

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.02.005

南秦岭勉略构造带横现河地区变质沉积岩 形成时代及物源

——来自 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄的证据

刘宝星¹, 裴先治^{1,2}, 李瑞保^{1,2}, 陈有炘^{1,2}, 王盟^{1,2}, 赵少伟^{1,2}

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘 要: 朱家山岩组、乔子沟岩片位于南秦岭勉略构造带横现河以北, 是勉略构造带中强烈韧性变形的沉积岩系, 是勉略构造混杂岩带的基质岩系, 研究其形成时代、沉积物源, 对于深入了解勉略构造带的形成时代与构造演化具有重要意义。笔者以横现河以北地区朱家山岩组、乔子沟岩片中的变质沉积岩(绢英千枚岩)为研究对象, 进行碎屑锆石 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究, 探讨其形成时代及沉积物源。所获得的碎屑锆石年龄可以分为 3 组: 古生代年龄组(375~542 Ma), 可以划分为晚古生代早期—早古生代晚期年龄组(375~424 Ma), 主要峰值为 390 Ma、394 Ma, 早古生代早期年龄组(530~542 Ma); 新元古代年龄组(552~977 Ma), 可以划分为新元古代晚期年龄组(552~797 Ma), 主要峰值为 758 Ma、787 Ma, 新元古代早中期年龄组(800~977 Ma), 主要峰值为 855 Ma、951 Ma; 中元古代晚期年龄组(1 008~1 124 Ma)。朱家山岩组、乔子沟岩片碎屑锆石最小年龄组分别为 375~385 Ma(平均年龄为 380.3 Ma)、377~389 Ma(平均年龄为 383 Ma), 说明朱家山岩组、乔子沟岩片浅变质沉积岩系的沉积时代不早于中—晚泥盆世。综合研究认为 2 件样品物源主要都来自勉略构造带、碧口微地块和扬子板块北缘地区的岩浆岩, 沉积环境为裂陷盆地且由伸展裂陷过渡为稳定的台盆-台地沉积。

关键词: 南秦岭; 勉略构造带; 朱家山岩组; 乔子沟岩片; 碎屑锆石 U-Pb 定年

中图分类号: P588.21

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)02-0077-25

Age and Provenance of the Metasedimentary Rocks of Hengxianhe Area in Mianlue Tectonic Belt of Southern Qinling: Evidence from Detrital Zircons LA-ICP-MS U-Pb Dating

LIU Baoxing¹, PEI Xianzhi^{1,2}, LI Ruibao^{1,2}, CHEN Youxin^{1,2}, WANG Meng^{1,2}, ZHAO Shaowei^{1,2}

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Zhujiashan Formation and Qiaozigou Slice are located in the north of Hengxianhe

收稿日期: 2019-10-12; 修回日期: 2019-12-2

基金项目: 国家自然科学基金项目“扬子地块西北缘碧口群构造属性及与 Rodinia 超大陆聚合-裂解关系”(41872233)和“秦岭-祁连结合部位早古生代晚期岩浆事件及其对构造演化的启示”(41872235), 陕西省基金项目“勉略宁地区中新元古代中酸性侵入岩构造属性研究”(2019JM-312), 中央高校基本科研业务费资助项目(300102279108)

作者简介: 刘宝星(1992-), 男, 长安大学地质专业硕士研究生。E-mail: 1316186335@qq.com

of Mianxian-Lueyang Tectonic Belt in the south of Qinling, which are the sedimentary rocks with intense ductile deformation in the Mianlue Tectonic belt. As the basement rock series of the Mianlue Tectonic belt, it is of great significance to research the yielded ages and sediment provenances for understanding the yielded ages and tectonic evolution of the Mianlue Tectonic belt. In this paper, the metamorphic sedimentary rocks (sericite phyllite) are studied by LA-ICP-MS detrital zircon U-Pb chronology in Zhujiashan Formation and Qiaozigou Slice in the north of Hengxianhe area to explore their yielded ages and sediment provenances. The obtained detrital zircon age can be divided into three groups: the Paleozoic age group, the Neoproterozoic age group and the Late Mesoproterozoic age group. the Paleozoic age group (375 to 542 Ma) can be divided into the early Late Paleozoic-late Early Paleozoic age group (from 375 to 424 Ma) and the Early Paleozoic Age group (from 530 to 542 Ma), with the prominent peaks age being 390 Ma and 394 Ma. the Neoproterozoic age group (from 552 to 977 Ma), with the prominent peaks age being 758 Ma and 787 Ma, can be divided into late Neoproterozoic age groups (from 552 to 797 Ma) and the Early-Middle Neoproterozoic age group (from 800 to 977 Ma) with the prominent peaks age being 855 Ma and 951 Ma. The Late Mesoproterozoic age is from 1008 to 1124 Ma. the minimum age group of detrital zircons of Zhujiashan Formation and Qiaozigou Slice is from 375 to 385 Ma (average age 380.3 Ma) and from 377 to 389 Ma (average age 383 Ma), indicating that the sedimentary age is not earlier than the Middle-Late Devonian. Comprehensive study shows that the provenances of the two samples are mainly derived from magmatic rock in Bikou block of Mianlue Tectonic Zone and the northern margin of Yangtze plate. The sedimentary environment is rift basin, and from extensional rifting to stable platform-platform deposition.

Keywords: South of Qinling; Mianlue Tectonic Zone; Zhujiashan Formation; Qiaozigou Slice; detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb dating

南秦岭勉略构造带是由洋盆形成演化不同阶段、不同性质的陆缘沉积岩系、不同类型蛇绿岩以及洋盆俯冲-碰撞造山过程中以不同方式出露的构造岩块组成的非史密斯地层区。横现河以北的朱家山岩组、郭镇岩组、乔子沟岩片、金家河岩片属勉略构造带中强烈韧性剪切变形的基质岩系,厘定这些岩片的性质、形成时代、构造环境、沉积物源对于探讨勉略构造带的形成演化具有重要意义。前人对横现河地区朱家山岩组、乔子沟岩片的形成时代、沉积物源、构造背景研究较为薄弱,尤其缺乏年代学证据,并且以往的研究尚存在很多问题:①以往的研究工作主要集中在火山岩、硅质岩的类型及其形成构造环境上,而对其内广泛发育的变质沉积岩(绢英千枚岩)缺少研究。如杜远生等认为乔子沟碱性火山岩代表了泥盆纪南秦岭大陆边缘裂谷盆地的存在,而朱家山岩组、乔子沟岩片泥盆纪早中期的硅质岩代表裂陷早期的产物。②前人通过对区域古生物化石资料研究确定朱家山岩组、乔子沟岩片的形成时代,

而没有从沉积地层的角度研究过,缺乏年代学证据。如在朱家山岩组中发现中泥盆世艾菲尔期生物化石,根据上下层位关系将其时代厘定为早泥盆世、中一晚泥盆世(李亚林等,2000,2002)、早石炭世(盛吉虎等,1997)。在乔子沟火山岩的硅质岩夹层中发现晚古生代放射虫化石,时代厘定为早一中泥盆世(盛吉虎等,1997;杜远生等,1998)。③形成环境也存在分歧。朱家山岩组形成环境主要有:裂陷盆地(杜远生等,1995,1998)、浅海陆棚相碎屑岩-碳酸盐岩沉积(李亚林等,2000,2002)。乔子沟岩片形成环境主要为:岛弧环境(李亚林等,2000)、裂陷盆地(杜远生等,1995,1998)。

因此,针对上述问题,笔者选择勉略构造带北部朱家山岩组、乔子沟火山岩岩片中出露的变质沉积岩(绢英千枚岩)为研究对象,对其进行系统的岩石学及碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究,以期限定其沉积时代下限及沉积物源,为进一步探讨勉略构造带的形成与演化过程提供约束,也为秦

岭造山带早古生代以来的构造演化过程提供有价值的信息。

1 区域地质概况

秦岭造山带是华北板块与扬子板块间一个典型的复合型大陆造山带,位于原古特提斯构造域的最北部,是认识中国陆区构造和古特提斯洋演化的关键地区(张国伟等,2001),其自身复杂的物质组成和造山记录对理解大陆的增生、消减具有重要的指示意义(张国伟等,2001,2003,2015;DONG et al.,2011,2016)。秦岭造山带被商丹构造带和勉略构造带分割为华北板块、秦岭微板块和扬子板块(张国伟等,2001,2004;裴先治,2001)。目前,大量资料揭示出秦岭造山带并不是简单的印支碰撞造山带,而是一条至少经历了新元古代—古生代—中生代多次构造—岩浆热事件的复合型大陆造山带(MENG et al.,1999)。

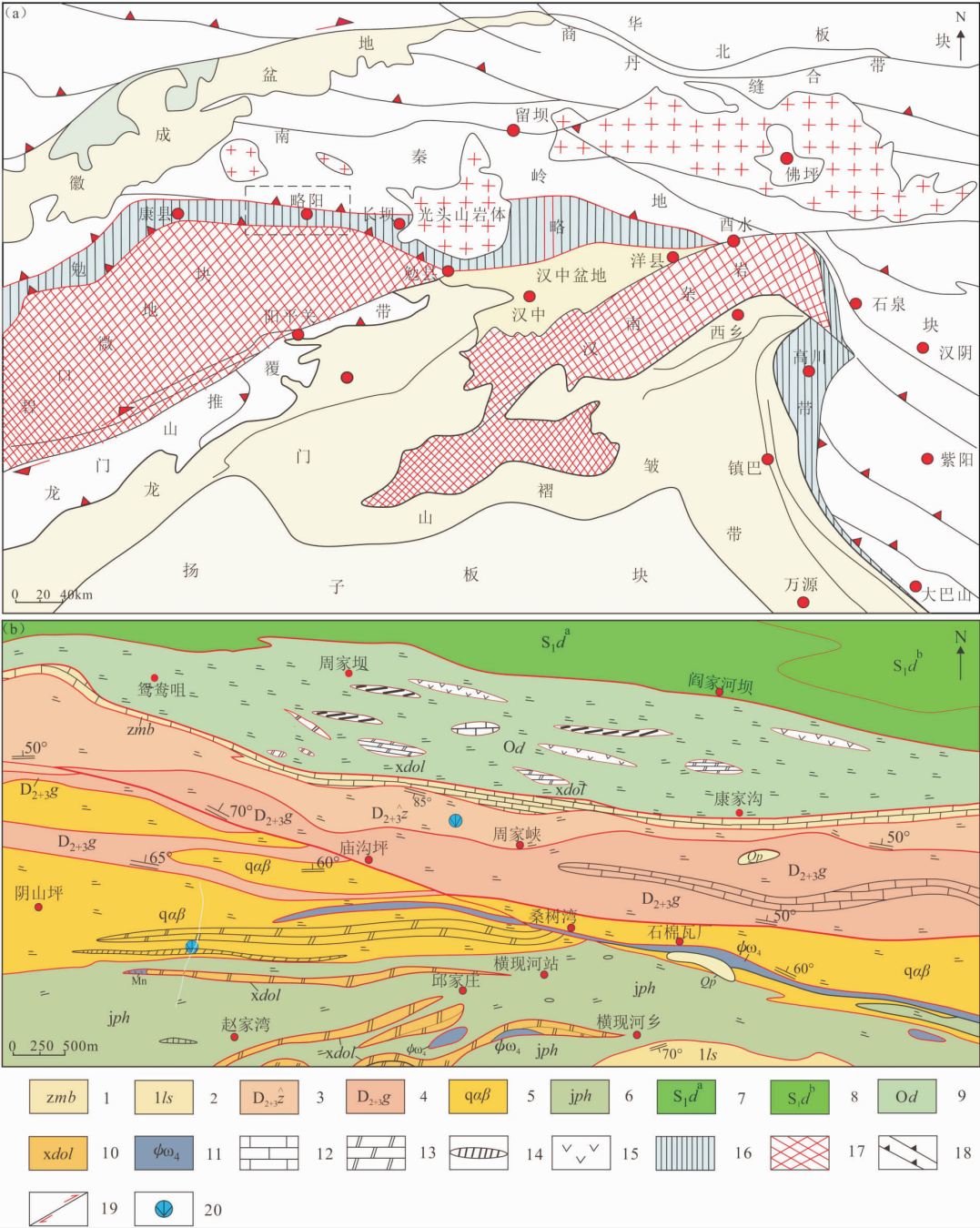
勉略构造带是中国大陆主体拼合的主要结合带和秦岭造山带的基本组成部分,康县—高川段为其重要地段,以勉县—略阳蛇绿构造混杂岩带为代表。北以武都—状元碑断裂为界,为软基底秦岭微板块(南秦岭构造带),再北为华北板块,南以康县—略阳—勉县断裂为界,为硬基底扬子板块,自西而东包括碧口微地块、龙门山推覆带、龙门山前陆褶皱冲断带、汉南地块(图1a)。

研究区位于略阳—康县一带(图1b),是勉略构造带变形最为强烈复杂的地区,大地构造位置上处于西秦岭与扬子板块北缘构造交接部位,显生宙以来处于古亚洲构造域、特提斯构造域和滨太平洋构造域交汇地段(徐通等,2016)。带内组成的复杂性不仅表现在蛇绿岩类型的复杂性,而且还包含了大量不同性质的沉积岩系和与造山作用相关的岩浆侵入体(李亚林等,2000)。前人多认为勉略构造带火山岩块形成于晚古生代,但近年来获得的同位素年龄集中于667~873 Ma,表明形成于新元古代,暗示着勉略洋盆的存在时限可能为新元古代早中期,且很可能与Rodinia超大陆的汇聚、裂解过程存在密切联系(闫全人等,2007;李瑞保等,2009;林振文等,2013;徐通等,2016,2017)。与此同时勉略构造带南侧的碧口微地块和汉南地块的岩浆岩年龄也主要集中在新元古代,可能与扬子板块西北缘新元古代时

期发育弧沟盆系活动大陆边缘与俯冲碰撞造山作用有关(裴先治等,2009)。

相比于勉略构造带内的火山岩,呈构造岩块出露的变沉积岩系的研究程度较低,主要是因为勉略构造带经历了俯冲、碰撞和陆内造山阶段不同层次、不同性质的多期构造变形,现今其内部地层组成发生了强烈的非史密斯化,就中等尺度而言,包括不同层次、不同产状、不同性质、成生于不同时期的断裂所分割的多级次构造岩块组合,不同构造岩块自北而南高角度逆冲推覆叠置(李三忠等,2001)。本次研究区涉及到的岩块主要分布在状元碑断裂南侧—横现河一带,由北到南为“大堡岩组(*Od*)”、状元碑大理岩(*zmb*)、朱家山岩组($D_{2+3}z$)、郭镇岩组($D_{2+3}g$)、乔子沟火山岩岩片($qa\beta$)、金家河岩千枚岩岩片(*jph*)、相公山白云岩(*xdol*)等,各岩片之间主要为断层接触。

“大堡岩组”位于勉略构造带北侧,南北分别与状元碑大理岩、迭部岩组a岩段断层接触,主体为一套低级变质的细碎屑岩夹少量火山岩组合,构造位置上处于扬子板块北缘南秦岭陆块边缘地带,呈东西向带状延伸。朱家山岩组、郭镇岩组、乔子沟岩片、金家河岩片属勉略构造带中强烈韧性剪切变形的基质岩系,强烈的剪切置换作用使得岩石组合在纵、横向上变化较大,原始沉积层序无法恢复。朱家山岩组位于勉略构造带北部朱家山、高家峡一线,南北分别与郭镇岩组、状元碑大理岩岩片呈断层接触,宽1.5~4 km,东西向带状展布,向东逐渐变窄,主体为低级变质细碎屑岩沉积,由绢云石英千枚岩夹少量中—薄层灰岩组成,由南到北碳酸盐岩夹层逐渐增多,说明沉积环境和沉积相在发生变化,可能由最初的深海相细碎屑岩沉积逐渐过渡到浅海相碳酸盐岩沉积。李亚林(2002)认为其代表了勉略洋盆北部的大陆边缘沉积,杜远生等(1998)认为该组内发育的硅质岩形成于泥盆纪早中期,为裂陷早期的产物,暗示着这套浅变质岩系形成于裂陷环境下,时代厘定为早泥盆世(杜远生等,1998)、中—晚泥盆世(李亚林等,2000,2002)。郭镇岩组两侧分别以高角度韧性逆冲断层与朱家山岩组和乔子沟岩片呈叠瓦状构造接触,由绢云石英千枚岩夹少量细晶灰岩组成。李亚林(2002)认为其代表原南部浅海陆棚沉积,对应于北部朱家山岩组,时代厘定为早泥盆世(杜远生等,1998),为浅海相碎屑岩—碳酸盐岩沉积。乔子沟



1. 状元碑大理岩;2. 略阳灰岩;3. 朱家山岩组:绢云石英千枚岩、灰岩;4. 郭镇岩组:绢云石英千枚岩、灰岩;5. 乔子沟岩片:绢云石英千枚岩、硅质岩、火山岩;6. 金家河岩片:绢云千枚岩、含砾绢云千枚岩、硅质岩;7. 迭部岩组 a 岩段;8. 迭部岩组 b 岩段;9. 大堡岩组:绢云千枚岩、硅质岩、灰岩、火山岩;10. 相公山白云岩;11. 蛇纹岩;12. 灰岩;13. 白云岩;14. 硅质岩;15. 火山岩;16. 勉略混杂带;17. 碧口微地块和汉南地块古老基底;18. 逆冲断裂带;19. 走滑断层;20. 同位素年龄样采样点

图 1 (a)勉略构造带构造略图(据李三忠等,2002 修编)、(b)略阳横现河地区地质简图及同位素年龄样采样点图(据陕西省区域地质调查队 1:50000 徐家坪幅修编)

Fig. 1 (a)Simplified structural map of Mianlue structural belt (b)Simplified geological map and location of the studied sample in Hengxianhe area, Lueyang

岩片主体由原乔子沟组构成,呈一系列不连续的岩片分布于乔子沟、横现河地区,南北分别与金家河岩片、郭镇岩组呈断层接触。由绢云石英千枚岩、火山岩、硅质岩等组成,绢云石英千枚岩为主体,火山岩在该岩片内以“夹层”形式出现,且发生了低级变质。一些研究者认为乔子沟岩片中的火山岩代表了泥盆纪南秦岭大陆边缘裂谷盆地的存在,而泥盆纪早中期的硅质岩代表裂陷早期的产物,且形成于水深相对较大的大陆边缘环境,时代厘定为早一中泥盆世(杜远生等,1998)。金家河岩片为一套碎屑岩夹少量火山岩组合,岩石组合为绢云千枚岩、含砾绢云千枚岩(与南华纪冰碛岩有关),夹少量细晶灰岩和硅质岩,沉积环境为大陆边缘盆地沉积(杜远生等,1998),时代为寒武纪—志留纪(李亚林等,2002)、晚泥盆世(杜远生等,1998)。可以看出金家河岩片、乔子沟岩片、郭镇岩组、朱家山岩组由南到北一直延伸到状元碑断裂以南,碳酸盐岩成分逐渐增多,说明沉积环境可能从早期的深水盆地相逐渐过渡到晚期的浅水碳酸盐岩台地相,即在原深水盆地沉积体系之上叠覆了浅水台地相碳酸盐岩沉积体系。变质矿物组合以绢云母、石英和长石为主,表现出泥质岩石低绿片岩相变质矿物组合的特点,原岩可能为泥岩、粉砂质泥岩。相公山岩块又称相公山白云岩(主体为 Z_2),呈一系列不连续的构造岩块“夹持”于勉略构造带南部金家河岩片及蛇绿岩岩片之中,岩性为深灰—灰白色厚层块状白云岩夹硅质岩。一些学者认为其岩石特征(白云岩为主)与南部碧口微地块震旦系灯影组、陡山沱组极为相似,应属震旦系(徐通等,2013;李亚林等,2000;李三忠等,2002),具碳酸盐岩台地沉积特点。

2 样品位置及分析方法

2.1 采样位置

本次研究样品 M330-1 采自略阳县横现河镇北嘉陵江边状元碑断裂南侧的朱家山岩组中,采样点地理坐标为: $E106^{\circ}04'04''$, $N33^{\circ}21'55''$ 。M1255-2 采自略阳县横现河镇西侧白家坝村乔子沟的乔子沟岩片中,采样点地理坐标为 $E=106^{\circ}01'44''$, $N=33^{\circ}20'55''$ 。采样对象 M330-1 为灰黑色绢云石英千枚岩, M1255-2 为灰色绢云石英千枚岩。样品 M330-1 发育有千枚状构造,在千枚理面上常见丝

绢光泽和微细的小皱纹,镜下表现为细粒鳞片变晶结构,野外发现含有少量碳质,主要由绢云母、绿泥石、石英、长石组成。石英为他形粒状结构,粒度小于 1 mm,含量约 45%;绢云母为细小鳞片状,片径约小于 0.5 mm,含量约 35%;长石约占 10%;其他矿物占 5%(图 2c)。样品 M1255-2 具有千枚状构造、细粒鳞片变晶结构,主要矿物成分由石英、长石、绢云母等组成,石英含量为 55%;绢云母为鳞片状,片径小于 0.5 mm,含量为 30%左右;长石为粒状,粒径为 1 mm 左右,含量约 10%;其他矿物占 5%(图 2d)。

2.2 分析方法

采用常规方法将样品粉碎至 0.180 ~ 0.154 mm,并用浮选和电磁选方法进行分选,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,再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,然后进行锆石显微反射光和投射光照相、阴极发光(CL)显微图象研究及 LA-ICP-MS 分析。阴极发光照相(CL)在北京锆年领航科技有限公司的扫描电镜加载阴极发光仪上完成,用于锆石形态和内部结构研究,锆石 U-Pb 测年在天津地质矿产研究所通过 Neptune 质谱仪利用 LA-ICP-MS 方法完成测定,测点的选取力求避开内部裂隙、包裹体以及不同成因的区域,以获得较准确的年龄信息。分析仪器为 Geo-las200M 型激光剥蚀系统,激光器为 193 nMaRF 准分子激光器,激光剥蚀斑束直径为 30 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 NISTSRM610 作为外标, ^{29}Si 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 软件,锆石年龄计算和 U-Pb 协和图绘制采用 ISOPLOT(3.0)软件完成。

3 分析结果

对采自横现河北的朱家山岩组(样品 M330-1)和乔子沟岩片(样品 M1255-2)中的绢云石英千枚岩进行了碎屑锆石 U-Pb 定年和锆石内部结构阴极发光(CL)观察,阴极发光图像照片见图 3a、图 3b。双目镜下显示所测锆石均无色透明,自形程度



Pl. 长石;Qz. 石英;Ser. 绢云母

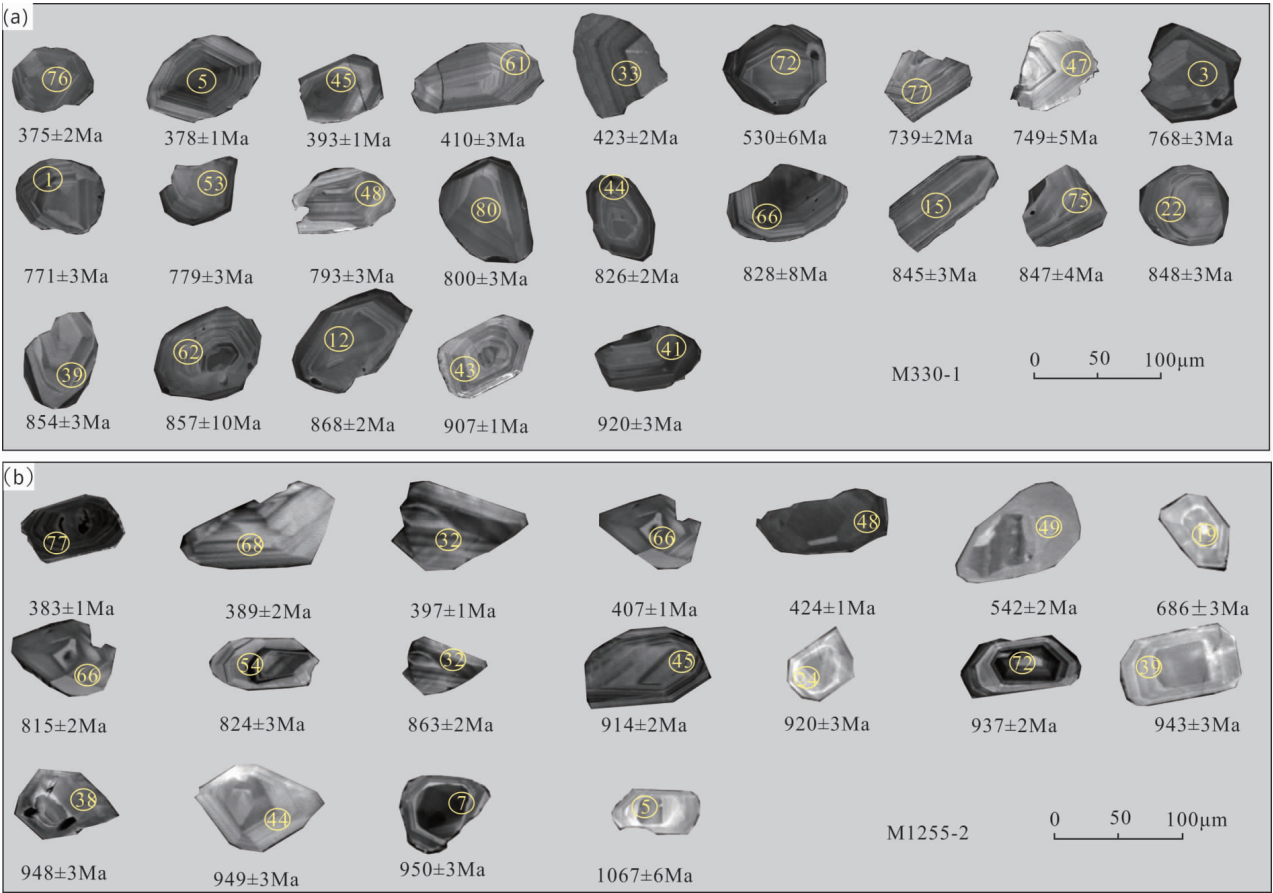
图 2 (a,b)勉略构造带北部横现河北朱家山岩组、乔子沟岩片绢云石英千枚岩野外露头 and (c,d)显微镜下正交偏光照片

Fig. 2 (a,b)Outcrop photos and (c,d)microscope photos of Sericite-quartz phyllite in Zhujiashan and Qiaozigou formation in the north of the Mianlue tectonic belt

较好。样品 M330 - 1 中锆石 Th 含量为 $10.98 \times 10^{-6} \sim 1552 \times 10^{-6}$, U 含量为 $16.7 \times 10^{-6} \sim 794 \times 10^{-6}$, Th/U 值为 $0.37 \sim 3.06$, 大多数点大于 0.4, 仅有 1 颗锆石 Th/U 值小于 0.4。样品 M1255 - 2 中锆石 Th 和 U 含量和比值差异较大, Th 含量为 $0.91 \times 10^{-6} \sim 853.98 \times 10^{-6}$, U 含量为 $5.58 \times 10^{-6} \sim 537.72 \times 10^{-6}$, Th/U 值为 $0.27 \sim 93.11$, 都显示典型的岩浆振荡环带结构, 并且部分锆石 CL 图像显示清晰细密的震荡环带(3, 12, 41, 66, 75)以及宽缓的震荡环带(33), 可能分别为花岗质岩浆锆石、中-基性岩浆锆石。目前, 对于锆石的成因主要通过锆石的 CL 图像及 Th/U 值来区分锆石为岩浆成因还是变质成因, 锆石的晶形和内部结构可以反映锆石的地质历史, 岩浆成因的锆石一般结构较为简单, 发

育有良好的震荡环带或者板状环带等生长环带。生长环带反映的是锆石生长时 Zr、Si 以及 Hf、P、Y、U 和 Th 的含量变化(CORFU et al., 2003)。一般认为具有震荡环带且 Th/U 值高于 0.4 为典型的岩浆成因锆石, 而变质成因的锆石其 Th/U 值一般低于 0.1(吴元保等, 2004)。但也存在很多反例, 如快速生长的变质锆石含相对高的 Th/U 值(WHITEHOUSE M J 等, 2002), 以及不彻底的变质重结晶锆石可残留相对高的 Th/U 值, 花岗岩在高度演化过程中含 Th 的独居石和绿帘石等矿物的结晶使得锆石常会具有低 Th/U 值(BINGEN et al., 2001)。因此笔者在依据 CL 图像及 Th/U 值基础上, 结合基础地质等因素解释其相应年龄的地质含义。

2 件样品各测定了 80 个锆石微区同位素年龄



(带数字的圆圈为锆石测点位置和分析点号)

图 3 勉略构造带北部浅变质沉积岩(M330-1和M1255-2)碎屑锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 The zircons cathodoluminescence(CL)images for metasedimentary(M330-1 and M1255-2)in the north of Mianlue tectonic belt

数据,其中大多数的数据点具有基本谐和的同位素年龄(图 4a、图 4c)。删除了谐和度特别低的数据点,总共有 142 个数据点被选出进行年龄统计(表 1、表 2)。所获得的碎屑锆石年龄可以分为 3 组:古生代年龄 28 颗(375~542 Ma),约占总数的 19.7%,可以划分为晚古生代早期—早古生代晚期年龄组(375~424 Ma),主要峰值为 390 Ma、394 Ma,早古生代早期年龄组(530~542 Ma);新元古代年龄 108 颗(552~977 Ma),约占总数的 76.1%,可以划分为新元古代晚期年龄组(552~797 Ma),主要峰值为 758 Ma、787 Ma,新元古代早中期年龄组(800~977 Ma),主要峰值为 855 Ma、951 Ma;中元古代晚期年龄 6 颗(1 008~1 124 Ma),约占总数的 4.2%,无明显的峰值。

4 讨论

4.1 沉积时代

碎屑锆石年龄虽不能像火山岩或火山凝灰岩层那样直接给出地层的时代,但却可以根据地层内最年轻同沉积岩浆成因锆石年龄来限定地层最大的沉积时代。因为地层中碎屑物形成的时代一定比地层的沉积时代早,故碎屑锆石中最小年龄常常被用来制约地层的沉积下限。前人对朱家山岩组、乔子沟岩片形成时代研究较少,且大多数都是从古生物化石方面研究,存在很多争议。如杜远生等(1997, 1998)在朱家山岩组、郭镇岩组及乔子沟岩片共生的沉积岩中曾经发现少量层板珊瑚、层孔虫等化石,其

表 1 勉略构造带北部浅变质岩中 (M330-1) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试结果表

Tab.1 One LA-ICP-MS Zircon U-Pb age datas results of sericite-quartz phyllite(M330-1) in the north of Mianlue tectonic belt

测点	含量(10^{-6})			同位素比值						年龄(Ma)				谐和度 (%)
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
M330-1.1	72.9	91.2	1.05	1.209 50	0.034 50	0.127 00	0.000 60	898	55	805	16	771	3	95
M330-1.2	109.3	110.0	0.84	1.409 30	0.029 60	0.143 60	0.000 50	963	44	893	13	865	3	96
M330-1.3	66.5	85.0	1.07	1.223 10	0.019 00	0.126 50	0.000 60	1000	33	811	9	768	3	94
M330-1.4	17.9	28.5	1.33	1.639 30	0.126 90	0.129 10	0.001 40	1459	135	985	49	783	8	77
M330-1.5	299.0	220	0.62	0.058 80	0.000 80	0.060 40	0.000 20	561	31	405	5	378	1	93
M330-1.6	132.7	108.7	0.68	0.058 40	0.004 60	0.065 70	0.000 40	546	72	431	27	410	3	95
M330-1.7	39.3	47.0	1.00	0.077 20	0.004 90	0.142 20	0.001 80	1126	127	933	38	857	10	91
M330-1.8	124.0	125	0.84	0.064 70	0.003 00	0.063 20	0.000 30	765	98	455	18	395	2	86
M330-1.9	44.1	71.0	1.34	0.070 80	0.003 30	0.145 20	0.000 70	950	95	896	28	874	4	97
M330-1.10	24.1	28.1	0.97	0.085 70	0.013 00	0.066 10	0.001 30	1331	96	594	68	413	8	63
M330-1.11	76.8	84.4	0.92	0.069 20	0.005 10	0.137 00	0.001 50	906	52	848	40	828	8	97
M330-1.12	62.1	98.0	1.32	0.067 10	0.003 30	0.144 10	0.000 40	843	20	861	28	868	2	99
M330-1.14	95.4	119	1.05	0.065 90	0.001 90	0.136 20	0.000 40	806	61	818	16	823	2	99
M330-1.15	97.4	87.3	0.76	0.066 70	0.002 70	0.140 10	0.000 40	828	85	840	23	845	3	99
M330-1.16	179.0	206	0.98	0.055 10	0.002 30	0.065 10	0.000 30	417	93	408	14	406	2	99
M330-1.18	129.0	156	1.02	0.054 90	0.002 50	0.063 60	0.000 50	406	12	399	15	398	3	99
M330-1.21	40.7	30.0	0.62	0.058 30	0.007 10	0.085 70	0.001 00	543	70	526	50	530	6	99
M330-1.22	57.9	77.6	1.12	0.068 30	0.001 50	0.140 60	0.000 50	876	44	856	13	848	3	99
M330-1.23	40.5	57.5	1.18	0.066 40	0.002 90	0.135 20	0.000 50	818	93	818	25	818	3	99
M330-1.24	57.4	82.6	1.19	0.066 90	0.003 10	0.140 40	0.000 70	835	92	844	29	847	4	99
M330-1.25	100.7	118.4	0.97	0.065 10	0.004 30	0.059 80	0.000 30	777	139	436	23	375	2	84
M330-1.26	77.0	125	1.35	0.064 10	0.001 40	0.121 50	0.000 40	746	48	741	12	739	2	99
M330-1.27	74.9	66.4	0.74	0.055 00	0.011 60	0.065 00	0.000 60	409	24	408	71	406	3	99
M330-1.28	204.0	287	1.17	0.066 10	0.000 50	0.132 20	0.000 60	809	19	802	4	800	3	99

续表 1

测点	含量(10^{-6})		同位素比值						年龄(Ma)				谐和度			
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ	(%)	
M330-1.29	37.7	60.5	1.35	0.065 60	0.004 10	1.194 80	0.077 10	0.131 60	0.000 90	794	131	798	36	797	5	99
M330-1.30	60.7	56.5	0.78	0.067 40	0.002 90	1.273 80	0.056 70	0.136 90	0.000 50	850	90	834	25	827	3	99
M330-1.31	135.5	176	1.09	0.067 20	0.000 60	1.249 70	0.010 80	0.134 90	0.000 50	856	17	823	5	816	3	99
M330-1.33	193.0	205	0.89	0.055 40	0.002 50	0.517 70	0.023 40	0.067 90	0.000 30	428	10	424	16	423	2	99
M330-1.34	392.0	212	0.45	0.054 80	0.001 60	0.463 80	0.014 50	0.061 40	0.000 30	406	63	387	10	384	2	99
M330-1.35	1 552.0	794	0.43	0.054 80	0.000 40	0.486 80	0.003 70	0.064 40	0.000 20	406	17	403	3	403	1	99
M330-1.36	51.9	88.6	1.43	0.066 30	0.004 00	1.218 30	0.063 80	0.133 50	0.001 40	817	56	809	29	808	8	99
M330-1.37	138.0	129	0.79	0.063 20	0.001 70	1.020 80	0.028 70	0.117 20	0.000 80	717	57	714	14	714	4	99
M330-1.38	96.1	88.6	0.77	0.067 30	0.002 30	1.320 20	0.044 70	0.142 30	0.000 40	856	70	855	20	858	2	99
M330-1.39	60.8	92.7	1.28	0.067 40	0.001 60	1.315 00	0.031 60	0.141 60	0.000 50	850	50	852	14	854	3	99
M330-1.40	87.3	120	1.15	0.067 30	0.001 50	1.319 90	0.029 00	0.142 30	0.000 60	856	50	854	13	858	3	99
M330-1.41	93.1	123	1.11	0.069 70	0.003 10	1.475 20	0.066 40	0.153 40	0.000 60	920	91	920	27	920	3	99
M330-1.42	86.3	139.1	1.35	0.061 90	0.002 90	0.938 70	0.044 90	0.109 90	0.000 30	670	10	672	24	672	2	99
M330-1.43	65.1	70.8	0.91	0.069 30	0.000 80	1.442 30	0.017 10	0.151 00	0.000 20	906	22	907	7	907	1	99
M330-1.44	83.1	137.1	1.38	0.066 60	0.001 90	1.257 50	0.036 30	0.136 80	0.000 40	828	57	827	16	826	2	99
M330-1.45	678.0	315	0.39	0.054 50	0.001 40	0.472 40	0.012 70	0.062 90	0.000 20	391	61	393	9	393	1	99
M330-1.46	21.9	34.6	1.32	0.054 50	0.010 90	0.474 60	0.092 60	0.062 30	0.001 00	391	98	394	64	390	6	98
M330-1.47	56.6	46.9	0.69	0.065 00	0.006 60	1.105 70	0.116 30	0.123 20	0.000 90	772	16	756	56	749	5	99
M330-1.48	45.8	81.3	1.48	0.065 10	0.003 60	1.177 10	0.067 80	0.130 90	0.000 60	789	17	790	32	793	3	99
M330-1.49	88.9	99.5	0.93	0.066 50	0.001 70	1.248 80	0.030 50	0.136 50	0.000 90	820	52	823	14	825	5	99
M330-1.50	413.0	316	0.63	0.054 50	0.001 60	0.475 00	0.014 80	0.06310	0.00030	394	65	395	10	395	2	99
M330-1.51	127.0	189	1.23	0.066 60	0.000 70	1.255 20	0.013 10	0.13670	0.00030	826	25	826	6	826	2	99
M330-1.52	123.9	120.3	0.80	0.066 30	0.001 60	1.232 00	0.030 20	0.13470	0.00040	817	56	815	14	815	3	99
M330-1.53	74.9	78.9	0.86	0.065 00	0.003 90	1.150 80	0.068 60	0.12850	0.00050	774	128	778	32	779	3	99
M330-1.54	89.7	93.2	0.84	0.067 20	0.000 60	1.300 10	0.007 70	0.140 40	0.000 70	843	14	846	3	847	1 σ	99

续表 1

测点	含量(10^{-6})		同位素比值						年龄(Ma)				谐和度 (%)			
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		1σ		
M330-1.55	78.1	73.8	0.76	0.067 30	0.002 90	1.293 00	0.058 00	0.139 20	0.000 70	848	122	843	26	771	3	99
M330-1.56	112.8	101.3	0.72	0.066 30	0.000 90	1.234 10	0.016 80	0.135 10	0.000 40	817	28	816	8	865	3	99
M330-1.57	90.5	88.1	0.79	0.064 40	0.001 20	1.099 70	0.020 20	0.123 90	0.000 30	754	38	753	10	768	3	99
M330-1.58	20.7	28.8	1.12	0.066 10	0.008 30	1.205 30	0.150 10	0.132 40	0.001 80	809	63	803	69	783	8	99
M330-1.60	100.9	133.8	1.07	0.067 20	0.002 90	1.267 60	0.051 20	0.136 80	0.000 60	856	125	831	23	378	1	99
M330-1.61	52.4	72.5	1.12	0.067 10	0.003 50	1.280 90	0.066 70	0.138 40	0.000 60	843	106	837	30	410	3	99
M330-1.62	68.1	115.9	1.38	0.067 30	0.001 30	1.317 00	0.025 80	0.141 90	0.000 30	856	40	853	11	857	10	99
M330-1.63	131.6	174	1.08	0.054 20	0.003 90	0.459 90	0.032 70	0.061 60	0.000 30	389	16	384	23	395	2	99
M330-1.64	22.5	84.4	3.06	0.073 00	0.003 00	1.703 10	0.068 60	0.169 20	0.000 80	1 014	81	1 010	26	874	4	99
M330-1.65	420.0	497	0.97	0.064 70	0.000 40	1.120 10	0.008 10	0.125 60	0.000 40	765	19	763	4	413	8	99
M330-1.66	299.1	135.0	0.37	0.054 60	0.005 70	0.481 10	0.050 30	0.063 90	0.000 10	398	37	399	34	828	8	99
M330-1.67	97.8	105.2	0.88	0.066 30	0.002 50	1.234 40	0.046 70	0.135 10	0.000 40	817	75	816	21	868	2	99
M330-1.68	115.1	71.6	0.51	0.065 70	0.004 00	1.177 70	0.074 60	0.129 90	0.000 40	798	129	790	35	823	2	99
M330-1.69	309.0	296	0.79	0.065 70	0.000 60	1.197 70	0.011 00	0.132 30	0.000 20	796	20	800	5	845	3	99
M330-1.70	96.4	121	1.04	0.064 40	0.002 00	1.106 10	0.036 20	0.124 50	0.000 40	754	67	756	17	406	2	99
M330-1.71	46.5	48.5	0.87	0.066 80	0.003 10	1.260 50	0.058 00	0.136 90	0.000 60	831	98	828	26	398	3	99
M330-1.72	269.0	196.3	0.61	0.054 30	0.002 20	0.446 00	0.018 50	0.059 60	0.000 30	383	93	375	13	530	6	99
M330-1.73	172.0	186	0.90	0.053 70	0.002 70	0.448 50	0.023 80	0.060 50	0.000 40	367	118	376	17	848	3	99
M330-1.74	90.1	128.6	1.19	0.064 20	0.002 50	1.128 60	0.041 70	0.127 70	0.000 80	746	83	767	20	818	3	99
M330-1.75	77.5	93.5	1.00	0.066 60	0.001 40	1.303 20	0.028 10	0.141 90	0.000 40	833	44	847	12	847	4	99
M330-1.76	120.8	155	1.07	0.061 00	0.001 20	0.512 70	0.010 30	0.060 90	0.000 20	640	43	420	7	375	2	90
M330-1.77	56.6	112	1.65	0.064 60	0.001 80	1.069 70	0.030 00	0.120 10	0.000 50	761	58	739	15	739	2	98
M330-1.79	278.0	498	1.50	0.063 20	0.000 60	1.088 40	0.010 30	0.124 90	0.000 30	722	25	748	5	406	3	98
M330-1.80	120.9	108.8	0.75	0.069 10	0.001 00	1.245 40	0.018 90	0.130 70	0.000 60	902	30	821	9	800	3	96

注：测试单位为天津地质矿产研究所，测试手段为激光剥蚀—等离子体质谱分析(LA-ICP-MS)。

表 2 勉略构造带北部浅变质岩中 (M1255-2) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试结果表

Tab. 2 Two LA-ICP-MS Zircon U-Pb age datas results of sericite-quartz phyllite(M1255-2) in the north of Mianlue tectonic belt

测点	含量(10^{-6})		同位素比值						年龄(Ma)				谐和度 (%)			
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		1σ		
M1255-2.3	3.1	43.2	13.14	0.053 60	0.004 30	0.451 60	0.039 90	0.060 30	0.000 90	354	183	378	28	377	6	99
M1255-2.5	61.5	34.8	0.54	0.075 00	0.003 70	1.871 50	0.104 50	0.180 00	0.001 10	1 069	100	1 071	37	1 067	6	99
M1255-2.7	500.0	304.0	0.61	0.071 10	0.000 40	1.556 80	0.010 90	0.158 80	0.000 50	961	11	953	4	950	3	99
M1255-2.8	56.5	72.5	1.29	0.070 60	0.001 10	1.544 70	0.024 30	0.158 80	0.000 30	946	27	948	10	950	2	99
M1255-2.9	4.8	16.7	3.58	0.058 10	0.009 20	0.776 00	0.110 00	0.097 40	0.001 60	532	356	583	63	599	9	97
M1255-2.10	9.3	12.0	1.35	0.071 70	0.010 30	1.617 50	0.234 50	0.163 40	0.001 40	989	301	977	91	976	8	99
M1255-2.11	4.2	26.9	6.65	0.064 80	0.003 30	1.089 90	0.062 20	0.121 80	0.001 00	769	107	748	30	741	6	99
M1255-2.12	194.0	50.2	0.27	0.076 30	0.001 30	1.923 60	0.034 90	0.182 80	0.000 50	1 103	2	1 089	12	1 082	3	99
M1255-2.13	92.1	87.0	1.00	0.071 80	0.000 80	1.619 50	0.019 40	0.163 70	0.000 50	989	24	978	8	977	3	99
M1255-2.14	6.2	22.7	3.96	0.067 00	0.002 10	1.267 80	0.039 70	0.137 80	0.001 00	839	67	831	18	832	6	99
M1255-2.15	5.4	11.2	2.30	0.061 60	0.008 40	0.894 50	0.116 80	0.107 50	0.002 40	659	292	649	63	658	14	98
M1255-2.21	3.6	19.4	5.88	0.054 00	0.007 40	0.459 60	0.066 30	0.061 30	0.001 00	369	311	384	46	383	6	99
M1255-2.17	9.8	13.7	1.59	0.068 60	0.007 90	1.522 10	0.204 30	0.156 70	0.001 90	887	241	939	82	938	11	99
M1255-2.18	2.8	20.0	7.45	0.058 30	0.005 40	0.680 80	0.065 70	0.089 40	0.001 50	539	206	527	40	552	9	95
M1255-2.19	41.0	67.8	1.80	0.062 20	0.002 00	0.958 00	0.034 90	0.111 70	0.000 50	680	70	682	18	683	3	99
M1255-2.20	2.5	11.1	5.27	0.067 90	0.009 60	1.373 40	0.196 70	0.146 20	0.001 50	878	301	878	84	880	8	99
M1255-2.21	0.9	73.6	93.11	0.069 20	0.001 30	1.437 50	0.027 70	0.150 50	0.000 60	906	33	905	12	904	3	99
M1255-2.22	4.8	14.0	3.24	0.066 50	0.005 60	1.277 20	0.113 40	0.138 60	0.001 70	822	178	836	51	836	10	99
M1255-2.23	87.1	101.0	1.28	0.068 00	0.002 10	1.343 50	0.042 20	0.143 30	0.000 40	878	-133	865	18	863	2	99
M1255-2.24	41.9	59.6	1.57	0.069 80	0.001 40	1.476 50	0.030 10	0.153 50	0.000 40	924	40	921	12	920	3	99
M1255-2.25	39.0	53.2	1.54	0.072 70	0.001 30	1.479 00	0.028 80	0.147 60	0.000 60	1 006	37	922	12	887	4	96
M1255-2.27	39.1	45.5	1.33	0.070 30	0.003 80	1.503 00	0.082 20	0.155 00	0.000 80	939	111	932	33	929	4	99
M1255-2.28	12.2	19.3	1.85	0.059 90	0.004 50	0.802 60	0.063 90	0.096 70	0.001 40	598	163	598	36	595	8	99
M1255-2.30	1.1	5.6	6.38	0.065 80	0.014 20	1.238 00	0.263 10	0.135 60	0.002 70	798	431	818	119	819	15	99

续表 2

测点	含量(10^{-6})		同位素比值						年龄(Ma)				谐和度			
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	(%)		
M1255-2.31	6.3	14.5	2.79	0.068 40	0.004 20	1.367 00	0.082 00	0.145 30	0.001 10	880	131	875	35	874	6	99
M1255-2.32	273.0	246.0	1.26	0.054 90	0.000 60	0.480 60	0.005 30	0.063 60	0.000 20	406	24	398	4	397	1	99
M1255-2.33	3.6	8.7	3.92	0.067 10	0.008 00	1.378 80	0.176 30	0.146 10	0.001 50	843	250	880	75	879	9	99
M1255-2.34	1.9	14.5	9.26	0.067 50	0.004 90	1.327 50	0.098 50	0.142 30	0.000 90	852	149	858	43	858	5	99
M1255-2.35	2.3	15.3	7.88	0.067 60	0.005 00	1.318 20	0.098 20	0.141 50	0.001 00	857	156	854	43	853	6	99
M1255-2.37	50.2	61.4	1.39	0.068 20	0.001 60	1.350 70	0.043 50	0.144 00	0.003 70	876	49	868	19	867	21	99
M1255-2.38	80.4	99.6	1.39	0.070 70	0.000 80	1.541 60	0.017 00	0.158 40	0.000 50	946	21	947	7	948	3	99
M1255-2.39	32.1	46.2	1.61	0.070 70	0.001 20	1.534 20	0.026 90	0.157 60	0.000 60	947	31	944	11	943	3	99
M1255-2.40	41.5	61.6	1.65	0.071 10	0.001 10	1.570 90	0.025 50	0.160 20	0.000 40	961	33	959	10	958	2	99
M1255-2.41	7.8	11.8	1.61	0.060 30	0.014 00	0.857 10	0.202 00	0.099 70	0.002 70	617	517	629	110	613	16	97
M1255-2.42	40.0	54.6	1.51	0.070 40	0.001 50	1.510 20	0.032 70	0.155 80	0.000 40	939	44	935	13	933	2	99
M1255-2.43	48.9	55.0	1.25	0.069 00	0.001 30	1.423 40	0.032 40	0.149 60	0.001 80	898	69	899	14	899	10	99
M1255-2.44	49.5	60.1	1.30	0.070 60	0.001 40	1.544 20	0.030 30	0.158 60	0.000 40	946	40	948	12	949	3	99
M1255-2.45	72.4	129.0	1.87	0.069 50	0.000 60	1.460 40	0.012 70	0.152 40	0.000 40	915	17	914	5	914	2	99
M1255-2.46	64.6	60.2	0.97	0.072 00	0.001 00	1.621 20	0.022 90	0.163 40	0.000 40	985	23	978	9	976	2	99
M1255-2.47	76.4	37.5	0.51	0.075 80	0.002 00	1.959 60	0.053 00	0.187 60	0.001 20	1 100	54	1 102	18	1 109	7	99
M1255-2.48	218.0	189.0	0.95	0.055 30	0.000 70	0.517 90	0.006 40	0.067 90	0.000 20	433	26	424	4	424	1	99
M1255-2.49	8.5	34.8	4.31	0.058 30	0.003 10	0.706 80	0.037 80	0.087 80	0.000 40	543	117	543	22	542	2	99
M1255-2.51	1.4	7.1	6.00	0.077 30	0.010 70	2.015 70	0.27860	0.190 50	0.002 00	1 129	275	1 121	94	1 124	11	99
M1255-2.52	60.6	54.4	1.03	0.070 80	0.001 30	1.551 70	0.029 70	0.158 90	0.000 50	954	34	951	12	951	3	99
M1255-2.53	1.6	6.2	5.23	0.065 90	0.010 70	1.198 90	0.188 70	0.131 70	0.002 20	806	351	800	87	797	12	99
M1255-2.54	154.0	127.0	0.99	0.066 40	0.001 10	1.248 90	0.019 10	0.136 40	0.000 50	820	33	823	9	824	3	99
M1255-2.55	102.3	52.2	0.63	0.071 30	0.000 90	1.583 70	0.021 50	0.161 10	0.000 60	965	26	964	8	963	3	99
M1255-2.56	51.7	62.2	1.50	0.068 20	0.003 20	1.368 00	0.062 10	0.145 70	0.000 90	876	100	875	27	877	5	99
M1255-2.57	2.6	6.8	3.33	0.074 20	0.007 60	1.879 40	0.210 00	0.181 20	0.001 70	1 056	207	1 074	74	1 074	9	99

续表 2

测点	含量(10^{-6})			同位素比值						年龄(Ma)						谐和度 (%)
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
M1255-2.58	33.3	48.1	1.77	0.069 50	0.001 60	1.473 10	0.034 00	0.153 70	0.000 60	922	46	919	14	922	3	99
M1255-2.59	2.0	8.5	5.24	0.067 20	0.007 90	1.337 50	0.160 90	0.143 30	0.002 10	856	242	862	70	863	12	99
M1255-2.60	129.3	90.5	0.82	0.066 20	0.001 10	1.229 10	0.020 80	0.134 70	0.000 30	813	40	814	9	815	2	99
M1255-2.61	4.2	10.7	2.90	0.067 90	0.005 00	1.388 30	0.107 40	0.147 00	0.001 90	878	152	884	46	884	10	99
M1255-2.62	234.0	159.0	0.77	0.070 00	0.000 60	1.506 90	0.013 20	0.156 00	0.000 50	929	12	933	5	935	3	99
M1255-2.63	26.4	46.1	1.92	0.070 70	0.003 00	1.562 60	0.064 00	0.160 30	0.000 60	950	87	955	25	958	4	99
M1255-2.64	55.5	55.1	1.07	0.071 40	0.001 60	1.592 60	0.037 10	0.161 80	0.000 40	969	47	967	15	967	2	99
M1255-2.65	40.6	69.5	1.79	0.070 10	0.001 50	1.511 00	0.036 50	0.156 30	0.000 70	931	44	935	15	936	4	99
M1255-2.66	229.0	186.0	0.84	0.054 90	0.002 80	0.492 90	0.025 90	0.065 10	0.000 20	409	108	407	18	407	1	99
M1255-2.67	49.9	69.0	1.43	0.068 50	0.001 70	1.389 90	0.038 60	0.147 10	0.000 60	883	84	885	16	884	3	99
M1255-2.68	67.4	88.1	1.34	0.054 30	0.004 20	0.465 20	0.035 90	0.062 20	0.000 30	389	174	388	25	389	2	99
M1255-2.70	1.9	17.7	9.20	0.063 20	0.006 70	1.015 90	0.103 00	0.117 40	0.003 00	717	227	712	52	715	17	99
M1255-2.71	481.0	210.0	0.44	0.069 20	0.001 60	1.428 80	0.035 60	0.149 80	0.000 70	906	47	901	15	900	4	99
M1255-2.72	217.0	204.0	0.93	0.070 10	0.000 60	1.509 80	0.015 60	0.156 40	0.000 30	931	20	934	6	937	2	99
M1255-2.73	21.9	26.6	1.21	0.070 70	0.002 50	1.551 40	0.056 50	0.159 10	0.000 60	950	73	951	22	952	3	99
M1255-2.74	1.07	5.8	5.60	0.070 90	0.009 30	1.613 50	0.242 70	0.160 10	0.002 70	955	272	975	94	957	15	98
M1255-2.75	18.9	24.5	1.30	0.068 50	0.002 30	1.397 10	0.047 30	0.148 00	0.000 50	887	70	888	20	890	3	99
M1255-2.76	90.0	103.2	1.15	0.070 70	0.001 30	1.549 20	0.027 80	0.158 90	0.000 60	950	32	950	11	951	3	99
M1255-2.77	854.0	538.0	0.64	0.054 30	0.000 60	0.457 60	0.005 10	0.061 10	0.000 10	383	21	383	4	383	1	99
M1255-2.80	116.6	98.3	0.87	0.065 40	0.003 90	1.169 00	0.065 70	0.129 80	0.001 90	787	126	786	31	787	11	99

注:测试单位为天津地质矿产研究所,测试手段为激光剥蚀—等离子体质谱分析(LA-ICP-MS)。

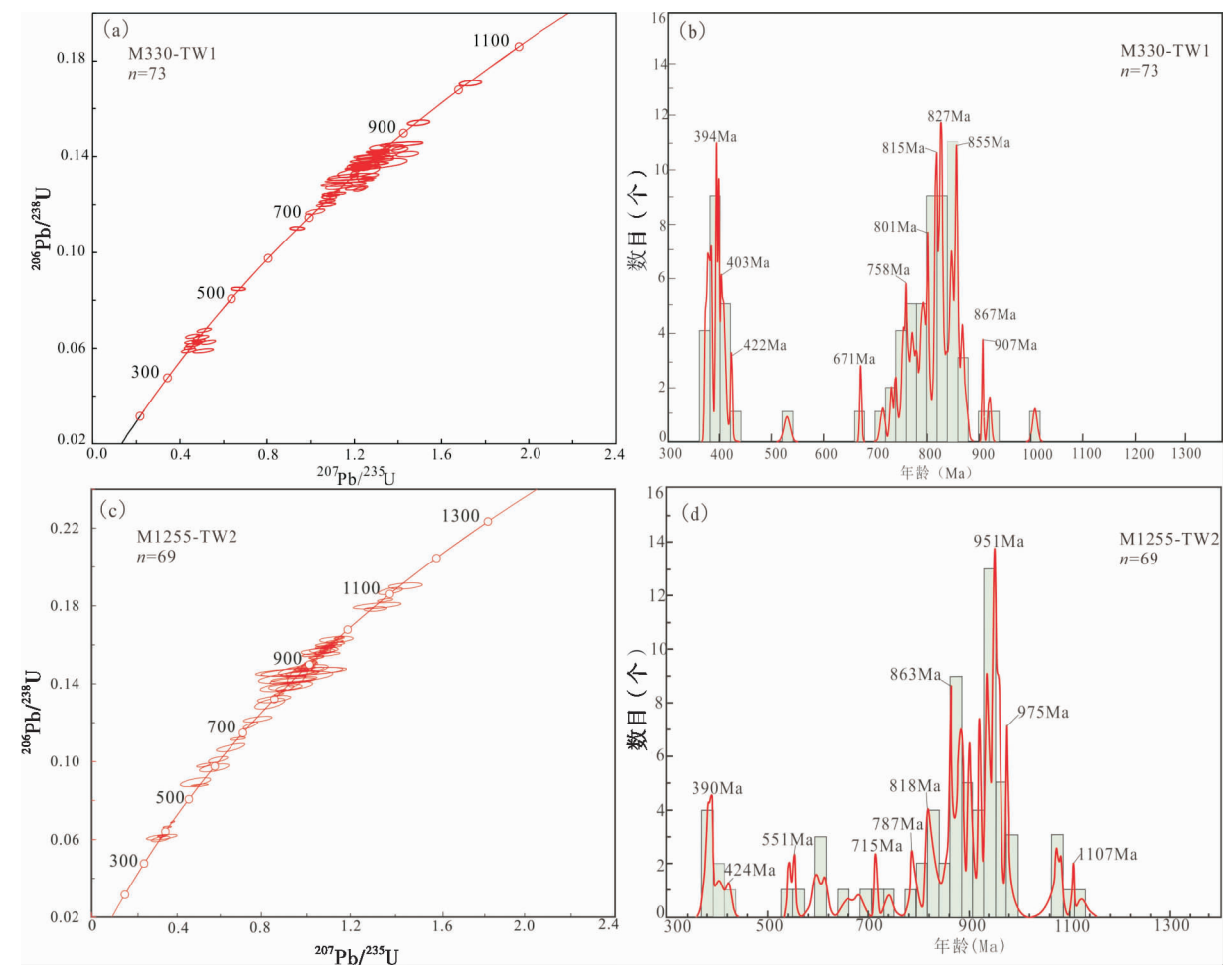


图 4 (a,c)勉略构造带北部浅变质沉积岩(M330 - 1 和 M1255 - 2)碎屑锆石年龄谐和图和(b,d)年龄直方图与概率密度图

Fig. 4 (a,c)Zircons U - Pb concordia diagrams and (b,d)zircons U - Pb histograms for metasedimentary(M330 - 1) and M1255 - 2), in the north of Mianlue structure belt

年代为泥盆纪;李亚林等(2000,2002)在朱家山岩片中发现含有中泥盆世艾菲尔期生物化石;盛吉虎等(1997)在朱家山岩组中获得石炭纪硅质岩,将其时代厘定为早石炭世。在乔子沟岩片中获得泥盆纪硅质岩,将其时代厘定为早一中泥盆世。

笔者通过 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 年代学研究获得朱家山岩组 (M330 - 1)、乔子沟岩片 (M1255 - 2) 碎屑锆石最小年龄组分别为 375 ~ 385 Ma(平均年龄 380.3 Ma)、377 ~ 389 Ma(平均年龄 383 Ma),说明朱家山岩组、乔子沟岩片浅变质沉积岩系的沉积时代不早于中一晚泥盆世。

4.2 物源区分析

4.2.1 显生宙年龄信息

晚古生代早期—早古生代晚期(375~424 Ma),早

古生代早期(530~542 Ma)。该段碎屑锆石年龄总共有 28 颗属于古生代(375~542 Ma),约占总体(142 颗)的 19%,代表早中古生代的岩浆事件。样品 M330 - 1 有 19 颗锆石为晚古生代早期—早古生代晚期(375~423 Ma),而样品 M1255 - 2 有 7 颗(377~424 Ma)这样的锆石,并有 2 颗早古生代早期(530~542 Ma)的锆石。

375~424 Ma(峰值 394 Ma,390 Ma)段的碎屑锆石年龄谱段可能代表了南秦岭早古生代晚期—晚古生代早期的构造岩浆活动。

此时的勉略构造带正处于岩石圈裂解形成古特提斯洋的北支洋盆,即勉略洋盆的形成阶段,内部岩浆记录很少,而其北侧的南秦岭构造带普遍发育一套呈北西向延伸的碱性-基性岩墙群、火山岩和少量

A型花岗岩(徐大良等,2018),其中碱性-基性岩墙群、火山岩的形成时代集中在400~450 Ma(王瑞瑞等,2013;向忠金等,2016),这些岩墙群和火山岩具有明显的双峰式岩浆岩特征(陈虹等,2014;罗金海等,2017),可能代表了古特提斯洋在南秦岭构造带东段的初始裂解(陈虹等,2014)。这些火山岩主要分布在南秦岭构造带中部的岚皋—平利一带。如岚皋花栎村镁铁质火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (436.9 ± 2.4) Ma(许光等,2018);镇坪地区辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (439 ± 6) Ma(邹先武等,2011)。大约同期在南秦岭北缘发育钠长岩浆作用,陈虹等(2014)利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年技术获得钠长岩后期岩浆锆石的年龄集中于381~415 Ma,与南秦岭构造带南缘碱性岩浆活动基本同期。早古生代勉略带南侧的碧口微地块和扬子板块西北缘岩浆记录很少,沉积岩出露面积较大(徐通等,2013)。大量的研究资料表明,北秦岭构造带古生代岩浆作用发育于3个时期,分别为507~470 Ma、460~422 Ma 和 415~400 Ma(张成立等,2013)。375~423 Ma 段的碎屑锆石物源是否会来自北秦岭古生代岩浆作用?在追踪碎屑锆石物源时,非常重要一点是,如果一个地区能作为一个主要的物源区,那么它一定具有相对高海拔的地貌特点,之后接受风化剥蚀。结合区域地质背景,晚古生代初(D₁—D₃)勉略地区在古特提斯扩张的区域构造背景和深部动力学机制作用下,发生强烈扩张裂陷(李亚林等,2002),所以勉略带古生代应该是一个裂陷盆地,所处地势比较低,因此北秦岭能提供物源的条件是在中泥盆世之前南秦岭与北秦岭间的商丹洋应于中泥盆世之前闭合,北秦岭隆升剥蚀提供物源,以及在北秦岭和勉略带之间没有大型的深水盆地阻挡碎屑物质的搬运和沉积。结合前人的研究,南秦岭与北秦岭在泥盆纪时期并未沿商丹带闭合(LIU et al., 2013; WU et al., 2013; CHEN et al., 2014; YAN et al., 2016),该观点亦得到了泥盆纪碎屑岩的地球化学证据支持(YAN et al., 2012),因此北秦岭古生代的岩浆活动不能为此次晚古生代早期—早古生代晚期年龄段的碎屑锆石提供物源,因此375~423 Ma 段的碎屑锆石物源主要来自南秦岭构造带。

样品中有2颗年龄为 (530 ± 6) Ma, (542 ± 2) Ma 的碎屑锆石对应晚泛非造山运动有关的构造岩

浆事件。岩浆活动和古地磁资料显示,泛非期华南板块北部与西澳大利亚板块有着长期的联系(YANG Z et al., 2004; HUANG B et al., 2008),可能为冈瓦纳大陆的一部分,且存在广泛的泛非期岩浆热事件,并在南北板块拼合碰撞时与后来的物质记录一起保存下来。秦岭造山带是中国南、北板块拼接时形成的造山带,存在该时期的岩浆记录,但是由于秦岭造山带的构造复杂性,早期的构造岩浆记录可能被后期的构造运动改造而未出露或已经剥蚀,因此530~542 Ma 段的碎屑锆石尚未找到对应的地质实体。

4.2.2 新元古代年龄信息(595~977 Ma)

595~977 Ma 的锆石年龄谱段可能代表了新元古代所发生的构造岩浆事件,可能与 Rodinia 超大陆的聚合和裂解有关。该段碎屑锆石年龄可以划分为新元古代晚期年龄(595~797 Ma)和新元古代早中期年龄(800~977 Ma)。该期年龄在所研究样品中所占比例最大,总共有108颗碎屑锆石年龄属于新元古代(595~977 Ma),约占总体(142颗)的76%,样品 M330-1 有52颗新元古代碎屑锆石,主要峰值为855 Ma,样品 M1255-2 有56颗,主要峰值为951 Ma。

新元古代与 Rodinia 超大陆的汇聚与裂解有着密切的联系,伴随超大陆的汇聚和裂解,在许多陆块上形成大规模的包含火山喷发及侵入岩在内的岩浆活动,这种岩浆活动在中国古陆块上也有不同程度的反映,特别是在扬子板块及边缘的造山带中保存了中元古代末期—新元古代早期汇聚、新元古代晚期裂解的信息(陆松年等,2003)。锆石 U-Pb 年代学研究表明,扬子板块西北缘新元古代岩浆作用发生于870~710 Ma(DONG et al., 2011; 王梦玺等, 2012; 邓奇等, 2013),勉略带新元古代的火山岩形成时代为873~667 Ma(张宗清等, 2005; 闫全人等, 2007),碧口群火山岩形成时代为846~776 Ma(闫全人等, 2003; 夏林圻等, 2007; 平先全等, 2014),也暗示着本次样品该年龄段的碎屑锆石物源应该来自勉略构造带、扬子板块西北缘的岩浆岩。

4.2.3 新元古代晚期年龄信息(552~797 Ma)

552~797 Ma 段的碎屑锆石年龄谱段代表了新元古代晚期的构造岩浆事件,主要峰值为758 Ma(M330-1)、787 Ma(M1255-2)。对于新元古代晚期的地质事件,人们很容易将其与更大区域内的

Rodinia 超大陆裂解事件联系在一起。前人的大量研究成果表明,勉略构造带、碧口微地块、扬子板块北缘汉南地区南华纪裂解事件大量存在。勉略构造带以横现河地区张岩沟双峰式火山岩、惠家沟火山岩、琵琶寺变基性火山岩为代表,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 $(728\pm 10)\text{Ma}$ 、 $(797\pm 14)\text{Ma}$ (徐通等,2013,2016)、 $(783\pm 15)\text{Ma}\sim(754\pm 14)\text{Ma}$ (李瑞保等,2009);勉略构造带康县北部地区“大堡岩组”内南华纪洋岛玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $667\sim 778\text{Ma}$ (王涛等,2008,2009),都表明带内裂解作用的发生。勉略构造带南侧的碧口微地块也存在同时期的构造岩浆事件。如闫全人等(2003)测得碧口群最南、北两侧中酸性火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为别为 $(776\pm 13)\text{Ma}$ 、 $(790\pm 15)\text{Ma}$,可能与 Rodinia 超大陆的裂解有关。

与此同时汉南地块也存在大量的新元古代晚期的岩浆事件(表 3)。汉南地块位于扬子板块北缘,属扬子板块北缘中一新元古代隆起区,同位素测年显示,该区的新元古代岩浆岩形成于 2 个阶段,新元古代晚期($720\sim 790\text{Ma}$)、新元古代早中期($802\sim 886\text{Ma}$),总体以基性和中、酸性侵入岩为主,成因主要有裂谷和岛弧 2 种观点。新元古代晚期的岩浆岩以中酸性侵入岩为主,主要有五堵门(凌文黎等,2006;赵凤清等,2006;DONG et al.,2012;刘泽瑞等,2013)、二里坝(刘泽瑞等,2013)、祖师店(敖文昊等,2014)、黄家营等(赵凤清等,2006),年龄集中在 $790\sim 720\text{Ma}$,岩石类型包括英云闪长岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩以及钾长花岗岩等,可能代表了新元古代扬子板块北缘地壳增生事件。

表 3 扬子板块北缘汉南杂岩、勉略带、碧口微地块新元古代中晚期岩浆岩年龄统计表

Tab. 3 Age statistics of the South Han complex, Mianlue tectonic zone and Bikou micro block in the northern margin of the Yangtze plate				
位置	岩体	年龄(Ma)	测试方法	数据来源
汉南杂岩	五堵门花岗岩	716	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	DONG et al,2012
	祖师店奥长花岗岩	728 ± 3	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	敖文昊等,2014
	二里坝花岗闪长岩	730 ± 6	SHRIMP 锆石 U-Pb	ZHAO et al.,2008
	五堵门花岗闪长岩	735 ± 8	SHRIMP 锆石 U-Pb	ZHAO et al.,2008
	罗家坝辉长岩	746 ± 4	SHRIMP 锆石 U-Pb	ZHAO et al.,2009
	西乡二长闪长岩	764 ± 9	SHRIMP 锆石 U-Pb	ZHAO et al.,2010
	五堵门英云闪长岩	764 ± 2	TIMS	赵凤清等,2006
	黄官花岗岩	770	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	DONG et al,2012
	黄家营钾长花岗岩	778 ± 5	TIMS	赵凤清等,2006
	毕机沟辉长岩	782 ± 14	SHRIMP 锆石 U-Pb	ZHOU et al.,2002b
	西水辉绿岩	795 ± 5	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	DONG et al.,2011
	西家坝辉长岩	799 ± 5	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	DONG et al.,2011
勉略带	惠家沟火山岩	797 ± 14	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	徐通等,2016
	横现河张岩沟双峰式火山岩	728 ± 10	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	徐通等,2013
	琵琶寺变基性火山岩	$754\sim 783$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	李瑞保等,2009
	大堡洋岛玄武岩	$667\sim 778$	SHRIMP 锆石 U-Pb	王涛等,2008
碧口微地块	最南北两侧中、酸性火山岩	776 ± 13 790 ± 15	SHRIMP 锆石 U-Pb	闫全人等,2003

从年代学资料和岩体分布的规模判断,552~797 Ma(主峰值 758 Ma,787 Ma)段的碎屑锆石物

源主要来自扬子板块北缘汉南一带新元古代晚期的岩浆岩,以中酸性侵入岩为主,基性侵入岩为辅,勉

略构造带和碧口微地块新元古代晚期的中酸性火山岩、基性火山岩也提供一部分物源。

4.2.4 新元古代早中期年龄信息(800~977 Ma)

800~977 Ma 段的碎屑锆石年龄谱段代表了新元古代早中期的构造岩浆事件,主要峰值为 855 Ma (M330-1)、951 Ma (M1255-2)。

勉略构造带内新元古代早中期的岩浆岩应与新元古代早期勉略洋盆俯冲所引起的岩浆事件有关,与 Rodinia 超大陆的聚合有关。勉略构造带此段时间形成的岩浆岩以洋壳型、岛弧型为主,自南向北呈现出洋壳型火山岩-O 型埃达克质岩-陆缘弧型火山岩的空间配置关系(徐通等,2013)。洋壳型火山岩在康县水泉沟、香子坝等地呈构造岩块出露,地球化学表现出 MORB 与 OIB 共生的特点(裴先治等,2001),SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 (826 ± 19) Ma、 (812 ± 11) Ma (闫全人等,2007)。徐通等(2016)获得勉略构造带张儿沟 O 型埃达克质岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (840 ± 5.4) Ma。在康县一略阳地区马家沟、偏桥沟、黑沟峡等地获得的陆缘弧型火山岩年龄介于 837~800 Ma,以安山岩为主体(闫全人等,2007;徐通等,2013),略阳郭镇铎厂沟陆缘弧火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (802 ± 5) Ma (林振文等,2013)。800~900 Ma 年龄段的碎屑锆石物源一部分来自勉略构造带,以火山岩为主,对应的主峰值为 855 Ma (M330-1)、次要峰值 863 Ma (M1255-2)。

扬子板块西北缘在新元古代早中期存在长期的俯冲-碰撞造山过程,板块碰撞导致该时期岩浆活动非常发育,岩浆岩以酸性侵入体为主,中、基性侵入岩为辅(林广春,2010;王梦玺等,2012;段博林等,2018),可能与造山带形成过程中的俯冲和岛弧活动相关,与 Rodinia 超大陆的聚合有关。

碧口微地块位于扬子板块西北缘,在新元古代早期也发育大规模的岩浆活动,可能与碧口岛弧与扬子板块之间碧口洋盆向南俯冲消减有关。该火山岩系以基性火山岩为主,酸性火山岩次之。闫全人等(2003)获得碧口群玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (840 ± 10) Ma;碧口地区董家河蛇绿岩套中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 (839.2 ± 8.2) Ma (赖绍聪等,2007);碧口群上、下部流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 (811 ± 12) Ma 和 (821 ± 7) Ma (WANG et al., 2008);李永飞等(2007)认为 $(839.2$

$\pm 8.2)$ Ma 左右的碧口火山岩系所表征曾经有古洋盆发育并存在古洋壳俯冲这一事实;此外还有一些中、酸性侵入岩的分布。如铜厂以西的乐素河闪长岩、铜厂岩体中部的闪长岩,SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 (842 ± 7) Ma、 (843.7 ± 3.8) Ma (叶霖等,2009;宫相宽等,2013)。与此同时汉南一米仓山一带存在大量的酸性、基性侵入体,汉南杂岩中的酸性侵入岩年龄虽然集中在 720~790 Ma,但也存在新元古代早中期的侵入体。如天平河花岗闪长岩、喜神坝黑云母花岗岩等,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 (863 ± 10) Ma、 (886.5 ± 6.8) Ma (凌文黎等,2006;敖文昊等,2015)。基性侵入岩以望江山岩体为代表,以辉长岩为主,年龄集中在 820 Ma 左右(ZHOU et al., 2002),骆家坝辉长岩、碑坝辉长岩锆石 U-Pb 年龄都为 814 Ma (ZHAO et al., 2009)。米仓山地区酸性侵入体形成于 838~863 Ma (凌文黎等,2006;DONG et al., 2012),基性侵入体形成于 824~857 Ma (DONG et al., 2012)。空间上,汉南杂岩和米仓山地区的岩体呈北东-南西向带状展布,岩体的年龄从南向北显示由老到新的规律,反映了岛弧随时间和空间的迁移,俯冲作用先形成米仓山岩体,然后形成汉南杂岩。因此,相比汉南杂岩米仓山一带的岩体提供的较老物质多。

800~900 Ma 段的碎屑锆石物源一部分来自碧口微地块和扬子板块北缘的汉南一米仓山一带,碧口微地块提供的物源以火山岩为主,中酸性侵入岩为辅。扬子板块北缘的汉南一米仓山一带,提供的物源主要以酸性侵入岩为主,基性侵入岩为辅,对应的主峰值为 855 Ma (M330-1),次要峰值为 863 Ma (M1255-2)。

900~975 Ma (主峰值 955 Ma) 为晋宁早期的构造岩浆事件,主要集中在扬子板块西北缘的西乡群和扬子板块北缘地区,勉略构造带很少。如闫全人等(2007)厘定略阳三岔子斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (923 ± 13) Ma;西乡群位于扬子板块西北缘向北突出的米仓山系,凌文黎等(2002)通过对西乡群下部白勉峡和上部孙家河组火山岩颗粒级锆石 U-Pb 定年,其时代分别为 (904 ± 18) Ma、 (946 ± 18) Ma,为晋宁早期形成于扬子板块西北缘活动性大陆边缘的岛弧岩浆岩组合;西乡地区黄家营闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (962 ± 12) Ma (耿英英等,2010);刘伟等(2018)通过扬子板块

北缘米仓山上两地区二长花岗岩年代学研究,获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $(909 \pm 5) \text{ Ma}$, 为新元古代早期。与此同时汉南杂岩的辉长岩年龄为 $(898 \pm 10) \text{ Ma}$, 在误差范围内一致, 暗示它们的形成背景相同, 可能为扬子板块北缘大陆边缘弧岩浆的产物(DONG et al., 2011)。

900~975 Ma 段的碎屑锆石年龄与上述扬子板块北缘新元古代早期构造岩浆事件的时代大致对应, 朱家山岩组(M330-1)浅变质沉积岩系中属新元古代碎屑锆石年龄组的次要峰值 907 Ma 和乔子沟岩片(M1255-2)主峰值 951 Ma、次要峰值 975 Ma 与扬子板块北缘新元古代早期的构造岩浆事件大致对应, 与 Rodinia 超大陆的汇聚事件及碰撞型、岛弧型岩浆作用相关。本次 2 件样品主峰值差异明显, 表明物源区年龄有一定的差异, M1255-2 中主峰值 951 Ma 和 M330-1 中次要峰值 907 Ma 段的碎屑锆石物源可能来源于扬子板块北缘新元古代早期(同碰撞阶段)产生的岩浆岩; M1255-2 中次要峰值 863 Ma 和 M330-1 中主要峰值 855 Ma、次要峰值 867 Ma 段的碎屑锆石物源来自后碰撞阶段产生的岩浆岩, 以及这些不同阶段的岩体在物源区沉积后, 由于后期的剥蚀程度不同, 老的岩体先接受剥蚀为 M1255-2 样品先提供物源, 之后较新的岩体剥蚀为 M330-1 样品提供物源。峰值 671 Ma、758 Ma、715 Ma、787 Ma 与扬子板块北缘中晚期岩浆事件对应, 与 Rodinia 超大陆的裂解事件相关。在考虑误差范围内, 由于 Rodinia 超大陆裂解在区域上不同步性, 以及同一个地区可能对应不同的裂解阶段, 笔者认为 787 Ma、758 Ma、715 Ma 分别对应 Rodinia 超大陆在扬子板块西北缘裂解早中期产物, 671 Ma 为裂解晚期的产物。

4.2.5 中元古代晚期年龄信息

研究样品中该段年龄所占比例很小, 总共有 6 颗锆石同位素年龄属于中元古代晚期($1\ 008 \sim 1\ 124 \text{ Ma}$), 约占总体(142 颗)的 4.2%, 揭示有少量 Grenvillian 期岩浆岩的贡献。该组年龄反映的是扬子板块北缘中元古代晚期褶皱基底的年龄。目前, 大多数地质学家实际使用 Grenville 期的时限一般置于中元古代晚期的 $1\ 000 \sim 1\ 300 \text{ Ma}$ 。扬子板块北缘中元古代晚期—新元古代早期的岩浆岩零星分布(BADER et al., 2013)。如蒋幸福(2014)在扬子板块北缘获得黄陵背斜庙湾蛇绿杂岩早期韧性变

形辉长岩锆石 LA-ICP-MS 成岩年龄为 $(1\ 118 \pm 24) \sim (1\ 096 \pm 32) \text{ Ma}$ 。上述年龄值与该组碎屑锆石年龄($1\ 000 \sim 1\ 124 \text{ Ma}$)很相似, 即扬子板块北缘中元古代褶皱基底抬升剥蚀都有可能向朱家山岩组、乔子沟岩片浅变质沉积岩系的沉积提供物质。

从上述分析中可以得出, 碧口微地块、扬子板块北缘汉南一带的新元古代岩浆事件与本次样品中获得的新元古代年龄有一定的对应关系, 这是否就可以说明碧口微地块、扬子板块北缘汉南一带是朱家山岩组和乔子沟岩片的主要物源区? 朱家山岩组和乔子沟岩片为勉略带北部的陆缘沉积(李亚林等, 2002), 勉略洋在晚泥盆世—石炭纪打开(张国伟等, 2015), 碧口微地块、扬子板块北缘汉南一带的岩浆岩此时为朱家山岩组和乔子沟岩片提供物源的可能性不大, 但存在勉略洋盆扩张过程中将扬子板块西北缘新元古代少部分火山建造带入洋盆以北的被动陆缘的可能性, 并且资料显示泥盆纪勉略构造带是一个大型裂陷盆地(张国伟等, 2015; 裴先治等, 2001), 地势整体比较低, 相比较而言, 扬子板块西北缘大部分区域在晚志留世隆升成陆(刘宝珺等, 1994), 地势相对较高, 剥蚀物质从南边进入勉略带的可能性很大, 并且勉略带康县—略阳地区泥盆纪沉积物搬运方向由南向北(张国伟等, 2015), 也暗示着物源可能位于南边。

4.3 沉积环境

年代学资料表明勉略构造带、碧口微地块、扬子板块北缘在新元古代共同经历了新元古代早中期的汇聚阶段、南华纪的裂解阶段和震旦纪的稳定沉积阶段, 处于相似的构造体制和地球动力学背景下。勉略构造带、碧口微地块、扬子板块北缘新元古代的岩浆岩形成时代分别集中在 $873 \sim 667 \text{ Ma}$ (张宗清等, 2005; 闫全人等, 2007)、 $846 \sim 776 \text{ Ma}$ (闫全人等, 2003; 夏林圻等, 2007; 平先全等, 2014)、 $716 \sim 886.5 \text{ Ma}$ (DONG et al., 2012; 敖文昊等, 2015)。新元古代早中期($\sim 800 \text{ Ma}$)汇聚型岩浆事件可能是对 Rodinia 超大陆汇聚过程的响应, 而南华纪($800 \text{ Ma} \sim$)区域上的裂解事件可能是对 Rodinia 超大陆裂解过程的响应, 也进一步表明勉略构造带、碧口微地块、扬子板块北缘构造环境在新元古代发生了由早中期岛弧环境向晚期陆内裂谷—稳定沉积的转变。早寒武世时, 碧口微地块、勉略构造带与其他南秦岭地区一样, 为扬子板块的一部分, 寒武纪时扬

子板块北缘活动性较强,南秦岭普遍裂陷沉降,总体构成局限裂谷还原环境(刘淑文等,2006)。奥陶纪—早志留世开始,扬子板块北缘大致沿勉县—略阳—安康—随县(南)裂陷形成南秦岭裂陷槽(张国伟等,2004;李佐臣等,2011),此时的南秦岭沉积中心东西向位于紫阳—安康一线,总体为陆缘裂谷盆地沉积。如在陕西安康西南高滩地区、安康北部(梅子垭组)和甘肃迭部—舟曲一带沉积一套陆缘裂谷相建造(段亮等,2010;徐通等,2013)。与此同时碧口微地块和后龙门山构造带逐渐裂解,沉积了一套陆内裂陷海盆相碎屑沉积岩(李佐臣等,2011),其沉积环境总体应为伸展裂陷沉积,指示该时期勉略构造带及邻区处于伸展裂陷环境。加里东晚期,南秦岭裂陷槽似有局部关闭或萎缩趋势(杜远生等,1998)以及受区域上古特提斯洋扩张伸展的影响(裴先治等,2001),泥盆纪开始,桥头—康县晚古生代裂陷槽盆地处于强烈的裂陷时期,进一步开裂,在晚泥盆世—早石炭世形成初始洋盆(张国伟等,1996;WU et al., 2013;丁振举等,2018),即勉略洋处于扩张状态,并从初始裂谷向有限洋盆演化。地层沉积记录表明,勉略带发生扩张裂解前,该区在区域上主体处于原扬子板块北缘早古生代被动陆缘后侧的隆起背景上,区域上现勉略带两侧均普遍缺失泥盆纪—碳纪地层,但相反勉略带内,发育裂谷型沉积组合,反映了扩张裂陷的发生、发展(张国伟等,2003)。泥盆系踏坡组位于盆地的南侧,沉积相当于被动大陆边缘盆地发育的早期裂谷盆地层序阶段,最底部的冲积扇沉积代表最初裂陷的发生(裴先治等,2001;徐通等,2013)。泥盆系—石炭系略阳组、岷河组总体为碳酸盐岩开阔台地相沉积(徐通等,2013)。可以看出盆地在早—中泥盆世经历了强烈裂陷阶段,然后在晚泥盆世—石炭纪转变为缓慢沉降阶段。自泥盆纪起,扬子板块北缘进入强烈伸展时期,在持续北移过程中,使得原属扬子板块北缘的南秦岭被动陆缘从扬子板块裂离出来,成为介于勉略洋盆与商丹俯冲带之间的微板块,即秦岭微板块(张国伟等,1995)。随着泥盆纪勉略洋的打开,秦岭微板块开始进入相对独立的发展与演化时期,早古生代发育的近东西向陆缘裂谷沉积体系,转化为泥盆纪受诸多古陆块控制的洋陆兼杂的多岛海域体系,沉积主体为海相页岩、碎屑岩和碳酸盐岩(刘淑文等,2006),此时的碧口微地块北缘文县临江—范家坝—石坊—

南坪一带发育有泥盆纪—石炭纪地层,沉积主体为碎屑岩和陆棚相碳酸盐岩。

由此可以看出勉略构造带和邻区沉积环境整体上由新元古代早中期岛弧环境向晚期陆内裂谷—稳定沉积的转变,再到早古生代的伸展裂陷沉积逐渐过渡为稳定的台盆—台地沉积。因此,推断朱家山岩组、乔子沟岩片泥盆纪—早石炭世的沉积环境为裂陷盆地且逐渐由伸展裂陷过渡到稳定的台盆—台地沉积。从碎屑锆石年龄分布直方图来看,大量的新元古代年龄锆石说明勉略构造带南侧的碧口微地块和扬子板块北缘的岩浆岩是朱家山岩组和乔子沟岩片浅变质沉积岩系的主要物源,北侧南秦岭构造带的岩浆岩也提供少量物源,揭示了勉略地区新元古代的大洋可能闭合了,勉略构造带、碧口微地块和南秦岭构造带可能已经拼合在一起,成为扬子板块的一部分。

5 结论

(1)勉略构造带横现河地区朱家山岩组、乔子沟岩片浅变质沉积岩系可能形成于中、晚泥盆世,沉积环境为裂陷盆地,且由伸展裂陷过渡为稳定的台盆—台地沉积。

(2)朱家山岩组、乔子沟岩片浅变质沉积岩系中所获得的碎屑锆石年龄可以分为 3 组:古生代年龄为 375~542 Ma,主要峰值为 390 Ma, 394 Ma;新元古代年龄为 552~977 Ma,主要峰值为 855 Ma、951 Ma;中元古代晚期年龄为 1 008~1 124 Ma。

(3)朱家山岩组和乔子沟岩片浅变质沉积岩系的物源主要来自勉略构造带、碧口微地块、扬子板块北缘汉南一带的岩浆岩。从年代学资料和岩浆岩分布的规模判断,勉略构造带和碧口微地块提供的物源是有限的,扬子板块北缘汉南可能为主要物源区。

参考文献(References):

- 敖文昊,张宇昆,张瑞英,等. 新元古代扬子北缘地壳增生事件:来自汉南祖师店奥长花岗岩地球化学、锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学和 Hf 同位素证据[J]. 地质论评, 2014, 60(6): 1393-1408.
- AO Wenhao, ZHANG Yukun, ZHANG Ruiying, et al. eo-proterozoic Crustal Accretion of the Northern Margin of

- Yangtze Plate; Constrains from Geochemical Characteristics, LA-ICP-MS Zircon U - Pb Chronology and Hf Isotopic Compositions of Trondhjemite from Zushidian Area, Hannan Region[J]. Geological Review, 2014, 60(6):1393-1408.
- 敖文昊. 扬子地块北缘大汉山地区新元古代花岗岩岩石学、地球化学、锆石年代学及其地质意义[D]. 西安:西北大学, 2015, 1-89.
- AO Wenhao. Petrography, geochemistry, zircon geochronology and geological implications of Neoproterozoic granites in Dahanshan region, northern margin of Yangtze plate[D]. Xi'an: Northwestern University, 2015, 1-89.
- 陈虹, 田蜜, 武国利, 等. 南秦岭构造带内早古生代碱性岩浆活动: 古特提斯洋裂解的证据[J]. 地质论评, 2014, 60(6):1437-1452.
- CHEN Hong, TIAN Mi, WU Guoli, et al. The Early Paleozoic Alkaline and Mafic Magmatic Events in Southern Qinling Belt, Central China: Evidences for the Break up of the Paleo Tethyan Ocean[J]. Geological Review, 2014, 60(6):1437-1452.
- 邓奇, 王剑, 汪正江, 等. 扬子北缘元古宇马槽园群时代归属新证据—一对地层对比和古地理格局的启示[J]. 地质通报, 2013, 32(4):631-638.
- DENG Qi, WANG Jian, WANG Zhengjiang, et al. New evidence for the age of the Macao Yuan Group on the northern margin of the Yangtze block, South China—implications for stratigraphic correlation and palaeogeographic framework[J]. Geological Bulletin of China, Geological Bulletin of China, 2013, 32(4):631-638.
- 丁振举, 文成雄, 国阿千, 等. 西秦岭吴家山群地层时代及物源特征: 来自碎屑锆石 U - Pb 年龄证据[J]. 地球科学与环境学报, 2018, 40(2):111-132.
- DING Zhenju, WEN Chengxiong, GUO Aqian, et al. Stratigraphic Ages and Provenance Characteristics of Wujiashan Group in West Qinling, China: Evidences from Detrital Zircon U - Pb Age[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2018, 40(2):111-132.
- 杜远生. 西秦岭造山带泥盆纪沉积地质学和动力沉积学研究: 西秦岭南带泥盆纪裂陷槽盆地、摩天岭地体沉积特征和盆地格局[J]. 岩相古地理, 1995, 15(6):48-61.
- DU Yuansheng. Sedimentary geology and dynamic sedimentology of the devonian strata in the West Qinling orogenic belt; sedimentary characteristics and framework of the devonian rift trough and motianling terrane in the southern belt of the west qinling orogenic belt[J]. Lithofacies Palaeogeography, 1995, 15(6):48-61.
- 杜远生, 盛吉虎, 冯庆来, 等. 南秦岭勉略古缝合带非史密斯地层和古海洋新知[J]. 现代地质, 1998, 12(1):26+28-32.
- DU Yuansheng, SHENG Jihu, FENG Qinglai, et al. new recognition of non-smith stratigraphy and paleoceanography of mianxian-lueyang paleosuture in southern qinling[J]. geoscience, 1998, 12(1):26+28-32.
- 段博林, 苏犁, 王静, 等. 扬子板块西北缘新元古代洋县桑溪沟花岗岩成因: Rodina 超大陆裂解与地壳重熔[J]. 地球化学, 2018, 47(5):506-521.
- DUAN Bolin, SU Li, WANG Jing, et al. Origin of Neoproterozoic complexes in the northwestern margin of the Yangtze plate Sangxigou granite: Breakup of the Rodinia supercontinent and melting of the crust[J]. Geochimica, 2018, 47(5):506-521.
- 段亮. 南秦岭与扬子地体西北缘志留—泥盆系碎屑锆石物源分析及构造意义[D]. 西安:西北大学, 2010, 1-84.
- DUAN Liang. Detrital zircon provenance of the Silurian and Devonian in South Qinling, and the northwestern margin of Yangtze terrane and its tectonic implications[D]. Xi'an Northwestern University, 2010, 1-84.
- 耿英英. 扬子地块北缘花岗岩 SHRIMP 锆石 U - Pb 定年及地球化学特征研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2010, 1-60.
- GENG Yingying. SHRIMP U - Pb zircon geochronology and geochemistry study of Neoproterozoic granites in the northern margin of Yangtze continental[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2010, 1-60.
- 宫相宽, 陈丹玲, 赵姣. 陕西铜厂闪长岩地球化学、锆石 U - Pb 定年及 Lu - Hf 同位素研究[J]. 西北地质, 2013, 46(3):50-63.
- GONG Xiangkuan, CHEN Danling, ZHAO Jiao. Studies on Geochemistry, Zircon U - Pb Dating and Lu - Hf Isotope Composition of the Tongchang Diorites, Shaanxi Province[J]. Northwest Geology, 2013, 46(3):50-63.
- 蒋幸福. 扬子克拉通黄陵背斜庙湾蛇绿杂岩成因及大地构造意义[D]. 武汉:中国地质大学, 2014, 1-148.
- JIANG Xingfu. Genesis and Tectonic Significance of the Miaowan hiole Complex in the Huangling Anticline, Yangtze Craton[D]. Wuhan: China University of Geosci-

- ences, 2014, 1-148.
- 赖绍聪, 李永飞, 秦江锋. 碧口群西段董家河蛇绿岩地球化学及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007, 37(增刊): 262-270.
- LAI Shaosong, LI Yongfei, QING Jiangfeng. Geochemistry and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Dongjiahe Ophiolite in the Western Section of Bikou Group[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2007, 37 (Suppl.): 262-270.
- 李瑞保, 裴先治, 丁仁平, 等. 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[J]. 地质学报, 2009, 83(11): 1612-1623.
- LI Ruibao, PEI Xianzhi, DING Sanping, et al. 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[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(11): 1612-1623.
- 李三忠, 赖绍聪, 张国伟, 等. 秦岭勉略带康县-高川段现今结构与岩片性质[J]. 华南地质与矿产, 2001, (3): 1-8.
- LI Sanzhong, LAI Shaocong, ZHANG Guowei, et al. Slab property and current architecture of the Mianxian-Lueyang suture zone of the Qinling orogenic belt[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2001, (3): 1-8.
- 李三忠, 张国伟, 李亚林, 等. 秦岭造山带勉略缝合带构造变形与造山过程[J]. 地质学报, 2002, 76(4): 469-483.
- LI Sanzhong, ZHANG Guowei, LI Yalin, et al. Deformation and Orogeny of the Mian-Lue Suture Zone in the Qinling Orogenic Belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76 (4): 469-483.
- 李亚林, 方维萱, 张国伟, 等. 秦岭勉略构造带组成、变形特征及与成矿关系[J]. 西北地质科学, 2000, 21(1): 69-76.
- LI Yalin, FANG Weixuan, ZHANG Guowei, et al. Composition and deformation of Mian-Lue suture zone and their relationship with mineralization, Qinling orogenic belt[J]. Northwest Geoscience, 2000, 21(1): 69-76.
- 李亚林, 李三忠, 张国伟. 秦岭勉略缝合带组成与古洋盆演化[J]. 中国地质, 2002, 29(02): 129-134.
- LI Yalin, LI Sanzhong, ZHANG Guowei. Composition of the Mianlue suture zone and its relation with the evolution of the old oceanic basin[J]. Geology In China, 2002, 29 (2): 129-134.
- 李永飞, 赖绍聪, 秦江锋, 等. 碧口火山岩系地球化学特征及 Sr-Nd-Pb 同位素组成晋宁期扬子北缘裂解的证据[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007, 37(S1): 295-306.
- LI Yongfei, LAI Shaocong, QING Jiangfeng, et al. Geochemical Characteristics of Bikou Volcanic Series and Evidence of Sr-Nd-Pb Isotopic Composition for the Cracking of the Northern Margin of Yangtze in Jinning Period[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2007, 37(S1): 295-306.
- 李佐臣, 裴先治, 刘战庆, 等. 扬子地块西北缘后龙门山南华纪一早古生代沉积地层特征及其形成环境[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(2): 117-124.
- LI Zuochen, PEI Xianzhi, LIU Zhanqing, et al. Characteristics of Sedimentary Strata and Their Forming Environments of Nanhuan Period-Early Paleozoic of Back-Longmenshan in the Northwest Margin of Yangtze Block[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33 (2): 117-124.
- 林广春. 川西石棉花岗岩的锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征: 岩石成因与构造意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, 35(4): 611-620.
- LIN Guangchun. Zircon U-Pb Age and Petrochemical Characteristics of Shimian Granite in Western Sichuan: Petrogenesis and Tectonic Significance[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences. 2010, 35(4): 611-620.
- 林振文, 秦艳, 周振菊, 等. 南秦岭勉略带铍厂沟火山岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 2013, 29 (1): 83-94.
- LIN Zhenwen, QIN Yan, ZHOU Zhenju, et al. Zircon U-Pb dating and geochemistry of the volcanic rocks at Huachanggou area, Mian-Lue suture, South Qinlin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(1): 83-94.
- 凌文黎, 高山. 西乡群的时代与构造背景: 同位素年代学及地球化学制约[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2002, 32 (2): 101-112.
- LING Wenli, GAO Shan. Age and Tectonic Background of Xixiang Group: Constraints of Isotope Chronology and Geochemistry[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2002, 32(2): 101-112.
- 凌文黎, 高山, 程建萍, 等. 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-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素年代学的约束[J]. 岩石学

- 报,2006,22(2):387-396.
- LING WenLi,GAO Shan,CHENG Jianping, et al. Neoproterozoic magmatic events within the Yangtze continental interior and along its northern margin and their tectonic implication: constraint from the ELA-ICPMS U - Pb geochronology of zircons from the Huangling and Hannan complexes [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2):387-396.
- 刘宝珺,许效松. 中国南方岩相古地理图集:震旦纪-三叠纪[M]. 北京:科学出版社,1994,1-239.
- LIU Baojun,XU Xiaosong. Lithofacies paleogeographic Atlas of South China: Sinian -Triassic[M] Beijing:Science Press,1994,1-239.
- 刘淑文. 南秦岭古生代盆地演化中幕式流体成岩成矿作用研究[D]. 西安:长安大学,2006,1-131.
- LIU Shuwen. Research on episodic-fluid diagenesis-mineralization in Paleozoic basins of southern Qinling region [D]. Xi'an:Chang'an University,2006,1 - 131.
- 刘伟,杨晓勇,马志鑫,等. 扬子陆块北缘上两地区二长花岗岩成因:锆石 U - Pb 年代学、Hf 同位素及地球化学制约[J]. 地质学报,2018,92(1):65-76.
- LIU Wei, YANG Xiaoyong, MA Zhixing, et al. Genesis of Monzonitic Granite in the Northern Margin of Yangtze Block:Zircon U - Pb Chronology, Hf Isotope and Geochemical Constraint[J]. Acta Geologica Sinica,2018,92(1):65-76.
- 刘泽瑞. 扬子西北缘新元古代汉南酸性杂岩矿物化学研究[D]. 武汉:中国地质大学,2013,1-79.
- LIU Zerui. Mineralogical constraints on the origin of the Neoproterozoic felsic intrusions in the northwestern margin of the Yangtze Block South China[D]. Wuhan: China University of Geosciences,2013,1-79.
- 陆松年,李怀坤,陈志宏. 塔里木与扬子新元古代热-构造事件特征、序列和时代—扬子与塔里木连接(YZ - TAR)假设[J]. 地学前缘,2003,10(4):321-326.
- LU Songnian, LI Huaikun, CHEN Zhihong. characteristics, sequence and ages of neoproterozoic thermo-tectonic events between tarim and yangzi blocks-a hypothesis of yangzi-tarim connection [J]. Earth Science Frontiers, 2003,10(4):321-326.
- 罗金海,周亚军,徐欢,等. 南秦岭旬阳盆地东部晚泥盆世岩浆成因钠长岩及其构造意义[J]. 地质学报,2017,91(2):302-314.
- LUO Jinhai, ZHOU Yajun, XU Huan, et al. Late Devonian Magmatogenic Albitites in the Eastern Xunyang Basin of the South Qinling Orogen and Their Tectonic Significance[J]. Acta Geologica Sinica,2017,91(2):302-314.
- 裴先治. 勉略—阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征[D]. 西安:西北大学,2001,1-154.
- PEI Xianzhi. Geological Evolution and Dynamics of the Mian-lue-Animaqing Tectonic Zone, Central China[D]. Xi'an: Northwest University,2001,1-154.
- 裴先治,李佐臣,丁仁平,等. 扬子地块西北缘轿子顶新元古代过铝质花岗岩:锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和岩石地球化学及其构造意义[J]. 地学前缘,2009,16(3):231-249.
- PEI Xianzhi, LI Zuochen, DING Sanping, et al. Neoproterozoic Jiaoziding peraluminous granite in the northwest margin of Yangtze Block:Zircon SHRIMP U-Pb age and geochemistry, and their tectonic significance[J]. Earth Science Frontiers,2009,16(3):231-249.
- 平先权,郑建平,熊庆,等. 扬子西北缘碧口块体花岗质岩体锆石 U - Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2014,44(4):1200-1218.
- PING Xianquan, ZHENG Jianping, XIONG Qing, et al. Zircon U Pb Ages and Hf Isotope Characteristics of the Granitic Plutons in Bikou Terrane, Northwestern Yangtze Block, and Their Geological Significance[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2014,44(4):1200-1218.
- 盛吉虎,杜远生,冯庆来. 南秦岭勉略蛇绿混杂岩带硅质岩沉积环境研究[J]. 地球科学,1997,22(6):41-44.
- SHENG Jihu, DU Yuansheng, FENG Qinglai. Depositional environments of cherts in the ophiolite Melange belt from mian-lue, shaanxi province [J]. Earth Science, 1997,22(6):41-44.
- 王梦玺,王焰,赵军红. 扬子板块北缘周庵超镁铁质岩体锆石 U/Pb 年龄和 Hf - O 同位素特征对源区性质和 Rodinia 超大陆裂解时限的约束[J]. 科学通报,2012,57(34):3283-3294.
- WANG Mengxi, WANG Yan, ZHAO Junhong. Zircon U - Pb dating and Hf-O isotopes of the Zhouan ultramafic intrusion in the northern margin of the Yangtze Block, SW China: Constraint on the nature of mantle source and timing of the supercontinent Rodinia breakup[J]. Chinese Science Bulletin,2012,57(34):3283-3294.

- 王瑞瑞. 南秦岭新元古代—古生代岩浆事件与中生代冷碰撞造山[D]. 北京:中国地质科学院,2013,1-154.
- WANG Ruirui. Neoproterozoic and Paleozoic magmatic events and Mesozoic cold collisional orogen of South Qinling central China[D]. Beijing:Chinese Academy of Geological Sciences,2013,1-154.
- 王涛. 南秦岭增生杂岩带构造岩石组合及其形成过程[D]. 北京:中国地质科学院,2008,1-108.
- WANG Tao. Tectonic-Lithological assemblages of Southern Qinling accretionary complex and their formation process[D]. Beijing:Chinese Academy of Geological Sciences,2008,1-108.
- 王涛,王宗起,闫臻,等. 南秦岭大堡组奥陶纪洋岛玄武岩的识别及其构造意义:来自地球化学和年代学证据[J]. 岩石学报,2009,25(12):3241-3250.
- WANG Tao, WANG Zongqi, YAN Zhen, et al. Identification of the Ordovician oceanic island basalts and their tectonic significance of the Dabao Formation in southern Qinling: Constraints from geochemistry and geochronology of oceanic island basalt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009,25(12):3241-3250.
- 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. Geogenic Mineralogy of Zircon and its Restriction on U - Pb Age Interpretation[J]. Chinese Science Bulletin,2004,49(16):1589-1604.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 碧口群火山岩岩石成因研究[J]. 地学前缘,2007,14(3):84-101.
- XIA Linqi, XIA Zuchun, XU Xueyi, et al. Petrogenesis of the Bikou Group volcanic rocks[J]. Earth Science Frontiers,2007,14(3):84-101.
- 向忠金,闫全人,宋博,等. 北大巴山超基性、基性岩墙和碱质火山杂岩形成时代的新证据及其地质意义[J]. 地质学报,2016,90(5):896-916.
- XIANG Zhongjin, YAN Quanren, SONG Bo, et al. New Evidence for the Ages of Ultramafic to Mafic Dikes and Alkaline Volcanic Complexes in the North Daba Mountains and Its Geological Implication[J]. Acta Geologica Sinica,2016,90(5):896-916.
- 许光,王坤明,王宗起,等. 北大巴山花栎村镁铁质岩地球化学、年代学及其构造环境制约[J]. 地质通报,2018,37(7):1279-1290.
- XU Guang, WANG Kunming, WANG Zongqi, et al. Geochemistry and geochronology of Hualicun mafic rocks in North Daba Mountain and tectonic control[J]. Geological Bulletin of China,2018,37(7):1279-1290.
- 徐大良,彭练红,刘浩,等. 南秦岭北缘浙川地区泥盆纪地层的物源及构造背景[J]. 地球科学,2018,43(7):2234-2248.
- XU Daliang, PENG Lianhong, LIU Hao, et al. Provenance and Tectonic Settings of Devonian Sedimentary Strata in Xichuan Area, Northern Margin of South Qinling Block[J]. Earth Science,2018,43(7):2234-2248.
- 徐通,裴先治,李瑞保,等. 勉略构造带横现河地区张岩沟双峰式火山岩的地球化学特征、LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 年龄及其构造意义[J]. 中国地质,2013,40(6):1777-1792.
- XU Tong, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Geochemical characteristics, LA - ICP - MS zircon U - Pb dating and tectonic significance of Zhangyangou bimodal volcanic rocks in Hengxianhe area, Mian-Lue tectonic zone[J]. Geology in China,2013,40(6):1777-1792.
- 徐通,裴先治,刘成军,等. 南秦岭勉略构造带张儿沟新元古代变安山岩地球化学特征及锆石 LA - ICP - MSU - Pb 年龄——Rodinia 超大陆聚合事件的记录[J]. 地质论评,2016,62(2):434-450.
- XU Tong, PEI Xianzhi, LIU Chenjun, et al. Geochemical Features and Zircon LA - ICP - MS U - Pb Ages of the Neoproterozoic Zhangergou Metamorphic Andesitic Rocks in the Mianxian-Lueyang Area of South Qinling Orogen: Evidence for Amalgamation of Rodinia Supercontinent[J]. Geological Review,2016,62(2):434-450.
- 徐通. 秦岭南缘勉略构造带康县—略阳地区组成特征及构造演化研究[D]. 西安:长安大学,2016,1-136.
- XU Tong. Component Features and Tectonic Evolution of Mianlue Tectonic Zone in Kangxian-Lueyang Area, South of Qinling Orogen[D]. Xi'an:Changan University,2016,1-136.
- 徐通,裴先治,李瑞保,等. 南秦岭勉略构造带黑沟火山岩年代学及地球化学特征——新元古代勉略洋盆存在及俯冲的记录[J]. 地质论评,2017,63(2):375-394.
- XU Tong, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Ages and Geochemical Features of the Heigouxia Volcanic Rocks in the Mianxian—Lueyang Area of South Qinling Orogen: Evidence for Existence and Subduction of Neoproterozoic Mianxian-Lueyang Ocean[J]. Geological Review,2017,

63(2):375-394.

闫全人,王宗起,闫臻,等. 碧口群火山岩的时代—SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果[J]. 地质通报,2003,22(6): 456-458.

YAN Quanren, WANG Zongqi, YAN Zhen, et al. Geochronology of the Bikou Group volcanic rocks: Newest results from SHRIMP zircon U-Pb dating[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(6): 456-458.

闫全人,王宗起,闫臻,等. 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[J]. 地质论评,2007,53(6):755-764.

YAN Quanren, WANG Zongqi, YAN Zhen, et al. SHRIMP Analyses for Ophiolitic-Mafic Blocks in the Kangxian-Mianxian Section of the Mianxian-Lueyang Melange: Their Geological Implications[J]. Geological Review, 2007, 53(6): 755-764.

叶霖,程增涛,陆丽娜,等. 陕南勉略宁地区铜厂闪长岩岩石地球化学及 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学[J]. 岩石学报,2009,25(11):220-226.

YE Lin, CHENG Zengtao, LU Lina, et al. Petrological geochronology and zircon SHRIMP U-Pb of Tongchang diorites, Mianluening area, Southern Shaanxi province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(11): 220-226.

张成立,刘良,王涛,等. 北秦岭早古生代大陆碰撞过程中的花岗岩浆作用[J]. 科学通报,2013,58(23):2323-2329.

ZHANG Chengli, LIU Liang, WANG Tao, et al. Granitic magmatism related to early Paleozoic continental collision in the North Qinling belt[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(23): 2323-2329.

张国伟,孟庆任,赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学(B辑),1995,25(9):994-1003.

ZHANG Guowei, MENG Qinren, LAI Shaocong. Structure and Structure of Qinling Orogenic Belt [J]. Science in China Series B-Chemistry, 1995, 25(9): 994-1003.

张国伟,孟庆任,于在平,等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D辑:地球科学),1996,26(3): 193-200.

ZHANG Guowei, MENG Qinren, YU Zaiping, et al. Orogenic Process and Dynamics of Qinling Orogenic Belt[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 1996, 26(3): 193-200.

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, 2001, 1-855.

张国伟,董云鹏,赖绍聪,等. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2003, 33(12): 1121-1135.

ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, LAI Shaocong, et al. Mianlue tectonic zone and Mianlue suture zone on southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2003, 33(12): 1121-1135.

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 tectonic [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 23-32.

张国伟,董云鹏,赖绍聪,等. 秦岭勉略构造带与中国大陆构造[M]. 北京:科学出版社,2015,1-510.

ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, LAI Shaocong, et al. The Mianlue Tectonic Zone of the Qinling Orogen and China Continental Tectonics [M]. Beijing: Science Press, 2015, 1-510.

张宗清,唐索寒,张国伟,等. 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[J]. 地质学报,2005,79(4):531-539.

ZHANG Zongqing, TANG Suohan, ZHANG Guowei, et al. Ages of Metamorphic Mafic-Andesitic Volcanic Rock Blocks and Tectonic Evolution Complexity of Mianxian-Lueyang Ophiolitic Melange Belt [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(4): 531-539.

赵凤清,赵文平,左义成,等. 陕南汉中地区新元古代岩浆岩 U-Pb 年代学[J]. 地质通报,2006,25(3):383-388.

ZHAO Fengqing, ZHAO Wenping, ZUO Yicheng, et al. U-Pb geochronology of Neoproterozoic magmatic rocks in Hanzhong, southern Shaanxi, China [J]. Geological Bulletin Of China, 2006, 25(3): 383-388.

邹先武,段其发,汤朝阳,等. 北大巴山镇坪地区辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学特征[J]. 中国地质,2011,38(2):282-291.

ZOU Xianwu, DUAN Qifa, TANG Chaoyang, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating and lithogeochemical characteristics of diabase from Zhenping area in North

- Daba Mountain[J]. *Geology In China*, 2011, 38(2): 282-291.
- BADER T, RATSCHBACHER L, et al. The heart of China revisited, I. Proterozoic tectonics of the Qin mountains in the core of supercontinent Rodinia[J]. *Tectonics*, 2013, 32(3): 661-687.
- CHEN, L Y, LIU X C, QU, et al. U - Pb Zircon Ages and Geochemistry of the Wuguan Complex in the Qinling Orogen, Central China; implications for the Late Paleozoic Tectonic Evolution between the Sino-Korean and Yangtze Cratons[J]. *Lithos*, 2014, 192-195: 192-207.
- DONG YUNPENG, LIU XIAOMING, SANTOSH, et al. Neoproterozoic subduction tectonics of the northwestern Yangtze Block in South China: Constrains from zircon U-Pb geochronology and geochemistry of mafic intrusions in the Hannan Massif[J]. *Precambrian Research*, 2011, 189(1-2): 66-90.
- DONG YUNPENG, LIU XIAOMING, SANTOSH, M, et al. Neoproterozoic accretionary tectonics along the northwestern margin of the Yangtze Block, China: Constraints from zircon U - Pb geochronology and geochemistry [J]. *Precambrian Research*, 2012, 196-197: 247-274.
- DONG YUNPENG, SANTOSH, et al. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China[J]. *Gondwana Research*, 2016, 29(1): 1-40.
- HUANG B, ZHOU Y, ZHU R, et al. Discussion on Phanerozoic evolution and formation of continental China , based on paleomagnetic studies[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(3): 348-359.
- LIU, X. C. U - Pb Zircon Age and Ucochemical Constraints on Zcctonic Evolution of the Palcozoic Accretionary Orogenic System in the Zongbai Orogen, Central China [J]. *Tectooophysics*, 2013, 599(4): 67-88.
- MENG QINGREN, ZHANG GUOWEI. Timing of collision of the North and South China blocks; Controversy and reconciliation[J]. *Geology*, 1999, 27(2): 123-126.
- WANG X C, LI X H, Li W X. et al. The Bikou Basalts in the Northwestern Yangtze Block, South China; Remnants of 820-810 Ma Continental Flood Basalts [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2008, 120 (11-12): 1478-1492.
- WU, Y. B. ZHENG, Y. F, et al. Tectonic Evolution of a Compolite Collision Orogen; An Overview on the Qinling Tongbai-Hong'an-Dabi-Sulu Orogenic Belt in Central China [J]. *Goodwana Research*, 2013, 23 (4): 1402-1428.
- YAN, Z, WANG. Ucochemical Constraints on the Provenance and Depositional Setting of the Devonian Liuling Uroup, East Qinling Mountains, Central China; Implications for the Tectonic Evolution of the Qinling Orogenic Belt[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2012, 82 (1): 9-20.
- YAN Z, FU C L, WANG Z Q, et al. Late Paleozoic Subduction-Accretion along the Southern Margin of the North Qinling Terrane, Central China; Evidence from Zircon U-Pb Dating and Geochemistry of the Wuguan Complex [J]. *Gondwana Research*, 2016, 30: 97-111.
- YANG Z, SUN Z, YANG T, et al. A long connection 750 ~ 380 Ma between South China and Australia; paleomagnetic constraints. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 220(3-4): 423-434.
- ZHAO J. H, M. f et al. Melting of Newly Formed Mafic Crust for the Formation of Neoproterozoic I-Type Granite in the Hannan Region, South China[J]. *The journal of Geology*, 2009, 117(1): 54-70.
- ZHOU M. F, KENNEDY. Neoproterozoic Arc Related Mafic Intrusions along the Northern Margin of South China; Implications for the Accretion of Rodinia[J]. *The journal of Geology* 2002, 110(5): 611-618.