



引文格式: 弓汶琪, 弓虎军, 王苏里, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组中期物源分析及其对秦岭造山带隆升作用的指示[J]. 西北地质, 2025, 58(1): 118–134. DOI: 10.12401/j.nwg.2023134

Citation: GONG Wenqi, GONG Hujun, WANG Suli, et al. Provenance Analysis of Middle Yanchang Formation in the Southeastern Ordos Basin and Its Indications for the Uplift of the Qinling Orogenic Belt[J]. Northwestern Geology, 2025, 58(1): 118–134. DOI: 10.12401/j.nwg.2023134

鄂尔多斯盆地东南部延长组中期物源分析 及其对秦岭造山带隆升作用的指示

弓汶琪, 弓虎军, 王苏里, 罗芬红, 王苗苗

(西北大学地质学系, 陕西 西安 710000)

摘要: 为了厘清盆地东南部延长组中期沉积物源, 从而限定秦岭造山带隆升启动时限, 利用碎屑锆石 U-Pb 测年方法, 对鄂尔多斯盆地东南部金锁关、下寺湾、黄陵和黄龙地区延长组中期物源进行分析。结果表明: 金锁关地区碎屑锆石年龄组合主要分布为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、900~1 200 Ma、400~500 Ma、205~382 Ma; 黄龙、下寺湾、黄陵地区碎屑锆石年龄组合主要分布为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、205~382 Ma。综合研究认为: ①存在一个湖盆沉积中心, 将延长组中期盆地东南部研究区内部分割两个不同的区域, 湖盆沉积中心以南的金锁关地区物源与盆地南部华北克拉通南缘和北秦岭构造带相关。湖盆沉积中心以北的黄龙、黄陵和下寺湾地区物源主要与盆地北部阴山地块、孔兹岩带以及华北克拉通北缘华力西期—印支期热事件岩浆岩岩体相关。②长 7 期金锁关沉积物与秦岭造山带有良好的沉积响应, 其中最年轻锆石颗粒反映造山带在 (234.7±4) Ma 左右开始隆升造山。

关键词: 碎屑锆石 U-Pb 定年; 沉积物源; 秦岭造山带; 鄂尔多斯盆地; 延长组

中图分类号: P597

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2025)01-0118-17

Provenance Analysis of Middle Yanchang Formation in the Southeastern Ordos Basin and Its Indications for the Uplift of the Qinling Orogenic Belt

GONG Wenqi, GONG Hujun, WANG Suli, LUO Fenhong, WANG Miaomiao

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710000, Shaanxi, China)

Abstract: In order to clarify the provenance of the southeastern part of the Ordos Basin and distinct the initiation time of the Qinling orogenic belt uplift during the middle Yanchang Formation, detrital zircon U-Pb dating method was used to analyze the provenance of the Jinsuoguan, Xiashiwan, Huangling and Huanglong areas, which is part of the Ordos Basin. The age assemblages of detrital zircons in Jinsuoguan area are 2 200~2 700 Ma, 1 700~2 100 Ma, 900~1 200 Ma, 400~500 Ma and 205~382 Ma. The detrital zircon age assemblages in

收稿日期: 2023-02-17; 修回日期: 2023-10-10; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 国家自然科学基金项目“大陆构造与动力学”(41421002)、“黄土高原新近纪红粘土碎屑锆石的时空分布特征及物源区指示意义”(41372036)联合资助。

作者简介: 弓汶琪(1996-), 男, 硕士研究生, 目前主要从事沉积物源分析及盆山耦合关系研究。E-mail: 525017860@qq.com。

Huanglong, Xiasiwan and Huangling are 2 200~2 700 Ma, 1 700~2 100 Ma and 205~382 Ma. Comprehensive study found: ① The lacustrine depositional center divides two different areas inside the southeastern study area of the middle Yanchang Formation basin, south of lake basin center of jinsuoguan main stem from the south of the southern margin of the north China craton basin and north Qinling tectonic belt. The provenance of the Huanglong, Huangling and Xiashiwan areas which are located at the north of lake center is mainly derived from the Yinshan block, the Konzi rock belt and Hercynian Indosinian thermal event magmatic rocks in the north Margin of the North China Craton. ② The sediments have a good sedimentary response to the Qinling orogenic belt in Jinsuoguan during in Chang 7, the youngest zircon grains reflect that the orogenic belt began to uplift around (234.7±4) Ma.

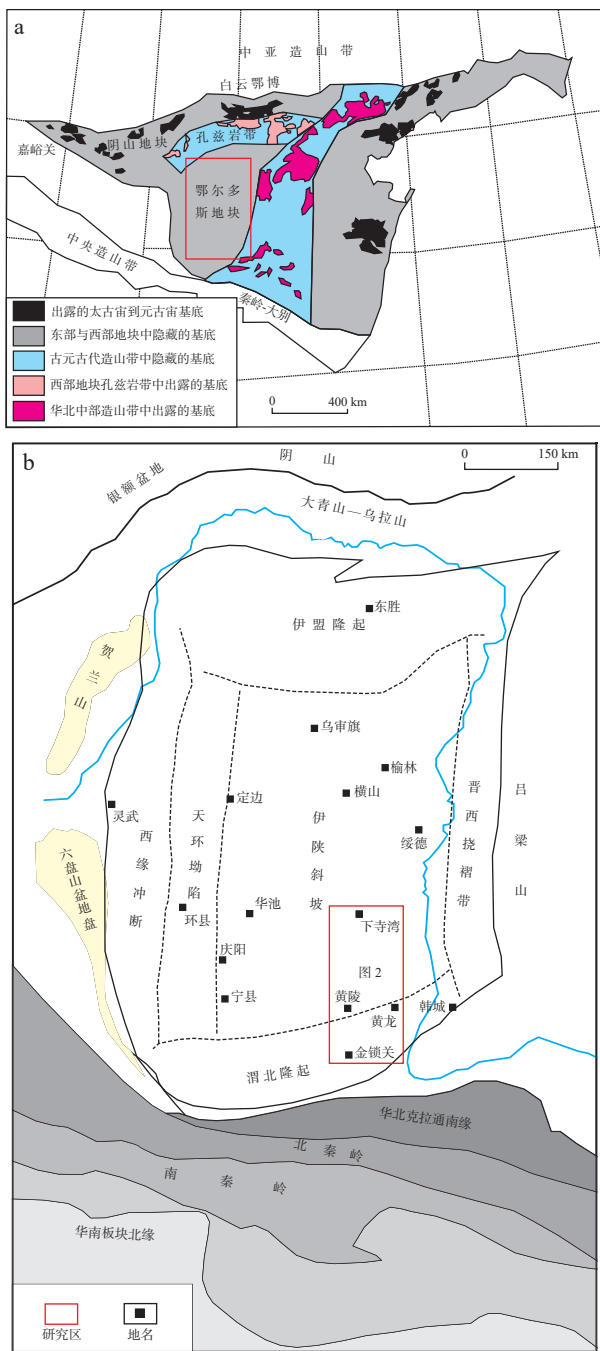
Keywords: the U-Pb age of detrital zircons; sediment provenance; the Qinling orogenic belt; Ordos basin; Yanchang formation

晚三叠世延长组中期(长7-长4+5期),是鄂尔多斯盆地湖盆发育至鼎盛的时期(刘池洋等, 2006; 范萌萌, 2010; 潘颖, 2017)。盆地东南部作为延长组湖盆沉积中心的主要组成部分,其沉积物包含了盆地古地理及盆地演化的重要信息(潘颖, 2017)。前人对盆地东南部延长组中期沉积物源开展了大量研究。朱宗良等(2010)结合砂岩组分、轻、重矿物及微量元素研究认为物源主要来自秦岭-祁连造山带。范萌萌等(2019)结合轻重矿物、古流向及稀土元素的分析,认为东南部物源来自盆地北缘的阴山、大青山地区及盆地南缘秦岭地区。邓昆等(2012)通过对岩石学特征、重矿物、稀土元素的分析,认为东南部延长组长8、长6段物源主要来源于盆地北部阴山地块;雷俊杰等(2017)通过结合物源区至沉积区的轻重矿物组合平面差异及古水流方向的变化,认为黄洛地区存在西部的由南向北方向物源和东南部的东南向西北方向的物源。刘锦等(2013)对重矿物、砂岩碎屑组成和岩石地球化学等资料的分析,认为黄陵地区延长组长6段物源来自盆地东北部造山带。乐锦波(2010)对古流向、砂岩类型、骨架矿物的分析,认为富县长6段主要以东北部物源为主,没有南部物源。上述研究中普遍缺乏对盆地东南部延长组中期物源的整体分析与精细划分,同时沉积盆地地层中蕴含的盆地耦合信息也未被挖掘,前人对造山带隆升的沉积盆地响应多关注于盆地事件沉积体(王多云等, 2014; 张辉等, 2014; 王建强等, 2017),而缺乏通过研究沉积物源的方式反演造山事件。

因此,笔者利用碎屑锆石 U-Pb 定年的方法研究鄂尔多斯盆地东南部延长组中期沉积物的物源区和物源方向,从而为限定秦岭造山带的隆升时限、揭示鄂尔多斯盆地演化与秦岭造山带隆升之间的耦合关系提供依据。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北克拉通西部,是具有高度复杂盆地边缘的内陆克拉通叠合盆地(刘池洋等, 2006; 白奋飞等, 2023; 郑萌等, 2023; 吴颖等, 2024)。鄂尔多斯盆地是以华北地台为基础发展演化形成的,主要是中生代盆地叠合在古生代盆地之上,晚侏罗世—早白垩世与华北板块完成分离而成为独立的盆地,经历了加里东构造运动、印支构造运动、燕山构造运动等多次大构造运动,分别形成中晚元古代拗拉槽裂陷盆地、早古生代边缘海盆地、晚石炭世—中三叠世大型内陆克拉通盆地、晚三叠世—早白垩世残延克拉通盆地和新生代周缘断陷盆地(刘池洋等, 2006)。盆地北部相接孔兹岩带、阴山地块和兴蒙造山带,南接秦岭造山带,东接吕梁山、中条山、太行山等华北中部造山带,西部与贺兰山、祁连山相连接(党彝, 2003),其内部划分为伊盟隆起、西缘逆冲带、天环坳陷、陕北斜坡、渭北隆起、晋西挠褶带6个一级构造单元(刘池洋等, 2006)。研究区位于鄂尔多斯盆地东南部,伊陕斜坡与渭北隆起交界处(图1),发育较全的三叠系,含有重要的含油层系——延长组(王建强, 2010)。延长组与其上覆下侏罗统富县组及下伏中三叠统纸坊组为整合或平行不整合接触,盆地东南部边缘为角度不整合接触(杨华等, 2010)。延长组内部地层可划分为5段,其中延长组中期(长7-长4+5油层组)为 T_3y^3 段(邓胜徽等, 2018),该时期为湖盆深陷扩张期(杨华等, 2010),发育一套由灰褐色、浅灰色中厚层—块状细砂岩、粉砂岩和深灰色、灰黑色泥岩、黑色油页岩组成的旋回性沉积序列(朱广社, 2014)。岩性以岩屑、长石砂岩为主,砂岩碎屑组成为长石、石英、



a.华北克拉通构造分区(Zhao et al., 2000, 2001, 2002); b.鄂尔多斯盆地研究区区域位置图(刘溪, 2019)

图1 鄂尔多斯盆地大地构造位置图

Fig. 1 Tectonic location map of the Ordos basin

岩屑及碎屑云母等(雷俊杰等, 2017)。

2 样品采集、制备及分析

2.1 样品采集

本次研究对金锁关、黄龙、黄陵延长组中期沉积

的长 7、长 6 以及长 4+5 地层进行了采样(图 2)。样品 DN-19(长 7 地层), 采自于金锁关至哭泉公路(N 35°16'52", E 109°04'00"), 灰绿色细砂岩, 分选、磨圆较好。样品 DN-37(长 6 地层), 采自于黄龙县境内泄湖村向北 2 km 处(N 35°38'17", E 109°50'48"), 灰绿色中细粒长石石英砂岩, 块状构造。样品 DN-11(长 6 地层), 采自金锁关北西方向 13~14 km 的 305 省道旁(N35°17'19", E108°56'39"), 灰白色细粒长石石英砂岩, 分选、磨圆中等-较好。样品 DN-29(长 4+5 地层), 采于黄陵至店头公路旁(N35°35'48", E109°10'20"), 灰色细粒长石石英砂岩, 块状构造。样品 DN-34(长 4+5 地层), 采自于黄龙-三义乡路口(N35°36'05", E109°42'54"), 灰白色细粒长石石英砂岩, 块状构造(图 3)。同时, 对下寺湾地区长 6 地层进行钻井岩心的取样(图 2), 新 58-1、新 58-2、上 150、万 138 为下寺湾地区长 6 地层钻井岩心样品(图 4)。

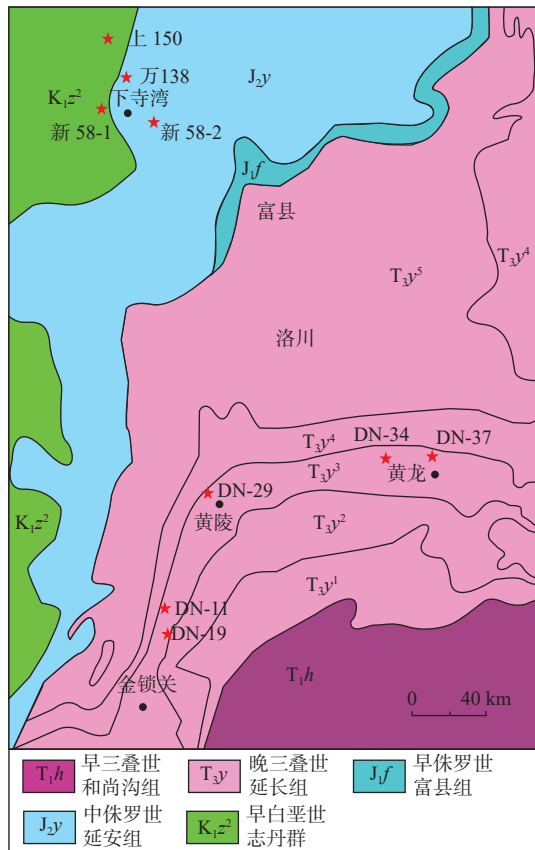


图2 研究区(金锁关、黄龙、黄陵、下寺湾)地质图

Fig. 2 Geological map of Jinsuoguan, Huanglong, Huangling and Xiasiwan in the study area

2.2 样品的制备

选取金锁关、黄陵、黄龙地区相应层位的砂岩样品以及下寺湾地区 4 口井的钻井岩心样品, 在河北省

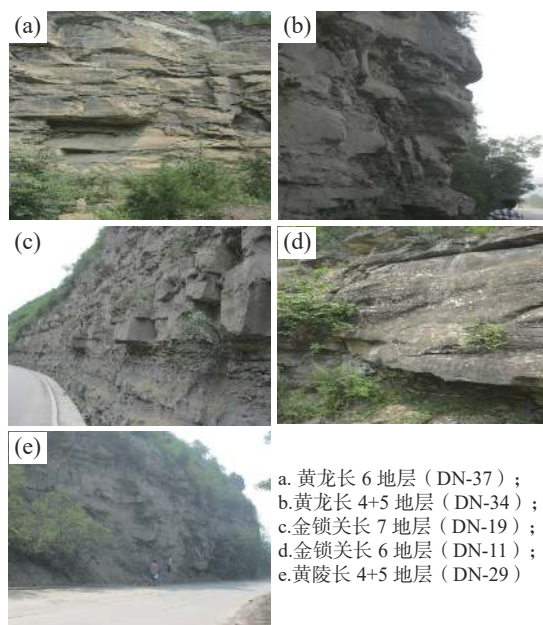


图3 金锁关、黄陵、黄龙地区野外露头照片

Fig. 3 Field photos of Jinsuoguan, Huangling and Huanglong. 廊坊区域地质矿产调查研究所实验室中进行破碎、淘洗、人工重砂等一系列操作。在西北大学大陆动力学国家重点实验室使用双目显微镜, 每个样品中挑选出 200 粒左右的锆石颗粒, 并置于环氧树脂中, 制作成 9 个锆石样品靶, 并进行打磨、抛光后拍摄锆石阴极发光(CL)显微图像。锆石 U-Pb 年龄测定使用激光剥蚀等离子质谱仪 LA-ICP-MS 仪器, 激光斑束直径为

30 μm , 频率为 10 Hz, He 作为剥蚀物载气, ^{29}Si 和 NISI610 分别作为内标和外标, Harvard 锆石 91500 作为外部校正标准, 详细的分析测试流程详见参考文献 (Yuan et al., 2004; 柳小明等, 2007)。数据处理采用 Glitter4.0 软件, 其中, 若 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} > 1.0 \text{ Ga}$, 则表面年龄采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的值, 若 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} < 1.0 \text{ Ga}$, 则表面年龄选取 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的值。将得到的锆石年龄数据以柱状直方统计、PDP(Probability Density Plots) 的方式在 Isoplot (ver3.0) 程序完成对样品的锆石 U-Pb 年代学分析, 其中锆石的峰值年龄采用加权平均方法计算。

2.3 锆石结构特征

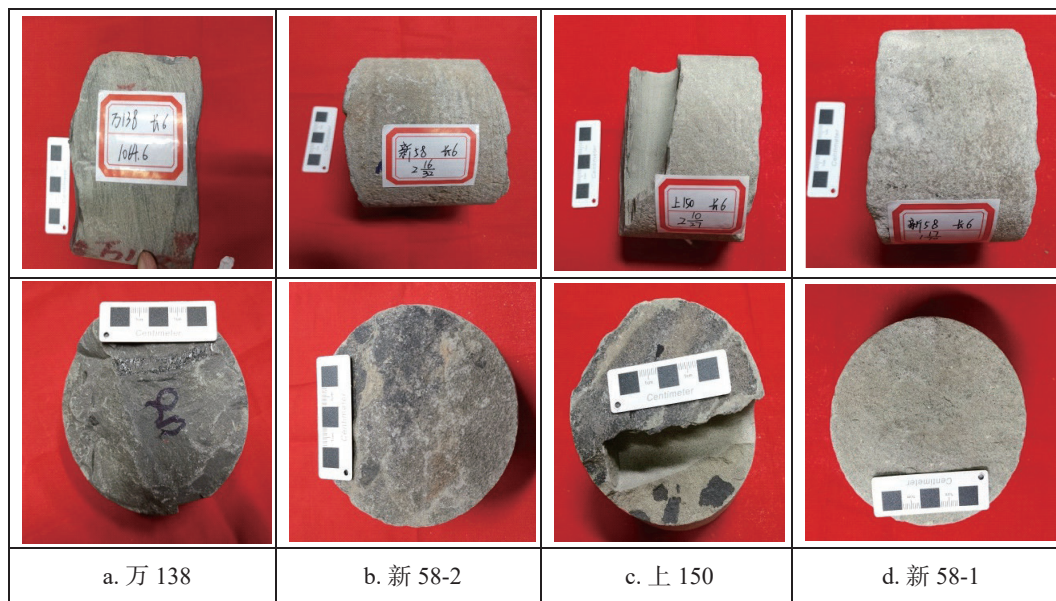
锆石 CL 阴极发光图像(图 5)显示, 研究区内锆石颗粒的形态以长柱状、浑圆状以及短柱状为主, 锆石颗粒普遍磨圆较差, 表现出锆石颗粒较近搬运的特征。部分锆石颗粒破碎, 整体锆石颗粒大小较为均匀, 总体为 50~150 μm 。大部分锆石发育有岩浆成因的震荡环带或板状环带, 小部分暗色的锆石出现了亮色的变质边, 可能指示构造热事件对锆石的后期改造。

3 锆石测年结果与物源分析

3.1 碎屑锆石 U-Pb 测年结果

3.1.1 金锁关地区

样品 DN-19(长 7)、DN-11(长 6)分别获得 99 颗



a. 万 138, 长 6, 1380 m, 灰褐色泥质粉砂岩; b. 新 58-2, 长 6, 1409 m 灰色中砂岩; c. 上 150, 长 6, 1429 m, 灰白色中砂岩; d. 新 58-1, 长 6, 1338 m, 灰白色粗砂岩

图4 下寺湾地区钻井岩心沉积特征

Fig. 4 Sedimentary characteristics of drilling cores in Xiasiwan area

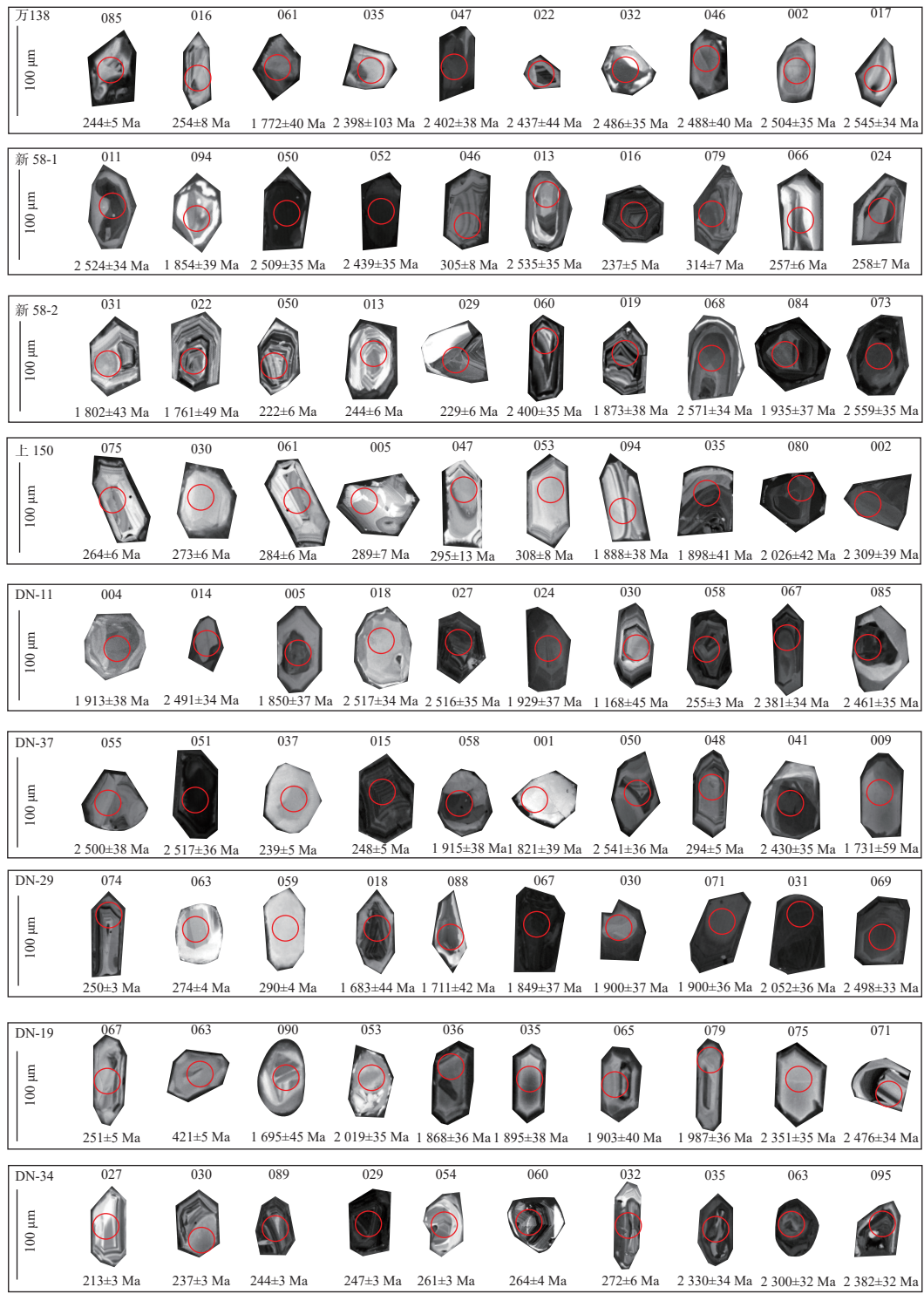


图5 金锁关、黄龙、黄陵、下寺湾地区延长组长7、长6、长4+5 地层砂岩中代表性锆石的阴极发光 (CL) 图像

Fig. 5 CL images of representative zircons in sandstones from the Chang 7, Chang 6, and Chang 4+5 of Yanchang Formation in Jinsuoguan, Huanglong, Huangling, and Xiasiwan areas

和 132 颗碎屑锆石年龄。根据锆石 U-Pb 年龄, 对谐和度符合要求(90%~110%)的锆石年龄进行了分类统计(表 1)。样品主要有 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、900~1 200 Ma、400~500 Ma、205~382 Ma 等 5

个年龄段(图 6), 最年轻的锆石年龄为 234.7 Ma。综合区域地质事件分析, 5 个年龄组分别与华北克拉通太古宙基底主要发育期(2 200~2 700 Ma)、吕梁运动构造热事件(1 700~2 100 Ma)新元古代晋宁期构造

表 1 研究区峰值年龄百分比统计

Tab. 1 Percentage statistics of peak age in the study area

地区	样品号	层位	所测锆石数(颗)	谐和锆石数(颗)	各年龄段(Ma)碎屑锆石数(颗)及百分比				
					2 200~2 700	1 700~2 100	900~1 200	400~500	205~382
金锁关	DN-19	长 7	99	79	16(20%)	34(43%)	6(8%)	6(8%)	7(9%)
金锁关	DN-11	长 6	132	94	17(18%)	43(46%)	7(7%)	11(12%)	7(7%)
下寺湾	新 58-1	长 6	102	93	42(45%)	18(19%)	1	1	29(31%)
下寺湾	新 58-2	长 6	102	90	35(39%)	14(16%)	0	0	38(42%)
下寺湾	上 150	长 6	102	97	25(26%)	48(49%)	0	1	19(20%)
下寺湾	万 138	长 6	102	86	31(36%)	13(15%)	1	1	35(40%)
黄龙	DN-37	长 6	132	94	45(48%)	13(14%)	0	1	29(31%)
黄龙	DN-34	长 4+5	120	86	23(27%)	11(13%)	1	0	39(46%)
黄陵	DN-29	长 4+5	114	93	35(38%)	38(41%)	0	1	14(15%)

热事件(900~1 200 Ma)、加里东期(400~500 Ma)、华力西期—印支期(205~382 Ma)相对应(图 6)。

3.1.2 黄龙、下寺湾地区

黄龙地区样品 DN-37(长 6)、DN-34(长 4+5)分别获得 132 颗、120 颗碎屑锆石年龄,其中年龄谐和度处于 90%~110% 的锆石有 94 颗和 86 颗(表 1)。根据锆石 U-Pb 年龄,样品主要有 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、205~382 Ma 等 3 个年龄段,最年轻的锆石年龄为 226.2 Ma。3 个年龄组分别与以下构造热事件对应,与华北克拉通太古宙基底主要发育期(2 200~2 700 Ma)、吕梁运动构造热事件(1 700~2 100 Ma)、华力西期—印支期(205~382 Ma)相对应(图 6)。

下寺湾地区样品新 58-1(长 6)、新 58-2(长 6)、上 150(长 6)、万 138(长 6)分别获得 102 颗碎屑锆石年龄,其中年龄谐和度处于 90%~110% 的锆石分别 93 颗、90 颗、97 颗和 86 颗(表 1)。根据锆石 U-Pb 年龄(图 6),样品主要有 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、205~382 Ma 等 3 个年龄段,最年轻的锆石年龄为 234 Ma。3 个年龄组分别与华北克拉通太古宙基底主要发育期(2 200~2 700 Ma)、吕梁运动构造热事件(1 700~2 100 Ma)、华力西期—印支期(205~382 Ma)相对应(图 6)。

3.1.3 黄陵地区

样品 DN-29(长 4+5)测试获得 114 颗碎屑锆石年龄,有 93 颗锆石颗粒符合谐和度要求。样品所得 U-Pb 年龄主要可分为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、205~382 Ma 等 3 个年龄段(图 6),年龄峰值分别为 2 501 Ma、1 850 Ma 和 252 Ma,最年轻的锆石年龄为 235.7 Ma。3 个年龄组分别与华北克拉通太古宙基底

主要发育期、吕梁运动构造热事件、华力西期—印支期相对应;缺乏晋宁期、加里东期碎屑锆石(表 1)。

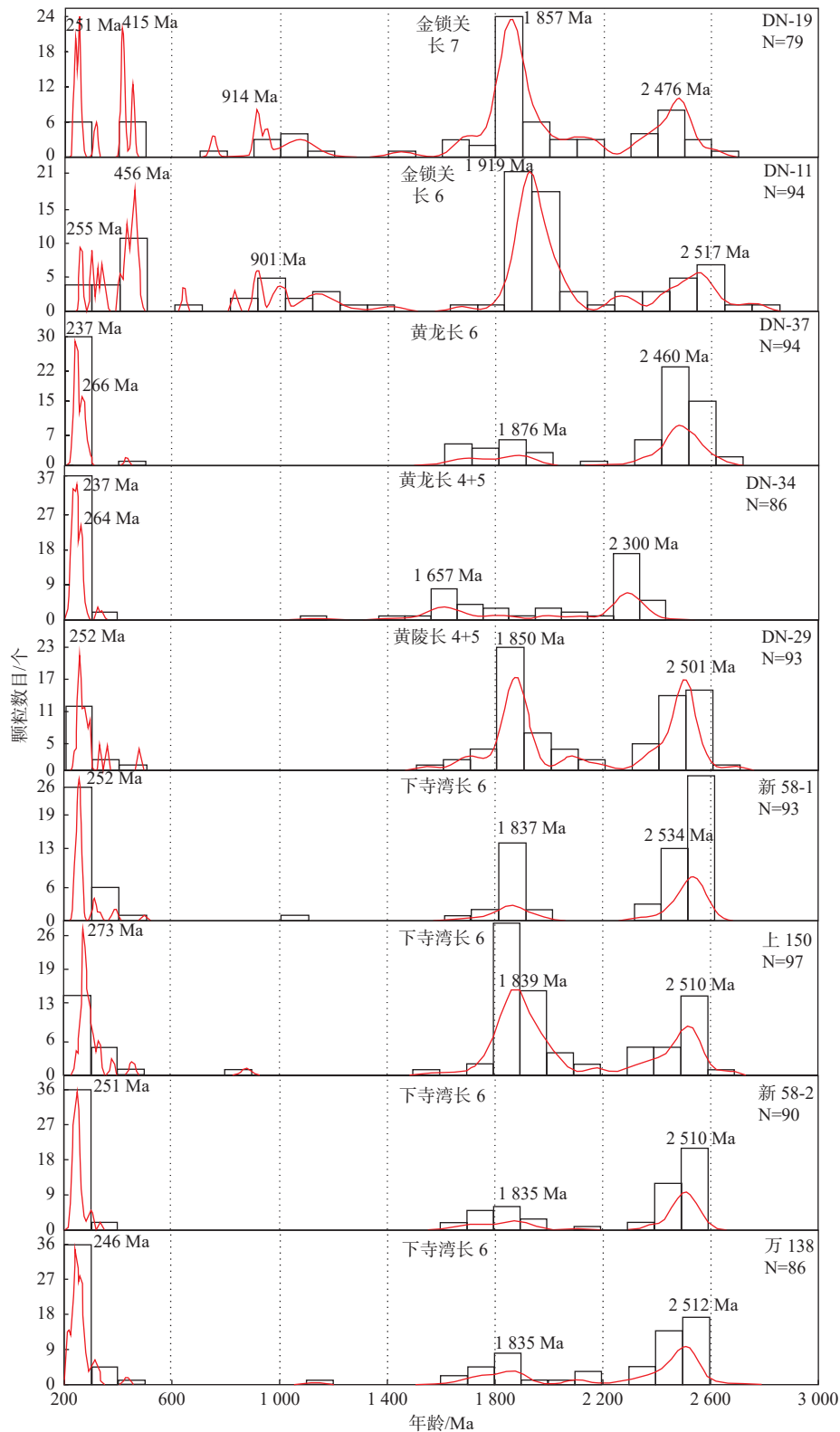
金锁关、黄龙、下寺湾、黄陵地区 Th/U 值为 0.01~3.58,其中少部分锆石颗粒 Th/U<0.1,大部分锆石颗粒 Th/U>0.4(图 7)。

3.2 物源分析

根据上述测年结果可知,研究区碎屑锆石年龄组合主要分布为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、900~1 200 Ma、400~500 Ma、205~382 Ma(图 6)。下寺湾地区长 6 地层样品(新 58-1、新 58-2、上 150、万 138)以及黄龙地区长 6 地层样品(DN-37)碎屑锆石年龄组合主要分布为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、205~382 Ma(图 6)。黄龙地区长 4+5 地层样品(DN-34)和黄陵地区长 4+5 地层样品(DN-29)碎屑锆石年龄组合主要分布为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、205~382 Ma(图 6)。

3.2.1 2 200~2 700 Ma

该年龄段主要为太古代—古元古代,对应太古宙华北微陆块的拼合与克拉通化的时期(陈斌等, 2006)。华北克拉通早前寒武基底发育 2 500 Ma 左右的构造热事件,且 2 500 Ma 左右的岩体占太古代基底的 85%(第五春荣等, 2012),主要记录有阴山地块西部乌拉山—集宁一带的 TTG 片麻岩(2 500~2 600 Ma)(王惠初等, 2001)、片麻状花岗岩(2 400~2 500 Ma)(吴昌华等, 2006),孔兹岩系紫苏花岗质片麻岩(2 400~2 500 Ma)(范志伟, 2013)。华北克拉通中部吕梁群、界河口群分别发育 2 520~2 690 Ma 和 2 400~2 600 Ma(耿元生等, 2000)。华北克拉通南缘的部分基底中也存在 2 500 Ma 左右的岩体,如太华岩群的熊耳山斜长



红色的曲线代表概率密度图(PDP); 矩形代表年龄直方图

图6 盆地东南部研究区碎屑锆石 U-Pb 年龄分布图

Fig. 6 U-Pb age distribution map of detrital zircons in the study area

角闪岩(2300~2500 Ma)(林慈奎, 2006)。研究区的9个样品中太古代—古元古代锆石的主要峰值年龄均

处于2500 Ma左右,可能分别与阴山地块、孔兹岩带新太古代 TTG 质高级变质麻岩粒以及华北克拉通南

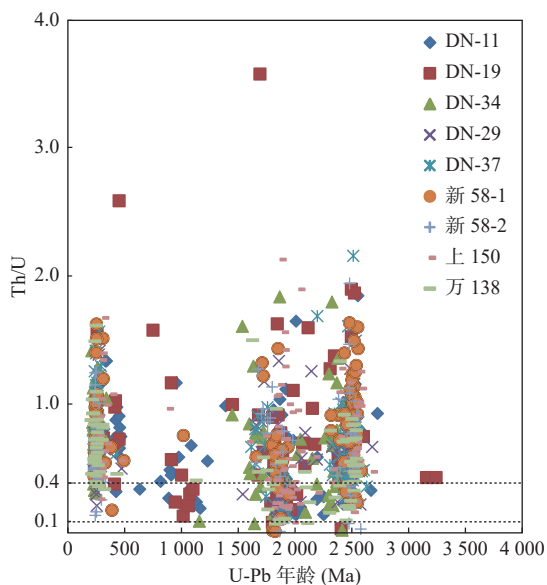


图7 研究区延长组中期碎屑锆石样品

U-Pb 年龄与 Th/U 关系图

Fig. 7 The relationship between the Th/U and U-Pb ages of detrital zircon samples from the Middle Yanchang Formation in the study area

缘的岩浆岩相对应,这意味着研究区该时期的锆石年龄与太古代华北克拉通基本形成且伴生的构造热事件密切相关。

3.2.2 1 700~2 100 Ma

该时期研究区样品占总谐和年龄比例较大,峰值年龄约为 1 850 Ma,此时处于古元古代吕梁运动时期,正发生着华北克拉通内部东西陆块的碰撞拼合形成结晶基底,研究区该年龄段的峰值年龄正好与古元古代构造热事件相吻合。主要记录有阴山地块孔兹岩系、TTG 片麻岩和麻粒岩(翟明国等, 2007),部分学者研究所得孔兹岩系变质年龄分别为 1 920~1 950 Ma 和 2 000~2 300 Ma,原岩年龄为 2 000~2 150 Ma(范志伟, 2013; 郭敬辉等, 2002),还记录有白云鄂博群变质岩系(1 526~1 600 Ma)(应迪先, 1985)。该年龄段在华北克拉通南缘也有对应,如熊耳群的双峰式火山岩(1 750~1 950 Ma)(赵太平等, 2004, 2007)、官道口群的变沉积岩(1 850 Ma、2 500 Ma)(时毓, 2012)、太华岩群斜长角闪岩(1 932±48)Ma(倪志耀等, 2003)。除此之外,还有北秦岭地区的宽坪岩群斜长角闪岩(1 753±14)Ma(何世平等, 2007)。

3.2.3 900~1 200 Ma

该年龄段的碎屑锆石在金锁关地区样品(DN-19、DN-11)中较多出现,峰值年龄约为 900 Ma。该时期秦

岭地区发生了晋宁期造山事件,扬子板块形成统一地块之后向华北克拉通汇聚碰撞形成了超华夏陆块群(陈衍景等, 2009),在北秦岭造山带形成一次强烈的构造-热事件(张国伟等, 1995; Dong et al., 2011)。主要记录有北秦岭造山带秦岭岩群大量发育的新元古代花岗岩,如牛角山岩体 959 Ma(王涛等, 2005)、德河岩体(939.7±3.6)Ma(刘丙祥, 2014)等。

3.2.4 400~500 Ma

该年龄段同样在金锁关地区样品(DN-19、DN-11)中较多出现,其峰值年龄分别为 415 Ma 和 416 Ma,代表早古生代晚期加里东期碰撞造山事件(李三忠等, 2016)。该时期大量记录有北秦岭造山带的岩浆岩体年龄(Dong et al., 2012),如二郎坪群中部基性火山岩(463~475 Ma)(赵姣等, 2012)、变质岩组合中变泥质碎屑岩(475~500 Ma)(杨敏等, 2016),丹凤花岗岩(409±3.6)Ma(陆松年等, 2006)、丹凤杂岩(500~534 Ma)(Dong et al., 2011),秦岭岩群中的古生代花岗岩如灰池子岩体(495±6)Ma(王涛等, 2009)。北秦岭长安-周至一带的河流碎屑锆石年龄中也发现大量此段年龄(张红, 2008)。因此,金锁关样品中晋宁期与加里东期碎屑锆石来自北秦岭造山带构造热事件产生的岩浆岩与变质岩。

3.2.5 205~382 Ma

研究区所有样品在该年龄段普遍存在碎屑锆石,峰值年龄约为 250 Ma,主要对应华力西期—印支期的构造热事件。早石炭世晚期—中二叠世(265~330 Ma),由于古亚洲洋向华北克拉通强烈俯冲,在华北克拉通北缘记录有构造热事件产生的华力西期—印支期岩浆岩(王鸿祯, 1982),如乌拉山地区发现的花岗岩为 332~334 Ma(焦正, 2015),大青山地区发现的哈拉合少岩体为(261.1±0.5)Ma(赵庆英等, 2007),华北克拉通北缘的印支期 S 型花岗岩为 207~227 Ma(陶继雄等, 2003),乌拉山地区西沙德盖岩体为(231.13±0.85)Ma(曾庆栋等, 2009)。由于华北克拉通与扬子板块在印支期发生碰撞拼合,因此该年龄段在北秦岭造山带与华北克拉通南缘也有相应的记录,如老牛山杂岩体为 214~223 Ma(齐秋菊, 2011),信阳周庄变辉长岩变质年龄为(234±36)Ma(高秋灵等, 2009)。北秦岭造山带秦岭岩群斜长角闪岩的锆石年龄为(263±2) Ma、312 Ma(时毓, 2012)等,还有部分印支期花岗岩为 220~227 Ma(张成立等, 2008)。

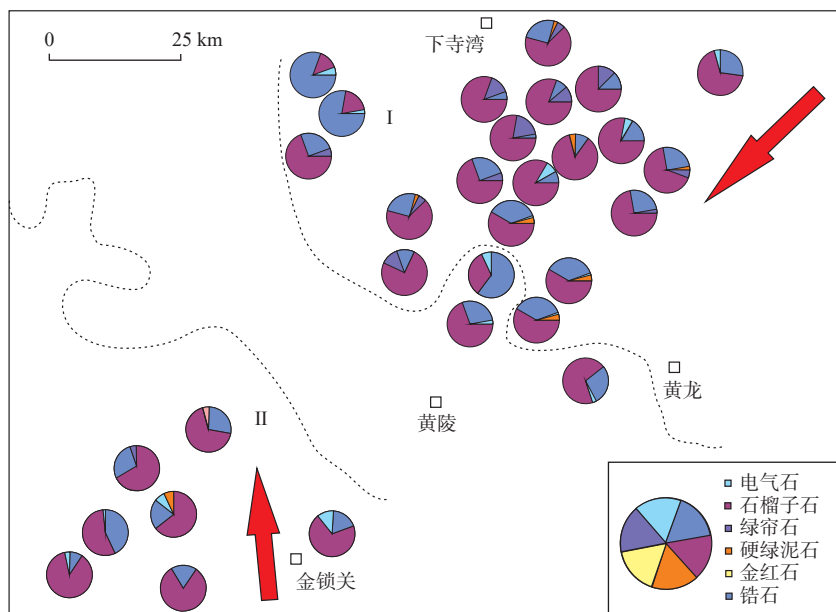
综合分析锆石年龄组合及其对应的地质事件,以

及金锁关地区延长组长 7 地层样品(DN-19)阴极发光图像(CL)显示的碎屑锆石形态普遍磨圆较差,表明其搬运距离较近;Th/U 值反应其大部分碎屑锆石为岩浆成因。因此,可知金锁关地区长 7 样品中 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma 的碎屑锆石来源于太古代—古元古代华北克拉通南缘结晶变质基底,如熊耳群、太华岩群等岩浆岩,以及北秦岭构造带宽坪岩群等部分岩浆岩岩体。900~1 200 Ma、400~500 Ma 的碎屑锆石来源于晋宁期、加里东时期北秦岭构造带秦岭群、宽坪群、二郎坪群等岩浆岩,205~382 Ma 的物源为华北克拉通南缘以及北秦岭造山带华力西期—印支期构造热事件的岩浆岩。长 7 期金锁关地区物源整体表现为以南部秦岭地区为主要供给区,这与范萌萌(2010)对盆地东南部长 7 地层重矿物(图 8)分析后的结果相同,金锁关地区受南部物源控制,属于锆石—石榴子石区(Ⅱ区)。

金锁关地区长 6 地层样品锆石年龄组合为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、900~1 200 Ma、400~500 Ma、205~382 Ma,而下寺湾和黄龙地区长 6 地层样品(新 58-1、新 58-2、上 150、万 138、DN-37)锆石年龄组合中则普遍缺失晋宁期(900~1 200 Ma)、加里东期(400~500 Ma)碎屑锆石,晋宁期和加里东期构造热事件记录的缺失,说明长 6 时期的湖盆沉

积中心应该正处于金锁关地区和下寺湾、黄龙地区之间,阻断来自秦岭地区物源的交流。郭艳琴等(2018)通过钻井岩心以及测井等数据制成的长 6 期沉积相图显示湖盆沉积中心位于金锁关地区和下寺湾、黄龙地区之间(图 9)。

因此,延长组长 6 期盆地东南部被湖盆沉积中心分割为两个部分,沉积中心以北的下寺湾和黄龙地区 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma 对应的物源区主要是盆地北部太古代—古元古代 2 500 Ma 克拉通基本形成时期阴山地块孔兹岩带片麻岩、麻粒岩以及 1 800 Ma 吕梁运动时期形成的吕梁群、滹沱群等克拉通形成时期的构造热事件岩体,205~382 Ma 则对应华北克拉通北缘华力西期—印支期构造热事件产生的岩浆岩,南部秦岭地区不提供碎屑物;沉积中心以南的金锁关地区由于沉积中心的存在,导致其物源主要与南部秦岭造山带晋宁期、加里东期、印支期构造热事件产生的岩浆岩体以及华北克拉通南缘变质结晶基底相关,沉积中心北部地区不为金锁关提供物源,这与长 7 期金锁关地区物源表现一致。范萌萌(2010)对盆地周边露头剖面延长组中期的古流向和重矿物组分进行实测分析后认为铜川金锁关地区古流向为 320°~340°,指向 NNW,重矿物组合为石榴子石—锆石组合(Ⅱ),从古水流图(图 10)和重矿物组分图(图 11)可看出金



I. 高石榴子石组合; II. 锆石—石榴子石组合

图8 鄂尔多斯盆地延长组长 7 期重矿物组合分布图(范萌萌, 2010)

Fig. 8 Heavy mineral assemblage distribution map of Chang 7 of Yanchang Formation in Ordos basin

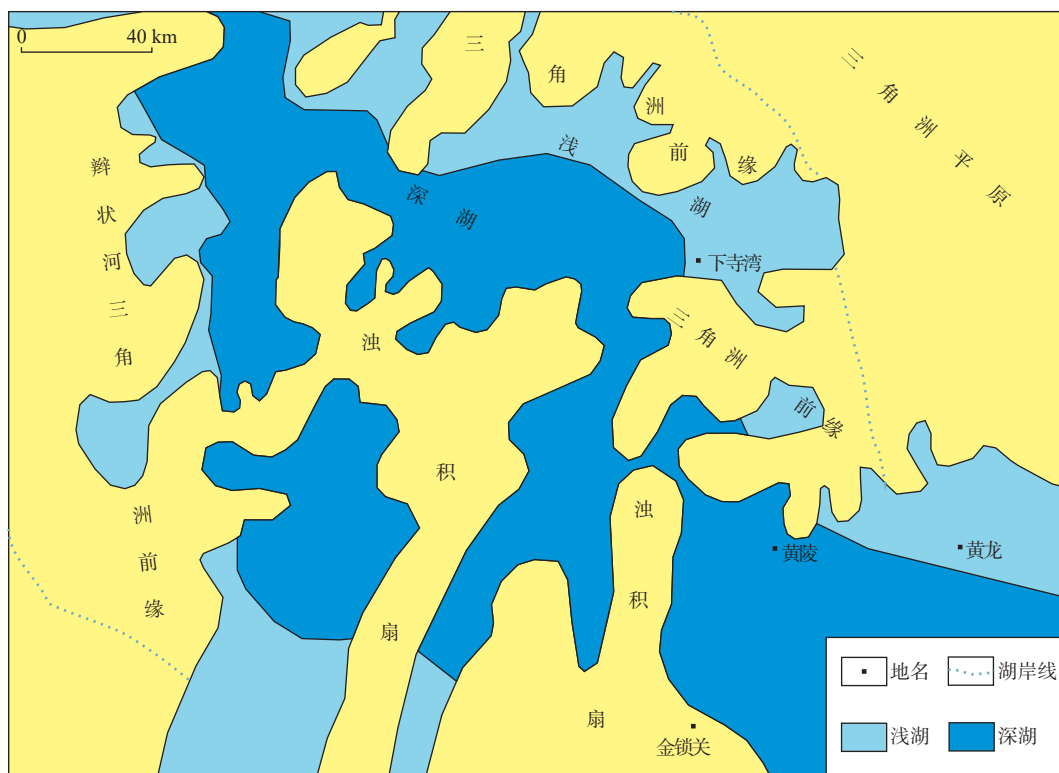


图9 鄂尔多斯盆地延长组长 6 地层沉积相(郭艳琴等, 2018)

Fig. 9 Sedimentary facies of Chang 6 group of Yanchang Formation in Ordos basin

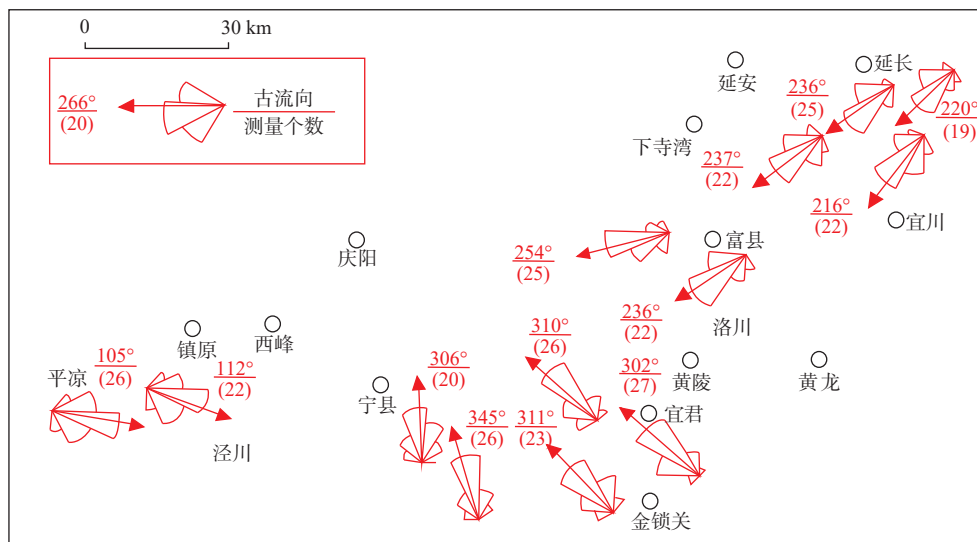


图10 鄂尔多斯盆地东南部延长组中期古流向图(范萌萌, 2010)

Fig. 10 Paleoflow map of the middle of the Yanchang Formation in the eastern Ordos basin

锁关地区主要受南部物源控制,而下寺湾、黄陵、黄龙地区古水流主体指向为 $220^{\circ} \sim 270^{\circ}$,重矿物组合为高石榴子石组合(I),指示物源主要方向为盆地北部、东北部,较长 7 期的重矿物组合分布,盆地南部和东北部物源供给能力此消彼长,将湖岸线向西南方向推进(图 11),沉积中心位置与上文的研究结论一致,而

不稳定矿物含量有所增加的同时也预示着湖盆的萎缩。

长 4+5 地层黄陵地区样品(DN-29)与黄龙地区样品(DN-34)碎屑锆石年龄组合显示缺失晋宁期(900~1200 Ma)和加里东期(400~500 Ma),晋宁期和加里东期构造热事件主要记录的秦岭造山带产生碎屑物同样没有到达黄陵和黄龙地区,说明长 4+5 期湖盆沉

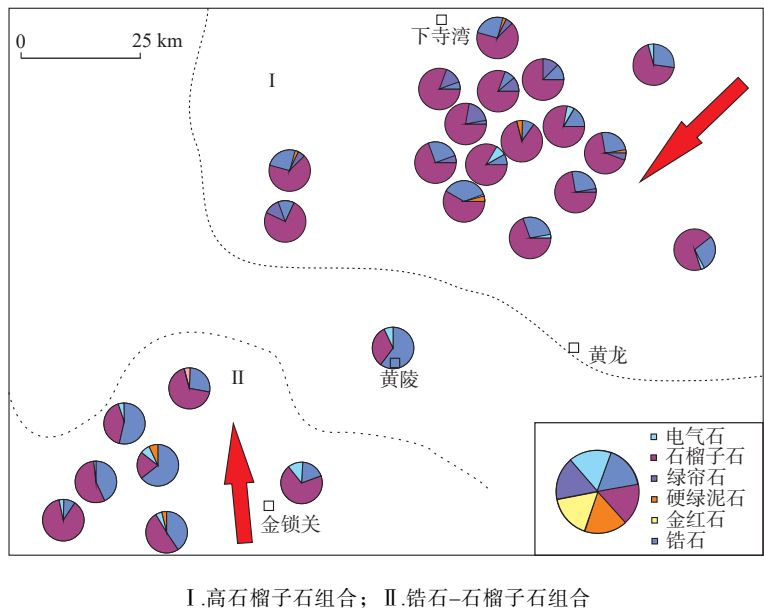


图11 鄂尔多斯盆地东南部延长组长6期重矿物组合分布图(范萌萌, 2010)

Fig. 11 Distribution of heavy mineral assemblages of chang 6 of Yanchang Formation in southeastern Ordos basin

积中心位于黄陵和黄龙地区以南,这使得秦岭地区的碎屑物无法与黄陵和黄龙地区交流。通过钻井岩心以及测井等数据制成的沉积相图(郭艳琴等, 2018)也表明长4+5期湖盆沉积中心也位于黄龙和黄陵地区以南(图12)。对比黄龙地区长6地层样品(DN-11)与长4+5地层样品(DN-34),发现二者年龄结构上表现

出良好的一致性。结合此时湖盆沉积中心位置,说明该地区物源上也应该保持继承性。因此,长4+5时期黄龙和黄陵地区与北部阴山地块、孔兹岩带大青山-乌拉山 TTG 麻粒岩(2 500~2 600 Ma)和孔兹岩系(2 000~2 150 Ma)等一系列太古代古微陆块拼合、吕梁运动构造热事件产生的岩体和华北克拉通北缘

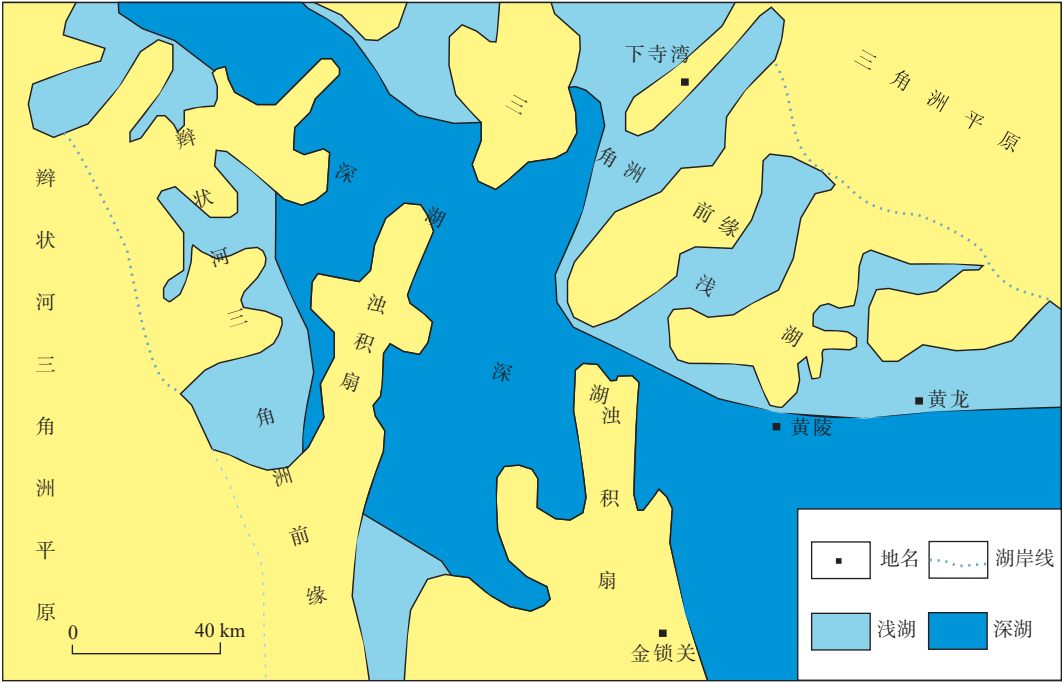


图12 鄂尔多斯盆地延长组长4+5地层沉积相(郭艳琴等, 2018)

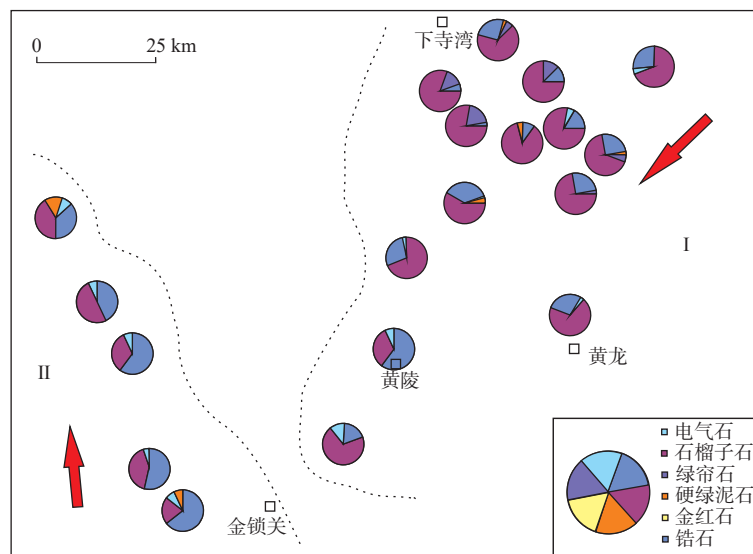
Fig. 12 Sedimentary facies of Chang 4+5 group of Yanchang Formation in Ordos basin

华力西期—印支期岩浆岩相关,如乌拉山花岗岩(332~334 Ma)、大青山哈拉合少岩体(261.1±0.5 Ma)、白云鄂博花岗闪长岩体(325.2 Ma)、印支期S型花岗岩(207~227 Ma)、鸡冠山斑岩钼矿床花岗斑岩(245±2.7 Ma)、乌拉山地区西沙德盖岩体(231.13±0.85 Ma)等相关,不存在南部秦岭地区物源,这与该区重矿物组合(图13)所表现的相同,且与长7、长6期相比,湖岸线继续向西移动,湖盆沉积中心缩小。

4 秦岭造山带隆升的讨论

晚三叠世扬子板块与华北板块发生碰撞拼合,鄂尔多斯盆地南部秦岭地区遭受了中生代成盆以来较大规模的抬升剥蚀(冯益民等, 2003),物源分析后认为盆地东南部地区晚三叠世延长组长7地层中的沉积物对秦岭造山带构造运动有明显沉积响应。长7地层样品DN-19中共测得锆石99个,符合谐和度90%~110%的有效测点为79个,其中有DN19-10(237±4 Ma)、DN19-13(243.4±3 Ma)、DN19-19(255.8±3 Ma)、DN19-32(234.7±4 Ma)、DN19-45(259.5±6 Ma)、DN19-67(250.5±5 Ma)等6个较为年轻的碎屑锆石,其锆石Th/U值为0.48~1.55,远大于0.1,锆石CL图像环带较好,可能为岩浆成因锆石。由于碎屑锆石来源于沉积碎屑,形成时代早于沉积岩。因此,文中最年轻锆石可以限定长7地层沉积时代下限为(234.7±4)Ma。

由于印支构造热事件的大规模火山活动,致使盆地内长7地层底部形成凝灰岩,王多云等(2014)对盆地西南部的长7地层底部两个凝灰岩岩心进行锆石SHRIMP U-Pb定年,认为其属于岩浆成因锆石,所测年龄分别为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄(241.3±2.4) Ma和(239.7±1.7) Ma。张辉等(2014)对合水—宁县一带长7地层底部的凝灰岩岩心进行锆石LA-ICP-MS U-Pb定年,所测 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为(234.3±2.8) Ma; Th/U值为0.34~1.21, CL图像显示有较密集震荡环带,为典型的岩浆成因锆石(田龙等, 2023; 李平等, 2024; 冉亚洲等, 2024)。王建强等(2017)对铜川何家坊长7地层底部露头剖面的两个凝灰岩样品进行锆石LA-ICP-MS U-Pb定年,认为其属于岩浆成因锆石,测得加权平均年龄分别为(226.5±1.6) Ma和(229.7±2.2) Ma。邓秀芹等(2013)对盆地西南缘地区长7地层底部凝灰岩岩心样品进行LA-ICP-MS锆石原位U-Pb年龄分析,其加权平均年龄为(228.2±2.0) Ma,同样属于岩浆成因锆石(表2)。由于凝灰岩在地质时间尺度上具有瞬时性,将本次测得最年轻碎屑锆石颗粒与上述凝灰岩锆石年龄进行对比,可以看出它们同为岩浆成因, Th/U值也基本匹配,二者在成因上有可对比性。该锆石颗粒可能与凝灰岩同源,均来自秦岭造山带,笔者已经确定延长组长7地层沉积年龄为(234.7±4) Ma,而地层开始沉积的年龄可以代表构造运动事件时代,故可以从盆地沉积物角度将秦岭造山带隆升的启



I. 高石榴子石组合; II. 锆石-石榴子石组合

图13 鄂尔多斯盆地延长组长4+5期重矿物组合分布图(范萌萌, 2010)

Fig. 13 Distribution of heavy mineral assemblages of Chang 4+5 in Yanchang Formation, Ordos basin

表 2 鄂尔多斯盆地延长组长 7 底部凝灰岩锆石 U-Pb 年龄统计表

Tab. 2 U-Pb zircon ages of the tuff from the bottom of Chang 7 of Yanchang Formation in Ordos basin

序号	层位	岩性	采样地点	锆石 U-Pb 加权平均年龄 (Ma)	来源
1	长 7 底部	凝灰岩	合水-宁县一带	234.3±2.8	张辉等, 2014
2	长 7 底部	凝灰岩	鄂尔多斯盆地西南部	241.3±2.4、239.7±1.7	王多云等, 2014
3	长 7 底部	凝灰岩	铜川何家坊剖面	226.5±1.6、229.7±2.2	王建强等, 2017
4	长 7 底部	凝灰岩	盆地西南缘	228.2±2.0	邓秀芹等, 2013

动时间限定为(234.7±4)Ma。此外, 锆石裂变径迹年龄也为构造活动提供了相应的年代学证据与沉积响应(马晓军等, 2019)。通过对收集的盆地内部及周缘地区锆石和磷灰石裂变径迹年龄数据的分析, 得出具有较高封闭温度的锆石裂变径迹年龄主要分布为 230~190 Ma(王世成等, 1997; 孙少华等, 1997; 杨俊杰, 2002; 高峰等, 2003; 刘池洋等, 2006; 陈刚等, 2007), 峰值 215 Ma 和 195 Ma 分别代表印支运动中晚期的构造事件, 其下限年龄 230 Ma 与文中秦岭造山带隆升的启动时间(234.7±4 Ma)接近。

5 结论

(1)金锁关地区样品的碎屑锆石 U-Pb 年龄组合主要分布为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、900~1 200 Ma、400~500 Ma、205~382 Ma; 黄龙、黄陵、下寺湾地区样品的碎屑锆石 U-Pb 年龄组合主要分布为 2 200~2 700 Ma、1 700~2 100 Ma、205~382 Ma。

(2)延长组中期盆地东南部研究区内部被湖盆沉积中心分割两个不同的区域, 湖盆沉积中心以南的金锁关地区物源主要是来自盆地南部华北克拉通南缘基底和北秦岭构造带晋宁期、加里东期、华力西期—印支期构造热事件岩体。湖盆沉积中心以北的黄龙、黄陵和下寺湾地区物源主要是来自盆地北部阴山地块、孔兹岩带等克拉通基底以及吕梁热事件、华北克拉通北缘华力西期—印支期热事件岩浆岩岩体。

(3)长 7 期华北克拉通与扬子板块发生强烈碰撞形成秦岭造山带, 在(234.7±4)Ma 左右发生了强烈的构造隆升, 同时长 7 地层在(234.7±4)Ma 时开始接受沉积。

参考文献(References):

白奋飞, 魏登峰, 韩伟, 等. 鄂尔多斯盆地延长油气区地热资源赋存特征及开发利用建议[J]. 西北地质, 2023, 56(6):

329–339.
BAI Fenfei, WEI Dengfeng, HAN Wei, et al. Occurrence Characteristics and Exploitation of Geothermal Resources in Yanchang Oil and Gas Area of Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(6): 329–339.
陈斌, 刘树文, 耿元生, 等. 吕梁-五台地区晚太古宙—古元古代花岗质岩石锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素性质及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 296–304.
CHEN Bin, LIU Shuwen, GENG Yuansheng, et al. Zircon U-Pb ages, Hf isotopes and significance of the Late Archean-Paleoproterozoic granitoids from the Wutai-Luliang terrain, North China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2): 296–304.
陈刚, 王志维, 白国娟, 等. 鄂尔多斯盆地中新世峰值年龄事件及其沉积-构造响应[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 375–383.
CHEN Gang, WANG Zhiwei, BAI Guowei, et al. Meso-Cenozoic peak-age events and their tectono-sedimentary response in the Ordos basin[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 375–383.
陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题[J]. 岩石学报, 2009, 25(11): 2695–2726.
CHEN Yanjing, ZHAI Mingguo, JIANG Shaoyong. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(11): 2695–2726.
邓昆, 张峭楠, 丁晓琪, 等. 鄂尔多斯盆地富县探区延长组长 8、长 6 物源分析——来自岩石地球化学及重矿物的证据[J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32(1): 29–35.
DENG Kun, ZHANG Shaonan, DING Xiaoqi, et al. Provenance analysis of Chang 8 and Chang 6 members of Yanchang Formation in Fuxian Exploration area of Ordos Basin: From Litho geochemistry and Heavy Minerals Analysis[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2012, 32(1): 29–35.
邓胜徽, 卢远征, 罗忠, 等. 鄂尔多斯盆地延长组的划分、时代及中-上三叠统界线[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(10): 1293–1311.
DENG Shenghui, LU Yuanzheng, LUO Zhong, et al. Subdivision and age of the Yanchang Formation and the Middle-Upper Triassic boundary in Ordos Basin, North China[J]. Science China: Earth Sciences, 2018, 48(10): 1293–1311.
邓秀芹, 罗安湘, 张忠义, 等. 秦岭造山带与鄂尔多斯盆地印支期构造事件年代学对比[J]. 沉积学报, 2013, 31(6): 939–953.

- DENG Xiuqin, LUO Anxiang, ZHANG Zhongyi, et al. Geochronological Comparison on Indosinian tectonic events between Qinling orogeny and Ordos basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(6): 939–953.
- 党彝. 鄂尔多斯盆地构造沉积演化与下古生界天然气聚集关系研究[D]. 西安: 西北大学, 2003.
- DANG Ben. Study on the relationship between tectonic sedimentary evolution and lower Paleozoic natural gas accumulation in Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2003.
- 第五春荣, 孙勇, 王倩. 华北克拉通地壳生长和演化: 来自现代河流碎屑锆石 Hf 同位素组成的启示[J]. *岩石学报*, 2012, 28(11): 3520–3530.
- DIWU Chunrong, SUN Yong, WANG Qian. The crustal growth and evolution of North China Craton: Revealed by Hf isotopes in detrital zircons from modern river[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(11): 3520–3530.
- 范萌萌. 鄂尔多斯盆地东南部延长组沉积相研究[D]. 西安: 西北大学, 2010.
- FAN Mengmeng. Sedimentary facies of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2010.
- 范萌萌, 卜军, 赵筱艳, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组微量元素地球化学特征及环境指示意义[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2019, 49(4): 633–642.
- FAN Mengmeng, BU Jun, ZHAO Xiaoyan, et al. Geochemical characteristics and environmental implications of trace elements of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2019, 49(4): 633–642.
- 范志伟. 内蒙集宁地区前孔兹岩系变质基底的组成、地球化学及年代学特征[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- FAN Zhiwei. Composition, geochemistry and chronology of metamorphic basement of Qiankonzi series in Jining area, Inner Mongolia[D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- 冯益民, 曹宣铎, 张二朋, 等. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质[J]. *西北地质*, 2003, 36(1): 1–10.
- FENG Yimin, CAO Xuanduo, ZHANG Erpeng, et al. Tectonic evolution framework and nature of the west Qinling orogenic belt[J]. *Northwestern Geology*, 2003, 36(1): 1–10.
- 郭敬辉, 翟明国, 许荣华. 华北桑干地区大规模麻粒岩相变质作用的时代: 锆石 U-Pb 年代学[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2002, 32(1): 10–18.
- GUO Jinghui, ZHAI Mingguo, XU Ronghua. Age of large-scale granulite facies metamorphism in Sanggan area, North China: Zircon U-Pb geochronology[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2002, 32(1): 10–18.
- 高秋灵, 郑建平, 张志海, 等. 信阳周庄变辉长岩 LA-ICP-MS U-Pb 定年与华北南缘复杂演化过程[J]. *岩石学报*, 2009, 25(12): 3275–3286.
- GAO Qiuling, ZHENG Jianping, ZHANG Zhihai, et al. Complex evolution of the southern margin of the North China Craton: Evidence from LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons in Zhouzhuang meta-gabbro[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(12): 3275–3286.
- 高峰, 王岳军, 刘顺生. 利用磷灰石裂变径迹研究鄂尔多斯盆地西缘热历史[J]. *大地构造与成矿学*, 2003, 24(1): 87–91.
- GAO Feng, WANG Yuejun, LIU Shunshen, et al. Thermal history study in the west of the Ordos basin using apatite fission track analysis[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2003, 24(1): 87–91.
- 郭艳琴, 惠磊, 张秀能, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积体系特征及湖盆演化[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2018, 48(04): 593–602.
- GUO Yanqin, HUI Lei, ZHANG Xiuneng, et al. Sedimentary system characteristics and lake basin evolution of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2018, 48(04): 593–602.
- 耿元生, 万渝生, 沈其韩, 等. 吕梁地区早前寒武纪主要地质事件的年代框架[J]. *地质学报*, 2000, 74(3): 216–223.
- GENG Yuansheng, WAN Yusheng, SHEN Qihan, et al. Geochronology of the main early Precambrian geological events in the Ivliang area[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(3): 216–223.
- 何世平, 王洪亮, 陈隽璐, 等. 北秦岭西段宽坪岩群斜长角闪岩锆石 LA-ICP-MS 测年及其地质意义[J]. *地质学报*, 2007, 81(1): 79–87.
- HE Shiping, WANG Hongliang, CHEN Junniang, et al. Zircon U-Pb Chronology of Kuanping Rock Group by LA-ICP-MS and its Geological Significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(1): 79–87.
- 焦正. 内蒙古乌拉山地区晚古生代—中生代花岗岩成因及构造背景分析[D]. 南昌: 东华理工大学, 2015.
- JIAO Zheng. Genesis and tectonic setting of late Paleozoic-Mesozoic granites in Wulashan area, Inner Mongolia [D]. Nanchang: East China University of Technology, 2015.
- 李平, 朱涛, 吕鹏瑞, 等. 西天山早寒武世夏特辉长岩: 南天山洋早期俯冲的岩浆记录[J]. *西北地质*, 2024, 57(3): 44–58.
- LI Ping, ZHU Tao, LÜ Pengrui, et al. Early Cambrian Xiate Gabbro in Western Tianshan: Magmatic Records of Initial Subduction of the South Tianshan Ocean[J]. *Northwestern Geology*, 2024, 57(3): 44–58.
- 刘锦, 冯娟萍, 李文厚, 等. 鄂尔多斯盆地黄陵地区三叠系延长组长 6 浊积岩物源分析[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2013, 44(4): 1464–1471.
- LIU Jin, FENG Juanping, LI Wenhui, et al. Provenance of Triassic Yanchang Formation Chang 6 turbidite of Huangling area, Ordos Basin[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2013, 44(4): 1464–1471.
- 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J]. *地质学报*, 2006, 80(5): 617–638.
- LIU Chiyang, ZHAO Hongge, GUI Xiaojun, et al. Space-Time Coordinate of the Evolution and Reformation and Mineralization Response in Ordos Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006,

- 80(5): 617–638.
- 刘溪. 鄂尔多斯盆地东、南部中晚三叠世延长期原型盆地分析[D]. 西安: 西北大学, 2019.
- LIU Xi. Prototype Basin analysis of The Middle and Late Triassic Yanchang in the eastern and southern Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- 刘丙祥. 北秦岭地体东段岩浆作用与地壳演化[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- LIU Bingxiang. Magmatism and crustal evolution in the eastern segment of the North Qinling Mountains[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014.
- 柳小明, 高山, 第五春荣, 等. 单颗粒锆石的 20 μm 小斑束原位微区 LA-ICP-MS U-Pb 年龄和微量元素的同时测定[J]. 科学通报, 2007, 52(2): 228–235.
- LIU Xiaoming, GAO Shan, DIWU Chunrong, et al. Simultaneous LA-ICP-MS U-Pb dating and trace elements determination of 20 μm micro-speck in situ zircon[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(2): 228–235.
- 雷俊杰, 吴颖, 尹锦涛, 等. 鄂尔多斯盆地东南部黄洛区域延长组中下油层组物源分析[J]. 东北石油大学学报, 2017, 41(4): 12–23+4–5.
- LEI Junjie, WU Ying, YIN Jintao, et al. Analysis of the source of the middle and lower oil layer of Yanchang formation in Huangluo area of the Ordos basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2017, 41(4): 12–23+4–5.
- 乐锦波. 鄂尔多斯盆地富县地区延长组沉积特征研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.
- LE Jinbo. Sedimentary characteristics of Yanchang Formation in Fuxian area, Ordos Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010.
- 林慈鑫. 河南鲁山地区太古代片麻岩系的地球化学、锆石年代学及其构造环境[D]. 西安: 西北大学, 2006.
- LIN Ciluan. Geochemistry, zircon geochronology and tectonic setting of archean Gneiss series in Lushan area, Henan Province[D]. Xi'an: Northwest University, 2006.
- 李三忠, 杨朝, 赵淑娟, 等. 全球早古生代造山带(IV): 板块重建与 Carolina 超大陆[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(4): 1026–1041.
- LI Sanzhong, YANG Chao, ZHAO Shujuan, et al. Global Early Paleozoic orogens(IV): Plate reconstruction and supercontinent Carolina[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2016, 46(4): 1026–1041.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. “中央造山带”早古生代缝合带及构造分区概述[J]. 地质通报, 2006, 25(12): 1368–1380.
- LU Songnian, YU Haifeng, LI Huaikun, et al. Overview of Early Paleozoic suture zones and tectonic zoning in the Central Orogenic Belt [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(12): 1368–1380.
- 马晓军, 梁积伟, 李建星, 等. 鄂尔多斯盆地中西部中生代构造抬升及演化[J]. 西北地质, 2019, 52(4): 127–136.
- MA Xiaojun, LIANG Jiwei, LI Jianxing, et al. Meso-cenozoic Tectonic Uplift and Evolution of Central and Western Ordos Basin[J]. Northwest Geology, 2019, 52(4): 127–136.
- 倪志耀, 王仁民, 童英, 等. 河南洛宁太华岩群斜长角闪岩的锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 地质论评, 2003, 49(4): 361–366.
- NI Zhiyao, WANG Renmin, TONG Ying, et al. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Age of Zircon and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ of Amphibole from Plagioclase Amphibolite in the Taihua Group, Luoning, Henan, China[J]. Geological Review, 2003, 49(4): 361–366.
- 潘颖. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组长 8—长 6 层序地层与沉积古地理研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- PAN Ying. Study on sequence stratigraphy and sedimentary paleogeography of Chang 8–Chang 6 of The Upper Triassic Yanchang Formation in southern Ordos Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.
- 齐秋菊. 华北陆块南缘老牛山岩体成因研究及找矿意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- QI Qiuju. Genesis and prospecting significance of Laoniushan pluton in southern margin of North China Block [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.
- 冉亚洲, 陈涛, 梁文天, 等. 西秦岭郎木寺组火山岩锆石 U–Pb 年龄及其构造意义[J]. 西北地质, 2024, 57(1): 110–121.
- RAN Yazhou, CHEN Tao, LIANG Wentian, et al. Zircon U–Pb Age of Volcanic Rocks from the Langmusi Formation in the Western Qinling Mountains and Its Tectonic Significance[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(1): 110–121.
- 时毓. 中国中部东秦岭造山带的形成和演化[D]. 南京: 南京大学, 2012.
- SHI Yu. Formation and Evolution of the East Qinling Orogenic Belt in Central China[D]. Nanjing: Nanjing University, 2012.
- 孙少华, 李小明, 龚革联. 鄂尔多斯盆地构造热事件研究[J]. 科学通报, 1997, 42(3): 306–309.
- SUN Shaohua, LI Xiaoming, GONG Gelian. Research of the structural heat event in Ordos basin[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(3): 306–309.
- 陶继雄, 胡凤翔, 陈志勇. 华北陆块北缘印支期 S 型花岗岩带特征及其构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(2): 112–118.
- TAO Jixiong, HU Fengxiang, CHEN Zhiyong. Characteristics and tectonic setting of Indosinian S-type granites in the northern margin of North China landmass[J]. Journal of Petrology and Mineralogy, 2003, 22(2): 112–118.
- 田龙, 康磊, 刘良, 盖永升. 东昆仑巴什尔希晚奥陶世二长花岗岩成因及其地质意义. 西北地质, 2023, 56(2): 28–45.
- TIAN Long, KANG Lei, LIU Liang, GAI Yongsheng. 2023: Petrogenesis and Geological Implications of Bashenerxi Monzogranite from East Kunlun Orogen Belt. Northwest Geology, 2023, 56(2): 28–45.
- 王建强. 鄂尔多斯盆地南部中生代演化—改造及盆山耦合关系[D]. 西安: 西北大学, 2010.
- WANG Jianqiang. Meso-cenozoic evolution and reconstruction and

- basin-mountain coupling relationship in southern Ordos Basin [D]. Xi'an: Northwest University, 2010.
- 王建强, 刘池洋, 李行, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组长7段凝灰岩形成时代、物质来源及其意义[J]. 沉积学报, 2017, 35(4): 691–704.
- WANG Jianqiang, LIU Chiyang, LI Xing, et al. Age, Geochronology, Potential Source and Regional Implications of Tuff Intervals in Chang-7 Member of Yanchang Formation, South of Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2017, 35(4): 691–704.
- 王惠初, 袁桂邦, 辛后田. 内蒙古固阳县空山地区麻粒岩的锆石 U-Pb 年龄及其对年龄解释的启示[J]. 地质调查与研究, 2001, 24(1): 28–34.
- WANG Huichu, YUAN Guibang, XIN Houtian. U-Pb Single Zircon Ages for Granulites in Cunkongshan Area, Guyang Inner Mongolia and Enlightenment for It's Geological Signification, China[J]. *Geological Survey and Research*, 2001, 24(1): 28–34.
- 王鸿祯. 中国地壳构造发展的主要阶段[J]. 地球科学, 1982, (3): 155–178.
- WANG Hongzhen. The Main Stages of crustal development of China[J]. *Earth Science*, 1982, (3): 155–178.
- 王多云, 辛补社, 杨华, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长7底部凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(10): 2160–2171.
- WANG Duoyun, XIN Bushe, YANG Hua, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age and geological implications of tuff at the bottom of Chang-7 Member of Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2014, 44(10): 2160–2171.
- 王涛, 张宗清, 王晓霞, 等. 秦岭造山带核部新元古代碰撞变形及其时代——强变形同碰撞花岗岩与弱变形脉体锆石 SHRIMP 年龄限定[J]. 地质学报, 2005, 79(2): 220–231+292.
- WANG Tao, ZHANG Zongqing, WANG Xiaoxia, et al. Neoproterozoic Collisional Deformation in the Core of the Qinling Orogen and Its Age: Constrained by Zircon SHRIMP Dating of Strongly Deformed Syn collisional Granites and Weakly Deformed Granitic Veins[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(2): 220–231+292.
- 王涛, 王晓霞, 田伟, 等. 北秦岭古生代花岗岩组合、岩浆时空演变及其对造山作用的启示[J]. 中国科学 (D 辑: 地球科学), 2009, 39(7): 949–971.
- WANG Tao, WANG Xiaoxia, TIAN Wei, et al. North Qinling Paleozoic granite associations and their variation in space and time: Implications for orogenic processes in the orogens of central China[J]. *Science in China (Series D: Earth sciences)*, 2009, 39(7): 949–971.
- 王世成, 康铁笙, 王兰芬. 鄂尔多斯盆地钻井样品的锆石裂变径迹年龄及意义[J]. 地球学报, 1997, 18(S1): 221–223.
- WANG Shicheng, KANG Tiesheng, WANG Lanfen. Zircon fission track age and its significance of drilling- core samples in Ordos basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1997, 18(S1): 221–223.
- 吴昌华, 孙敏, 李惠民, 等. 乌拉山-集宁孔兹岩锆石激光探针等离子质谱 (LA-ICP-MS) 年龄—孔兹岩沉积时限的年代学研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(11): 2639–2654.
- WU Changhua, SUN Min, LI Huimin, et al. LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of the khondalites from the Wulashan and Jinning high-grade terrain in northern margin of the North China Craton: constraints on sedimentary age of the khondalite[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(11): 2639–2654.
- 吴颖, 孙磊, 冯敏, 等. 天环坳陷南北部盒8段地层水地化特征差异性分析[J]. 西北地质, 2024, 57(2): 244–253.
- WU Ying, SUN Lei, FENG Min, et al. Analysis on Geochemical Characteristics and Difference of Formation Water in He 8th Member in Northern and Southern Tianhuan Depression[J]. *Northwestern Geology*, 2024, 57(2): 244–253.
- 杨华, 窦伟坦, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7沉积相分析[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 254–263.
- YANG Hua, DOU Weitan, LIU Xianyang, et al. Analysis on Sedimentary facies of Member 7 in Yanchang Formation of Triassic in Ordos basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(2): 254–263.
- 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- 应迪先. 从同位素地质年龄讨论内蒙古中部白云鄂博群及渣尔泰群地层的时代[J]. 中国区域地质, 1985, 14(4): 125–135.
- YING Dixian. The ages of the Bayan Obo and Chaertal groups in Central Nei Monggol discussed in the light of isotope geochronology[J]. *Regional Geology of China*, 1985, 14(4): 125–135.
- 杨敏, 刘良, 王亚伟, 等. 北秦岭二郎坪杂岩变沉积岩碎屑锆石年代学及其构造地质意义[J]. 岩石学报, 2016, 32(5): 1452–1466.
- YANG Min, LIU Liang, WANG Yawei, et al. Geochronology of detrital zircons from metaclastic of Erlangping complex in the North Qinling belt and its tectonic implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2016, 32(5): 1452–1466.
- 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 1995, 11(2): 101–114.
- ZHANG Guowei, ZHANG Zongqing, DONG Yunpeng. Nature of Main Tectono-Lithostratigraphic Units of the Qinling orogenic: Implications for the Tectonic Evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(2): 101–114.
- 张成立, 王涛, 王晓霞, 等. 秦岭造山带早中生代花岗岩成因及其构造环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 304–316.
- ZHANG Chengli, WANG Tao, WANG Xiaoxia, et al. Origin and Tectonic Setting of the Early Mesozoic Granitoids in Qinling Orogenic Belt[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(3): 304–316.

- 张辉, 彭平安, 张文正. 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段凝灰岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(2): 565–575.
- ZHANG Hui, PENG Ping'an, ZHANG Wenzheng. Zircon U-Pb ages and Hf isotope characterization and their geological significance of Chang 7 tuff of Yanchang Formation in Ordos basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(2): 565–575.
- 张红. 秦岭北麓现代河流碎屑锆石 U-Pb 年代学研究及其地质意义[D]. 西安: 西北大学, 2008.
- ZHANG Hong. U-Pb geochronology of detrital zircons from modern rivers in the northern piedmont of the Qinling Mountains and its geological significance[D]. Xi'an: Northwest University, 2008.
- 赵太平, 翟明国, 夏斌, 等. 熊耳群火山岩锆石 SHRIMP 年代学研究: 对华北克拉通盖层发育初始时间的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(22): 2342–2349.
- ZHAO Taiping, ZHAI Mingguo, XIA Bin, et al. Zircon SHRIMP geochronology of volcanic rocks in the Xiong'er Group: Constraints on the initial development time of the North China Craton cap[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(22): 2342–2349.
- 赵太平, 徐勇航, 翟明国. 华北陆块南部元古宙熊耳群火山岩的成因与构造环境: 事实与争议[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 191–206.
- ZHAO Taiping, XU Yonghang, ZHAI Mingguo. Petrogenesis and Tectonic Setting of the Paleoproterozoic Xiong'er Group in the Southern Part of the North China Craton: a Review[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2007, 13(2): 191–206.
- 赵姣, 陈丹玲, 谭清海, 等. 北秦岭东段二郎坪群火山岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地学前缘, 2012, 19(4): 118–125.
- ZHAO Jiao, CHEN Danling, TAN Qinghai, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of basic volcanics from Erlangping Group the North Qinling, eastern Qinling Mountains and its geological implications[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(4): 118–125.
- 赵庆英, 刘正宏, 吴新伟, 等. 内蒙古大青山地区哈拉合少岩体特征及成因[J]. 矿物岩石, 2007, 27(1): 46–51.
- ZHAO Qingying, LIU Zhenghong, WU Xinwei, et al. Characteristics and origin of Halaheshao pluton in Daqingshan region, inner-mongolia[J]. *Mineralogy and Petrology*, 2007, 27(1): 46–51.
- 郑萌, 梁积伟, 冯振伟, 等. 鄂尔多斯盆地中部寒武纪岩相古地理研究[J]. 西北地质, 2023, 56(6): 352–368.
- ZHENG Meng, LIANG Jiwei, FENG Zhenwei, et al. Lithofacies Paleogeography of the Cambrian in the Central Ordos Basin[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(6): 352–368.
- 朱宗良, 李文厚, 李克永, 等. 鄂尔多斯盆地南部晚三叠世物源分析[J]. 高校地质学报, 2010, 16(4): 547–555.
- ZHU Zongliang, LI Wenhui, LI Keyong, et al. Provenance Analysis of Late Triassic Sediments in the Southern Ordos Basin[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2010, 16(4): 547–555.
- 朱广社. 鄂尔多斯盆地晚三叠世—中侏罗世碎屑岩、沉积、层序充填过程及其成藏效应[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- ZHU Guangshe. Clastic rocks, sedimentation and sequence filling processes and their accumulation effects of late Triassic to Middle Jurassic in Ordos Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014.
- 曾庆栋, 刘建明, 张作伦, 等. 华北克拉通北缘鸡冠山斑岩铜矿床成矿年代及印支期成矿事件[J]. 岩石学报, 2009, 25(2): 393–398.
- ZENG Qingdong, LIU Jianming, ZHANG Zuolun, et al. Ore-forming time of the Jiguanshan porphyry molybdenum deposit, northern margin of North China Craton and the Indosinian mineralization[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(2): 393–398.
- 翟明国, 彭澎. 华北克拉通古元古代构造事件[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2665–2682.
- ZHAI Mingguo, PENG Peng. Paleoproterozoic events in the North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(11): 2665–2682.
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, 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*, 2011, 122(1–2): 39.
- Dong Yunpeng, Liu Xiaoming, Santosh M, et al. Neoproterozoic accretionary tectonics along the northwestern margin of the Yangtze Block, China: Constraints from zircon U-Pb geochronology and geochemistry[J]. *Precambrian Research*, 2012, 196–197: 247–274.
- Yuan Honglin, Gao Shan, Liu Xie, et al. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation inductively Coupled Plasmamass Spectrometry[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2004, 28(3): 353–370.
- Zhao Guochun, Cawood P A, Wilde S A. Metamorphism of basement rocks in the Central Zone of the North China Craton: implications for Paleoproterozoic tectonic evolution[J]. *Precambrian Research*, 2000, 103: 55–88.
- Zhao Guochun, Wilde S A, Cawood P A. Archean blocks and their boundaries in the North China Craton: lithological, geochemical, structural and P-T path constraints and tectonic evolution[J]. *Precambrian Research*, 2001, 107: 45–73.
- Zhao Guochun, Cawood P A, Wilde S A, et al. Review of 2.1–1.8 Ga orogens: Implication for pre-Rodinia supercontinent[J]. *Earth Science Reviews*, 2002, 59: 125–162.