

西秦岭南缘勉略带琵琶寺基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义

李瑞保, 裴先治, 丁仁平, 李佐臣, 冯建赞, 孙雨, 张亚峰, 刘战庆

长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室,

长安大学地球科学与资源学院, 西安, 710054

内容提要:利用阴极发光和 LA-ICP-MS 微区定年分析方法,对西秦岭南缘勉略构造带琵琶寺基性火山岩进行了单颗粒锆石 U-Pb 同位素分析。研究确定,所测定锆石为岩浆锆石。琵琶寺基性火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年结果表明,其同位素年龄为 783~754Ma,形成时代为新元古代中晚期南华纪。结合前人资料,认为勉略构造带不仅在晚古生代发育有限洋盆,且在新元古代时期还有更古老的洋盆存在。这一新资料,对进一步研究勉略构造带西段新元古代大地构造格局及演化以及探讨扬子地块北缘 Rodinia 超大陆裂解等大陆动力学问题具有重要意义。

关键词:基性火山岩;LA-ICP-MS;锆石 U-Pb 定年;琵琶寺;勉略构造带

西秦岭南缘琵琶寺基性火山岩位于陇南地区的琵琶寺—月照一带,大地构造位置上属于勉略构造带西延部分,即康县—琵琶寺—南坪构造混杂带。前人对该带曾作过细致研究,认为该带不仅在构造形迹上与中段的勉县—略阳蛇绿构造混杂带直接联通,而且在形变特征、混杂带的物质组成以及蛇绿岩性质也完全可以类比(裴先治,2001;裴先治等,2002;赖绍聪等,2002,2003)。

已有研究表明,勉略构造带及其西延正是中国华北板块与扬子板块之间晚古生代—中生代初期,属于东特提斯洋域中北侧分支的有限小洋盆或串联式多个小洋盆带,横贯东西,于晚海西—印支期最终发生复杂的俯冲—碰撞拼合,形成中国主体统一大陆(张国伟等,1995a,1995b,1996,2001,2003;李曙光等,1996,2003;孟庆任等,1996;王宗起,1998;张宗清等,1996a,1996b,1997,2002a,2002b;2005,2006;李亚林等,2002)。勉略构造带内物质组成复杂,包括有与洋壳、洋盆形成演化相关的岩石建造和不同性质、不同时代的其它陆缘岩块,总体为以不同岩块,尤其包括有大量镁铁质岩或蛇绿岩块为特征的构造混杂岩组合(张国伟等,1995a,1995b,1996,2001,2003;裴先治,2001;裴先治等,2002;赖绍聪

等,2002,2003)。在勉略构造带中段,略阳黑沟峡岛弧火山岩中有年龄为 242 ± 21 Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄和年龄为 221 ± 13 Ma 的 Rb-Sr 等时线年龄报道(李曙光等,1996),在略阳偏桥沟四方坝硅质岩中有时代为早石炭世的放射虫化石发现(冯庆来等,1996),在略阳三岔子古岛弧岩浆岩中的斜长花岗岩有年龄为 300 ± 61 Ma 的锆石 U-Pb 年龄(李曙光等,2003)。另外,在勉略构造带中还有新元古代年龄见诸报道:在略阳三岔子偏桥沟具岛弧火山岩性质的变质安山岩中获得 Sm-Nd 等时线年龄 873 ± 71 Ma,同源斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 913 ± 20 Ma,逐层蒸发法 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 926 ± 10 Ma(张宗清等,2005,2006)。在勉县安子山类似 N-MORB 洋壳碎片的变质镁铁质火山岩块中获得 Sm-Nd 等时线年龄 877 ± 78 Ma(张宗清等,2002a,2002b,2006)。近来,闫全人等(2007)对勉略构造带康县—勉县段的铁镁质岩块或蛇绿岩进行了系统的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究,获得了 841 ± 16 Ma 的年龄,在蛇绿混杂岩中的辉长岩和辉绿岩块中获得了 827 ± 14 Ma~ 808 ± 10 Ma 的年龄(闫全人等,2007)。显然,在同一构造混杂带中出现了两组不同时代的数据,有印支期和晋宁期。这表明勉

注:本文为国家自然科学基金项目(批准号:40972136、40572121)和教育部科学技术研究重点项目(批准号:104175)资助成果。

收稿日期:2009-03-12;改回日期:2009-09-11;责任编辑:郝梓国。

作者简介:李瑞保,男,1982年生。博士研究生。主要从事区域地质和构造地质学研究。通讯地址:710054,西安市雁塔路南段126号,长安大学地球科学与资源学院;Email:liruibao0971@163.com。通讯作者:裴先治。Email:peixzh@263.net。

略构造带的物质组成和构造演化十分复杂,张宗清等(2005,2006)认为这样复杂的物质组成是多期构造事件叠加的产物。综上所述,西秦岭南缘勉略构造带蛇绿岩—铁镁质岩的物质组成及形成时代极为复杂。精确测定蛇绿岩或镁铁质岩块的形成时代,对理清该构造带的形成演化历史具有重要意义。为此,本文以陇南地区西秦岭南缘琵琶寺基性火山岩为研究对象,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,以求更为准确地获得该区基性火山岩的形成时代,从而为该构造带的构造演化提供更精确的年代学资料。

1 区域地质背景

康县—琵琶寺—南坪构造混杂带位于西秦岭造山带、扬子板块北缘西段以及松潘—甘孜造山带的结合部位,向东与勉县—略阳蛇绿岩带相连(图 1)。

带内以缺失奥陶系—志留系,发育泥盆系—二叠系为特征,与其南北两侧缺失泥盆系—石炭系地层形成鲜明对比。另外,带内出露的泥盆系—石炭系以及南华系和火山岩基本被围限在北部塔藏—略阳断层(勉略构造带北部边界断裂)和南部文县—勉县断层(勉略构造带南部边界断裂)之间,与东部勉略构造带的基本组成和变形特征完全一致(图 1)(裴先治,2001)。构造带内主要由剪切变形的震旦系和泥盆系—石炭系逆冲推覆岩片组成。形成自北向南的叠瓦逆冲推覆构造。其中南华系主要为含砾泥质岩、泥质碳酸盐岩和泥质岩;石炭系为碳酸盐岩。

康县—琵琶寺—南坪构造混杂带内变质火山岩主要以构造岩片的形式卷入该构造带。火山岩岩片主要出露在康县旧城、碾坝、刘坝、豆坝、武都琵琶寺、南坪隆康和塔藏几个地区。其中,碾坝岩片、豆坝岩片、刘坝岩片为洋岛玄武岩,康县岩片、隆康岩片和塔藏岩片为洋岛碱性玄武岩(裴先治,2001;裴

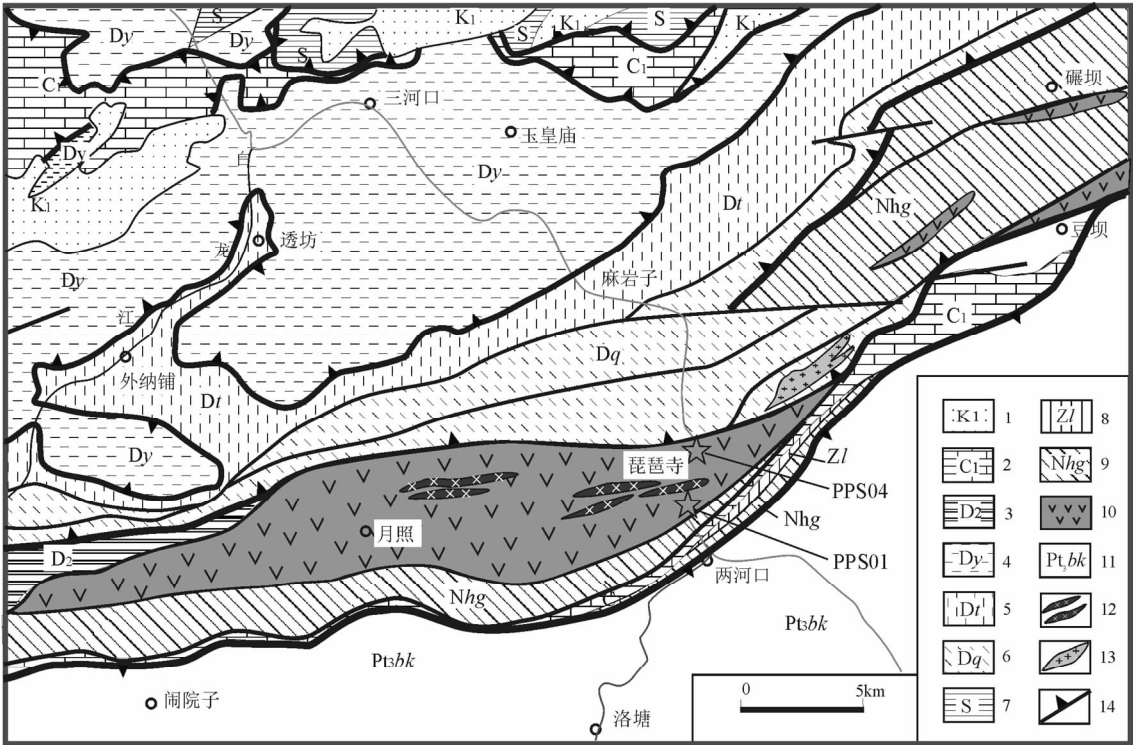


图 1 西秦岭南缘三河口—琵琶寺地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Sanhekou-Pipasi area in the southern margins of Western Qinlin

1—白垩系;2—石炭系;3—中泥盆统;4—泥盆系三河口群上部洋汤寨组;5—泥盆系三河口群中部屯寨组;6—泥盆系三河口群下部桥头组;
7—志留系白水江群;8—震旦系临江组;9—南华系关家沟组;10—琵琶寺变质基性火山岩;11—新元古界碧口群;12—基性岩脉;13—花岗
岩脉;14—逆冲断层;☆—同位素年龄采样点
1—Cretaceous; 2—Carboniferous; 3—Middle Devonian series; 4—Devonian Sanhekou Group Yangtangzhai Formation; 5—Devonian
Sanhekou Group Tunzhai Formation; 6—Devonian Sanhekou Group Qiaotou Formation; 7—Silurian Baishuijiang Group; 8—Sinian Linjiang
Formation; 9—Nanhua Guanjiagou Formation; 10—Pipasi basic volcanic rocks; 11—Neoproterozoic Bikou Group; 12—basalt vein; 13—
granitic vein; 14—thrust fault; ☆—sampling location of isotopic age

先治等,2002;赖绍聪等,2002,2003)。

琵琶寺基性火山岩位于陇南市武都区琵琶寺及月照一带,总体呈 NEE 向展布,呈大型构造透镜体产出,东西两端延伸不远逐渐构造尖灭,南北宽达 5.6km,东西长约 35km,是康县—琵琶寺—南坪蛇绿构造混杂带中出露面积最大的火山岩岩片。其向东断续延伸至康县豆坝一带,北界为一主边界逆冲推覆断层,断层以北出露泥盆系三河口群下部桥头组(绢云石英千枚岩夹灰岩)和中泥盆统(灰岩、页岩、粉砂岩、石英砂岩);南界也为一逆冲断层,断层以南出露南华系关家沟组(含砾砂岩、含砾板岩、砂砾岩、粉砂质板岩、炭质板岩、凝灰岩)(图 1)。

2 样品特征

2.1 岩石学特征

琵琶寺基性火山岩系的主要岩石类型为灰绿色绿帘绿泥片岩、绿泥钠长片岩及绢云石英片岩夹变质凝灰岩等。原岩以玄武岩及相应的凝灰岩为主,剖面上各类岩石的出露以玄武岩为主(图 2),西部月照一带剖面上变质碎屑岩(绢云母石英片岩)有所增多。岩石变形强烈,透入性面理非常发育,尤其是其中的变质碎屑岩及火山碎屑岩夹层均已变形变质为糜棱岩类岩石,发育韧性剪切变形构造(裴先治,2001)。

岩石呈暗绿—黑绿色,块状构造和片状构造,局部具有糜棱岩化特征。变余斑状结构中斑晶为辉石和斜长石,辉石斑晶大多已绿泥石化。基质为微—细粒变晶结构,主要组成矿物有绿泥石、绿帘石和钠长石小颗粒。部分样品镜下显示出强烈的剪切片理化

现象。矿物破碎且具明显的定向排列,有时可见部分斑晶颗粒显示不对称旋转碎斑系特征。其岩石地球化学特征表明岩石类型分为洋脊型玄武岩和洋岛型玄武岩两类(赖绍聪等,2002,2003)。

2.2 岩石地球化学特征

根据赖绍聪等(2003)对该基性火山岩地球化学研究成果,该玄武岩类 SiO₂ 含量变化较大,介于 47.65%~52.33% 之间,平均为 49.74%。岩石 Fe₂O₃ 含量介于 4.35%~9.15% 之间,平均为 5.69%,FeO 含量介于 5.2%~8.2% 之间,平均为 6.97%,含量高,且绝大多数样品 FeO>Fe₂O₃。MgO 含量介于 4%~6.9% 之间,平均为 5%,含量低。本区玄武岩 TiO₂ 含量介于 1.10%~1.90% 之间,就 TiO₂ 含量而言,本区玄武岩明显高于活动大陆边缘及岛弧区火山岩的(0.83%,0.58%~0.85%)TiO₂ 含量,而处于洋脊拉斑玄武岩(1.5%)和洋岛拉斑玄武岩(2.5%)的 TiO₂ 含量范围内。岩石的稀土总量较低,ΣREE 在 37.37~70.92μg/g 之间,ΣLREE/ΣHREE=1.39~1.65,(La/Yb)_N 比值为 0.61~0.91;(Ce/Yb)_N 比值为 0.76~0.90;(La/Sm)_N 比值为 0.52~0.89,具 N 型 MORB 稀土元素特征;δEu 为 0.80~1.17,表明岩石基本无铕异常。玄武岩类的 Ti/V 比值(22.54~52.96)、Zr/Y 比值(2.17~6.99)较高、Nb/Y 比值为 0.05~0.68、Nb/La 比值为 0.48~1.22、Th/Ta 比值为 0.33~1.45、Th/Yb 比值为 0.03~0.61、Ta/Yb 比值为 0.04~1.84、Zr/Hf 比值为 19.42~41.35、La/Nb 比值为 0.82~2.10。在 2Nb-Zr/4-Y 图解上主

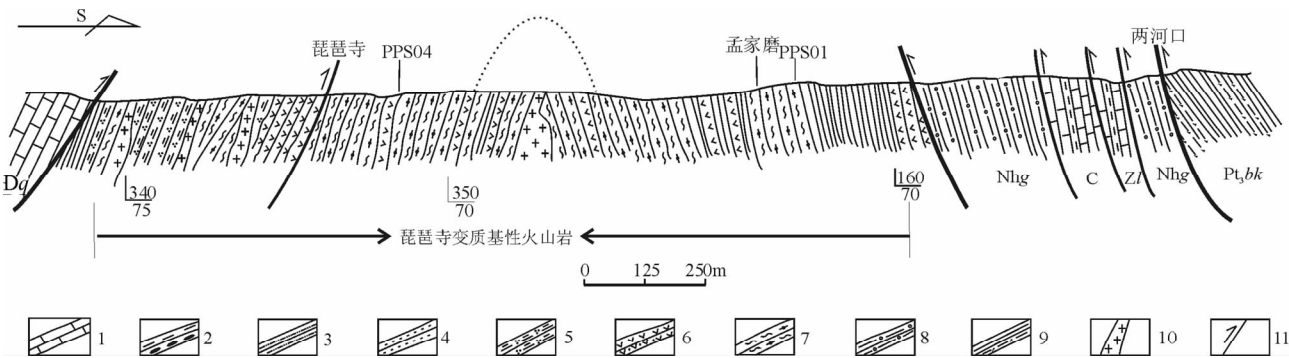


图 2 西秦岭南缘琵琶寺—两河口琵琶寺火山岩地质剖面图

Fig. 2 Geological section of Pipasi-Lianghekou basic volcanic rocks in the southern margin of Western Qinlin

1—灰岩、白云质灰岩;2—泥质板岩、炭质板岩;3—粉砂岩、粉砂质板岩;4—变质砂岩;5—绢云石英千枚岩;6—变质玄武岩;7—绿帘绿泥钠长片岩;8—变质砂砾岩、含砾砂岩、岩屑砂岩;9—变质杂砂岩;10—花岗岩脉;11—逆冲断层

1—Limestone;2—argillaceous slate, carbonaceous slate;3—siltstone, silt slate;4—metasandstone;5—sericite-quartz-phyllite;6—metabasalt;7—epidote-chlorite-albite schist;8—metagranulite, gravel-bearing sandstone, lithic sandstone;9—metagreywacke;10—granitic vein;11—thrust fault

要落入 N-MORB 和 WPT 区域(图略)。在 Th/Yb-Ta/Yb 图解中,部分样品处在 OIB 趋势线上(图略)。由此看来,琵琶寺玄武岩类主要分为洋脊型玄武岩和洋岛型玄武岩两类。

3 分析方法及测试结果

本次工作为了获取琵琶寺基性火山岩的形成时限,样品分别采自该火山岩剖面的北部和南部,样品 PPS01 位于剖面的南段,样品 PPS04 采自剖面的北段(图 2)。本文采用 LA-ICP-MS 法对琵琶寺基性火山岩中的岩浆锆石进行 U-Pb 同位素年龄测试。

3.1 分析方法

所采测年样品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。将锆石样品置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露。用于阴极发光(CL)研究和锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素组成分析。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,以获得较准确的年龄信息。锆石 U-Pb 同位素组成分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)仪上完成。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 193nm ArF 准分子 20~40μm。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,由于 SiO₂ 在锆石中的含量较稳定,所以选择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,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(袁洪林等,2003;Yuan H L 等,2003,2004)。

3.2 锆石特征

样品(PPS01 和 PPS04)中选取的测年锆石的

CL 图像(图 3,图 4)显示,锆石多为浅黄色—浅色,透明,晶形较好,边缘清晰,多呈半截柱状、半截锥状,粒度为 80~140μm。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,表明其为岩浆结晶产物(简平等,2001;吴元保等,2004)(图 3)。由图 3 可见,部分锆石具有残留的核部,为继承核或捕获核,为了避免继承锆石对测年的干扰,所选择的测点均位于明显的岩浆环带上,这就基本保证了定年研究的准确性。

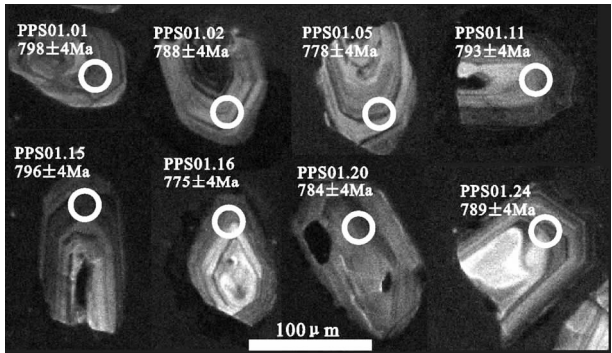


图 3 琵琶寺基性火山岩(PPS01)代表性锆石的
阴极发光(CL)图像和年龄
Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images of representative
analyzed zircons from the Pipasi volcanic rocks(PPS01)
圈和数字分别表示 U-Pb 年龄测定位置、测点编号
和²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄
The circle and number denote the analyzed location and sample
number respectively; other numbers are ²⁰⁶Pb/²³⁸U apparent ages

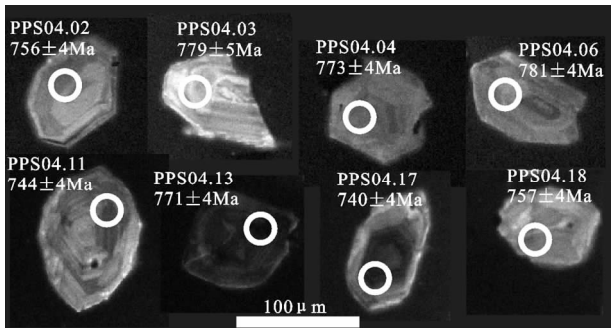


图 4 琵琶寺基性火山岩(PPS04)代表性锆石的
阴极发光(CL)图像和年龄
Fig. 4 Cathodoluminescence(CL) images of representative
analyzed zircons from the Pipasi volcanic rocks(PPS04)
圈和数字分别表示 U-Pb 年龄测定位置、测点编号
和²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄
The circle and number denote the analyzed location and sample
number respectively; other numbers are ²⁰⁶Pb/²³⁸U apparent ages

从样品(PPS01 和 PPS04)测试得到的同位素比值和年龄数据(表 1,表 2,图 5)可见,锆石具有较高

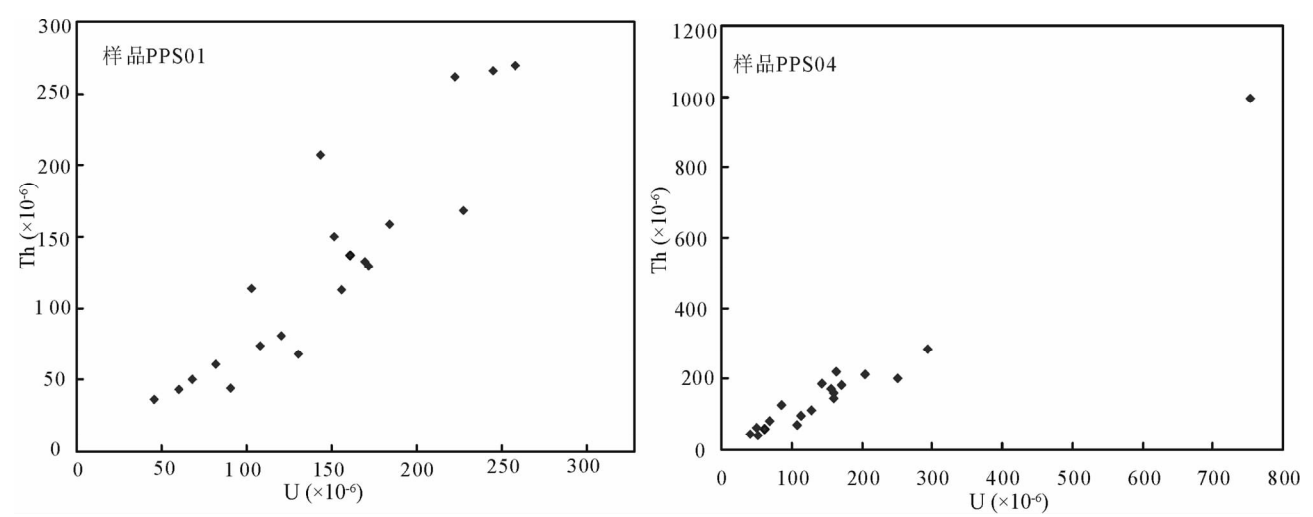


图 5 琵琶寺基性火山岩中锆石 Th-U 图解
Fig. 5 Zircon Th-U diagram of the Pipasi basic volcanic rocks

的 Th/U 比值(为 0.52~1.50,多数>0.70),表明了岩浆成因的锆石特征。样品 PPS01 的 20 个测点的 Th 含量变化为 $36.76 \times 10^{-6} \sim 269.59 \times 10^{-6}$, U 含量变化为 $45.95 \times 10^{-6} \sim 258.12 \times 10^{-6}$; 样品 PPS04 的 19 个测点的 Th 含量变化为 $40.27 \times 10^{-6} \sim 993.77 \times 10^{-6}$, U 含量变化为 $41.56 \times 10^{-6} \sim 753.58 \times 10^{-6}$, 且 Th、U 均呈较好的正相关关系(图 5), 与典型的岩浆锆石特征一致。再者, 所有测点的 Th/U 比值都>0.4, 又这些测点位于明显的岩浆环带上, 也显示了岩浆成因锆石特征(吴元保等, 2004)。

3.3 测试结果

对于样品 PPS01, 锆石 U-Pb 分析共测试了 25 个点, 其中有效点为 20 个(表 1)。这 20 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 775~804Ma(表 1)。从谐和图上可以看出, 20 个分析点都集中于一致线及其附近很小的区域内(图 6a, 6b), 表明锆石在形成后 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 的校正, 对于时代大于 1Ga 的用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比较适合, 对于时代小于 1Ga 的用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比较适合, 因此对琵琶寺基性火山岩 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄进行加权平均计算后, 获得其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $783 \pm 15\text{Ma}$ (MSWD=0.3)。在误差范围内该年龄与谐和年龄一致, 代表了琵琶寺基性火山岩的结晶年龄。

对于样品 PPS04, 锆石 U-Pb 分析共测试了 25 个点, 其中有效点为 19 个(表 2)。其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 725~785Ma(表 2), 在谐和图上, 这 19 个

测点都集中于一致线及其很小的区域内, 谐和性较好(图 6c, 6d), 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(754 \pm 14)\text{Ma}$ (MSWD=0.41), 代表了基性火山岩的结晶年龄。

由于这两组样品位于所测火山岩剖面的不同层位, 基本限制了该火山岩的形成时限为 $783 \pm 15 \sim 754 \pm 14\text{Ma}$, 形成时代为新元古代中晚期南华纪。

4 讨论

4.1 勉略带中镁铁质岩时代归属的复杂性

据以往研究资料显示, 勉略构造带所代表的洋盆于泥盆纪中期打开, 石炭—二叠纪为扩张峰期, 早中二叠世闭合(张国伟等, 1995a, 1995b, 1996, 2001, 2003; 李曙光等, 1996, 2003; 李亚林等, 2002; 赖绍聪等, 2003)。已有一系列研究成果支持晚古生代勉略洋的存在。在略阳三岔子火山岩硅质岩夹层中发现了大量早石炭世化石, 代表了三岔子蛇绿岩的形成时代(冯庆来等, 1996)。在略阳三岔子古岛弧岩浆岩中的斜长花岗岩有年龄为 $300 \pm 61\text{Ma}$ 的锆石 U-Pb 年龄(李曙光等, 2003), 在略阳黑沟峡岛弧火山岩中有 Sm-Nd 等时线年龄 $242 \pm 21\text{Ma}$ 和 Rb-Sr 等时线年龄 $221 \pm 13\text{Ma}$, 其均指示了火山岩的变质年龄(李曙光等, 1996), 表明勉略洋盆在三叠纪已闭合。但近年来也有一些学者的同位素年代学研究结果表明, 勉略构造带内代表性的变质镁铁质岩和超镁铁质岩块均形成于新元古代(张宗清等, 1996a, 1996b, 1997, 2002a, 2002b, 2005, 2006; 闫全人等, 2007)。张宗清等(2005)报道了略阳三岔子偏桥沟具有大陆边缘岛弧火山岩特征的变质安山质岩块,

表 1 琵琶寺基性火山岩(PPS01)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果
Table 1 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic analysis of the Pipasi basic volcanic rocks(PPS01)

测试点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值						表面年龄(Ma)					
	²⁰⁶ Pb	²³² Th	²³⁸ U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ
PPS01.01	90.90	136.81	160.79	0.85	0.0663	0.0009	1.2072	0.0131	0.1322	0.0007	815	13	804	6	800	4
PPS01.02	83.53	112.74	155.60	0.72	0.0646	0.0010	1.1161	0.0142	0.1255	0.0008	760	17	761	7	762	4
PPS01.04	140.15	265.92	244.71	1.09	0.0662	0.0009	1.2192	0.0129	0.1338	0.0007	811	13	809	6	809	4
PPS01.05	58.84	73.82	108.07	0.68	0.0670	0.0011	1.1743	0.0169	0.1271	0.0008	839	19	789	8	771	5
PPS01.06	93.14	129.17	171.39	0.75	0.0580	0.0008	1.0135	0.0122	0.1267	0.0007	531	17	711	6	769	4
PPS01.08	34.01	43.42	59.91	0.72	0.0712	0.0014	1.2977	0.0239	0.1323	0.0010	962	25	845	11	801	6
PPS01.09	79.72	207.13	143.62	1.44	0.0702	0.0011	1.2501	0.0166	0.1292	0.0008	935	17	823	7	783	5
PPS01.11	52.20	44.13	90.90	0.49	0.0664	0.0011	1.2220	0.0180	0.1335	0.0009	819	20	811	8	808	5
PPS01.14	66.04	80.34	120.65	0.67	0.0650	0.0010	1.1378	0.0151	0.1270	0.0008	774	18	771	7	771	4
PPS01.15	130.83	167.86	227.65	0.74	0.0661	0.0008	1.2147	0.0120	0.1333	0.0007	810	12	807	5	807	4
PPS01.16	55.62	113.94	102.91	1.11	0.0647	0.0012	1.1178	0.0177	0.1254	0.0008	764	22	762	8	762	5
PPS01.17	38.17	50.41	68.18	0.74	0.0653	0.0013	1.1677	0.0214	0.1298	0.0009	783	26	786	10	787	5
PPS01.18	45.26	60.41	82.18	0.74	0.0657	0.0012	1.1551	0.0183	0.1276	0.0008	796	22	780	9	774	5
PPS01.19	85.19	150.21	151.75	0.99	0.0631	0.0009	1.1293	0.0130	0.1299	0.0007	711	15	767	6	787	4
PPS01.20	118.14	261.69	222.42	1.18	0.0641	0.0010	1.0849	0.0140	0.1229	0.0007	744	17	746	7	747	4
PPS01.21	95.08	132.61	169.77	0.78	0.0631	0.0009	1.1267	0.0128	0.1295	0.0007	713	15	766	6	785	4
PPS01.22	74.93	67.34	130.16	0.52	0.0579	0.0010	1.0622	0.0157	0.1330	0.0008	527	22	735	8	805	4
PPS01.23	26.58	36.76	45.95	0.80	0.0661	0.0016	1.2175	0.0266	0.1336	0.0011	810	32	809	12	808	6
PPS01.24	102.25	158.59	183.83	0.86	0.0623	0.0009	1.1023	0.0132	0.1284	0.0007	685	16	754	6	779	4
PPS01.25	142.46	269.59	258.12	1.04	0.0633	0.0008	1.1101	0.0110	0.1273	0.0007	717	12	758	5	773	4

注:有效测点 20 个。

表 2 琵琶寺基性火山岩(PPS04)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果
Table 2 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic analysis of the Pipasi basic volcanic rocks(PPS04)

测试点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值						表面年龄(Ma)					
	1 σ	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
PPS04.02	32.32	58.59	61.77	0.95	0.06746	0.00142	1.15722	0.02340	0.12442	0.00075	852	45	781	11	756	4
PPS04.03	22.56	44.97	41.56	1.08	0.07010	0.00163	1.24235	0.02782	0.12853	0.00081	931	49	820	13	779	5
PPS04.04	87.86	221.33	163.45	1.35	0.07086	0.00138	1.24515	0.02327	0.12744	0.00072	954	41	821	11	773	4
PPS04.06	59.14	71.99	108.12	0.67	0.06531	0.00124	1.15925	0.02097	0.12873	0.00077	784	41	782	10	781	4
PPS04.07	71.83	111.54	127.55	0.87	0.06796	0.00134	1.21306	0.02293	0.12946	0.00073	867	42	807	11	785	4
PPS04.08	28.46	40.27	51.73	0.53	0.06961	0.00150	1.23164	0.02534	0.12832	0.00082	917	45	815	12	778	5
PPS04.10	84.87	144.77	159.08	0.91	0.06928	0.00079	1.19097	0.00949	0.12467	0.00063	907	9	796	4	757	4
PPS04.11	26.64	62.31	50.45	1.24	0.06416	0.00111	1.08233	0.01627	0.12234	0.00076	747	21	745	8	744	4
PPS04.12	63.87	98.13	114.36	0.86	0.07026	0.00085	1.25023	0.01117	0.12904	0.00067	936	10	824	5	782	4
PPS04.13	114.52	212.19	204.79	1.04	0.07113	0.00118	1.24645	0.01955	0.12709	0.00068	961	35	822	9	771	4
PPS04.14	83.88	169.79	157.16	1.08	0.06821	0.00076	1.15343	0.00881	0.12263	0.00061	875	8	779	4	746	4
PPS04.15	75.17	187.01	142.52	1.31	0.06669	0.00081	1.11122	0.01002	0.12083	0.00063	828	10	759	5	735	4
PPS04.16	36.56	82.55	68.03	1.21	0.07097	0.00117	1.19792	0.01698	0.12239	0.00077	957	19	800	8	744	4
PPS04.17	134.52	201.41	251.03	0.80	0.07410	0.00084	1.24383	0.01000	0.12172	0.00062	1044	8	821	5	740	4
PPS04.18	47.07	128.47	85.57	1.50	0.07210	0.00091	1.23881	0.01196	0.12460	0.00067	989	11	818	5	757	4
PPS04.19	397.01	993.77	753.58	1.32	0.06351	0.00059	1.04199	0.00521	0.11898	0.00055	725	5	725	3	725	3
PPS04.20	92.55	181.36	170.99	1.06	0.06602	0.00088	1.10970	0.01175	0.12189	0.00067	807	13	758	6	741	4
PPS04.22	87.12	161.34	159.09	1.01	0.06743	0.00078	1.13352	0.00944	0.12190	0.00062	851	9	769	4	741	4
PPS04.24	162.18	283.18	294.34	0.53	0.07338	0.00104	1.23025	0.01629	0.12160	0.00064	1024	29	814	7	740	4

注:有效测点 19 个。

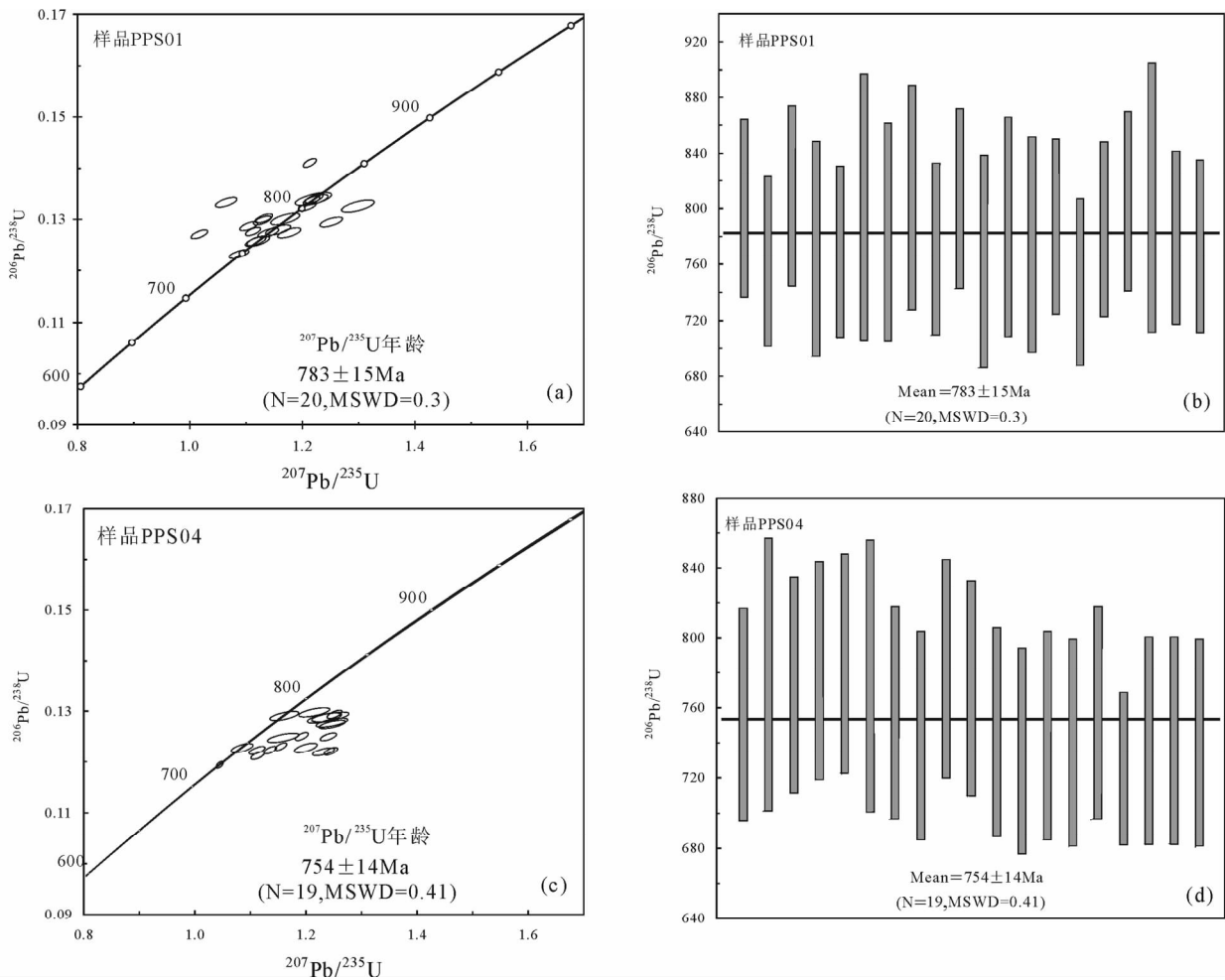


图 6 琵琶寺基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图和直方图

Fig. 6 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams and histograms of weighted average ages of Pipasi basic volcanic rocks

其 Sm-Nd 等时线年龄为 $873 \pm 71 \text{ Ma}$ ($I_{\text{Nd}} = 0.511796 \pm 67(2\sigma)$, $\text{MSWD} = 0.73$, 相应的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +5.6$), 其同源斜长花岗岩锆英石 U-Pb 年龄为 $913 \pm 20 \text{ Ma}$, 逐层蒸发法 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄 $926 \pm 10 \text{ Ma}$ 。在勉县安子山类似 N-MORB 洋壳碎片的变质镁铁质火山岩块中获得 Sm-Nd 等时线年龄 $877 \pm 78 \text{ Ma}$ (张宗清等, 2002a, 2002b)。近来, 闫全人等 (2007) 对勉略构造混杂带康县—勉县段的铁镁质岩块或蛇绿岩进行了系统的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究, 获得了 $841 \pm 16 \text{ Ma}$ 的年龄, 在蛇绿混杂岩中的辉长岩和辉绿岩块中获得了 $827 \pm 14 \sim 808 \pm 10 \text{ Ma}$ 的年龄, 并且指出沿南秦岭分布的新元古代弧—盆组合 (张宏飞等, 1997; 王宗起, 1998; 凌文黎等, 2001, 2006; Yan Q R, et al, 2003, 2004) 与勉略带康县—勉县段蛇绿岩残片所代表的新元古代洋盆在结构和时代上是相配置的。

所有这些信息表明, 现今勉略构造带存有两个

完全不同时代的铁镁质岩块或蛇绿岩带, 本文研究结果也突出该构造带新元古代年龄信息。陇南地区琵琶寺基性火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄 $783 \sim 754 \text{ Ma}$ 与前人报道的新元古代年龄大体一致, 同时结合琵琶寺基性火山岩的岩石地球化学特征 (赖绍聪等, 2003), 表明琵琶寺地区在 $783 \sim 754 \text{ Ma}$ 期间为一有限洋盆, 且该洋盆向东与闫全人等 (2007) 研究的康县—勉县段蛇绿岩残片所代表的新元古代洋盆应当是可以对比的。换言之, 该带不仅在晚古生代可能存在代表古特提斯分支的有限洋盆发育, 而且在新元古代时期勉略构造带就已有洋盆发育, 即在新元古代时期曾有更古老复杂的演化历史。这表明勉略构造带的发展演化不仅与古特提斯的扩张事件响应, 也与新元古代时期的 Rodinia 超大陆裂解事件响应, 是多期事件叠加的结果。而且, 本文琵琶寺基性火山岩的测年结果 $783 \pm 15 \sim 754 \pm 14 \text{ Ma}$ 也为探索 Rodinia 超大陆裂解在该地区

的响应提供了很好的年龄约束。

4.2 对扬子地块周缘 Rodinia 超大陆裂解的响应

Rodinia 超大陆形成于 Grenville 造山期(1.3~1.0Ga),存在于 1000~700 Ma 期间(Hoffman et al,1991,1999)。根据古地磁资料和年龄数据分析,Laurentia, Baltica, Congo, San Francisco 和 Kalahari 诸陆块可能于 1100~800Ma 期间拼合(vander V R et al,1997)。Rodinia 超大陆在全球的裂解时代也有不同认识。Torsvik et al(1996)认为 Baltica 地区的 Rodinia 裂解事件发生于 750~725Ma。David et al(2000)提出 Australia、Laurentia 和华南陆块在约 750Ma 时已发生明显分离;也有学者认为 Rodinia 超大陆裂解时间从 880 Ma 开始(Li Z X et al,2003a),至 700 Ma 结束(Zhou M F, et al,2002)。以上研究成果表明,由 Grenville 造山作用形成的 Rodinia 超大陆的增生与裂解可能是穿时的。一般认为,Rodinia 超大陆的裂解很可能与地幔柱活动有关(Park et al.,1995;Li Z X et al.,1999)。Li Z X et al(2003b)提出约 825Ma 前有一地幔柱位于华南陆块,该地幔柱引发了华南新元古代大陆裂谷和岩浆活动,并作为 Rodinia 超大陆裂解在华南的响应。近年来,华南陆块及周缘不断发现 Rodinia 超大陆裂解初始阶段的地质纪录。扬子地块西缘康定地区 803±12 Ma 苏雄碱性玄武岩、808±12 Ma 冷碛辉长岩和 Nd 同位素地球化学研究一致表明这些扬子地块西缘新元古代玄武质岩浆岩形成于陆内裂谷环境(Li X H et al,2001,2002;李献华等,2001;2002b);川西南盐边关刀山

岩体的地球化学特征显示该岩体为典型的 I 型花岗岩,是由前存年轻(中元古代末—新元古代初)岛弧低钾拉斑玄武质岩石部分熔融形成的板内非造山岩浆活动产物,其 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 857±13Ma(李献华等,2002a)。川西康滇裂谷中康定—泸定—石棉地区广泛分布的基性岩墙群形成于 780~760 Ma,这些基性岩墙的形成均与新元古代超级地幔柱活动有密切关系(林广春等,2006)。与扬子地块西缘新元古代岩浆事件群呼应的是,扬子地块北缘也同样有相似的构造岩浆事件发生。赵凤清等(2006)用单颗粒锆石 U-Pb 稀释法测定了扬子地块北缘汉南地区新元古代岩浆岩的年龄,获得孙家河组火山岩成岩年龄为 840~820 Ma,汉南侵入杂岩中五堵门复式岩体中英云闪长岩的结晶年龄为 764±2Ma,皇家营复式岩体中钾长花岗岩的结晶年龄为 778±5Ma,结合这些岩浆岩的地质和地球化学特点,认为其成因可能与新元古代裂解有关。扬子地块北缘黄陵侵入杂岩体的定年数据显示,三斗坪、大老岭岩套分别形成于 795±8Ma 和 794±7Ma(凌文黎等,2006)。扬子地块北缘汉南地区望江山基性岩体形成于约 785±88Ma,并具有陆内裂谷环境岩浆作用的地球化学属性,凌文黎等(2001)认为扬子地块北缘在新元古代期晚期存在较大规模的陆内裂谷岩浆活动。从已有研究结果来看(表 3),扬子地块周缘具有表征在陆壳伸展机制下产出的年龄大致相同的新元古代构造岩浆活动,这可能是 Rodinia 超大陆裂解在这一带的响应。

表 3 扬子地块周缘新元古代岩浆岩同位素年龄值
Table 3 Isotopic age values of the Neoproterozoic rocks for the Yangtze block and around area

地区	岩性	定年方法	年龄(Ma)	资料来源
勉略带琵琶寺	绿帘绿泥片岩	LA-ICP-MS	783~754	本文(2009)
勉略带康县香子坝	变铁镁质岩	SHRIMP	841±16	闫全人等(2007)
勉略带三岔便桥沟	辉长岩	SHRIMP	808±10	闫全人等(2007)
扬子西缘瓦斯沟	辉长岩	SHRIMP	779±6	林光春等(2006)
扬子西缘石棉沟	辉绿岩	SHRIMP	758±37	林光春等(2006)
扬子北缘黄陵三斗坪	英云闪长岩	LA-ICP-MS	795±8	凌文黎等(2006)
扬子北缘黄陵大老岭	二长花岗岩	LA-ICP-MS	794±7	凌文黎等(2006)
扬子北缘汉南孙家河	流纹岩	单颗粒锆石 U-Pb 稀释法	840~820	赵凤清等(2006)
扬子北缘汉南五堵门	英云闪长岩	单颗粒锆石 U-Pb 稀释法	764±2	赵凤清等(2006)
扬子北缘汉南黄家营	钾长花岗岩	单颗粒锆石 U-Pb 稀释法	778±5	赵凤清等(2006)
勉略带安子山	斜长角闪岩	Sm-Nd	877±78	张宗清等(2005)
勉略带三岔便桥沟	绿片岩	Sm-Nd	873±71	张宗清等(2005)
扬子西缘冷碛	辉长岩	SHRIMP	808±12	李献华等(2002)
扬子西缘关刀山	石英闪长岩	SHRIMP	857±13	李献华等(2002)
扬子西缘汉源东	流纹岩(苏雄组)	SHRIMP	803±12	李献华等(2001)

上述扬子地块西缘和北缘新元古代裂解事件群表明扬子地块在南华纪处于 Rodinia 超大陆裂解地壳减薄的伸展构造体制下。本文报道的陇南地区琵琶寺基性火山岩在形成时代上 783~754Ma 与上述学者提出的 Rodinia 超大陆裂解时代大致相同,加之琵琶寺基性火山岩地球化学特征显示其为洋脊型玄武岩和洋岛型玄武岩,可能暗示岩浆活动空间上在扬子西缘和北缘具延续性和时间上具一致性。换言之,琵琶寺基性火山岩所代表的有限小洋盆很可能是在大约 880~700 Ma 期间 Rodinia 超大陆裂解的伸展体制下形成的。因此,琵琶寺基性火山岩系与 Rodinia 超大陆裂解事件应当有成因联系,是扬子地块北缘或南秦岭构造带对 Rodinia 超大陆裂解事件的响应。

5 结论

(1)对琵琶寺基性火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明,琵琶寺基性火山岩形成时限为 $783 \pm 15 \sim 754 \pm 14$ Ma,显示其为新元古代中晚期岩浆活动产物。说明在西秦岭南缘勉略构造带已有洋脊和洋岛玄武岩岩浆活动。

(2)这一年龄信息与近年来勉略带内古老蛇绿岩(新元古代)的发现及研究相一致,又根据前人对勉略带在印支期的发展演化的研究,表明勉略构造带的形成演化不仅与印支期事件响应,且与晋宁期事件响应。该构造带很可能是一个复杂的,包含有不同时期、不同性质构造岩块的,具有复杂组成和演化历史的构造混杂岩带。

(3)Rodinia 超大陆在全球板块不同部位的裂解步伐并非严格同步,陇南地区琵琶寺基性火山岩在形成时代上 783~754Ma 与 Rodinia 超大陆裂解时代大致相同,可以说本文报道的新元古代琵琶寺基性火山岩应当是 Rodinia 超大陆裂解事件在西秦岭南缘或扬子地块北缘地区的响应。

参 考 文 献

冯庆来,杜远生,殷鸿福,盛吉虎,许继锋. 1996. 南秦岭勉略蛇绿岩混杂岩带中放射虫的发现及其意义. 中国科学,26(增刊):78~82.

简平,程裕祺,刘敦一. 2001. 变质锆石成因的岩相学研究—高级变质岩 U-Pb 年龄解释的依据. 地学前缘,8(3):183~191.

赖绍聪,张国伟,裴先治. 2002. 南秦岭勉略结合带琵琶寺洋壳蛇绿岩的厘定及其大地构造意义. 地质通报,21(8~9):465~470.

赖绍聪,张国伟,裴先治,杨海峰. 2003. 南秦岭康县-琵琶寺-南坪构造混杂带蛇绿岩与洋岛火山岩地球化学及其大地构造意义. 中

国科学(D辑),33(1):10~19.

林广春,李献华,李武显. 2006. 川西新元古代基性岩墙群的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd-Hf 同位素地球化学:岩石成因与构造意义. 中国科学(D辑),36(7):630~643.

李曙光,孙卫东,张国伟,陈家义,杨永成. 1996. 南秦岭勉略构造带黑沟峡变质火山岩的年代学和地球化学—古生代洋盆及其闭合时代的证据. 中国科学(D辑),26(3):223~230.

李曙光,侯振辉,杨永成,孙卫东,张国伟,李秋立. 2003. 南秦岭勉略构造带三岔子古岩浆弧的地球化学特征及形成时代. 中国科学(D辑),33(12):1065~1073.

凌文黎,王歆华,程建萍. 2001. 扬子北缘晋宁期望江山基性岩体的地球化学特征及其构造背景. 矿物岩石地球化学通报,20(4):218~221.

凌文黎,高山,陈建萍,江麟生,袁洪林,胡兆初. 2006. 扬子陆核与陆缘新元古代岩浆事件对比及其构造意义—来自黄陵和汉南侵入杂岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学的约束. 岩石学报,22(2):387~396.

李献华,周汉文,李正祥,刘颖,P Kinny. 2001. 扬子块体西缘新元古代双峰式火山岩的锆石 U-Pb 年龄和岩石化学特征. 地球化学,30(4):31~322.

李献华,李正祥,周汉文,刘颖,梁细荣,李武显. 2002a. 川西南关刀山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd 同位素地球化学—岩石成因与构造意义. 中国科学(D辑),32(增刊):60~68.

李献华,李正祥,周汉文,刘颖,梁细荣. 2002b. 川西新元古代玄武质岩浆岩的锆石 U-Pb 年代学、元素和 Nd 同位素研究—岩石成因与地球动力学意义. 地学前缘,9(4):229~336.

李亚林,李三忠,张国伟. 2002. 秦岭勉略缝合带组成与古洋盆演化. 中国地质,29(2):129~134.

孟庆任,张国伟,于在平,梅志超. 1996. 秦岭南缘晚古生代裂谷——有限洋盆沉积作用及构造演化. 中国科学(D辑),26(增刊):28~33.

裴先治. 2001. 勉略-阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征. 西北大学博士学位论文,1~154.

裴先治,张国伟,赖绍聪,李勇,陈亮,高明. 2002. 西秦岭南缘勉略构造带主要地质特征. 地质通报,21(8~9):486~493.

吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对年龄解释的制约. 科学通报,49(16):1589~1604.

王宗起. 1998. 南秦岭中段碰撞造山带及其与陆缘盆地演化的耦合关系. 中国科学院地质研究所博士学位论文,1~103.

袁洪林,吴福元,高山,柳小明,徐平,孙德有. 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.

闫全人,王宗起,闫臻,向忠金,陈隽璐,王涛. 2007. 秦岭勉略构造混杂带康县—勉县段蛇绿岩块—铁镁质岩块的 SHRIMP 年代及其意义. 地质评论,53(6):755~763.

张国伟,孟庆任,赖绍聪. 1995a. 秦岭造山带的结构与构造. 中国科学(D辑),25(9):994~1003.

张国伟,张宗清,董云鹏. 1995b. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义. 岩石学报,11(2):101~114.

张国伟,孟庆任,于在平,孙勇,周鼎武,郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D辑),26(3):193~

- 200.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京:科学出版社,1~855.
- 张国伟,董石鹏,赖绍聪,郭安林,刘少峰,孟庆任,程有顺,姚安平,张宗清,裴先治,李三忠. 2003. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带. 中国科学[D辑],33(12):1121~1135.
- 张宏飞,张本仁,凌文黎,高山,欧阳建平. 1997. 南秦岭新元古代地壳增生事件:花岗岩岩石钐同位素示踪. 地球化学,26(5):16~24.
- 张宗清,张国伟,付国民,唐索寒,宋彪. 1996a. 秦岭变质地层年龄及其构造意义. 中国科学(D辑),26(3):216~222.
- 张宗清,唐索寒,王进辉,张国伟,陈家义,杨永成. 1996b. 秦岭蛇绿岩的年龄:同位素年代学和古生物证据,矛盾及其理解. 见:张旗,主编. 蛇绿岩与地球动力学. 北京:地质出版社,146~149.
- 张宗清,唐索寒,宋彪,张国伟. 1997. 秦岭造山带晋宁期强烈地质事件构造背景. 地球学报,18(增刊):43~45.
- 张宗清,张国伟,唐索寒,许继峰,杨永成,王进辉. 2002a. 秦岭勉略带中安子山麻粒岩的年龄. 科学通报,47(22):1751~1755.
- 张宗清,张国伟,唐索寒. 2002b. 南秦岭变质地层同位素年代学. 北京:地质出版社,1~256.
- 张宗清,唐索寒,张国伟,杨永成,王进辉. 2005. 勉县-略阳蛇绿混杂岩带镁铁质-安山质火山岩块年龄和该带构造演化的复杂性. 地质学报,79(4):531~539.
- 张宗清,张国伟,刘敦一,王宗起,唐索寒,王进辉. 2006. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学. 北京:地质出版社,1~348.
- 赵凤清,赵文平,左义成,李宗会,薛克勤. 2006. 陕南汉中地区新元古代岩浆岩 U-Pb 年代学. 地质通报,25(3):382~388.
- Anderson T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analysis that do not report ²⁰⁴Pb. Chemical Geology,192:59~79.
- David A D, Evans, Li Z X, Joseph L Kirschvink. 2000. A high-quality Mid-Neoproterozoic paleomagnetic pole from South China, with implications for ice age and the breakup configuration of Rodinia. Precambrian Research,100:313~334.
- Hoffman P F. 1991. Did the breakup of Laurentia trun Gondwana inside out? Science,252:1409~1412.
- Hoffman P F. 1999. The break-up of Rodinia, birth of Gondwana, true polar wander and the snowball Earth. African Earth Sci,28:17~33.
- Li X H, Zhou H, Li Z X. 2001. Zircon U-Pb age and petro-chemical characteristics of the Neoproterozoic bimodal volcanics from western Yangtze block. Geochimica,30:3152~322.
- Li X H, Li Z X, Zhou H. 2002. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China; implications for the initial rifting of Rodinia. Precamb Res,113:135~155.
- Li Z X, Li X H, Kinny P D, Wang J, Zhang S. 1999. The breakup of Rodinia; Did it start with a mantle plume beneath South China?. Earth Planet Sci Lett,173:171~181.
- Li Z X, Li X H, Kinny P D. 2003a. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents; evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precambrian Research,122(1):85~09.
- Li Z X, Li X H, Kinny P D, Wang J, Zhang S, Zhou H. 2003b. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents; evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precam Res,122(1—4):85~109.
- Ludwig K R. 2003. Isoplot/Ex version 2. 49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 1a,1~56.
- Park J K, Buchan K L, Harlan S S. 1995. A proposed giant radiating dpke swarm fragmented by the separation of Laurentia and Australia based on paleomagnetism of ca. 780Ma mafic intrusions in Western North America. Earth Planet Sci Lett,132:129~139.
- Torsvik T H, Smethurst M A. 1996. Continental breakup and collision in the Neoproterozoic and Paleozoic: A tale of Baltica and Lanrentia. Eart-Sci. Rew,40:229~258.
- vander V R, van der P B A. 1997. The evolution of the Iapetus ocean as deduced from paleomagnetism. Abstracts with Programs-Geological Society of America,29:280.
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Hanson A D, Yan Zhen, Drnschke P A, Wang Tao, Liu Dunyi, Song Biao, Jiang Chunfa. 2003. SHRIMP age and geochemistry of the Bikou volcanic terrene—Implications for Neoproterozoic: tectonics on the northern margin of the Yangtze Craton. Acta Geologica Sinica,77(4):479~490.
- Yan Quanren, Hanson A D, Wang Zongqi, Drnschke P A, Yan Zhen, Wang Tao, Liu Dunyi, Song Biao, Jian Ping, Zhon Hui, Jiang Chunfa. 2004. Neoproterozoic subduction and rifting on the northern margin of the Yangtze plate: Implications for Rodinia reconstruction. International Geology Review,46(9):817~832.
- Yuan H L, Wu F Y, Gao S, Liu X M, Xu P and Sun D Y. 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentration of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. Chinese Science Bulletin,48(32):2411~2421.
- Yuan H L, Gao S, Liu X M, Gunther D and Wu F Y. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. Geostandards and Geoanalytical Research,28(3):353~370.
- Zhou M F, Kennedy A K, Sun M. 2002. Neo-proterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of South China: Implication for the accretion of Rodina. Journal of Geology,110:611~618.

**LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Pipasi Basic Volcanic Rocks
Within the Mian-Lue Tectonic Zone in the Southern Margin of West
Qinlin and its Geological Implication**

LI Ruibao, PEI Xianzhi, DING Saping, LI Zuochen, FENG Jianyun,
SUN Yu, ZHANG Yafeng, LIU Zhanqing

*Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education,
Faculty of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, 710054*

Abstract

The LA-ICP-MS dating technique was applied to analyze the single grain zircon of basic volcanic rocks which is from the Pipasi area of the southern margin of Western Qinlin. This research indicates that the zircons measured are magmatic ones. The LA-ICP-MS zircon dating result of the rocks show an isotopic age of 783~754Ma, which represents the Neoproterozoic. Combining previous research, we believe that not only a limited ocean basin developed in late Paleozoic, but also a more ancient ocean basin existed in Neoproterozoic. Therefore, this study has great significance both in further studying the Mian-Lue tectonic zone structure and tectonic evolution as well as addressing continental dynamic issues such as the breakup of Rodinia supercontinent and other continents in the Yangtze block north margin.

Key words: basic volcanic rocks; LA-ICP-MS; zircon U-Pb dating; Pipasi; Mian-Lue Tectonic zone