

doi:10.3799/dqkx.2012.00

豫西济源盆地中三叠世—中侏罗世碎屑锆石年代学及其对秦岭造山带造山过程的启示

杨文涛, 杨江海, 汪校锋, 杜远生*

中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 豫西济源盆地位于秦岭造山带北部, 是三叠纪—侏罗纪秦岭造山带的同造山盆地。对济源盆地中三叠世—中侏罗世6个组的碎屑锆石样品进行了LA-ICP-MS的U-Pb年龄分析。结果表明, 碎屑锆石年龄主要分布于以下区间: 2.9~1.7 Ga、1.6~1.0 Ga、1.0~0.8 Ga、800~650 Ma、520~380 Ma、350~245 Ma和~220 Ma, 其中除了2.9~1.7 Ga的碎屑锆石主要来自于华北克拉通基底外, 其他几个年龄段的锆石则主要来自于秦岭造山带, 并且显示出随着地层年龄的逐渐变新, 碎屑锆石年龄有逐渐变老的趋势。在中三叠世—晚三叠世早期样品中, 主要年龄是350~245 Ma, 在晚三叠世晚期—中侏罗世早期样品中, 1.6~1.0 Ga、1.0~0.8 Ga、800~650 Ma和520~380 Ma则逐渐增多, 到了中侏罗世晚期, 1.6~1.0 Ga和520~380 Ma依然存在样品中, 并且还发现了~220 Ma年龄。碎屑锆石年龄结构指示了秦岭造山带印支期经历了由年轻的盖层到较老的基底的去顶过程。并与合肥、黄石盆地的碎屑锆石数据对比发现, 早侏罗世时, 去顶强度东强西弱; 东部高压—超高压变质岩或晚三叠世岩体可能暴露于早侏罗世, 而西部则到了中侏罗世。

关键词: 济源盆地; 秦岭造山带; 碎屑锆石; 物源分析; 去顶样式。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2012)03-0000-12

收稿日期: 2011-00-00

Geochronology from Middle Triassic to Middle Jurassic Detrital Zircons in Jiyuan Basin and its Implications for the Qinling Orogen

YANG Wen-tao, YANG Jiang-hai, WANG Xiao-feng, DU Yuan-sheng*

State Key Laboratory of Biocology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Jiyuan basin is located in the north of Qinling orogen and regarded as a Triassic-Jurassic synorogenic basin. This paper presents a great number of detrital zircon U-Pb ages for synorogenic sediments in age ranging from the Middle Triassic to Middle Jurassic in the Jiyuan basin. The results show seven major age groups at 2.9–1.7 Ga, 1.6–1.0 Ga, 1.0–0.8 Ga, 800–650 Ma, 520–380 Ma, 350–245 Ma and ~220 Ma. It is obvious that age group of 2.9–1.7 Ga is directly derived from the Precambrian basement of North China Craton whereas other groups are typical characteristics of the Qinling orogenic belt. An important observation is that the Qinling-sourced detrital zircons become older from the Middle Triassic to the Early Jurassic sedimentary sequences, which is characterized by the main age clusters at 350–245 Ma occurring in the T_2 – T_3 strata while age groups at 1.6–1.0 Ga, 1.0–0.8 Ga, 800–650 Ma and 520–380 Ma increase successively in the T_3 – J_1 samples. In addition, little grains of age groups at 1.6–1.0 Ga, 520–380 Ma and ~220 Ma are presented in the J_2 sample. The above-mentioned findings indicate that unroofing pattern of Qinling orogenic belt developed by the denudation of sediments from young covers to old basements in order, then to the Carnian plutons. Integrated with the data reported from Hefei and Huangshi basins, it is well established that the intensity of unroofing increased from the west to the east in the Early Jurassic, and the denudation timing of the ultra high pressure (UHP)-high pressure (HP) rocks or Carnian plutons changed successively from the Early Jurassic to the middle Jurassic in the west.

Key words: Jiyuan basin; Qinling orogenic belt; detrital zircon; provenance; unroofing pattern.

基金项目: 国家自然科学基金(No. 4092106); 河南1:5万古城(I49E006016)、段村(I49E007016)、观音堂(I49E008015)、滹池县(I49E008016)幅区域地质调查项目(No. 1212011120766)。

作者简介: 杨文涛(1984—), 男, 博士研究生, 主要从事造山带与沉积学研究。E-mail: ywtao125@163.com。

* **通讯作者:** 杜远生(1958—), 男, 教授, 主要从事沉积地质学研究。E-mail: duyuansheng126@126.com

0 引言

锆石主要形成在中、酸性火成岩和高级变质岩(麻粒岩相)中,具有较高的物理和化学稳定性,在经历多次搬运后,仍具有稳定的 U-Pb 同位素体系,成为现代地球科学研究的重要手段(Morton *et al.*, 2008). 沉积剖面中锆石的年龄分布特征可以用来限制物源和沉积的最大年龄,重建造山带与盆地构造演化,而这些又是大陆动力学研究的重要组成部分.

秦岭造山带与其西边的祁连造山带、昆仑造山带以及东延的大别造山带一起组成中国中央造山带(杨经绥等, 2003),它连接了华北板块与扬子板块,在形成统一的中国大陆之前,经历了多期的构造演化历史,其中最重要的两次造山运动发生在加里东期和印支期. 加里东期造山运动表现为早古生代中秦岭微板块与华北板块沿北祁连、商丹缝合带碰撞拼合(Meng and Zhang, 2000; Sun *et al.*, 2002; Ratschbacher *et al.*, 2003),碰撞的方式由西向东,表现出西强东弱的特征,使得西边的祁连造山带及邻区沉积盆地成为了研究这一时期盆山相互关系的良好场所(Yang *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2010). 印支期造山运动反映的是晚三叠世扬子板块与中秦岭以及华北板块的汇聚造山(Meng and Zhang, 2000; Zhen *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2008; Jiang *et al.*, 2010),汇聚的方式由东向西,并在大别造山带形成了高压—超高压变质岩,一直以来吸引了众多学者的目光,使得大别造山带及邻区沉积盆地成为研究这一时期盆山相互作用的首选(Li *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2010).

从时间上来看,早古生代与晚三叠世的盆山关系研究已经有了丰硕的成果,但就古地理位置而言,目前还缺乏对中部秦岭造山带及其邻区沉积盆地盆山关系的研究. 位于秦岭造山带北部的济源盆地,发育一套连续的中三叠世—中侏罗世陆相沉积,这为从盆地沉积物的角度反演秦岭造山带印支期造山过程提供了理想的研究对象. 本文通过对碎屑锆石 U-Pb 年代学的研究,分析济源盆地中三叠统一中侏罗统沉积物源区的演化,并在此基础上探讨秦岭造山带印支期构造隆升历史.

1 地质背景

扬子、秦岭与华北板块由南向北碰撞拼合,发育

以下 4 个构造带:扬子北缘前陆褶皱逆冲带、南秦岭带、北秦岭微板块和华北南缘后陆褶皱逆冲带(刘少峰和张国伟, 2008),它们之间分别由勉略缝合带(SF2)、商丹缝合带(SF1)、洛南—栾川断裂(F2)以及宝鸡—义马—周口断裂(F1)分隔(图 1). 其中发育于北秦岭微板块之上的北秦岭逆冲带和华北南缘后陆褶皱逆冲带对济源盆地的形成与演化具有重要的意义.

早—中三叠世时,济源盆地基本继承了晚二叠世以来的沉积格局,为统一的大型内陆沉积盆地,接受河流—湖泊相沉积. 晚三叠世扬子板块与华北板块碰撞拼合,华北地区全面抬升,且西部抬升小,东部抬升幅度大,盆地范围向西部退缩,沉积范围缩小(吴智平等, 2007). 早—中侏罗世时,济源开始作为一个独立的盆地,进入后期演化阶段. 中三叠世晚期至中侏罗世,盆地发育 6 个组的沉积地层,分别是中三叠世油房庄组,晚三叠世椿树腰组和谭庄组,早侏罗世鞍腰组,中侏罗世杨树庄组和马凹组(图 2).

油房庄组主要为黄绿色细砂岩与紫红色钙质粉砂岩、泥岩互层;椿树腰组为灰黄色中厚层细砂岩、粉砂岩与灰绿色、灰黄色砂质泥岩、泥岩不等厚互层,上部含 7~8 层煤线,与下伏油房庄组整合接触;谭庄组上部为灰黄色泥岩、粉砂岩,夹多层煤线,下部为灰黄、灰绿色泥岩夹灰褐色粉砂岩、细砂岩及 9~10 层灰黑色油页岩,底部为米黄色巨厚层粉砂岩,与下伏椿树腰组整合接触;鞍腰组岩性主要为浅灰、灰黄色中厚—厚层状细砂岩、薄—中厚层状钙质粉砂岩与灰绿、浅灰色泥质粉砂岩、钙质泥岩互层,与下伏谭庄组整合接触;杨树庄组岩性由灰绿、浅红、灰黄色细砂岩、粉砂岩、砂质泥岩和泥岩组成,偶

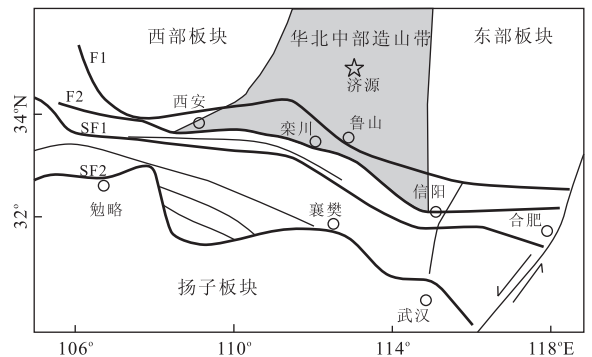


图 1 研究区构造背景简图

Fig. 1 Schematic tectonic map of the study area
F1. 宝鸡—义马—周口断裂; F2. 栾川断裂; SF1. 商丹缝合带; SF2. 勉略缝合带

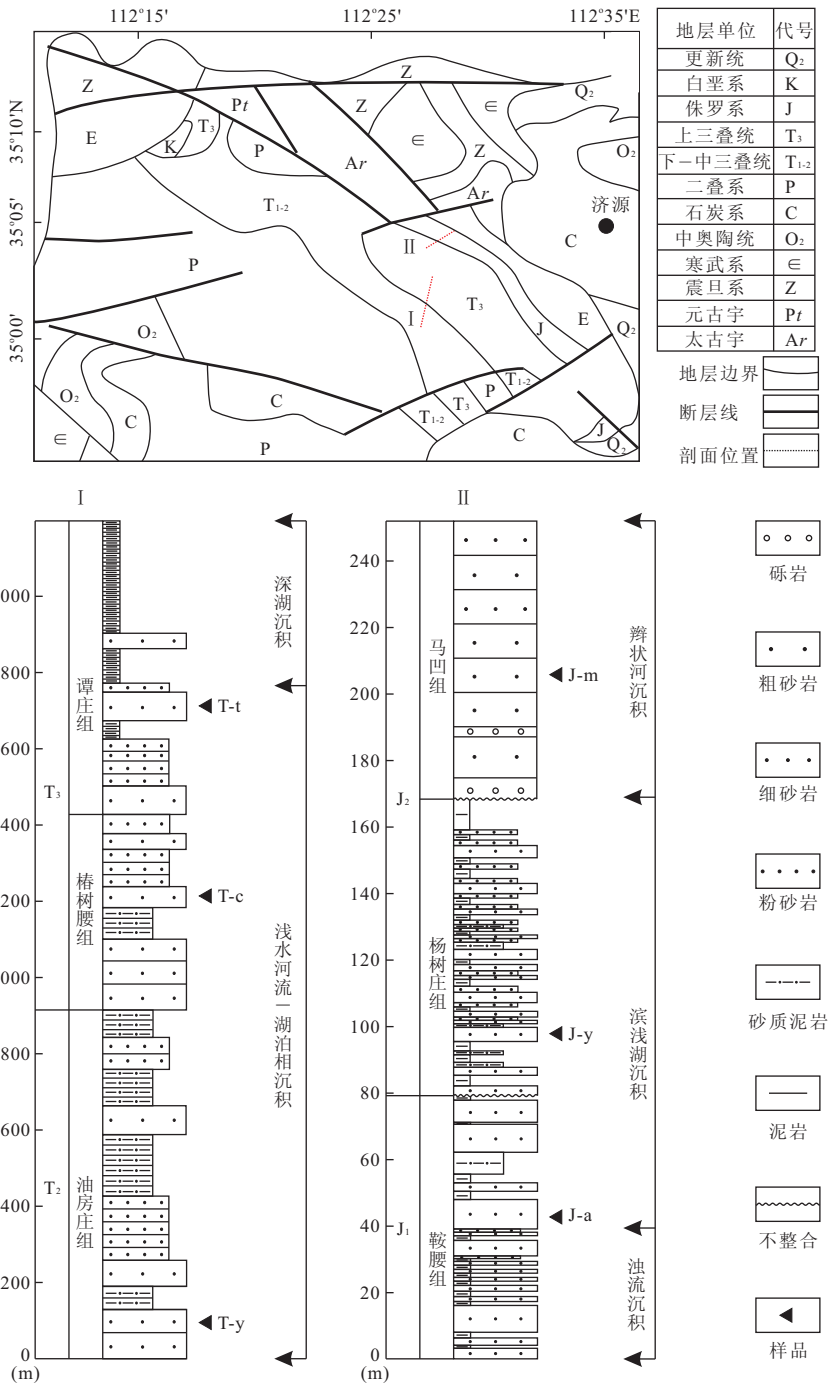


图 2 研究区地质图及地层柱状图

Fig. 2 Simplified geological map and sedimentological profile of the study area

夹灰黑色炭质泥岩,底部细砂岩中发育紫红色细砾岩透镜体,与下伏鞍腰组局部不整合接触;马凹组以灰白色巨厚层状细砾岩、粗砂岩与细粒砂岩为主,与下伏杨树庄组不整合接触。

沉积学研究表明,济源盆地沉积环境经历了中三叠世—晚三叠世早期的浅水河流—湖泊相沉积→晚三叠世晚期—早侏罗世的深水湖泊及浊流沉积→中侏罗世早期的滨浅湖沉积→中侏罗世晚期的辫状

河沉积 (Mángano *et al.*, 1994; Buatois *et al.*, 1996; 张国成等, 2005; 齐永安等, 2007)。

2 样品与方法

选取 6 个碎屑锆石样品进行锆石 U-Pb 年龄测定,样品编号为: T-y、T-c、T-t、J-a、J-y、J-m,取样位

置按照地层单元划分(图 2)。其中,样品 T-y 和 T-c 来自济源市承留镇南山森林公园剖面(I),样品 T-t、J-a、J-y、J-m 来自济源市承留镇三皇村剖面(II)。

样品中锆石的分选采用传统的比重和磁性方法进行淘选,并在双目显微镜下对获取的重矿物进行人工挑纯。将挑选的锆石颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,打磨和抛光后,拍摄锆石反射光和透射光照片,以及阴极发光图像(CL),以观察各锆石颗粒内部的核、边和包裹体结构以用于作为锆石原位 U-Pb 同位素分析时选择测量点的依据。锆石 U-Pb 定年采用 LA-ICP-MS 方法,测试工作在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。锆石 U-Pb 同位素组成分析采用 91500 国际标准锆石作为外标,元素含量测定采用 NISTSRM610 作为外标, ^{29}Si 作为内标。详细的仪器参数与分析流程见(Zong *et al.*, 2010)。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 ICPMSData-Cal 软件(Liu *et al.*, 2008),U-Pb 年龄计算采用 ISOPLOT 3.00(Ludwig, 2003)。

3 测试结果

3.1 锆石的形态及起源

根据锆石的 CL 特征(图 3),可以将其分为以下

5 个类型:(1)以核部与明亮的变质增生边为特征(图 3a~3e);(2)表现为完整的岩浆震荡环结构(图 3f~3h);(3)无明显内部结构(图 3i~3m);(4)存在明显的岩浆环带结构,但遭受后期重结晶破坏(图 3n~3p);(5)展示了复杂的内部结构及多期岩浆环带结构(图 3q~3t)。其中具有典型震荡环带结构且 Th/U 值在 0.12~3.86 之间的锆石,为岩浆成因(Corfu *et al.*, 2003)。锆石内部结构均一旦 Th/U 值在 0.02~0.16 之间的,指示其为重结晶或变质起源(Long *et al.*, 2007)。

3.2 锆石年代学特征

本次研究对每个样品随机选择~85 个碎屑锆石进行测试,一共 511 个测试数据。采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄来分别代表<1 000 Ma 和>1 000 Ma 锆石年龄,并剔除谐和度<90%的年龄数据。在 U-Pb 谐和图上(图 4),大部分测试点落在了谐和线上或接近于谐和线,仅有少数分析点明显偏离谐和线,反映少部分锆石可能存在一定程度的 Pb 丢失。

油房庄组砂岩样品中碎屑锆石颗粒表现为次圆状到圆状,少量次棱角状和自形颗粒,反映了它们经过长距离的搬运与磨蚀,砂岩成份成熟度较高,颗粒大小在 50~300 μm 之间,多数集中在 100 μm ,Th/U 值的范围在 0.06~3.86 之间,其中有 3 颗<0.1。

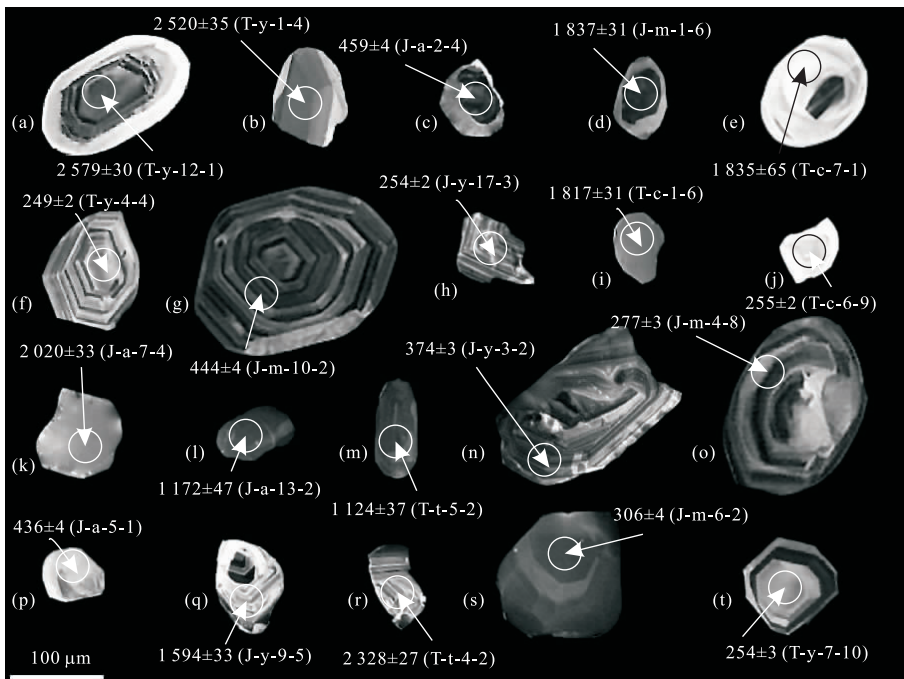


图 3 代表性锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of representative zircons

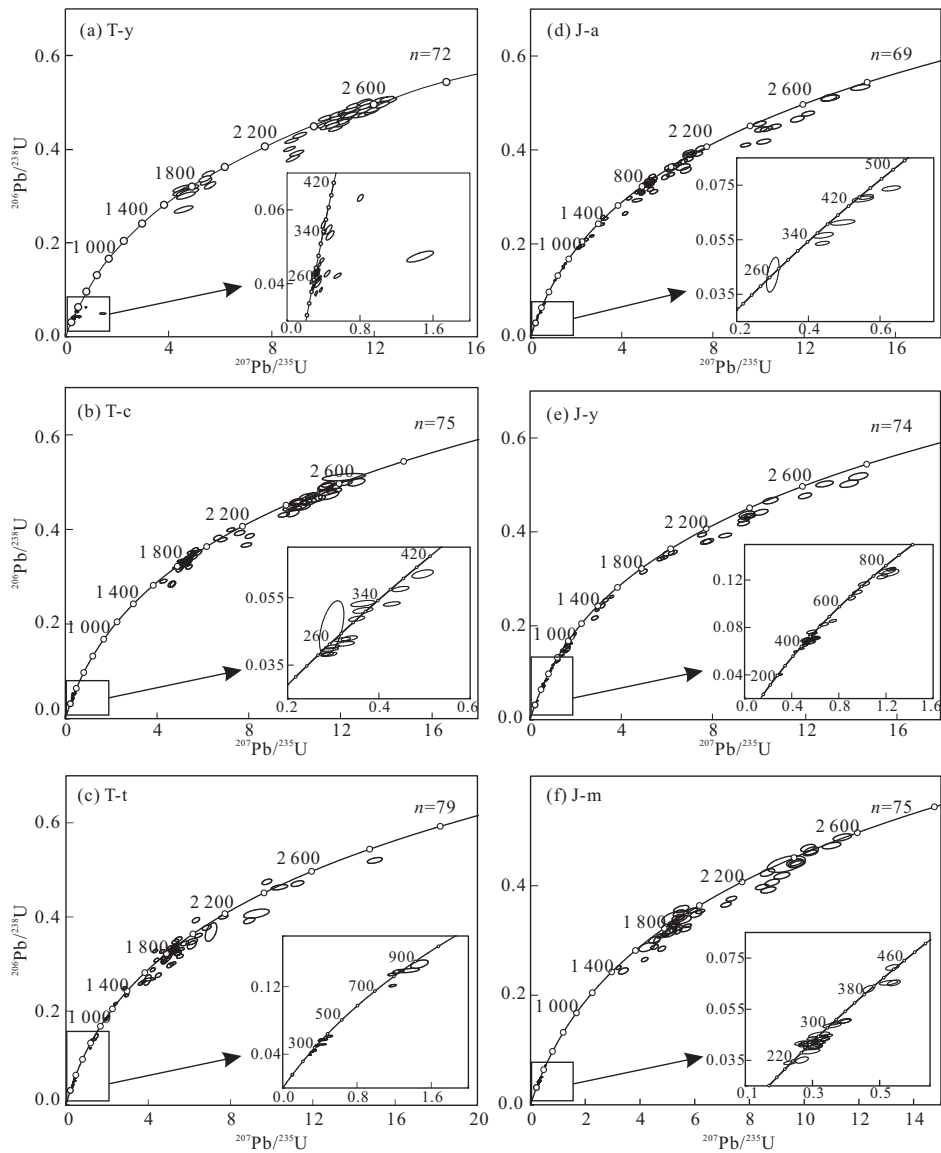


图 4 锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of detrital zircon

85 颗锆石中有 72 颗锆石的不谐和度 < 10%，对这 72 颗锆石进行 U-Pb 年龄统计计算和年龄分布直方图绘制(图 5a), 获得的锆石年龄大致可以分为 2 个年龄段: 2 655~1 703 Ma 和 351~245 Ma.

椿树腰组砂岩样品中碎屑锆石颗粒同样表现为次圆状到圆状, 少量次棱角状和自形颗粒, 但圆状颗粒所占的比例明显下降, 颗粒大小在 30~150 μm 之间, 多数集中在 100 μm, Th/U 值的范围在 0.03~1.56 之间, 其中有 3 颗 < 0.1. 85 颗锆石中有 75 颗锆石的不谐和度 < 10%, 对这 75 颗锆石进行 U-Pb 年龄统计计算和年龄分布直方图绘制(图 5b), 获得的锆石年龄大致可以分为 2 个年龄段: 2 683~1 740 Ma 和 388~241 Ma. 该组锆石年龄特征与油

房庄组非常相似, 不同的是 1 800~1 900 Ma 的年龄颗粒较多.

谭庄组碎屑砂岩样品中的锆石颗粒表现为次圆状到次棱角状, 还有一些晶体碎片, 该样品中锆石颗粒较小, 大小在 30~100 μm 之间, 多数集中在 50 μm, Th/U 值的范围在 0.09~2.35 之间, 其中只有 2 颗 < 0.1. 86 颗锆石中有 79 颗锆石的不谐和度 < 10%, 对这 79 颗锆石进行 U-Pb 年龄统计计算和年龄分布直方图绘制(图 5c), 获得的锆石年龄大致可以分为 4 个年龄段: 2 890~1 658 Ma、1 539~1 120 Ma、882~738 Ma 和 383~248 Ma.

鞍腰组碎屑砂岩样品中的锆石颗粒多呈碎片状, 表明它们为近源搬运, 颗粒大小在 30~150 μm

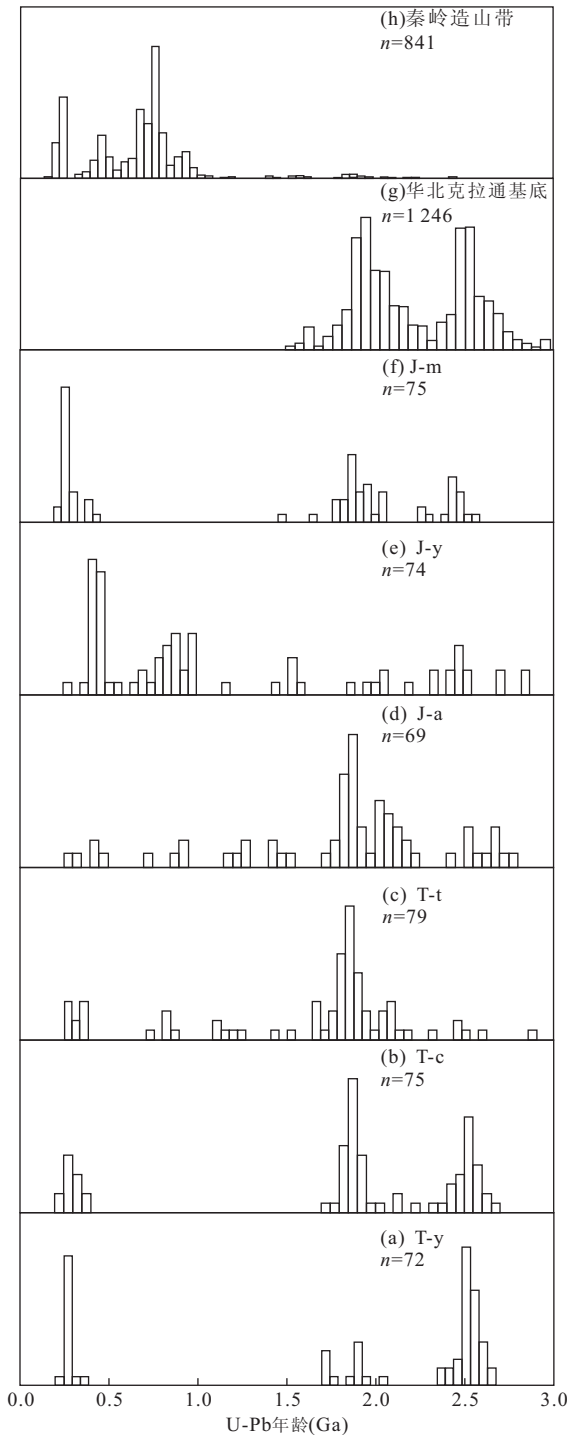


图 5 秦岭造山带、华北克拉通基底及济源盆地碎屑锆石 U-Pb 年龄分布直方图

Fig. 5 Relative probability density diagram of ages for the Qinling orogen, North China craton and analyzed samples
 华北数据来源: Darby and Gehrels, 2006; Kröner *et al.*, 2006; Wan *et al.*, 2006a, 2006b; Xia *et al.*, 2006a, 2006b; Lu *et al.*, 2008; Yin *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2008. 秦岭数据来源: Ratschbacher *et al.*, 2003; 杨经绥等, 2003; 王涛等, 2005; Chen *et al.*, 2006a, 陈强等, 2006b; 凌文黎等, 2007; 刘军锋等, 2007, 2009; 闫全人等, 2007, 2008; 闫臻等, 2009; Jiang *et al.*, 2010; Qin *et al.*, 2010

之间,多数集中在 $80 \mu\text{m}$, Th/U 值的范围在 $0.1 \sim 1.4$ 之间. 85 颗锆石中有 69 颗锆石的不谐和度 $< 10\%$, 对这 69 颗锆石进行 U-Pb 年龄统计计算和年龄分布直方图绘制(图 5d), 获得的锆石年龄大致可以分为 5 个年龄段: $2\ 890 \sim 1\ 658 \text{ Ma}$ 、 $1\ 539 \sim 1\ 120 \text{ Ma}$ 、 $882 \sim 738 \text{ Ma}$ 、 $436 \sim 459 \text{ Ma}$ 和 $383 \sim 248 \text{ Ma}$.

杨树庄组碎屑砂岩样品中的锆石颗粒多呈棱角状, 颗粒大小在 $40 \sim 200 \mu\text{m}$ 之间, Th/U 值的范围在 $0.02 \sim 1.84$ 之间, 其中有 4 颗 < 0.1 . 85 颗锆石中有 74 颗锆石的不谐和度 $< 10\%$, 对这 74 颗锆石进行 U-Pb 年龄统计计算和年龄分布直方图绘制(图 5e), 获得的锆石年龄特征与鞍腰组非常相似, 但 $406 \sim 529 \text{ Ma}$ 、 $643 \sim 783 \text{ Ma}$ 和 $807 \sim 987 \text{ Ma}$ 成为优势年龄段.

马四组碎屑砂岩样品中的锆石颗粒多呈圆状与次圆状, 颗粒较大, 大小在 $100 \sim 300 \mu\text{m}$, Th/U 值的范围在 $0.17 \sim 1.68$ 之间. 85 颗锆石中有 75 颗锆石的不谐和度 $< 10\%$, 对这 75 颗锆石进行 U-Pb 年龄统计计算和年龄分布直方图绘制(图 5f), 获得的锆石年龄大致可以分为 4 个年龄段: $2\ 540 \sim 1\ 655 \text{ Ma}$ 、 $444 \sim 408 \text{ Ma}$ 、 $293 \sim 243 \text{ Ma}$ 和两颗 $\sim 220 \text{ Ma}$ 的锆石颗粒.

4 讨论

4.1 碎屑锆石的物源分析

济源盆地 6 个碎屑锆石样品产生了 7 个年龄段: $2.9 \sim 1.7 \text{ Ga}$ 、 $1.6 \sim 1.0 \text{ Ga}$ 、 $1.0 \sim 0.8 \text{ Ga}$ 、 $800 \sim 650 \text{ Ma}$ 、 $520 \sim 380 \text{ Ma}$ 、 $350 \sim 245 \text{ Ma}$ 和 $\sim 220 \text{ Ma}$. 这些年龄段能够很好的与华北克拉通基底以及秦岭造山带构造热事件年龄进行对比(图 5).

$2.9 \sim 1.7 \text{ Ga}$ 存在两个峰值年龄, 一个是 2.5 Ga , 在华北克拉通广泛存在, 是华北地壳生长的一次快速增生期, 有大量的岩浆活动发生, 可作为华北太古代末克拉通化作用结束的重要标志(Darby and Gehrels, 2006; Zhao *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2010). 另一个峰值年龄为 $\sim 1.85 \text{ Ga}$, 它记录了华北西部陆块与东部陆块沿中部带发生碰撞拼合形成华北克拉通统一基底的造山过程(Wan *et al.*, 2006a, 2006b; Lu *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2008). 因此, 这些晚太古代—中元古代碎屑锆石颗粒主要来自于华北克拉通基底.

中元古代到早三叠世年龄记录了秦岭造山带多

期聚合与分裂事件. 杨经绥等(2003)在北秦岭官坡发现含金刚石片麻岩和榴辉岩中锆石核部年龄为1 159~1 559 Ma,代表了具岩浆结构的锆石原岩年龄;王涛等(2005)认为秦岭杂岩北侧的宽坪群原岩可能形成于1.6~1.0 Ga的裂谷—小洋盆环境. 1.0~0.8 Ga代表了早新元古代扬子板块与华北板块陆—陆汇聚事件(Ratschbacher *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2006a; 刘军锋等, 2009). 800~650 Ma记录了与Rodinia超大陆裂解过程相伴的岩浆事件,南秦岭~680 Ma的拉斑质—碱性玄武质岩浆岩组合可能指示了扬子克拉通与Rodinia超大陆的完全裂解(Chen *et al.*, 2006a; 凌文黎等, 2007, 2010). 520~380 Ma广泛存在于秦岭造山带中,代表了晚泛非期、加里东期、早海西期构造热事件,中秦岭板块与华北板块沿商丹缝合带碰撞拼接发生的基性岩浆侵入活动和地壳增生事件(陈强等, 2006b; 刘军锋等, 2007, 2009; 闫全人等, 2007; 闫臻等, 2009). 在勉略缝合带附近的一系列蛇绿岩同位素年龄为350~245 Ma,代表了中秦岭与扬子板块之间残留的古特提斯洋盆(Ratschbacher *et al.*, 2003; 闫全人等, 2008; Jiang *et al.*, 2010),在商丹缝合带两侧,存在同汇聚花岗岩,其年龄为330~280 Ma和260~220 Ma(张宗清等, 1994; 张宏飞等, 1995; 闫全人等, 2008). ~220 Ma指示了晚三叠世扬子板块与中秦岭以及华北板块沿勉略缝合带汇聚造山作用(Zhang *et al.*, 2009; Jiang *et al.*, 2010; Qin *et al.*, 2010),伴随着岩浆事件,产生大量的花岗质侵入体. 因此,中元古代到早三叠世的碎屑锆石颗粒主要来自于秦岭造山带内部.

显然,除了华北克拉通基底外,秦岭造山带是济源盆地中三叠世—中侏罗世另一个重要的物源区,这说明了位于秦岭造山带与济源盆地之间的晚古生代伏牛山隆起(冯祖杰等, 1997),可能已经存在并作为华北克拉通基底向济源盆地提供物源,却没有成为阻碍秦岭造山带物源的有效屏障(图6).

4.2 秦岭造山带去顶样式

在印支期之前,秦岭造山带经历了长期的构造演化,特别是加里东期的一次造山作用,使得秦岭造山带各个时期的地层混杂在一起,本文将这一混杂的地层归为秦岭造山带较老的基底,它包括的年龄段有:1.6~1.0 Ga、1.0~0.8 Ga、800~650 Ma和520~380 Ma. 海西期是秦岭造山带一个相对平静的时期,这一时期形成的地层可以看作是秦岭造山带年轻的盖层,其代表的年龄段为:350~245 Ma.

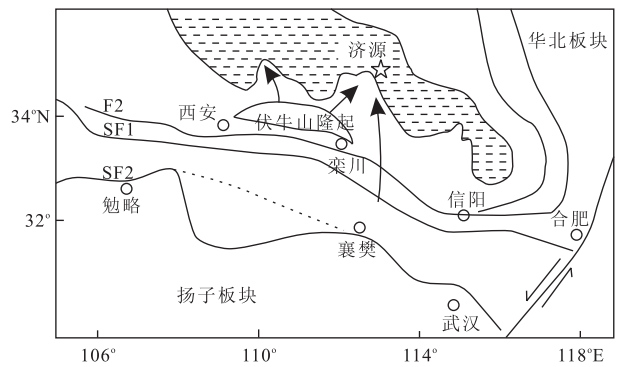


图6 济源盆地晚三叠世物源示意

Fig. 6 Provenance of the Late Triassic detrital sediments in the Jiyuan basin

F2. 栾川断裂; SF1. 商丹缝合带; SF2. 勉略缝合带

印支期秦岭造山带全面造山,形成了大量的深成岩体,特别是~220 Ma的岩浆作用.

~220 Ma仅有两颗出现在马凹组碎屑锆石样品中,其Th/U值为0.4和0.6,指示了其岩浆成因的特征,说明晚三叠世形成的深成岩体在中侏罗世已经抬升到地表遭受剥蚀.

350~245 Ma碎屑锆石颗粒存在于所有测试样品中,然而各个样品中的百分比含量却不一样,油房庄组:18/85;椿树腰组:13/85;谭庄组:9/86;鞍腰组:3/85;杨树庄组:1/85;马凹组:22/85(图7). 这组数据说明,从中三叠世晚期到中侏罗世早期,秦岭造山带年轻的盖层逐渐失去它作为济源盆地碎屑物源区的优势,并在中侏罗世早期降至最低,虽然在中侏罗世晚期的碎屑锆石样品中,这段年龄的百分比含量突然增加,但是它很有可能与克拉通内部沉积物再循环有关.

1.6~1.0 Ga、1.0~0.8 Ga、800~650 Ma和

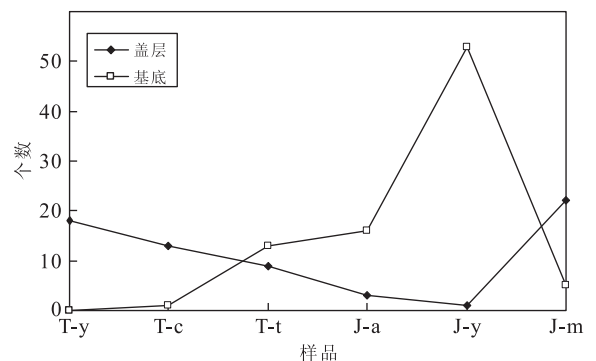


图7 样品中代表秦岭造山带年轻的盖层与较老的基底年龄碎屑锆石颗粒个数

Fig. 7 Grain number of detrital-zircon from covers and old basements of Qinling orogen

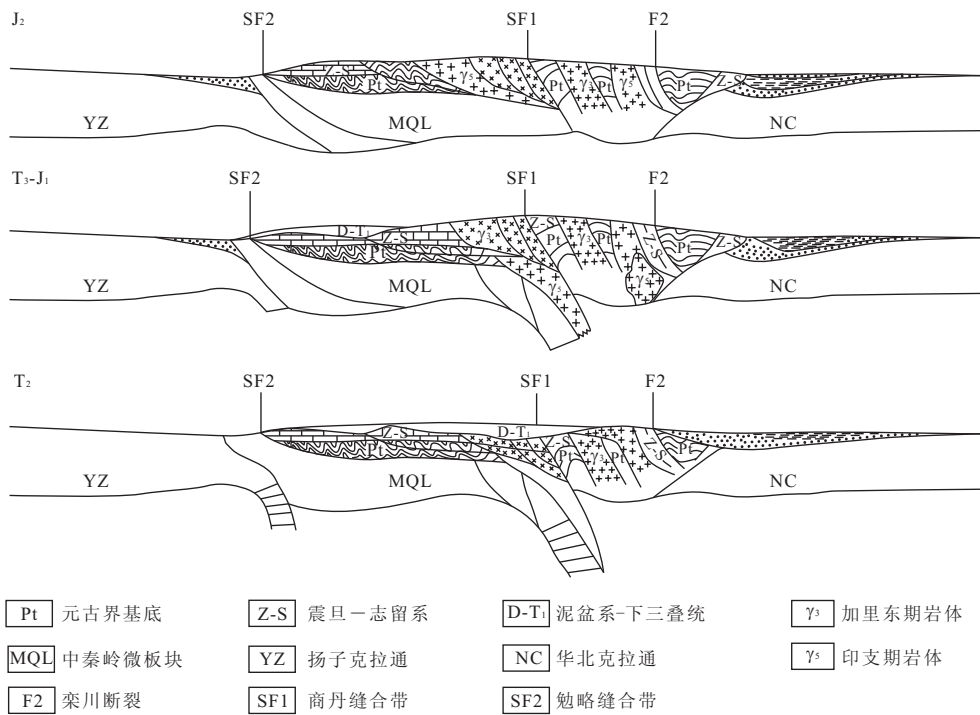


图 8 秦岭造山带中三叠世—中侏罗世去顶模式

Fig. 8 Schematic unroofing process of the Qinling orogen during the middle Triassic to middle Jurassic

520~380 Ma 总的碎屑锆石颗粒百分比含量,与 350~245 Ma 相比,呈现出相反的趋势,表现为:油房庄组:0/85;椿树腰组:1/85;谭庄组:13/86;鞍腰组:16/85;杨树庄组:53/85;马凹组:5/85(图 7)。可以看出,秦岭造山带较老的基底对济源盆地沉积物的影响逐步增强,并在中侏罗世早期达到最大值。

通过对比发现,在中三叠世晚期到晚三叠世早期的地层中,保存有中古生代到早三叠世的碎屑锆石颗粒,基本上没有中元古代到早古生代的碎屑锆石颗粒,说明此时来自秦岭造山带的物源以年轻的盖层为主。在晚三叠世晚期到早侏罗世地层中,出现了中元古代到早古生代的碎屑锆石颗粒,但仍然保存有少量中古生代到早三叠世的碎屑锆石颗粒,说明此时秦岭造山带成为一个年轻的盖层与较老的基底的混合物源区。到了中侏罗世早期,出现大量中元古代到早古生代的碎屑锆石颗粒,而基本上没有中古生代到早三叠世的碎屑锆石颗粒,说明秦岭造山带较老的基底已经成为济源盆地的主要物源区。随着地层年龄的逐渐变新,来自秦岭造山带的物源由年轻的盖层,到混合源区,到较老的基底,再到晚三叠世深成岩体,向我们展示一个明显的造山带去顶过程(图 8)。

与大别造山带北部边缘的合肥盆地同时期碎屑锆石年龄数据(Li *et al.*, 2005)进行比较发现

(图 9),合肥盆地早侏罗世地层中含有较多的早古生代碎屑锆石颗粒,说明在早侏罗世,大别造山带较老的基底已经成为合肥盆地主要的物源区,同时少量~220 Ma 颗粒显示了高压—超高压变质岩已经被抬升到地表了,而济源盆地到了中侏罗世时,才显示出类似的特征。这些表明具有内在联系的秦岭—大别造山带,其东部去顶强度要强于西部;晚三叠世高压—超高压变质岩或深成岩体返回地表的时间也存在东早西晚的特征。此外,将位于大别造山带东南部边缘的黄石盆地同时期碎屑锆石年龄数据(Yang *et al.*, 2010)与济源盆地和合肥盆地进行比较发现(图 9),黄石盆地与济源盆地具有相似的碎屑锆石年龄特征,而不同于合肥盆地,这些似乎说明,秦岭—大别造山带剥蚀去顶的过程也存在南北向的差异,表现出北强南弱,北早南晚的特征。但是,Wang *et al.* (2009)的研究表明,位于大别造山带南部的江汉盆地,在早侏罗世沉积地层中,就含有高压—超高压岩体的年龄特征,那么同样是大别造山带南缘的两个相邻盆地在早侏罗世却表现出不一样的碎屑锆石年龄特征,其具体原因需要进一步研究,但有个可能性值得注意,那就是从大别造山带流经两个盆地的水系存在差别,前人对松潘—甘孜晚三叠世复理石碎屑锆石年代学研究表明(Bruguier *et al.*, 1997; Weislogel *et al.*, 2006; Enkelmann *et al.*,

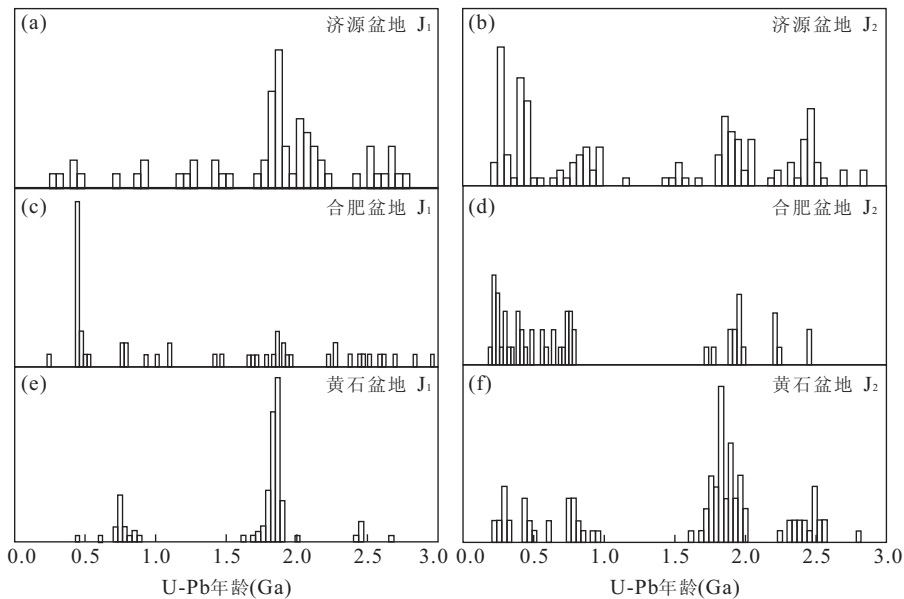


图9 济源盆地、合肥盆地、黄石盆地侏罗纪碎屑锆石年龄对比(合肥盆地数据来源:Li *et al.*, 2005;黄石盆地数据来源:Yang *et al.*, 2010)
Fig. 9 Comparison of detrital zircon ages from the Jiyuan basin in the Jurassic with counterparts from the Hefei and Huangshi basins

2007),此时秦岭—大别造山带已经向该盆地提供物源,也就是说,晚三叠世已经存在一条向西的水系,由大别造山带出发到达松潘—甘孜盆地,途经江汉盆地,并带来了大量造山带隆升剥蚀的信息,然而,这条水系并不经过位于大别造山带东南角上的黄石盆地,或者影响甚微,这就造成了两个盆地在物质记录上的差异性。

5 结论

华北克拉通基底与秦岭造山带是济源盆地中三叠世—中侏罗世沉积物的两个主要源区,晚古生代伏牛山隆起没有有效的阻挡秦岭造山带的物源。随着地层年龄由老到新的变化,碎屑锆石年龄表现出由新到老的趋势,物源由年轻的盖层,到较老的基底,再到晚三叠世深成岩体,展示了一个完整的造山带去顶过程。与同时期的合肥盆地、黄石盆地碎屑锆石年龄进行比较发现,早侏罗世时,秦岭—大别造山带去顶强度具有东强西弱的特征;东部高压—超高压变质岩或晚三叠世深成岩体的暴露可能在早侏罗世,而西部则到了中侏罗世,另外秦岭—大别造山带隆升剥蚀的过程是否存在南北向的差异,仍需做进一步工作。

References

Bruguier, O., Lancelot, J. R., Malavielle, J., 1997. U-Pb dating

on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flych (Central China): provenance and tectonic correlations. *Earth and Planetary Science Letters*, 152: 217—231. doi: 10.1016/S0012-821X(97)00138-6

Buatois, L. A., Mangano, M. G., Wu, X. T., et al., 1996. Trace fossils from Jurassic lacustrine turbidites of the anyao formation (Central China) and their environmental and evolutionary significance. *Ichnos*, 4(4): 287—303. doi:10.1080/10420949609380137

Chen, Z. H., Lu, S. N., Li, H. K., et al., 2006a. Constraining the role of the Qinling orogen in the assembly and break-up of Rodinia: tectonic implications for Neoproterozoic granite occurrences. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28: 99—115. doi: 10.1016/j.jseaes.2005.03.011

Chen, Q., Chen, N. S., Wang, Q. Y., et al., 2006b. Electron microprobe chemical ages of monazite from Qinling group in the Qinling orogen: evidence for Late Pan-African metamorphism? *Chinese Science Bulletin*, 51(21): 2645—2650. doi: 10.1007/s11434-006-2152-7

Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., et al., 2003. Al-tas of zircon textures. *Rev. Mineral. Geochem.*, 53(1): 469—500. doi: 10.2113/0530469

Darby, B. J., Gehrels, G., 2006. Detrital zircon reference for the North China block. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26: 637—648. doi: 10.1016/j.jseaes.2004.12.005

Enkelmann, E., Weislogel, A., Ratschbacher, L., et al., 2007. How was the Triassic Songpan-Ganzi basin filled? A provenance study. *Tectonics*, 26. doi: 10.1029/2006TC002078

- Feng, Z. J., Zhou, Q., Wang, J., et al., 1997. The changes of Mesozoic Paleogeographic environments in the southwest of Henan. *Henan Geology*, 15(4): 270—277 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y. H., Jin, G. D., Liao, S. Y., et al., 2010. Geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the origin of Late Triassic granitoids from the Qinling orogen, central China: implications for a continental arc to continent-continent collision. *Lithos*, 117: 183—197. doi: 10.1016/j.lithos.2010.02.014
- Kröner, A., Wilde, S. A., Zhao, G. C., et al., 2006. Zircon geochronology and metamorphic evolution of mafic dykes in the Hengshan complex of northern China: evidence for Late Palaeoproterozoic extension and subsequent high-pressure metamorphism in the North China Craton. *Precambrian Research*, 146: 45—67. doi: 10.1016/j.precamres.2006.01.008
- Li, R. W., Wan, Y. S., Cheng, Z. Y., et al., 2005. Provenance of Jurassic sediments in the Hefei basin, East-Central China and the contribution of high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Dabie Shan. *Earth and Planetary Science Letters*, 231: 279—294. doi: 10.1016/j.epsl.2004.12.021
- Li, T. S., Zhai, M. G., Peng, P., et al., 2010. Ca. 2.5 billion year old coeval ultramafic-mafic and syenitic dykes in eastern Hebei: implications for cratonization of the North China Craton. *Precambrian Research*, 180: 143—155. doi: 10.1016/j.precamres.2010.04.001
- Ling, W. L., Duan, R. C., Liu, X. M., et al., 2010. U-Pb dating of detrital zircons from the Wudangshan Group in the South Qinling and its geological significance. *Chinese Sci. Bull.*, 55(22): 2440—2448. doi: 10.1007/s11434-010-0095-5
- Ling, W. L., Ren, B. F., Duan, R. C., et al., 2008. Timing of the Wudangshan, Yaolinghe volcanic sequences and mafic sills in South Qinling: U-Pb zircon geochronology and tectonic implication. *Chinese Sci. Bull.*, 53(14): 2192—2199. doi: 10.1007/s11434-008-0269-6
- Liu, J. F., Sun, Y., Sun, W. D., 2009. LA-ICP-MS zircon dating from the Lajimiao mafic complex in the Qinling orogen belt. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 320—330 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. F., Sun, Y., Zhang, H., 2007. Zircon age of Luohansi group in the northern Qinling and their geological significance. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 37(6): 907—911 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. F., Zhang, G. W., 2008. Evolution and geodynamics of basin/mountain systems in East Qinling-Dabieshan and its adjacent regions, China. *Geological Bulletin of China*, 27(12): 1943—1960 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. F., Zhang, G. W., Ritts, B. D., et al., 2010. Tracing exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure metamorphic complex using the sedimentary record in the Hefei basin, China. *Geological Society of America Bulletin*, 122(1/2): 198—218. doi: 10.1130/B26524.1
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chem. Geol.*, 257: 34—43. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.08.004
- Long, X. P., Sun, M., Yuan, C., et al., 2007. Detrital zircon age and Hf isotopic studies for metasedimentary rocks from the Chinese Altai: implications for the Early Paleozoic tectonic evolution of the Central Asian Orogenic belt. *Tectonics*, 26. doi: 10.1029/2007TC002128
- Lu, S. N., Zhao, G. C., Wang, H. C., et al., 2008. Precambrian metamorphic basement and sedimentary cover of the North China Craton: a review. *Precambrian Research*, 160: 77—93. doi: 10.1016/j.precamres.2007.04.017
- Ludwig, K. R., 2003. User's manual for isoplot 3.0: a geochronological toolkit for microsoft excel. *Berkeley Geochronology Center, Special Publication*, 4: 1—71.
- Mángano, M. G., Buatois, L. A., Wu, X. T., et al., 1994. Sedimentary facies, depositional processes and climatic controls in a Triassic lake, Tanzhuang Formation, western Henan Province, China. *Journal of Paleolimnology*, 11: 41—65. doi: 10.1007/BF00683270
- Meng, Q. R., Zhang, G. W., 2000. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, Central China. *Tectonophysics*, 323: 183—196. doi: 10.1016/S0040-1951(00)00106-2
- Morton, A., Fanning, M., Milner, P., 2008. Provenance characteristics of Scandinavian basement terrains: constraints from detrital zircon ages in modern river sediments. *Sedimentary Geology*, 210: 61—85. doi: 10.1016/j.sedgeo.2008.07.001
- Qi, Y. A., Hu, B., Zhang, G. C., et al., 2007. Ichnofabrics and their environmental interpretation from middle Triassic Youfangzhuang Formation, Jiyuan region, Western Henan Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(3): 372—379 (in Chinese with English abstract).
- Qin, J. F., Lai, S. C., Grapes, R., et al., 2010. Origin of Late Triassic high-Mg adakitic granitoid rocks from the Dongjiangkou area, Qinling orogen, central China: implications for subduction of continental crust. *Lithos*,

- 120;347—367. doi: 10.1016/j.lithos.2010.08.022
- Ratschbacher, L., Hacker, B. R., Calvert, A., et al., 2003. Tectonics of the Qinling (Central China): tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history. *Tectonophysics*, 366: 1—53. doi: 10.1016/S0040—1951(03)00053—2
- Sun, W. D., Li, S. G., Sun, Y., et al., 2002. Mid-paleozoic collision in the north Qinling: Sm-Nd, Rb-Sr and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and their tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21: 69—76. doi: 10.1016/S1367—9120(02)00010—X
- Wan, Y. S., Wilde, S. A., Liu, D. Y., et al., 2006a. Further evidence for 1.85 Ga metamorphism in the Central Zone of the North China Craton: SHRIMP U-Pb dating of zircon from metamorphic rocks in the Lushan area, Henan Province. *Gondwana Research*, 9: 189—197. doi: 10.1016/j.gr.2005.06.010
- Wan, Y. S., Song, B., Liu, D. Y., et al., 2006b. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Palaeoproterozoic metasedimentary rocks in the North China craton: evidence for a major Late Palaeoproterozoic tectonothermal event. *Precambrian Research*, 149: 249—271. doi: 10.1016/j.precamres.2006.06.006
- Wang, T., Zhang, Z. Q., Wang, X. X., et al., 2005. 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. *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 220—231 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. J., Zhao, G. C., Xia, X. P., et al., 2009. Early Mesozoic unroofing pattern of the Dabie Mountains (China): Constraints from the U-Pb detrital zircon geochronology and Si-in-white mica analysis of synorogenic sediments in the Jiangnan basin. *Chemical Geology*, 266: 231—241. doi: 10.1016/j.chemgeo.2009.06.012
- Weislogel, A. L., Graham, S. A., Chang, E. Z., et al., 2006. Detrital zircon provenance of the Late Triassic Songpan-Ganzi complex: Sedimentary record of collision of the North and South China blocks. *Geological Society of America*, 34(2): 97—100. doi: 10.1130/G21929
- Wu, Z. P., Hou, X. B., Li, W., 2007. Discussion on Mesozoic basin patterns and evolution in the eastern North China block. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(4): 385—399 (in Chinese with English abstract).
- Xia, X. P., Sun, M., Zhao, G. C., et al., 2006a. LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Jining complex, North China craton and its tectonic significance. *Precambrian Research*, 144: 199—212. doi: 10.1016/j.precamres.2005.11.004
- Xia, X. P., Sun, M., Zhao, G. C., et al., 2006b. U-Pb and Hf isotopic study of detrital zircons from the Wulashan khondalites: constraints on the evolution of the Ordos Terrane, western block of the North China Craton. *Earth and Planetary Science Letters*, 241: 581—593. doi: 10.1016/j.epsl.2005.11.024
- Xu, J. F., Zhang, B. R., Han, Y. W., 2008. Geochemistry of the Mian-Lue ophiolites in the Qinling Mountains, Central China: constraints on the evolution of the Qinling orogenic belt and collision of the North and South China Cratons. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 336—347. doi: 10.1016/j.jseaes.2007.11.004
- Xu, Y. J., Du, Y. S., Cawood, P. A., et al., 2010. Detrital zircon record of continental collision: assembly of the Qilian orogen, China. *Sedimentary Geology*, 230: 35—45. doi: 10.1016/j.sedgeo.2010.06.020
- Yan, Q. R., Chen, J. L., Wang, Z. Q., et al., 2008a. Zircon U-Pb and geochemical analyses for leucocratic intrusive rocks in pillow lavas in the Danfeng group, North Qinling Mountains, China. *Science in China (Ser. D): Earth Sciences*, 51(2): 249—262. doi: 10.1007/s11430—007—0144—3
- Yan, Q. R., Wang, Z. Q., Yan, Z., et al., 2008b. Origin, age and tectonic implications of metamafic rocks in the Kuanping group of the Qinling orogenic belt, China. *Geological Bulletin of China*, 27(9): 1475—1492 (in Chinese with English abstract).
- Yan, Z., Wang, Z. Q., Chen, J. L., et al., 2009. Geochemistry and SHRIMP zircon U-Pb dating of amphibolites from the Danfeng group in the Wuguan area, North Qinling Terrane and their tectonic significance. *Acta Geologica Sinica*, 83(11): 1633—1646 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. H., Du, Y. S., Cawood, P. A., et al., 2009. Silurian collisional suturing onto the southern margin of the North China craton: detrital zircon geochronology constraints from the Qilian orogen. *Sedimentary Geology*, 220: 95—104. doi: 10.1016/j.sedgeo.2009.07.001
- Yang, J. H., Cawood, P. A., Du, Y. S., 2010. Detrital record of mountain building: provenance of Jurassic foreland basin to the Dabie Mountains. *Tectonics*, 29: TC4011. doi: 10.1029/2009TC002600
- Yang, J. S., Liu, F. L., Wu, C. L., et al., 2003. Two ultra-high pressure metamorphic events recognized in the central orogenic belt of China: evidence from the U-Pb dating of coesite-bearing zircons. *Acta Geologica Sinica*, 77(4): 463—477 (in Chinese with English ab-

stract).

Yin, C. Q., Zhao, G. C., Sun, M., et al., 2009. LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of the Qianlishan complex: constrains on the evolution of the Khondalite belt in the western block of the North China craton. *Precambrian Research*, 174: 78–94. doi: 10.1016/j.precamres.2009.06.008

Zhang, G. C., Zeng, Y. F., Buatois, L. A., et al., 2005. Lacustrine deposits and associated trace fossils in the upper part of the Tanzhuang Formation (T_{2-3}), Jiuyuan basin, Henan Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(1): 100–107 (in Chinese with English abstract).

Zhang, H. F., Zhao, Z. D., Luo, T. C., et al., 1995. Crustal growth and lower crust nature of North Qinling: study of Sm-Nd isotopic model ages. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2): 160–170 (in Chinese with English abstract).

Zhang, Z. Q., Liu, D. Y., Fu, G. M., 1994. Isotopic geochronology of metamorphic strata in North Qinling, China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Zhao, G. C., Wilde, S. A., Sun, M., et al., 2008. SHRIMP U-Pb zircon ages of granitoid rocks in the Lüliang Complex: implications for the accretion and evolution of the Trans-North China orogen. *Precambrian Research*, 160: 213–226. doi: 10.1016/j.precamres.2007.07.004

Zhen, J. P., Griffin, W. L., O'Reilly, S. Y., et al., 2006. Zircons in mantle xenoliths record the Triassic Yangtze-North China continental collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 247: 130–142. doi: 10.1016/j.epsl.2006.05.011

Zong, K. Q., Liu, Y. S., Gao, C. G., et al., 2010. In situ U-Pb dating and trace element analysis of zircons in thin sections of eclogite: refining constraints on the ultra-high pressure metamorphism of the Sulu terrane, China. *Chemical Geology*, 269: 237–251. doi: 10.1016/j.chemgeo.2009.09.021

附中文参考文献

陈强, 陈能松, 王勤燕, 等, 2006b. 秦岭造山带秦岭岩群独居石电子探针化学年龄: 晚泛非期变质证据? 科学通报, 51(21): 2645–2650.

冯祖杰, 周旗, 王军, 等, 1997. 豫西南中生代古地理环境变迁. 河南地质, 15(4): 270–277.

凌文黎, 段瑞春, 柳小明, 等, 2010. 南秦岭武当山群碎屑锆石

U-Pb 年代学及其地质意义. 科学通报, 55(12): 1153–1161.

凌文黎, 任邦方, 段瑞春, 等, 2007. 南秦岭武当山群、耀岭河群及基性侵入岩群锆石 U-Pb 同位素年代学及地质意义. 科学通报, 52(12): 1445–1456.

刘军锋, 孙勇, 张红, 2007. 北秦岭罗汉寺岩群锆石年龄及地质意义. 西北大学学报(自然科学版), 37(6): 907–911.

刘军锋, 孙勇, 孙卫东, 2009. 秦岭拉鸡庙镁铁质岩体锆石 LA-ICP-MS 年代学研究. 岩石学报, 25(2): 320–330.

刘少峰, 张国伟, 2008. 东秦岭一大别山及邻区盆-山系统演化与动力学. 地质通报, 27(12): 1943–1960.

齐永安, 胡斌, 张国成, 等, 2007. 豫西济源地区中三叠世油房庄组遗迹组构及其环境解释. 沉积学报, 25(3): 372–379.

王涛, 张宗清, 王晓霞, 等, 2005. 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. 地质学报, 79(2): 220–231.

吴智平, 侯旭波, 李伟, 2007. 华北东部地区中生代盆地格局及演化过程探讨. 大地构造与成矿学, 31(4): 385–399.

闫全人, 陈隽璐, 王宗起, 等, 2007. 北秦岭小王涧枕状熔岩中淡色侵入岩的地球化学特征、SHRIMP 年龄及地质意义. 中国科学(D辑), 37(10): 1301–1313.

闫全人, 王宗起, 闫臻, 等, 2008b. 秦岭造山带宽坪群中的变铁镁质岩的成因、时代及其构造意义. 地质通报, 27(9): 1475–1492.

闫臻, 王宗起, 陈隽璐, 等, 2009. 北秦岭武关地区丹凤群斜长角闪岩地球化学特征、锆石 SHRIMP 测年及其构造意义. 地质学报, 83(11): 1633–1646.

杨经绥, 刘福来, 吴才来, 等, 2003. 中央碰撞造山带中两期超高压变质作用: 来自含柯石英锆石的定年证据. 地质学报, 77(4): 463–477.

张国成, 曾玉凤, Buatois, L. A., 等, 2005. 济源盆地谭庄组 (T_{2-3}) 上段湖泊沉积及遗迹化石特征. 沉积学报, 23(1): 100–107.

张宏飞, 赵志丹, 骆庭川, 等, 1995. 从岩石 Sm-Nd 同位素模式年龄论北秦岭地壳增生和地壳深部性质. 岩石学报, 11(2): 160–170.

张宗清, 刘敦一, 付国民, 1994. 北秦岭变质地层同位素年代学. 北京: 地质出版社.