

陇东地区阎家店闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义

裴先治 孙仁奇 丁仁平 刘会彬 李佐臣 刘战庆 孟 勇

(长安大学地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 祁连造山带东段的陇山杂岩中出露有较多的加里东期和印支期岩浆侵入岩类, 但缺乏精确的年代学资料。对该区阎家店闪长岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果确定: 闪长岩体形成的同位素地质年代为 (440.2 ± 0.92) Ma (MSWD=1.13), 表明闪长岩体所代表的岛弧杂岩系形成于晚奥陶世。区域地质及构造演化研究表明, 该区曾在中晚奥陶世发生以红土堡蛇绿岩为代表的洋壳向北的俯冲作用, 并产生中晚奥陶世陈家河群岛弧型火山-沉积岩系和晚奥陶世以阎家店闪长岩体为代表的岛弧岩浆杂岩带。

关键词: 闪长岩; LA-ICP-MS; 锆石 U-Pb 测年; 陇东地区; 祁连造山带

中图分类号: P597 **文章标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)01-0008-09

陇东地区位于祁连造山带东段的张家川—清水—陇县地区, 在大地构造位置上位于华北板块南缘的祁连造山带东段。由于该地区处于陇东黄土高原, 前中生代地层和岩体被新生代黄土覆盖, 致使该区的地质构造格架和构造演化历史产生了不同的认识^[1-11]。

对于该区早古生代最大的闪长岩体——阎家店闪长岩体的形成时代有不同的认识, 陕西区测队 1966 年完成的 1:20 万陇县幅地质图和 1973 年编绘的 1:50 万西秦岭地质图均将其确定为华力西早期, 甘肃省区域地质志^[12]也划归为华力西早期, 而 1996 年完成的 1:5 万区域地质调查则根据 Rb-Sr 等时线年龄 547.7 Ma 和 K-Ar 年龄 372 Ma 数据将该岩体分解为两个超单元——寒武纪长沟河超单元和泥盆纪龙口峪超单元^①, 实际上所谓的两个超单元由于处于岩体边部和中间部位的差异使其发育定向组构有区别外, 在主体岩性上没有明显的差别。显然, 由于缺乏高精度的同位素年龄资料, 因而在很大程度上阻碍了人们对该区构造格架和构造演化的正确认识。该类岩体的形成时代以及与相关岩石地层单位之间的构造关系就显得尤为重要。详细研究该区域主要

岩浆岩的形成时代对于正确认识陇东地区的构造格架和构造演化以及与祁连造山带和华北地块之间及与秦岭造山带之间的构造关系等问题, 都具有重要的地质意义。笔者选择陇东地区最大的阎家店闪长岩体, 选取其中的锆石进行年代学研究, 并利用激光剥蚀等离子质谱(LA-ICP-MS)方法进行单颗粒锆石 U-Pb 精确定年, 以求更为准确地厘定该区闪长岩类的形成时代。

1 区域地质背景和岩体特征

1.1 地质背景

阎家店岩体位于祁连山东段的陇山地区、六盘山 NW 向断裂带西侧, 东邻华北地块西南缘。由于该岩体西侧的庄浪—秦安—通渭地区大面积分布新生代黄土沉积而使前中生代地层和岩浆岩被覆盖, 因此该区在大地构造归属上如何划分以及祁连造山带中诸构造单元如何衔接、与南侧秦岭造山带如何连接对比等一系列重要地质问题存在不同的认识^[1-11]。

根据最新地质调查成果, 陇山地区自北而南出露有 5 套

收稿日期: 2006-09-15; 改回日期: 2006-11-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572121, 40234041)、教育部科学技术研究重点项目(104175)和中国地质调查局地质大调查项目(200013000154)资助。

作者简介: 裴先治, 男, 1963 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 从事构造地质学、区域地质学研究; E-mail: peixzh@sina.com。

① 甘肃省地质矿产局勘査开发局地质科学研究所。1:5 万张家川幅(148E007017)、恭门镇幅(148E007018)、清水县幅(148E008017)、山门镇幅(148E008018)地质图及说明书, 1996。

构造岩石地层单位(图 1): (1)古元古界陇山杂岩:为一套中深变质的长英质-富铝片麻岩-大理岩-钙硅酸粒岩-斜长角闪岩-长英质片岩组合,其中可能包含有不同时代的花岗质片麻岩,陇山杂岩很可能是新太古-古元古代形成的,并经历了 2 500 Ma、2 350 Ma 和 1 900 Ma 的岩浆事件和变质事件^[12,13]。(2)早古生代陈家河群:为一套浅变质中酸性火山岩(北侧)和陆缘碎屑岩沉积组合(南侧),有限的古生物化石和同位素年代学资料表明其主体形成于中晚奥陶世,其中的中酸性火山岩包括同成分火山碎屑岩具有岛弧钙碱性地球化学特征^[14,15]。(3)早古生代红土堡岩组变质基性火山岩系:主要由绿片岩相变质玄武岩组成,夹有少量深水硅质岩,普遍发育有枕状构造,同时发育有同成分同时代的辉绿岩墙,具有 IAB、MORB 和 WPB 的多重地球化学特征^[14,15],表明其形成于汇聚板块边缘的板内裂隙-小洋盆构造环境,其中变玄武岩的全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 (463±38) Ma (MSWD=

0.26),全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 (484±32) Ma,表明其形成于早奥陶世-中奥陶世早期。(4)狭义的葫芦河群:主要由中浅变质碎屑沉积岩组成,其时代原划归为中元古代^[1]或震旦纪^[6]或寒武纪^[2,3],现依据最新的碎屑锆石定年研究确定为志留纪。(5)古元古界牛头河杂岩/秦岭杂岩:主要为中深变质的长英质片麻岩-富铝片麻岩-大理岩-钙硅酸粒岩组合,其中包含有较多的新元古代花岗质片麻岩^[10,11,16-19]。上述各构造岩石地层单位之间均呈构造接触关系。此外,该地区分布较多的规模不等的变形闪长岩体和块状花岗岩体,主要为加里东期和印支期的侵入岩体(图 1)。

阎家店岩体位于张家川回族自治县境内的恭门镇-阎家店-马鹿一带,总体呈 NWW 向展布,南北宽 12~17.5 km,东西长达 40 km,出露面积约 375 km²,是陇山地区众多规模不等的闪长岩体中最大的一个岩体。岩体南界和东界与古元古界陇山杂岩呈侵入或断层接触关系,岩体北东界被六盘山

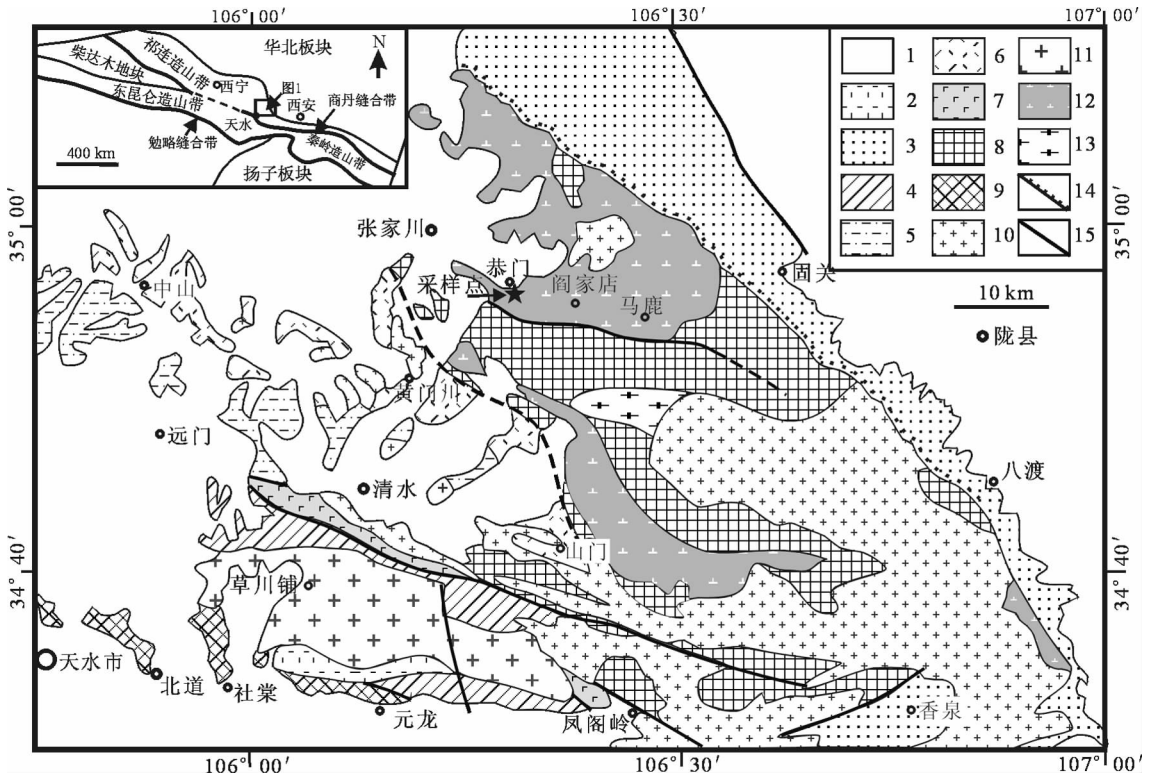


图 1 张家川-清水地区地质略图

- 1—新生界;2—古近系陆相火山岩;3—白垩系;4—志留系葫芦河群;5—中上奥陶统陈家河群中酸性火山岩;6—中上奥陶统陈家河群碎屑岩;
- 7—奥陶系红土堡岩组基性火山岩;8—古元古界陇山杂岩;9—古元古界牛头河杂岩/秦岭杂岩;10—印支期花岗岩;11—加里东期花岗岩;
- 12—闪长岩;13—新元古代花岗质片麻岩;14—不整合界线;15—断层/逆冲断层;★—采样位置

Fig.1 Geological sketch map of the Zhangjiachuan-Qingshui area

- 1—Cenozoic;2—Paleogene continental volcanic rock;3—Cretaceous;4—Silurian Huluhe Group;
- 5—Intermediate-acid volcanic rocks of the Mid-Upper Ordovician Chenjiahe Group;
- 6—Detrital rocks of the Mid-Upper Ordovician Chenjiahe Group;7—Basic volcanic rocks of the Ordovician Hongtubao Formation;
- 8—Paleoproterozoic Longshan complex;9—Paleoproterozoic Niutouhe/Qinling Complex;10—Indosinian granite;11—Caledonian granite;12—Diorite;
- 13—Neoproterozoic granitic gneiss;14—Unconformity;15—Fault/thrust;★—sampling position

①裴先治,李勇,丁仁平,等.天水市幅 1:25 万区域地质调查(修测)成果报告.长安大学地质调查研究院,2004.

脉白垩系陆相沉积地层不整合覆盖,而恭门镇以西地区岩体被第四系黄土覆盖延伸不清。岩体已经遭受了区域变形变质作用,发育片麻状构造,其中的暗色矿物与斜长石均呈定向排列。而中间部位岩体则变形较弱,内部尚有陇山杂岩的残留体,表明岩体主要侵位于古元古界陇山杂岩中。在阎家店北的岩体中心部位有印支期中细粒黑云母二长花岗岩体侵入(图 1)。

1.2 岩相学特征

阎家店岩体的主要岩石类型为(石英)闪长岩,呈灰色—浅灰色,中粒—中细粒半自形粒状结构,矿物粒径 1~3 mm。主要矿物组成为:斜长石 55%~65%,为中长石,An32~39,半自形—自形板柱状,环带构造;普通角闪石(15%~25%)或黑云母(10%~20%),角闪石呈半自形—自形柱状,黑云母呈片状,部分被绿泥石替代;石英 8%~10%,他形粒状,次生裂纹发育;部分岩石中有钾长石,含量 3%~5%,为微斜长石和正条纹长石,呈不规则他形粒状。副矿物有锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿等。

此外,野外调查发现,该岩体为一个从基性—中酸性岩的岩浆杂岩体,岩石类型包括有少量的辉石岩、辉长岩、辉石闪长岩、闪长岩、二长闪长岩、石英闪长岩等,以闪长岩和石英闪长岩为主体,这是典型的具有岩石成分演化特征的岛弧型岩浆岩系列岩石。

1.3 岩石地球化学特征

根据天水市幅 1:25 万区域地质调查(修测)成果报告^①,该岩体的 4 个代表性样品的主量元素含量如下:SiO₂(55.12%~59.12%)、TiO₂(0.82%~0.86%)、Al₂O₃(15.92%~17.25%)、Fe₂O₃(2.38%~2.96%)、FeO(4.52%~5.36%)、MnO(0.09%~0.13%)、MgO(2.33%~4.30%)、CaO(4.58%~7.24%)、Na₂O(3.91%~3.85%)、K₂O(1.58%~4.15%)、P₂O₅(0.29%~0.42%)。其(Na₂O+K₂O)/Al₂O₃ 比值为 0.31~0.51,属于钙碱性岩石;岩石的稀土元素总量 \sum REE 为 127.55×10⁻⁶~185.33×10⁻⁶,LREE/HREE=2.49~6.20,δEu 为 0.80~0.92,轻微负异常,LaN/YbN 比值为 20.99~24.01。微量元素 MORB 标准化蛛网图显示出选择性富集 Rb、Ba、Th、K 和 LREE,相对亏损 Nb、Ta、Ti 等 HFSE 和 HREE,指示其形成与俯冲作用有关。在 R₁-R₂ 图解和 Rb/10-Hf-3Ta 图解上显示出该类岩石具有板块碰撞前或火山弧花岗岩特征,表明这类岩体是与俯冲造山作用密切相关的岛弧型岩浆岩类。

2 分析方法及测试结果

本次工作为了获取阎家店岩体的形成时代,采用 LA-ICP-MS 法对闪长岩中的岩浆锆石进行 U-Pb 同位素年龄测试。该闪长岩样品采自张家川县东侧的恭门镇南的采石场,采样点地理坐标为 N34°56′12.6″,E106°17′34.6″。

2.1 分析方法

所采测年样品在陕西省地勘局区域地质矿产研究院采

用常规方法粉碎至 80~100 目,并用常规浮选和电磁选方法进行分选,得到>200 粒锆石后,再在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象。将锆石颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部暴露,然后进行锆石显微照相(反射光和透射光照相)、阴极发光(CL)显微图像研究及 LA-ICP-MS 分析。

锆石的反射光和透射光显微照相以及阴极发光(CL)显微照相在北京离子探针中心扫描电镜实验室完成。阴极发光(CL)显微照相采用日立 HITACHI S3000-N 型扫描电子显微镜和 GATAN 公司 Chroma 阴极发光探头进行。测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光显微照片进行初选,再与 CL 照片反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体以及不同成因的区域,以期获得较准确的年龄信息。

锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行。分析仪器为 Elan 6100 DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas200 M 型激光剥蚀系统,激光器为 193 nm ArF 准分子激光器。激光剥蚀斑束直径为 30μm,激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm。锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外标,元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 作为外标,²⁹Si 作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER(4.0 版,Macquarie University)软件,并采用 Andersen(2002)软件对测试数据进行普通铅校正^[20],年龄计算及谐和图采用 ISOPLOT(2.49 版)(Ludwig,2003)软件完成。详细的实验原理和流程及仪器参见参考文献[21-22]。

2.2 锆石特征

样品(GMZ01)中选取的测年锆石的 CL 图像(图 2),锆石多为浅黄色—无色透明短柱状、半截锥状、中长柱状晶体、浑圆状等,粒度多为 80~150 μm。阴极发光图像表现出典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构等,属于岩浆结晶产物^[21](图 2)。由图 2 可见,锆石内部结构比较复杂,成因类型多样。部分锆石具有残留的核部,为继承核或捕获核。部分锆石颗粒具有窄的浅色边,但核部仍显示出清晰的岩浆环带特征,表明浅色边为变质的增生边^[23]。

从样品(GMZ01)测试得到的同位素比值和年龄数据(表 1,图 3)可见,锆石具有较高的 Th/U 比值(为 0.37~1.18,多数>0.67),表明了岩浆成因的锆石特征。该样品的 25 个测点的 Th 含量变化为 60×10⁻⁶~449×10⁻⁶,U 含量变化为 142×10⁻⁶~594×10⁻⁶,且 Th、U 含量呈现出较好的正相关关系(图 3),与典型岩浆锆石特征一致。其中除有一个测点(GMZ01.22)的 Th/U 比值稍低(0.37)外,其余 24 个测点的 Th/U 比值均>0.4,而这些测点多位于明显的岩浆环带上,显示了岩浆成因锆石特征。

①裴先治,李勇,丁仁平,等.天水市幅 1:25 万区域地质调查(修测)成果报告.长安大学地质调查研究院,2004.

2.3 测试结果

锆石 U-Pb 分析共测试了 25 个点(表 1)。锆石年龄可以明显地分为 2 组:第一组年龄只有 2 个测点(GMZ01.03 和 GMZ01.22),前者 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (576 ± 3) Ma,后者 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (811 ± 5) Ma;从 CL 图像上观察(图 2),前者测点位于锆石的核部与边部交汇处,可能代表了混合年龄,无地质意义;而后者的测点位于锆石的核部,应为继承锆石或捕获锆石年龄,同时也暗示了本区存在新元古代的构造岩浆事件。第二组年龄有 23 个测点,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 436~461Ma (表 1,图 4-a,4-b),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好(图 4-a),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (443.1 ± 2.7) Ma(MSWD=9.9),其中有 5 个测点(GMZ01.01、GMZ01.02、GMZ01.04、

GMZ01.05、GMZ01.18)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 451~461 Ma (表 1),明显偏离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄的正常分布范围(图 4-b),同时其年龄误差也较大(MSWD=9.9)。剔除这 5 个测点,其余 18 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好,谐和年龄为 (440.0 ± 1.2) Ma(MSWD=0.89)(图 4-c), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 436~444 Ma,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (440.2 ± 0.92) Ma (MSWD=1.13)(图 4-d),代表了闪长岩的结晶年龄。因此,笔者将阎家店闪长岩体的结晶时代确定为 (440.2 ± 0.92) Ma,其形成时代为晚奥陶世。

3 讨论与结论

陇东张家川地区阎家店闪长岩体的 LA-ICP-MS 锆石

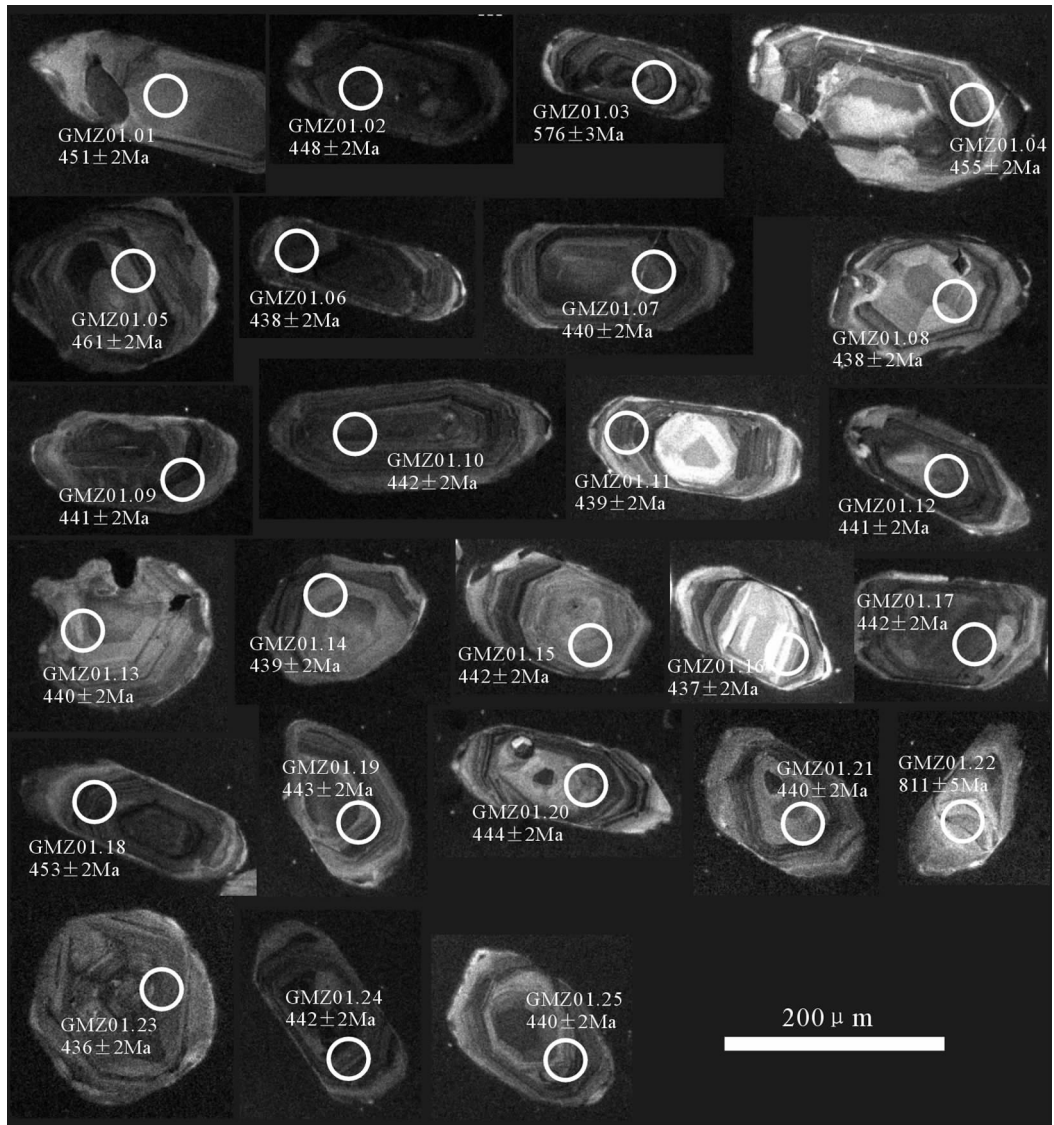


图 2 阎家店闪长岩体代表性单颗粒锆石的阴极发光(CL)图像
圈和数字分别表示 U-Pb 年龄测定位置、测点编号和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄

Fig.2 Cathodoluminescence (CL) images of representative analyzed zircons from the Yanjiadian diorite

The circle and number denote the analyzed location and sample number respectively; other numbers are $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ apparent ages

表 1 阎家店闪长岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic analysis of the Yanjiadian diorite

测试点号	元素含量/ 10^{-6} 及比值		同 位 素 比 值				表 面 年 龄 /Ma												
	^{232}Th	^{238}U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ					
GMZ01.01	166.85	141.87	1.18	0.05451	0.00076	0.54525	0.00597	0.07254	0.00040	0.02157	0.00012	392	15	442	4	451	2	431	2
GMZ01.02	233.68	222.33	1.05	0.05731	0.00073	0.56911	0.00547	0.07202	0.00038	0.02223	0.00012	503	12	457	4	448	2	444	2
GMZ01.03	129.36	266.90	0.48	0.08757	0.00088	1.12871	0.00986	0.09349	0.00047	0.02768	0.00013	1373	20	767	5	576	3	552	3
GMZ01.04	318.98	418.26	0.76	0.05758	0.00091	0.58062	0.00868	0.07314	0.00038	0.02270	0.00010	514	36	465	6	455	2	454	2
GMZ01.05	138.52	167.25	0.83	0.05520	0.00068	0.56441	0.00513	0.07415	0.00039	0.02263	0.00012	420	11	454	3	461	2	452	2
GMZ01.06	449.43	582.78	0.77	0.06037	0.00063	0.58559	0.00361	0.07035	0.00034	0.02178	0.00009	617	6	468	2	438	2	435	2
GMZ01.07	134.59	196.42	0.69	0.05442	0.00068	0.52974	0.00491	0.07060	0.00036	0.02123	0.00012	388	12	432	3	440	2	425	2
GMZ01.08	116.11	201.97	0.57	0.05492	0.00068	0.53266	0.00482	0.07034	0.00036	0.02125	0.00012	409	11	434	3	438	2	425	2
GMZ01.09	302.94	374.13	0.81	0.05751	0.00065	0.56176	0.00416	0.07085	0.00035	0.02034	0.00009	511	8	453	3	441	2	407	2
GMZ01.10	198.73	189.74	1.05	0.05929	0.00077	0.58014	0.00569	0.07098	0.00037	0.02143	0.00011	578	12	465	4	442	2	429	2
GMZ01.11	288.38	392.33	0.74	0.05720	0.00063	0.55579	0.00389	0.07048	0.00034	0.02110	0.00009	499	8	449	3	439	2	422	2
GMZ01.12	215.16	299.38	0.72	0.05643	0.00064	0.55086	0.00412	0.07081	0.00035	0.02163	0.00010	469	8	446	3	441	2	433	2
GMZ01.13	116.56	141.67	0.82	0.05640	0.00110	0.54959	0.01026	0.07068	0.00039	0.02199	0.00010	468	44	445	7	440	2	440	2
GMZ01.14	71.36	105.15	0.68	0.05906	0.00088	0.57326	0.00697	0.07041	0.00039	0.02206	0.00015	569	17	460	4	439	2	441	3
GMZ01.15	126.4	152.46	0.83	0.05695	0.00077	0.55703	0.00581	0.07095	0.00037	0.02184	0.00012	490	14	450	4	442	2	437	2
GMZ01.16	151.24	139.41	1.08	0.05682	0.00079	0.54963	0.00601	0.07016	0.00037	0.02088	0.00011	485	15	445	4	437	2	418	2
GMZ01.17	211.58	237.20	0.89	0.05573	0.00067	0.54536	0.00464	0.07098	0.00036	0.02065	0.00010	442	10	442	3	442	2	413	2
GMZ01.18	463.25	594.41	0.78	0.05797	0.00060	0.58168	0.00348	0.07279	0.00035	0.02156	0.00009	529	6	466	2	453	2	431	2
GMZ01.19	199.92	225.96	0.88	0.05877	0.00084	0.57605	0.00659	0.07110	0.00039	0.02218	0.00013	559	15	462	4	443	2	443	3
GMZ01.20	333.82	483.64	0.69	0.05712	0.00062	0.56104	0.00392	0.07124	0.00035	0.02156	0.00010	496	8	452	3	444	2	431	2
GMZ01.21	117.75	143.68	0.82	0.05469	0.00080	0.53236	0.00631	0.07060	0.00038	0.02139	0.00013	400	17	433	4	440	2	428	3
GMZ01.22	59.81	161.32	0.37	0.11139	0.00162	2.05839	0.02708	0.13402	0.00082	0.03871	0.00028	1822	27	1135	9	811	5	768	5
GMZ01.23	202.56	219.27	0.92	0.05576	0.00123	0.53747	0.01147	0.06991	0.00041	0.02178	0.00010	443	50	437	8	436	2	435	2
GMZ01.24	130.56	193.47	0.67	0.06508	0.00086	0.63599	0.00636	0.07089	0.00038	0.02557	0.00015	777	12	500	4	442	2	510	3
GMZ01.25	290.33	287.98	1.01	0.05476	0.00068	0.53381	0.00484	0.07071	0.00036	0.02139	0.0001	402	11	434	3	440	2	428	2

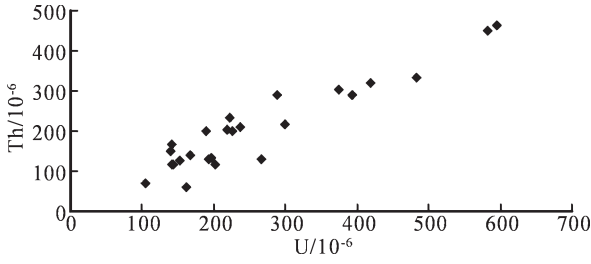


图 3 阎家店闪长岩体锆石 Th-U 图解

Fig.3 Zircon Th-U diagram of the Yanjiadian diorite

U-Pb 同位素测年结果为 (440.2 ± 0.92) Ma (MSWD=1.13), 这一结果与何艳红等^[13]报道的陕西境内陇县地区侵位于陇山杂岩的新街花岗质片麻岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结果 (447.7 ± 5.4) Ma (MSWD=4.8) 在误差范围内基本一致。新街花岗质片麻岩主要岩石类型为花岗闪长岩, 岩石地球化学显示出是与俯冲作用密切相关的岛弧型花岗岩类^[13]。而这些岩体大部分侵位于古元古界变质基底杂岩——陇山杂岩中。陇山杂岩南侧则发育有早古生代的火山-沉积岩系,

包括紧靠陇山杂岩产出的中晚奥陶世陈家河群岛弧型中酸性火山岩系 (SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 (447.4 ± 8.5) Ma) 和弧前盆地沉积岩系以及其南侧的早—中奥陶世红土堡岩组洋壳型变质玄武岩系。它们的南侧为新厘定为志留纪的葫芦河群变质复理石岩系 (图 1)。这种不同时代和不同构造环境下形成的不同构造岩石组合的空间配置关系表明, 以早—中奥陶世红土堡岩组洋壳型变质玄武岩为代表的裂隙——小洋盆性质的蛇绿岩, 在中晚奥陶世向北的俯冲作用形成了以晚奥陶世陈家河群为代表的岛弧型火山喷发活动及以阎家店闪长岩体、长沟河闪长岩体以及新街花岗闪长岩体等为代表的岛弧型中基性—中酸性岩浆杂岩的侵位活动, 并且其基底即为陇山杂岩。同时还广泛发育有强烈的区域变质作用和构造变形作用。

陇东地区的陇山地区最显著的特征就是印支期花岗岩类和加里东期岩浆活动非常发育 (图 1), 但加里东期的岩浆活动则相对来说研究程度不够, 而祁连造山带和北秦岭造山带的显著特征就是发育早古生代的岛弧火山岩和岛弧型侵入岩类以及洋盆型和弧后盆地型蛇绿岩等板块活动的岩石记录^[2-8, 13-19, 24-30]。因此, 查明陇东地区的加里东期构造岩浆活

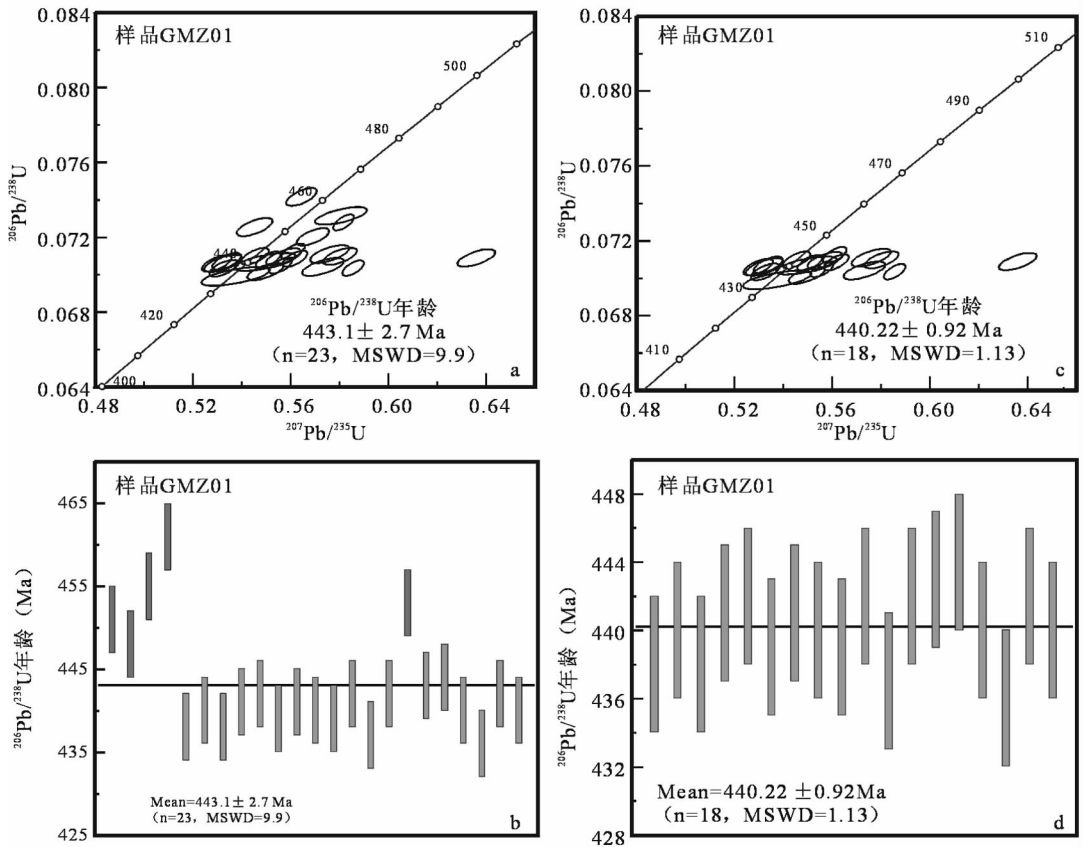


图 4 阎家店闪长岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图(a, c)和直方图(b, d)

Fig.4 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams (a, c) and histograms of weighted average ages (b, d) of the Yanjiadian diorite

动和早古生代的岩石记录以及详细的同位素定年,对于正确认识祁连造山带东段的构造连接对比和构造格架以及与秦岭造山带之间的构造衔接关系等问题具有重要地质意义。陇东张家川—清水地区早古生代岛弧型岩浆岩的精确定年为此提供了重要依据。

致谢: 锆石的反射光和投射光显微照相以及阴极发光(CL)显微照相得到北京离子探针中心扫描电镜实验室周慧工程师、杨之青研究员的热心帮助;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年得到西北大学大陆动力学国家重点实验室的大力支持,柳小明博士、第五春荣博士在仪器测试和数据处理方面给予很大帮助,在此一并致谢!

参考文献 (References):

- [1] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989:5-140.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province. Regional Geology of Gansu Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989:5-140(in Chinese with English abstract).
- [2] 宋志高, 张治洮, 张莓, 等. 陕、甘边界“牛头河群”的分解及其构造意义 [J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1991, 第 31 号:1-14.
Song Zhigao, Zhang Zhitao, Zhangmei, et al. The disintegration of “Niutouhe Group” in the juncture region of Shaanxi -Gansu Provinces and its significance in tectonics [J]. Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, 1991, 31:1-14(in Chinese with English abstract).
- [3] 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所刊, 1991, 第 34 号:1-82.
Song Zhigao, Jia Qingzi, Zhang Zhitao, et al. The early Palaeozoic volcanic rock series and its interconnection relationship between the North Qinling and the North Qilian Orogens [J]. Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, 1991, 34:1-82(in Chinese with English abstract).
- [4] 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 祁连—秦岭海相火山岩[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991:59-105.
Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, et al. The Marine Facies Volcanic Rocks of Qilian and Qinling Mountains [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991:59-105 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张维吉, 孟宪恂, 胡健民, 等. 祁连—北秦岭造山带接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.
Zhang Weiji, Meng Xianxun, Hu Jianmin, et al. Tectonics of Conjoint Area between the Qilian and Qinling Orogens[M]. Xi'an: Northwest University Press, 1994:1-283 (in Chinese with English abstract).
- [6] 冯益民, 曹宣铎, 张二朋, 等. 西秦岭造山带结构造山过程及动力学[M]. 西安:西安地图出版社, 2002:1-263.
Feng Yimin, Cao Xuanduo, Zhang Erpeng, et al. Structure, Orogenic Process and Dynamics of the West Qinling [M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 2002:1-263(in Chinese).
- [7] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京:科学出版社, 2001:1-855.
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, China, 2001:1-855(in Chinese).
- [8] 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):23-32.
Zhang Guowei, Guo Anlin, Yao Anping. Western Qinling - Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics [J]. Earth Science Frontier, 2004, 11 (3):23-33 (in Chinese with English abstract).
- [9] 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 等著. 秦岭中—新元古代地质演化及对 RODINIA 超级大陆事件的响应[M]. 北京:地质出版社, 2003:1-194.
Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong, et al. Meso - Neoproterozoic Geological Evolution in the Qinling Orogeny and its Response to the Supercontinental Events of Rodinia [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:1-194(in Chinese).
- [10] 陆松年, 陈志宏, 李怀坤, 等. 秦岭造山带中—新元古代 (早期)地质演化[J]. 地质通报, 2004, 23(2):107-112.
Lu Songnian, Chen Zhihong, Li Huaikun, et al. Late Mesoproterozoic -early Neoproterozoic evolution of the Qinling orogen [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 23 (2):107-112(in Chinese with English abstract).
- [11] 陆松年, 陈志宏, 李怀坤, 等. 秦岭造山带中两条新元古代岩浆岩带[J]. 地质学报, 2005, 79(2):165-173.
Lu Songnian, Chen Zhihong, Li Huaikun, et al. Two magmatic belts of the Neoproterozoic in the Qinling orogenic belt [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(2):165-173(in Chinese with English abstract).
- [12] 何艳红, 孙勇, 陈亮, 等. 陇山杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(1):125-134.
He Yanhong, Sun Yong, Chen Liang, et al. Zircon U -Pb chronology of Longshan complex by LA -ICP -MS and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (1):125-134(in Chinese with English abstract).
- [13] 何艳红, 陈亮, 孙勇, 等. 陇县地区新街片麻岩套锆石年龄及其地质意义[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2005, 35(5):625-632.
He Yanhong, Chen Liang, Sun Yong, et al. Zircon chronology of Xinjie complex in Longxian County and its geological significance [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2005, 35(5):625-632(in Chinese with English abstract).
- [14] 胡波, 裴先治, 丁仁平, 等. 天水地区红土堡变基性岩的地球化学特征及其大地构造意义[J]. 地质通报, 2005, 24(3):258-263.
Hu Bo, Pei Xianzhi, Ding Saping, et al. Geochemical characteristics of the Hongtubao metabasic rocks in the Tianshui area, Gansu, and their tectonic significance [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(3):258-263(in Chinese with English abstract).
- [15] 胡波. 甘肃天水地区清水—张家川早古生代变质火山岩岩石地

- 球化学特征及其构造意义[D]. 长安大学,2005:1-75.
- Hu Bo. Geochemical characteristics of the Early Palaeozoic meta-volcanic rocks from Qingshui-Zhangjiachuan in the Tianshui area, Gansu, and their tectonic significance [D]. Chang'an University, 2005: 1-75(in Chinese with English abstract).
- [16] 裴先治. 东秦岭商丹构造带的组成与构造演化[M]. 西安:西安地图出版社,1997:1-120.
- Pei Xianzhi. Composition and Tectonic Evolution of the Shangdan Structural Zone in the East Qinling, China [M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 1997: 1-184(in Chinese).
- [17] 裴先治, 王涛, 王洋, 等. 北秦岭晋宁期主要地质事件及其构造背景探讨[J]. 高校地质学报, 1999, 5(2): 137-147.
- Pei Xianzhi, Wang Tao, Wang Yang, et al. Major geological events of Jinning period and their tectonic setting [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(2): 137-147(in Chinese with English abstract).
- [18] 刘会彬, 裴先治, 丁仁平, 等. 西秦岭元龙地区新元古代花岗质片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 地质通报, 2006, 25(11): 1315-1320.
- Liu Huibin, Pei Xianzhi, Ding Saping, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Neoproterozoic granitoid gneisses in Yuanlong area, west Qinling, and their geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(11): 1315-1320(in Chinese with English abstract).
- [19] 丁仁平, 裴先治, 刘会彬, 等. 西秦岭天水地区新元古代花岗质片麻岩的锆石 LA-ICP-MS 定年及其地质意义 [J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1217-1225.
- Ding Sanping, Pei Xianzhi, Liu Huibin, et al. LA-ICP-MS zircons U-Pb dating and their geological significance of the Xinyang Neoproterozoic granitoid gneisses in Tianshui area, Western Qinling [J]. Geology in China, 2006, 33(6): 1217-1225(in Chinese with English abstract).
- [20] Anderson T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192: 59-79.
- [21] 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(14): 1511-1520.
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(22): 2411-2421(in Chinese).
- [22] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2004, 28(3): 353-370.
- [23] 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, 2004, 49(16): 1589-1604.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15): 1544-1569(in Chinese).
- [24] 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.
- Pei Xianzhi, Ding Saping, Hu Buo, et al. Definition of the Guanzizhen ophiolite in Tianshui area, Western Qinling, and its geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(12): 1202-1208(in Chinese with English abstract).
- [25] 裴先治, 李勇, 陆松年, 等. 西秦岭天水地区关子镇中基性岩浆杂岩锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2005, 24(1): 23-29.
- Pei Xianzhi, Li Yong, Lu Songnian, et al. Zircon U-Pb ages of the Guanzizhen intermediate-basic igneous complex in Tianshui area, Western Qinling, and their geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(1): 23-29(in Chinese with English abstract).
- [26] 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.
- Ding Sanping, Pei Xianzhi, Li Yong, et al. Analysis of the disintegration and tectonic setting of the "Liziyuan Group" in the Tianshui area, western Qinling [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(12): 1209-1214(in Chinese with English abstract).
- [27] 裴先治, 刘会彬, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区李子园群变质火山岩的地球化学特征及其地质意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(2): 193-205.
- Pei Xianzhi, Liu Huibin, Ding Sanping, et al. Geochemical characteristics and tectonic significance of the meta-volcanic rocks in the Liziyuan group from Tianshui area, Western Qinling orogen [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2006, 30(2): 193-205(in Chinese with English abstract).
- [28] 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区岛弧型基性岩浆杂岩的地球化学特征及形成时代[J]. 中国地质, 2005, 32(4): 529-540.
- Pei Xianzhi, Li Zuo Chen, Ding Saping, et al. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of island-arc basin igneous complexes in the Tianshui area, West Qinling[J]. Geology in China, 2005, 32(4): 529-540(in Chinese with English abstract).
- [29] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山奥陶纪弧后盆地火山岩成因[J]. 中国地质, 2003, 30(1): 48-60.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi. Magmagenesis of Ordovician back-arc basins in the Northern Qilian Mountains [J]. Geology in China, 2003, 30(1): 48-60(in Chinese with English abstract).
- [30] 黄增保, 金霞. 甘肃北山红石山蛇绿混杂岩带中基性火山岩构造环境分析[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 1030-1037.
- Huang Zenbao, Jub Xia. Tectonic environment of basic volcanic rocks in the Hongshishan ophiolite mélange zone, Beishan Mountains, Gansu [J]. Geology in China, 2006, 33(5): 1030-1037(in Chinese with English abstract).

LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Yanjiadian diorite in the eastern Qilian Mountains and its geological significance

PEI Xian-zhi, SUN Ren-qi, DING Sa-ping, LIU Hui-bin, LI Zuo-chen,
LIU Zhan-qing, MENG Yong

(College of Earth Sciences and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Plentiful Caledonian and Indosinian intrusive rocks outcrop in the Longshan complex in the eastern Qilian Mountains, but accurate chronological data are lacking. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Yanjiadian diorite in the Zhangjiachuan-Qingshui area of the eastern Qilian Mountains indicates that the isotopic age of the diorite is 440.2 ± 0.92 Ma (MSWD=1.13), which suggests that the island-arc complex represented by the Yanjiadian diorite formed in the Late Ordovician. Studies of regional geology and tectonic evolution indicate that in this area there occurred northward subduction of oceanic crust represented by the Hongtubao ophiolite during the Middle-Late Ordovician and island-arc magmatic complex zones represented by island-arc type volcanic-sedimentary series of the Middle-Late Chenjiahe Group and the Late Ordovician Yanjiadian diorite body.

Key words: diorite; LA-ICP-MS; zircon U-Pb dating; eastern Gansu; Qilian orogenic belt

About the first author: PEI Xian-zhi, male, born in 1963, doctor and professor, mainly engages in the study of regional geology and tectonics; E-mail: peixzh@sina.com.