

中祁连马衔山岩群内基性岩墙群锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其构造意义

何世平^{1,2}, 王洪亮^{1,3}, 陈隽璐^{1,2}, 徐学义¹, 张宏飞², 任光明¹, 余吉远¹

1. 中国地质调查局西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

3. 西北大学地质系, 陕西西安 710069

摘要: 马衔山岩群变质基底岩系中发现大量基性岩墙, 作为中祁连造山带东部一次重要的构造—岩浆事件的标志. 根据地质—岩石学特征, 将马衔山岩群中的基性岩墙分为两期. 利用 LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱)方法, 分别对两期基性岩墙进行单颗粒锆石微区 U-Pb 同位素测定, 并应用 CL 图像对所测锆石进行了成因研究. 获得早期变辉长岩墙的侵入年龄为(441.1±1.4) Ma(早志留世早期), 主变质期年龄为(414.3±1.2) Ma(早泥盆世早期); 晚期辉绿(玢)岩墙群的侵入年龄为(434±1.0) Ma(早志留世晚期), 并保留有曾遭受马衔山岩群混染的信息(捕获锆石的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄为(2 325±3) Ma~(2 573±6) Ma), 以及遭受了加里东晚期构造—热事件的改造的信息(²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄为(400±2) Ma~(429±2) Ma). 结合相关研究成果, 认为马衔山岩群中的两期基性岩墙群形成于祁连地区由俯冲造山向碰撞造山的转换时期, 代表了中祁连地块在区域上遭受北东—南西向强烈挤压的过程中派生北西—南东向扩张作用的地质纪录.

关键词: 马衔山岩群; 基性岩墙群; 锆石; La-ICP-MS U-Pb 定年; 志留纪; 扩张作用.

中图分类号: P591

文章编号: 1000-2383(2008)01-0035-11

收稿日期: 2007-01-06

LA-ICP-MS U-Pb Zircon Geochronology of Basic Dikes within Maxianshan Rock Group in the Central Qilian Mountains and Its Tectonic Implications

HE Shi-ping^{1,2}, WANG Hong-liang^{1,3}, CHEN Juan-lu^{1,2}, XU Xue-yi¹,
ZHANG Hong-fei², REN Guang-ming¹, YU Ji-yuan¹

1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Xi'an 710054, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

Abstract: A large number of basic dikes which indicate an important tectonic-magmatic event in the eastern part of the middle Qilian orogenic belt were found in the Maxianshan rock group, Yongjing County, Gansu Province, China. According to research on their characteristics of geology and petrology, basic dike swarms, widely intruded in Maxianshan rock group, are divided into two phases. U-Pb isotopes of zircons from the basic dikes of the two phases were determined by LA-ICP-MS respectively in the State Key Laboratory of Continental Dynamics of Northwest University, and the causes of formation of the zircons were studied by using CL images. The formation age of the earlier phase of variational gabbro dikes is (441.1±1.4) Ma (corresponding to the early stage of Early Silurian), and the age of main metamorphic period is (414.3±1.2) Ma (corresponding to the early stage of Early Devonian). The formation age of the later phase of diabase dike swarms is (434±1.0) Ma (corresponding to the late stage of Early Silurian), and the age of main metamorphic period is (414.3±1.2) Ma (corresponding to the early stage of Early Devonian). The captured-zircons from diabase dike swarms retain some information of

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目“西北地区重要成矿带基础地质综合研究”(No. 1212010510416).

作者简介: 何世平(1963—), 男, 副研究员, 在读博士, 主要从事大地构造、地球化学等方面的研究. E-mail: xakeyi@163.com

material interfusion by Maxiashan rock group ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ apparent ages are $(2\ 325\pm 3)\text{ Ma}$ — $(2\ 573\pm 6)\text{ Ma}$), and some zircons from diabase dike swarms also retain information impacted by tectonic thermal event during the late period of Caledonian Movement ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ apparent ages are $(400\pm 2)\text{ Ma}$ — $(429\pm 2)\text{ Ma}$). The study, together with others, suggests that, the basic dikes within Maxiashan rock group formed in the period when Qilian transferred from subductional orogeny towards collisional orogeny, which is the geological record of NW-SE extension during regional NE-SW toward intense compression in the Central Qilian block.

Key words: Maxiashan rock group; basic dike swarm; zircon; LA-ICP-MS U-Pb geochronology; Silurian; extension.

0 引言

祁连山是世界著名的复合造山带之一,是研究大陆造山带古构造体制、动力学和造山作用过程理想场所,也是我国的一个重要成矿带。自 20 世纪 70 年代以来,众多地质工作者对祁连山大地构造格局与演化、海相火山岩、蛇绿岩、高压变质带、地球化学以及沉积特征等领域的研究取得了举世瞩目的成果和长足的进展(王荃和刘雪亚,1976;肖序常等,1978;Zhang *et al.*, 1984;左国朝和刘寄陈,1987;夏林圻等,1991,1995,1996,2001;许志琴等,1994;冯益民和何世平,1996;Feng and He, 1996a;Gao and Wu, 1996;Li and Cui, 1996;Song and Feng, 1996;夏祖春等,1996;赵生贵,1996;周志强等,1996;张旗等,1997;杜远生等,2006;张宏飞等,2006)。但是,对该造山带中出露的前寒武纪基底物质组成、变形变质、年代学、构造与演化过程等方面的研究涉及较少(张维吉等,1994;宋志高,1995;吴茂炳等,2000;陆松年等,2002;万渝生等,2003;何艳红等,2005),争议的问题也较多。

马衔山岩群(以往称为“马衔山群”)是祁连造山带中古老变质基底岩系之一,前人仅进行过 1:20 万^①、1:5 万^②区调工作和少量研究(肖林和邓颖晖,1997;Wan *et al.*, 2000;万渝生等,2003),基本查明马衔山岩群的空间分布和岩石组合,划归前震旦系或前长城系,并从原“马衔山群”中解体出片麻状二长花岗岩变质古侵入体。

笔者新近进行野外调研期间,在马衔山岩群中发现大量侵入其中的基性岩墙群,作为祁连造山带东部一次重要的构造—岩浆事件。本文在对马衔岩群中基性岩墙群进行地质—岩相学研究的基础上,进行了精细同位素测年,划分了侵入期次,并对构造—热事件的大地构造意义进行了探讨。本项成果不仅对确定祁

连造山带演化的地质背景具有重要意义,而且对于整个中央造山带的区域对比、恢复中国大陆古构造格局与拼贴裂解过程,深入研究中国大陆造山带动力学等问题也具有重要的借鉴作用。

1 地质概况和岩相学

马衔山岩群位于中祁连造山带东段,甘肃省临夏—兰州一带(图 1),由于第四系覆盖严重和后期中酸性岩体侵入,呈构造块体状零星分布。马衔山岩群之东为长城系兴隆山群绿片岩相变质的火山—碎屑岩系,西部为太古—古元古界化隆岩群中一深变质的片麻岩、斜长角闪岩。兰州一定西断裂(北祁连南缘断裂)以北自西向东分别为长城—蓟县系、古元古界湟源群及长城系皋兰群。

马衔山岩群为一套深变质岩系,区域上岩性主要为片麻岩、斜长角闪岩、片岩、混合岩及大理岩。研究区位于甘肃省永靖县南,刘家峡水库东侧。区内第四系黄土和白垩系砂砾岩覆盖严重,并被加里期石英闪长岩体侵入,沿冲沟露头良好。主要岩性为黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩组合,发育透入性片理、片麻理,总体向南南西陡倾,柔皱变形强烈。

野外调研表明,研究区马衔山岩群普遍被后期基性岩墙侵入。以永(永靖县)一东(东乡族自治县)公路 94.34 km 处拉马川之南的冲沟为例(图 2),基性岩墙明显分为早晚两期:较早的一期为变辉长岩墙,侵入马衔山岩群黑云斜长片麻岩和条带状斜长角闪岩之中,走向北东—南西($37^\circ\sim 48^\circ$),分布相对稀疏(间隔距离 100~200 m),宽度较大(一般 50~100 m),块状构造,弱片理化,变余辉长结构,具蚀变现象,矿物组合为弱绿帘石化辉石(10%~15%) + 角闪石(45%~55%) + 钠黝帘石化斜长石(20%~30%) + 石英(5%~10%),副矿物有磷灰石(1%)及

① 甘肃第一区调队,1965. I-48-(02)临夏幅 1:20 万区调报告。内部资料。

② 甘肃第一区调队,1995. I-48-E001006 永靖县幅 1:5 万区调报告。内部资料。

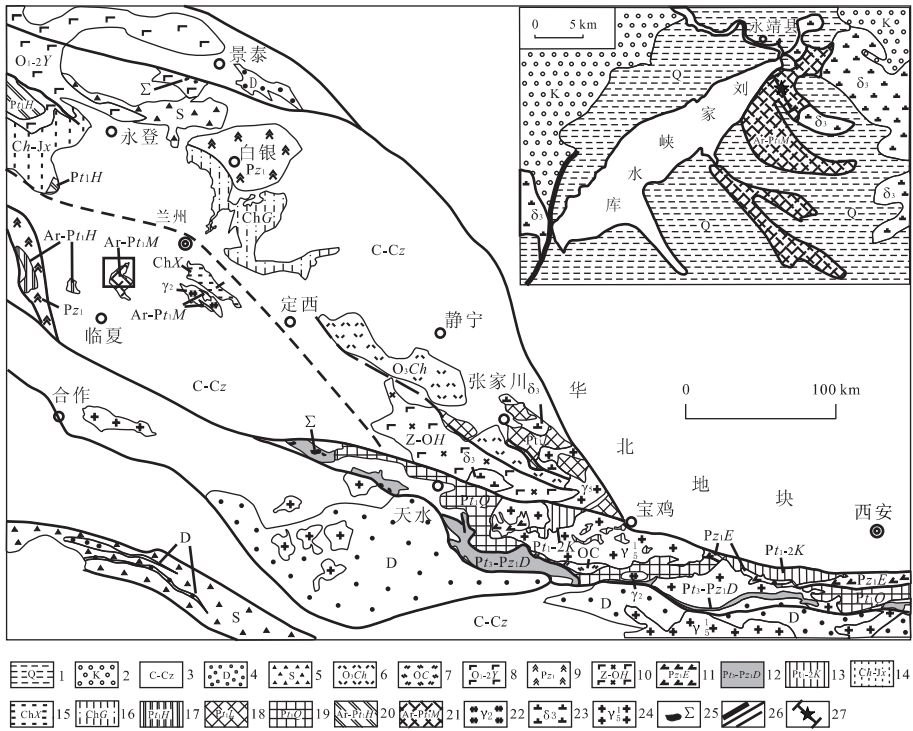


图 1 甘肃马衙山岩群构造地质略图

Fig. 1 Geo-tectonic sketch of Maxianshan rock group in Gansu Province

1. 第四系黄土; 2. 白垩系砂砾岩; 3. 石炭系—新生界; 4. 泥盆系; 5. 志留系; 6. 下奥陶统陈家河群; 7. 奥陶系草滩沟群; 8. 下中奥陶统阴沟组; 9. 下古生界; 10. 震旦—奥陶系葫芦河群(包含红土堡变基性火山岩); 11. 下古生界二郎坪群; 12. 新元古—下古生界丹凤岩群; 13. 古—中元古界宽坪岩群; 14. 长城—蓟县系; 15. 长城系兴隆山群; 16. 长城系皋兰群; 17. 古元古界湟源群; 18. 古元古界陇山岩群; 19. 古元古界秦岭岩群; 20. 太古—古元古界化隆岩群; 21. 太古—古元古界马衙山群; 22. 前寒武系中酸性岩体; 23. 加里东期中酸性岩体; 24. 印支期中酸性岩体; 25. 超基性岩; 26. 区域性大断裂/一般断裂; 27. 剖面及采样位置

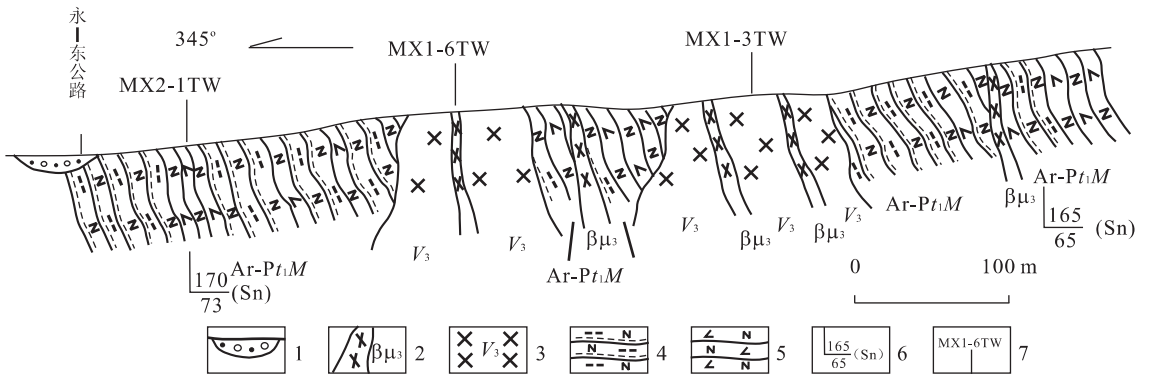


图 2 甘肃永靖县南拉马川马衙山岩群剖面

Fig. 2 Geological section of Maxianshan rock group in Lamachuan, the southern part of Yongjing County, Gansu Province

1. 第四系; 2. 辉绿岩墙; 3. 变辉长岩; 4. 黑云斜长片麻岩; 5. 斜长角闪岩; 6. 片(麻)理产状; 7. 采样位置及编号

方解石(2%);较晚的一期为变辉绿(玢)岩墙群,不仅侵入马衙山岩群黑云斜长片麻岩和斜长角闪岩之中,而且侵入早期变辉长岩墙,走向北东—南西(40°~51°),发育 1~2 cm 的冷凝边,成群出现(间隔距离 20~100 m),宽度较小(一般 0.2~0.9 m),

块状构造,表面可见到少量气孔,辉绿结构,少数为斑状结构,岩石新鲜,矿物组合为辉石(±45%)+斜长石(±55%)。

2 样品概述

本次用于同位素测试的两个样品均采自甘肃省永靖县西南约 8 km, 刘家峡水库东侧的拉马川沟中. 样品 MX1-3TW 为灰绿色变辉长岩, 地理坐标为: $103^{\circ}21'10.2''E, 35^{\circ}53'14.9''N$, H1 877 m; 块状构造, 弱片理化, 具不明显的矿物线理, 中粒变余辉长结构, 矿物呈半自形粒状—短柱状, 粒径 0.55~2 mm. 样品 MX1-6TW 为深灰绿色辉绿岩, 地理坐标为: $103^{\circ}21'5.2''E, 35^{\circ}53'18.9''N$, H 1 880 m; 块状构造, 具特征的辉绿结构, 斜长石呈长柱状—针状, 辉石呈半自形细粒状(粒径 ± 0.03 mm).

两个测年样品重均约 35 kg, 先在实验室将样品粉碎至 80~100 目, 经常规浮选和磁选方法分选后, 得到 >200 粒锆石. 在双目镜下挑选出晶型较完好的锆石作为测定对象, 变辉长岩(MX1-3TW)中的锆石呈无色透明或浅玫瑰色柱状, 粒径多介于 $80 \times 250 \sim 120 \times 300 \mu\text{m}$ 之间; 辉绿岩(MX1-6TW)中的锆石多呈无色透明短柱状—粒状, 粒径多介于 $80 \sim 220 \mu\text{m}$ 之间. 将锆石样品置于 DEVCON 环氧树脂中, 待固结后抛磨至锆石粒径的大约二分之一, 使锆石内部充分暴露, 然后进行锆石显微(反射光和透射光)照相、CL 显微图像研究及 LA-ICP-MS 分析.

3 分析方法

锆石的阴极发光(CL)研究在北京大学信息科学技术学院扫描电镜实验室完成, 采用 FEI 公司 XL30 型 SFEG 电子束进行锆石内部结构显微照相分析. 测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光照片进行初选, 再与 CL 照片对比, 力求避开内部裂隙和包裹体, 以获得尽可能准确的年龄信息.

LA-ICP-MS 法单颗粒锆石微区 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成, 采用 Agilent 7500 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF, 波长 193 nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas 200 M 光学系统联机进行. 激光束斑直径为 $30 \mu\text{m}$, 激光剥蚀样品的深度为 $20 \sim 40 \mu\text{m}$. 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 SRM610 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. 在所测锆石样品分析 15~20 个点前后各测 2 次 NIST SRM610. 锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质, 元素含量采用 NIST SRM610 作为外标,²⁹ Si 作为内标. 测试结果通过 GLITTER (ver4.0, Mac-quaie University) 软件计算得出, 并按照 Andersen(2002) 的方法, 用 LAM-ICPMS Common Lead Correction(ver3.15) 对其进行了普通铅校正, 年龄计算及谐和图采用 Isoplot(ver3.0) 完成(Ludwig, 1991). 详细分析步骤和数据处理方法参见文献(Gao *et al.*, 2002; 柳小明等, 2002; 袁洪林等, 2003).

4 分析结果和解释

依据 CL 图像, 可将变辉长岩(MX1-3TW)中的锆石(图 3a)分为两类: 第一类锆石呈半自形长柱状, 内部发育条带状结构(锆石点 3、5、7、21), 少数发育环带结构(锆石点 8), 具有岩浆成因锆石特征; 第二类锆石呈半自形—自形粒状, 内部不发育条带状结构和环带结构(锆石点 1、10、20), 多为暗色均一体. 两类锆石的 Th/U 比值均较高(>0.2), 表明两类锆石均为岩浆锆石; 第一类锆石的 Th/U 比值(0.207 9~0.519 2)总体上高于第二类锆石(表 1), 第二类锆石受后期变质作用的影响, 内部的条带、环带变得模糊或消失, 导致 CL 图像发黑, 由于发生了不同程度的放射性成因 Pb 丢失, Th/U 比值(0.213 6~0.429 3)总体上较第一类锆石略低. 辉绿岩(MX1-6TW)中的锆石(图 3b)可分为 3 类: 第一类锆石占多数, 锆石呈半自形粒状—短柱状, 内部发育清晰的振荡环带结构(锆石点 7、9、13、18)或条带状结构(锆石点 10、11、12、17), 锆石的 Th/U 比值较高, 介于 0.213 9~0.839 1 之间(表 2), 具典型的岩浆成因锆石特征. 第二类锆石数量较少, 呈浑圆状(锆石点 14), 内部有浅色的核, 外部发育后期变质增生边, Th/U 比值较高(0.280 6~0.379 2), 具有继承锆石特征. 第三类数量也较少, 为细小的半自形粒状, 内部呈斑杂状(锆石点 26), 部分锆石具有不明显的振荡环带结构, 外部发育后期变质增生边(锆石点 24), 也具有岩浆成因锆石特征, 这类锆石受后期变质重结晶作用的影响, 部分岩浆条带、环带变得模糊, 由于发生了不同程度的放射性成因 Pb 丢失,

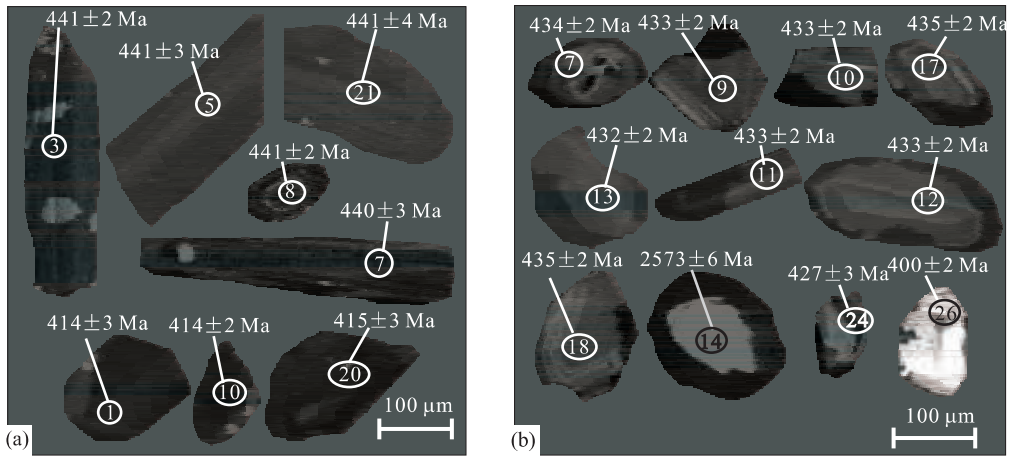


图 3 变辉长岩(a, MX1-3TW)和辉绿岩(b, MX1-6TW)锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 CL images of zircons from variational gabbro (a, MX1-3TW) and diabase (b, MX1-6TW) within Maxianshan rock group

圆圈内数字表示 U-Pb 分析点(编号与表 1、表 2 相同),其他数字表示²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄

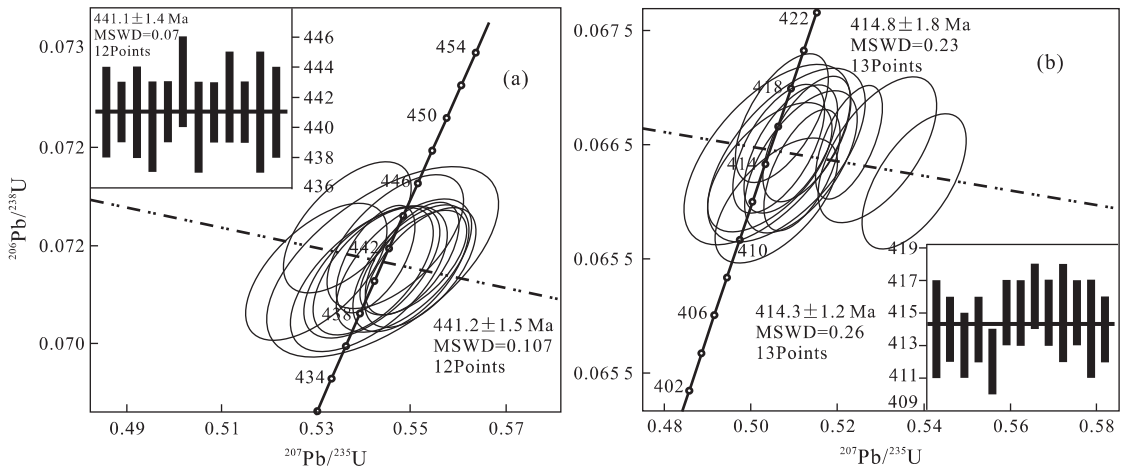


图 4 变辉长岩(MX1-3TW)锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircons from variational gabbro of Maxianshan rock group

导致 Th/U 比值(0.210 4~0.315 3)相对较低。

变辉长岩(MX1-3TW)的锆石 U-Pb 分析结果(表 1)表明,校正后的锆石有效数据点共 25 个,给出两组很好的谐和年龄数据。第一类具条带状结构或振荡环带结构的锆石测试点(2、3、5、7、8、9、11、12、15、17、21、25)共 12 个,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为(440±3) Ma~(443±3) Ma (MSWD=0.107, probability=1.000),加权平均年龄为(441.1±1.4) Ma(MSWD=0.070, probability=1.000, error bars=2σ),加权平均值的误差与单个分析误差基本一致,在谐和图中成群集中分布(图 4a)。第二类锆石的测试点(1、4、6、10、13、14、16、18、19、20、22、23、24)共 13 个,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄一致,为(412±2) Ma

~(416±2) Ma (MSWD=0.23, probability=0.995),加权平均年龄为(414.3±1.2) Ma (MSWD=0.26, probability=0.995, error bars=2σ),加权平均值的误差与单个分析误差基本一致,在谐和图中也成群集中分布(图 4b)。因此,(441.1±1.4) Ma 可以解释为变辉长岩墙的形成年龄(岩浆结晶年龄);(414.3±1.2) Ma 可以解释为锆石的晶格受 U、Th 的放射性破坏比较严重,容易发生放射性成因 Pb 丢失,从而导致这些锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄偏低,后期构造-热事件可能是导致晶格破坏发生放射成因 Pb 丢失的原因,应代表主变质期年龄。

辉绿岩墙群(MX1-6TW)的锆石 U-Pb 分析结

等,2004),这一时期整个祁连地区正处于由俯冲造山向碰撞造山的转换时期。马衔山岩群中呈北东—南西向展布的基性岩墙正是区域应力特征的反应,代表了中祁连地块在区域上遭受北东—南西向强烈挤压的过程中派生北西—南东向扩张作用的地质纪录。马衔山岩群内基性岩墙的发现及时代为北祁连洋存在向南的俯冲、消减作用提供了佐证,与中祁连北缘发现的岛弧型花岗岩(444 ± 33) Ma 所提供的证据(苏建平,2004)一致。这些沿张裂隙形成的岩墙群对地壳垂向生长的贡献不容忽视。

现有资料表明,与加里东期花岗岩体关系密切的钨矿主要分布在北祁连南缘断裂带及其两侧的北祁连南部岩带和中祁连岩带的北缘,并且钨及钨多金属矿床、矿(化)点展布大多受祁连造山带北西西向主体构造与北东—北东东向格状构造结点的控制,成矿时代以加里东中期(442~459) Ma 为主(杨钟堂等,2004),如青海大通县的大黑山钨矿、青海互助县的大峡钨矿点及甘肃白银后长川的棺材涝池钨矿点等。马衔山岩群中呈北东—南西向展布的基性岩墙正是区域主压应力方向的反应,为祁连地区钨矿形成的地质背景提供了佐证。

致谢:衷心感谢西北大学地质系教育部大陆动力学重点实验室的柳小明教授和林德葵等在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试中给予的热情指导;在工作及论文撰写过程中得到了冯益民研究员、张二朋研究员、朱宝清研究员的指导与帮助,在此表示诚挚的谢意。

References

- Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192: 59–79.
- Du, Y. S., Zhu, J., Gu, S. Z., 2006. Sedimentary geochemistry and tectonic significance of Ordovician cherts in Sunan, North Qilian Mountains. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(1): 101–109 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Y. M., 1997. Investigatory summary of the Qilian orogenic belt, China: History, presence and prospect. *Advances in Earth Science*, 12(4): 308–314 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Y. M., He, S. P., 1996a. Orogenic process of the Qilian Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, (Special Issue): 1–5.
- Feng, Y. M., He, S. P., 1996b. Geotectonics and orogeny of the Qilian Mountains, China. Geological Publishing House, Beijing, 1–135 (in Chinese).
- Gao, R., Wu, G. J., 1996. Lithosphere structure and geodynamic model of Golmud-Ej in B. *Geoscience Transect in North Tibet. Acta Geoscientia Sinica*, (Special Issue): 16–21.
- Gao, S., Liu, X. M., Yuan, H. L., et al., 2002. Analysis of forty-two major and trace elements of USGS and NIST SRM glasses by LA-ICPMS. *Geostand. Newsl.*, 22: 181–195.
- He, Y. H., Sun, Y., Chen, L., et al., 2005. Zircon U-Pb chronology of Longshan complex by LA-ICP-MS and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 126–134 (in Chinese with English abstract).
- Li, Q. S., Cui, Z. Z., 1996. Crustal velocity structure and geotectonic in Golmud-Ej in deep seismic sounding profile 1. *Acta Geoscientia Sinica*, (Specil Issue): 41–47.
- Li, X. Z., Han, B. F., Li, Z. H., et al., 2005. Mechanism of the Karamay basic-intermediate dyke swarm from Xinjiang and tectonic implications. *Geological Review*, 51(5): 517–522 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X. M., Gao, S., Yuan, H. L., et al., 2002. Analysis of 42 major and trace elements in glass standard reference materials by 193 nm La-ICPMS. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 408–418 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S. N., Yu, H. F., Zhao, F. Q., et al., 2002. Preliminary study of Precambrian geology in the North Tibet-Qinghai plateau. Geological Publishing House, Beijing, 1–125 (in Chinese).
- Ludwig, K. R., 1991. Isoplot—A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. *US Geological Survey Open-File Report*, 39: 91–445.
- Song, S. G., 1997. Tectonic evolution of subductive complex belts in the North Qilian Mountains. *Advances in Earth Science*, 12(4): 351–365 (in Chinese with English abstract).
- Song, S. G., Feng, Y. M., 1996. Subduction complex belts and their tectonic implications, North Qilian Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, (Special Issue): 6–9.
- Song, S. G., Zhang, L. F., Niu, Y., et al., 2004. Early Paleozoic plate-tectonic evolution and deep continental subduction on the northern margin of the Qinghai-Tibet plateau. *Geological Bulletin of China*, 23(9–10): 918–925 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. G., 1995. On the Proterozoic Longshan Group in the eastern Qilian orogen. *Acta Geoscientia Sinica*, (2): 204–209 (in Chinese with English abstract).
- Su, J. P., Zhang, X. H., Hu, N. G., et al., 2004. Geochemical characteristics and genesis of adakite-like granites at Yema Nanshan in the western segment of the Central

- Qilian Mountains. *Geology in China*, 31(4): 365—371 (in Chinese with English abstract).
- Wan, Y. S., Xu, Z. Q., Yang, J. S., et al., 2003. The Precambrian high-grade basement of the Qilian terrane and neighboring areas: Its ages and compositions. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(4): 319—324 (in Chinese with English abstract).
- Wan, Y. S., Yang, J. S., Xu, Z. Q., et al., 2000. Geochemical characteristics of the Maxianshan complex and Xinglongshan Group in the eastern segment of the Qilian orogenic belt. *Geol. Rev.*, 43(1): 52—68.
- Wang, Q., Liu, X. Y., 1976. The ancient oceanic crust and tectonic significance in Qilianshan area, western China. *Scientia Geologica Sinica*, (1): 42—55 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q., Liu, X. Y., 1981. On Caledonian polycyclic paired metamorphic belts of Qilian Mountains, Northwest China. In: Huang, J. Q., ed., Contributions to the tectonics of China and adjacent regions. Geological Publishing House, Beijing, 92—101 (in Chinese).
- Wu, C. L., Yang, J. S., Yang, H. Y., et al., 2004. Dating of two types of granite from north Qilian, China. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 425—432 (in Chinese with English abstract).
- Wu, M. B., Fu, B. H., Liu, C. Y., 2000. Sm-Nd isochron age and tectonic setting of amphibolites of the Longshan group in eastern Gansu Province. *Geology-Geochemistry*, 28(2): 45—50 (in Chinese with English abstract).
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Ren, Y. X., et al., 1991. The marine volcanic rocks from Qinling and Qilian Mountains. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—239 (in Chinese).
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Ren, Y. X., et al., 2001. Tectonics-volcanic magmatism-mineralization dynamics of North Qilian Mountains. Geological Publishing House, Beijing, 1—222 (in Chinese).
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Xu, X. Y., 1995. Dynamics of tectono-volcano-magmatic evolution from North Qilian Mountains, China. *Northwest Geoscience*, 16(1): 1—28 (in Chinese with English abstract).
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Xu, X. Y., 1996. The petrogenesis of marine volcanic rocks from the North Qilian Mountains. Geological Publishing House, Beijing, 1—153 (in Chinese).
- Xia, Z. C., Xia, L. Q., Xu, X. Y., 1996. The Late Proterozoic-Cambrian active continental rift volcanism in northern Qilian Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, 17(3): 282—292 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, L., Deng, Y. H., 1997. Characters of Maxianshan deformation granite rock body and its genetical type. *Acta Geologica Gansu*, 6(1): 37—43 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, X. C., Chen, G. M., Zhu, Z. Z., 1978. The geological structure significances of ancient ophiolite in Qilianshan, NW China. *Acta Geologica Sinica*, 52(4): 281—295 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Xu, H. F., Zhang, J. X., 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).
- Yang, Z. T., Xiao, S. Y., Xiao, C. Y., et al., 2004. Minerogenic features of tungsten deposits in the Qilian metallogenic belt and regional ore indications. *Geology in China*, 31(3): 301—307 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, H. L., Wu, F. Y., Gao, S., et al., 2003. La-ICPMS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China. *Chinese Sci. Bull.*, 48(14): 1511—1520 (in Chinese).
- Zhang, H. F., Jin, L. L., Zhang, L., et al., 2006. Pb and Nd isotopic compositions of basement and granitoid in the Qilianshan: Constraints on tectonic affinity. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(1): 57—65 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Xu, Z. Q., Chen, W., et al., 1997. A tentative discussion on the ages of the subduction-accretionary complex/volcanic arcs in the middle sector of North Qilian Mountains. *Acta Petrologica Mineralogica*, 16: 122—119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Xu, Z. Q., Xu, H. F., et al., 1998. Framework of North Qilian Caledonian subduction-accretionary wedge and its deformation dynamics. *Scientia Geologica Sinica*, 33: 290—299 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Sun, X. M., Zhou, D. J., et al., 1997. The characteristics of North Qilian ophiolites, environment of formation and their tectonic significance. *Advances in Earth Science*, 12(4): 366—385 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. J., Meng, X. X., Hu, J. X., et al., 1994. The characteristics and orogenic process of the joint of Qilian-North Qinlian orogenic belt. Northwest University Publishing House, Xi'an, 161—171 (in Chinese).
- Zhang, Z. M., Coleman, R. G., Liu, J. G., 1984. An outline of the plate tectonics of China. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 95: 295—312.
- Zhao, S. G., 1996. The characteristics of Qilian orogenic belt and its tectonic evolution. *Acta Geologica Gansu*, 5(1): 16—29 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, D. J., Chen, Y., Zhang, Q., et al., 1997. The founding of Alaska-type mafic-ultramafic complex from Qilian County and constraints on Qilian Mt. tectonic evolu-

tion. *Scientia Geologica Sinica*, 31(1): 122—127 (in Chinese with English abstract).

Zhou, Z. Q., Cao, X. D., Hu, Y. X., et al., 1996. Early Palaeozoic stratigraphy and sedimentary-tectonic evolution in eastern Qilian Mountains, China. *Northwest Geoscience*, 17(1): 1—50 (in Chinese with English abstract).

Zuo, G. C., Liu, J. C., 1987. The Early Paleozoic tectonic evolution of North Qilian. *Scientia Geologica Sinica*, (1): 14—24 (in Chinese with English abstract).

Zuo, G. C., Wu, H. Q., 1997. A bisubduction-collision orogenic model of Early-Paleozoic in the middle part of North Qilian area. *Advances in Earth Science*, 12(4): 315—330 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

杜远生, 朱杰, 顾松竹, 2006. 北祁连肃南一带奥陶纪硅质岩沉积地球化学特征及其多岛洋构造意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(1): 101—109.

冯益民, 1997. 祁连造山带研究概况—历史、现状及展望. *地球科学进展*, 12(4): 308—314.

冯益民, 何世平, 1996. 祁连山大地构造与造山作用. 北京: 地质出版社, 1—135.

何艳红, 孙勇, 陈亮, 等, 2005. 陇山杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 21(1): 126—134.

李辛子, 韩宝福, 李宗怀, 等, 2005. 新疆克拉玛依中基性岩墙群形成力学机制及其构造意义. *地质论评*, 51(5): 517—522.

柳小明, 高山, 袁洪林, 等, 2002. 193 nm LA-ICP-MS 对国际地质标准参考物质中 42 种主元素和微量元素的分析. *岩石学报*, 18(3): 408—418.

陆松年, 于海峰, 赵风清, 等, 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京: 地质出版社, 1—125.

宋述光, 1997. 北祁连山俯冲杂岩带的构造演化. *地球科学进展*, 12(4): 351—365.

宋述光, 张立飞, Niu, Y., 等, 2004. 青藏高原北缘早古生代板块构造演化和大陆深俯冲. *地质通报*, 23(9—10): 918—925.

宋志高, 1995. 祁连山东段的元古宙陇山群. *地球学报*, (2): 204—209.

苏建平, 张新虎, 胡能高, 等, 2004. 中祁连西段野马南山埃达克质花岗岩的地球化学特征及成因. *中国地质*, 31(4): 365—371.

万渝生, 许志琴, 杨经绥, 等, 2003. 祁连造山带及邻区前寒武纪深变质基底的时代和组成. *地球学报*, 24(4): 319—324.

王荃, 刘雪亚, 1976. 我国西部祁连山古海洋地壳及其大地构造意义. *地质科学*, (1): 42—55.

王荃, 刘雪亚, 1981. 祁连山加里东期多旋回双变质带. 黄汲清主编, 中国及其邻区大地构造论文集. 北京: 地质出版社, 92—101.

吴才来, 杨经绥, 杨宏仪, 等, 2004. 北祁连东部两类 I 型花岗岩定年及其地质意义. *岩石学报*, 20(3): 425—432.

吴茂炳, 傅碧宏, 刘春燕, 2000. 甘肃东部陇山群中斜长角闪岩的形成时代和构造背景. *地质地球化学*, 28(2): 45—50.

夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等, 1991. 祁连—秦岭山系海相火山岩. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—239.

夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等, 2001. 北祁连山构造—火山岩浆—成矿动力学. 北京: 地质出版社, 1—222.

夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 1995. 北祁连构造—火山岩浆演化动力学. *西北地质科学*, 16(1): 1—28.

夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 1996. 北祁连山海相火山岩岩石成因. 北京: 地质出版社, 1—153.

夏祖春, 夏林圻, 徐学义, 1996. 北祁连山元古宙末—寒武纪主动大陆裂谷火山作用. *地球学报*, 17(3): 282—292.

肖林, 邓颖晖, 1997. 东祁连马衔山变形花岗岩体特征及成因类型. *甘肃地质学报*, 6(1): 37—43.

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*, 52(4): 281—295.

许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等, 1994. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学. *地质学报*, 68(1): 1—15.

杨钟堂, 肖思云, 肖朝阳, 等, 2004. 祁连成矿带钨矿成矿特征及其区域找矿标志. *中国地质*, 31(3): 301—307.

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.

张宏飞, 靳兰兰, 张利, 等, 2006. 基底岩系和花岗岩类 Pb-Nd 同位素组成限定祁连山带的构造属性. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(1): 57—65.

张建新, 许志琴, 陈文, 等, 1997. 北祁连中段俯冲—增生杂岩/火山弧的时代探讨. *岩石矿物学杂志*, 16: 112—119.

张建新, 许志琴, 徐惠芬, 等, 1998. 北祁连加里东期俯冲—增生楔结构及动力学. *地质科学*, 33: 290—299.

张旗, 孙晓猛, 周德进, 等, 1997. 北祁连蛇绿岩的特征、形成环境及其构造意义. *地球科学进展*, 12(4): 366—385.

张维吉, 孟宪恂, 胡建民, 等, 1994. 祁连—北秦岭造山带接合部位构造特征与造山过程. 西安: 西北大学出版社, 161—171.

赵生贵, 1996. 祁连造山带特征及其构造演化. *甘肃地质学报*, 5(1): 16—29.

周德进, 陈雨, 张旗, 等, 1997. 北祁连山南侧阿拉斯加型岩体的发现及其地质意义. *地质科学*, 31(1): 122—127.

周志强, 曹宣铎, 胡云绪, 等, 1996. 祁连山东部早古生代地层和沉积—构造演化. *西北地质科学*, 17(1): 1—50.

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.

左国朝, 吴汉泉, 1997. 北祁连中段早古生代双向俯冲—碰撞造山模式剖析. *地球科学进展*, 12(4): 315—330.