

doi: 10.12029/gc20170312

罗顺社, 潘志远, 吕奇奇, 何维领, 文硕. 2017. 鄂尔多斯盆地西南部上古生界碎屑锆石U-Pb年龄及其构造意义[J]. 中国地质, 44(3): 556-574.
Luo Shunshu, Pan Zhiyuan, Lü Qiqi, He Weiling, Wen Shuo. 2017. The Upper Paleozoic detrital zircon U-Pb geochronology and its tectonic significance in southwestern Ordos Basin [J]. Geology in China, 44(3): 556-574(in Chinese with English abstract).

鄂尔多斯盆地西南部上古生界碎屑锆石U-Pb年龄及其构造意义

罗顺社^{1,2,3} 潘志远^{1,2} 吕奇奇^{1,2} 何维领² 文硕²

(1.非常规油气湖北省协同创新中心(长江大学),湖北 武汉 430100; 2.长江大学地球科学学院,湖北 武汉 430100;
3.中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室,湖北 武汉 430070)

摘要:通过对鄂尔多斯盆地西南部晚古生代山西组1段和下石盒子组8段碎屑锆石进行LA-ICP-MS U-Pb测年分析,结合周缘地层年龄结构和地质历史事件,进而追寻盆地沉积物物源,推断盆地与造山带的盆山耦合过程。研究表明105个岩浆成因的碎屑锆石可分为4个年龄组段:(1)260~340 Ma,占总数的21.9%,推断物源主要来自北秦岭和西秦岭构造带;(2)370~470 Ma,占总数的24.8%,反映物源主要来自北秦岭、西秦岭构造带和北祁连造山带;(3)1600~2000 Ma,占总数的32.4%,指示物源来自北秦岭造山带、北祁连造山带和华北板块;(4)2300~2600 Ma,占总数的15.2%,物源分别来自华北板块基底结晶岩系、北祁连造山带、北秦岭构造带和西秦岭构造带。研究区总体上具有来自北秦岭造山带、西秦岭造山带、北祁连造山带、兴蒙造山带及华北板块基底五个物源区,其中兴蒙造山带、北秦岭造山带和北祁连造山带为主要物源区。古生代碎屑锆石年龄证实了鄂尔多斯盆地西南部奥陶纪被动大陆边缘形成,志留纪—泥盆纪转化为陆—陆碰撞造山带,石炭纪—二叠纪逐渐由造山带转化为沉积盆地。

关键词:鄂尔多斯盆地西南部;碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄;物源区;盆山耦合
中图分类号:P588.2 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2017)03-0556-19

The Upper Paleozoic detrital zircon U-Pb geochronology and its tectonic significance in southwestern Ordos Basin

LUO Shunshu^{1,2,3}, PAN Zhiyuan^{1,2}, LÜ Qiqi^{1,2}, HE Weiling², WEN Shuo²

(1. Hubei Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas, Wuhan 430100, Hubei, China; 2. School of Geosciences of Yangtze University, Wuhan 430100, Hubei, China; 3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: Aimed at exploration of provenance and basin-mountain coupling relationship in southwestern Ordos Basin, the authors selected detrital zircons from the first member of Shanxi Formation and the eighth member of Shihezi Formation of the late

收稿日期:2016-04-26; 改回日期:2016-05-20

基金项目:国家自然科学基金项目(41672099)、“构造与油气资源”教育部重点实验室开放课题(TPR-2015-13)资助。

作者简介:罗顺社,男,1961年生,博士,教授,主要从事沉积学教学及科研工作;E-mail: lss8061069@163.com。

通讯作者:潘志远,男,1992年生,硕士生,主要从事储层地质学研究;E-mail: 295013493@qq.com。

Paleozoic in southwestern Ordos Basin and conducted LA-ICP-MS detrital zircon U-Pb isotope analysis. The result reveals that the 105 analytical points of the magma-genetic detrital zircons yielded four age groups: (1) The first group which ranges from 260 to 340Ma accounting for 21.9% of the total analytical points, indicating that the provenance might have come from the North Qinling orogenic belt and the West Qinling orogenic belt; (2) The second group which ranges from 370 to 470 Ma accounting for 24.8% of the total analytical points, suggesting that the provenance was mainly derived from the North Qinling orogenic belt, the West Qinling orogenic belt and the North Qilian orogenic belt; (3) The third group which ranges from 1600 to 2000 Ma accounting for 32.4% of the total analytical points, implying that the provenance might have come from the North Qinling orogenic belt and the North Qilian orogenic belt; (4) The last group which ranges from 2300 to 2600 Ma accounting for 15.2% of the total analytical points, indicating that the provenance was derived from the North Qinling orogenic belt, the West Qinling orogenic belt, the North Qilian orogenic belt and the crystalline basement of the North China plate. This study indicates that the provenance of southwestern Ordos Basin had multiple origins: the North Qinling orogenic belt, the West Qinling orogenic belt, the North Qilian orogenic belt and the crystalline basement of the North China plate, mainly from the North Qinling orogenic belt and the North Qilian orogenic belt. The Paleozoic detrital zircons have also proved that the southwestern Ordos Basin passive continental margin was developed during the Ordovician, then it evolved into continent-continent collisional orogenic belt during the Silurian-Devonian, and finally gradually evolved into a sedimentary basin during the Carboniferous-Permian period.

Key words: southwestern Ordos Basin; detrital zircons LA-ICP-MS U-Pb age; provenance; basin-mountain coupling

About the first author: LUO Shunshe, male, born in 1961, doctor and professor, mainly engages in the study and teaching of sedimentology; E-mail: lss8061069@163.com.

About the corresponding author: PAN Zhiyuan, male, born in 1992, master candidate, mainly engages in the study of reservoir geology; E-mail: 295013493@qq.com.

Fund support: Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41672099), Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education (No. TPR-2015-13).

1 引言

鄂尔多斯盆地西南部地区位于秦岭、祁连造山带结合部位,地理位置十分特殊,不仅是“中央造山带”东、西衔接处,在大地构造位置上也是古亚洲构造域和特提斯构造域交汇的重要区域。研究表明,沉积盆地和造山带具有空间上互相依存、动力上互相转换和物质上互相补偿的密切关系,它们同属于大陆构造上的基本单元,受统一的构造环境和地球动力学所控制。造山带为盆地提供沉积物源,同时造山带的形成、演变控制着沉积盆地的成因和物质组成,而沉积盆地中的碎屑沉积物不仅是盆地沉积、构造演化的重要标志,也是漫长地质历史中造山带、沉积盆地及周围环境相互作用、影响的直接证据(陈世悦,2000)。碎屑锆石是一种在沉积岩中较为常见的矿物,它抗蚀变、物理磨蚀和变质作用能力强,在经历侵蚀、搬运、成岩、变质等作用过程后仍能够较好的保存下来,且U-Th-Pb体系封闭性好、封闭温度高,能作为源区地质历史中所经历的重要构造-热事件证据。通过查明碎屑锆石的成

因及U-Pb年龄频率峰值,能够示踪沉积物源区,揭示区域构造形成、演化,为区域盆山耦合关系研究提供证据(闫义等,2003)。

本文采用锆石LA-ICP-MS U-Pb测年分析技术,对鄂尔多斯盆地西南部上古生界碎屑锆石进行研究,以期达到以下目标:①建立鄂尔多斯盆地西南部锆石年龄结构,分析锆石年龄分布特征;②结合对比周缘地体出露情况及构造演化特征,界定源区;③揭示鄂尔多斯盆地西南部及周缘地质历史事件,恢复研究区上古生界造山作用过程及古地理构造格局。

2 区域地质背景

鄂尔多斯盆地的地理范畴包括阴山以南、秦岭以北、贺兰山以东和吕梁山以西的广大地区。本文研究区范围为鄂尔多斯盆地西南部,位于渭北隆起西段、伊陕斜坡和天环坳陷南部,处于北祁连造山带、秦岭一大别造山带与华北板块交互作用的地区;其西部以泾源为界,东至耀县为界;南部以淳化、陕县为界,北部至吴起为界,面积约为62500 km²(图1)。

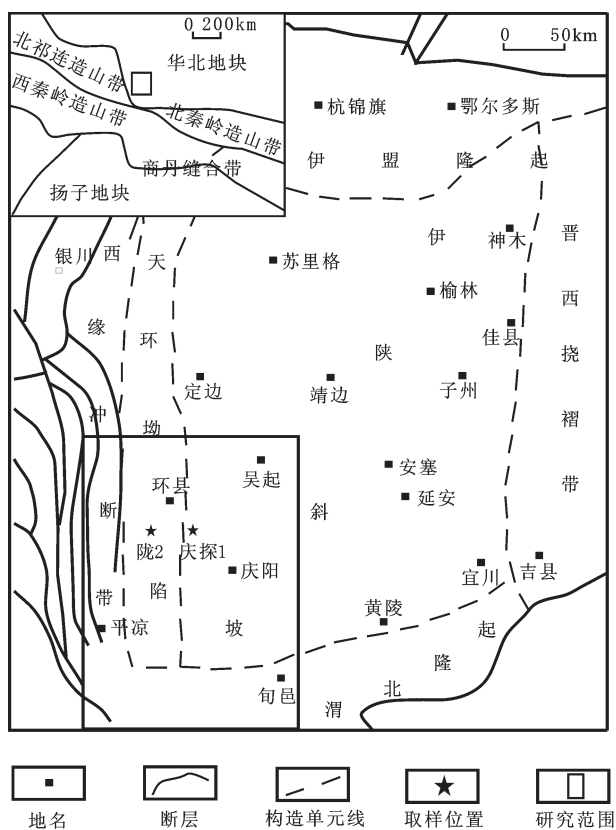


图1 鄂尔多斯盆地区域构造单元(据郭帮杰等,2014修改)

Fig. 1 Sketch tectonic map of the Ordos Basin
(sfter Guo et al, 2014)

寒武纪—早奥陶世早期,华北板块南北两侧均处于板块扩张期,并发育阶段性克拉通内坳陷沉积。北侧古亚洲洋于早古生代晚期开始向华北板块北侧俯冲,并形成了一套完整的沟—弧—盆体系(陈世悦,1998)。晚古生代早—中期华北板块北侧开始隆起并形成古阴山造山带。至晚古生代随着华北板块与西伯利亚板块的对接挤压,使得盆地北侧古亚洲洋海域消失,盆地内发生明显海退现象(陈全红等,2012)。盆地西南缘的秦岭造山带和祁连造山带在早古生代经历了相似的洋陆转化过程,由早奥陶世的被动大陆边缘演化为中—晚奥陶世具沟—弧—盆构造体系中的主动大陆边缘。早奥陶世到中石炭世西部祁连海沟扩张产生由西向东的挤压应力和秦岭海沟自南向北的挤压应力的共同作用形成“L”型中央古隆起(任文军等,1999;王庆飞等,2006;贺小元等,2011;邓昆等,2011;袁苏杭等,2014;王振涛等,2015)。晚石炭世,祁连海向东海侵,在盆地西部发育向中央隆起,使盆地西、南缘

发生超覆沉积而处在中央古隆起上(陈全红等,2007)。石炭纪太原期发生的构造运动使得祁连海和华北海相通,并形成—个受南北向隆起控制的呈东西向展布的陆表海盆地。早二叠世山西期,受晚古生代构造运动的影响,盆地处于陆表海海退环境(白斌等,2007)。

鄂尔多斯盆地结晶基底及周缘地层主要为元古宙各种变火山—沉积岩所构成的古老变质岩系(甘肃省地质矿产局,1989;陕西省地质矿产局,1989;内蒙古自治区地质矿产局,1990;Darby et al.,2006;Hu et al.,2014)(表1);研究区内上古生界地层发育下石炭统本溪组、上石炭统太原组,下二叠统山西组、下石盒子组,上二叠统上石盒子组、石千峰组,其主要地层特征见表2。

3 样品测试方法及结果

3.1 样品测试方法

本次研究在鄂尔多斯盆地西南缘陇2井盒8段和庆探1井山1段共取样两块,每块样品重1~2 kg。其中陇2井取样样品为灰白色石英砂岩,显微镜下薄片鉴定主要由石英(60.5%)、长石(0.2%)、变质岩屑(14.7%)、火成岩屑(0.3%)组成;颗粒粒径在0.3~0.8 mm,分选中等,呈次棱角状。庆探1井取样样品为浅灰色石英砂岩,显微镜下薄片鉴定主要由石英(54.8%)、变质岩屑(8.6%)、云母片(3.8%)组成;颗粒粒径在0.25~0.6 mm,分选中等,呈次棱角状。

锆石挑选过程在河北廊坊地质服务有限公司进行,先将锆石样品机械性破碎并经过多次精细淘洗后,然后进行重力分选及利用矿物介电分选仪进行磁选初步分离出重矿物,再在镜下挑选清楚干净、晶形完好、单成因和蜕晶化程度低的锆石。锆石制靶过程在武汉上谱分析科技有限责任公司进行,首先在双目镜下根据测试需求挑选锆石,将锆石颗粒表面积最大的面朝下粘于双面胶上,排列整齐,疏密适宜,然后将模具粘帖到粘有锆石的载玻片上,压实后用环氧树脂固结成圆柱状,并放入50℃真空干燥箱内12 h,待凝固后打磨成厚3 mm左右的圆柱体,后使用车床将靶样加工成统一厚度,对靶样的正反面抛光至镜面,使得锆石有一个光滑的切面,正面抛光约1/2至锆石露出最大面,制靶后照反射光和阴极发光(CL)图像,最终将制好的锆石

表1 鄂尔多斯盆地南北周缘基岩岩性
Table 1 Lithology around Ordos Basin's peripheral terranes

地区	地层	岩性
阴山地区西北部	集宁群、乌拉山群、阿拉善群、 诺尔公群、巴音西别群、乌兰哈夏群	麻粒岩、片麻岩、角闪岩、 石英岩、变粒岩、碎屑岩等
阿拉善地区西南部	龙首山群	低角闪岩至低绿片岩相
阴山地区东北部	色尔腾群、白云鄂博群、渣尔泰群	片麻岩、片岩、角闪岩、石英砂岩、千 枚岩、板岩、火山岩、灰岩等
中北祁连、西秦岭	北大河群、马街山群、牛头河群 朱龙关群、皋兰群、 镜铁山群、花石山群、大柳沟群、白杨沟群	片岩、片麻岩、大理岩、千枚岩、变质 砂岩、玄武安山岩、板岩等
北秦岭	太华群、秦岭群、宽坪群、海原群、陶湾群、铜 铁沟组、二郎坪群、丹凤群	片麻岩、变粒岩、石英片岩、大理岩、 斜长角闪岩、角闪岩、石英岩、混合花 岗岩、花岗岩等

表2 鄂尔多斯盆地西南部上古生界地层主要特征(据韩会平等,2014修改)

Table 2 Main features of the upper Paleozoic strata in southwestern Ordos Basin (modified after Han et al., 2014)

	地层	岩性特征	厚度 / m	
二叠系	石千峰组	次长石岩屑砂岩与次岩屑长石含砾砂岩与砂质泥岩 互层, 局部地区夹泥灰岩	250	
	上统	盒1段	泥岩与砂质泥岩互层, 夹薄层砂岩与粉砂岩	100~160
		上石盒子组盒2段		
		盒3段		
		盒4段		
	下统	盒5段	泥岩与中、粗粒或含砾粗粒石英砂岩、次岩屑砂岩、 岩屑砂岩不等厚互层, 泥岩中夹薄层泥质粉砂岩、 粉砂岩	120~160
		盒6段		
		下石盒子组盒7段		
盒8段				
石炭系	山1段	泥岩与岩屑砂岩、石英砂岩组合, 夹泥质粉砂、粉 砂岩, 见煤层	80~120	
	山西组山2段			
	上统	太原组太1段	上部由灰岩或泥岩夹炭质泥岩与煤层组合, 下部细 砾岩、中-粗粒石英砂岩, 泥岩夹炭质页岩、煤层	40~100
		太2段		
	下统	本溪组本1段	上部砂质泥岩夹煤线, 下部风化壳铁铝质岩、残积 砾屑白云岩	10~30
		本2段		

靶样送往中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室,利用激光电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)按标准测定程序进行分析。仪器所用激光剥蚀系统为GeoLas 2005,等离子体质谱仪为Agilent7500a,激光能量70 mJ,频率8 Hz,激光束斑直径32 μm 。激光剥蚀过程以氦气作为载气,能够提高仪器的灵敏度和改善分析精密度。U-Pb定年采用锆石标准91500作为外标标准物质,进行同位素分馏校正,每分析8个样品点,分析2次91500。利用ICPMSDataCal软件完成数据处理,详细仪器操作流程和数据处理方法见文献(Liu et al., 2008,2010)。

3.2 样品测试结果

本次测试陇2井获得65颗碎屑锆石,符合谐和度(>90%)的一共有59颗,庆探1井获得50颗碎屑锆石,符合谐和度(>90%)的一共46颗。利用Isoplot软件处理符合谐和度的数据,并绘制锆石U-Pb谐和图及年龄分布直方图。当年龄值>1000 Ma时,U-Pb同位素年龄取 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 所对应的年龄值;当年龄值<1000 Ma时,U-Pb年龄取 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 所对应的年龄值。

3.2.1 锆石形貌学特征

阴极发光图像(图2)显示锆石颗粒大小大多在100~200 μm ,粒径差别较大,颜色多为灰白色或淡

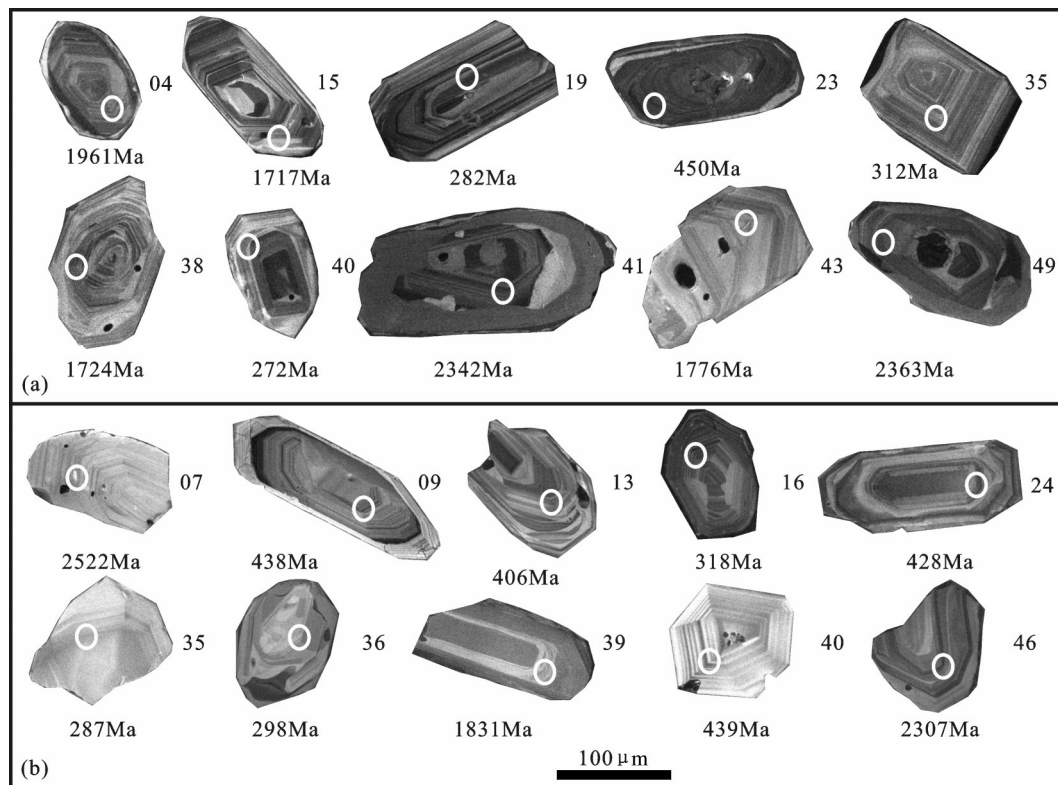


图2 鄂尔多斯盆地西南缘陇2井盒8段(a)、庆探1井山1段(b)碎屑锆石阴极发光图像

Fig.2 Cathodoluminescence images of representative detrital zircons from He 8 Member of Long 2 well (a) and Shan 1 Member of Qingtan 1 well (b) sandstones in southwestern Ordos Basin

黄色,少量为深灰色,晶形多见长柱状和次棱角状,暗示没有经过长距离的搬运。锆石结构为典型的岩浆韵律环带,具有明显的振荡环带,表明其原始成因类型为岩浆成因锆石(如a-19、35,b-07、39)。部分锆石具有残留的核部,为继承核或捕获核(如a-43、49,b-07),仍具清晰的韵律环带,为岩浆成因锆石;部分锆石具有核-幔-边结构,有窄的浅色边(如a-04、15,b-09、40),浅色边为变质的增生边,可能受到后期热液或变质事件影响,但仍为岩浆成因锆石。复杂多样的锆石形态,反映了不同成因的锆石类型,同时也反映了物源的复杂性。

3.2.2 锆石年龄特征

陇2井盒8段和庆探1井山1段的碎屑锆石Pb、Th、U含量和Th/U比值及锆石U-Pb年龄见表3,测点的锆石年龄谐和图和直方图见图3。

陇2井:锆石的Th含量为 $69 \times 10^{-6} \sim 2245 \times 10^{-6}$,U的含量为 $133 \times 10^{-6} \sim 2701 \times 10^{-6}$,Th/U比值为0.12~1.18,平均值为0.6,一般情况下,Th/U > 0.4表

现为岩浆成因,Th/U < 0.1表现为变质成因(Belousova et al.,2002; Crofu et al.,2003)。本次研究陇2井碎屑锆石Th/U比值表明其为岩浆成因,部分锆石后期可能受变质事件改造影响。样品中锆石年龄分为269~312 Ma、1670~1894 Ma两个主峰年龄区间和378~450 Ma、1931~2044 Ma、2314~2490 Ma三个次峰年龄区间,还可见1429 Ma一颗锆石,其中最大年龄为2490 Ma,最小年龄为269 Ma。处于269~312 Ma的锆石颗粒有11颗,占总数的18.6%。处于378~450 Ma区间的锆石颗粒有6颗,占总数的10.2%。处于1670~1894 Ma区间的锆石颗粒有24颗,占总数的40.7%。处于1931~2044 Ma区间的锆石颗粒有7颗,占总数的11.9%。处于2314~2490 Ma区间的锆石颗粒有10颗,占总数的16.9%。

庆探1井:锆石的Th含量为 $20.8 \times 10^{-6} \sim 1496 \times 10^{-6}$,U含量为 $110 \times 10^{-6} \sim 3460 \times 10^{-6}$,Th/U比值为0.11~2.57,平均值为0.43。Th/U比值表明这些锆

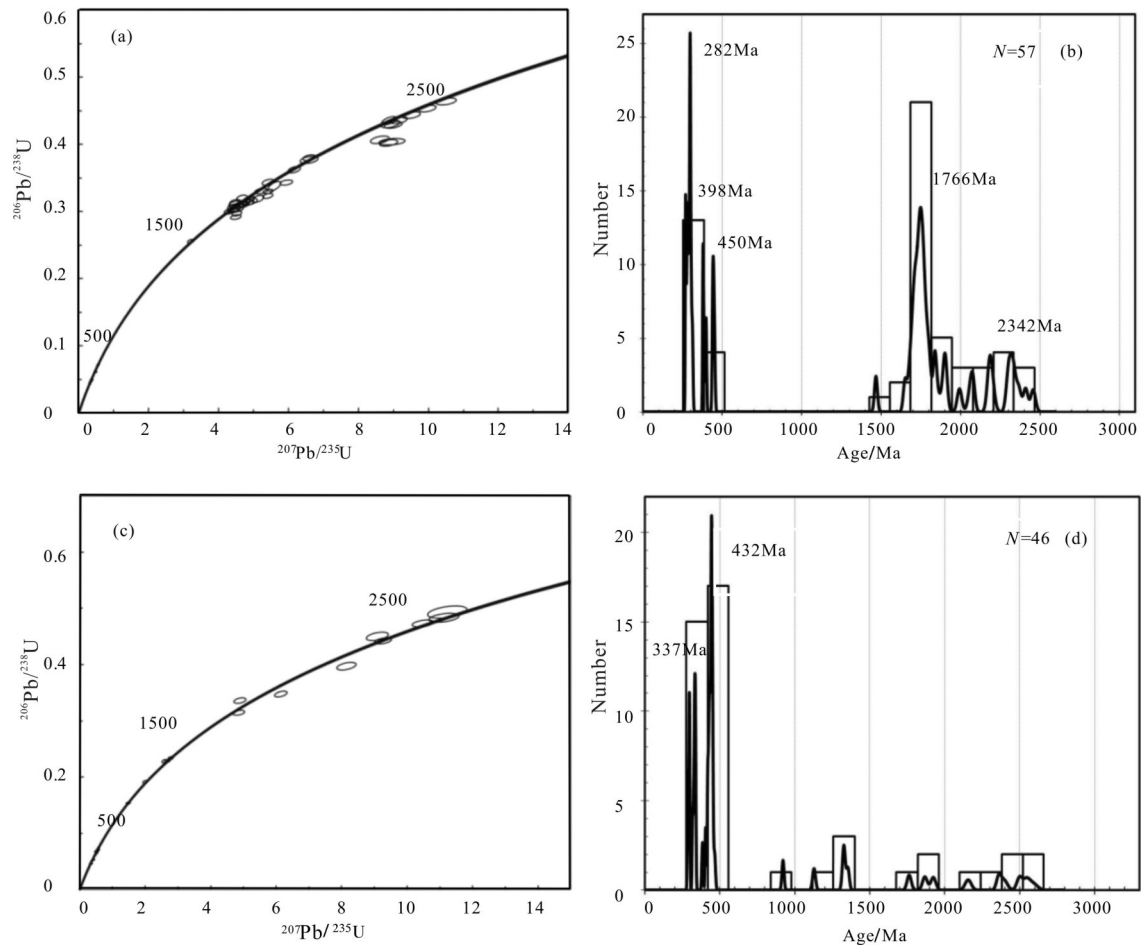


图3 鄂尔多斯盆地西南缘陇2井盒8段(a、b)、庆探1井山1段(c、d)碎屑锆石年龄谐和图和直方图
 Fig.3 Histograms and concordia plots of detrital zircon U-Pb ages selected from He 8 Member of Long 2 well (a, b) and Shan 1 Member of Qingtan 1 well (c, d) in southwestern Ordos Basin

石颗粒为岩浆成因,部分锆石后期可能受变质事件改造影响。样品中锆石年龄分为 287~339 Ma、385~466 Ma 两个主峰年龄区间和 922~1332 Ma、1717~2062 Ma、2302~2522 Ma 三个次峰年龄区间,其中最大年龄为 2522 Ma,最小年龄为 287 Ma。处于 287~339 Ma 区间的锆石颗粒有 12 颗,占总数的 26.1%。处于 385~466 Ma 区间的锆石颗粒有 20 颗,占总数的 43.5%。处于 922~1332 Ma 区间的锆石颗粒有 5 颗,占总数的 10.9%。处于 1717~2062 Ma 区间的锆石颗粒有 3 颗,占总数的 6.5%。处于 2302~2522 Ma 区间的锆石颗粒有 6 颗,占总数的 13%。

综上所述,鄂尔多斯盆地西南缘陇2井盒8段和庆探1井山1段锆石年龄具有很好的一致性,总体上表现为 260~470 Ma、1600~2000 Ma 两个主峰年龄区间和 2300~2600 Ma 次峰年龄区间。

4 讨论

4.1 锆石记录的地质事件

华北板块经历了多期克拉通化事件,属于世界上最古老的克拉通之一(翟明国,2013)。华北板块于近 2500 Ma 时期发生大规模构造热事件,地壳进入快速增长期,形成大量的 TTG 片麻岩和幔源花岗岩,记录了大量岩浆活动记录和古老地质体的破坏和再循环事件。华北板块普遍存在 18.5 亿年和约 19.3 亿年岩浆热事件活动,代表 Columbia 超大陆汇聚的完成。其中约 19.3 亿年左右发生了西部陆块(鄂尔多斯)与阴山陆块碰撞的构造热事件,18.5 亿年前后吕梁运动使得华北克拉通基底东部陆块与西部陆块发生碰撞、拼合,最终形成现今的华北克拉通结晶基底,并与全球 Columbia 超大陆汇聚主要

表3 鄂尔多斯盆地西南缘陇2井盒8段、庆探1井山1段碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄测试结果
Table 3 Detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results of He 8 Member of Long 2 well and Shan 1 Member of Qingtan 1 well in southwestern Ordos Basin

点号	Pb		Th		U		Th/U		同位素比值				表面年龄/Ma				谱和度
	10^{-6}		10^{-6}		10^{-6}				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
L2-1	260	236	370	0.64	0.1061	0.0026	4.4696	0.1084	0.3044	0.0028	1733	45.2	1713	20.2	1713	14.0	99%
L2-2	459	252	765	0.33	0.1249	0.0024	6.5898	0.1233	0.3801	0.0029	2028	33.5	2077	16.6	2077	13.4	99%
L2-3	103	69.0	133	0.52	0.1261	0.0033	6.5862	0.1691	0.3769	0.0035	2044	51.1	2062	22.7	2062	16.5	99%
L2-4	522	274	941	0.29	0.1203	0.0021	5.4073	0.0948	0.3232	0.0024	1961	31.2	1805	15.1	1805	11.8	95%
L2-5	203	1366	2185	0.63	0.0517	0.0014	0.3061	0.0082	0.0426	0.0004	272	67.6	269	6.4	269	2.2	99%
L2-6	78.8	271	634	0.43	0.0551	0.0019	0.5419	0.0193	0.0706	0.0007	417	75.0	440	12.7	440	4.2	99%
L2-7	323	279	547	0.51	0.1030	0.0023	4.3025	0.0939	0.3001	0.0025	1680	42.0	1692	18.0	1692	12.4	99%
L2-8	371	380	333	1.14	0.1135	0.0026	5.2128	0.1179	0.3304	0.0028	1855	42.6	1840	19.3	1840	13.7	99%
L2-9	205	162	296	0.55	0.1133	0.0023	5.4147	0.1113	0.3435	0.0029	1854	41.7	1904	17.7	1904	14.1	99%
L2-10	190	152	311	0.49	0.1047	0.0023	4.6634	0.1011	0.3201	0.0029	1709	39.5	1761	18.2	1790	14.2	98%
L2-11	173	148	290	0.51	0.1034	0.0023	4.3870	0.0894	0.3065	0.0028	1687	41.0	1710	16.9	1723	14.1	99%
L2-12	297	241	430	0.56	0.1101	0.0024	4.8729	0.1059	0.3181	0.0030	1802	39.2	1798	18.4	1780	14.7	99%
L2-13	229	207	349	0.59	0.1025	0.0024	4.4696	0.1018	0.3136	0.0028	1670	47.2	1725	18.9	1758	13.9	98%
L2-14	140	134	214	0.63	0.1033	0.0027	4.4656	0.1176	0.3109	0.0031	1684	48.2	1725	21.9	1745	15.5	98%
L2-15	318	316	418	0.76	0.1051	0.0022	4.4826	0.0889	0.3078	0.0028	1717	37.5	1728	16.5	1730	13.7	99%
L2-16	271	176	874	0.20	0.0902	0.0017	3.1982	0.0575	0.2556	0.0018	1429	35.2	1457	13.9	1467	9.4	99%
L2-17	483	282	958	0.29	0.1190	0.0019	5.5932	0.1231	0.3376	0.0048	1943	25.0	1915	19.0	1875	23.2	97%
L2-18	101	621	988	0.63	0.0550	0.0018	0.3589	0.0120	0.0471	0.0005	413	72.2	311	9.0	297	3.0	95%
L2-19	95	618	1076	0.57	0.0520	0.0018	0.3203	0.0113	0.0447	0.0004	283	76.8	282	8.7	282	2.6	99%
L2-20	127	507	837	0.61	0.0557	0.0018	0.5469	0.0180	0.0712	0.0007	439	72.2	443	11.8	444	4.4	99%
L2-21	126	521	810	0.64	0.0565	0.0019	0.5630	0.0192	0.0724	0.0008	472	75.9	453	12.5	450	4.6	99%
L2-22	290	279	354	0.79	0.1099	0.0025	4.7781	0.1063	0.3149	0.0026	1798	36.1	1781	18.7	1765	12.9	99%
L2-23	153	756	946	0.80	0.0546	0.0018	0.4798	0.0159	0.0636	0.0006	394	78.7	398	10.9	398	3.6	99%
L2-24	64.0	375	627	0.60	0.0540	0.0025	0.3542	0.0166	0.0474	0.0005	372	103.7	308	12.4	299	3.4	96%
L2-25	161	130	263	0.49	0.1085	0.0030	4.6804	0.1265	0.3113	0.0029	1774	54.6	1764	22.6	1747	14.5	99%

续表3

点号	Pb		Th		U		Th/U	同位素比值				表面年龄/Ma				谐和度
	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ	1σ	
L2-26	123	115	170	0.68	0.0034	4.8857	0.1450	0.3151	0.0035	1833	55.2	1800	25.0	1766	17.0	98%
L2-27	352	339	523	0.65	0.0022	4.5238	0.0905	0.2970	0.0024	1795	37.2	1735	16.7	1676	12.0	96%
L2-28	149	891	1484	0.60	0.0018	0.3527	0.0117	0.0473	0.0004	365	75.9	307	8.8	298	2.7	97%
L2-29	343	346	431	0.80	0.0023	4.7544	0.0933	0.3139	0.0026	1792	37.8	1777	16.5	1760	12.7	99%
L2-30	114	784	901	0.87	0.0023	0.3538	0.0141	0.0465	0.0005	433	95.4	308	10.6	293	2.9	95%
L2-31	326	285	534	0.53	0.0026	4.4908	0.1005	0.2917	0.0022	1820	42.3	1729	18.6	1650	11.0	95%
L2-32	734	568	1246	0.46	0.0025	5.9355	0.1195	0.3431	0.0025	2026	36.1	1966	17.5	1902	12.1	96%
L2-33	332	342	435	0.78	0.0024	4.6680	0.0964	0.3107	0.0022	1776	40.6	1762	17.3	1744	11.1	99%
L2-34	421	407	587	0.69	0.0021	4.7218	0.0881	0.3099	0.0024	1799	35.2	1771	15.7	1740	11.9	98%
L2-35	29.6	173	262	0.66	0.0042	0.3693	0.0273	0.0495	0.0007	406	169	319	20.3	312	4.1	97%
L2-36	417	2245	2701	0.83	0.0013	0.4557	0.0107	0.0604	0.0004	389	51.8	381	7.5	378	2.7	99%
L2-37	216	218	273	0.80	0.0027	4.4244	0.1084	0.3033	0.0029	1720	46.6	1717	20.3	1708	14.6	99%
L2-38	172	161	270	0.60	0.0026	4.4362	0.1129	0.3026	0.0029	1724	46.0	1719	21.1	1704	14.3	99%
L2-39	45.9	262	604	0.43	0.0025	0.3154	0.0151	0.0442	0.0005	283	109	278	11.6	279	2.9	99%
L2-40	41.4	243	442	0.55	0.0031	0.3166	0.0180	0.0431	0.0006	346	130	279	13.9	272	3.4	97%
L2-41	367	256	313	0.82	0.0031	8.9095	0.1796	0.4304	0.0038	2342	34.9	2329	18.5	2308	16.9	99%
L2-42	631	88.8	760	0.12	0.0039	8.9572	0.2471	0.4039	0.0032	2447	41.2	2334	25.2	2187	14.8	93%
L2-43	184	165	268	0.61	0.0025	4.5696	0.1058	0.3077	0.0028	1767	42.4	1744	19.3	1729	13.7	99%
L2-44	511	289	1073	0.27	0.0020	5.4124	0.0946	0.3298	0.0022	1931	31.2	1887	15.0	1838	10.5	97%
L2-45	1486	1087	965	1.13	0.0030	10.5052	0.1928	0.4639	0.0034	2490	30.1	2480	17.1	2457	15.2	99%
L2-46	215	202	331	0.61	0.0026	4.5414	0.1096	0.3036	0.0027	1766	44.4	1739	20.1	1709	13.3	98%
L2-47	312	253	443	0.57	0.0028	4.8344	0.1150	0.3133	0.0028	1828	44.6	1791	20.1	1757	13.8	98%
L2-48	1114	639	2058	0.31	0.0022	6.1628	0.1157	0.3623	0.0031	1995	32.9	1999	16.5	1993	14.6	99%
L2-49	630	433	539	0.80	0.0026	9.1533	0.1616	0.4360	0.0034	2363	29.6	2353	16.2	2333	15.3	99%
L2-50	357	195	401	0.49	0.0029	8.9969	0.1683	0.4291	0.0033	2365	33.5	2338	17.2	2302	14.9	98%
L2-51	271	179	538	0.33	0.0023	5.1235	0.1120	0.3189	0.0034	1894	35.5	1840	18.6	1785	16.7	96%

续表3

点号	Pb			Th			U			Th/U			同位素比值						表面年龄/Ma			谐和度
	/10 ⁻⁶			/10 ⁻⁶			/10 ⁻⁶						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U			²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U			1σ			
	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ				
L2-52	69.3	389	730	0.53	0.0554	0.0022	0.3672	0.0144	0.0483	0.0005	428	88.9	318	10.7	304	3.3	95%					
L2-53	744	693	585	1.18	0.1527	0.0030	8.6092	0.1771	0.4068	0.0037	2376	33.3	2298	18.8	2200	17.1	95%					
L2-54	59.4	250	531	0.47	0.0570	0.0025	0.4846	0.0219	0.0613	0.0007	500	98.1	401	15.0	383	4.1	95%					
L2-55	652	230	1058	0.22	0.1546	0.0027	9.5087	0.1731	0.4435	0.0033	2398	29.6	2388	16.8	2366	15.0	99%					
L2-56	161	950	1981	0.48	0.0490	0.0013	0.3091	0.0083	0.0456	0.0004	150	63.0	273	6.5	288	2.3	95%					
L2-57	1284	891	1317	0.68	0.1472	0.0022	8.8779	0.1409	0.4353	0.0040	2314	25.9	2326	14.6	2329	17.9	99%					
QT1-01	84	103	260	0.39	0.0570	0.0036	0.4146	0.0262	0.0530	0.0008	500	144	352	18.8	333	4.7	94%					
QT1-02	717	746	1644	0.45	0.0581	0.0015	0.5588	0.0143	0.0694	0.0006	600	55.6	451	9.3	432	3.4	95%					
QT1-03	543	455	1232	0.37	0.0567	0.0017	0.5636	0.0179	0.0716	0.0007	480	68.5	454	11.7	446	4.2	98%					
QT1-04	720	768	1487	0.52	0.0562	0.0015	0.5666	0.0155	0.0730	0.0007	457	59.3	456	10.0	454	4.5	99%					
QT1-05	1092	844	2480	0.34	0.0574	0.0018	0.5412	0.0164	0.0682	0.0007	506	66.7	439	10.8	425	4.2	96%					
QT1-06	889	80.8	329	0.25	0.1663	0.0045	11.1240	0.3039	0.4834	0.0053	2521	44.9	2534	25.5	2542	22.9	99%					
QT1-07	292	20.8	114	0.18	0.1654	0.0059	11.2273	0.3973	0.4935	0.0072	2522	61.0	2542	33.0	2586	31.2	98%					
QT1-08	755	990	2204	0.45	0.0535	0.0016	0.3998	0.0120	0.0541	0.0005	350	68.5	341	8.7	339	3.2	99%					
QT1-09	175	169	411	0.41	0.0587	0.0024	0.5676	0.0224	0.0703	0.0008	567	82.4	456	14.5	438	4.6	95%					
QT1-10	319	284	110	2.57	0.1274	0.0025	6.1399	0.1265	0.3477	0.0035	2062	35.2	1996	18.0	1924	16.8	96%					
QT1-11	863	501	2753	0.18	0.0567	0.0018	0.4134	0.0125	0.0529	0.0005	480	68.5	351	9.0	332	3.1	94%					
QT1-12	119.5	117	857	0.14	0.0582	0.0015	0.5419	0.0137	0.0672	0.0005	539	57.4	440	9.0	419	3.2	95%					
QT1-13	1091	737	2858	0.26	0.0586	0.0018	0.5265	0.0154	0.0649	0.0006	554	64.8	430	10.2	406	3.4	94%					
QT1-14	742	672	2240	0.30	0.0557	0.0018	0.3990	0.0123	0.0518	0.0005	443	70.4	341	8.9	325	3.0	95%					
QT1-15	395	285	1237	0.23	0.0567	0.0022	0.4154	0.0157	0.0530	0.0006	480	85.2	353	11.3	333	3.5	94%					
QT1-16	516	359	1707	0.21	0.0511	0.0020	0.3561	0.0132	0.0506	0.0005	256	88.9	309	9.9	318	3.2	97%					
QT1-17	625	521	1355	0.38	0.0555	0.0016	0.5508	0.0154	0.0717	0.0006	432	63.0	446	10.1	446	3.6	99%					
QT1-18	1784	224	681	0.33	0.1507	0.0028	9.2618	0.1708	0.4423	0.0035	2353	31.5	2364	17.0	2361	15.7	99%					
QT1-19	107	107	251	0.43	0.0541	0.0030	0.4948	0.0268	0.0676	0.0010	376	128	408	18.2	422	6.0	96%					
QT1-20	1596	562	1166	0.48	0.0815	0.0017	2.5881	0.0521	0.2283	0.0019	1235	39.7	1297	14.8	1326	10.2	97%					

续表3

点号	Pb		Th		U		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		同位素比值		表面年龄/Ma		谐和度		
	$/10^{-6}$		$/10^{-6}$		$/10^{-6}$				1σ		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ			
QTI-21	616	818	1310	0.62	0.0539	0.0014	0.5205	0.0130	0.0696	0.0007	365	63.9	426	8.7	434	4.0	98%
QTI-22	309	335	693	0.48	0.0547	0.0019	0.5470	0.0187	0.0720	0.0007	398	77.8	443	12.3	448	4.1	98%
QTI-23	2068	110	837	0.13	0.1592	0.0034	10.4789	0.2169	0.4732	0.0041	2448	36.1	2478	19.3	2498	17.9	99%
QTI-24	524	622	1219	0.51	0.0525	0.0013	0.5004	0.0120	0.0687	0.0006	306	55.6	412	8.2	428	3.4	96%
QTI-25	419	80.7	219	0.37	0.1051	0.0027	4.8910	0.1213	0.3361	0.0033	1717	42.4	1801	20.9	1868	16.1	96%
QTI-27	654	454	1537	0.30	0.0540	0.0016	0.5339	0.0155	0.0714	0.0006	369	66.7	434	10.3	445	3.7	97%
QTI-28	623	633	1321	0.48	0.0553	0.0016	0.5739	0.0179	0.0749	0.0010	433	60.2	461	11.6	466	5.8	98%
QTI-29	326	411	284	1.44	0.0752	0.0018	1.9974	0.0493	0.1913	0.0018	1076	45.4	1115	16.7	1129	9.9	98%
QTI-30	270	225	1010	0.22	0.0515	0.0024	0.3384	0.0156	0.0474	0.0005	261	106	296	11.9	299	3.0	99%
QTI-31	1353	1482	2731	0.54	0.0578	0.0014	0.5699	0.0133	0.0712	0.0006	520	47.2	458	8.6	444	3.3	96%
QTI-32	1557	1147	3398	0.34	0.0565	0.0012	0.5690	0.0120	0.0727	0.0006	472	46.3	457	7.8	452	3.6	98%
QTI-33	1206	1248	3227	0.39	0.0572	0.0013	0.4863	0.0119	0.0615	0.0007	502	50.0	402	8.1	385	4.5	95%
QTI-34	301	295	894	0.33	0.0552	0.0021	0.4068	0.0153	0.0537	0.0005	420	87.0	347	11.0	337	2.9	97%
QTI-35	330	143	1201	0.12	0.0522	0.0032	0.3251	0.0197	0.0456	0.0006	295	139	286	15.1	287	3.7	99%
QTI-36	479	459	1608	0.29	0.0506	0.0017	0.3277	0.0104	0.0472	0.0005	233	75.9	288	8.0	298	2.9	96%
QTI-37	435	257	1532	0.17	0.0530	0.0025	0.3432	0.0158	0.0470	0.0005	332	99.1	300	12.0	296	3.3	98%
QTI-38	907	328	652	0.50	0.0848	0.0018	2.6800	0.0560	0.2288	0.0017	1310	40.3	1323	15.5	1328	8.9	99%
QTI-39	520	96.1	282	0.34	0.1119	0.0028	4.8526	0.1208	0.3145	0.0029	1831	45.5	1794	21.0	1763	14.2	98%
QTI-40	705	1035	1596	0.65	0.0570	0.0012	0.5572	0.0127	0.0705	0.0007	494	41.7	450	8.3	439	4.4	97%
QTI-41	1436	747	946	0.79	0.0857	0.0016	2.7762	0.0531	0.2337	0.0018	1332	36.6	1349	14.3	1354	9.6	99%
QTI-42	295	125	1133	0.11	0.0563	0.0034	0.3542	0.0217	0.0458	0.0006	465	133	308	16.3	289	3.7	93%
QTI-43	1629	1496	3460	0.43	0.0581	0.0014	0.5724	0.0140	0.0711	0.0007	532	53.7	460	9.0	443	4.0	96%
QTI-44	634	551	1400	0.39	0.0565	0.0017	0.5667	0.0161	0.0723	0.0006	472	97.2	456	10.5	450	3.6	98%
QTI-45	557	197	604	0.33	0.0692	0.0020	1.4803	0.0419	0.1537	0.0013	906	53.6	922	17.2	922	7.2	99%
QTI-46	2464	359	1025	0.35	0.1467	0.0031	8.1451	0.1950	0.3972	0.0045	2307	35.3	2247	21.7	2156	20.9	95%

峰期时间相一致(陆松年等,2002;赵国春等,2002;杨华等,2014;杨甫等,2015)。研究证明分布于秦岭—祁连山结合部位的陇山岩群主要由中深变质的火山岩、侵入岩和碎屑岩组成,它们经历了1900 Ma、2350 Ma和2500 Ma三期构造热事件,推断北祁连造山带内存在与华北板块基底岩系相一致的古老结晶基底(何艳红等,2005;He et al., 2008)。

北祁连和北秦岭造山带在早古生代经历了相似的洋陆转化过程,于奥陶纪时发育了汇聚板块边缘的沟—弧—盆体系,形成了北西向展布的早古生代岛弧及弧后盆地(闫全人等,2009; Song et al., 2013)。鄂尔多斯盆地西南部广泛分布的奥陶系斑脱岩证明了华北板块南缘由被动大陆边缘向主动大陆边缘转换过程中发生的沟—弧—盆体系岛弧喷发事件。鄂尔多斯南缘晚奥陶世(465~449 Ma)为秦岭—祁连洋向北俯冲最强烈的时期,同时伴随商丹带的俯冲造成大量花岗岩侵入,完成了从大洋俯冲到大陆碰撞的转换(杨江海,2012)。鄂尔多斯西缘于震旦纪—中奥陶世发育被动大陆边缘,后续相继演化形成了走廊被动陆缘盆地和贺兰盆地;晚奥陶世—志留纪发育活动大陆边缘,后演化形成了走廊弧后盆地(陈小炜等,2014;王振涛等,2015)。

北祁连—北秦岭在早古生代晚期(440~380 Ma)均发生了板块的俯冲消减与汇聚碰撞的构造运动。晚奥陶世时,洋壳俯冲消减拉张形成“清水—红土堡弧后盆地”,早—中泥盆世以北秦岭微陆块为基底的复合岩浆弧与华北板块西南缘碰撞、拼合,华北板块西南缘演化成了安第斯型活动大陆边缘(徐学义等,2008;陈义兵等,2010)。早石炭世(350~320 Ma)由于区域性的拉张而形成了贺兰—祁连洋盆,而后在晚石炭世(320~300 Ma)贺兰—祁连洋盆演化形成祁连海和北海。早二叠世晚期(280 Ma)秦祁海沟开始闭合,盆地南缘古生代褶皱带不断隆升,此时华北板块南缘处于构造运动活跃的隆起带。二叠世晚期(260~250 Ma),盆地西南缘海西运动促使祁连—秦岭造山带演变为统一的物源区(戚学祥等,2004;陈全红等,2006)。西秦岭的勉略缝合带在中—晚泥盆世到早二叠世,中二叠世到中—晚三叠世(345~200 Ma)期间发生俯冲与碰撞造山运动(张国伟等,2003)。裴先治等(2007)在西秦岭北缘发现有广泛发育的加里东期俯冲—碰撞型

花岗质岩浆岩。寇晓虎等(2007)通过对西秦岭二叠统花岗岩的微量元素和稀土元素分析认为,该区在晚二叠世时属于从似洋中脊的拉张环境过渡到板块俯冲碰撞的岛弧环境。

4.2 物源区讨论

260~340 Ma:该区间锆石颗粒一共有23颗,占总数(105)的21.9%,Th/U比值为0.11~0.87,表现为典型的岩浆成因锆石,部分可能受后期变质事件改造,对应早石炭世—晚二叠世构造—岩浆热事件。陈斌等(2001)对内蒙古苏尼特左旗南花岗岩进行同位素年代学研究,获得主要年龄为310 Ma的弧岩浆岩,并推断西伯利亚板块南缘和华北板块北缘的索伦缝合带的最终闭合时间可能是在310~230 Ma;马收先等(2011)对兴蒙造山带平泉地区的上石炭统—中三叠统碎屑砂岩进行LA-ICP-MS U-Pb同位素分析,发现250~330 Ma碎屑锆石年龄普遍存在,研究认为内蒙古隆起曾存在2次重要的隆升事件:第一期发生在360~312 Ma,第二期发生在276~258 Ma期间;陈岳龙等(2012)对鄂尔多斯盆地周缘的兴蒙造山带的碎屑沉积岩、片麻岩和变辉绿岩等进行锆石U-Pb年龄测定,结果显示石炭纪—二叠纪末(350~250 Ma)形成的锆石所占比例达30%以上。与本组对应的锆石在兴蒙造山带广泛发育(宋立军,2010),而在秦岭造山带地区仅少量发育。目前有李侃等(2015)在北秦岭柳叶河盆地的上三叠统石英砂岩中通过单颗粒锆石LA-ICP-MS U-Pb同位素分析获得了最年轻的锆石年龄为(256±4) Ma;孙小攀等(2013)对西秦岭江里沟花岗岩进行LA-ICP-MS 锆石U-Pb测年结果为(264.0±1.4) Ma,属中二叠世晚期,证明了在中二叠世晚期存在地壳增厚背景下的构造岩浆活动事件;张英利等(2011)在对西秦岭造山带徽县—成县盆地早白垩世鸡山组砂岩进行LA-ICP-MS U-Pb分析时,获取了U-Pb年龄为305 Ma的锆石颗粒,其测试结果显示为岩浆成因。晚志留世到泥盆纪期间,华北板块与西伯利亚板块发生俯冲消减碰撞作用,大量火山岩浆产物随着造山运动而剥蚀搬运,从而研究区出现了较多260~340 Ma峰期年龄的碎屑锆石,此年龄段锆石可能来自250~360 Ma的兴蒙造山火成岩。陈世悦(2000)通过对华北板块南部石炭纪—三叠纪沉积盆地物源区分析认为,秦岭造山带在石

炭期末—二叠纪进入面接触碰撞阶段,北秦岭构造带有较大幅度的隆升,其北侧相邻地区开始演变为沉积盆地,并成为华北二叠纪陆表海盆地的沉积拗陷中心。海西期北秦岭、西秦岭陆陆俯冲、碰撞造山、地壳加厚所产生的一系列岩浆事件在时间上与本阶段锆石年龄具有较好的对应性。故笔者推断该时期鄂尔多斯盆地西南缘物源主要来自兴蒙造山带,海西运动期间北秦岭、西秦岭构造带同样存在着向鄂尔多斯盆地西南缘提供物源的可能。

370~470 Ma: 该区间锆石颗粒一共有26颗(其中来自庆探1井山1段20颗),占总数(105)的24.8%,Th/U比值为0.14~0.83,表现为典型的岩浆成因锆石,对应中奥陶世—晚志留世加里东构造岩浆热事件。刘军锋等(2007)对北秦岭罗汉寺岩群辉长岩脉的形成时代进行锆石U-Pb同位素测年,获得了(475.0±4.0) Ma的年龄,认为北秦岭在早古生代伴随岛弧体系碰撞,发生了基性岩浆侵入活动和地壳增生事件;高春云等(2015)在对北秦岭黑河地区柳叶河盆地石炭系—二叠系含砾砂岩进行LA-ICP-MS U-Pb年龄的测定时,获得了峰值年龄为455 Ma;陈伟南等(2014)在对西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组碎屑岩进行LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析时,获得了峰值年龄为458 Ma;郭周平等(2015)在对北祁连造山带中段冷龙岭石英闪长玢岩进行LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析时,获得了其成岩年龄为(461.5±7.3) Ma,并证实了中奥陶世北祁连洋俯冲环境下的沟-弧-盆环境;李猛等(2015)在对北祁连造山带肃南地区阴沟群粗砂岩碎屑锆石进行LA-ICP-MS U-Pb年龄的测定时,分别获得最小谐和年龄(425±2) Ma和(425±5) Ma;上述岩浆构造活动事件与该区段碎屑锆石年龄具有很好的对应性,据此笔者认为早古生代期间鄂尔多斯盆地西南缘的物源来自北秦岭、西秦岭构造带和北祁连造山带。

1600~2000 Ma: 该区间锆石颗粒一共有34颗(其中来自陇2井盒8段31颗),占总数(105)的32.4%,Th/U比值为0.27~2.57,表现为典型的岩浆成因锆石,该年龄区间对应中元古代—古元古代Columbia超大陆汇聚事件。王洪亮等(2008)在对北秦岭西段太白岩基巩固沟变形侵入体和宝鸡岩基胡店变形侵入体进行岩石地球化学研究时发现,

其形成于与俯冲—碰撞有关的板块边缘侧向增生地带,锆石U-Pb测年为(1741±12) Ma和(1770±3) Ma,反映Columbia超大陆汇聚构造—岩浆事件在北秦岭西段的响应;王银川等(2012)对北祁连造山带东段中元古代长宁驿花岗岩质片麻岩进行锆石U-Pb测年分析时发现,其形成年龄为(1765±57) Ma;李怀坤等(2007)在对北祁连西段北大河岩群碎屑锆石进行SHRIMP U-Pb同位素年龄测定表明,存在峰值年龄1800 Ma左右的构造岩浆热事件。最新研究认为华北板块发生有2300~1900 Ma的陆内造山和1850~1650 Ma的大陆裂解两个构造运动。前者发生了华北克拉通裂谷形成到闭合的造山带的演化,后者主要为华北陆块的整体抬升、基性岩墙群侵入、裂陷槽以及非造山岩浆活动等一系列地质事件(翟明国,2004);赵太平等(2001)。在对具有裂谷特征的华北板块南部熊耳群火山岩研究时发现,其形成于1950~1750 Ma;表明了华北板块在中元古代存在为周边地区提供物源的可能性。综上所述,上述构造岩浆事件年龄和本次研究的中元古代年龄具有很好的相关性,证明了北秦岭造山带、北祁连造山带和华北板块为鄂尔多斯盆地西南缘提供物源。

2300~2600 Ma: 该区间锆石颗粒一共有16颗,占总数(105)的15.2%,Th/U比值为0.12~1.18,表现为典型的岩浆成因锆石,部分可能受后期变质事件改造,对应古元古代岩浆构造热事件。华北地块于近2500 Ma时期发生大规模构造热事件,记录了大量岩浆活动记录和古老地质体的破坏和再循环事件,沈其韩等(2005)在华北板块古元古代锆石年龄的分布进行了统计研究时,发现其最大峰值在2500~2550 Ma;耿元生等(2010)对华北板块中的正片麻岩进行研究时,得出华北板块正片麻岩形成的主体年龄为2450~2600 Ma,且最古老的正片麻岩年龄为2600 Ma;何艳红等(2005)研究结果显示祁连地区存在新太古代—古元古代1900 Ma、2350 Ma、2500 Ma的构造岩浆峰值年龄事件,且锆石测年结果与华北板块基底岩系相对应。张宗清等(1994)在对北秦岭秦岭群黑云斜长片麻岩锆石U-Pb测年结果显示为2000~2300 Ma。裴先治等(2007)对西秦岭北缘构造带葫芦河群浅变质砂岩进行LA-ICP-MS U-Pb测年发现,存在有2300~2500 Ma的碎屑锆石颗粒,其中包含2503 Ma(2450~2500 Ma)、

表4 鄂尔多斯盆地西南缘周缘代表性地质体同位素测年统计结果

Table 4 The dating results of representative geological bodies in the adjacent areas of southwestern Ordos Basin

地质体	测年结果/Ma	测年方法	资料来源
北秦岭柳叶河盆地石英砂岩	256±4	LA-ICP-MS	李侃等 (2015)
北秦岭罗汉寺岩群辉长岩	475±4	LA-ICP-MS	刘军峰等 (2007)
北秦岭柳叶河盆地含砾砂岩	455	LA-ICP-MS	高春云等 (2015)
北秦岭西段太白岩基侵入体	1741±12	LA-ICP-MS	王洪亮等 (2008)
北秦岭西段宝鸡岩基侵入体	1770±3	LA-ICP-MS	王洪亮等 (2008)
北秦岭秦岭群黑云斜长片麻岩	2000~2300	SHRIMP	张宗清等 (1994)
西秦岭江里沟花岗岩	264±1.4	LA-ICP-MS	孙小攀等 (2013)
西秦岭徽县一成县鸡山组砂岩	305	LA-ICP-MS	张英利等 (2011)
西秦岭舒家坝地区太阳寺组碎屑岩	458	LA-ICP-MS	李婷等 (2012)
西秦岭唐藏石英闪长岩	454.7±1.9	LA-ICP-MS	陈伟南等 (2014)
西秦岭葫芦河群碎屑岩	2300~2500	LA-ICP-MS	裴先治等 (2007)
北祁连中段冷龙岭石英闪长玢岩	461.5±7.3	LA-ICP-MS	郭周平等 (2015)
北祁连肃南地区阴沟群粗砂岩	425±2	LA-ICP-MS	李猛等 (2015)
北祁连肃南地区阴沟群粗砂岩	425±5	LA-ICP-MS	李猛等 (2015)
北祁连长宁驿花岗质片麻岩	1765±57	LA-ICP-MS	王银川等 (2012)
北祁连西段北大河岩群碎屑岩	1800	SHRIMP	李怀坤等 (2007)
北祁连地区长英质片麻岩	1900~2500	LA-ICP-MS	何艳红等 (2005)
内蒙古苏尼特左旗南花岗岩	310	U-Pb	陈斌等 (2001)
内蒙古平泉地区碎屑砂岩	250~330	LA-ICP-MS	马收先等 (2011)
兴蒙造山带地区碎屑岩、片麻岩等	250~350	U-Pb	陈岳龙等 (2012)
华北板块南部熊耳群火山岩	1750~1950	U-Pb、LA-ICP-MS	赵太平等 (2001)
华北板块元古代锆石年龄	2500~2550	SHRIMP	沈其韩等 (2005)
华北板块正片麻岩	2450~2600	SHRIMP、LA-ICP-MS	耿元生等 (2010)

2350 Ma (2350~2400 Ma) 的岩浆事件,推断为古元古代—新太古代结晶基底杂岩,为新太古代末构造岩浆作用的产物。上述构造岩浆事件和本次研究的古元古代—新太古代年龄具有很好的相关性,显示新太古代华北板块基底结晶岩系、北祁连造山带、北秦岭造山带和西秦岭造山带为上古生界鄂尔多斯盆地西南缘提供物源。

另外,本次研究还存在5颗900~1300 Ma和1颗1429 Ma的锆石颗粒,与Grenville期造山作用具有良好的对应性。出露于祁连山造山带东段榆中县南兴隆山群火山岩的年龄为1032~1172 Ma(徐学义等,2008);出露于西秦岭天水市新阳—元龙镇的花岗质片麻岩,其形成年龄介于(914.7±17.6)~(981±5) Ma之间(张志国等,2008)。由于锆石颗粒过少,推测可能物源区为秦祁造山带,也为研究区中—新元古代地质事件及构造演化提供了线索。

本次研究的碎屑锆石主要为太古宙、元古宙和古生代锆石年龄,与上述周缘地质体具有良好的对应性(表4)。其中260~340 Ma晚古生代锆石年龄与

海西运动相对应,370~470 Ma早古生代锆石年龄与加里东运动相对应,1600~2000 Ma元古宙锆石年龄与Columbia超大陆汇聚事件相对应,2300~2600 Ma太古代锆石年龄与克拉通化事件相对应。这些成分复杂、年龄分布范围广的碎屑锆石为研究区可能存在的地质事件从岩性上提供了充分的证据,结合研究区周缘区域地质事件,对比本次研究碎屑锆石年龄区段与周缘地层岩石锆石年龄的相似性,推测北秦岭造山带、西秦岭造山带、北祁连造山带、兴蒙造山带和华北板块基地均可能为晚古生代鄂尔多斯盆地西南缘提供物源。其中北秦岭、北祁连地区和兴蒙造山带的锆石年龄与本文研究锆石年龄具有更好的对应性,能够为研究区提供充足的物源,西秦岭造山带为研究区提供部分物源,中元古代、新太古代部分物源可能来自华北板块基地结晶岩系。

4.3 盆山耦合

所谓盆山耦合,不仅指造山带与盆地之间存在物质上耦合关系,同时还存在着地球动力学上的耦合关系。

通过对比本次研究锆石年龄与周缘地体锆石年龄区间特征,结合秦—祁造山带、华北板块从太古宙至古生代的古老复杂结晶基底形成、洋壳开启、洋壳俯冲碰撞和陆陆碰撞造山等构造运动地质事件相似度,笔者认为鄂尔多斯盆地西南部的沉积物主要来源于北、西秦岭造山带海西期(260~340 Ma)俯冲碰撞—岩浆活动、秦—祁造山带加里东运动期(370~470 Ma)俯冲造山—构造岩浆运动、秦—祁造山带元古代(1600~2000 Ma)变质褶皱基底岩系及秦—祁造山带、华北板块新太古代(2300~2600 Ma)结晶基底岩系,推测中—新元古代(900~1300 Ma)沉积物来源于北、西秦岭造山带。

本次研究的碎屑锆石古生代年龄区间为260~470 Ma,碎屑锆石颗粒一共有49粒,占总数的46.7%,反映了研究区活跃的古生代造山构造岩浆活动,同时提供了充足的物源供给。据前人研究,鄂尔多斯盆地西、南部依次经历了震旦纪—寒武纪洋盆演化发育,奥陶纪洋盆俯冲碰撞,志留纪—早泥盆世碰撞挤压造山运动,洋盆逐渐消亡,石炭—二叠纪因走滑拉分断陷而发育上叠于早古生代造山带之上的山间断陷盆地的盆山转换过程。中晚泥盆世—石炭纪,秦—祁造山带与华北板块西南部属于点碰撞阶段,地层处于长期的剥蚀状态,此时秦—祁地区结束了洋盆的发育历史,完成了洋盆与造山带之间的转换,逐渐由活动大陆边缘盆地转化为陆—陆碰撞造山带。石炭纪末—二叠纪,秦—祁造山带进入面接触碰撞阶段。此时秦—祁构造带有了更大幅度的隆起,其北侧相邻地区则演变为叠于前石炭纪变质岩系组成的山间盆地沉积,秦—祁造山带开始处于陆相演化阶段,完成了又一个重要的造山带转变为沉积盆地的盆山转换过程。同时北侧的鄂尔多斯盆地也经历了从石炭纪海陆交互环境逐渐演变为早二叠世的陆表海环境,后逐渐演化为晚二叠的陆缘近海湖盆环境。后经印支期秦—祁碰撞造山事件,鄂尔多斯盆地西南部及其相邻秦—祁造山带全面进入了陆内构造环境(陈世悦,2000;任军峰,2004)。

5 结 论

(1)鄂尔多斯盆地西南部晚古生代盒8段的碎屑锆石年龄分为269~312 Ma、1670~1894 Ma两个主峰年龄区间和378~450 Ma、1931~2044 Ma、2314~

2490 Ma三个次峰年龄区间,还可见1429 Ma一个单独锆石颗粒,碎屑锆石最大年龄为2490 Ma,最小年龄为269 Ma;山1段碎屑锆石年龄分为287~339 Ma、385~466 Ma两个主峰年龄区间和922~1332 Ma、1717~2062 Ma、2302~2522 Ma三个次峰年龄区间,碎屑锆石最大年龄为2522 Ma,最小年龄为287 Ma。

(2)经过与周缘地层锆石年龄对比及结合周缘构造地质事件,证明鄂尔多斯盆地西南部晚古生代盒8、山1段物源具有复杂性,分别来自北、西秦岭造山带、北祁连造山带、兴蒙造山带及华北板块基底五个物源区,其中北秦岭造山带、北祁连造山带和兴蒙造山带为主要物源区。

(3)根据本次研究的古生代锆石年龄,证明了奥陶纪洋盆俯冲碰撞,鄂尔多斯盆地西南缘被动大陆边缘形成;志留纪—早泥盆世碰撞造山,洋盆逐渐转换为造山带,鄂尔多斯盆地西南缘由古活动大陆边缘盆地演变为陆—陆碰撞造山带;石炭—二叠纪发生走滑拉分断陷事件,鄂尔多斯盆地西南缘由造山带逐渐演变成沉积盆地,主要表现为由石炭纪海陆交互环境逐渐演变为早二叠世的陆表海环境,后逐渐演化为晚二叠世的陆缘近海湖盆环境;后经印支期秦—祁碰撞造山事件之后,鄂尔多斯盆地西南缘全面进入了陆内构造环境。

致谢: 锆石 U-Pb 定年工作得到中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室刘勇胜教授、宗克清副教授的大力支持和帮助;审稿专家和编辑提出了中肯的修改意见,在此一并衷心致谢。

References

- Bai Bin, Yang Wenjing, Zhou Lifa, Liu Zhe, Zhang Yikai. 2007. Sediment provenance analysis and tectonic setting discrimination of Shanxi Formation on west edge of Ordos Basin[J]. *Coal Geology and Exploration*, 35(4):8-11(in Chinese with English abstract).
- Belousova E A, Griffin W L, O' Reilly S Y, Fisher N J. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contrib. Miner. Petrol*, 143: 60-622.
- Brian J Darby, George Gehrels. 2006. Detrital zircon reference for the North China block.[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6), 637-648.
- Chen Bin, Zhao Guochun, Simon WILDE. 2001. Subduction- and Collision- related Granitoids from Southern Sonidzuoqi, Inner

- Mongolia: Isotopic Ages and Tectonic Implications[J]. *Geological Review*, 47(04): 361–367. (in Chinese with English abstract).
- Chen Quanhong, LI Wenhong, Wang Yahong, Jin Shuanlian, Gao Yongxiang. 2006. The Analysis of Sediment Provenance in Early–Middle Period of Late Paleozoic in the Southwest of Ordos Basin[J]. *Geoscience*, 20(4): 628–634 (in Chinese with English abstract).
- Chen Quanhong, Li Wenhong, Hu Xiaolin, Li Keyong, Pang Jungang, Guo Yanqin. 2012. Tectonic Setting and Provenance Analysis of Late Paleozoic Sedimentary Rocks in the Ordos Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 86(07): 1150–1162 (in Chinese with English abstract).
- Chen Shiyue. 1998. The controls of the collisional orogenesis in the Qinling Mountains on the Carboniferous–Permian transgressional processes in North China[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 18(2): 48–54 (in Chinese with English abstract).
- Chen Shiyue. 2000. The basin–range coupling in southern North China block during the Late Palaeozoic to Triassic [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(3): 37–43 (in Chinese with English abstract).
- Chen Weinan, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, Li Ruibao, Li Zuo Chen, Wei Bo, Wu Xiaochun, Liu Tujie, Wang Yuanyuan, Ren Houzhou. 2014. U–Pb ages of detrital zircons from Taiyangsi Rock Group in Shujiba area of West Qinling Mountains and their geological significance[J]. *Geology in China*, 41(3): 741–755 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xiaowei, Mou Chuanlong, Zhou Kenken, Kang Jianwei, Wang Qiyu, Ge Xiangying, Liangwei. 2014. Lithofacies–paleogeography of middle–late Ordovician Daping stage–Aijiashan stage on the western margin of the Ordos Basin [J]. *Geology in China*, 41(06): 2028–2038. (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuelong, Li Dapeng, Wang Zhong, Liu Jinbao, Liu Changzheng. 2012. History of formation and evolution on the crust around the Ordos Basin: Evidences from U–Pb and Hf isotopic composition zircons[J]. *Earth Science Frontiers*, 19(03): 147–166 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yibing, Zhang Guowei, Lu Rukui, Liang Wentian, Di Wuchunrong, Guo Xiufeng. 2010. Detrital Zircon U–Pb geochronology of Dacotan Group in the conjunction area of North Qinling and Qilian[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(7): 947–962 (in Chinese with English abstract).
- Crofu F, Hanchar J M, Hoskin P W O, Kinny P. 2003. Atlas of zircon textures[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 469–495.
- Deng Kun, Zhang Shaolan, Zhou Lifa, Liu Yan. 2011. Formation and tectonic evolution of the Paleozoic Central paleo-uplift of Ordos basin and its implications for oil–gas exploration[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(02): 190–197 (in Chinese with English abstract).
- Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional Geology Gansu Province[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Gao Chunyun, Guo Anlin, Li Xinghui, Li Kan, Liu Weigang. 2015. LA–ICP–MS U–Pb dating of detrital zircon from Liuyehe basin in North Qinling Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 34(9): 1689–1698 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Shen Qihan, Ren Liudong. 2010. Late Neoproterozoic to Early Paleoproterozoic magmatic events and tectonothermal systems in the North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 1945–1966 (in Chinese with English abstract).
- Guo Zhouping, Zhao Xinmin, Bai Yun, Zhang Jiangwei, Kong Huilei. 2015. Zircon U–Pb and molybdenite Re–Os dating of the Langlike copper deposit in North Qilian Mountain and its geological implications[J]. *Geology in China*, 42(3): 691–701 (in Chinese with English abstract).
- Han Huiping, Wu Chunying, Bai Qinghua, Chen Peng, Liu Xinshe, Qin Baiping. 2014. Zircon U–Pb dating of clastic sandstone in the Upper Paleozoic from Wushenqi area, Ordos Basin and its geological significance[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 32(04): 643–653 (in Chinese with English abstract).
- He Yanhong, Sun Yong, Chen Liang, Li Haiping, Yuan Honglin, Liu Xiaoming. 2005. Zircon U–Pb chronology of Longshan complex by LA–ICP–MS and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(2): 125–134 (in Chinese with English abstract).
- Hu G H, Zhao T P, Zhou Y Y. 2014. Depositional age, provenance and tectonic setting of the Proterozoic Ruyang Group, southern margin of the North China Craton[J]. *Precambrian Research*, 246: 296–318.
- He Shiping, Wang Hongliang, Chen Juanlu, Xu Xueyi, Zhang Hongfei, Ren Guangming, Yu Jiyuan. 2008. LA–ICP–MS U–Pb zircon geochronology of basic dikes within Maxianshan rock group in the Central Qilian mountains and its tectonic implications[J]. *Earth Science*, 33(1): 35–45.
- Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources. 1990. Inner Mongolia Autonomous Regional Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Kou Xiaohu, Zhu Yunhai, Zhang Kexin, Shi Bin, Luo Genming. 2007. Discovery and geochemistry of Upper Permian volcanic rocks in Tongren Area, Qinghai Province and their tectonic significance[J]. *Earth Science*, 32(1): 45–50 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Lu Songnian, Xiang Zhenqun, Zhou Hongying, Li Huimin, Liu Dunyi, Song Biao, Zheng Jiankang, Gu Ying. 2007. SHRIMP U–Pb geochronological research on detrital zircons from the

- Beidahe Complex- Group in the western segment of the north Qilian Mountains, northwest China[J]. Geological Review, 53(1): 132-140(in Chinese with English abstract).
- Li Kan, Guo Anlin, Gao Chunyun, Li Xinghui. 2015. A tentative discussion on the source area of the Late Triassic Liuyehe basin in North Qinling Mountains and its relationship with the Ordos basin: Evidence from LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircons[J]. Geological Bulletin of China, 34(8):1426-1437(in Chinese with English abstract).
- Li Meng, Wang Chao, Li Rongshe, Peng Yan. 2015. Age and provenance of the Yingou Group in Sunan area of North Qilian Mountain: Evidence from detrital zircon U-Pb Dating[J]. Geology in China, 42(3):601-615(in Chinese with English abstract).
- Liu Junfeng, Sun Yong, Zhang Hong. 2007. Zircon age of Luohansi group in the Northern Qinling and their geological significance[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 37(6): 907-911(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Yang Chunliang, Li Huaikun, Chen Zhihong. 2002. North China continent and Columbia supercontinent[J]. Earth Science Frontiers, 9(4): 225-233(in Chinese with English abstract).
- Ma Shouxian, Meng Qingren, Qu Yongqiang. 2011. A study of detrital zircons of Late Carboniferous-Middle Triassic strata in the northern margin of North China block and its geological implication[J]. Geological Bulletin of China, 30(10):1485-1500(in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Liu Zhanqing, Ding Sapin, Li Zuochen, Li Gaoyang, Li Ruibao, Wang Fei, Li Fujie. 2007. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating of the Gabbro from the Baihua Igneous Complex in Tianshui Area, Eastern Gansu and its geological significance[J]. Advances in Earth Science, 22(8): 818-827(in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Meng Yong, Ding Sapin, Li Zuochen, Liu Zhanqing, Liu Huibin, Li Gaoyang, Li Ruibao. 2007. Identification of 2.5 Ga detrital zircons from conjoint area between Qilian-Qinling orogenic belts and its geological implication[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 29(2):111-116(in Chinese with English abstract).
- Qi Xuexiang, Zhang Jianxin, Li Haibing, Yin Jianping, Li Jinwen, Cai Jinlang. 2004. Mineral chemistry response to the formation of mylonite for the dextral ductile strike-slip shear zone in southern margin of northern Qilian Mountains[J]. Geoscience, 18(01):54-63 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junfeng. 2004. Paleozoic tectonic transformation of the North Qinling belt in Shanxi Province[D]. Northwest University(in Chinese with English abstract).
- Ren Wenjun, Zhang Qinglong, Zhang Jin, Guo Linzhi. 1999. The plate tectonic formation of the central paleo-uplift in the Ordos Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 23(2): 92-97.(in Chinese with English abstract).
- Shaanxi Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional Geology of Shaanxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Shen Qihan, Geng Yuansheng, Song Biao, Wan Yusheng. 2005. New information from the surface outcrops and deep crust of Archean rocks of the North China and Yangtze Blocks, and Qinling-Dabie Orogenic Belt[J]. Acta Geologica Sinica, 79(5): 616-627(in Chinese with English abstract).
- Sun Xianpan, Xu Xueyi, Chen Junlu, Gao Ting, Li Ting, Li Xianbing, Li Xiaoying. 2013. Geochemical characteristics and chronology of the Jiangligou granitic pluton in west Qinling and their geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 87(3): 330-342(in Chinese with English abstract).
- Song Shuguang, Niu Yaoling, Su Li, Xia Xiaohong. 2013. Tectonics of the North Qilian orogeny, NW China[J]. Gondwana Research, 23: 1378-1401.
- Song Lijun, Chen Juanlu, Zhang Yinglu, Liu Chiyang, Wu Chonglong, Zhang Xiaohao. 2010. U-Pb Chronological Characteristics of Late Triassic Sediment in Southwestern Ordos and its Tectonic Significance[J]. Acta Geologica Sinica, 84(03):370-386.(in Chinese with English abstract).
- Wang Hongliang, Xiao Shaowen, Xu Xueyi, Li Wanzhong, He Shiping, Chen Junlu, Chen Liang. 2008. Geochronology and significance of the early Mesoproterozoic tectono-magmatic event in the western segment of the North Qinling Mountains, China[J]. Geological Bulletin of China, 27(10):1728-1738(in Chinese with English abstract).
- Wang Qingfei, Deng Jun, Yang Liqiang, Gao Bangfei, Xu Hao, Huang Dinghua. 2006. The tectonic background and evolution process of Ordovician marginal L-shaped paleo-uplift in Ordos basin[J]. Geoscience, 20(1):30-34(in Chinese with English abstract).
- Wang Yinchuan, Pei Xianzhi, Li Zuochen, Li Ruibao, Pei Lei, Wei Fanghui, Liu Chengjun, Gao Jingmin, Wu Shukuan, Chen Youxi. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Mesoproterozoic granitic gneisses at Changningyi of Zhangjiachuan area on the eastern edge of the Qilian orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 31(10):1576-1587(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhentao, Zhou Hongrui, Wang Xunlian, Zhang Yongsheng, Jing Xiuchun, Xing Enyuan. 2015. Ordovician geological events Group in the west and south Ordos basin[J]. Acta Geologica Sinica, 89(11): 1990-2004(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, He Shiping, Wang Hongliang, Zhang Erpeng, Chen Juanlu, Sun Jiming. 2008. Tectonic framework of North Qinling Mountain and North Qilian Mountain conjunction area in Early Paleozoic A

- study of the Evidences from Strata and Tectonic– magmatic Events[J]. *Northwestern Geology*, 41(1):1– 21.(in Chinese with English abstract).
- Xu xueyi, Wang Hongliang, Chen Juanlu, He Shiping, Wu Peng, Gao Ting.2008. Zircon U–Pb dating and petrogenesis of Xinglongshan Group basic volcanic rocks at eastern segment of Middle Qilian Mts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(04): 827–840(in Chinese with English abstract).
- Yan Yi, Lin Ge, LI Zian. 2003 .Provenance tracing of sediments by means of synthetic study of shape,composition and chronology of zircon[J].*Geotectonica et Metallogenia*, 27(2):184–190(in Chinese with English abstract).
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Yan Zhen, Wang Tao, Zhang Hongyuan, Xiang Zhongjin, Jiang Chunfa, Gao Lianda. 2009. Timing of the Transformation from Seafloor Spreading on the South Margin of the North China Block to Subduction within the North Qinling Orogenic Belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(11):1565– 1583(in Chinese with English abstract).
- Yuan Suhang, Fu Jinhua, Xiao Ancheng, Sun Liuyi, Wu Lei, Bao Hongping, Mao Liguang, Ouyang Zhengjian, Xu Bo. 2014. Discussion of the horizontal migration of the Ordovician central Paleouplift in Ordos basin: Evidence from the synsedimentary record[J].*Journal of Zhejiang University(Scienc Edition)*,41(01): 100–107(in Chinese with English abstract).
- Yang Fu, Chen Gang, Ding Chao, Gao Lei, Lei Panpan, Zhang Wenlong, Shi Xiaolin, Tong Mingjun.2015.U– Pb Dating of Detrital Zircon from Upper Ordovician Pingliang Formation in Southwest Margin of the Ordos Basin and Provenance Analysis[J]. *Geological Review*,61(1):172–181(in Chinese with English abstract).
- Yang Hua, Xin Bushe, Fu Jinhua, Yao Tingli, Wang Duoyun.2014.LA– ICP– MS U– Pb Dating of Detrital Zircons from Kongtongshan Formation Conglomerate in the Southwestern Margin of Ordos Basin and Its Tectonic Significance[J].*Geological Review*, 60(03):677–692.(in Chinese with English abstract).
- Yang Jianghai.2012.Detrital record of collision and exhumation processes of orogen: studies from the Silurian in North Qilian Belt, the Permian– Triassic in Youjiang Basin and the Jurassic at Huangshi south of Dabie Mountains[D].China University of Geosciences(Wuhan), 1–151(in Chinese with English abstract).
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing.2010.Continental and oceanic crust recycling– induced melt– peridotite interactions in the Trans– North China Orogen: U– Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51(1/2): 537–571.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, Gao Changgui, Gao Shan, Xu Juan, Chen Haihong. 2010. Reappraisal and refinement of zircon U– Pb isotope and trace element analyses by LA– ICP– MS.[J]. *Chinese Sci. Bull.*, 55: 1535–1546(in Chinese).
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Günther Detlef, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA– ICP– MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257: 34–43.
- Zhai Mingguo.2013. Secular changes of metallogenic systems link with continental evolving of the North China Craton. [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(5): 1759– 1773(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, Guo Anlin, Meng Qingren, Liu Shaofeng, Cheng Shunyou, Yao Anping, Zhang Zongqing, Pei Xianzhi, Li Sanzhong. 2003. Qinling– Dabie orogenic belt southern margin of the tectonic belt and Mianlue ophiolite[J].*Science in China (Series D)*, 33: 1122– 1135(in Chinese).
- Zhang Yingli, Wang Zongqi. 2011. Provenance analysis of Early Cretaceous Huixian– Chengxian basin, western Qinling orogenic belt, China: constraints from zircon U– Pb geochronology[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(1):37– 50(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhiguo, Chen Juanlu, Xu Xueyi, Du Zhigang, Zhang Zhanwu, Wang Hongliang, Li Ping. 2011. Geochronology and geochemistry of the Neo– Proterozoic amphibolites in the Muqitian Formation: Implications for the tectonic evolution of the North Qinling Orogen[J].*Acta Petrologica Sinica*, 27(03): 757– 769(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Fu Guomin. 1994. North Qinling Metamorphic Strata Isotopic Chronology[M].Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Zhao Guochun, Sun Min, Wilde S A.2002.North China Craton basement tectonic units feature early Proterozoic split[J]. *Science in China(Series D)*,32:538–549(in Chinese).
- Zhao Taiping, Zhou Meifu, Jin Chengwei, Guan Hong, Li Huimin.2001. Discussion on age of the Xiong’ Er group in southern margin of north China carton[J]. *Chinese Journal of Geology*, 36(3):326– 334 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白斌, 杨文敬, 周立发, 刘哲, 张义楷. 2007. 鄂尔多斯盆地西缘山西组沉积物源及源区大地构造属性分析[J]. *煤田地质与勘探*, 35(4): 8–11.
- 陈斌, 赵国春, Simon Wilde.2001.内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J].*地质论评*,47(04):361–367.

- 陈全红,李文厚,王亚红,金栓联,高永祥.2006.鄂尔多斯盆地西南部晚古生代早—中期物源分析[J].现代地质,20(4): 628-634.
- 陈全红,李文厚,胡孝林,李克永,庞军刚,郭艳琴.2012.鄂尔多斯盆地晚古生代沉积岩源区构造背景及物源分析[J].地质学报,86(07):1150-1162.
- 陈世悦.1998.论秦岭碰撞造山作用对华北石炭二叠纪海侵过程的控制[J].岩相古地理,18(2):48-54.
- 陈世悦.2000.华北地块南部晚古生代—三叠纪盆地耦合关系[J].沉积与特提斯地质,20(3): 37-43.
- 陈伟男,裴先治,刘成军,李瑞保,李佐臣,魏博,胥晓春,刘国杰,王元元,任厚州.2014.西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].中国地质,41(3): 741-755.
- 陈义兵,张国伟,鲁如魁,梁文天,第五春荣,郭秀峰.2010.北秦岭—祁连结合区大草滩群碎屑锆石 U-Pb 年代学研究[J].地质学报,84(7): 947-962.
- 陈小伟,单传龙,周恩恩,康建威,王启宇,葛祥英,梁薇.2014.鄂尔多斯西缘中晚奥陶世大坪阶—艾家山阶岩相古地理[J].中国地质,41(06): 2028-2038.
- 陈岳龙,李大鹏,王忠,刘金宝,刘长征.2012.鄂尔多斯盆地周缘地壳形成与演化历史:来自锆石 U-Pb 年龄与 Hf 同位素组成的证据[J].地学前缘,19(03):147-166.
- 邓昆,张哨楠,周立发,刘燕.2011.鄂尔多斯盆地古生代中央古隆起形成演化与油气勘探[J].大地构造与成矿学,35(02):190-197.
- 甘肃省地质矿产局.1989.甘肃省区域地质志[M].北京:地质出版社.
- 高春云,郭安林,李兴辉,李侃,刘伟刚.2015.北秦岭柳叶河盆地石炭系—二叠系含砾砂岩碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质通报,34(9): 1689-1698.
- 耿元生,沈其韩,任留东.2010.华北克拉通晚太古代末—古元古代初的岩浆事件及构造热体系[J].岩石学报,26(7):1945-1966.
- 郭周平,赵辛敏,白赞,张江伟,孔会磊.2015.北祁连浪力克铜矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J].中国地质,42(3): 691-701.
- 韩会平,武春英,白清华,陈鹏,刘新社,秦百平.2014.鄂尔多斯盆地乌审旗地区上古生界砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].沉积学报,32(04): 643-653.
- 何艳红,孙勇,陈亮,李海平,袁洪林,柳小明.2005.陇山杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].岩石学报,21(2): 125-134.
- 寇晓虎,朱云海,张克信,施斌罗根明.2007.青海省同仁地区上二叠统石关组上部火山岩的新发现及其地球化学特征和构造环境意义[J].地球科学,32(1):45-50.
- 李怀坤,陆松年,相振群,周红英,李惠民,刘敦一,宋彪,郑健康,顾瑛.2007.北祁连山西段北大河岩群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J].地质论评,53(1):132-140.
- 李侃,郭安林,高春云,李兴辉.2015.北秦岭柳叶河盆地上三叠统物源区及其与鄂尔多斯盆地的关系——来自碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄的证据[J].地质通报,34(8): 1426-1437.
- 李猛,王超,李荣社,彭岩.2015.北祁连南地区阴沟群形成时代及沉积源区讨论——碎屑锆石 U-Pb 年龄证据[J].中国地质,42(3): 601-615.
- 刘军锋,孙勇,张红.2007.北秦岭罗汉寺岩群锆石年龄及其地质意义[J].西北大学学报(自然科学版),37(6):907-911.
- 陆松年,杨春亮,李怀坤,陈志宏.2002.华北古大陆与哥伦比亚超大陆[J].地学前缘,9(4):225-233.
- 马收先,孟庆任,曲永强.2011.华北地块北缘上石炭统一中三叠统碎屑锆石研究及其地质意义[J].地质通报,30(10):1485-1500.
- 内蒙古自治区地质矿产局.1990.内蒙古自治区区域地质志[M].北京:地质出版社.
- 裴先治,刘战庆,丁仁平,李佐臣,李高阳,李瑞保,王飞,李夫杰.2007.甘肃天水地区百花岩杂岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J].地球科学进展,22(8):818-827.
- 裴先治,孟勇,丁仁平,李佐臣,刘战庆,刘会彬,李高阳,李瑞保.2007.祁连—秦岭造山带交接部位 25 亿年碎屑锆石的发现及其地质意义[J].地球科学与环境学报,29(2):111-116.
- 戚学祥,张建新,李海兵,印建平,李进文,蔡金郎.2004.北祁连南缘右行韧性走滑剪切带糜棱岩矿物的化学成分及其对形成环境的响应[J].现代地质,18(01):54-63.
- 任军峰.2004.北秦岭(陕西段)古生代构造体制转换研究[D].西北大学.
- 任文军,张庆龙,张进,郭令智.1999.鄂尔多斯盆地中央古隆起板块构造成因初步研究[J].大地构造与成矿学,23(02):92-97.
- 陕西省地质矿产局.1989.陕西省区域地质志[M].北京:地质出版社.
- 沈其韩,耿元生,宋彪,万渝生.2005.华北和扬子陆块及秦岭—大别造山带地表和深部太古宙基底的新信息[J].地质学报,79(5): 616-627.
- 孙小攀,徐学义,陈隽璐,高婷,李婷,李现冰,李晓英.2013.西秦岭江里沟花岗岩体地球化学特征、年代学及地质意义[J].地质学报,87(3): 330-342.
- 宋立军,陈隽璐,张英利,刘池洋,吴冲龙,张小浩.2010.鄂尔多斯盆地西南部纳水河地区上三叠统碎屑锆石 U-Pb 年代学特征及其地质意义[J].地质学报,84(03):370-386.
- 王洪亮,肖绍文,徐学义,李万忠,何世平,陈隽璐,陈亮.2008.北秦岭西段吕梁山构造岩浆事件的年代学及其构造意义[J].地质通报,27(10): 1728-1738
- 王庆飞,邓军,杨立强,高帮飞,徐浩,黄定华.2006.鄂尔多斯盆地奥陶纪“L”状边缘隆起演化过程及其构造背景[J].现代地质,20(1): 30-34.
- 王银川,裴先治,李佐臣,李瑞保,裴磊,魏方辉,刘成军,高景民,吴树宽,陈有妍.2012.祁连造山带东段张家川地区长宁驿中元古代花岗岩片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J].地质通报,31(10): 1576-1587.
- 王振涛,周洪瑞,王训练,张永生,景秀春,邢恩袁.2015.鄂尔多斯盆地西、南缘奥陶纪地质事件群耦合作用[J].地质学报,89(11):

- 1990-2004.
- 徐学义, 何世平, 王洪亮, 张二朋, 陈隽璐, 孙吉明. 2008. 早古生代北秦岭—北祁连结合部构造格局的地层及构造岩浆事件约束[J]. 西北地质, 41(01): 1-21.
- 徐学义, 王洪亮, 陈隽璐, 何世平, 武鹏, 高婷. 2008. 中祁连东段兴隆山群基性火山岩锆石 U-Pb 定年及岩石成因研究[J]. 岩石学报, 24(04): 827-840.
- 杨甫, 陈刚, 丁超, 高磊, 雷盼盼, 张文龙, 师晓林, 童明军. 2015. 鄂尔多斯盆地西南缘上奥陶统平凉组碎屑岩锆石 U-Pb 年龄及物源分析[J]. 地质评论, 61(1): 172-181.
- 杨华, 辛补社, 付金华, 姚泾利, 王多云. 2014. 鄂尔多斯盆地西南缘崆峒山组砾岩中的碎屑锆石 LA-ICP-MSU-Pb 定年及其构造意义[J]. 地质论评, 60(03): 677-692.
- 杨江海. 2012. 造山带碰撞—隆升过程的碎屑沉积响应: 以北祁连志留系、右江二叠—三叠系和大别山南麓侏罗系为例[D]. 中国地质大学(武汉), 1-151.
- 袁苏杭, 付金华, 肖安成, 孙六一, 吴磊, 包洪平, 毛黎光, 欧阳征键, 徐波. 2014. 鄂尔多斯盆地奥陶纪中央古隆起水平迁移规律——来自于同沉积记录的证据[J]. 浙江大学学报(理学版), 41(01): 100-107.
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 王涛, 张宏远, 向忠金, 姜春发, 高联达. 2009. 从华北陆块南缘大洋扩张到北秦岭造山带板块俯冲的转换时限[J]. 地质学报, 83(11): 1565-1583.
- 翟明国. 2013. 华北前寒武纪成矿系统与重大地质事件的联系[J]. 岩石学报, 29(05): 1759-1773.
- 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 郭安林, 孟庆任, 刘少峰, 程顺有, 姚安平, 张宗清, 裴先治, 李三忠. 2003. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略蛇绿岩[J]. 中国科学(D 辑), 33: 1122-1135.
- 张英利, 王宗起. 2011. 西秦岭造山带徽县—成县盆地早白垩世沉积物源分析——锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学的约束[J]. 地质通报, 30(1): 37-50.
- 张宗清, 刘敦一, 付国民. 1994. 北秦岭变质地层同位素年代研究[M]. 北京: 地质出版社, 1-191.
- 赵国春, 孙敏, Wilde S A. 2002. 华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 32: 538-549.
- 赵太平, 周美夫, 金成伟, 关鸿, 李惠民. 2001. 华北陆块南缘熊耳群形成时代讨论[J]. 地质科学, 36(3): 326-334.
- 张志国, 陈隽璐, 徐学义, 杜志刚, 张占武, 王洪亮, 李平. 2011. 木其滩岩组形成时代、地球化学特征——对北秦岭构造演化的制约[J]. 岩石学报, 27(03): 757-769.