

南秦岭勉略构造带略阳三岔子地区金家河千枚岩 沉积物源分析:碎屑锆石 U-Pb 年代学证据

弓晨¹, 裴先治^{1,2,*}, 李瑞保^{1,2}, 李佐臣^{1,2}, 裴磊^{1,2}, 刘成军^{1,2}, 高峰^{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:南秦岭勉略构造带略阳三岔子地区发育一套灰-灰黑色含碳绢云石英千枚岩和灰白色绢云石英千枚岩夹灰黑色含砾绢云千枚岩、白云质灰岩、硅质岩以及碳硅质板岩的岩石组合。为探讨其形成时代及沉积物源, 笔者对其中的含砾绢云白云质石英千枚岩、绢云白云质石英千枚岩进行岩石学及 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年代学研究。所获得的碎屑锆石年龄可以分为 3 组: 新元古代年龄组(678~966 Ma), 该段有明显峰值, 峰值年龄分别为 781 Ma、865 Ma; 中元古代年龄组(1 122~1 432 Ma); 古元古代-太古代年龄组(1 944~2 824 Ma)。2 件变质碎屑岩的碎屑锆石最小年龄组分别为 678~736 Ma(平均年龄为 725 Ma)、771~775 Ma(平均年龄为 773 Ma)。综合研究认为该沉积地层沉积时代不早于南华纪, 其沉积物源主要为勉略构造带内、碧口微地块、扬子地块西北缘汉南-米仓山杂岩新元古代岩浆岩, 其沉积事件对应于新元古带中晚期(800 Ma~)勉略构造带及扬子地块西北缘后碰撞-裂解阶段。

关键词:南秦岭; 勉略构造带; 碎屑锆石; 关家沟组; 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年

中图分类号: P542.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2019)04-0028-25

Despositional Provenance Analysis of the Jinjiahe Phyllite from Sanchazhi Area (Lueyang County) in Mianlue Tectonic Belt of South Qinling, Shaanxi: Evidence from Detrital Zircon U-Pb Dating

GONG Chen¹, PEI Xianzhi^{1,2,*}, LI Ruibao^{1,2}, LI Zuoichen^{1,2}, PEI Lei^{1,2}, LIU Chenjun^{1,2},
GAO Feng^{1,2}, CHEN Youxin^{1,2}, WANG Meng^{1,2}, ZHAO Shaowei^{1,2}

(1. School of Earth Sciences 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: A set of rock assemblage is exposed in the Sanchazi area, Mianlue tectonic belt of Southern Qinling orogenic belt, which is consist of gray-black carbonaceous sericite-quartz-phyllite, gray-white sericite-quartz-phyllite, intercalated with gravelly sericite-phyllite, dolomitic limestone, siliceous rock and carbon-siliceous slate. In order to explore their formation age and provenance, we conducted LA-ICP-MS U-Pb dating on detrital zircons from the gravelly sericite-

收稿日期: 2019-01-04; 修回日期: 2019-04-02

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); 陕西省自然科学基金“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“西昆仑麻扎-康西瓦构造带构造属性及向西延伸研究”(310827161006)

作者简介: 弓晨(1994-), 男, 长安大学硕士研究生。E-mail: 634341238@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: peixianzhi@qq.com

dolomite-quartz-phyllite and sericite-dolomite-quartz-phyllite in Jinjiahe area. The obtained zircon U-Pb ages can be divided into three groups: Neoproterozoic age group (678~966Ma), with main age peak at 781Ma for sample ML1259-TW3 and 865Ma for sample ML1261-TW1, respectively; Mesoproterozoic age group (1122~1432Ma); and Palaeoproterozoic-Archaean age group (1944~2824Ma). The minimum age groups of detrital zircons for two metamorphic detrital rocks are 678~736Ma (average age of 725Ma) and 771~775Ma (average age of 773Ma), respectively. Combined with the regional geological records, we propose that the provenance of clastic debris in the sedimentary strata was mainly sourced from the Neoproterozoic magmatic rocks within the Mianlue tectonic belt, the Bikou block, and the Hannan-Micangshan complex in the northwestern margin of the Yangtze block. The maximum depositional age of the studied meta-sedimentary rocks is not later than Nanhua Period, and it may give insights into the post-collision-cracking stage of the Mianlue tectonic belt and the northwestern margin of the Yangtze block during the mid-late Neoproterozoic period (800Ma~).

Keywords: South Qinling orogen; mianlue tectonic belt; detrital zircons; Guanjiagou Formation; zircon LA-ICP-MS U-Pb dating

勉略构造带这一术语最早由李春昱等(1980)提出,与商丹缝合带以及被二者分割的华北地块、秦岭微地块、扬子地块共同构成了中央造山系中部“三块夹两缝”的基本构造格局(张国伟等,2001,2004;裴先治等,2002)。作为秦岭造山带中除商丹主缝合带的另一碰撞拼合主缝合带,它的研究对于秦岭造山带乃至整个中央造山系都有重要意义(张国伟等,2015;裴先治,2001;裴先治等,2002)。

从勉略构造带提出至今,已取得大量研究成果,但争议不断。由于勉略构造带发育众多类型的蛇绿岩块、岛弧火山岩以及不同时代的沉积岩块,部分学者提出勉略构造带是代表了晚古生代—早中生代有限洋盆的蛇绿构造混杂岩带(张国伟,2015;张国伟等,2001,2003,2004;李曙光等,1996,2003;冯庆来等,1996;赖绍聪等,1997,1999,2002,2003a,2003b,2010;DONG et al., 2011a,2011b)。近些年勉略构造带内部及周边新元古代火成岩年龄的报道使部分学者对勉略构造带的构造格架产生了新的思考,提出其应形成于新元古代(张宗清等,2002,2005;闫全人等,2007;徐通,2016;徐通等,2013,2016,2017)。另外,部分学者从勉略构造带内部地层的岩石组合、时代、结构、沉积相和沉积环境、古生物化石和生物古地理以及蛇绿岩和火山岩的产状和地球化学特征、与相邻构造单元之间的关系等方面,提出勉略构造带在晚古生代—早中生代不存在有限洋盆或小洋盆,而是泥盆纪—石炭纪时期的裂谷,并于印支期受构造作用改造而形成的构造混杂岩带(冯益民等,2004;杨志华等,1999)。由此可见,勉略构造带的物质组成和构造演化十分复杂。

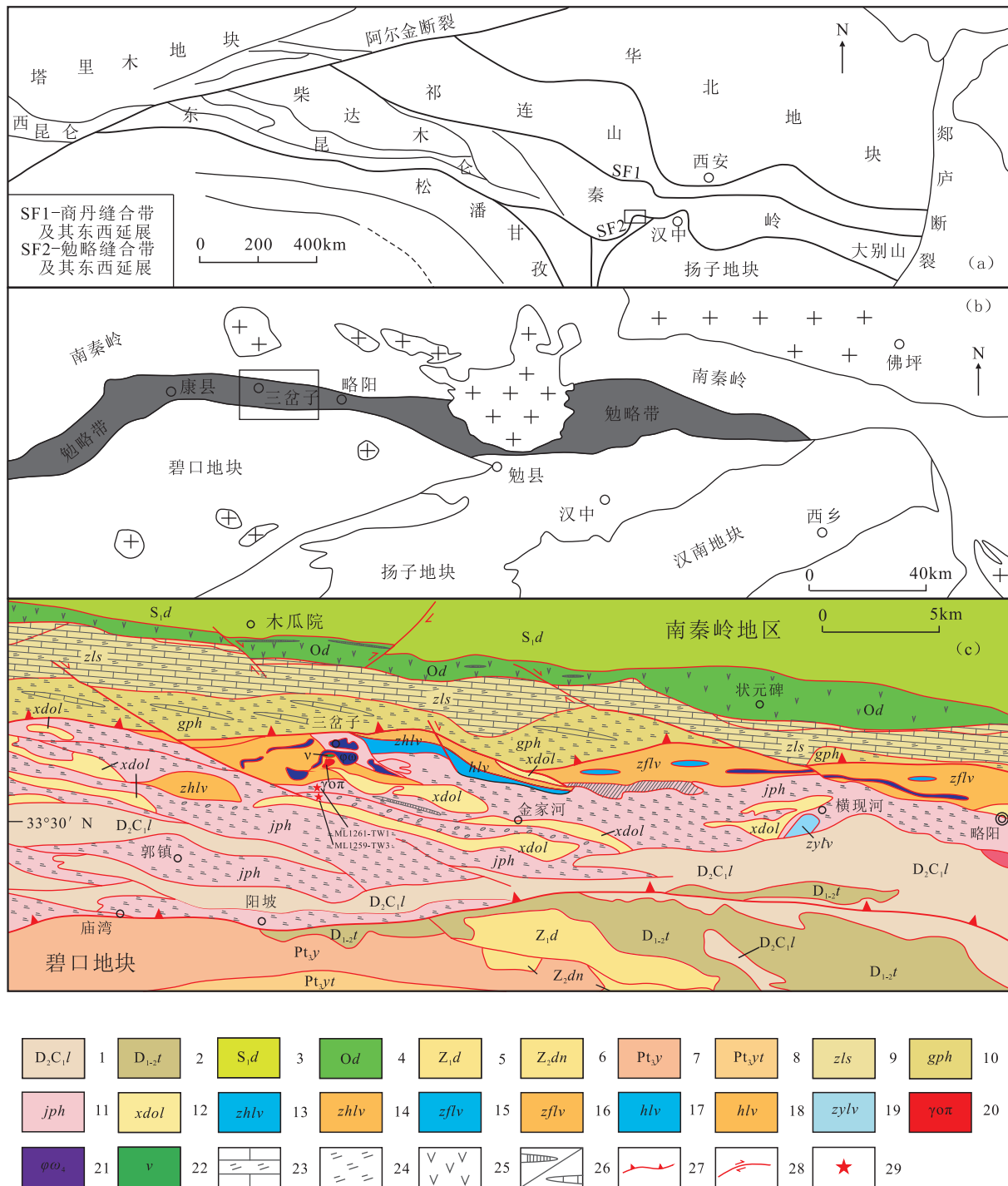
沉积盆地作为造山带的重要组成部分,其建造

阶段及后期构造改造阶段与区域洋陆转换过程及造山作用密切相关。勉略构造带略阳三岔子地区作为勉略构造带的重要研究区段,分布较大规模不同性质的(变)岩浆岩和(变)沉积岩。其沉积岩系均发生一定程度变形变质,构造岩片叠置,但仍然可以从沉积视角反演不同地质历史时期的沉积特征、沉积环境及构造体制。前人对该地区物质组成的研究主要集中在火山岩的类型、形成时代及其形成构造环境上,对(变)沉积地层的研究仍比较局限。尤其是略阳三岔子地区金家河千枚岩作为带内主要的沉积岩系缺乏年代学资料,需进一步研究。笔者选取略阳三岔子地区金家河千枚岩中含砾绢云白云质石英千枚岩及绢云白云质石英千枚岩,对其进行系统的岩石学及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学研究,以限定其沉积时代下限及沉积物源,复原勉略构造带在该时代的沉积特征和构造环境,进而为建立合理的构造体制及洋陆演化模式提供沉积学信息。

1 区域地质概况

勉略构造带及南北两侧按照自北向南可划分为南秦岭褶皱带、勉略构造混杂岩带及扬子地块北缘(碧口微地块)等3个一级构造单元,勉略构造带南北分别以状元碑断裂、荷叶坝断裂为界(图1a)。

研究区处于勉略构造带中段略阳金家河镇三岔子地区,物质组成及构造变形十分复杂,主要出露有踏坡组($D_{1-2}t$)、略阳组(D_2C_1l)、朱家山岩组(zls)、郭镇岩组(gph)、相公山白云岩($xdol$)、金家河千枚岩(jph)及不同类型火山岩岩片(图1b、图1c)。



1. 略阳组; 2. 踏坡组; 3. 迭部岩组; 4. 大堡岩组(下部碳质板岩、千枚岩夹硅质岩、灰岩;上部绿帘绿泥钠长片岩;顶部为硅质岩);
5. 陡山沱组; 6. 灯影组; 7. 阳坝组; 8. 秧田坝组; 9. 朱家山岩组(粉-细晶灰岩与钙质千枚岩不等厚互层); 10. 郭镇岩组(绢云石英千枚岩夹细晶灰岩);
11. 金家河岩组(绢云千枚岩,含碳绢云石英千枚岩,局部夹含砾绢云千枚岩、细晶灰岩、硅质岩); 12. 相云山白云岩(厚层块状白云岩);
13. 庄科洋壳火山岩片; 14. 庄科弧火山岩片; 15. 纸房沟洋壳火山岩片; 16. 纸房沟弧火山岩片; 17. 黑沟峡洋壳火山岩片;
18. 黑沟峡弧火山岩片; 19. 张岩沟双峰式火山岩片; 20. 斜长花岗岩; 21. 超基性岩; 22. 辉长(绿)岩; 23. 灰岩夹千枚岩; 24. 千枚岩; 25. 中基性火山岩; 26. 硅质岩/灰岩; 27. 勉略构造带南北界断裂; 28. 平移断裂; 29. 采样位置

图 1 (a) 勉略构造带及邻区构造简图(据徐通等, 2016); (b)(c) 研究区地质简图(据 1 : 250 000 略阳县幅修编)

Fig. 1 (a) Schematic diagram of Mianlue structural belt and adjacent area(After XU et al. ,2016)

(b)(c) Geological map of the study area(After 1 : 250 000 Lueyang Map)

区内的金家河千枚岩(*jph*)以灰-灰黑色含碳绢云石英千枚岩和灰白色绢云石英千枚岩为主,夹灰黑色含砾绢云千枚岩、白云质灰岩、硅质岩以及碳硅质板岩,与相邻(构造)岩石地层单位多呈断层接触,能干性较弱,为带内主要变形基质。该套碎屑岩系最初与该地区火山岩系并称为金家河组,由陕西第四地质队建组于略阳金家河。陕西区调队(1994)因其地层遭受强烈的构造置换和剪切作用原始地层层序无法恢复,将其碎屑岩部分单独分出,改称金家河千枚岩。陕西省地质调查院(2007)完成的“1:25万略阳县幅区域地质调查报告”将甘肃文县地区关家沟组及略阳一带南华纪沉积地层命名为关家沟组(Nh₂g),时代定为南华纪。原关家沟组由甘肃天水地质队(1961)创建于文县关家沟,系指分布在该地区的一套砾岩、含砾板岩及板岩地层,其在文县及康县地区地层层序特征较为清楚,下部为灰绿色含火山碎屑凝灰质长石砂岩夹少量灰绿色杂色变中基性熔岩,中部为灰绿色中厚层状含砾凝灰质长石杂砂岩、含砾粉砂岩及含砾变砂岩,上部为灰绿、深灰色含砾千枚岩、粉砂质板岩、砂砾岩及变砂岩。笔者因金家河千枚岩中的含砾岩系与文县、康县地区关家沟组(Nh₂g)剖面上部具有良好的对比性,暂按照陕西省地质调查院(2007)的地层划分方案将其归为关家沟组讨论。

该地区其他沉积岩系,例如,相公山白云岩(*xdol*)、略阳组灰岩((D₂C₁l)、踏坡组碎屑岩(D₁₋₂t)、朱家山灰岩组(*zls*)能干性相对较强,均呈构造岩片产出。火成岩则主要包括蛇纹岩、洋壳型火山岩、岛弧型火山岩、双峰式火山岩及少量斜长花岗岩等(张宗清等,2005;徐通,2014;李曙光等,2003;赖绍聪等,1997,1998)。

本次研究采集了略阳三岔子地区含砾绢云白云质石英千枚岩、绢云白云质石英千枚岩(图2)作为同位素年龄测试样品(编号:ML1259-TW3、ML1261-TW1),采样点地理坐标分别为:N33°20′47″,E105°52′44″;N33°21′12″,E105°52′52″(图1c)。

含砾绢云白云质石英千枚岩呈条带状,风化面灰-灰黑色,新鲜面灰绿色,砾石呈圆状,大小介于1~3 cm,砾石成分为硅质和白云质,多被构造改造变形,岩石发育透入性褶皱理构造(图2a、图2b)。显微鳞片粒状变晶结构,千枚状构造,主要矿物为石英、白云石、绢云母。石英含量约为50%,他形粒

状,粒径<0.5 mm;白云石含量约为35%,他形-半自形粒状,粒径<0.25 mm;绢云母含量约为10%,鳞片状,片径<0.1 mm,定向排列。其他次要矿物约占5%。

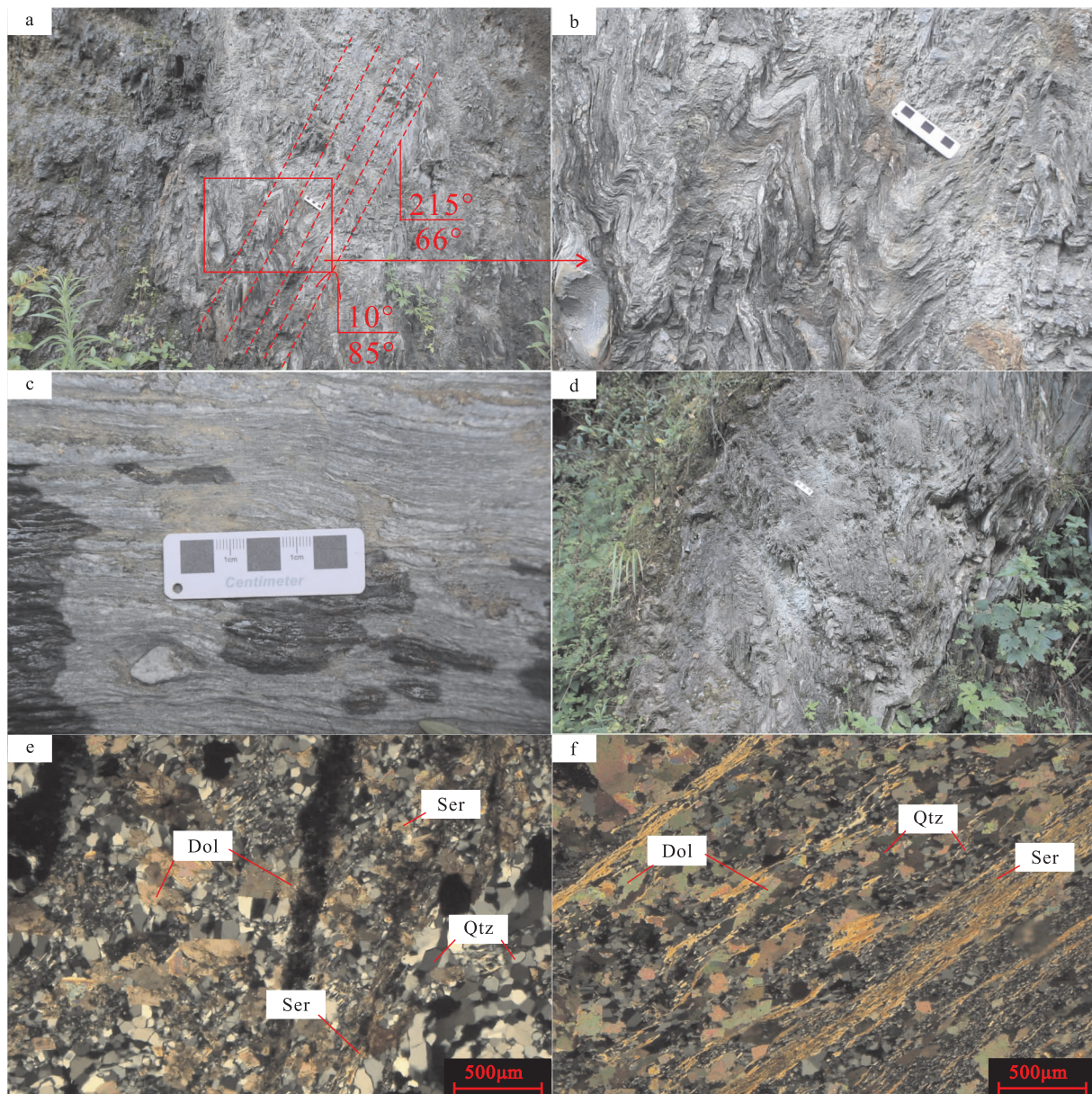
绢云白云质石英千枚岩风化面为灰-灰黑色,新鲜面灰绿色,显微粒状鳞片变晶结构,千枚状构造,主要矿物为石英、白云石、绢云母。石英含量约为50%,他形粒状,粒径<0.1 mm;白云石含量约为25%,他形-半自形粒状,粒径<0.25 mm;绢云母含量约为20%,鳞片状,片径<0.1 mm,定向排列。其他次要矿物约占5%。

2 测试方法

样品的粉碎及锆石挑选工作在河北省廊坊市峰泽源岩矿检查技术有限公司完成。锆石制靶和阴极发光照相在北京领航科技有限公司完成。锆石 U-Pb 原位定年在天津地质矿产研究所测试中心进行。分析仪器采用 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune 型激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICP-MS)。具体实验过程及试验方法见(李怀坤等,2009)。实验中用 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行同位素分馏校正(JACKSON et al.,2004),数据处理用 ICPMS Data Cal 程序(LIU et al.,2010) Iso-plot 程序进行(LUDWIG,2003),采用²⁰⁸Pb 校正法对普通铅进行校正(ANDERSEN,2002),利用 NIST SRM610 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

3 测试结果

在双目镜透射光和反射光下,2 件样品碎屑锆石均呈浅黄色。碎屑锆石阴极发光图像显示锆石粒径介于 80~160 μm,总体磨圆度较差,多呈短柱状、不规则状,少数为长柱状,指示出近源沉积的特征。从阴极发光图像可以看出(图3),挑选出的锆石绝大多数具有岩浆韵律的典型环带结构或明暗相间的条带状结构,属于岩浆结晶产物。部分锆石具有核幔结构,核部为捕获核或继承核,少部分锆石具有变质增生边,核部显示出岩浆韵律环带特征。样品包含多种成因类型的锆石,反映了沉积岩物源的复杂性。对碎屑岩样品(ML1259-TW3、ML1261-TW1)



a. 含砾岩系中千枚理和褶劈理构造; b. 含砾岩系中千枚理和褶劈理构造及变形砾石; c. 含砾绢云白云质石英千枚岩中变形砾石和千枚理构造; d. 绢云白云质石英千枚岩宏观露头; e. 含砾绢云白云质石英千枚岩镜下照片(ML1259-TW3)(+); f. 绢云白云质石英千枚岩(ML1261-TW1)镜下照片(+); Dol. 白云石; Ser. 绢云母; Qtz. 石英

图2 三岔子地区金家河千枚岩样品野外及镜下照片

Fig. 2 Field and microscopic photos of the Jinjiahe Phyllite in the Sanchazi area

分别随机测定了 80 颗锆石颗粒。为保证测定结果的代表性,测点尽可能覆盖形态、环带结构和粒径大小不同的锆石,能够充分反映碎屑锆石群的年龄分布特点。笔者对于 $>1\ 000$ 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 $<1\ 000$ 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(SIRCOMBE, 1999)。

表 1 为 2 件样品的碎屑锆石 U-Pb 测年结果。样品 ML1259-TW3 的 Th、U、Pb 及 Th/U 值的质量分数分别为 $(18\sim 460)\times 10^{-6}$ 、 $(10\sim 272)\times 10^{-6}$ 、 $(34\sim 636)\times 10^{-6}$ 、0.38~2.91。样品 ML1261-TW1 的 Th、U、Pb 及 Th/U 值的质量分数分别为 $(30\sim 607)\times 10^{-6}$ 、 $(39\sim 562)\times 10^{-6}$ 、 $(64\sim 2\ 616)\times$

表 1 略阳三岔子地区关家沟碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试结果表

Tab. 1 Schedule LA-ICP-MS U-Pb dating results of detrital zircons from Guanjiagou Formation of Sanchazi area, Lueyang

测点	含砾绢云白云质石英千枚岩																
	元素含量(10^{-6})					同位素比值					同位素年龄						
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ	1σ	1σ
1	120	78	63	1.23	0.065 2	0.002 2	1.158 9	0.042 9	0.128 5	0.000 5	789	70	781	20	779	3	
2	333	58	46	1.26	0.161 5	0.000 8	10.46 6	0.075 8	0.470 1	0.002 3	2 472	8	2 477	7	2 484	10	
3	55	30	33	0.90	0.064 3	0.002 6	1.157 4	0.047 1	0.130 5	0.000 3	754	85	781	22	791	2	
4	270	220	205	1.07	0.061 1	0.000 4	0.934 0	0.007 2	0.110 9	0.000 3	643	12	670	4	678	2	
5	160	99	70	1.41	0.066 0	0.001 4	1.206 8	0.024 7	0.132 7	0.000 4	806	44	804	11	803	2	
6	436	77	64	1.20	0.161 9	0.000 9	10.268	0.071 1	0.459 9	0.001 1	2 476	10	2 459	7	2 439	5	
7	440	288	221	1.30	0.065 2	0.000 7	1.162 7	0.014 0	0.129 3	0.000 3	789	217	783	7	784	2	
8	143	89	71	1.25	0.066 0	0.001 5	1.203 8	0.028 5	0.132 3	0.000 3	806	44	802	13	801	2	
9	66	39	36	1.08	0.071 6	0.002 0	1.337 8	0.040 0	0.135 4	0.000 8	973	56	862	17	819	4	
10	637	356	169	2.10	0.064 8	0.000 5	1.107 6	0.008 1	0.123 9	0.000 2	769	15	757	4	753	1	
11	141	84	64	1.32	0.066 5	0.001 0	1.259 8	0.019 3	0.137 5	0.000 4	820	33	828	9	831	2	
12	83	48	39	1.25	0.066 9	0.002 0	1.239 0	0.037 1	0.134 2	0.000 3	835	62	818	17	812	2	
13	393	239	158	1.51	0.067 0	0.000 4	1.304 2	0.007 4	0.141 1	0.000 2	839	11	848	3	851	1	
14	354	212	158	1.34	0.066 5	0.000 4	1.296 8	0.009 6	0.141 5	0.000 3	820	13	844	4	853	2	
15	85	53	39	1.37	0.066 5	0.001 9	1.274 4	0.037 2	0.139 1	0.000 4	822	61	834	17	839	3	
16	37	27	17	1.60	0.066 3	0.004 0	1.200 2	0.073 1	0.131 2	0.000 6	817	158	801	34	795	3	
17	69	43	33	1.30	0.067 6	0.002 5	1.287 0	0.050 2	0.138 0	0.000 8	855	78	840	22	833	4	
18	170	103	90	1.15	0.067 3	0.000 9	1.330 3	0.018 2	0.143 5	0.000 4	856	29	859	8	864	2	
19	122	80	45	1.78	0.067 1	0.001 8	1.254 4	0.034 4	0.135 5	0.000 4	843	55	825	15	819	2	
20	85	51	42	1.21	0.068 2	0.002 3	1.334 6	0.048 0	0.141 7	0.000 6	874	70	861	21	854	3	
21	55	33	27	1.21	0.064 8	0.004 5	1.171 7	0.089 7	0.129 8	0.000 9	769	146	787	42	787	5	
22	53	25	60	0.41	0.067 8	0.001 2	1.353 3	0.025 0	0.144 6	0.000 8	865	35	869	11	871	5	
23	174	78	87	0.90	0.063 1	0.001 4	1.048 0	0.026 1	0.120 3	0.000 4	709	51	728	13	732	2	
24	88	53	38	1.39	0.067 1	0.001 8	1.316 2	0.035 5	0.142 1	0.000 4	843	54	853	16	857	2	
25	78	51	40	1.26	0.067 3	0.001 5	1.286 5	0.028 9	0.138 7	0.000 3	856	51	840	13	837	2	
26	86	53	44	1.20	0.065 4	0.001 7	1.164 2	0.031 2	0.128 9	0.000 4	789	56	784	15	782	2	
27	86	51	33	1.53	0.065 6	0.004 6	1.259 0	0.103 0	0.137 5	0.000 9	794	181	827	46	831	5	
28	141	76	100	0.76	0.066 2	0.000 8	1.178 6	0.013 9	0.129 2	0.000 2	813	24	791	7	783	1	
29	155	74	91	0.81	0.077 0	0.000 5	1.840 0	0.016 2	0.173 3	0.000 9	1 121	18	1 060	6	1 030	5	
30	147	80	118	0.68	0.069 3	0.000 5	1.443 3	0.011 9	0.151 0	0.000 5	909	16	907	5	907	3	
31	401	101	48	2.09	0.123 0	0.000 7	6.182 9	0.044 4	0.364 6	0.001 3	2 000	10	2 002	6	2 004	6	
32	113	73	61	1.20	0.063 8	0.001 3	1.060 9	0.021 7	0.120 5	0.000 4	744	41	734	11	734	2	

ML1259-TW3

续表 1

测点		元素含量(10^{-6})				含砾绢白云质石英英千枚岩											
		Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
33	286	184	71	2.59	0.064 5	0.001 0	1.126 2	0.018 1	0.126 8	0.000 3	767	34	766	9	769	2	
34	299	185	176	1.05	0.065 6	0.001 1	1.194 8	0.021 2	0.132 1	0.000 2	794	31	798	10	800	1	
35	137	88	56	1.57	0.065 7	0.002 3	1.149 1	0.045 8	0.126 4	0.000 5	798	75	777	22	768	3	
36	462	297	273	1.09	0.065 0	0.000 4	1.141 8	0.008 5	0.127 5	0.000 4	772	13	773	4	774	2	
37	127	71	96	0.74	0.067 6	0.001 0	1.314 5	0.021 3	0.140 9	0.000 5	857	30	852	9	850	3	
38	95	61	43	1.41	0.065 1	0.002 0	1.145 3	0.034 7	0.127 6	0.000 4	777	58	775	16	774	2	
39	56	33	30	1.09	0.067 1	0.002 3	1.269 7	0.044 3	0.137 2	0.000 6	840	70	832	20	829	3	
40	77	50	41	1.22	0.064 1	0.002 0	1.140 8	0.037 6	0.129 0	0.000 4	744	67	773	18	782	2	
41	169	104	65	1.61	0.066 6	0.001 1	1.265 6	0.022 3	0.137 8	0.000 4	828	35	830	10	832	2	
42	59	38	28	1.34	0.065 6	0.002 5	1.188 3	0.045 2	0.131 4	0.000 5	794	75	795	21	796	3	
43	244	156	82	1.90	0.066 1	0.001 3	1.208 7	0.026 1	0.132 6	0.000 4	809	41	805	12	803	2	
44	119	70	65	1.08	0.066 0	0.001 7	1.261 3	0.036 2	0.138 4	0.000 8	809	54	828	16	836	4	
45	340	243	88	2.76	0.064 5	0.001 0	1.128 4	0.019 1	0.126 8	0.000 4	759	34	767	9	770	2	
46	123	81	81	1.00	0.064 3	0.001 2	1.113 3	0.023 7	0.125 5	0.000 8	754	36	760	11	762	5	
47	280	45	50	0.91	0.199 8	0.001 2	15.169 1	0.129 4	0.551 0	0.003 2	2 824	10	2 826	8	2 829	13	
48	619	461	188	2.45	0.061 2	0.000 5	1.013 7	0.010 0	0.120 2	0.000 4	656	19	711	5	732	2	
49	281	40	40	1.01	0.176 2	0.001 2	12.176 9	0.100 0	0.501 3	0.001 6	2 618	12	2 618	8	2 619	7	
50	42	20	39	0.52	0.068 2	0.001 4	1.382 5	0.029 1	0.147 0	0.000 4	876	42	881	12	884	2	
51	192	128	64	2.00	0.064 9	0.000 9	1.174 3	0.017 4	0.131 3	0.000 5	772	28	789	8	796	3	
52	62	18	29	0.62	0.090 3	0.001 5	3.187 7	0.055 0	0.256 1	0.000 6	1 432	27	1 454	13	1 470	3	
53	127	74	60	1.23	0.069 0	0.002 2	1.438 4	0.075 3	0.149 1	0.002 3	898	67	905	31	896	13	
54	37	28	32	0.88	0.062 6	0.003 5	1.020 6	0.056 2	0.118 5	0.000 7	696	120	714	28	722	4	
55	190	120	57	2.10	0.066 3	0.004 0	1.265 0	0.087 0	0.137 3	0.000 7	817	158	830	39	829	4	
56	168	106	49	2.14	0.066 3	0.002 2	1.279 0	0.044 6	0.140 0	0.000 4	817	69	836	20	845	3	
57	34	21	10	1.99	0.062 0	0.007 7	1.039 8	0.130 9	0.120 5	0.000 9	672	266	724	65	733	5	
58	155	102	64	1.59	0.064 6	0.001 9	1.152 4	0.036 5	0.129 5	0.000 6	761	68	778	17	785	4	
59	349	195	136	1.44	0.063 9	0.001 1	1.073 8	0.020 2	0.122 0	0.000 3	739	37	741	10	742	2	
60	72	42	47	0.90	0.070 6	0.001 8	1.216 8	0.033 4	0.125 1	0.000 4	946	47	808	15	760	2	
61	66	35	43	0.80	0.067 4	0.001 2	1.335 7	0.024 5	0.143 8	0.000 4	850	36	861	11	866	2	
62	178	126	73	1.73	0.065 6	0.001 4	1.169 0	0.027 8	0.129 3	0.000 4	794	46	786	13	784	2	
63	123	74	63	1.17	0.065 0	0.001 2	1.174 8	0.022 6	0.131 1	0.000 3	776	34	789	11	794	2	
64	189	113	104	1.09	0.065 3	0.000 6	1.089 1	0.011 6	0.121 0	0.000 3	783	21	748	6	736	2	
65	240	83	75	1.11	0.085 8	0.000 6	2.722 5	0.022 4	0.230 1	0.000 6	1 333	13	1 335	6	1 335	3	

续表 1

ML1259-TW3		含砾绢白云质石英英千枚岩														
测点	元素含量(10^{-6})				同位素比值				同位素年龄							
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ	1σ			
66	418	80	70	1.13	0.118 6	0.000 8	5.727 9	0.043 9	0.350 1	0.001 0	194 4	11	193 6	7	193 5	5
67	232	130	126	1.03	0.060 3	0.000 7	1.003 6	0.014 6	0.120 5	0.000 5	613	26	706	7	734	3
68	69	43	25	1.74	0.064 4	0.002 4	1.148 7	0.044 4	0.129 3	0.000 7	754	80	777	21	784	4
69	210	140	101	1.38	0.063 1	0.001 7	1.074 1	0.034 5	0.123 0	0.000 7	722	57	741	17	748	4
70	191	124	53	2.35	0.058 3	0.002 1	1.024 3	0.040 0	0.127 2	0.000 6	539	78	716	20	772	4
71	185	86	224	0.39	0.057 8	0.001 2	1.041 5	0.025 3	0.130 7	0.000 7	524	46	725	13	792	4
72	60	36	36	1.02	0.049 6	0.003 1	0.999 0	0.041 1	0.121 6	0.000 8	176	144	703	21	740	4
73	58	35	32	1.08	0.064 2	0.003 6	1.151 1	0.076 1	0.129 2	0.001 0	746	121	778	36	784	6
74	65	39	31	1.25	0.058 0	0.002 7	1.037 3	0.051 0	0.129 6	0.000 7	532	100	723	25	785	4
75	221	122	75	1.62	0.060 8	0.002 7	1.123 9	0.060 6	0.133 2	0.001 0	632	96	765	29	806	6
76	317	211	110	1.92	0.060 4	0.002 1	1.032 4	0.040 2	0.123 5	0.000 5	620	79	720	20	751	3
77	162	98	47	2.09	0.065 2	0.002 2	1.181 0	0.043 1	0.131 0	0.000 6	789	70	792	20	794	3
78	218	144	52	2.79	0.062 2	0.001 9	1.095 1	0.037 4	0.127 4	0.000 5	680	67	751	18	773	3
79	66	38	33	1.15	0.066 8	0.003 0	1.300 5	0.061 2	0.140 7	0.000 6	831	94	846	27	849	3
80	159	94	122	0.77	0.067 9	0.001 3	1.348 1	0.027 9	0.143 8	0.000 5	865	40	867	12	866	3

ML1261-TW1		绢白云质石英英千枚岩														
测点	元素含量(10^{-6})				同位素比值				同位素年龄							
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ	1σ			
1	423	71	240	0.30	0.144 4	0.000 5	8.440 5	0.042 9	0.424 0	0.001 5	2 281	5	2 280	5	2 279	7
2	766	319	199	1.61	0.067 2	0.000 4	1.320 3	0.008 4	0.142 5	0.000 4	856	13	855	4	859	2
3	120	47	80	0.59	0.067 7	0.001 0	1.328 4	0.020 6	0.142 3	0.000 3	861	36	858	9	858	2
4	123 3	173	180	0.96	0.174 0	0.000 6	11.832 2	0.067 5	0.493 1	0.001 8	2 598	6	2 591	6	2 584	8
5	278	119	141	0.84	0.069 1	0.000 5	1.434 4	0.012 0	0.150 5	0.000 4	902	15	903	5	904	2
6	295	148	118	1.25	0.068 1	0.000 7	1.343 0	0.017 1	0.143 0	0.000 8	872	22	865	7	861	4
7	120	58	87	0.67	0.067 9	0.000 9	1.337 1	0.017 3	0.142 9	0.000 3	865	31	862	8	861	2
8	245	121	117	1.03	0.068 0	0.000 7	1.363 7	0.013 2	0.145 6	0.000 4	878	16	873	6	876	2
9	283	139	100	1.38	0.067 0	0.000 9	1.284 6	0.018 1	0.139 1	0.000 6	839	28	839	8	840	3
10	151	74	71	1.04	0.067 8	0.001 1	1.328 8	0.022 3	0.142 1	0.000 7	865	32	858	10	856	4
11	85	35	71	0.50	0.069 4	0.001 1	1.455 2	0.024 6	0.152 1	0.001 1	909	31	912	10	913	6
12	101	45	49	0.92	0.069 8	0.001 3	1.436 0	0.027 3	0.149 1	0.000 6	924	38	904	11	896	3
13	103 0	573	328	1.75	0.067 2	0.000 3	1.183 6	0.008 8	0.127 8	0.000 7	843	8	793	4	775	4
14	221	106	103	1.03	0.067 5	0.001 1	1.314 2	0.025 0	0.141 1	0.000 4	854	35	852	11	851	2
15	448	215	296	0.73	0.067 1	0.000 4	1.290 1	0.010 6	0.139 4	0.000 7	843	11	841	5	841	4
21	281	130	174	0.75	0.067 6	0.000 5	1.256 1	0.010 2	0.134 7	0.000 3	857	17	826	5	815	2
17	232	110	165	0.66	0.066 9	0.000 6	1.271 1	0.011 9	0.137 8	0.000 3	835	19	833	5	832	2

续表 1

测点	元素含量(10^{-6})										同位素比值										同位素年龄									
	Pb		Th		U		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$							
	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ						
18	892	127	248	0.51	0.190 9	0.000 6	13.889 2	0.058 1	0.527 8	0.001 2	2 750	6	2 742	4	2 732	5														
19	239	124	143	0.87	0.070 7	0.000 5	1.336 6	0.010 4	0.137 1	0.000 3	95 0	-19	862	5	828	2														
20	72	31	80	0.38	0.071 9	0.000 7	1.601 7	0.015 6	0.161 6	0.000 4	983	23	971	6	966	2														
21	277	127	117	1.08	0.068 8	0.000 6	1.431 5	0.012 1	0.151 0	0.000 3	900	18	902	5	906	2														
22	2 617	414	288	1.44	0.174 3	0.000 5	11.907 3	0.064 3	0.495 4	0.002 2	2 600	5	2 597	5	2 594	10														
23	491	240	213	1.13	0.068 4	0.000 5	1.343 6	0.010 2	0.142 5	0.000 3	880	14	865	4	859	2														
24	253	116	116	1.00	0.072 4	0.000 8	1.369 1	0.016 4	0.137 1	0.000 4	998	22	876	7	828	3														
25	323	162	133	1.21	0.066 6	0.000 7	1.252 3	0.014 1	0.136 3	0.000 4	826	25	824	6	824	3														
26	430	199	343	0.58	0.067 9	0.000 3	1.335 2	0.007 5	0.142 7	0.000 4	865	11	861	3	860	2														
27	419	204	330	0.62	0.067 4	0.000 4	1.306 0	0.008 1	0.140 5	0.000 3	850	12	848	4	848	2														
28	119	49	56	0.88	0.075 6	0.001 8	1.578 0	0.038 6	0.151 4	0.000 5	1 083	48	962	15	909	3														
29	726	348	364	0.96	0.066 6	0.000 5	1.252 4	0.013 2	0.136 4	0.001 0	828	14	824	6	824	6														
30	193	85	92	0.92	0.067 8	0.000 9	1.296 3	0.018 4	0.138 8	0.000 4	861	27	844	8	838	2														
31	278	137	154	0.89	0.066 6	0.000 8	1.256 2	0.016 4	0.136 8	0.000 4	828	-175	826	7	827	2														
32	225	127	104	1.22	0.065 9	0.001 1	1.155 8	0.020 1	0.127 2	0.000 3	806	34	780	10	772	2														
33	282	141	229	0.62	0.065 9	0.000 7	1.218 7	0.015 3	0.134 2	0.000 4	806	19	809	7	812	2														
34	801	417	223	1.87	0.068 4	0.000 7	1.344 1	0.014 8	0.142 5	0.000 4	883	20	865	6	859	2														
35	1 006	498	269	1.85	0.068 2	0.000 6	1.360 4	0.012 9	0.144 7	0.000 5	876	17	872	6	871	3														
36	180	84	87	0.96	0.068 2	0.001 0	1.359 6	0.021 3	0.144 7	0.000 4	874	31	872	9	871	2														
37	362	179	175	1.02	0.066 4	0.000 7	1.241 8	0.015 5	0.135 7	0.000 7	818	20	820	7	820	4														
38	279	128	123	1.04	0.067 3	0.000 6	1.294 8	0.011 4	0.139 6	0.000 5	856	18	843	5	842	3														
39	478	248	233	1.07	0.066 9	0.000 4	1.273 1	0.009 2	0.138 0	0.000 3	835	8	834	4	833	2														
40	226	128	100	1.28	0.062 3	0.000 8	1.095 2	0.014 2	0.127 5	0.000 3	683	26	751	7	774	2														
41	135	64	67	0.95	0.067 3	0.001 4	1.308 6	0.027 8	0.141 0	0.000 5	856	41	849	12	850	3														
42	152	74	76	0.98	0.066 3	0.001 6	1.251 0	0.031 0	0.136 8	0.000 3	817	50	824	14	826	2														
43	564	330	154	2.14	0.063 1	0.000 5	1.109 3	0.009 1	0.127 5	0.000 3	722	17	758	4	774	2														
44	230	110	112	0.98	0.066 4	0.000 8	1.242 4	0.015 3	0.135 6	0.000 3	820	31	820	7	820	2														
45	125	58	40	1.46	0.068 0	0.001 4	1.371 6	0.029 4	0.146 5	0.001 4	878	44	877	13	881	8														
46	227	115	85	1.36	0.067 3	0.000 9	1.281 4	0.020 0	0.138 0	0.000 7	848	29	837	9	833	4														
47	338	50	74	0.68	0.163 0	0.000 6	10.581 4	0.049 1	0.470 9	0.001 3	2 487	7	2 487	5	2 488	6														
48	2 724	737	502	1.47	0.160 4	0.000 7	6.132 8	0.054 6	0.277 3	0.001 8	2 461	6	1 995	8	1 578	9														
49	410	183	264	0.69	0.068 2	0.000 4	1.367 2	0.008 4	0.145 4	0.000 4	876	12	875	4	875	2														
50	216	104	114	0.92	0.066 7	0.000 8	1.266 2	0.014 7	0.137 8	0.000 3	828	-175	831	7	832	2														

ML1261-TW1

续表 1

测点	元素含量(10^{-6})				同位素比值										同位素年龄			
	Pb	Th	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		
51	182	86	222	0.39	0.068 4	0.000 4	1.311 9	0.008 2	0.139 1	0.000 3	881	7	851	4	839	2		
52	132	43	52	0.82	0.105 0	0.001 4	1.968 2	0.026 5	0.136 0	0.000 5	1 714	25	1 105	9	822	3		
53	136	67	57	1.18	0.067 4	0.000 9	1.312 9	0.018 7	0.141 2	0.000 6	852	23	851	8	851	3		
54	269	131	71	1.84	0.068 4	0.000 9	1.322 5	0.019 5	0.140 3	0.000 8	880	30	856	9	847	4		
55	175	81	70	1.16	0.073 9	0.000 8	1.502 1	0.016 9	0.147 4	0.000 3	1 039	23	931	7	886	2		
56	254	32	63	0.51	0.191 9	0.000 8	14.162 8	0.081 6	0.535 4	0.002 3	2 758	6	2 761	6	2 764	10		
57	256	106	135	0.79	0.069 0	0.000 6	1.425 1	0.018 7	0.149 7	0.001 2	900	20	899	8	899	7		
58	538	270	140	1.92	0.067 6	0.000 6	1.317 1	0.010 7	0.141 3	0.000 6	857	17	853	5	852	3		
59	259	75	112	0.67	0.087 6	0.000 5	2.860 4	0.016 4	0.236 8	0.000 5	1 374	10	1 372	4	1 370	3		
60	918	546	563	0.97	0.065 8	0.000 3	1.153 7	0.013 7	0.127 1	0.001 3	1 200	8	779	6	771	8		
61	96	53	51	1.04	0.065 9	0.001 6	1.161 5	0.027 5	0.127 8	0.000 5	806	50	783	13	775	3		
62	1 153	607	391	1.55	0.066 9	0.000 5	1.283 9	0.010 1	0.139 2	0.000 2	835	17	839	5	840	1		
63	199	95	136	0.70	0.066 5	0.000 7	1.241 7	0.013 3	0.135 5	0.000 4	820	22	820	6	819	2		
64	1 118	183	344	0.53	0.171 1	0.000 7	11.415 9	0.054 1	0.483 9	0.000 9	2 569	7	2 558	5	2 544	4		
65	212	105	90	1.16	0.068 4	0.000 9	1.374 7	0.015 8	0.146 0	0.000 4	880	26	878	7	878	2		
66	364	172	166	1.04	0.069 1	0.000 6	1.432 1	0.012 8	0.150 3	0.000 3	902	19	902	5	903	2		
67	220	105	121	0.87	0.067 5	0.000 7	1.319 9	0.014 0	0.141 9	0.000 3	854	20	854	6	855	2		
68	64	33	42	0.77	0.067 1	0.001 8	1.281 3	0.034 4	0.138 6	0.000 4	839	56	837	15	837	2		
69	419	210	213	0.98	0.067 0	0.000 4	1.283 4	0.008 6	0.139 0	0.000 3	839	8	838	4	839	2		
70	533	74	95	0.78	0.180 3	0.000 7	12.673 6	0.086 3	0.510 0	0.002 9	2 655	6	2 656	7	2 657	13		
71	321	154	169	0.91	0.067 4	0.000 6	1.322 8	0.013 1	0.142 4	0.000 4	850	23	856	6	858	2		
72	94	44	46	0.95	0.066 2	0.001 6	1.258 4	0.031 0	0.138 0	0.000 4	813	50	827	14	833	2		
73	127	59	67	0.89	0.066 9	0.001 3	1.285 3	0.025 0	0.139 4	0.000 4	835	39	839	11	841	2		
74	1 073	143	306	0.47	0.173 4	0.001 5	11.853 8	0.187 6	0.495 1	0.003 6	2 590	14	2 593	15	2 593	15		
75	692	110	82	1.35	0.161 4	0.000 7	10.403 9	0.058 0	0.467 7	0.001 6	2 470	6	2 471	5	2 474	7		
76	428	203	265	0.76	0.068 4	0.000 3	1.371 9	0.010 7	0.145 5	0.000 8	880	11	877	5	876	4		
77	284	138	123	1.12	0.067 7	0.000 6	1.344 1	0.012 8	0.144 0	0.000 5	861	19	865	6	867	3		
78	142	68	106	0.64	0.067 2	0.000 8	1.320 2	0.016 8	0.142 4	0.000 4	856	29	855	7	858	2		
79	296	151	128	1.18	0.068 0	0.000 7	1.345 6	0.013 9	0.143 5	0.000 3	870	25	866	6	864	2		
80	272	106	175	0.61	0.067 5	0.000 6	1.300 8	0.013 3	0.139 8	0.000 4	854	17	846	6	844	2		

注:测试单位:天津地质矿产研究所。

10^{-6} 、0.29~2.14。变质成因锆石的 Th/U 值一般小于 0.1, 岩浆结晶锆石的 Th/U 值一般大于 0.4 (BELOUSOVA et al., 2002; HOSKIN et al., 2000), 而快速生长的变质锆石则含有相对高的 Th/U 值 (VAVRA et al., 1999; WHITEHOUSE et

al., 2002; 吴元保等, 2004)。根据所测样品的 Th/U 值分布特征及年龄协变图解上可以看出(图 4), 2 件样品不同年龄分组的 Th/U 值均较大, 且主体均位于 $=0.4$ 线之上, 同样表明样品锆石类型大部分为岩浆成因锆石, 少数为变质成因锆石。

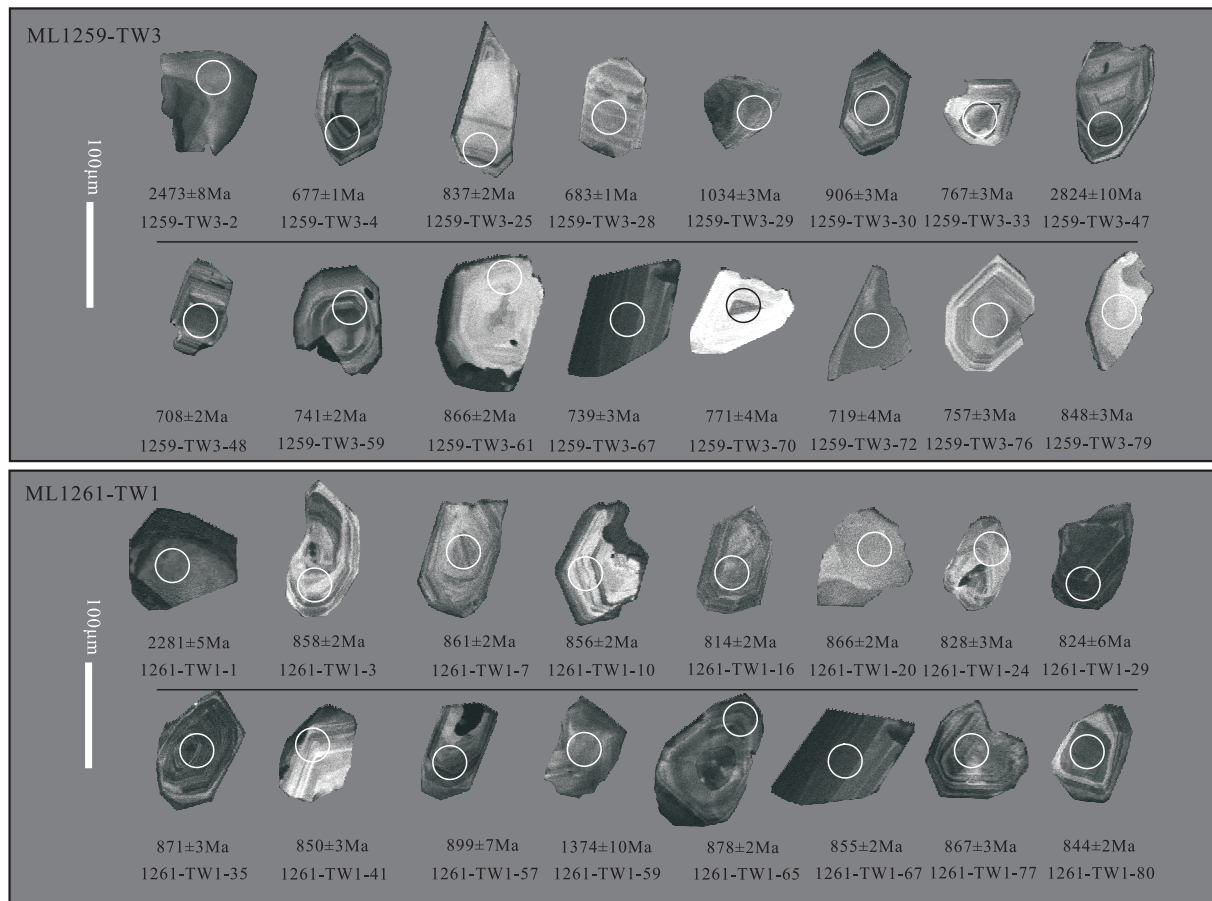


图 3 金家河千枚岩 (ML1259-TW3、ML1261-TW1) 代表性锆石阴极发光图像及年龄值图

Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images and ages of respective zircon from the Jinjiahe Phyllite (ML1259-TW3, ML1261-TW1)

样品 ML1259-TW3 中有效锆石颗粒 (谐和度大于 92%) 为 80 颗, 最年轻和最老的锆石分别为 678 Ma 和 2 824 Ma, 最小年龄组为 678~736 Ma (平均年龄为 725 Ma)。测年结果可分为 3 个年龄组: ①新元古代年龄 71 颗, 为 677~906 Ma, 占总数的 88.7%, 该组年龄有明显峰值, 峰值年龄为 781 Ma。②中元古代年龄 3 颗, 为 1 121~1 432 Ma, 占总数 3.7%, 无明显峰值年龄。③新太古代—古元古代年龄 6 颗, 为 1 944~2 824 Ma, 占总数 7.5%, 峰值年龄为 2 465 Ma。

样品 ML1261-TW1 的有效锆石颗粒 (谐和度

大于 92%) 为 78 颗, 最年轻和最老的锆石分别为 771 Ma 和 2 758 Ma, 最小年龄组为 771~775 Ma (平均年龄为 773 Ma) 整个测年结果可分为 3 组: ①新元古代年龄 67 颗, 为 771~966 Ma, 占总数的 85.8%, 该组年龄有明显峰值, 峰值年龄为 856 Ma。②中元古代年龄 1 颗, 为 1 374 Ma 占总数 1.2%, 无明显峰值年龄。③新太古代—古元古代年龄 10 颗, 为 2 281~2 758 Ma, 占总数 12.8%, 峰值年龄为 2 597 Ma。

这 2 件碎屑锆石年龄样品年龄谱总体具有一致性, 为了便于讨论, 将其合并研究相关问题。

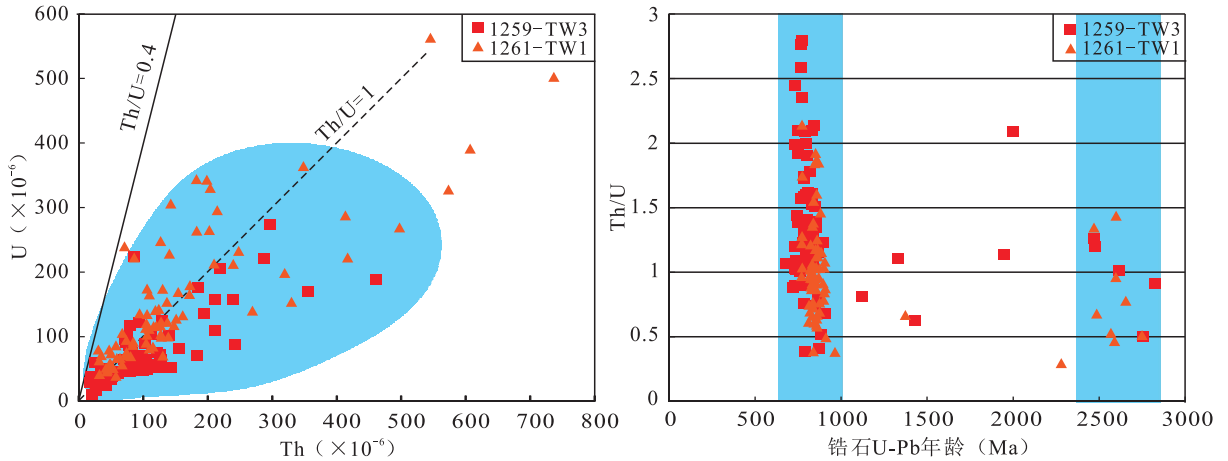


图4 金家河千枚岩碎屑锆石成因类型判别图解

Fig. 4 The discrimin diagrams of genetic types for detrital zircons from the Jinjiahe phyllite

4 讨论

4.1 金家河千枚岩的原岩形成时代

前以及述,金家河千枚岩暂按照陕西省地质调查院(2007)的地层划分方案将其归为关家沟组讨论。关家沟组在文县、康县、略阳一带均有分布。赵祥生等(1990)将文县地区关家沟组与陡山沱组相对应,时代划归震旦纪;卢一伦等(1997)将其对应于泥盆系踏坡组;闫全人等(2007)通过文县关家沟组中的花岗岩和火山岩砾石⁴⁰Ar/³⁹Ar冷却年龄为219 Ma和216 Ma,认为关家沟组是晚三叠世仍然存在的残余洋盆的沉积充填物,该残余洋盆可能为晚古生代一早中生代阿尼玛卿洋与勉略洋或中央造山系南侧古特提斯洋的一部分(闫全人等,2004)。卢海峰等(2007)在文县关家沟组的硅质岩层中发现晚石炭世和晚二叠世的古生物化石,认为其形成于早中生代,与秦岭全面碰撞造山期活动密切相关。高联达等(2015)在文县关家沟滴水岩剖面中的灰色粉砂质板岩中分离鉴定出了晚奥陶世苔藓植物孢子(隐孢子)(*crypto-spores*)、陆生维管束植物小孢子(*miospores*)、疑源类(*acritarchs*)、几丁虫(*chitinozoa*)和虫颚(*scolecodonts*)多种微体化石,认为关家沟组的主要形成时代为晚奥陶世。陕西省地质调查院(2007)完成的“1:25万略阳县幅区域地质调查报告”中根据微古植物组合和上覆震旦—寒武系临江组顶部含早寒武世小壳生物化石,以及岩组具冰

川作用的成岩特点,将其时代置于南华纪晚期。徐学义等(2014)在编制“1:50万秦岭及邻区地质图”时,也将关家沟组归于南华纪。

相比于文县一带,对康县—略阳一带的关家沟组研究程度较低。陕西省地质地质调查中心(2018)在勉略宁地区西延至甘肃境内的关家沟组中已经发现了较丰富的微古植物:*Trachysphaeridium*(粗面球形藻)、*Asperatoposphosphaea*(糙面球形藻)、*Pseudozonosphaera*(拟球环形藻),此外还有*Lophosphaeridium*(瘤面球形藻)、*Monotrematosphaeridium*(单穴球形藻)、*kildinellatenerum*(薄基利定藻)、*Nucellosphaeridium*(有核球形藻)、*Hubeisphaea*(湖北球形藻)等。这些化石具有南华纪微古植物组合特征。徐通(2016)在康县碾坝一带获得的2个关家沟组砂岩碎屑年龄为877~718 Ma和861~678 Ma,峰值分别为800 Ma和771 Ma,认为物源主要为新元古代岩浆岩,为近缘快速堆积的浊积岩建造,沉积时代可能为晚南华世。苏联国等(2018)在略阳火神庙地区关家沟组变质沉积岩中获得了类似的碎屑锆石年龄组成,碎屑锆石的年龄介于932~723 Ma,最年轻的一组年龄为727~723 Ma(平均年龄为725 Ma),限定其沉积时代为南华纪。因此,略阳地区金家河千枚岩主体应属于南华系关家沟组。

本次研究获得略阳三岔子地区关家沟组中含砾绢白云质石英千枚岩和绢白云质石英千枚岩碎屑锆石样品峰值年龄分别为781 Ma(ML1259-

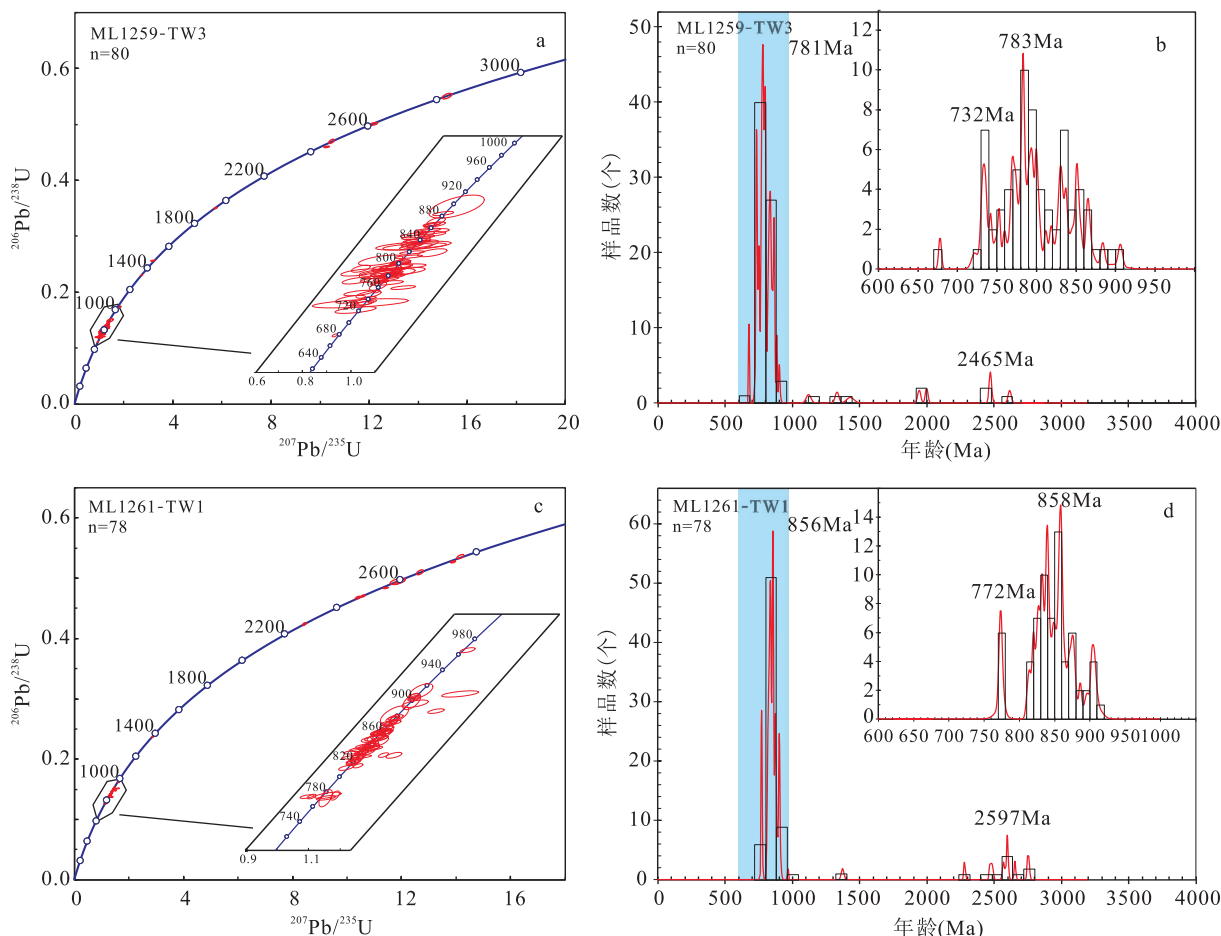
TW1)、856 Ma(ML1261-TW1),最小年龄组分别为 678~736 Ma(平均年龄为 725 Ma)、771~775 Ma(平均年龄为 773 Ma),表明略阳地区关家沟组变沉积岩系的最大沉积年龄为 725 Ma,不早于南华纪。综合前人研究成果认为略阳地区关家沟组可能的形成时代为南华纪。

4.2 碎屑锆石物源分析

沉积岩和变质沉积岩中碎屑锆石具有多来源和多成因的特点,碎屑锆石年龄谱的研究可以提供构造-热事件演化、沉积物源及基底属性等丰富的地质信息。略阳地区关家沟组多个分组的年龄谱特征记录了蚀源区构造事件及源区特征等信息。

4.2.1 新元古代年龄信息

2件样品中新元古代时期的碎屑锆石占绝大部分,共有 138 颗锆石,占总体的 87.1%,表明其源区物质以新元古代岩浆岩为主。新元古代早期受全球 Rondina 超大陆聚合和裂解影响(HOFFMAN, 1999, CONDIE et al., 2001),在勉略构造带以及扬子地块西北缘产生了一系列构造岩浆事件(图 5)(徐通,2016;林振文等,2013;王伟等,2010;李佐臣等,2013;凌文黎等,2001,2006;夏林圻等,2009;赵凤清等,2006;ZHAO et al., 2009;ZHOU et al., 2002;DONG et al., 2011c, 2012;LING et al., 2003)。



a. 样品 1259-TW3 锆石 U-Pb 年龄谱和图; b. 样品 1259-TW3 锆石 U-Pb 年龄直方图; c. 样品 1261-TW1 锆石 U-Pb 年龄谱和图; d. 样品 1261-TW1 锆石 U-Pb 年龄直方图

图 5 金家河千枚岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和图、直方图及概率密度曲线图

Fig. 5 The detrital zircons U-Pb concordia diagrams, histograms and probability density curve of the Jinjiahe phyllite

勉略构造带内新元古代岩浆岩主体为变火山岩(绿片岩相),洋壳型、弧型、裂解型均有。其中洋壳

型火山岩呈构造岩块出露,具 MORB 与 OIB 共生的特点(裴先治,2001;赖绍聪等,2003)。康县大堡、

香子坝、水泉沟洋壳型火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果为 $(841 \pm 19) \sim (812 \pm 11)$ Ma(闫全人等, 2007)。弧型岩浆岩则以三岔子岩浆弧为代表,有基性-中酸性火山岩、变橄榄岩、变辉长岩、斜长花岗岩(张宗清等, 2005;徐通, 2014;李曙光等, 2003;赖绍聪等, 1997, 1998)。其中,变辉长岩和斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 (808 ± 10) Ma 和 (923 ± 13) Ma(闫全人等, 2007)。陆缘弧型火山岩则在略阳黑峡沟北部、纸房沟、五郎坪以及康县马家沟大规模分布,以安山质火山岩为主体, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $837 \sim 797$ Ma(徐通, 2014, 2016)。林振文等(2013)也曾获得了略阳郭镇地区铍厂沟金矿玄武-英安质弧火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $(801 \pm 4) \sim (802 \pm 5)$ Ma。徐通(2016)还厘定出略阳地区张儿沟 O 型埃达克质岩石,其形成时代为 840 Ma。而裂解型火山岩在勉略构造带呈点状分布。例如,琵琶寺基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $(783 \pm 15) \sim (754 \pm 14)$ Ma(李瑞保等, 2009),康县大堡岩组板内玄武岩成岩时代为 $(778 \sim 667)$ Ma(王涛等, 2011),略阳张岩沟大陆裂谷双峰式火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (728 ± 10) Ma(徐通等, 2013)。

扬子地块西北缘碧口微地块中碧口群火山岩系为一蛇绿混杂岩带,包含典型蛇绿岩套、洋中脊玄武岩、洋岛碱性玄武岩、洋岛拉斑玄武岩以及与洋俯冲消减相关的弧火山岩(李永飞, 2006)。其中,碧口地区董家河蛇绿混杂岩中玄武岩和辉长岩的 REE 及不活动微量元素具 MORB 特征,辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 839 Ma,暗示了扬子地块西北缘碧口洋盆存在时间为新元古代(赖绍聪等, 2007)。此前,闫全人等(2003, 2004)对碧口群火山岩系中部的基性熔岩进行研究,认为碧口群火山岩系形成于岛弧环境,与横丹群浊积岩系在扬子地块西北缘构筑了一个弧盆系统,同时对碧口群火山岩下部和上部地层进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,认为碧口群火山岩发育时间为 $840 \sim 776$ Ma,即新元古代。WANG et al. (2008)也在此地区获得了碧口群上下层位玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 (821 ± 7) Ma、 (811 ± 12) Ma。

除此之外,在碧口微地块及其南部后龙门山地区也存在大量的新元古代侵入体。例如,坪头山、刘家坪、关口垭、白雀寺、罗素河、大安和铜厂等侵入体。铜厂岩体位于扬子地块西北缘勉县-略阳-阳平关一带,主要由闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩

组成,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,王伟等(2010)综合 2 种测年手段认为铜厂岩体存 3 个侵位结晶阶段:早期阶段的闪长岩形成于 (879 ± 7) Ma;中期阶段的石英闪长岩形成于 $(848 \pm 5) \sim (840 \pm 7)$ Ma,其中含矿钠长岩脉于 (834 ± 7) Ma 侵位结晶,同样处于中期阶段;晚期阶段花岗闪长岩则形成于 (824 ± 5) Ma。白雀寺岩体及大安岩体则分别出露于略阳县白雀寺和宁强县大安县,形成年龄分别为 (855 ± 6) Ma 和 (854 ± 10) Ma,反映碧口微地块及周缘经历了 $860 \sim 850$ 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)。此外,扬子地块西北缘后龙门山地区轿子顶穹窿核部的花岗岩类 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $792 \sim 795$ Ma,形成时代也为新元古代(LI et al., 2018;裴先治等, 2009)。

同样在扬子地块北缘汉南一米仓山地区新元古代岩浆岩也十分发育,包括西乡群火山岩和西乡-南郑一带出露的大量深成侵入体(汉南侵入杂岩)。广义的西乡群由下至上划分为白勉峡组、三湾组、孙家河组、三郎铺组及大石沟组。西乡群孙家河组英安质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 814 Ma(崔建堂等, 2010)。此前夏林圻等(2009)获得大石沟组流纹斑岩、白勉峡组玄武岩、孙家河组辉石玄武岩和英安岩锆石 U-Pb 年龄分别为 803 Ma、730 Ma、845 Ma、832 Ma,结果与赵凤清等(2006)用单颗粒锆石 U-Pb 稀释法获得的孙家河组火山岩成岩年龄 $(840 \sim 820)$ Ma 相近。凌文黎等(2002a)则对西乡群白勉峡组英安岩和孙家河组流纹岩进行了颗粒级锆石 U-Pb 同位素定年(TIMS 法),分别获得了 (946 ± 18) Ma 和 (904 ± 18) Ma 的谐和年龄,测年结果虽差异较大但也指示为新元古代。汉南侵入杂岩则包括 2 类岩浆岩组合。一类为基性-超基性深成侵入岩,包括碑坝辉长岩、毕矾沟辉长岩、罗家坝辉长岩和望江山辉长岩等岩体,形成时代为 $819 \sim 746$ Ma(ZHAO et al., 2009;ZHOU et al., 2002;凌文黎等, 2001;夏林圻等, 2009;赵凤清等, 2006)。另一类为大面积出露的花岗质岩石,包括碾子沟、五堵门、二里坝、黄家营、西乡等复式岩体,形成时代为 $863 \sim 707$ Ma(DONG et al., 2012;LING et al.,

2003; ZHAO et al., 2009; 凌文黎等, 2006)。

以上构造岩浆事件与略阳地区关家沟组碎屑锆石年龄谱新元古代年龄信息具有良好的对应关系(图7)。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。综合区域地质及构造演化推测勉略构造带及扬子地块西北缘新元古代岩浆岩可能

为略阳三岔子地区关家沟组提供主要的沉积物源。另外,2件样品新元古代时期的碎屑锆石虽都占绝大部分,但是峰值年龄有所差异,结合扬子地块西北缘汉南—米仓山地区和碧口微地块新元古代岩浆岩年龄分布及其对应的概率密度曲线(图6、图7),可以反映出不同物源区物源供应量的差异性。

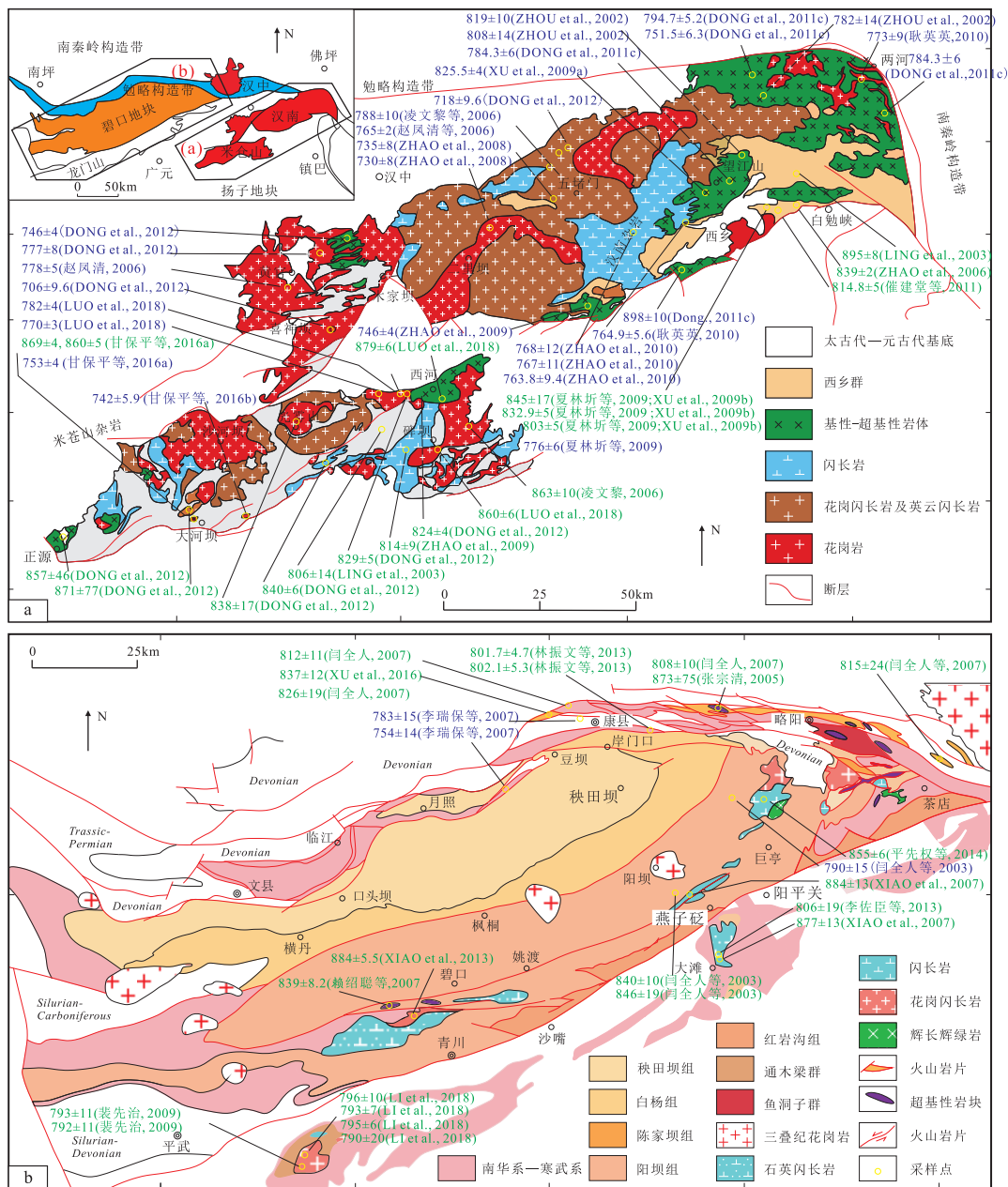
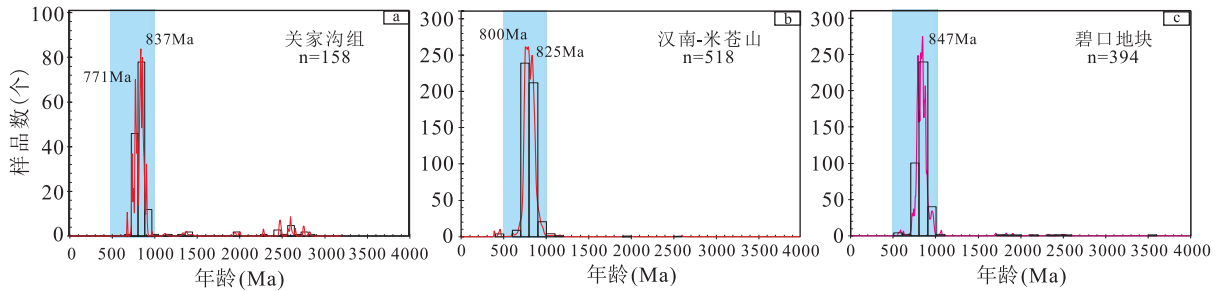


图6 (a)扬子地块西北缘汉南—米仓山地区和(b)碧口微地块新元古代岩浆岩年龄分布图

(据徐学义等, 2014; DONG et al., 2012, 修编)

Fig. 6 Age distribution map of the Neoproterozoic Magmatic rocks from the Hannan-Micangshan area and Bikou Terrane in the northwest Yangtze block (After XU et al., 2014; DONG et al., 2012, Supplementary modification)



a. 金家河千枚岩碎屑锆石年龄分布直方图与概率密度曲线; b. 汉南-米仓山地区新元古代岩浆岩年龄直方图与概率密度曲线;
c. 碧口微地块新元古代岩浆岩年龄直方图与概率密度曲线

图7 谐和 U-Pb 年龄分布直方图与概率密度分布图

Fig. 7 Histograms and probability density distribution curves of the concordant U-Pb ages

4.2.2 中元古代年龄信息

中元古代年龄在 2 件样品中所占比例都很小, 总共只有 4 颗锆石, 只占到锆石总数的 2%, 暗示了略阳三岔子地区关家沟组中有少量 Grenvillian 期岩浆岩的贡献。但在勉略构造带周缘该期岩浆岩年代学资料较少, 仅蒋幸福(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。

4.2.3 新太古代—古元古代年龄信息

新太古代—古元古代碎屑锆石年龄有 16 颗, 年龄为 1 944~2 824 Ma, 占到锆石总数的 10%。其来源可能为扬子地块西北缘的古老结晶基底。

目前, 已确认的扬子地块太古代结晶基底有湖北宜昌崆岭地体(3.5~2.6 Ga)(GUO et al., 2014; JIAO et al., 2009; YANG et al., 2011), 大别东部黄土岭麻粒岩(~2.7 Ga)(SUN et al., 2008; WU et al., 2008), 陕西略阳地区鱼洞子岩群(杂岩)(~2.4 Ga)(HUI et al., 2017; CHEN et al., 2018; ZHOU et al., 2018; 张欣等, 2010; 王洪亮等, 2011), 湖北钟祥市胡集地区新太古代的杨坡群和侵入其中的花岗岩(~2.65 Ga)(WANG et al., 2013; ZHOU et al., 2015)和神农架北部的陡岭杂岩(2.5 Ga)(JUAN et al., 2013; WU et al., 2014)。

除了零散分布的太古代岩石露头之外, 目前在扬子地块内已发现大量古元古代岩石和变质地层。例如, 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)与华山冠环斑花岗岩(~1.85 Ga)(ZHOU et al., 2017; 张丽娟等, 2011), 大别山东南

部的东岭杂岩(~1.85 Ga)(CHEN et al., 2016)和川西—滇西地区的古元古代地层大红山群和东川群(沉积年龄为 1.74~1.66 Ga)(ZHAI, 2015)。这些证据表明在现今扬子地块的表层陆壳下可能存在广泛分布的新太古代—古元古代结晶基底。

其中鱼洞子杂岩和后河杂岩分布在勉略构造带南侧, 是秦岭造山带出露的重要的新太古代—古元古代结晶基底(高峰等, 2017)。略阳地区鱼洞子杂岩主要由 2 部分组成: 一部分为变质地层, 即鱼洞子岩群, 岩石类型以斜长角闪岩、绿片岩、变粒岩、石英岩及磁铁石英岩等为主, 达高绿片岩相—角闪岩相变质; 另一部分为规模不等的古老变质、变形花岗岩类侵入体—花岗片麻岩系, 前人对鱼洞子岩群变质火山岩的年代学研究给出 2 815~2 449 Ma 的形成年龄(HUI et al., 2017; CHEN, 2018; ZHOU et al., 2018; 张欣等, 2010; 王洪亮等, 2011)。另一部分为后河杂岩, 由英云闪长质片麻岩和少量斜长角闪岩及大理岩组成, 经历了高角闪岩相变质和混合岩化作用。英云闪长质片麻岩锆石定年结果表明形成于 2 081 Ma, 代表后河杂岩的形成时代(WU et al., 2012)。

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, 推测秦岭造山带和扬子地块北缘古元古代—太古代变质结晶基底岩系抬升剥蚀可能为略阳三岔子地区关家沟组提供直接或者间接物源。

4.3 地质意义

在勉略构造带及邻区记录了大量新元古代早中期板块汇聚型岩浆事件。勉略构造带内洋壳型火山岩测年结果表明勉略古洋盆存在的主体时限为

826~812 Ma(徐通,2016;裴先治,2001;赖绍聪等,2003;闫全人等,2007),与碧口地区董家河蛇绿岩中辉长岩年龄 839 Ma 较接近(赖绍聪等,2007),暗示二者可能为同一洋盆(徐通,2016)。而勉略构造带内 O 型埃达克质(840 Ma)和陆缘弧型火山岩(837~797 Ma)指示了洋盆俯冲作用的存在(徐通,2016;林振文等,2013;闫全人等,2007)。在勉略构造带南侧扬子地块西北缘,也发现了大量的新元古代洋岛、岛弧及大陆岩浆弧火山岩组合。例如,通木梁岛弧(LI et al., 2018)、彭灌岛弧(马永旺等,1996)、碧口岛弧与横丹弧前盆地组合(DRUSCHKE et al., 2006; XIAO et al., 2007; YAN et al., 2003, 2004; 叶霖等, 2009)、西乡洋岛-弧火山岩(DONG et al., 2011c; LING et al., 2002; ZHOU et al., 2002)、镇安岛弧(凌文黎等,2002)、耀岭河岛弧(凌文黎等,2002;张宏飞等,1997)等,这些新元古代火山岩的主体时代与勉略构造带内陆缘弧火山岩年代基本一致(林振文等,2013),支持了扬子地块西北缘弧-盆体系的存在(裴先治,1989;陶洪祥等,1986,1993)。此外,前人对龙门山褶皱冲断带和后龙门山带的前寒武纪到三叠纪碎屑沉积岩研究证实了新元古代扬子地块西北缘岛弧构造环境(CHEN et al., 2005;陈岳龙等,2006)。由此可见,勉略构造带及邻区在新元古代早中期处于相似的构造体制及地球动力学背景,作为 Rodinia 汇聚过程的响应。

而在新元古代中晚期,勉略构造带及扬子地块西北缘处于后碰撞-裂解阶段。在此时期内勉略构造带内部发育了一系列板内裂解型火山岩。例如,康县地区月照-琵琶寺地区变玄武岩(783~754 Ma)(李瑞保等,2009)、康县云台长峡及长坝地区板内变玄武岩(778~667 Ma)(王涛,2008)、略阳张岩沟地区大陆双峰式火山岩(728 Ma)(徐通,2016),表明勉略地区新元古代中晚期处于板内裂解阶段。而勉略带邻区后龙门山地区刘家坪群酸性钙碱性火山岩系具大陆裂谷流纹岩特征,形成时代为(809±11) Ma,处于裂解环境(李佐臣,2009)。后龙门山地区刘家坪地区大滩 I 型花岗岩和轿子顶过铝质花岗岩成岩年龄分别为(806±19) Ma、(790±20)~(795±6) Ma,同样为后造山期产物(LI et al., 2018;李佐臣等,2013;裴先治等,2009)。在扬子地块西北缘汉南一米仓山地区也存在同时期构造属性相似的岩浆活动。位于汉南地区的众多侵入体,如

望江山岩体、五堵门杂岩体、碑坝杂岩体、毕矾沟岩体、罗家坝岩体等,其成岩时代也基本在 830~760 Ma,构造环境也均显示裂解(凌文黎等,2001;赵凤清等,2006)。米仓山坪河二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(742.1±6) Ma,为新生玄武质下地壳局部熔融的岩浆产物,形成于后碰撞的伸展构造环境(甘保平等,2016)。李献华等(2012)对扬子地块东部和西部前寒武纪碎屑锆石年龄谱进行统计,研究表明东西部均存在一个 810 Ma 显著的峰值,认为扬子地块存在大规模的新元古代花岗岩浆活动,为统一裂解机制形成(李佐臣等,2013)。这些研究均支持新元古代中晚期(~800 Ma)勉略构造带及扬子地块西北缘地区处于后碰撞-裂解阶段。而南秦岭周庵超镁铁质岩体被认为是裂解最晚期的产物(637 Ma)(王梦玺等,2012)。同时在此裂谷沉积阶段,勉略构造带周缘也存在有大量沉积记录。例如,扬子地块西北缘后龙门山地区南沱组(包括碓窝梁组和青林组下段)、南秦岭武关岩群(徐通,2016;李佐臣等,2011)等。

本次获得的略阳金家河镇三岔子地区关家沟组碎屑锆石峰值年龄与康县碾坝南、味石沟、略阳火神庙的关家沟组峰值年龄相似(徐通,2016),最大沉积年龄为 725 Ma,且综合前人对文县、康县典型剖面研究后,认为关家沟组上部具斜坡浊流沉积特点(卢海峰等,2007;徐通,2016;苏春乾等,2003;闫全人等,2004),以及碎屑锆石具近源快速堆积特征,认为略阳三岔子地区关家沟组为勉略构造带新元古代中晚期陆内裂谷沉积阶段近源快速堆积形成。

5 结论

(1)勉略构造带略阳三岔子地区金家河千枚岩 2 件变质碎屑岩的碎屑锆石最小年龄组分别为 678~736 Ma(平均年龄为 725 Ma)、771~775 Ma(平均年龄为 773 Ma),代表该套变质沉积岩沉积时代的下限,表明其形成时代不早于南华纪。

(2)勉略构造带略阳金家河镇三岔子地区关家沟组碎屑锆石年龄谱主要有 3 组:新元古代年龄组,677~966 Ma,该段有明显峰值,峰值年龄分别为 781 Ma(样品 ML1259-TW3)、865 Ma(样品 ML1261-TW1);中元古代年龄组,1 122~1 432 Ma,无明显峰值;古元古代-太古代年龄组,1 944~2 824 Ma,峰

值年龄分别为 2 465 Ma(样品 ML1259-TW3)、2 597 Ma(样品 ML1261-TW1)。综合研究认为勉略构造带略阳三岔子地区关家沟组碎屑主要物源区包括勉略构造带、碧口微地块、扬子地块西北缘汉南一米仓山地区。

(3)勉略构造带略阳三岔子地区关家沟组沉积事件可能对应了新元古代中晚期(~800 Ma)勉略构造带及扬子地块西北缘地区后碰撞-裂解阶段,为勉略构造带及邻区新元古代岩浆岩近源快速堆积产生。

参考文献(References):

陈岳龙,唐金荣,刘飞,等.松潘-甘孜碎屑沉积岩的地球化学与 Sm-Nd 同位素地球化学[J].中国地质,2006,33(1):113-122.

CHEN Yuelong, TANG Jinrong, LIU Fei, et al. Elemental and Sm-Nd isotopic geochemistry of clastic sedimentary rocks in the Gerze-Songpan block and Longmen Mountain[J]. Geology in China, 2006, 33(1): 113-122.

崔建堂,韩芳林,张拴厚,等.南秦岭西乡群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造地质意义[J].陕西地质,2010,28(2):53-58.

CUI Jiantang, HAN Fanglin, ZHANG Shuanhou, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and the Tectonic Significance of the Xixiang Group in Southern Qinling[J]. Geology of Shaanxi, 2010, 28(2): 53-58.

冯益民,曹宣铎,张二朋.勉县-略阳带大地构造属性之探讨[J].地质论评,2004,50(3):295-303.

FENG Yimin, CAO Xuanduo, ZHANG Erpeng. Discussion on the Tectonic Features of the Mianxian-Lueyang Zone[J]. Geological Review, 2004, 50(3): 295-303.

甘保平,赖绍聪,秦江锋.米仓山坪河新元古代二长花岗岩成因及其地质意义[J].地质论评,2016,62(4):929-944.

GAN Baoping, LAI Shaocong, QIN Jiangfeng. Petrogenesis and Implications for the Neoproterozoic Monzogranite in Pinghe, Micang Mountain[J]. Geological Review, 2016, 62(4): 929-944.

高联达,王涛,姜春发,等.西秦岭关家沟组晚奥陶世苔藓植物孢子和陆生维管束植物小孢子化石[J].地质通报,2015,34(9):1668-1676.

GAO Liangda, WANG Tao, JIANG Chunfa, et al. A new record of the Late Ordovician cryptospores and vascular plant mio-spores from Guanjiagou Formation, West Qinling[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(9): 1668-1676.

高峰,裴先治,李瑞保,等.东秦岭商单地区武关岩群斜长角闪片岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].西北地质,2017,50(1):198-211.

GONG Feng, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. LA-ICP-MS Zircon U-UP Ages of the Plagioclase-Amphibole Schist from the Wuguan Group in Shangdan Area, East Qinling, and Its Geological Significance[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(1): 198-211.

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 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.

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,2010.

GENG Yingying. SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology and Geochemistry Study of Neoproterozoic Granites in the Northern Margin of Yangtze Continent[D]. Beijing: Master Dissertation of China University of Geosciences, 2010.

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 Geoscientia Sinica, 2012, 33(3): 305-315.

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.

JIANG Xingfu. Genesis and Tectonic Significance of the Miaowan Ophiolite Complex in the Huangling Anticline Yangtze Craton[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2014.

赖绍聪,张国伟,杨永成,等.南秦岭勉县-略阳结合带变质火山岩岩石地球化学特征[J].岩石学报,1997,13(4):564-572.

LAI Shaocong, 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.

赖绍聪,张国伟,杨永成,等.南秦岭勉县-略阳结合带蛇绿岩与岛弧火山岩地球化学及其大地构造意义[J].地球化学,1998,27(3):283-293.

LAI Shaocong, ZHANG Guowei, YANG Yongchen, et al. Ge-

- ochemistry of the Ophiolite and Island Arc Volcanic Rock in the Mianxian-Lueyang Suture Zone, Southern Qinling and their Tectonic Significances[J]. *Geochimica*, 1998, 27(3): 283-293.
- 赖绍聪, 张国伟. 秦岭一大别勉略结合带蛇绿岩及其大地构造意义[J]. *地质论评*, 1999, 45(增刊): 1062-1071.
- LAI Shaocong, ZHANG Guowei. Ophiolites and their Tectonic Significance in the Mianlue Suture Zone, Qinling-Dabie Orogenic Belt [J]. *Geological Review*, 1999, 45(S1): 1062-1071.
- 赖绍聪, 张国伟, 裴先治. 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): 465-470.
- LAI Shaocong, ZHANG Guowei, PEI Xianzhi. Geochemistry of the Pipasi ophiolite in the Mianlue suture zone, South Qinling, and its tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(8): 465-470.
- 赖绍聪, 张国伟, 裴先治, 等. 南秦岭康县—琵琶寺—南坪构造混杂带蛇绿岩与洋岛火山岩地球化学及其大地构造意义[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2003a, 33(1): 10-19.
- LAI Shaocong, ZHANG Guowei, PEI Xianzhi, et al. Geochemistry of the Ophiolite and Ocean Island Volcanic Rocks in the Kangxian-Pipasi-Nanping Tectonic Melange Belt, South Qinling and Its Tectonic significances [J]. *Science in China*, 2003a, 33(1): 10-19.
- 赖绍聪, 张国伟, 董云鹏, 等. 秦岭一大别勉略构造带蛇绿岩与相关火山岩性质及其时空分布[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2003b, 33(12): 1174-1183.
- LAI Shaocong, ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, et al. Properties and temporal and spatial distribution of Ophiolites and related Volcanic Rocks in the Qinling-Dabie Mianlue Tectonic Belt [J]. *Science in China*, 2003b, 33(12): 1174-1183.
- 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, (增刊): 262-270.
- LAI Shaocong, LI Yongfei, QIN Jiangfeng. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Dongjiahe ophiolite complex from the western Bikou terrane [J]. *Science in China*, 2007, (Suppl.): 305-313.
- 赖绍聪, 秦江锋. 勉略缝合带三岔子辉绿岩墙锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素组成—古特提斯洋壳俯冲的年代学证据[J]. *地球科学与环境学报*, 2010, 32(1): 27-33.
- LAI Shaocong, QIN Jiangfeng. Zircon U-Pb Dating and Hf Isotopic Composition of the Diabase Dike Swarm from Sanchazi Area, Mianlue Suture—Chronology Evidence for the paleo-Tethys Oceanic Crust Subduction [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2010, 32(1): 27-33.
- 李春昱, 王荃, 张之孟, 等. 中国板块构造的轮廓[J]. *中国地质科学院院报*, 1980, 2(00): 11-19, 130.
- LI Chunyu, WANG Quan, ZHANG Zhimeng, et al. Preliminary Study of Plate Tectonics of China [J]. *Bulletin Chinese Academy of Geological Sciences*, 1980, 2(00): 11-19, 130.
- 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-ICP-MS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. *矿物学报*, 2009, 29(增刊): 600-601.
- LI Huaikun, GENG Jianzhen, HAO Shuang, et al. Study on zircon U-Pb dating by LA-MC-ICP-MS [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2009, 29(Suppl. 1): 600-601.
- 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 Qinling its Geological Implication [J]. *Acta Geological Sinica*, 2009, 83(11): 1612-1623.
- 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: 地球科学)*, 2003, 33(12): 1163-1173.
- LI Shuguang, HOU Zhenhui, YANG Yongcheng, et al. Geochronology and geochemistry of Sanchazi magmatic arc, Mian-Lue Tectonic Belt, South Qinling [J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 33(12): 1164-1173.
- 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—古生代洋盆及其闭合时代的证据[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 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.
- 李永飞. 扬子板块北缘碧口火山岩系岩石地球化学研究 [D]. 西安: 西北大学, 2006.
- LI Yongfei. Petrogeochemical study of Bikou volcanic series on the North margin of the Yangtzeplate [D]. Xi'an: Northwest University, 2006.
- 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.

- LI Zuochen. Composition, Structural Characteristics and Evolution of Back-Longmenshan Orgen (North Section) in the Northwest Margin of Yangtze Block [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- 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, LI Ruibao, et al. Geochronological and Geochemical Study on Datan Granite in Liujiaping Area, Northwest Yangtze Block and Its Tectonic Setting [J]. Geological Review, 2013, 59(5): 869-884.
- 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(2): 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.
- 李育敬, 王升勤, 潘长利, 等. 徐家坪—两河口地区 1:5 万区域调查报告[R]. 西安: 陕西省地质矿产局区域地质调查队, 1994.
- 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 Guachang-gou Area, Mian-Lue suture, South Qinling [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(1): 85-96.
- 凌文黎, 王歆华, 程建萍. 扬子北缘晋宁期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, 高山, 欧阳建平, 等. 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.
- LI Wenli, GAO Shan, OUYANG Jianping, et al. Time and tectonic setting of the Xixiang Group: Constraints from zircon U-Pb geochronology and geochemistry [J]. Science in China, 2002, 32(2): 101-112.
- 凌文黎, 王歆华, 程建萍, 等. 南秦岭镇安岛弧火山岩的厘定及其地质意义[J]. 地球化学, 2002, 31(3): 222-229.
- LING Wenli, WANG Xianhua, CHENG Jianping, et al. Recognition and Geological significance of Zhen'an arevolanic suite South Qinling Orogenic Belt [J]. Geochimica, 2002, 31(3): 222-229.
- 凌文黎, 程建萍, 王歆华, 等. 武当地区新元古代岩浆岩地球化学特征及其对南秦岭晋宁期区域构造性质的指示[J]. 岩石学报, 2002, 18(1): 25-36.
- LING Wenlin, CHENG Jianping, WANG Xianhua, et al. Geochemical Features of the Neoproterozoic igneous rocks from the Wudang region and their implication for reconstruction of the Jinning tectonic evolution along the south Qinling orogenic belt [J]. Acta Petrologica Sinica 2002, 18(1): 25-36.
- 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.
- 卢海峰, 王宗起, 王涛. 西秦岭关家沟组地层时代、物源及其构造响应[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(3): 315-321.
- LU Hanfeng, WANG Zongqi, WANG Tao. On the Age Provenance and Structural Response of the Guanjiagou Formation in the Western Qinling Muntion [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(3): 315-321.
- 卢一伦, 黄建坤, 杜定汉, 等. 碧口群的层序及时代[J]. 中国区域地质, 1997, 16(3): 10.
- LU Yilun, HUANG Jiangkun, DU Dinghan, et al. Stratigraphic Sequence and Age of The Bikou Group [J]. Regional Geology of China, 1997, 16(3): 10.
- 马永旺, 王国芝, 胡新伟. “彭灌杂岩”推覆体的构造变形特征[J]. 四川地质学报, 1996, 16(2): 110-114.
- MA Yongwang, WANG Guozhi, HU Xinwei. Tectonic Deformation of Pengguan Complex As A Nappe [J]. Acta Geologica Sichuan, 1996, 16(2): 110-114.
- 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 Qin-

- ling[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 1989, 11(2): 46-56.
- 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.
- PEI Xianzhi. Geological Evolution and Dynamics of the Mianlue-A'nyemaqen Tectonic Zone, Central China [D]. Xi'an: Northwest University, 2001
- 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, 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(增刊 2): 486-494.
- PEI Xianzhi, ZHANG Guowei, LAI Shaocong, 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(Suppl. 2): 486-494.
- 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 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.
- 陕西省地质调查院. 1:25 万略阳幅区域调查报告[R]. 西安: 陕西省地质调查院, 2007.
- 苏春乾, 刘继庆, 王瑶培. 西秦岭文县地区关家沟组海底扇沉积体系[J]. *地球科学与环境学报*, 2003, 25(4): 21-26, 31.
- SU Chunqian, LIU Jiqin, WANG Yaopei. Submarine Fan Depositional Systems of The Guangjiagou Formation in Wenxian, West Qinling[J]. *Journal of Earth Science Environment*, 2003, 25(4): 21-26, 31.
- 苏朕国, 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(4): 1424-1438.
- SU Zhenguo, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Detrital Zircon U-Pb Ages and Geological Significance of Metasedimentary Rocks from Guanjiagou Formation in Huoshenmiao Area Mianlue Tectonic Belt of South Qinling[J]. *Earth Science*, 2019, 44(04): 1424-1438
- 陶洪祥, 王全庆, 高肇英, 等. 略论扬子古陆北缘中晚元古代岛弧构造及其演化[J]. *地球科学与环境学报*, 1986, 8(3): 10-21, 100.
- TAO Hongxiang, WANG Quanqin, GAO Zhaoying, et al. Structure and Evolution of the Island Arc along the Northern Margin of the Yangtze Ancient land during Middle-Late Proterozoic[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 1986, 8(3): 10-21, 100.
- 陶洪祥, 何恢亚, 王全庆等. 扬子板块北缘构造演化史[M]. 西安: 西北大学出版社, 1993, 1-141.
- TAO Hongxiang, HE Huiya, WANG Qianqing, et al. Historical Evolution of Tectonics in North Rim of Yangzi Plate [M]. Xi'an: Northwest University Publishing House, 1993, 1-141.
- 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(8): 1284-1290.
- WANG Hongliang, XU Xueyi, CHEN Junlu, 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.
- WANG Tao. Tectonic-Lithological assemblages of Southern Qinling accretionary complex and their formation process[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2008.
- 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.
- 王伟, 刘树文, 吴峰辉, 等. 陕南铜厂闪长岩体的成岩、成矿时代及其地质意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010, 47(1): 91-102.
- WANG Wei, LIU Shuwen, WU Fenghui, et al. Emplaced and Metallogenic Time of Tongchang Diorites, Southern Shaanxi Province and Its Geological Implications[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, 47(1): 91-102.
- 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.
- 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 Linxi, XIA Zuchun, MA Zhongping, et al. Petrogenesis of Volcanic Rocks from Xixiang Goup in Middle Part of South Qinling Mountains[J]. Northwestern Geology, 2009, 42(2): 1-37.
- 徐通. 勉略构造带三岔子—横现河地区蛇绿岩与相关火山岩地球化学、年代学及构造演化[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- XU Tong. Geochemistry and Geochronology of Ophiolite and Related Volcanic rocks in Sancgazi-Hengxianhe Area, Mianlue Tectonic Zone and Regional tectonic Evolution [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- 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.
- 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.
- 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, 李瑞保, 等. 南秦岭勉略构造带黑沟峡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.
- 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 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.
- 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, ANDREW D H, 王宗起, 等. 扬子板块北缘碧口群火山岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 23(1): 1-11.
- YAN Quanren, ANDREW DH, WANG Zongqi, et al. Geochemistry and tectonic setting of the the Bikou volcanic terrane on the northern margin of the Yangtze plate[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2004, 23(1): 1-11.
- 闫全人, ANDREW D H, 王宗起, 等. 南秦岭关家沟组砾岩的时代、成因环境及其构造意义[J]. 科学通报, 2004, 49(14): 1416-1423.
- YAN Quanren, ANDREW D H, WANG Zongqi, et al. The age, Genetic Environment and Tectonic significance of the conglomerate of the Guanjiagou Formation in the Southern Qinling Mountains[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(14): 1416-1423.
- 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.
- 杨志华, 李勇, 邓亚婷. 秦岭造山带结构与演化若干问题的再认识[J]. 高校地质学报, 1999, 5(2): 2-17.

- YANG Zhihua, LI Yong, DENG Yating. Reconsideration of some Problems About The Structure and Evolution of The Qinling Orogenic Belt [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(2): 2-17.
- 杨运军, 张小明, 胡义等. 陕西省勉略宁地区基础地质调查项目成果报告[R]. 西安: 陕西省地质调查中心, 2018.
- 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, Mianlueing area, Southern Shanxi Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica 2009, 25 (11): 2866-2876.
- 冯庆来, 杜远生, 殷鸿福, 等. 南秦岭勉略蛇绿混杂岩带中放射虫的发现及其意义[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(增刊): 78-82.
- FENG Qinglai, DU Yuansheng, YIN Hongfu, et al. The discovery and its significance of the radiolaria in Mianlue ophiolitic melange belt, south Qinling Mountains [J]. Science in China (Series D), 1996, 26 (Supp.): 78-82 (in Chinese with English abstract).
- 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, 张本仁, 袁学成, 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 Xuechen, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-855.
- 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.
- 张宏飞, 张本仁, 凌文黎, 等. 南秦岭新元古代地壳增生事件花岗质岩石钨同位素示踪[J]. 地球化学, 1997, 26(5): 16-24.
- ZHANG Hongfei, ZHANG Benren, LIN Wenli, et al. Late Proterozoic Crustal Accretion of South Qinling: Nd Isotopic Study from Cranitic Rocks [J]. Geochimica, 1997, 26 (5): 16-24.
- 张丽娟, 马昌前, 王连训, 等. 扬子地块北缘元古代环斑花岗岩的发现及其意义[J]. 科学通报, 2011, 56(1): 44-57.
- ZHANG Lijuan, MA Chanqiang, WANG Lianxun, et al. Discovery of Paleoproterozoic rapakivi granite on the northern margin of the Yangtze block and its geological significance [J]. Chinese Sci Bull, 2011, 56(1): 44-57.
- 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]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(4): 510-517.
- 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 等. 秦岭勉略带中安子山麻粒岩的年龄[J]. 科学通报, 2002, 47(22): 1751-1755.
- ZHANG Zongqing, TANG Suohan, WANG Jinhui, et al. Age of Anzishan granulites in Qinling Orogen [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(22): 1751-1755.
- 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 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.
- 赵祥生, 马少龙, 邹湘华, 等. 秦巴地区碧口群时代层序、火山作用及含矿性研究[J]. 西北地质科学, 1990, 29(29):

- 1-144.
- ZHAO Xiansheng, MA Shaolong, ZOU Xianhua, et al. The Study of The Age, Sequence, Volcanism and Mineralization of Bikou Group in Qinlin-Dabashan[J]. Northwest Geoscience, 1990, 29(29): 1-144.
- BELOUSOVA E, GRIFFIN W, O'REILLY SY, et al. Igneous Zircon: Trace Element Composition as an Indicator of Source Rock Type[J]. Contributions to Mineralogy & Petrology, 2002, 143(5): 602-622.
- CHEN ZH, XING GF. Geochemical and Zircon U-Pb-Hf-o I-sotopic Evidence for a Coherent Paleoproterozoic Basement Beneath the Yangtze Block, South China[J]. Precambrian Research, 2016, 279: 81-90.
- CHEN Y, LUO Z, ZHAO J, et al. Petrogenesis and Dating of the Kangding Complex, sichuan Province[J]. Science in China, 2005, 48(5): 40-52.
- DONG Y, ZHANG G, NEUBAUER F, et al. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011a, 41 (3): 0-237.
- DONGY, ZHANG G, HAUZENBERGER C, et al. Palaeozoic tectonics and evolutionary history of the Qinling orogen: Evidence from geochemistry and geochronology of ophiolite and related volcanic rocks[J]. Lithos, 2011b, 122(1-2): 39-56.
- DONG Y, LIU X, SANTOSH M, 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, 2011c, 189(1): 66-90.
- DONG Y, LIU X, 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(1): 196-197.
- DRUSCHKE P, HANSON AD, Yan Q R, et al. Stratigraphic and U-Pb Shrimp Detrital Zircon Evidence for a Neoproterozoic Continental Arc, Central China: Rodinia Implications [J]. Journal of Geology, 2006, 114 (5): 627-636.
- GUO JL, GAO S, WU YB, et al. 3. 45 Ga Granitic Gneisses From the Yangtze Craton, South China; Implications for Early Archean Crustal Growth [J]. Precambrian Research, 2014, 242(3): 82-95.
- HOSKIN PWO, Ireland TR. Rare Earth Element Chemistry of Zircon and Its Use as a Provenance Indicator[J]. Geology, 2000, 28(7): 627.
- HUI B, DONG Y, CHENG C, et al. Zircon U-Pb Chronology, Hf Isotope Analysis and Whole-rock Geochemistry for the Neoproterozoic-paleoproterozoic Yudongzi Complex, Northwestern Margin of the Yangtze Craton, China[J]. Precambrian Research, 2017, 301: 65-85.
- JIAO WF, WU YB, YANG SH, et al. The Oldest Basement Rock in the Yangtze Craton Revealed By Zircon U-pb Age and Hf Isotope Composition[J]. Science in China, 2009, 52(9): 1393-1399.
- HU J, LIU X C, CHEN L Y, et al. A-2. 5Ga Magmatic Event at the Northern Margin of the Yangtze Craton: Evidence From U-Pb Dating and Hf Isotope Analysis of Zircons From the Douling Complex in the South Qinling Orogen [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(28): 3564-3579.
- LI J Y, WANG X L, GU Z D. Early Neoproterozoic Arc Magmatism of the Tongmuliang Group on the Northwestern Margin of the Yangtze Block; Implications for Rodinia Assembly[J]. Precambrian Research, 2018, 309: 181-197.
- LI J Y, WANG X L, GU Z D. Petrogenesis of the Jiaoziding Granitoids and Associated Basaltic Porphyries: Implications for Extensive Early Neoproterozoic Arc Magmatism in Western Yangtze Block[J]. Lithos, 2018, 296-299(547): 547-562.
- LING W L, GAO S, OUYANG J P, et al. Time and Tectonic Setting of the Xixiang Group; Constraints From Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry[J]. Science in China, 2002, 45(9): 818-831.
- 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.
- LIU Y S, HU Z C, ZONG K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- CHEN Q, SUN M, ZHAOG C, et al. Episodic crustal growth and reworking of the Yudongzi terrane, South China: Constraints from the Archean TTGs and potassic granites and Paleoproterozoic amphibolites[J]. Lithos, 2018, 326-327: 1-18.
- SIRCOMBE KN. Tracing Provenance Through the Isotope Ages of Littoral and Sedimentary Detrital Zircon, Eastern Australia[J]. Sedimentary Geology, 1999, 124(1):

47-67.

- SUN M, CHEN N, ZHAO G, et al. U-Pb Zircon and Sm-nd Isotopic Study of the Huangtuling Granulite, Dabie-sulu Belt, China; Implication for the Paleoproterozoic Tectonic History of the Yangtze Craton[J]. American Journal of Science, 2008, 308(4): 469-483.
- VAVRA G, SCHMID R, GEBAUER D. Internal Morphology, Habit and U-th-pb Microanalysis of Amphibolite-to-granulite Facies Zircons; Geochronology of the Ivrea Zone (southern Alps)[J]. Contributions to Mineralogy & Petrology, 1999, 134(4): 380-404.
- WANG XC, LI XH, LI WX, et al. The Bikou Basalts in Northwestern Yangtze Block, South China; Remains of 820-810 Ma Continental Flood Basalts? [J]. Geological Society of America Bulletin, 2008, 120(11): 1478-1492.
- 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.
- WANG Z, WANG J, DU Q, et al. The Evolution of the Central Yangtze Block During Early Neoproterozoic Time; Evidence From Geochronology and Geochemistry[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 77(21): 31-44.
- WHITEHOUSE MJ, KAMBER BS. On the Overabundance of Light Rare Earth Elements in Terrestrial Zircons and Its Implication for Earth's Earliest Magmatic Differentiation[J]. Earth & Planetary Science Letters, 2002, 204(3): 333-346.
- WU YB, ZHENG YF, GAO S, et al. Zircon U-Pb Age and Trace Element Evidence for Paleoproterozoic Granulite-facies Metamorphism and Archean Crustal Rocks in the Dabie Orogen[J]. Lithos, 2008, 101(3): 308-322.
- 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.
- WU Y, ZHOU G, GAO S, et al. Petrogenesis of Neoproterozoic Tg Rocks in the Yangtze Craton and Its Implication for the Formation of Archean Tg[J]. Precambrian Research, 2014, 254(11): 73-86.
- 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.
- YAN Q R, WANG Z Q, HANSON A D, et al. SHRIMP Age and Geochemistry of the Bikou Volcanic Terrane; Implications for Neoproterozoic Tectonics on the Northern Margin of the Yangtze Craton[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(4): 479-490.
- YAN QR, HANSON AD, WANG Z, et al. Neoproterozoic Subduction and Rifting on the Northern Margin of the Yangtze Plate, China; Implications for Rodinia Reconstruction [J]. International Geology Review, 2004, 46(9): 817-832.
- XUXY, CHEN JL, LI XM, et al. Geochemical Constrains on the Petrogenesis and Tectonic Setting Discrimination of Volcanic Rocks from the Baimianxia and the Sanwan Formations [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(11): 1703-1718.
- XU XY, XIA LQ, CHEN JL, et al. Zircon U-Pb dating and geochemical study of volcanic rocks from Sunjiahe Formation of Xixiang Group in northern margin of Yangtze Plate [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 73(13): 3309-3326.
- YANG J, GAO S, HU Z, et al. Age and Growth of the Archean Kongling Terrain, South China, with Emphasis on 3.3 Ga Granitoid Gneisses [J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta Supplement, 2011, 72(12): 153-182.
- ZHAI M. Precambrian Geology of China [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2015.
- 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.
- ZHOU G, WU Y, GAO S, et al. The 2.65 Ga A-type Granite in the Northeastern Yangtze Craton; Petrogenesis and Geological Implications [J]. Precambrian Research, 2015, 258: 247-259.
- ZHOU G, WU Y, LI L, et al. Identification of Ca. 2.65 Ga Tgts in the Yudongzi Complex and Its Implications for the Early Evolution of the Yangtze Block [J]. Precambrian Research, 2018, 314, DOI: 10.1016/j.precamres.2018.06.011
- ZHOU G, WU Y, WANG H, et al. Petrogenesis of the Huashanguan A-type Granite Complex and Its Implications for the Early Evolution of the Yangtze Block [J]. Precambrian Research, 2017, 292: 57-74.