	19.83	25.88	0.0561	0.0006	0.0034	0.0003	0.7755	0.0003	0.635	0.0003	0.635	0.77	457	6	467	2	469	2	469	2	1245	5
08b-25-02	0.16	26.7	28.34	0.0548	0.0006	0.003	0.0003	0.754	0.0003	0.233	0.0001	0.233	0.94	403	5	458	2	469	2	469	2	465	2
08b-25-03	0.18	1.66	4.85	0.0551	0.0008	0.0062	0.0004	0.754	0.0004	0.246	0.0002	0.246	0.34	418	15	460	4	469	2	469	2	491	4
08b-25-04	0.15	6.11	9.98	0.0617	0.0007	0.0046	0.0004	0.746	0.0004	0.23	0.0001	0.23	0.61	665	8	499	3	464	2	464	2	460	2
08b-25-05	0.15	17.55	21.82	0.0564	0.0006	0.0033	0.0003	0.758	0.0003	0.231	0.0001	0.231	0.8	469	6	471	2	471	2	471	2	462	2
08b-25-06	0.16	9.67	15.96	0.0579	0.0006	0.0038	0.0003	0.758	0.0003	0.238	0.0001	0.238	0.61	525	7	480	2	471	2	471	2	475	2
08b-25-07	0.15	8.97	13.81	0.059	0.0007	0.0044	0.0004	0.745	0.0003	0.219	0.0001	0.219	0.65	567	8	481	3	463	2	463	2	437	2
08b-25-08	0.14	4.36	8.46	0.0558	0.0007	0.0048	0.0004	0.747	0.0004	0.226	0.0001	0.226	0.52	444	10	461	3	464	2	464	2	452	2
08b-25-09	0.14	13.76	14.6	0.0612	0.0007	0.0042	0.0003	0.749	0.0003	0.233	0.0001	0.233	0.94	646	7	497	3	466	2	466	2	466	2
08b-25-10	0.14	9.99	14.89	0.0552	0.0006	0.004	0.0003	0.742	0.0003	0.224	0.0001	0.224	0.67	419	8	454	3	461	2	461	2	448	2
08b-25-11	0.16	29.49	25.45	0.0565	0.0006	0.0037	0.0003	0.75	0.0003	0.223	0.0001	0.223	1.16	471	7	467	2	466	2	466	2	445	2
08b-25-12	0.14	42.77	40.18	0.0566	0.0006	0.0031	0.0003	0.754	0.0003	0.222	0.0001	0.222	1.06	476	5	470	2	469	2	469	2	444	2
08b-25-13	0.16	1.77	4.15	0.0576	0.0009	0.0085	0.0001	0.757	0.0004	0.235	0.0001	0.235	0.43	516	34	478	5	470	2	470	2	469	2
08b-25-14	0.16	7.03	12.14	0.0568	0.0007	0.0042	0.0003	0.759	0.0003	0.232	0.0001	0.232	0.58	485	8	474	3	471	2	471	2	464	2
08b-25-15	0.15	5.23	16.35	0.0657	0.0007	0.0063	0.0003	0.744	0.0003	0.227	0.0001	0.227	0.32	797	22	523	4	462	2	462	2	454	2
08b-25-16	0.14	5.6	15.32	0.0562	0.0007	0.0045	0.0003	0.746	0.0003	0.236	0.0001	0.236	0.37	461	10	463	3	464	2	464	2	472	3
08b-25-17	0.14	5.36	10.85	0.0559	0.0007	0.0047	0.0004	0.757	0.0004	0.235	0.0001	0.235	0.49	448	10	466	3	470	2	470	2	470	2
08b-25-18	0.15	7.78	12.49	0.0558	0.0007	0.0043	0.0003	0.754	0.0003	0.228	0.0001	0.228	0.62	443	9	464	3	469	2	469	2	456	2
08b-25-19	0.16	3.27	9.75	0.0563	0.0007	0.0051	0.0004	0.754	0.0004	0.241	0.0002	0.241	0.34	466	11	468	3	469	2	469	2	482	3
08b-25-20	0.15	6.73	13.53	0.05	0.0006	0.004	0.0003	0.754	0.0003	0.239	0.0001	0.239	0.5	195	10	425	3	469	2	469	2	477	2
08b-25-21	0.16	11.45	16.62	0.0594	0.0007	0.0038	0.0003	0.754	0.0003	0.23	0.0001	0.23	0.69	582	6	488	2	469	2	469	2	459	2

注: Pb<sub>c</sub> 为普通铅; 年龄及其误差单位均为 Ma。

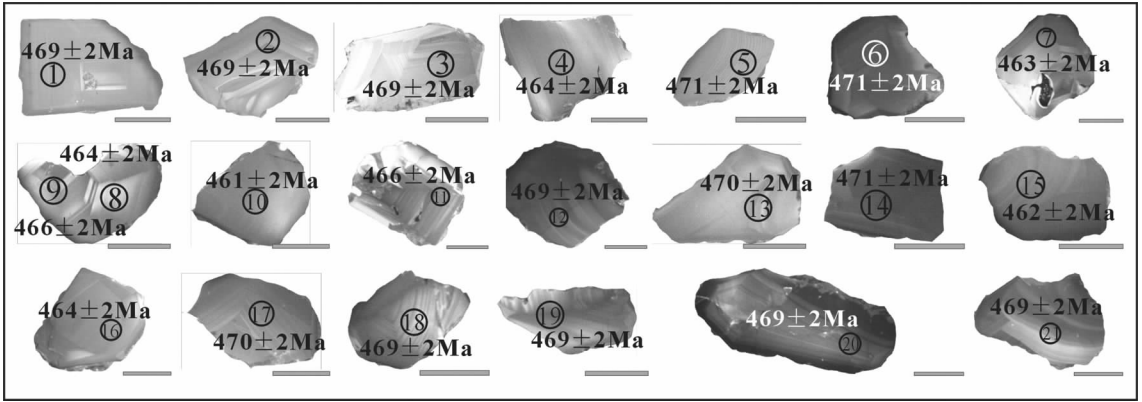


图 3 清水泉角闪辉长岩锆石 CL 图像(图中标尺均为 100  $\mu\text{m}$ )  
Fig.3 CL images of zircons from hornblende gabbro in Qingshuiquan

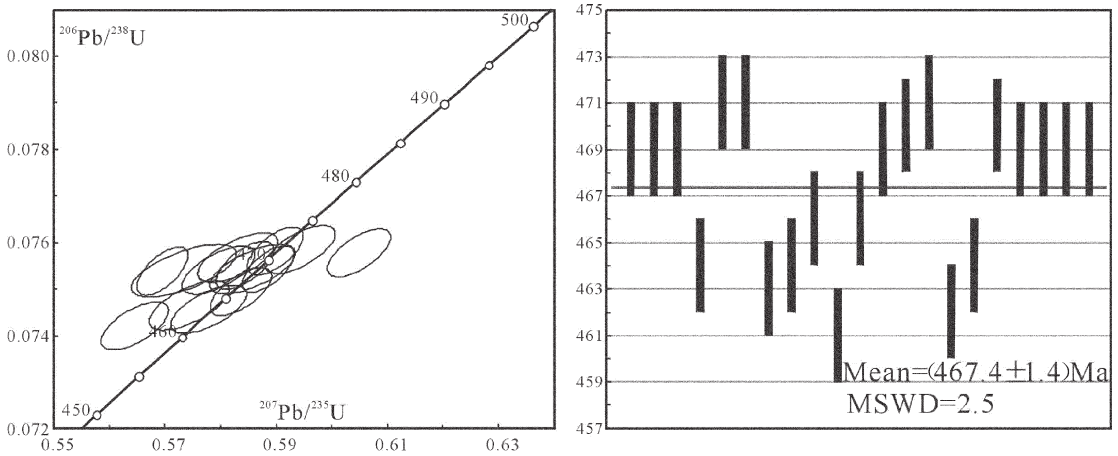


图 4 清水泉角闪辉长岩锆石 U-Pb 谐和图  
Fig.4 Concordia diagram and  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  weight mean age of LA-ICP-MS U-Pb dating

已有研究表明,前文所述的南阿尔金山地区超高压变质带被认为与柴达木盆地北缘超高压变质带是同一构造带,后被阿尔金山断裂左行位移约 400 km<sup>[22-23]</sup>,其形成是由于 550 Ma 前存在于冈瓦纳大陆和西伯利亚陆块间的“原特提斯洋”洋壳深俯冲、随后的陆壳深俯冲以及继后的折返作用的产物<sup>[24-25]</sup>。其中,南阿尔金山 UP/UHP 变质带的榴辉岩及石榴橄榄岩的峰期变质年龄集中在 504~487 Ma<sup>[2-4,6,8-11,19]</sup>,表明早古生代早期(晚-末寒武世),南阿金山地区的洋盆已经关闭,正处于陆壳深俯冲的碰撞造山阶段;另一方面,由于 A 型花岗岩是碰撞造山作用结束(或碰撞后的伸展减薄)的重要标志之一,而南阿尔金山地区有报道的 A 型花岗岩浆活动出现在 425 Ma 及其

以后,如玉苏普阿勒克塔格高钾钙碱性 A 型花岗岩<sup>[17]</sup>((424±4) Ma, LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法,王超等未发表资料)和土拉铝质 A 型花岗岩((385.2±8.1) Ma)<sup>[16]</sup>。若根据这些有限的 A 型花岗岩研究资料,南阿尔金山造山带在中-晚志留世以后才进入到碰撞作用结束后的伸展减薄阶段。

本文对阿尔金山南缘清水泉镁铁-超镁铁质层状杂岩体中岩浆锆石的 LA-ICP-MS 测年结果表明,该岩体形成于(467.4±1.4)Ma,其形成时代明显晚于该地区相邻的 UHP 变质带榴辉岩的峰期变质年龄<sup>[2-4,6,8-11,19]</sup>,而早于该地区 A 型花岗岩<sup>[16-17]</sup>的形成年龄。实际上,在南阿尔金山地区,以长沙沟-清水泉一带早古生代镁铁-超镁铁质侵入体为代表的~

465Ma 的幔源性岩浆作用事件并非是孤立的,最近的研究表明南阿尔金山地区还存在有相同年龄的大规模壳源花岗岩岩浆作用,具有“双峰式”岩浆活动特点,如形成于(462±2) Ma 的瓦石峡河附近塔克勒克布拉克花岗岩<sup>[18]</sup>岩基,以及形成于(466.2±5.6) Ma (LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄,笔者等未发表资料)的约马克其花岗岩等,它们构成了南阿尔金山碰撞造山带内中奥陶世(~465Ma)的“双峰式”岩浆侵入事件,结合南阿尔金山超高压变质岩的峰期变质年龄和长沙沟—清水泉—带镁铁—超镁铁岩的岩石学地球化学特征,表明~465Ma 时的南阿尔金山已经由前期的陆—陆碰撞造山阶段转入到了碰撞后的裂谷伸展阶段;另外,最近的研究表明,南阿尔金山地区“变质基底”之麻粒岩相变泥质岩(孔兹岩系)和基性麻粒岩中存在着 468~440 Ma 的叠加变质作用,被认为可能与南阿尔金山碰撞作用后的热松弛作用相关<sup>[19]</sup>。因此,对于南阿尔金山早古生代上述各类地质体(UHP 变质岩、镁铁—超镁铁质侵入岩、花岗岩)的相互关系及构造—岩浆演化序列而言,其演化过程可能是由于晚—末寒武世(504~487 Ma)的深俯冲作用,使得稍后(中奥陶世,~465Ma)南阿尔金山地区深部地幔发生扰动而上涌,加热上部受前期俯冲板片脱水交代的岩石圈地幔和中—下地壳使之发生部分熔融,分别形成富含富水矿物(云母类)的清水泉镁铁—超镁铁质侵入岩和同时代的壳源花岗岩;而导致南阿尔金山“变质基底”于早古生代发生再活化<sup>[19]</sup>的原因也应当与这一时期的“双峰式”岩浆—热事件有关。

## 6 结 论

(1) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结果显示,阿尔金山南缘清水泉镁铁—超镁铁质层状侵入体的形成年龄为(467.4±1.4)Ma,其形成时代晚于南阿尔金山超高压变质带的峰期变质时代,而早于该地区 A 型花岗岩的形成时代。

(2) ~465Ma(中奥陶世)时,南阿尔金山造山带已由前期(晚—末寒武世)的陆陆碰撞造山阶段转入到了碰撞后的裂谷伸展阶段。

(3) ~465Ma 时南阿尔金山地区双峰式岩浆(侵入)—热事件可能是造成其变质基底于早古生代产生叠加变质,而发生再活化的原因之一。

致谢:样品测试中受到了西北大学大陆动力学区

家重点实验室柳晓明教授、弓虎军教授、第五春荣博士的指导和帮助,在此深表感谢!

## 参考文献(References):

- [1] 刘良,车自成,罗金海,等.阿尔金山西段榴辉岩的确定及地质意义[J].科学通报,1996,41(14):1485-1488.  
Liu Liang, Che Zicheng, Luo Jinhai, et al. Recognition and implication of eclogite in the western Altun Mountains, Xinjiang[J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(14):1485-1488(in Chinese).
- [2] 刘良,陈丹玲,张安达,等.阿尔金山超高压(>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[J].中国科学,2005,32(2):105-114.  
Liu Liang, Chen Danling, Zhang Anda, et al. Ultrahigh pressure (>7 GPa) gneissic K-feldspar garnet clinopyroxenite in the Altyn Tagh, NW China evidence from clinopyroxene exsolution in garnet[J]. Science in China, 2005, 32(2):105-114(in Chinese).
- [3] 刘良,张安达,陈丹玲,等.阿尔金山江孜勒萨依榴辉岩和围岩锆石 LA-ICP-MS 微区原位定年及其地质意义[J].地学前缘,2007,14(1):98-107.  
Liu Liang, Zhang, Anda, Chen Danling, et al. Implications based on LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of eclogite and its country rock from Jianggalesayi area, Altyn Tagh [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(1):98-107(in Chinese with English abstract).
- [4] 张建新,孟繁聪, Mattinson C G. 南阿尔金山—柴北缘高压—超高压变质带研究进展、问题及挑战[J].高校地质学报,2007,13(3):526-545.  
Zhang Jianxin, Meng Fancong, Mattinson C. G. Progress, controversies and challenge of studies on south Altyn Tagh—North Qaidam HP/UHP metamorphic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(3):526-545(in Chinese with English abstract).
- [5] 张建新,杨经绥,许志琴,等.阿尔金山榴辉岩中超高压变质作用证据[J].科学通报,2002,47(3):231-234.  
Zhang Jianxin, Yang Jingsui, Xu Zhiqin, et al. Evidence for UHP metamorphism of eclogite from the Altun Mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(3):231-234(in Chinese).
- [6] 张建新,孟繁聪,于胜尧.两条不同类型的 HP/LT 和 UHP 变质带对祁连—阿尔金山早古生代造山作用的制约[J].岩石学报,2010,26(7):1967-1992.  
Zhang Jianxin, Meng Fancong, Yu Shengyao. Two contrasting HP/LT Metmorphic belts:Constraint on Early Paleozoic orogeny in Qilian—Altun orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(7):1967-1992 (in Chinese with English abstract).
- [7] 校培喜,王永和,张汉文,等.阿尔金山中段高压—超高压带(含菱镁矿)石榴子石二辉橄辉岩的发现及其地质意义[J].西北地质,2001,34(4):67-74.  
Xiao Peixi, Wang Yonghe, Zhang Hanwen, et al. The discovery of magnesite-bearing garnet lherzolite of high-ultrahigh pressure belt and its geological significance in the middle section of Altgn Tagh [J]. Northwestern Geology, 2001, 34(4):67-74 (in Chinese with

- English abstract).
- [8] 张安达, 刘良, 孙勇, 等. 阿尔金超高压花岗质片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 科学通报, 2004, 49 (22): 2335-2341.  
Zhang Anda, Liu Liang, Sun Yong, et al. SHRIMP U-Pb dating of zircons and its geological significance from UHP granitoid gneiss in Altyn Tagh [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(23):2527-2532 (in Chinese).
- [9] Zhang J X, Mattinson C G, Meng F C, et al. An Early Paleozoic HP/HT granulite-garnet peridotite association in the South Altyn Tagh, NW China: P-T history and U-Pb geochronology [J]. Journal of Metamorphic Geology, 2005, 23:491-510.
- [10] Liu L, Zhang J F, Green II H W, et al. Evidence of former stishovite in metamorphosed sediments, implying subduction to > 350 km [J]. Earth. Planet. Sci. Lett, doi:10.1016/j.epsl., 2007. 08. 010.
- [11] Liu L, Wang C, Chen D L, et al. Petrology and geochronology of HP-UHP rocks from the South Altyn Tagh, northwestern China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 35:232-244.
- [12] 董显扬, 李行, 叶良和, 等. 中国超镁铁质岩[M]. 北京:地质出版社, 1995:1-329.  
Dong Xianyang, Li Hang, Ye Lianghe, et al. Ultramafic Rocks in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995. 1-329(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘良, 车自成, 王焰, 等. 阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的 Sm-Nd 等时线年龄证据 [J]. 科学通报, 1998, 43(8):880-883.  
Liu Liang, Che Zicheng, Wang Yan, et al. The evidence of Sm-Nd isochron age for the Early Paleozoic ophiolite in Mang'ai Area, Altun Mountains[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43 (8):880-883 (in Chinese).
- [14] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2001:1-182.  
Zhang Qi, Zhou Guoqing. Ophiolites of China [M]. Beijing: Science Press, 2001:1-182(in Chinese with English abstract).
- [15] 马中平, 李向民, 孙吉明, 等. 阿尔金山南缘长沙沟镁铁-超镁铁质层状杂岩体的发现与地质意义—岩石学和地球化学初步研究 [J]. 岩石学报, 2009, 25(4):793-804.  
Ma Zhongping, Li Xiangmin, Sun Jiming, et al. Discovery of layered mafic-ultramafic intrusion in Changshagou, Altyn Tagh, and its geological implication: a pilot study on its petrological and geochemical characteristics[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(4): 793-804 (in Chinese with English abstract).
- [16] 吴锁平, 吴才来, 陈其龙. 阿尔金断裂南侧吐拉铝质 A 型花岗岩的特征及构造环境[J]. 地质通报, 2007, 26(10):1385-1392.  
Wu Suoping, Wu Cailai, Chen Qilong. Characteristics and tectonic setting of the Tula aluminous A-type granite at the south side of the Ahyn Tagh fault, NW China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (10):1385-1392(in Chinese with English abstract).
- [17] 王超, 刘良, 张安达, 等. 阿尔金造山带南缘岩浆混合作用: 玉苏普阿勒克塔格岩体岩石学和地球化学证据 [J]. 岩石学报, 2008, 24(12):2809-2819.  
Wang Chao, Liu Liang, Zhang Anda, et al. Geochemistry and petrology of Early Paleozoic Yusupuleke Tagh rapakivi-textured granite complex, South Altyn: An example for magma mixing [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(12):2809-2819(in Chinese with English abstract).
- [18] 曹玉亭, 刘良, 王超, 等. 阿尔金山南缘塔特勒克布拉克花岗岩的地球化学特征、锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素组成 [J]. 岩石学报, 2010, 26(11):3259-3271.  
Cao Yuting, Liu Liang, Wang Chao, et al. Geochemical, zircon U-Pb dating and Hf isotopic compositions studies for Tatelekebulake granite in South Altyn Tagh [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(11):3259-3271 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张建新, 李怀坤, 孟繁聪, 等. 塔里木盆地东南缘 (阿尔金山)“变质基底”记录的多期构造热事件: 锆石 U-Pb 年代学的制约 [J]. 岩石学报, 2011, 27(1):23-46.  
Zhang Jianxin, Li Huaikun, Meng Fancong, et al. Polyphase tectonothermal events recorded in “metamorphic basement” from the Altyn Tagh, the southeastern margin of the Tarim basin, western China: Constraint from the U-Pb zircon geochronology [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27 (1):23-46 (in Chinese with English abstract).
- [20] 唐卓, 马中平, 李向民, 等. 阿尔金山南缘清水泉地区斜长角闪岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年及其地质意义 [J]. 地质通报, 2011, 30(1):51-57.  
Tang Zhuo, Ma Zhongping, Li Xiangmin, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of amphibolite in the southern margin of Altyn Tagh, China and its geological implication [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(1):51-57(in Chinese with English abstract).
- [21] Ludwig K R. 3.0. A Geochronological Toolkit for Micro-soft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2003, (4):1-70.
- [22] 许志琴, 杨经绥, 张建新, 等. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制 [J]. 地质学报, 1999, 73 (3): 193-205.  
Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Zhang Jianxin, et al. Comparison between the tectonic units on the two sides of the Altun sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric shearing [J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73 (3):193-205 (in Chinese with English abstract).
- [23] 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂 [J]. 中国地质, 2002, 29(4):346-350.  
Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, Ren Shoumai. Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun fault [J]. Geology in China, 2002, 29(4):346-350(in Chinese with English abstract).
- [24] 杨经绥, 许志琴, 张建新, 等. 中国主要高压-超高压变质带的大地构造背景及俯冲/折返机制的探讨 [J]. 岩石学报, 2009, 25(7): 1529-1560.  
Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Zhang Jianxin, et al. Tectonic setting and main high- and ultrahigh-pressure metamorphic belt in china and adjacent region and discussion on their subduction and exhumation mechanism [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(7):1529-1560 (in

Chinese with English abstract).

[25] 许志琴, 杨经绥, 嵇少丞, 等. 中国大陆构造及动力学若干问题的认识[J]. 地质学报, 2010, 84(1):1-29.

Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Ji Shaocheng, et al. On the continental tectonics and dynamics of China[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(1): 1-29 (in Chinese with English abstract).

## Zircon LA-ICP-MS U-Pb isotopic dating for Qingshuiquan layered mafic-ultramafic intrusion southern Altun orogen, in northwestern China and its implication

MA Zhong-ping<sup>1</sup>, LI Xiang-min<sup>1</sup>, XU Xue-yi<sup>1</sup>, SUN Ji-ming<sup>1</sup>, TANG Zhuo<sup>1</sup>, DU Tao<sup>2</sup>

(1. Xi'an Center for Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. No. 2 Geophysical Survey Party, Shaanxi Bureau of Geo-exploration and Mineral Resources, Xi'an 710016, Shaanxi, China)

**Abstract:** Located in Qingshuiquan area neighboring the southern Altun UHP metamorphic belt, the Qingshuiquan mafic-ultramafic intrusion consists of three to four magmatic cycles and exhibits the features of layered mafic-ultramafic intrusion. LA-ICP-MS U-Pb isotopic dating of zircon from hornblende gabbro in the intrusion with Th/U ratios of 0.32~1.16(0.64 on average) and magmatic oscillatory bands was conducted, and the results show that its age is  $467.4 \pm 1.4$  Ma (MSWD=2.5), which is younger than the age of UHP metamorphic rocks (504~487 Ma) and older than the age of A-type granites (~425 Ma) in southern Altun orogen. Meanwhile, the distribution of bimodal magma intrusion at ~465 Ma and contemporary metamorphic thermal events in southern Altun area suggest that the southern Altun orogen was in the tectonic stage of post-collision rifting or extending at ~465Ma.

**Key words:** South Altun Mountains; Early Paleozoic; tectonic evolution; zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; layered intrusion

---

**About the first author:** MA Zhong-ping, male, born in 1970, associate researcher, mainly engages in the study of igneous petrology and metallogeny; E-mail: mzhongping70@163.com.