

西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年

杨 钊¹, 董云鹏¹, 柳小明¹, 张津海²

YANG Zhao¹, DONG Yun-peng¹, LIU Xiao-ming¹, ZHANG Jin-hai²

1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069;

2. 中石油国际(阿尔及利亚)公司, 阿尔及尔 16035

1. *State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;*

2. *CNPC International (Algeria) Limited, Alger 16035 Algeria*

摘要 秦岭造山带商丹缝合带的西延部分在天水地区以出露的关子镇蛇绿岩为标志, 该蛇绿岩的形成时代是探讨秦岭造山带构造格局与演化的关键。在室内外综合研究的基础上, 从该蛇绿岩的辉长岩中精选锆石, 通过锆石的 CL 显微图像进行锆石形态学研究, 结合 U、Th 含量特征, 证明本次用于定年的锆石为岩浆成因。辉长岩中的锆石 LA-ICP-MS 定年给出 U-Pb 年龄为 $471 \text{ Ma} \pm 1.4 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=1.03$, 2σ), 代表了辉长岩的结晶时代, 也限定了关子镇蛇绿岩的形成时代。结合已有的地质、地球化学研究成果, 认为秦岭商丹古洋盆存在的时限至少可延续至 470 Ma。该年龄的确定为深入研究和认识秦岭造山带古生代的构造格局及其演化提供了新的证据。

关键词 辉长岩; 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年; 甘谷县关子镇; 西秦岭

中图分类号: P588.12⁺⁴; P597⁺³

文献标识码: A

文章编号: 1671-255X(2006)11-1321-05

Yang Z, Dong Y P, Liu X M, Zhang J H. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Guanzizhen ophiolite, Tianshui, West Qinling, China. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(11):1321-1325

Abstract: The westward extension of the Shangdan suture (SDS) in the West Qinling is marked by the exposure of the Guanzizhen ophiolite in the Tianshui area. The age of this ophiolite is a key to understanding the tectonic framework and evolution of the Qinling orogenic belt. Based on a field investigation and geochemical analysis, some zircons were selected from gabbro of the ophiolite. The study of zircon CL images and U and Th contents indicate that the zircons used for dating are of magmatic origin. Zircon LA-ICP-MS dating of gabbro yields a U-Pb age of $471 \pm 1.4 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=1.03$, 2σ), representing the time of crystallization of the gabbro. This age also constrains the age of the Guanzizhen ophiolite. According to this age, combined with the available regional geological and geochemical data, it is suggested that the time span for the existence of the Shangdan paleo-ocean between the North China block and Yangtze block continued till 470 MaBP at least. The determination of this age provides new evidence for an in-depth study and understanding of the tectonic framework and evolution of the Qinling orogenic belt.

Key words: gabbro; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Guanzizhen, Gangu; West Qinling

秦岭商丹缝合带是分割中国南北大陆的主要边界构造结合带, 该带向东延至郟庐断裂, 向西与拉脊山、祁连山、柴

达木盆地北缘的超镁铁质岩或蛇绿岩带相连。沿商丹带分布着一系列蛇绿混杂岩块和岛弧火山岩块, 其中出露较好、研

收稿日期 2006-03-31; 修订日期 2006-08-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40234041 和 40472115)资助。

作者简介: 杨钊(1982-), 男, 在读硕士, 从事造山带构造和地球化学研究。E-mail: jianshi1982@163.com

究程度较高的地段主要集中在东秦岭地区,即商南—丹凤一带,对该带的西延部分研究程度较低。在西秦岭天水市关子镇地区分布有较多的变质火山岩系,由斜长角闪片岩(变质基性火山岩)变辉长岩、蛇纹岩(变质橄榄岩)组成,岩石地球化学分析也显示其中的变质基性火山岩具有N-MORB的特征^[1],表明其具有蛇绿岩的特征,综合区域地质资料分析认为,其代表了秦岭造山带商丹缝合带的西延部分。然而,目前关于商丹带的形成时限主要依赖于东部区段混杂岩中的锆石放射虫化石,间接限定古洋盆形成于奥陶纪^[2],而缺乏直接的精确的蛇绿岩年代学研究。本次研究在野外调查的基础上采集了蛇绿岩中的辉长岩样品,精选其中的锆石进行U-Pb同位素年代学研究,确定了商丹带西延部分古洋盆的形成时代,为深入研究秦岭古生代的构造格局与演化提供了年代学制约。

1 区域地质概况

天水地区处于秦岭造山带和祁连造山带的构造交接与转换部位,在该区从西至东沿武山—唐藏断裂依次断续分布着武山、关子镇、唐藏等蛇绿岩残片。其中关子镇蛇绿岩主要出露于天水西部约40 km的关子镇—岸峪寺地区,前人曾将其划归于早古生代“牛头河群”变质地层,后又从牛头河群中解体出陇山群、秦岭群和夹持于两者之间的葫芦河群,而将关子镇蛇绿岩划属于震旦系—早古生界李子园群^[3,4]。野外地质观察发现,关子镇蛇绿岩呈构造岩片逆冲侵位于武山—唐藏断裂带之中,北缘以断裂(韧性剪切带)与古元古代秦岭群相邻,以辉长岩韧性变形(粗糜棱岩)为特征,南缘以逆冲断层与李子园群低角闪岩相变质地层相接触(图1)。

2 样品采集和样品特征

关子镇蛇绿岩出露较完整,主要由蛇纹岩、变辉长岩、斜长角闪片岩(变质基性火山岩)等组成,其间均为断层相接触,呈现多个构造岩片的相互叠置逆冲关系。该地区辉长岩经前人的研究有2种类型:一类属于蛇绿岩的组成部分,另一类为岛弧岩浆成因,出露于关子镇流水沟的辉长岩即属此类型^[5]。本文在野外地质工作的基础上,在蛇绿岩剖面出露较完整的关子镇东沟采集了与变质基性火山岩紧密伴生的辉长岩(20 kg大样)样品。辉长岩呈构造岩块逆冲于蛇绿混杂岩带中,与变质玄武岩紧邻,逆冲叠置在一起,两者非侵入关系接触。变辉长岩具变余辉长结构,主要组成矿物为辉石(20%~30%)、普通角闪石(25%~30%)、斜长石(35%~45%)。

表1 关子镇蛇绿岩中辉长岩锆石的LA-ICP-MS U-Pb定年分析结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of gabbro in the Guanzhen ophiolite

序号	含量		比值				年龄/Ma													
	²³² Th / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	²³⁸ U / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	²³⁸ U/ ²³² Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th										
04G-1	605.89	1017.1	0.06089	0.00127	0.62853	0.01254	0.07486	0.0005	0.02306	0.00011	1.68	0.02	635	48	495	8	465	3	461	2
04G-2	379.56	1883.11	0.0585	0.00066	0.60988	0.00612	0.07561	0.0004	0.02342	0.00011	4.96	0.05	548	25	483	4	4701	2	468	2
04G-3	228.29	668.76	0.05931	0.00131	0.62327	0.01321	0.07622	0.0005	0.02357	0.00013	2.93	0.03	578	49	492	8	474	3	471	3
04G-4	180.29	508.85	0.05863	0.00159	0.61722	0.0161	0.07636	0.0006	0.02364	0.00014	2.82	0.03	553	61	488	10	474	3	472	3
04G-5	3774.29	4003.14	0.05903	0.00071	0.61517	0.00489	0.07559	0.0004	0.02335	0.00011	1.06	0.01	568	9	487	3	470	2	467	2
04G-6	1017.65	1736.81	0.05735	0.00105	0.59835	0.01041	0.07568	0.0004	0.0235	0.00011	1.71	0.02	505	41	476	7	470	3	469	2
04G-7	4018	3255.93	0.05864	0.00124	0.61071	0.01245	0.07553	0.0004	0.02339	0.0001	0.81	0.01	554	47	484	8	469	3	467	2
04G-8	1155.44	2028.97	0.05882	0.00095	0.61952	0.00821	0.07639	0.0004	0.02469	0.0002	1.78	0.02	580	19	490	5	475	3	493	4
04G-9	673.59	1070.44	0.05967	0.00104	0.62147	0.01023	0.07554	0.0004	0.02334	0.00011	1.59	0.02	592	39	491	6	469	3	466	2
04G-10	520.71	1097.91	0.05889	0.00106	0.61463	0.01054	0.07569	0.0004	0.02343	0.00011	2.11	0.02	563	40	486	7	470	3	468	2
04G-11	317.67	760.76	0.0588	0.00078	0.61653	0.00594	0.07605	0.0004	0.02488	0.00017	2.39	0.02	560	12	488	4	473	2	497	3
04G-12	1422.88	2913.42	0.05693	0.00076	0.59748	0.00743	0.07611	0.0004	0.02365	0.0001	2.05	0.02	489	30	476	5	473	2	472	2

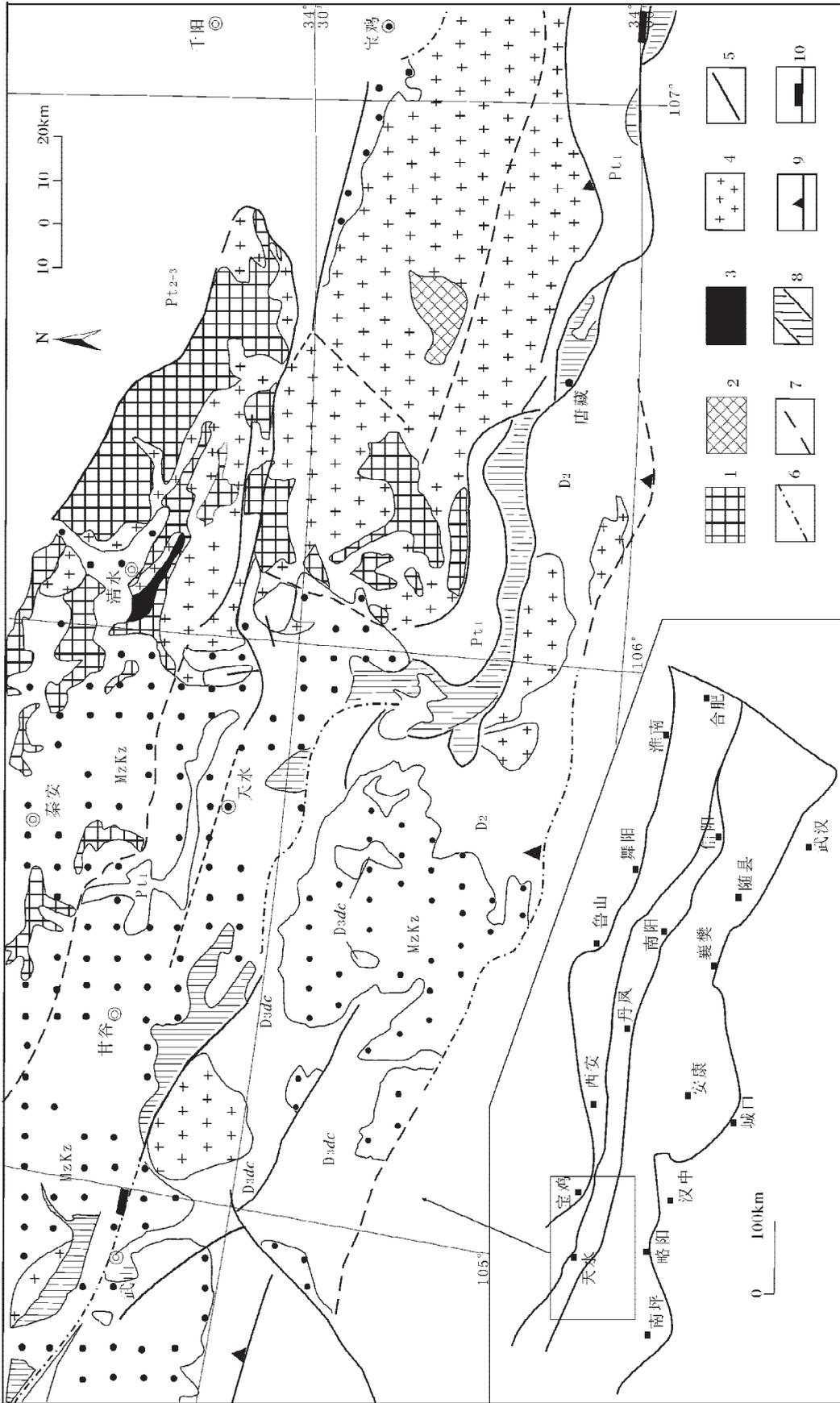


图 1 天水地区地质略图

Fig.1 Geological sketch map of the Tianshui area

MzKz—中、新生界 D_{3dc}—上泥盆统大草滩群 D₂—中泥盆统舒家坝组 P₆₋₅—中、新元古界陇山群 P_{t1}—古元古界秦岭群 1—下古生界 2—碱性岩；

3—基性熔岩 4—花岗岩 5—断裂 6—被覆盖的基底断裂 7—推测断裂 8—蛇绿构造混杂岩带 9—主要构造带边界断裂 10—板块主缝合带

3 锆石U-Pb测试及结果

在辉长岩样品中分选出锆石,在双目镜下挑选无色透明、晶形较好、无包裹体的颗粒,镶嵌于环氧树脂中抛光,使

锆石内部暴露,然后进行CL显微图像及LA-ICP-MS分析。

锆石CL显微图像分析在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针仪上完成,定年在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。辉长岩锆石定年采用激光探针等离子

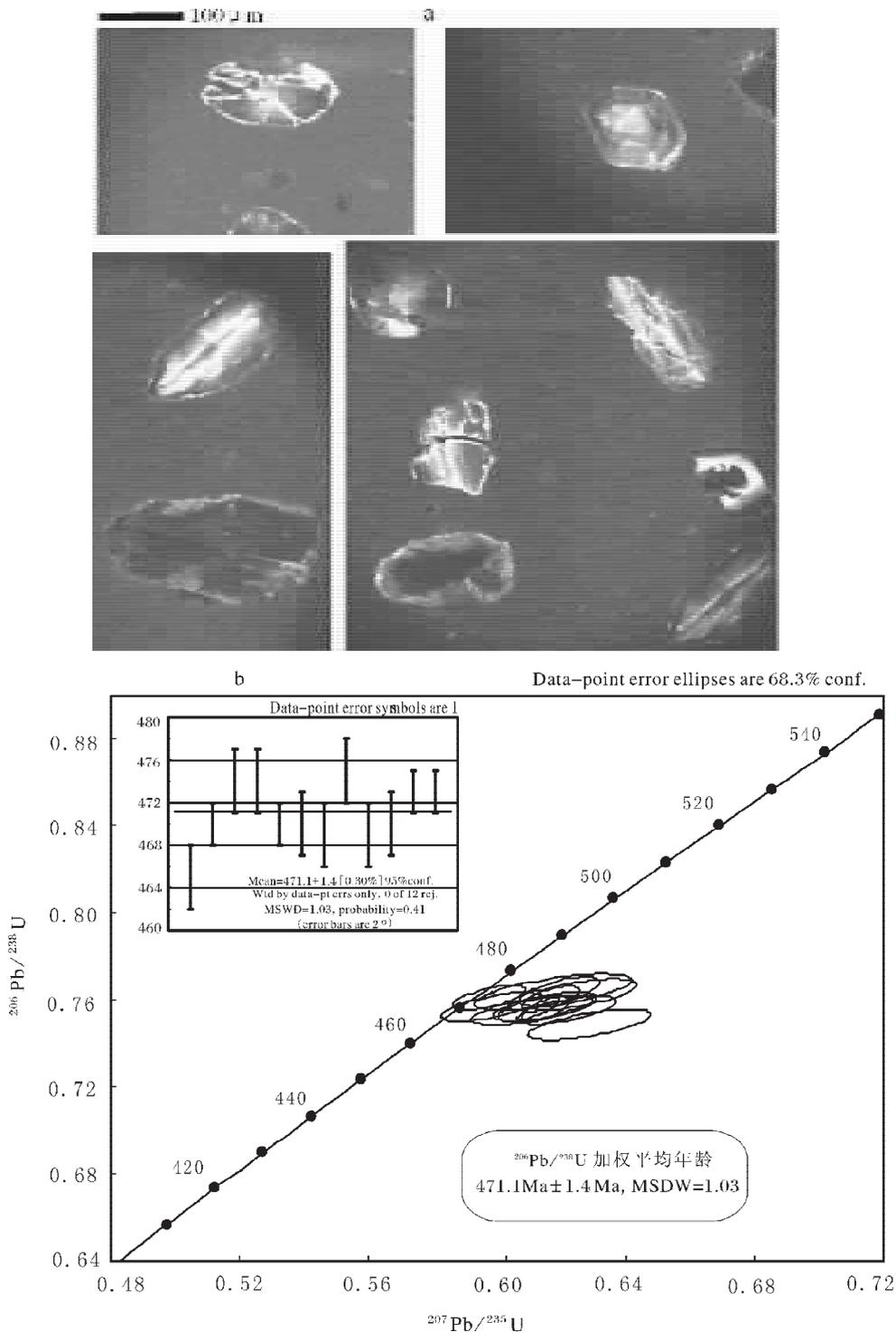


图2 关子镇蛇绿岩中辉长岩锆石的阴极发光电子图像(a)及LA-ICP-MS U-Pb年龄谐和图(b)

Fig.2 Cathodoluminescence electron image (a) and LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram (b)

for zircons from gabbro in the Guanzhizhen ophiolite

体质谱仪(LA-ICP-MS)测定。测试仪器为Elan 6100DRC型 ICP-MS、ComPex102 ArF准分子激光器(工作物质ArF,波长193 nm)和GeoLas 200 M光学系统。详细分析步骤和数据处理方法见参考文献[6]。采用国际标准锆石91500作为外标标准物质,普通Pb采用Andersen Tom的3 D坐标法进行校正^[7],样品的同位素比值及元素含量采用GLITTER(ver4.0,Macquarie university)程序计算,年龄计算及谐和图用Isoplot(version 2.49)处理。数据分析结果见表1和图2。

关子镇辉长岩锆石颗粒较小、晶形较差,但锆石的阴极发光图像(图2-a)显示大多数锆石结构均一,结晶环境比较稳定,部分锆石仍可见较为典型的韵律环带结构,表明应为岩浆成因的锆石;另外辉长岩锆石具有高的U、Th含量,Th/U比值介于0.21~1.23之间,大多数值大于0.4而接近于1,也显示应属岩浆锆石^[8,9]。从谐和图上可以看出,所有分析点都集中于一致线及其附近很小的区域内,表明这些锆石在形成后U-Pb体系是封闭的,基本上没有U或Pb的丢失或加入。由于锆石LA-ICP-MS定年需要进行普通Pb校正,对时代大于1 Ga的岩石用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb适合,而对较年轻的岩石用²⁰⁶Pb/²³⁸U比较合适,因此对关子镇辉长岩锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄进行加权平均计算,获得加权平均年龄为471 Ma±1.4 Ma(MSWD=1.03, 2σ),年龄值与相应的谐和曲线图年龄基本一致,表明关子镇辉长岩是在471 Ma左右形成的。

4 结论与讨论

野外地质调研证明,关子镇北侧出露秦岭杂岩,其中发育早古生代岩浆杂岩侵入体,岩石学、地球化学研究揭示,后者的成因与板块俯冲作用有关,预示关子镇蛇绿岩北侧出露的秦岭杂岩及侵入其中的岩浆杂岩共同构成一套岛弧岩浆地体^[10,11],南侧的李子园群中新解体出来的太阳寺组被证实是一套形成于被动陆缘的碎屑沉积物^[12],而夹持于两者之间的关子镇蛇绿岩以断裂与两者相接触。地球化学研究显示,关子镇蛇绿岩中的变质基性火山岩具有N-MORB型玄武岩的地球化学特征^[1],形成于大洋扩张中脊环境。关子镇的变玄武岩、辉长岩和变质橄榄岩共同组成了一肢解的蛇绿岩组合,代表了古大洋岩石圈的残片。本文利用锆石U-Pb法测定辉长岩471 Ma±1.4 Ma的结晶年龄代表了蛇绿岩的形成时代。该年龄为商丹带的西延及其大地构造意义提供了新的证据。

尽管商丹缝合带的确定使得对秦岭造山带形成演化的认识不断深入,但是对商丹带的研究主要集中在东秦岭地区,对西秦岭地区的研究相对薄弱。最近笔者通过室内外综合研究厘定了天水地区武山、关子镇、唐藏等地混杂岩的岩石组合和岩石地球化学特征,证实其具有蛇绿岩套的性质,关子镇蛇绿岩是其典型代表之一。关子镇蛇绿岩中辉长岩471 Ma的形成年龄,亦即关子镇蛇绿岩的形成时代,说明中

奥陶世西秦岭地区仍有以关子镇蛇绿岩为代表的新生洋壳产生。已有的研究结果表明,在早古生代分割华北板块与扬子板块的秦岭洋已经开始了向北的俯冲消减作用^[13],在关子镇蛇绿岩北侧出露的流水沟变质中基性杂岩的地球化学特征表明其形成于岛弧环境,其中变质中基性岩浆杂岩的锆石U-Pb同位素年龄为507 Ma^[5],也表明西秦岭在早奥陶世就开始了洋盆的俯冲消减作用。作为商丹缝合带的西延部分,关子镇蛇绿岩U-Pb同位素年龄证明,在中奥陶世秦岭洋俯冲消减事件进行的同时,在洋脊处新的洋壳岩石还在产生,由此也证明中奥陶世秦岭洋并未闭合,至少在西秦岭地区该洋盆仍然存在,这也使得有必要对古秦岭洋的形成演化作进一步的研究,尤其是在西秦岭地区。

致谢:锆石分析测试得到西北大学大陆动力学国家重点实验室林慈栾先生等的辅导,成文过程中得到徐静刚先生的帮助,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1]裴先治,丁仁平,胡波,等.西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩的厘定及其地质意义[J].地质通报,2004,23(12):1202-1208.
- [2]崔智林,孙勇,王学仁.秦岭丹凤蛇绿岩带放射射的发现及其地质意义[J].科学通报,1995,40(18):1686-1688.
- [3]张维吉,孟宪恂,胡健民,等.祁连-北秦岭造山带结合部位构造特征与造山过程[M].西安:西北大学出版社,1994.1-283.
- [4]宋志高,贾群子,张治洮,等.北秦岭-北祁连(天水-宝鸡间)早古生代火山岩系及其构造连接关系的研究[J].中国地质科学院西安地质矿产研究所刊,1991,34:1-82.
- [5]裴先治,李勇,陆松年,等.西秦岭天水地区关子镇中基性岩杂岩体锆石U-Pb年龄及其地质意义[J].地质通报,2005,24(1):23-29.
- [6]袁洪林,吴福元,高山,等.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[J].科学通报,2003,48(4):1511-1520.
- [7]Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J]. Chem. Geol. 2002, 192:59-79.
- [8]Rubatto D, Gebauer D. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by IOM Microprobe. Some examples from the western Alps [M]. Cathodoluminescence in Geoscience, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2000.373-400.
- [9]吴元保,郑永飞.锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J].科学通报,49(16):1589-1604.
- [10]李曙光,陈移之,张宗清,等.北秦岭拉鸡庙苏长辉长岩的痕量元素和Sr、Nd同位素地球化学[J].地质学报,1993,67(4):310-322.
- [11]董云鹏,周鼎武,张国伟.东秦岭富水基性杂岩体地球化学特征及其形成环境[J].地球化学,1997,16(3):231-238.
- [12]丁仁平,裴先治,李勇,等.西秦岭天水地区“李子园群”的解体及其构造环境浅析[J].地质通报,2004,23(12):1209-1214.
- [13]张国伟,袁学诚,张本仁,等.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001.1-806.