

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.02.007

秦岭南缘勉略构造带小碛河—长坝地区变质地层碎屑 锆石 U-Pb 年龄及地质意义

李荣¹, 裴先治^{1,2,*}, 李佐臣^{1,2}, 裴磊^{1,2}, 刘成军^{1,2}, 高峰^{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,
自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘 要: 南秦岭南缘勉略构造带小碛河—长坝地区发育一套时代有争议的低角闪岩相变质沉积地层。由于该变质沉积地层受到了强烈变质和变形作用的改造, 且缺少精确的年代学证据, 在以往的地质研究和地质图中将其形成时代划归为古元古代、早古生代、志留纪—三叠纪、泥盆纪、泥盆纪—石炭纪等。笔者以该区的变质碎屑岩为研究对象, 进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究, 完成锆石测点一个样品共计 80 个, 获得小碛河—长坝地区的变质地层主要碎屑锆石年龄为 850~658 Ma, 最小年龄加权平均值为 (576.5 ± 12.4) Ma。结合前人资料, 认为小碛河—长坝地区变质地层的沉积时代主体应为早古生代; 物源主要来自勉略构造带内部火山岩、碧口微地块及扬子地块西北缘新元古代岩浆岩; 其沉积事件对应了勉略构造带及扬子地块西北缘地区早古生代伸展裂陷沉积过程。

关键词: 南秦岭; 勉略构造带; 碎屑锆石; 变质沉积地层; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

中图分类号: P597

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)02-0126-21

Detrital Zircon U-Pb Age and Geological Significance of Metamorphic Strata from Xiaobianhe-Changba Area in the Mianlue Tectonic Belt of Southern Qinling

LI Rong¹, PEI Xianzhi^{1,2,*}, LI Zuochen^{1,2}, PEI Lei^{1,2}, LIU Chenjun^{1,2}, GAO Feng^{1,2}

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MNR, Xi'an 710054, Shaanxi, China;)

Abstract: A set of low-amphibolite facies metasedimentary stratum with the age undetermined is exposed in the Xiaobianhe-Changba area, Mianlue tectonic belt of the South Qinling orogeny. The formation of the era was classified as Paleoproterozoic, Early Paleozoic, Silurian-Triassic, Devonian etc, due to the long-standing controversy over its formation and the lack of accurate

收稿日期: 2019-05-31; 修回日期: 2019-07-19

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“秦岭南缘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), 陕西省自然科学基金面上项目“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: 李荣(1994-), 男, 长安大学地质学专业硕士研究生。E-mail: 1084525924@qq.com

* **通讯作者:** 裴先治(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 从事构造地质学和区域地质学研究。E-mail: peixzh@chd.edu.cn

chronological evidence. In this paper, the study of LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology of metamorphic clastic rocks is carried out on the metamorphic clastic rocks in this area, and a sample of zircon measuring points is completed with a total of 80 points. The metamorphism is obtained in the Xiaobianhe-Changba area, in which the minimum age-weighted average of metamorphic stratigraphic units in Xiaobianhe-Changba area is 576.5 ± 12.4 Ma, and the age of main clastic zircon ages is between 850 Ma and 658 Ma. Based on the previous data, it is considered that the sedimentary age of metamorphic stratigraphic units should be Early Paleozoic in Xiaobianhe-Changba area; the provenances mainly come from the volcanic rocks in the Mianlue tectonic belt, the Neoproterozoic magmatic rocks in Bikou block in the northwestern margin of the Yangtze block; their sedimentary events correspond to the Early Paleozoic sedimentary process of the extensional rifting in Mianlue tectonic belt and the northwestern margin of the Yangtze block.

Keywords: Southern Qinling; Mianlue Tectonic Belt; Detrital Zircons; Metasedimentary stratum; LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating

0 引言

勉略构造带位于秦岭造山带南缘,是继商丹构造带后秦岭造山带中发现的另一条具有重要地质意义的板块缝合带,因为其在勉县—略阳地区出露较为完整,研究较为详细而称为勉略构造带(张国伟等,2003)。秦岭造山带自形成以来经历了陆内造山作用和中新代以来构造的叠加改造,发育有大量的逆冲推覆构造。虽然勉略构造带的很多区段受后期构造作用掩盖,局部呈残留状态,但仍可恢复重建出一条贯穿中央造山系南缘,由不同时代、不同性质和类型的蛇绿岩、弧火山岩和沉积构造岩块(岩片)及花岗岩类组成的大型板块缝合带(张国伟等,2015)。尽管前人已在勉略构造带内开展了大量深入、细致的研究工作,但勉略构造带的具体形成时代却仍存在较大争议。学者最开始认为勉略洋盆于中晚泥盆世已经打开,晚古生代中期为洋盆扩张时期,至三叠纪洋盆已经闭合(张国伟等,1995,2003,2004,2015;李曙光等,1996,2003;赖绍聪等,2002)。随着研究的深入,勉略构造带中变火山岩大量新元古代时期的年龄被报道,先后识别出了洋壳型岩浆岩、俯冲型岩浆岩及裂解型岩浆岩(李曙光等,2003;张宗清等,2005;闫全人等,2007;李瑞保等,2009;王涛等,2008,2011;徐通等,2013,2016;林振文等,2013),并认为勉略洋盆的存在时限应为新元古代早期,于新元古代中期完成洋壳俯冲、碰撞过程,并转入新一轮的裂解阶段(张宗清等,2005;闫全人等,

2007;李瑞保等,2009;徐通等,2013,2016)。尽管很多学者已对勉略构造带进行了大量的研究,有大量的锆石 U-Pb 测年资料,但是这些测年资料多集中在岩浆岩,然而对于呈构造岩块出露的变质沉积岩系研究程度较低。目前已有的资料主要划分有南华系关家沟组、上震旦统一寒武统相公山白云岩、下寒武统临江组、上奥陶统大堡岩组、下泥盆统三河口群、下中泥盆统踏坡组、中泥盆统一石炭统略阳组 and 上石炭统岷河组。对这些沉积地层的研究,有助于对勉略构造带不同的构造环境和沉积特征进行复原,进而建立合理的构造体制和陆洋演化模式。

在南秦岭勉略构造带小偏河—长坝地区发育一套时代存在很大争议的变质沉积地层。张二朋等(1992)编制的 1:100 万《秦岭—大巴山及邻区地质图》中,该套变质地层被划分为中下泥盆统;在陕西省地质矿产勘查开发局综合研究队(1996)完成的 1:5 万何家岩镇幅地质图中,该变质地层作为勉略蛇绿混杂岩带的组成部分被划分为古生界—三叠系五郎坪绿泥钠长片岩、志留系—三叠系方家坝二云石英片岩和泥盆系—石炭系长坝大理岩等非正式构造岩石单位。陕西省地质调查院(2007)完成的 1:25 万略阳县幅地质图中被划分为古元古界“低庄沟岩组”和“沙坝岩组”;在陕西省地质调查院(2003)完成的 1:25 万汉中市幅地质图和陕西省地质调查中心(2012)完成的 1:5 万贾旗寨幅地质图中被划分为古元古界“低庄沟岩组”、“沙坝岩组”和泥盆系—石炭系金家河千枚岩。在长安大学地质调查研究院(2012)编制的《西秦岭勉略构造带地质图》中也将其

划分为中元古界的“低庄沟岩组”、“沙坝岩组”。在徐学义等(2012)最新编制的 1:50 万《秦岭及邻区地质图》中,该变质地层则标注为勉略构造混杂岩带中“时代未定岩块(片)”。在陕西省地质调查院(2014)新编制的《中国区域地质志·陕西志》和 1:50 万《陕西省地质图》中,该变质地层也被划归为古元古界长角坝岩群(低庄沟岩组和沙坝岩组)。这种缺少精确的年代学证据的地层划分,造成了其形成时代长期存在争议。为解决其形成时代和物源问题,笔者以该地区变质沉积碎屑岩为研究对象,进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究,探讨其形成时代及物源,为勉略构造带及邻区构造演化提供有效信息。

1 区域地质背景

秦岭造山带被认为是华北板块与扬子板块的结合带(李春昱等,1980;王鸿祯等,1982;张国伟等,1995,2001,2003)(图 1a),其南北两侧发育有 2 条蛇绿构造混杂岩带,北侧为商丹构造带,南侧为勉略构造带(张国伟等,2015)。

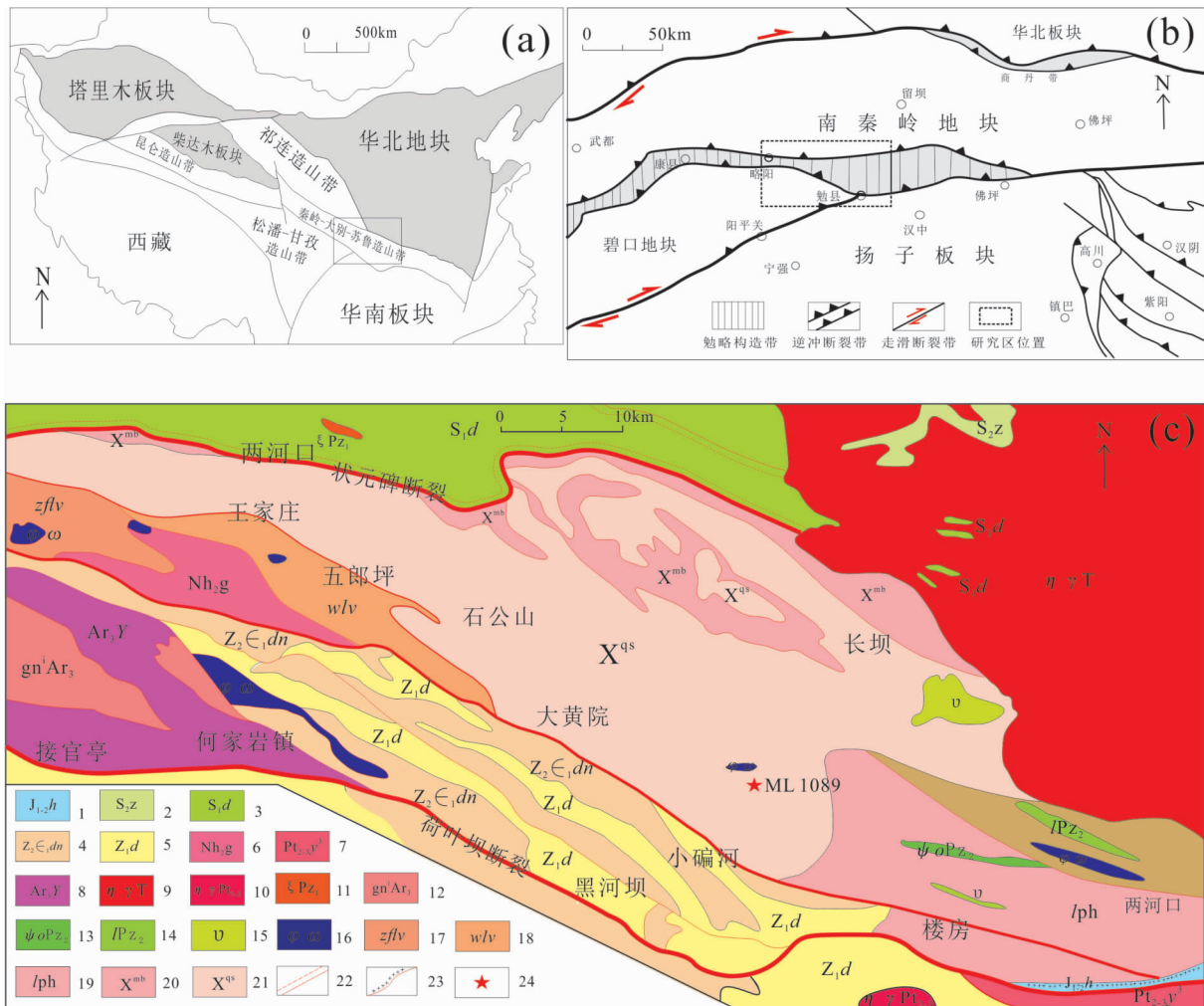
勉略构造带处于秦岭微板块与扬子板块北缘构造交接部位(图 1b),其最早由李春昱等(1980)提出,张国伟等(1995,2001,2003)系统论证了其为一蛇绿构造混杂岩带,是中国大陆横贯东西、分割南北的主要断裂复合构造带,也是中国大陆主体拼合的主要结合带和秦岭造山带乃至中央造山系的基本组成部分。受构造作用改造,内部发育大量由北向南的韧性剪切推覆断层,将不同构造岩片以不同逆冲角度自北而南推覆叠置组成叠瓦状构造(张国伟等,1995,2003;裴先治,2001;裴先治等,2002;李亚林等,2001;李三忠等,2002)。勉略构造带内发育不同时代、不同性质的(变)沉积岩、岩浆岩。勉略构造带内研究区附近岩浆岩主要出露有纸房沟火山岩岩片($zflv$)和五郎坪火山岩岩片(wlv),变质沉积岩系有时代未定片岩组合(X^{qs})、时代未定大理岩(X^{mb})和关家沟组(Nh_2g)。纸房沟火山岩岩片($zflv$)是勉略构造带的火山岩片中规模最大的一个,岩性复杂,其原岩以变玄武岩为主,次为玄武安山岩、安山岩等。五郎坪火山岩岩片(wlv)为灰绿—绿灰色钠长绿泥石英片岩夹少量条带状绢云绿泥片岩,原岩为一套玄武岩、安山岩夹“变辉长岩”组合。关家沟组(Nh_2g)岩性组成较为复杂,具有砾

岩、含砾砂岩、变砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩、含砾凝灰岩、凝灰质碎屑岩等岩性组合。苏联国等(2018)通过对略阳火神庙地区变质沉积岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年方法获得其碎屑锆石年龄为 932~723 Ma,将其形成时代定为南华纪。

研究区处于勉略构造带内部,在小碚河—大黄页断裂以北与南侧碧口微地块北缘震旦系沉积盖层相邻,两河口断裂以南与北侧南秦岭带志留系白龙江岩群相邻。由于该变质地层受到了强烈变质和变形作用的改造,在以往的地质研究和地质图中均划归为变质地层,没有明确的同位素年龄证据和古生物证据,地层形成时代与地层归属尚存在很大争议,按徐学义等(2012)最新编制的 1:50 万《秦岭及邻区地质图》将该变质地层标注为勉略构造混杂岩带中主要为一套时代未定片岩组合(X^{qs})和一套时代未定大理岩组合(X^{mb})。笔者将其暂称为小碚河—长坝变质沉积岩系。其主要岩性由灰色云母石英片岩、深灰色黑云斜长片麻岩和浅灰色大理岩组成。云母石英片岩变形较强,广泛发育紧闭同斜褶皱,长英质矿物拉伸成条纹状。黑云斜长片麻岩构造变形强烈,顺片麻理发育有同构造石英分泌脉体,且脉体多呈无根勾状褶皱形态。大理岩风化面为灰色、灰黑色,新鲜面灰白色,具细粒粒状变晶结构,块状构造。变质矿物组合反映其达到低角闪岩相变质程度。

勉略构造带北侧以状元碑区域性断裂为界,以北属于南秦岭构造带,主要出露地层有志留系白龙江岩群迭部岩组(S_1d)和舟曲岩组(S_2z)。其为一套巨厚的海相浊积岩,主要由砂岩、粉砂岩、泥岩以及少量含化石灰岩块体组成,在灰岩块体中发现志留纪一中泥盆世的珊瑚和中泥盆世的牙形刺等化石,在基质中发现志留纪孢子、几丁虫和虫颚化石,晚古生代的介形虫、有孔虫和遗迹化石,以及石炭纪—二叠纪的放射虫,指示其沉积时代可能从志留纪持续到晚古生代(王涛,2008)。同时在长坝北侧发育有大规模的印支期后碰撞型花岗岩体,锆石 U-Pb 定年测得其形成年龄为 220~206Ma(孙卫东等,2000)。

勉略构造带南侧以荷叶坝区域断裂与碧口微地块为界,出露的地层有碧口岩群阳坝岩组(Pt_3y)火山岩系和盖层沉积的陡山沱组(Z_1d)、灯影组(Z_2dn)等。阳坝岩组(Pt_3y)为一套变质火山—沉积岩系,其上岩段为变质中酸性火山岩夹变质基性火山



1. 洪水沟组; 2. 舟曲岩组; 3. 迭部岩组; 4. 灯影组; 5. 陡山沱组; 6. 关家沟组; 7. 阳坝组上岩段; 8. 鱼洞子岩群; 9. 中细粒二长花岗岩; 10. 中细粒黑云母二长花岗岩; 11. 细粒正长岩、二长岩; 12. 花岗质片麻岩; 13. 角闪石岩; 14. 辉石岩; 15. 辉长岩; 16. 超基性岩; 17. 纸房沟岩块; 18. 五郎坪岩块; 19. 两河口千枚岩; 20. 时代未定大理岩岩块; 21. 时代未定片岩岩块; 22. 断裂带;

23. 地层不整合界线; 24. 同位素年龄采样点

图 1 (a)秦岭造山带大地构造位置简图(据 YAN et al., 2016); (b)秦岭造山带构造单元划分与研究区位置(据李三忠等, 2002); (c)小碛河—长坝地区地质略图(长安大学地质调查研究院, 2012)

Fig. 1 (a) Geotectonic location sketch map of Qinling orogenic belt; (b) structural unit division and research area location of Qinling orogenic belt; (c) geological map of research area

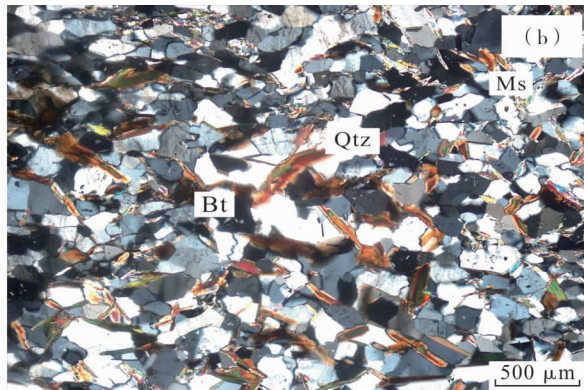
岩及少量变质沉积碎屑岩。陡山沱组(Z_1d)岩性以砂岩为主,由下到上粒序由粗到细。陡山沱组变形较为发育,与上覆灯影组呈整合接触,部分地区呈断层接触。灯影组(Z_2dn)呈北西西向带状延伸,与下伏陡山沱组呈整合接触,部分地区受构造影响呈断层接触。该组地层岩性以白云质灰岩、白云岩、硅质团块灰岩为主,含藻类与小壳类化石,指示稳定台地沉积环境。小碛河地区南侧也出露有鱼洞子杂岩,

一部分为规模不等的古老变质、变形花岗岩类侵入体-花岗质片麻岩系($\text{gn}^{\text{i}}\text{Ar}_3$),另一部分为鱼洞子岩群(Ar_3Y),是勉略构造带新太古宙的结晶基底,主要岩性为斜长角闪岩、浅粒岩、片麻岩和磁铁石英岩等。学者根据从鱼洞子岩群中获得的全岩 Sm - Nd 同位素年龄、LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 同位素年龄综合判断,其原岩形成与变质年龄均在新太古代时期(张宗清等,2001;王洪亮等,2011)。

2 样品描述及测试方法

本次研究样品(ML1089)采自勉县小碓河—长坝一带(图 1c),采样点地理坐标为($N=33^{\circ}14'50''$, $E=106^{\circ}30'09''$),采样对象为二云石英片岩(图 2)。二云石英片岩岩石风化面为灰黑色,新鲜面为灰

色,鳞片粒状变晶结构,片状构造。其矿物成分主要由石英、黑云母、白云母、斜长石等矿物组成。石英为他形粒状,含量为 50% 左右;黑云母为片状,片径 $<0.1\text{ mm}$,含量为 20% 左右;白云母,片状,片径 $<0.1\text{ mm}$,含量为 20% 左右;斜长石为粒状,含量小于 10%。暗色与浅色矿物相间断续排列。



Qtzl 石英;Bt. 黑云母;Ms. 白云母

图 2 (a)小碓河—长坝地区二云石英片岩野外露头照片及(b)显微镜下照片

Fig. 2 (a)Field outcrop photographs and (b)microscopic photographs of dolomite quartz schist in Xiaobianhe-Changba area

将所采研究样品粉碎至 80~100 目,通过浮选法和磁选法将锆石分离。在镜下挑选晶形和透明度较好的锆石,将其固定在环氧树脂靶上,抛光至锆石内部暴露,再进行锆石显微(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,用于锆石形态和内部结构研究。避开裂隙及包裹体,对不同形态、不同结构锆石进行测试,以得到更为准确的年龄信息。阴极发光图像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。锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析在北京科荟测试技术有限公司的 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行,分析仪器激光剥蚀斑束直径为 $30\text{ }\mu\text{m}$,激光剥蚀深度为 $20\sim40\text{ }\mu\text{m}$ 。锆石年龄计算采用标准锆石 91500 作为外标,元素含量采用人工合成硅酸盐玻璃 NISTSRM610 作为外标, ^{29}Si 作为内标原素进行校正。采用中国地质大学刘勇胜博士研发的 ICPMSDataCal 程序进行数据处理,采用 Isoplot 3.0 加权平均年龄计算及谐和图的绘制,具体分析方法及仪器参数可以参考李怀坤等(2009)。

3 锆石年龄测试结果

3.1 锆石特征

从锆石的阴极发光(CL)图像来看,锆石颗粒具有不同的外形特征和内部结构(图 3),长柱状、短柱状、等粒状均有发育,粒径在 $60\sim130\text{ }\mu\text{m}$,长宽比介于 $1:1\sim3:1$,绝大部分锆石具有一定的磨圆度,表明了沉积岩碎屑锆石特征。而圆状-次棱角状的形态也指示其成岩沉积物搬运距离的不同。可将锆石颗粒根据自形程度和内部结构分为 2 类:第一类自形程度好,内部结构较清楚,具有岩浆生长振荡环带结构、韵律结构,部分具扇形环带结构,表现为岩浆结晶锆石;第二类锆石发育有核边结构,反映出较为明显的后期构造热事件对锆石的改造作用,为变质成因或改造型锆石(BELOUSOVA et al., 2002; 吴元保等, 2004)。

为充分反映碎屑锆石所代表的年龄分布特点,尽可能选择包括不同锆石外形、环带结构、粒径大小

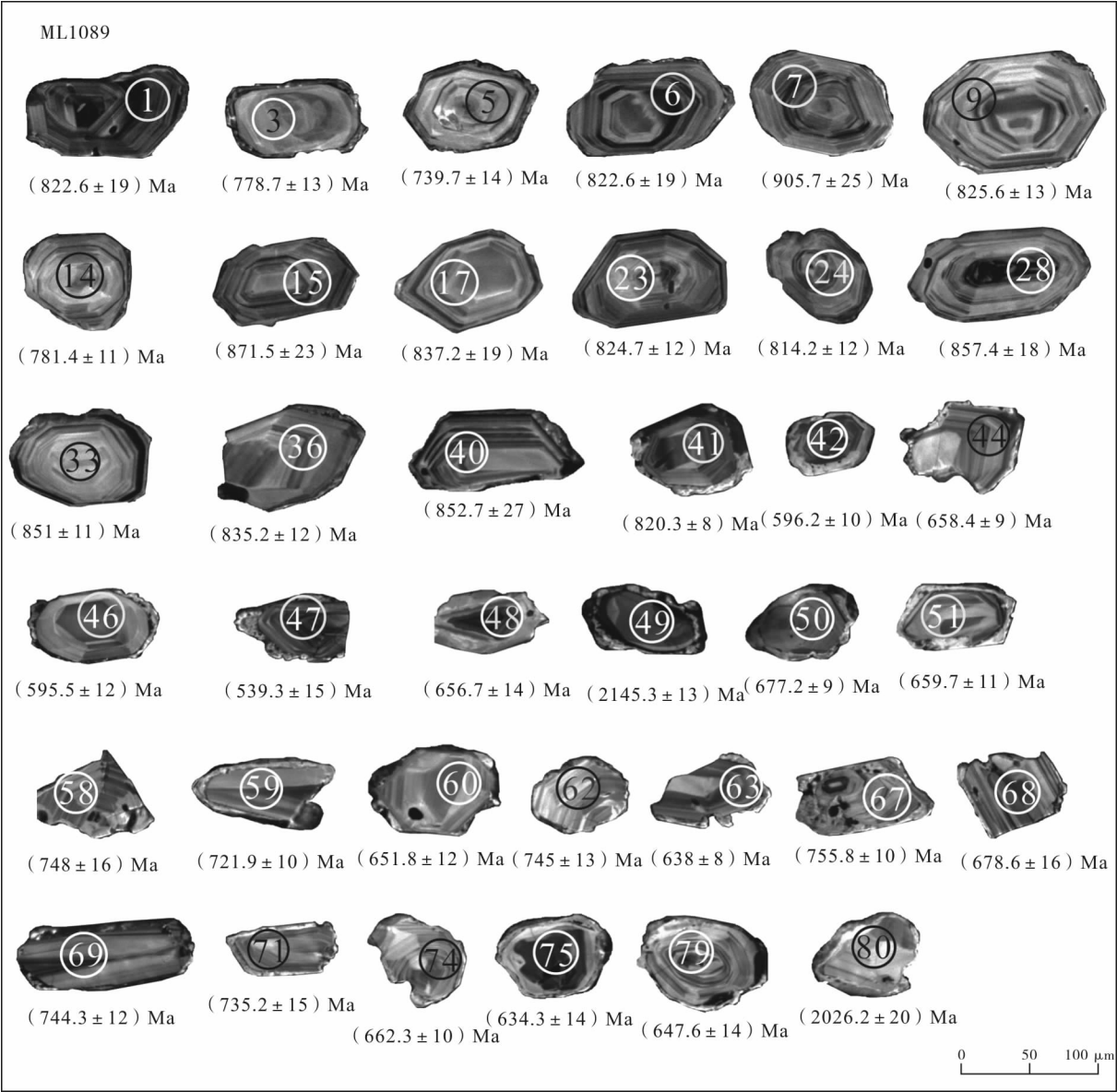


图 3 小编河—长坝地区变质沉积地层中二云石英片岩碎屑锆石 CL 图像及表面年龄图

Fig. 3 Clastic zircon CL images and surface ages of mica quartz schist in metamorphic sedimentary strata of Xiaobianhe-Changba area

的锆石。完成锆石测点 1 个样品共计 80 个。测试结果见表 1。通常认为岩浆锆石的 Th/U 值高于 0.4, 而变质锆石 Th/U 值低于 0.1 (DANIELA RUBATTO, 2002), 但其他研究发现变质锆石和混合锆石的 Th/U 值也有可能高于 0.4 (余宏全等, 2012)。因此笔者通过 Th/U 值结合锆石内部结构特征来反映锆石的成因。对于 $>1\,000\text{ Ma}$ 的样品, 由于含大量放射性成因 Pb 因而采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄, 对于 $<1\,000\text{ Ma}$ 的数据, 由于可用于测量的放射性成因 Pb 含量低和普通 Pb 校正的不确定

性, 采用更为可靠的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 表面年龄 (BELOUSOVA et al., 2002)。测试结果得出样品 ML1089 中锆石 Th/U 值为 0.34~1.87。

3.2 锆石 U-Pb 年龄

对二云石英片岩 (ML1089) 测试 LA-ICP-MS 获得 80 组锆石测点。测点位置主要分布于锆石韵律环带发育的部位, 少数位于锆石核部。选取谐和度 $>90\%$ 的分析点共 79 个进行年龄统计 (图 4)。在锆石 U-Pb 年龄谐和图中, 绝大多数测点都落在谐和线上或其附近。测点年龄值为 $2\,435\sim$

表 1 南秦岭勉略构造带小碛河—长坝地区变质地层碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试结果表

Tab. 1 LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircons in Xiaobianhe-Changba area, Mianlue tectonic belt, southern Qinling Mountains

测点	含量(10 ⁻⁶)				同位素比值				年龄				谐和度			
	²³² Th	²³⁸ U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
1	409	239	1.71	0.070 6	0.000 8	1.333 1	0.042 3	0.136 1	0.003 5	946	24	860	18	822	20	95%
2	28.5	42.0	0.68	0.069 0	0.0 01 2	1.228 4	0.026 7	0.129 2	0.002 1	898	36	814	12	783	12	96%
3	31.6	92.5	0.34	0.066 3	0.001 0	1.179 7	0.031 4	0.128 3	0.002 4	817	36	791	15	778	14	98%
4	121	91.3	1.33	0.065 2	0.000 8	1.183 9	0.018 4	0.131 9	0.002 3	783	19	793	9	799	13	99%
5	81.6	88.9	0.92	0.064 8	0.001 3	1.081 1	0.025 7	0.121 5	0.002 6	769	43	744	13	739	15	99%
6	216	188	1.15	0.075 4	0.000 9	1.552 3	0.036 8	0.150 7	0.004 6	1 080	25	951	15	905	26	95%
7	217	157	1.39	0.067 4	0.000 7	1.340 3	0.028 4	0.144 2	0.003 1	850	21	863	12	868	17	99%
8	41.0	38.8	1.06	0.067 3	0.001 8	1.269 0	0.034 4	0.136 7	0.002 0	856	56	832	15	826	11	99%
9	57.4	55.6	1.03	0.066 4	0.000 9	1.252 0	0.025 7	0.136 6	0.002 4	820	30	824	12	825	14	99%
10	104	97.8	1.06	0.067 8	0.000 9	1.296 5	0.031 7	0.138 7	0.003 2	861	27	844	14	837	18	99%
11	74.4	91.4	0.81	0.070 0	0.000 8	1.441 4	0.035 3	0.149 4	0.003 8	928	24	906	15	898	21	99%
12	53.3	52.7	1.01	0.067 4	0.000 9	1.318 5	0.022 2	0.141 8	0.002 4	852	23	854	10	855	14	99%
13	74.4	47.2	1.58	0.067 6	0.001 4	1.275 5	0.029 4	0.136 6	0.002 0	855	43	835	13	826	11	98%
14	67.8	64.0	1.06	0.066 9	0.000 7	1.190 7	0.019 7	0.128 8	0.002 0	835	22	796	9	781	11	98%
15	152	113	1.35	0.068 5	0.000 9	1.362 4	0.035 1	0.144 7	0.004 2	883	26	873	15	871	23	99%
16	135	81.6	1.65	0.067 8	0.000 9	1.303 5	0.030 7	0.140 0	0.003 8	865	32	847	14	845	21	99%
17	60.8	66.9	0.91	0.067 1	0.000 9	1.280 2	0.029 4	0.138 6	0.003 4	839	26	837	13	837	19	99%
18	91.7	88.8	1.03	0.066 8	0.000 8	1.306 3	0.027 3	0.141 5	0.002 9	831	25	849	12	853	16	99%
19	79.7	68.1	1.17	0.067 9	0.001 0	1.332 3	0.023 9	0.142 0	0.002 3	866	28	860	10	856	13	99%
20	72.7	119	0.61	0.069 3	0.000 8	1.356 2	0.025 4	0.141 9	0.002 9	906	24	870	11	856	16	98%
21	93.0	65.6	1.42	0.074 4	0.001 4	1.482 4	0.057 1	0.142 7	0.003 9	1 054	44	923	23	860	22	92%
22	167	170	0.98	0.068 1	0.000 6	1.332 9	0.028 3	0.141 8	0.003 2	872	24	860	12	855	18	99%
23	92.4	94.0	0.98	0.066 1	0.001 1	1.242 1	0.022 3	0.136 4	0.002 2	811	33	820	10	824	13	99%
24	87.2	89.2	0.98	0.066 5	0.001 3	1.235 7	0.028 2	0.134 5	0.002 2	820	40	817	13	814	12	99%
25	58.1	37.7	1.54	0.065 1	0.001 2	1.155 7	0.025 6	0.128 7	0.002 0	776	36	780	12	781	12	99%

续表 1

测点	含量(10 ⁻⁶)				同位素比值				年龄				谐和度			
	²³² Th	²³⁸ U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	
26	26.0	32.7	0.79	0.069 7	0.001 1	1.394 8	0.045 2	0.144 9	0.004 2	920	31	887	19	873	24	98%
27	96.0	80.5	1.19	0.064 8	0.001 1	1.134 1	0.023 6	0.126 6	0.001 8	769	36	770	11	769	10	99%
28	154	94.7	1.63	0.068 4	0.000 8	1.338 3	0.029 9	0.142 1	0.003 3	883	24	863	13	857	18	99%
29	101	68.1	1.48	0.068 3	0.001 0	1.312 1	0.031 4	0.140 0	0.003 6	877	27	851	14	845	21	99%
31	39.4	37.7	1.05	0.067 7	0.001 1	1.316 4	0.028 4	0.141 4	0.002 6	861	31	853	12	852	15	99%
32	55.6	55.3	1.01	0.067 3	0.000 9	1.289 9	0.034 9	0.140 0	0.004 3	856	26	841	16	845	24	99%
33	124	72.8	1.71	0.075 8	0.001 5	1.466 9	0.027 3	0.141 0	0.002 1	1 100	39	917	11	850	12	92%
34	32.2	32.4	0.99	0.067 9	0.001 4	1.322 9	0.042 6	0.142 5	0.004 6	865	37	856	19	859	26	99%
35	78.1	56.4	1.38	0.086 9	0.002 2	2.011 2	0.052 6	0.171 1	0.005 2	1 359	50	1 119	18	1 018	29	90%
36	79.0	74.0	1.07	0.066 9	0.000 8	1.273 9	0.025 5	0.138 4	0.002 5	833	28	834	11	835	14	99%
37	73.0	73.0	1.00	0.070 0	0.001 2	1.359 9	0.039 2	0.141 1	0.003 3	928	32	872	17	851	19	97%
38	62.8	42.1	1.49	0.067 6	0.001 1	1.315 2	0.023 8	0.141 4	0.002 1	857	40	852	10	853	12	99%
39	41.7	36.2	1.15	0.066 4	0.001 2	1.273 9	0.027 4	0.139 5	0.002 4	818	33	834	12	842	14	99%
40	154	95.4	1.62	0.069 7	0.000 9	1.347 8	0.042 0	0.141 2	0.004 9	920	26	867	18	852	28	98%
41	95.5	97.4	0.98	0.072 9	0.001 2	1.186 7	0.018 9	0.118 1	0.001 4	1 011	40	794	9	720	8	90%
42	144	129	1.12	0.063 8	0.000 7	0.851 7	0.015 2	0.096 8	0.001 7	744	25	626	8	596	10	95%
43	60.4	45.6	1.33	0.065 8	0.000 8	0.982 9	0.016 8	0.108 4	0.001 8	798	31	695	9	664	11	95%
44	120	115	1.04	0.066 6	0.000 7	0.989 8	0.019 3	0.107 5	0.001 6	833	33	699	10	658	9	94%
45	79.9	123	0.65	0.072 1	0.000 7	1.322 0	0.027 1	0.132 6	0.002 4	991	20	855	12	803	13	93%
46	103	69.7	1.48	0.066 0	0.001 1	0.880 1	0.021 7	0.096 6	0.002 0	806	34	641	12	595	12	92%
47	414	392	1.06	0.066 2	0.001 6	0.795 9	0.025 5	0.087 3	0.002 6	813	52	595	14	539	15	90%
48	144	186	0.77	0.070 1	0.000 8	1.037 7	0.029 2	0.107 1	0.002 5	931	24	723	15	656	15	90%
49	104	200	0.52	0.158 0	0.001 2	7.296 1	0.120 4	0.334 4	0.005 0	2 435	13	2 148	15	1 860	24	85%
50	133	133	1.00	0.066 4	0.000 7	1.013 9	0.015 0	0.110 8	0.001 6	820	22	711	8	677	9	95%
51	63.4	80.6	0.79	0.069 8	0.001 1	1.036 1	0.021 9	0.107 6	0.002 0	924	27	722	11	659	12	90%
52	28.9	34.3	0.84	0.066 3	0.001 1	0.993 1	0.023 5	0.108 4	0.001 8	815	31	700	12	663	10	94%
53	113	103	1.11	0.070 4	0.000 8	1.188 8	0.020 7	0.122 2	0.001 7	940	24	795	10	743	10	93%

续表 1

测点	含量(10^{-6})				同位素比值				年龄				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		
54	177	121	1.46	0.068 4	0.000 6	1.157 9	0.022 9	0.122 8	0.002 5	880	19	781	11	747	14	95%
55	54.5	74.1	0.74	0.069 5	0.001 3	0.982 2	0.020 0	0.102 6	0.001 8	922	41	695	10	630	11	90%
56	220	280	0.79	0.068 3	0.000 6	1.009 1	0.034 6	0.106 8	0.003 5	876	19	708	17	654	20	92%
57	139	157	0.89	0.070 0	0.001 0	1.032 0	0.028 5	0.106 4	0.002 1	928	34	720	14	652	12	90%
58	103	96.8	1.06	0.070 3	0.000 8	1.194 6	0.029 2	0.122 9	0.002 8	937	19	798	14	748	16	93%
59	131	98.3	1.33	0.072 2	0.001 1	1.162 7	0.019 2	0.116 7	0.001 9	992	36	783	9	712	11	90%
60	42.8	59.8	0.72	0.070 2	0.001 6	1.029 5	0.028 2	0.106 3	0.002 2	933	51	719	14	651	13	90%
61	166	114	1.46	0.073 2	0.000 8	1.435 8	0.031 7	0.141 9	0.003 1	1 020	22	904	13	855	17	94%
62	43.8	36.7	1.19	0.072 5	0.001 1	1.230 4	0.030 4	0.122 5	0.002 3	1 011	32	815	14	745	13	91%
63	312	167	1.87	0.069 4	0.000 7	0.999 9	0.015 7	0.104 1	0.001 4	911	16	704	8	638	8	90%
64	52.8	68.8	0.77	0.069 9	0.000 9	1.175 7	0.025 1	0.121 5	0.002 1	924	26	789	12	739	12	93%
65	197	202	0.97	0.069 3	0.000 7	0.999 6	0.012 0	0.104 6	0.001 4	906	22	704	6	641	8	90%
66	112	131	0.85	0.077 3	0.001 0	1.502 5	0.052 9	0.140 9	0.005 1	1 128	26	931	21	850	29	90%
67	36.7	91.8	0.40	0.072 6	0.001 3	1.248 4	0.030 4	0.124 2	0.001 9	1 011	36	823	14	755	11	91%
68	231	181	1.28	0.065 8	0.000 6	1.003 0	0.023 9	0.110 8	0.002 9	800	16	705	12	678	17	95%
69	252	193	1.30	0.068 9	0.000 8	1.167 8	0.024 8	0.122 4	0.002 1	898	24	786	12	744	12	94%
70	50.8	73.8	0.69	0.066 5	0.000 9	1.125 6	0.021 2	0.122 9	0.002 3	820	27	766	10	747	13	97%
71	34.8	81.0	0.43	0.071 9	0.001 4	1.211 1	0.041 4	0.120 8	0.002 7	983	39	806	19	735	15	90%
72	192	134	1.44	0.067 5	0.001 1	1.125 1	0.020 2	0.120 5	0.001 3	854	33	765	10	734	7	95%
73	152	245	0.62	0.062 9	0.000 7	1.011 7	0.016 3	0.116 7	0.001 8	706	22	710	8	712	11	99%
74	117	88.4	1.32	0.067 7	0.001 1	1.009 3	0.019 8	0.108 1	0.001 8	861	31	709	10	662	10	93%
75	210	202	1.04	0.061 5	0.001 2	0.878 1	0.028 1	0.103 3	0.002 5	657	41	640	15	634	14	99%
76	82.6	70.4	1.17	0.072 1	0.001 0	1.215 1	0.027 6	0.121 6	0.002 1	991	28	808	13	740	12	91%
77	60.9	64.8	0.94	0.064 9	0.000 9	0.973 7	0.015 7	0.108 7	0.001 4	770	30	690	8	665	8	96%
78	46.0	46.0	1.00	0.065 4	0.001 4	0.940 0	0.018 7	0.104 1	0.001 4	787	43	673	10	639	8	94%
79	90.1	115	0.79	0.066 8	0.001 0	0.973 3	0.024 5	0.105 6	0.002 5	831	31	690	13	647	15	93%
80	113	100	1.12	0.124 8	0.001 4	5.802 5	0.103 6	0.336 3	0.005 5	2 026	20	1 947	16	1 869	27	95%

注:测试单位为北京科测试技术有限公司,测试手段为激光剥蚀—等离子体质谱分析(LA-ICP-MS)。

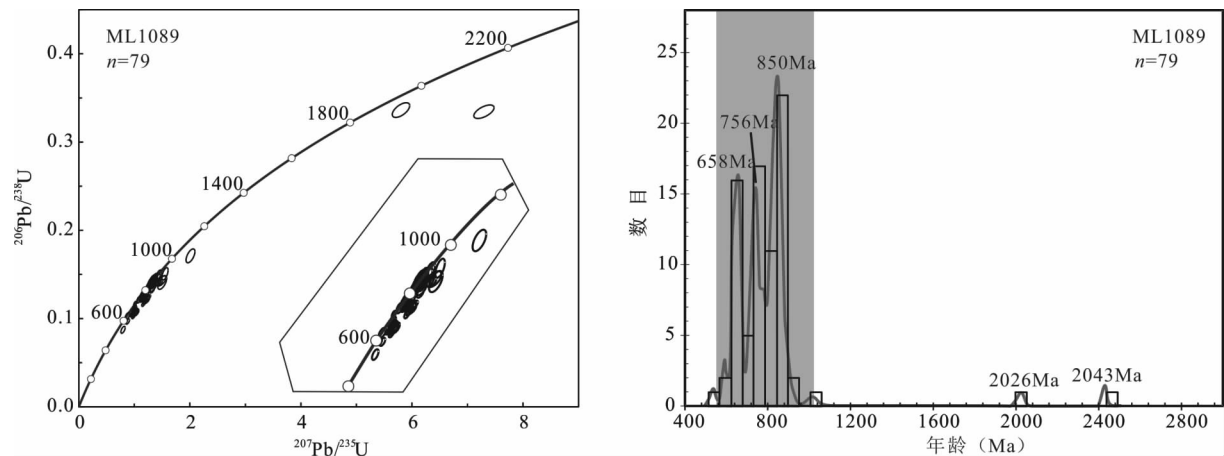


图 4 (a)小碛河—长坝地区变质沉积地层中二云石英片岩(ML1089)碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图及(b)分布直方图
Fig. 4 (a)U-Pb age harmonic diagrams and (b)distribution histograms of detrital zircons(ML1089) from metamorphic sedimentary strata in Xiaobianhe-Changba area.

539 Ma,其年龄谱可详细划分为:①古元古代年龄 2 颗,为 2 026 Ma 和 2 435 Ma,占总数 2.5%。②中元古代年龄 1 颗,为 1 018 Ma,占总数 1.27%。③新元古代年龄 76 颗,为 905~595 Ma,占总数 96.21%。该组年龄有明显峰值,峰值年龄为 850 Ma,另还有 756 Ma 和 658 Ma 两个次要峰值。

4 讨论

4.1 变质地层形成时代限定

对于南秦岭勉略构造带小碛河—长坝地区变质

沉积地层的形成时代,由于该变质沉积地层受到了强烈变质和变形作用的改造,而且没有明确的同位素年龄证据和古生物证据,在以往的地质研究和地质图,将其均划归为变质地层,但对于该套地层的命名和形成时代存在很大争议(表 2)。大多将其划归到古元古代低庄沟岩组和沙坝岩组,但也有人认为其形成时代为早古生代、志留纪—三叠纪、泥盆纪、泥盆纪—石炭纪。

在本次研究中,该变质地层中年龄最小的锆石(年龄为 596~539 Ma)有 3 颗。锆石颗粒发育清晰明显的震荡环带,表现为岩浆锆石。锆石晶形较好,

表 2 小碛河—长坝地区变质沉积岩系划分沿革表
Tab. 2 Division and Evolution Table of Xiaojinhe-Changba Metamorphic Sedimentary Rock Series

时间(年)	图名	制图人或单位	命名	时代
1992	1:100 万《秦岭—大巴山及邻区地质图》	张二朋等		早中泥盆世
1996	1:5 万何家岩镇幅	陕西省地质矿产勘查 开发局综合研究队	五郎坪绿泥钠长片岩 方家坝二云石英片岩 长坝大理岩	古生代—三叠纪 志留纪—三叠纪 泥盆—石炭纪
2003	1:25 万汉中市幅	陕西省地质调查院	低庄沟岩组和沙坝岩组	古元古代
2007	1:25 万略阳县幅	陕西省地质调查院	低庄沟岩组和沙坝岩组	古元古代
2012	1:5 万贾旗寨幅	陕西省地质调查中心	金家河千枚岩 低庄沟岩组和沙坝岩组	泥盆—石炭纪 古元古代
2012	1:50 万《秦岭及邻区地质图》	徐学义等	时代未定岩块	
2014	《中国区域地质志·陕西志》	陕西省地质调查院	长角坝岩群(低庄沟岩组 和沙坝岩组)	古元古代

磨圆较差,意味着含有这一时期锆石的碎屑物质并未经过长距离的搬运。3个测点的年龄加权平均值为 (576.5 ± 12.4) Ma,代表了该变质地层最早的沉积时限。而李宗耀(2017)发现有一处小规模的花岗岩侵入体侵入原“低庄沟岩组”,受后期构造变形作用的影响发育有糜棱面理,定名为花岗质糜棱岩。测得原“低庄沟岩组”中的花岗质糜棱岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (382.3 ± 1.8) Ma,说明了该花岗岩(脉)的侵入时代为晚泥盆世早期。因此,综合判断小碛河—长坝地区变质地层的沉积时代应不晚于晚泥盆世早期,但不早于新元古代末期,其形成时代主体应为早古生代。

4.2 物源分析

碎屑沉积物在沉积过程(风化、剥蚀、搬运及沉积)中,因遭受均匀的混合而能反映源区的整体特性。因此,利用变质沉积岩中碎屑锆石的 U-Pb 年龄,可推测其源区主要热事件年代,继而示踪碎屑沉积物的源区。小碛河—长坝地区变质沉积岩系多个分组的年龄谱特征记录了构造事件和源区特征等信息。

北秦岭构造带、南秦岭构造带和扬子板块西北缘新元古代的岩浆作用分别发生于 950~850 Ma、870~630 Ma 和 870~710 Ma(DONG et al., 2011, 2017; WANG et al., 2013; MENG et al., 2015)。本次研究得到的年龄样品中,新元古代年龄数据共有 77 个,主要碎屑锆石年龄为 905~658 Ma,占总体的 96.22%;另外还有 1 颗中元古代(1 018 Ma)和 2 颗古元古代(2 026 Ma 和 2 435 Ma)碎屑锆石年龄信息。本次获得的碎屑锆石总体磨圆度较差,且年龄多集中于新元古代,表现出近源快速的特征。样品中虽然新元古代时期的碎屑锆石占绝大部分,但是峰值年龄有所差异,反映出不同物源区物源供应量的差异性。根据碎屑锆石 U-Pb 年龄谱,结合新元古代受全球 Rodinia 超大陆汇聚和裂解的影响和已有资料(图 5),推测勉略构造带小碛河—长坝地区这一套变质地层沉积物来源如下。

4.2.1 新元古代年龄信息

碧口微地块主要由南部新元古代碧口群浅变质火山岩与北部横丹群碎屑岩组成(图 6a)。碧口群主要由变中基性-基性火山熔岩和少量火山碎屑岩组成,并有新元古代和早中生代岩体侵入其中。横丹群主要由巨厚的深海浊积岩系组成,显示为前弧

盆地沉积特征。南部碧口群火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 846~776 Ma(闫全人等, 2003; WANG et al., 2008),北部横丹群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 测年获得年龄为 850~750 Ma(DRUSCHKE P, et al., 2015)。除此之外,在碧口微地块南部及其南侧后龙门山地区也存在大量的新元古代侵入体,如坪头山、刘家坪、关口垭、白雀寺、罗素河、大安和铜厂等侵入体。位于扬子地块西北缘勉县—略阳—阳平关一带的铜厂岩体,叶霖等(2009)获得闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (842 ± 6) Ma,宫相宽等(2013)获得相似的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (843 ± 3) Ma;分别出露于略阳县白雀寺和宁强县大安镇的白雀寺岩体及大安岩体,形成年龄分别为 (855 ± 6) Ma 和 (854 ± 10) Ma,共同反映了碧口微地块及周缘经历了 860~850 Ma 的岩浆事件(平先权等, 2014)。坪头山闪长岩、刘家坪辉长岩、刘家坪大滩花岗岩体、关口垭闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 (884 ± 6) Ma、 (877 ± 13) Ma、 (806 ± 19) Ma、 (884 ± 13) Ma(XIAO et al., 2007; 李佐臣等, 2013)。这些年龄结果表明~850 Ma 碧口微地块及其周缘发生了一次大规模的岩浆事件。本次研究中样品 ML1089 主要峰值为 850 Ma,暗示碧口微地块为小碛河—长坝地区变质沉积地层的主要物源之一,且大量堆积于更接近碧口微地块北缘的小碛河地区。

根据已有资料,勉略构造带内分布有不同类型的岩浆岩,洋壳型、陆缘弧型、裂解型均有。洋壳型火山岩分布在康县大堡、水泉沟、香子坝及略阳庄科、黑沟峡等地,已报道的同位素年龄有康县大堡基性火山岩 (812 ± 11) Ma、香子坝基性火山岩 (826 ± 19) Ma(闫全人等, 2007)、略阳庄科洋壳玄武岩 (877 ± 78) Ma(张宗清等, 2005)。此外还有略阳黑沟峡岩片中发现的 O 型埃达克岩 (840 ± 5) Ma(徐通等, 2016),为洋盆俯冲早期洋壳部分熔融的产物。这些岩浆岩应与新元古代早期存在的洋盆发生俯冲消减引起多期岩浆事件有关,表明略阳古洋盆存在时限为新元古代早中期(877~812 Ma)。陆缘弧型火山岩主要分布在略阳纸房沟、五郎坪及康县马家沟等地,报道的同位素年龄有铔厂沟金矿玄武-英安质弧火山岩 (802.1 ± 5.3) Ma(林振文等, 2013),康县马家沟安山岩-英安岩组合 $[(837 \pm 16) \sim (797 \pm 14)$ Ma](徐通等, 2016, 2017)。而裂解型火山岩包括

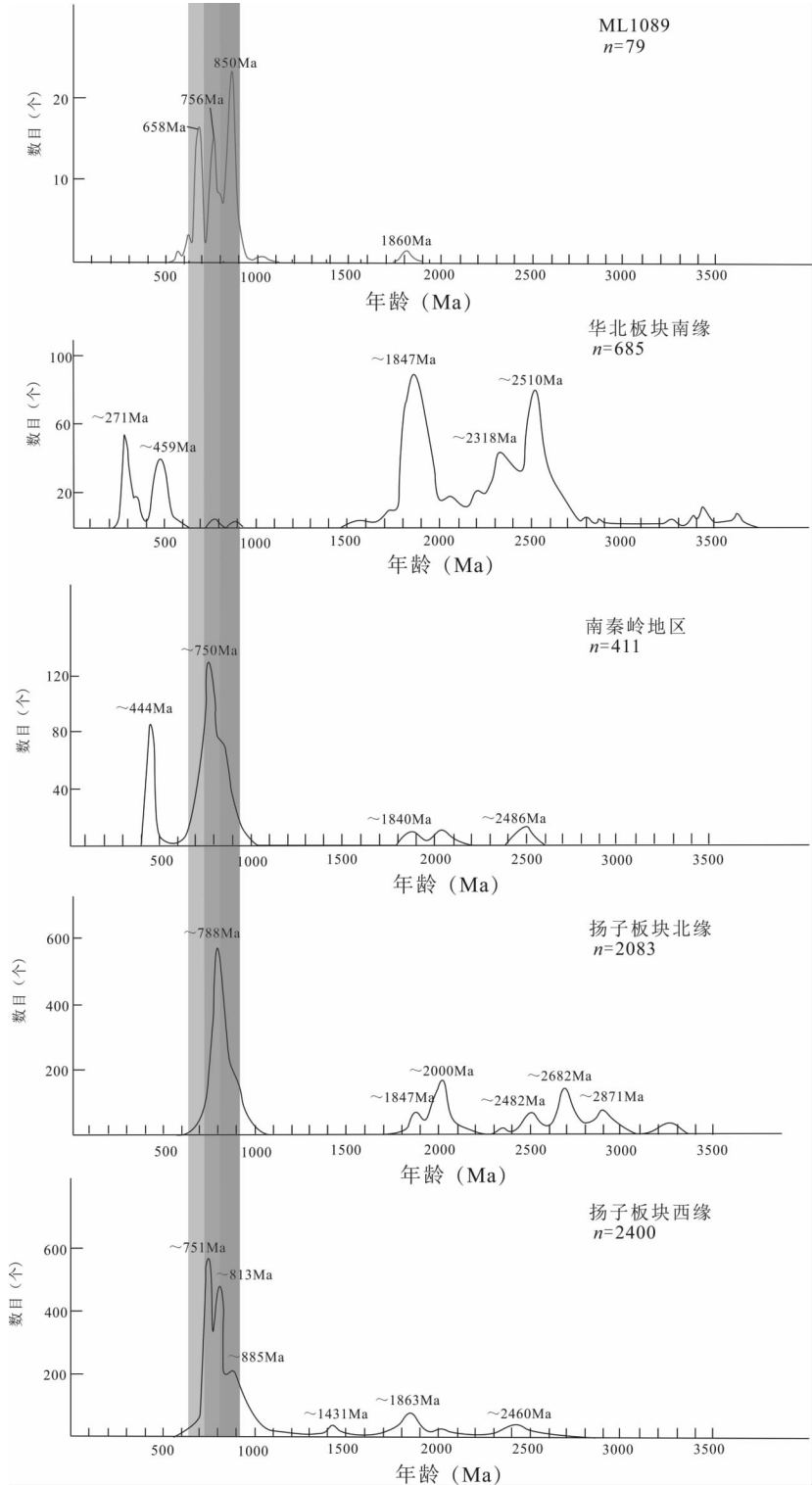


图 5 秦岭造山带及邻区各构造单元锆石 U - Pb 年龄分布 (据 SHI et al. , 2013)与小碛河—长坝地区变质沉积地层锆石 U - Pb 年龄分布图

Fig. 5 Zircon U - Pb age distribution of tectonic units in Qinling orogenic belt and zircon U - Pb age distribution of metamorphic sedimentary strata in Xiaobianhe-Changba area

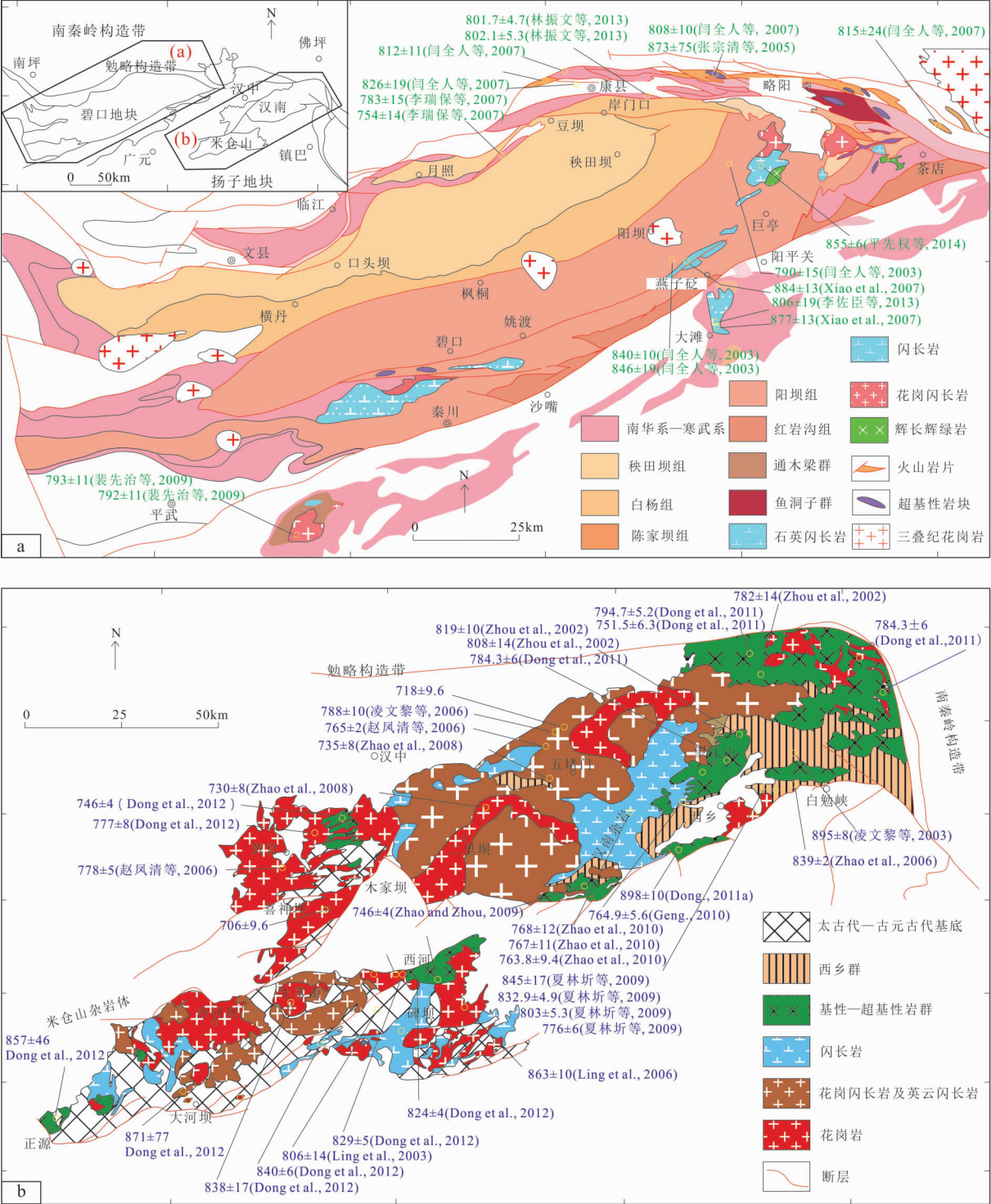


图 6 (a)碧口微地块和(b)扬子地块西北缘汉南—米仓山地区新元古代岩浆岩年龄分布图(据徐学义等,2014; DONG et al., 2012, 修编)

Fig. 6 (a) Age distribution map of the Neoproterozoic Magmatic rocks from Bikou Terrane in the northwest Yangtze Block and (b) the Hannan-Micangshan Area

康县琵琶寺裂谷型火山岩(783~754 Ma)(李瑞保等,2009),康县地区大堡岩组内板内玄武岩(778~667 Ma)(王涛等,2008,2011),略阳横现河张岩沟大陆裂谷双峰式火山岩(728 ± 10) Ma(徐通等,2013)。本次研究的新元古代碎屑锆石年龄(850~658 Ma)与上述岩浆事件在时代上具有对应性,锆石年龄谱和图显示有 756 Ma 的次要峰值,而且通过已测锆石发现有一部分锆石晶形较好,磨圆较差,意味着含有这一时期锆石的碎屑物质并未经过长距的搬运。因此推测勉略带内小碛河—长坝地区变质沉积地层物源有一部分来自于勉略构造带内岩浆岩。

锆石年龄谱和图有一个~658 Ma 的次要峰值,针对这一峰物质源,笔者有以下推测:在扬子板块北缘的南秦岭地区,发育有大量的镁铁-超镁铁质岩体,年龄集中在 640~630 Ma(洪吉安等,2009;薛怀民等,2011;闫海卿等,2011;王梦玺等,2012),而耀岭河群中也发现有锆石 U-Pb 年龄为(685 ± 5) Ma(凌文黎等,2007)和(632 ± 1) Ma(蔡志勇等,2007)的火山岩。凌文黎等(2007)认为南秦岭年龄为~680 Ma 的拉斑质-碱性玄武质岩浆岩组合可能指示了扬子板块与 Rodinia 超大陆的完全裂解。南秦岭南缘周庵超镁铁质岩体(637 Ma)被认为是新元古代晚期裂解过程最晚期的产物(王梦玺等,2012)。前人认为扬子板块大陆裂谷活动结束时间与新元古代最晚的冰期,即南沱冰期接近。而在南沱组之上的陡山沱组底部中火山灰的年龄为(635 ± 0.6) Ma(CONDON,2005),可以代表南沱冰期结束时间。而随枣盆地中大量大约在 635 Ma 的岩体及同期火山岩的发现,说明在 635 Ma 发生了一期大规模的岩浆活动。通过对比南秦岭地区武当岩群和耀岭河群地层岩石组合及构造属性,其上被陡山沱组覆盖,下未见底,较普遍认为武当岩群、耀岭河群、陡山沱组三地层单位之间均以构造滑脱面为分界,叠加后期推覆构造,在分界面上、下不同程度发育顺层剪切流变及掩卧褶皱(张国伟等,2015),本研究区与其具有一定的相似性。因此推测靠近研究区北侧长坝地区的物源有一部分为扬子板块北缘 Rodinia 超大陆裂解最晚期的产物,代表了新元古代最晚期的岩浆活动。

同样在扬子板块西北缘汉南一米仓山地区新元古代岩浆岩也十分发育,出露有大量的以基性、中酸

性为主的侵入岩体群,这些岩体群被称为“汉南侵入杂岩”(图 6b)。普遍认为,这些侵入岩的形成与新元古代 Roidina 超大陆聚合和裂解有关。前人已对汉南杂岩展开了广泛的年代学和地球化学研究,积累了丰富的资料。汉南杂岩中酸性侵入岩体主要集中在 863~707 Ma,包括碾子沟、五堵门、二里坝、黄家营、西乡等复式岩体(LING et al.,2003;凌文黎等,2006;赵凤清等,2006;Zhao et al.,2008;ZHAO et al.,2009;DONG Yunpeng et al.,2012);基性-超基性深成侵入岩体主要集中于 819~746 Ma,包括碑坝辉长岩、毕矾沟辉长岩、骆家坝辉长岩和望江山辉长岩等岩体(凌文黎等,2001;ZHOU et al.,2002;夏林圻等,2009;DONG Yunpeng et al.,2011)。THOMAS Bader 等(2013)把勉略—碧口—汉南一米仓山一带归入沟-弧-盆系构造环境,其反映了新元古代扬子板块北缘岛弧从南向北迁移,由初始岛弧向成熟岛弧演化的过程。本次研究样品 ML1089 中有一个 756 Ma 的次要峰值,结合汉南地区已有的同位素年代学资料,推测扬子板块西北缘新元古代岩浆岩为小碛河—长坝地区变质沉积地层提供了部分新元古代时期的物源。

4.2.2 中元古代年龄信息

中元古代年龄在样品中总共只有 1 颗锆石(1018 Ma),暗示了小碛河—长坝地区变质沉积岩系中有少量 Grenvillian 期岩浆岩的贡献,反映了扬子板块西北缘中元古代晚期褶皱基底年龄。但在勉略构造带周缘对于该期岩浆岩年代学资料报道较少。蒋幸福(2014)在扬子地块西北缘获得变镁铁质岩的锆石 U-Pb 年龄为 1 118~1 096 Ma。结合研究区的新元古代时期物源,可推测扬子地块西北缘为研究区提供了一定物源。

4.2.3 古元古代年龄信息

古元古代碎屑锆石年龄有 2 颗,分别为 2 026 Ma 和 2 435 Ma,其来源可能为扬子地块西北缘的古老结晶基底。目前在扬子地块内已发现大量古元古代岩石和变质地层,如扬子地块北缘米仓山地区的后河杂岩(~2.08 Ga)(WU et al.,2012),桐柏造山带古元古代变质基性岩(1.97~1.93 Ga)(胡娟等,2012),钟祥地区的冷水 I 型花岗岩(1.96~1.93 Ga)(WANG et al.,2015)等。这些证据表明在现今扬子地块的表层陆壳下,可能存在古元古代结晶基底,而在扬子板块西北缘这些基底主要出露

在略阳地区的鱼洞子杂岩和米仓山地区后河杂岩。其中米仓山地区后河杂岩中英云闪长质片麻岩锆石定年结果为 $2\,081\text{ Ma}$ (WU et al., 2012)。另外对于勉略带中鱼洞子杂岩年代学研究,前人给出不同岩性锆石 U-Pb 年代学资料 ($2\,815\sim 2\,449\text{ Ma}$),并得出 TTG 岩系全岩 Nd 模式年龄为 $3.3\sim 2.9\text{ Ga}$,表明鱼洞子杂岩具有明显的地壳演化史,岩浆来源可能为中太古代,并在 $\sim 2.5\text{ Ga}$ 经历古老地壳熔融(张欣等, 2010; 王洪亮等, 2011; HUI et al., 2017; ZHOU et al., 2018)。其中 HUI et al. (2017) 通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年方法分别获得鱼洞子 TTG 片麻岩年龄为 $(2\,815\pm 18)\text{ Ma}$, 角闪斜长片麻岩年龄为 $(2\,692\pm 28)\text{ Ma}$, 黑云斜长片麻岩年龄为 $2\,449\sim 2\,480\text{ Ma}$ 。结合碎屑锆石年龄和锆石近源堆积的形态特征,推测以鱼洞子杂岩为代表的扬子地块西北缘新太古代—古元古代变质结晶基底岩系抬升剥蚀为研究区提供了部分物源。

从上述分析中可以得出,碧口微地块、扬子板块西北缘及勉略构造带内部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,这能否说明小碛河—长坝地区变质沉积岩系主要物源区包括碧口微地块、扬子板块西北缘汉南—米仓山地区及勉略构造带内部? 通过资料发现在早古生代,扬子板块西北缘属于次深海裂陷海槽沉积(李佐臣, 2009),而勉略构造带沉积环境为大陆边缘较深水环境裂陷沉积(徐通, 2016)。笔者通过对新元古代、中元古代和古元古代年龄综合对比,得出扬子板块西北缘在这 3 个时期对研究区都有一定的物源贡献。而本次获得碎屑锆石总体磨圆度介于棱角和次圆,暗示部分有近源快速堆积的特征,部分可能经历了较长距离的搬运。由此推断勉略构造带内岩浆岩为研究区提供了一定物源;而在奥陶纪—志留纪,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),其沉积环境总体为伸展裂陷沉积,因此推测碧口微地块也为小碛河—长坝地区变质沉积地层的主要物源之一。综合研究区及周边区域地质资料及地质事实,从碎屑锆石年龄与区域地质特征出发,得出小碛河—长坝变质沉积岩系主要物源区包括碧口微地块、扬子板块西北缘汉南—米仓山地区及勉略构造带内部。

4.3 沉积环境

已有资料表明, 800 Ma 可能是 Rodinia 超大陆全面裂解的重要时限。勉略构造带内洋壳火山岩测年结果时限为 $826\sim 812\text{ Ma}$ (徐通, 2016; 裴先治, 2001; 赖绍聪等, 2003; 闫全人等, 2007), 为勉略古洋盆存在的主体时限,而 O 型埃达克质 (840 Ma) 和陆缘弧型火山岩 ($837\sim 797\text{ Ma}$) (徐通, 2016; 林振文等, 2013; 闫全人等, 2007) 也均指示勉略地区存在新元古代早中期洋盆俯冲作用并一直持续到大约 800 Ma 。扬子板块西北缘同样存在新元古代早中期洋盆俯冲作用和对应的沟—弧—盆体系(裴先治, 1989; THOMAS Bader, 2013), 年代学结果多集中在 800 Ma 之前。这些区域性汇聚型岩浆事件可能为 Rodinia 超大陆聚合的响应。而勉略地区也报道有裂解型玄武岩 ($778\sim 667\text{ Ma}$) (王涛, 2008; 李瑞保等, 2009)、横现河张岩沟大陆裂谷双峰式火山岩 ($728\pm 10\text{ Ma}$) (徐通等, 2013) 以及扬子板块西北缘发现了形成时代集中在 $809\sim 730\text{ Ma}$ 的裂谷型火山岩、裂谷型辉长岩等。另外, 汉南地区侵入于西乡群中的侵入岩体形成时代基本在 $785\sim 760\text{ Ma}$, 均形成于裂谷环境(凌文黎等, 2001; 赵凤清等, 2006); 裴先治等(2009) 获得后龙门山地区轿子顶过铝质花岗岩年龄为 $(793\pm 11)\text{ Ma}$ 和 $(792\pm 11)\text{ Ma}$, 认为其为 Rodinia 超大陆初始裂解阶段产物。李佐臣(2009) 获得后龙门山地区刘家坪群具大陆裂谷特征的钙碱性酸性火山岩系年龄为 $(809\pm 11)\text{ Ma}$ 。很多勉略构造带内及周缘的年龄记录, 均指示了新元古代 800 Ma 左右由汇聚体制向裂解体制的转变。新元古代中晚期, 勉略构造带、扬子板块西北缘及邻区共同经历了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(徐通, 2013)。

早古生代, 扬子板块北缘活动性较强, 开始沿勉县—略阳—安康—随县(南)—一带裂陷, 形成裂陷海槽。勉略构造带及邻区对于早古生代岩浆记录较少, 但有大量的沉积岩记录, 报道了大量的早古生代构造背景。寒武纪, 南秦岭为台盆、台地—陆缘裂谷发育阶段(张思敏等, 2014), 扬子板块西北缘属于次深海裂陷海槽沉积(李佐臣, 2009), 而勉略构造带沉积环境为大陆边缘较深水环境裂陷沉积(徐通, 2016); 奥陶纪—志留纪, 勉略构造带北侧南秦岭地区为陆缘裂谷沉积(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),其沉积环境总体为伸展裂陷沉积。总体来看,裂陷海槽的主体形成阶段为奥陶纪—志留纪,指示该时期勉略构造带及邻区处于伸展裂陷环境。

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。结合笔者所获得的碎屑锆石年龄,得到小碛河—长坝地区变质沉积岩系物源来源于早期汇聚事件的岩浆岩,推测其主要沉积环境为早古生代伸展裂陷环境。直至经历晚古生代稳定台盆—台地沉积,到中二叠世—晚三叠世时期,勉略海槽关闭,扬子板块与南秦岭板块碰撞造山,发育大规模的逆冲推覆构造变形(刘春花等,2014;李佐臣等,2013;韦龙猛等,2016;张贺等,2017)。

5 结论

(1)小碛河—长坝地区变质沉积地层中碎屑锆石最小年龄加权平均值为 (576.5 ± 12.4) Ma,代表该套变质沉积地层沉积时代的下限。其形成时代应不早于新元古代末期。前人研究表明其沉积时代应不晚于晚泥盆世早期,代表了沉积时代的上限。综合得出该套变质沉积地层的形成时代主体应为早古生代。

(2)小碛河—长坝地区变质沉积地层中主要碎屑锆石年龄谱主要有新元古代年龄 76 颗,为 905~595 Ma,占总数 96.21%。该组年龄有明显峰值,峰值年龄为 850 Ma,另还有 756 Ma 和 658 Ma 两个次要峰值;中元古代年龄 1 颗,为 1 018 Ma,占总数 1.27%;古元古代年龄 2 颗,分别为 2 026 Ma 和 2 435 Ma,占总数 2.5%;综合研究认为研究区小碛河—长坝地区变质沉积地层的物源主要来自碧口微地块、扬子板块西北缘汉南—米仓山地区及勉略构造带内部。

(3)小碛河—长坝地区变质沉积岩系物源来源于早期汇聚事件的岩浆岩,经历了新元古代中晚期陆内裂谷—稳定沉积的转变,其主要沉积环境可能为早古生代伸展裂陷环境,直至经历晚古生代稳定台盆—台地沉积。

参考文献(References):

- 蔡志勇,熊小林,罗洪,等. 武当地块耀岭河群火山岩的时代归属:单锆石 U-Pb 年龄约[J]. 地质学报,2007,81(05): 620-625.
- CAI Zhiyong, XIONG Xiaolin, LUO Lin, et al. Forming Age of the Volcanic Rocks of the Yaolinghe Group from Wudang Block, Southern Qinling Mountain: Constrain from Grain-Zircon U-Pb Dating[J]. Journal of Geology, 2007, 81(05): 620-625.
- 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.
- DUAN Liang. Detrital zircon provenance of the Silurian and Devonian in South Qingling, and the northwestern margin of Yangtze terrane and its tectonic implications[D]. Xi'an: Northwest University, 2010.
- 官相宽,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(03):50-63.
- GONG Xiangkuang, CHEN Danglin, ZHAO Jiao. Studies on Geochemistry, Zircon U-Pb Dating and Lu-Hf Isotope Composition of the Tongchang Diorites, Shaanxi Province[J]. Northwestern Geology, 2013, 46(3): 50-63.
- 胡娟,刘晓春,曲玮,等. 桐柏造山带古元古代变质基性岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地球学报,2012,33(3):305-315.
- HU Juan, LIU Xiaochun, QU Wei, et al. Zircon U-Pb Ages of Paleoproterozoic Metabasites from the Tongbai Orogen and Their Geological Significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012, 33(3): 305-315.
- 洪吉安,马斌,黄琦. 湖北枣阳大阜山镁铁/超镁铁杂岩体与金红石矿床成因[J]. 地质科学,2009,44(1): 231-244.
- HONG Jian, MA Bin, HUANG Qi. The Dafushan mafic/ultramafic complex and genesis of the related rutile ore deposit at Zaoyang, Hubei[J]. Chinese Journal of Geology, 2009, 44(1): 231-244.
- 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 Ophiolite Complex in the Huangling Anticline Yangtze Craton[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2014, 1-148.
- 李亚林,张国伟,李三忠,等. 秦岭略阳—白水江地区双向推覆构造及形成机制[J]. 地质科学,2001,36(04): 465-473.

- LI Yalin, ZHANG Guowei, LI Sanzhong, et al. Characteristics and Mechanism of Lueyang Baishuijiang Bilateral Thrusting Tectonics in the Qinling Orogenic Belt[J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(4): 465-473.
- 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(04): 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 Geological Sinica, 2002, 76(04): 469-483.
- 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): 85-96.
- LING Zhenwen, QIN Yan, ZHOU Zhenju, et al. Zircon U-Pb dating and geochemistry of the volcanic rocks at Guachangou Area, Mian-Lue suture, South Qinling[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(1): 85-96.
- 李曙光, 孙卫东, 张国伟, 等. 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——古生代洋盆及闭合时代的证据[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(3): 223-230.
- LI ShuGuang, SUN Weidong, ZHANG Guowei, et al. Chronology and geochemistry of metavolcanic rocks from Heigouxia Valley in the Mian-Lue tectonic zone, South Qinling-Evidence for a Paleozoic oceanic basin and its close time[J]. Science in China, 1996, 26(3): 223-230.
- 李曙光, 侯振辉, 杨永成, 等. 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[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(12): 1164-1173.
- LI Shuguang, HOU Zhenhui, YANG Yongcheng, et al. Geochronology and geochemistry of Sanchaizi magmatic arc, Mian-Lue Tectonic Belt, South Qinling[J]. Science in China (Series D), 2003, 33(12): 1164-1173.
- 李春昱, 王荃, 张之孟, 等. 中国板块构造的轮廓[J]. 地球学报, 1980, 2(1): 11-22.
- LI Chunli, WANG Quan, ZHANG Zhimeng et al. A Preliminary Study of Plate Tectonics of China[J]. Journal of Earth, 1980, 2(1): 11-22.
- 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, 2009, 29(S1): 600-601.
- LI Huaikun, GENG Jianzhen, HAO Shuang et al. Determination of U-Pb Isotope Age of Zircon by Laser Ablation Multi-Receiver Plasma Mass Spectrometer (LA-MC-ICPMS) [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009, 29(S1): 600-601.
- 李宗耀. 秦岭勉略构造带勉略段构造变形特征及其地质意义[D]. 西安: 长安大学, 2018, 1-72.
- LI Zongyao. Tectonic Deformation and Geological Significance of Mianxian-Lueyang Zone in Mian-Lue Tectonic Zone, Qinling [D]. Xi'an: Changan University, 2018, 1-72.
- 李佐臣, 裴先治, 李瑞保, 等. 扬子地块西北缘刘家坪地区大滩花岗岩体年代学、地球化学及其构造环境[J]. 地质论评, 2013, 59(5): 869-884.
- LI Zuochen, PEI Xianzhi, Z. LI Ruibao, et al. Geochronological and Geochemical Study on Datan Granite in Liujiapin-gArea, Northwest Yangtze Block and Its Tectonic Setting[J]. Geological Review, 2013, 59(5): 869-884.
- 李佐臣, 裴先治, 李瑞保, 等. 西秦岭糜署岭花岗岩体年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(08): 2617-2634.
- LI Zuochen, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, geochemistry of the Mishuling intrusion in western Qinling and their tectonic significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(08): 2617-2634.
- 李佐臣, 裴先治, 刘战庆, 等. 扬子地块西北缘后龙门山南华纪—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(02): 117-124.
- LI Zuochen, PEI Xianzhi, LIU Zhanqin, et al. Characteristic 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.
- 李佐臣. 扬子地块西北缘后龙门山造山带(北段)物质组成、构造特征及其形成演化[D]. 西安: 长安大学, 2009, 1-211.
- LI Zuochen. Composition, Structural Characteristics and Evolution of Back-Longmenshan Orogen (North Section) in the Northwest Margin of Yangtze Block [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009, 1-211.
- 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): 1613-1623.
- LI Ruibao, PEI Xianzhi, DING Sanping, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Ppasi Basic Volcanic Rocks Within the Mian-Lue Tectonic Zone in the Southern Margin of west Qinling its Geological Implication [J]. Acta Geological Sinica, 2009, 83(11): 1612-1623.
- 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 ELA-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.
- 凌文黎,王歆华,程建萍. 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[J]. 矿物岩石地球化学通报,2001,20(4):218-221.
- LING Wenli,WANG Xianhua,CHENG Jianping. Geochemical Features and Its Tectonic Implication of the Jinningian Wangjiashan Cabbros in the North Margin of Yangtze Block[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20(4):218-221.
- 凌文黎,任邦方,段瑞春,等. 南秦岭武当山群、耀岭河群及基性侵入岩群锆石 U-Pb 同位素年代学及其地质意义[J]. 科学通报,2007,52(12):1445-1456.
- LING Wenli,REN Bangfang,DUAN Ruichun et al. Zircon U-Pb isotopic chronology of Wudangshan Group, Yaolinghe Group and basic intrusive rock group in South Qinling Mountains and its geological significance[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(12):1445-1456.
- 刘春花,吴才来,郜源红,等. 南秦岭东江口、柞水和梨园堂花岗岩类锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学与锆石 Lu-Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 2014, 30(08):2402-2420.
- LIU ChunHua, WU CaiLai, GAO YuanHong et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and Lu-Hf isotopic system of Dongjiangkou, Zhashui, and Liyuantang granitoid intrusions, South Qinling belt, central China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(08):2402-2420.
- 赖绍聪,裴先治,张国伟. 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[J]. 地质通报,2002,21(8-9):465-470.
- LAI Saocong, ZHANG Guowei, YANG Yongcheng, et al. Petrology and Geochemistry feature of the Metamorphic Volcanic Rocks in Mianxian-Lueyang Suture Zone, South Qinling[J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13(4):564-572.
- 韦龙猛. 南秦岭晚三叠世胭脂坝花岗岩的成因[D]. 合肥:中国科学技术大学,2016,56(3):270-280.
- WEI Longmeng. Petrogenesis of Late Triassic Yanzhiba Granite Pluton in South Qinling, Central China[D]. Hefei:University of Science and Technology of China, 2016, 56(3):270-280.
- 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(04):1200-1218.
- PING Xianquan, ZHENG Jianping, XIONG Qin, et al. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotope Characteristics of the Cranitic Plutons in Bikou Terrane, Northwestern Yangtze Block and Their Geological Significance[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2014, 44(4):1200-1218.
- 裴先治,张国伟,赖绍聪,等. 西秦岭南缘勉略构造带主要地质特征[J]. 地质通报,2002,21(22):486-494.
- PEI Xianzhi, ZHANG Guowei, LAI Saocong, et al. Main geological feature of the Mianlue tectonic belt on the southern margin of the West Qinling[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(22):486-494.
- 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 Mianlue-A'nyemaqen 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.
- 裴先治. 南秦岭碧口群岩石组合特征及其构造意义[J]. 地球科学与环境学报, 1989, 11(2):46-56.
- PEI Xianzhi. The Feature and the Tectonic Significance of Rock Assemblage in the Bikou Group, Southern Qinling[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 1989, 11(2):46-56.
- 孙卫东,李曙光, YADONG Chen, 等. 南秦岭花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地球化学, 2000, 29(03):209-216.
- SUN Weidong, LI Shuguang, YADONG Chen, et al. Zircon U-Pb dating of granitoids from South Qinling, Central China and their geological significance[J]. Geochimica, 2000, 29(03):209-216.
- 苏联国,裴先治,李瑞保,等. 南秦岭勉略构造带火神庙地区关家沟组变质沉积岩系碎屑锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地球科学, 2019, 44(04):1424-1442.

- SU Zhenguo, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Detrital Zircon U - Pb Ages and Geological Significances of Metasedimentary Rocks from Guanjiagou Formation in Huo Shen Miao Area, Mianlue Tectonic Belt of South Qinling[J]. Earth Science, 2019, 44(04): 1424-1442.
- 余宏全, 李进文, 向安平, 等. 大兴安岭中北段原岩锆石 U - Pb 测年及其与区域构造演化关系[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 571-594.
- SHE HongQuan, LI JinWen, XIANG Anping et al. U - Pb ages of the zircons from primary rocks in middle-northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 571-594.
- 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, 闫全人, 等. 南秦岭白水江群变基性火山岩块体的形成时代及其地球化学特征[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 645-656.
- WANG Tao, WANG Zongqi, YAN Quanren, et al. The formation age and geochemical characteristics of the metavolcanic rock blocks of the Baishuijiang Group in South Qinling[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 645-656.
- 王洪亮, 徐学义, 陈隽璐, 等. 南秦岭略阳鱼洞子岩群磁铁石英岩形成时代的锆石 U - Pb 年代学约束[J]. 地质学报, 2011, 85(08): 1284-1290.
- WANG Hongliang, XU Xueyi, ZHAO Juanlu, et al. Constraints from Zircon U - Pb Chronology of Yudongzi Group Magnetite-Quartzite in the Lueyang Area, Southern Qinling, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 57(34): 3283-3294.
- 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]. Chin Sci Bull, 2012, 57(34): 3283-3294.
- 王鸿祯, 徐成彦, 周正国. 东秦岭古海域两侧大陆边缘的构造发展[J]. 地质学报, 1982, 56(3): 270-280.
- WANG Hongzhen, XU Chenyan, ZHOU Zhengguo. Tectonic development of continental margins on both sides of the East Qinling ancient sea area [J]. Acta Geologica Sinica, 1982, 56(3): 270-280.
- 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. Genetic mineralogy of zircon and its constraints on the interpretation of U - Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16): 1589-1604.
- 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 - MS U - 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 Feature and Zircon LA-ICP-MS U Pb Age 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, 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(06): 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. 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 feature and Tectonic Evolution of Mianlue Tectonic Zone in Kangxian-Lueyang Area, South Margin of Qinling Orogen[D]. Xi'an: Chang'an university, 2016, 1-136.
- 薛怀民, 马芳, 宋永勤. 扬子克拉通北缘随州-枣阳地区新元古代变质岩浆岩的地球化学和 SHRIMP 锆石 U - Pb 年代学研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(04): 1116-1130.
- XUE Huaimin, MA Fang, SONG YongQin. Geochemistry and SHRIMP zircon U - Pb data of Neoproterozoic meta-magmatic rocks in the Suizhou-Zaoyang area, northern margin of the Yangtze Craton, Central China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(04): 1116-1130.
- 夏林圻, 夏祖春, 马中平, 等. 南秦岭中段西乡群火山岩岩石成因[J]. 西北地质, 2009, 42(2): 1-37.
- XIA Linqi, XIA Zuchun, MA Zhongping, et al. Petrogenesis of Volcanic Rocks from Xixiang Group in Middle Part of

- South Qinling Mountains[J]. *Northwestern Geology*, 2009, 42(2): 1-37.
- 闫海卿, 汤中立, 钱壮志, 等. 河南周庵铜镍矿锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(6): 23-32.
- YAN Haiqing, TANG Zhongli, QIAN Zhuangzhi et al. Zircon U-Pb age and geological significance of Zhou'an copper-nickel sulfide deposit in Henan province[J]. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 2011, 47(6): 23-32.
- 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. The Age of Bikou Volcanic-SHRIMP Zircon U-Pb Date[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(6): 456-458.
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 秦岭勉略构造混杂岩带康县—勉县段蛇绿岩块—镁铁质岩块的 SHRIMP 年代及其意义[J]. *地质论评*, 2007, 53(6): 755-763.
- 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): 2866-2876.
- YE Lin, CHENG Zengtao, LU Lina, et al. Petrological Geochronology and Zircon SHRIMP U-Pb of Tongchang diorites, Mianluening area, Southern Shanxi Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(11): 2866-2876.
- 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 秦岭—大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合[J]. *地质通报*, 2004, 23(Z2): 846-853.
- ZHANG Guowei, CHENG Shunyou, GUO Anlin, et al. MianLue Paleo-suture on the southern margin of the Central Orogenic System in Qinling-Dabie—with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(Z2): 846-853.
- 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 Saocong, 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, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构与构造[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, 赖绍聪. 秦岭勉略构造带与中国大陆构造[M]. 北京: 科学出版社, 2015, 1-501.
- ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, LAI Shaocong. 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.
- 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 等. 鱼洞子群变质岩年龄及秦岭造山带太古宙基底[J]. *地质学报*, 2001, 75(2): 198-204.
- ZHANG Zongqing, ZHANG Guowei, TANG Suohan, et al. On the Age of Metamorphic Rocks of the Yudongzi Group and the Archean Crystalline Basement of the Qinling Orogen[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(2): 198-204.
- 张欣, 徐学义, 宋公社, 等. 西秦岭略阳地区鱼洞子杂岩变形花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年及地质意义[J]. *地质通报*, 2010, 29(4): 510-517.
- ZHANG Xin, XU Xueyi, SONG Gongshe, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and significance of Yudongzi-Group deformation granite from Lueyang area, western Qinling[J]. *China Geological Bulletin of China*, 2010, 29(4): 510-517.
- 张贺. 南秦岭佛坪穹窿地区晚三叠世岩浆作用和构造演化[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2017, 1-152.
- ZHANG He. Late Triassic Magmatism and Tectonic Evolution of Foping Dome Area in South Qinling[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2017, 1-152.
- 张思敏, 姜高磊, 柳坤峰, 等. 秦岭—大别新元古代—中生代沉积盆地演化[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2014, 39(08): 1185-1199.

- ZHANG Simin, JIANG Gaolei, LIU Kunfeng, et al. Evolution of Neoproterozoic-Mesozoic Sedimentary Basins in Qinling-Dabie Orogenic Belt[J]. Editorial Committee of Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2014, 39(08): 1185-1199.
- 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 Yichen, et al. U-Pb geochronology of Neoproterozoic magmatic rocks in Hanzhong, southern, Shanxi, China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(3): 383-388.
- BADER T, RATSCHBACHER L, FRANZ 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.
- BELOUSOVA E. A., GRIFFIN W. L., SUZANNE Y. O'Reilly, et al. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contrib Mineral Petrol, 2002, 143: 602-622.
- CONDON, D. U-Pb Ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China[J]. Science, 2005, 308(5718): 95-98.
- DONGY, ZHANG G, NEUBAUER F, et al. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 41(3): 0-237.
- DONG Y, SUN S, ZHAO Y, et al. Neoproterozoic subduction-accretionary tectonics of the South Qinling Belt, China[J]. Precambrian Research, 2017, 293: 73-90.
- DRUSCHKE P, HANSON AD, YAN Q, et al. Stratigraphic and U-Pb SHRIMP detrital zircon evidence for a Neoproterozoic Continental Arc[J]. Central China: Rodinia implications The Journal of Geology, 2015, 114(5): 627-636.
- HUI B, DONG Y, CHENG C, et al. Zircon U-Pb Chronology, Hf Isotope Analysis and Whole-rock Geochemistry for the Neoarchean-paleoproterozoic Yudongzi Complex, Northwestern Margin of the Yangtze Craton, China[J]. Precambrian Research, 2017, 301: 65-85.
- MENGE, LIU F L, DU L L, et al. Petrogenesis and tectonic significance of the Baoxing granitic and mafic intrusions, southwestern China: Evidence from zircon U-Pb dating and Lu-Hf isotopes, and whole-rock geochemistry [J]. Gondwana Research, 2015, 28(2): 800-815.
- XIAO L, ZHANG HF, NI PZ, et al. LA-ICP-MS U-Pb Zircon Geochronology of Early Neoproterozoic Mafic-intermediat Intrusions From Nw Margin of the Yangtze Block, South China: Implication for Tectonic Evolution [J]. Precambrian Research, 2007, 154(3): 221-235.
- LING W L, GAO S, ZHANG B R, et al. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton, South China: implications for amalgamation and breakup of the Rodinia Supercontinent [J]. Precambrian Research, 2003, 122(1): 111-140.
- RUBATTO D. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism[J]. Chemical Geology, 2002, 184(1): 123-138.
- SHI Y, YU J H, SANTOSH M. Tectonic evolution of the Qinling orogenic belt, Central China: New evidence from geochemical, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes [J]. Precambrian Research, 2013, 231(5): 19-60.
- WU Y, GAO S, ZHANG H, et al. Geochemistry and Zircon U-Pb Geochronology of Paleoproterozoic Arc Related Granitoid in the Northwestern Yangtze Block and Its Geological Implications [J]. Precambrian Research, 2012, 200-203(s200-203): 26-37.
- WANG Z, WANG J, DENG Q, et al. Paleoproterozoic I-type Granites and Their Implications for the Yangtze Block Position in the Columbia Supercontinent: Evidence From the Lengshui Complex, South China [J]. Precambrian Research, 2015, 263: 157-173.
- WANGX, WANG T, ZHANG C. Neoproterozoic, Paleozoic, and Mesozoic granitoid magmatism in the Qinling Orogen, China: Constraints on orogenic process [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 72(Complete): 129-151.
- 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.
- ZHOU G, WU Y, LI L, et al. Identification of Ca. 2.65 Ga Tgs in the Yudongzi Complex and Its Implications for the Early Evolution of the Yangtze Block [J]. Precambrian Research, 2018, 314: 240-263.
- ZHAO JH, ZHOU MF. Secular Evolution of the Neoproterozoic Lithospheric Mantle Underneath the Northern Margin of the Yangtze Block, South China [J]. Lithos, 2009, 107(3): 152-168.