

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.591>



南秦岭北缘淅川地区泥盆纪地层的物源及构造背景

徐大良, 彭练红, 刘浩, 邓新, 魏运许, 张维峰

中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北武汉 430205

摘要:造山带内广泛发育的泥盆纪地层是揭示秦岭造山带古生代中期洋陆演化、地块构造属性和大地构造背景的良好载体。对南秦岭内部淅川地区泥盆系砂岩进行了岩石地球化学和锆石 U-Pb 定年,结果显示泥盆系碎屑岩具有中等的成分成熟度及一定程度的沉积再旋回特征,源区物质成分以上地壳长英质岩石为主;碎屑锆石的年龄区间主要集中在新元古代晚期—古生代(0.40~0.63 Ga)、新元古代(0.7~0.9 Ga)和中元古代(1.0~1.6 Ga)三个区间,并存在少量古元古代和中—晚太古代年龄。综合分析,淅川地区泥盆系主要形成于被动大陆边缘环境,其物源可能主要为南秦岭自身隆升的基底和构造高地,并未接受来自于北秦岭的物质,沿商丹洋的俯冲增生事件可能未影响到南秦岭内部。

关键词:南秦岭;碎屑锆石年代学;泥盆系;物源分析;大地构造属性;地球化学。

中图分类号: P547

文章编号: 1000-2383(2018)07-2234-15

收稿日期: 2017-10-31

Provenance and Tectonic Settings of Devonian Sedimentary Strata in Xichuan Area, Northern Margin of South Qinling Block

Xu Daliang, Peng Lianhong, Liu Hao, Deng Xin, Wei Yunxu, Zhang Weifeng

Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, China

Abstract: The Devonian sedimentary strata, widely developed in the Qinling orogenic belt, are good vehicles to reveal the ocean-continent transition, tectonic attributes and tectonic settings of the Qinling orogenic belt in the Middle Paleozoic. This study presents new geochemical and zircon U-Pb isotopic data for the Devonian sedimentary rocks in Xichuan area. Geochemical data show that the Devonian clastic rocks are characterized by moderate compositional maturity, and a higher portion of sediment recycling, and are likely to have been derived predominantly from felsic igneous rocks within upper-continental-crust. The detrital zircon ages are mainly concentrated in Late Neoproterozoic-Paleozoic (0.40–0.63 Ga), Neoproterozoic (0.7–0.9 Ga) and Mesoproterozoic (1.0–1.6 Ga), with a small amount of ages in Paleoproterozoic and Middle-Late Archean. Comprehensive analysis suggests that the Devonian basin in Xichuan area has been formed in passive continental margin, and its provenance may be mainly the uplift basement and tectonic highland of the South Qinling, not from the North Qinling. The subduction accretion event along the Shangdan Ocean probably did not affect the interior of South Qinling.

Key words: South Qinling; detrital zircon geochronology; Devonian; provenance analysis; tectonic affinity; geochemistry.

秦岭一大别造山带是横亘于华北和扬子板块之间的巨型复合造山带,位于古特提斯构造域的最北部,是认识中国陆区构造和古特提斯洋演化的关键地区(张国伟等,2001)。古生代中期是秦岭一大别造

山带构造与古地理格局的重大构造变革期,经历了北部古特提斯商丹洋的俯冲增生和南部古特提斯勉略洋的打开(任纪舜等,1980; Yin and Huang, 1996; 张国伟等,2001; Wu and Zheng, 2013; Dong

基金项目:中国地质调查局项目(Nos.121201009000150013,12120113067900)。

作者简介:徐大良(1983—),男,助理研究员,主要从事基础地质调查与研究工作。ORCID: 0000-0002-0540-2426. E-mail: xdl2003geo@163.com

引用格式:徐大良,彭练红,刘浩,等,2018.南秦岭北缘淅川地区泥盆纪地层的物源及构造背景.地球科学,43(7): 2234—2248.

and Santosh, 2016).造山带内广泛发育的泥盆纪地层成为揭示该构造变革期洋陆演化、地块构造属性和大地构造背景的良好载体,历来备受关注。但是,关于秦岭泥盆系沉积环境和沉积构造背景的认识一直存在着较大争议,主要代表性观点有:扬子板块北缘被动陆缘沉积(任纪舜等,1980;张国伟等,1988;和政军等,2005),北秦岭加里东期造山之后的前陆盆地沉积(Mattauer *et al.*, 1985;杜远生,1995,1997; Gao *et al.*, 1995; Dong *et al.*, 2013),北秦岭岛弧杂岩带南侧弧前盆地沉积(王宗起等,2002; Ratschbacher *et al.*, 2003; 闫臻等,2007; Yan *et al.*, 2012, 2016; Liu *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2014),秦岭微板块沉积盖层(Meng and Zhang, 1999; 张国伟等,2001),以及后造山伸展盆地(Liao *et al.*, 2017)。前人的研究多集中在北部靠近商丹缝合带的刘岭盆地,而对于南部浙川地区泥盆系研究甚少。随着对沉积作用与构造环境之间关系的深入研究,人们愈来愈重视对盆地陆源碎屑沉积物特征与区域构造演化之间联系的研究(Dickinson and Suczek, 1979; Bhatia, 1983; McLennan *et al.*, 1993; Andersen, 2005)。本文试图通过对南秦岭内部浙川地区泥盆纪沉积岩的地球化学和碎屑锆石 U-Pb 年代学研究,结合前人的资料,来判断南秦岭地块在古生代中期的构造背景,进而为限定古特提斯商丹洋的闭合时限及秦岭造山带构造演化提供参考。

1 地质背景

秦岭一大别造山带呈近东西向分隔华北与华南陆块,被认为是古特提斯洋东端发生闭合的结果(Meng and Zhang, 1999; 张国伟等,2001),是欧亚板块内部规模最大的碰撞造山带之一。自北向南依次分为华北陆块南缘、北秦岭构造带、南秦岭构造带和华南陆块北缘 4 个构造单元(图 1)。南秦岭构造带主要是指商丹缝合带以南、勉略缝合线到大巴山弧形断裂带以北的构造单元,是秦岭造山带中组成与结构比较复杂的构造带。该构造带具有扬子型的双层前寒武纪基底(包括早前寒武纪结晶基底和中晚前寒武纪过渡性变质变形基底)和多层构造盖层组合,中生代以来先后经历了印支期碰撞造山和燕山期陆内造山作用改造,主要表现为强烈的韧性逆冲推覆构造、侧向挤出构造特征,并发育多条大型北西—近东西向延伸的韧(脆)性剪切带。

豫西浙川地区位于南秦岭构造带的北缘,其北

部以商丹缝合带与北秦岭相隔,南部与武当隆起相邻。研究区内由晚太古代的长英质片麻岩、斜长角闪岩、透辉变粒岩和少量的大理岩、石墨片岩及石英岩等变质深成岩和变质表壳岩组成的陡岭杂岩构成结晶基底,新元古代武当群与其上覆耀岭河群的沉积—火山岩系共同构成过渡性变质变形基底。上覆震旦系陡山沱组和灯影组与耀岭河群呈整合接触关系,其沉积特征与扬子台区震旦系基本相当,反映出南秦岭在新元古代晚期为扬子陆块的组成部分。早古生代时期,主要发育稳定的寒武系—奥陶系浅海碳酸盐岩沉积和下志留统碎屑岩沉积。晚古生代盆地中主要发育泥盆系碎屑岩和石炭系碳酸盐岩沉积,主要分布于北西向的荆紫关—师岗复向斜核部(图 1)。泥盆纪地层自下而上主要为中、上泥盆统白山沟组、王冠沟组和葫芦山组(张海清,1987),其上与石炭纪碳酸盐岩平行不整合接触。

2 样品和分析方法

2.1 样品特征

研究样品采自荆紫关—师岗复向斜南翼的王冠沟剖面和岳山村剖面(图 2)。野外特征显示,泥盆系均倾向北东,白山沟组底部发育紫黑色底砾岩,平行不整合覆盖在志留系张湾组泥页岩之上(图 3a),主要为一套红色碎屑岩,下部为紫红色页岩和石英砂岩互层,中上部为细粒长石石英砂岩夹薄层砂岩、砂质页岩及白云质砂岩。王冠沟组以细碎屑岩、碳酸盐岩和泥质岩交互为特征,含丰富的腕足类、珊瑚等化石(图 3b)。葫芦山组主要为碎屑岩,其下部为灰白色中细粒砂岩、岩屑砂岩和粉砂质泥岩,上部为厚层石英砂岩、泥质粉砂岩和泥页岩交互,其顶部与石炭系下组长灰岩呈平行不整合接触。白山沟组和葫芦山组中发育不对称波痕和斜层理(图 3c、3d),指示古流向自北往南。用于测年的样品和配套的全岩分析样品采自白山沟组和葫芦山组,相对位置和野外特征见图 2 和图 3。

显微镜下观察,岩石具块状构造和陆源碎屑结构(图 3g~3i),颗粒支撑,孔隙式胶结,分选较一般,结构成熟度中等。碎屑物约占 85%~95%,主要由石英、长石和少量的云母、岩屑组成。碎屑石英以单晶为主,大部分为次棱角状,显示近源沉积特征,部分石英受构造变动影响而发生碎裂,或产生波状消光。碎屑长石含量较少,以斜长石为主,可见明显的聚片双晶。黑云母呈片状产出,具有一定的定向性。岩屑

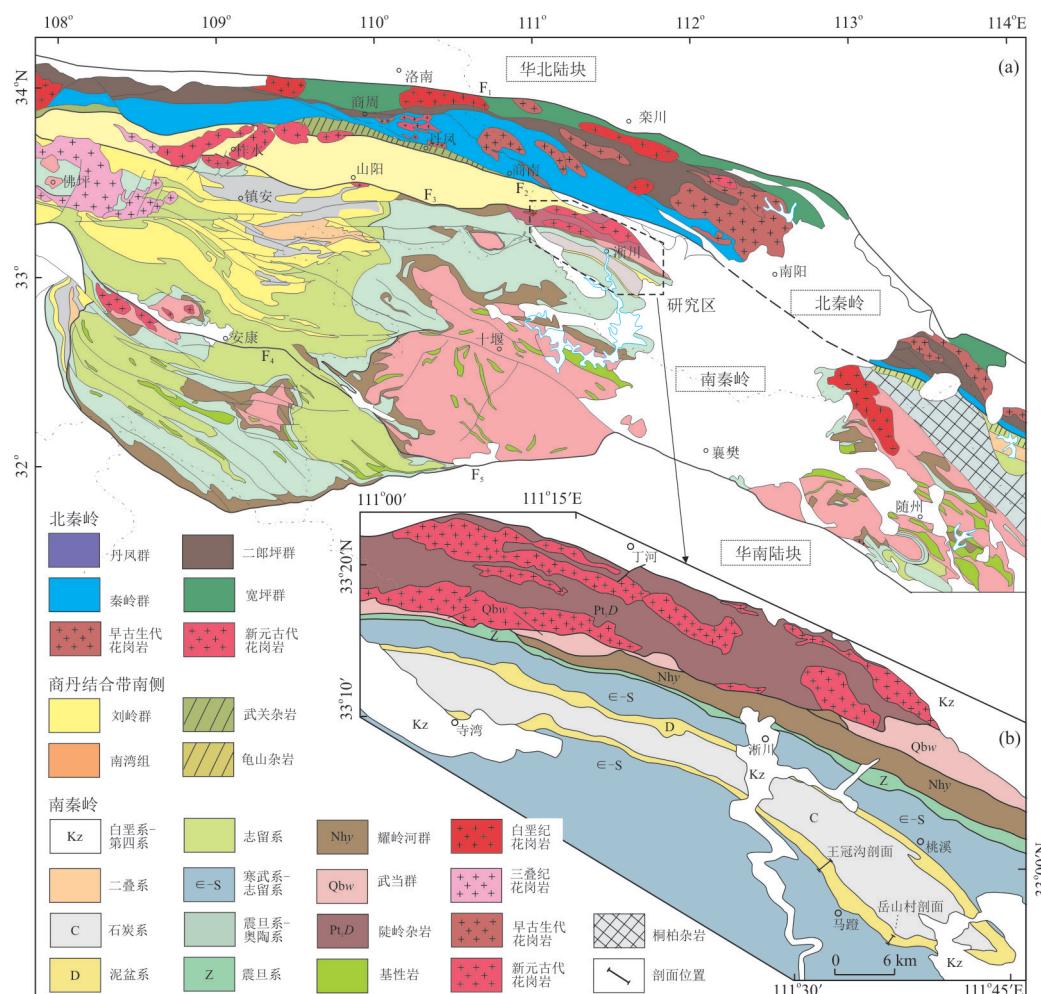


图 1 研究区地质简图

Fig.1 Geological sketch of the study area

F₁.洛南—栾川断裂带;F₂.商南—丹凤断裂带;F₃.山阳—凤镇断裂带;F₄.安康—竹山断裂带;F₅.襄樊—广济断裂带

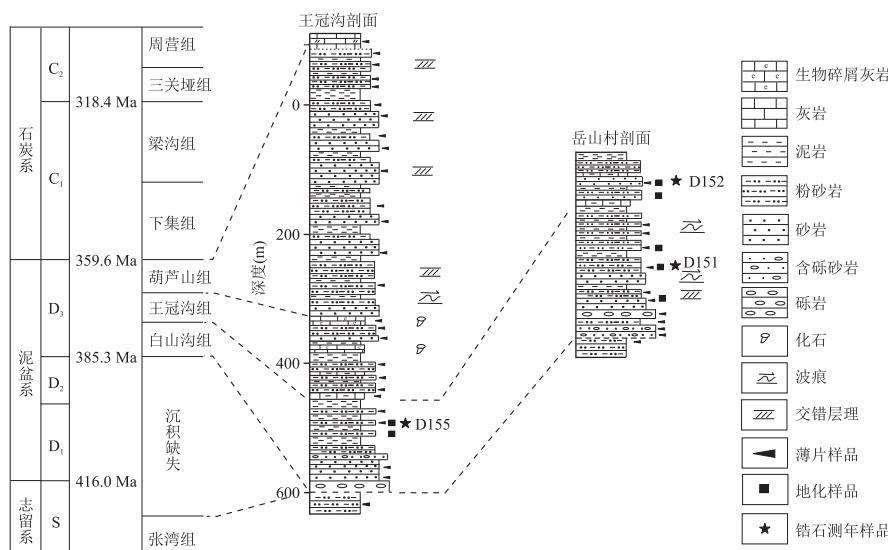


图 2 淅川地区泥盆纪地层特征

Fig.2 Stratigraphic column of the Devonian strata in Xichuan area

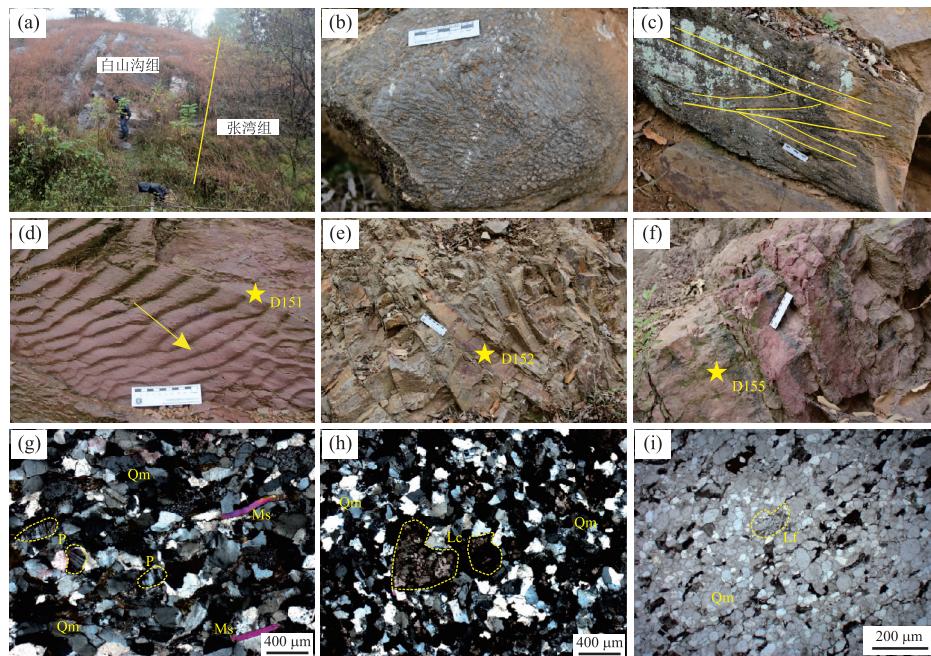


图 3 淅川盆地泥盆纪地层野外和镜下特征

Fig.3 Field photographs and micro-photos for the Devonian succession in the Xichuan basin

a.泥盆系白山沟组与志留系张湾组平行不整合接触;b.王冠沟组珊瑚化石;c.葫芦山组砂岩中发育交错层理;d.白山沟组紫红色砂岩中发育不对称波痕(样品 D151);e.王冠沟组岩屑砂岩(样品 D152);f.白山沟组紫红色粉砂岩(样品 D155);g~h.砂岩镜下特征(正交偏光);i.砂岩镜下特征(单偏光).Qm.石英;P.长石;Ms.云母;Lc.碳酸盐岩岩屑;Lf.化石碎屑

碎屑含量较少,且以沉积岩岩屑为主(图 3h),还可见少量生物化石碎屑(图 3i),表明盆地基底中早古生代地层为盆地充填物提供了部分物源.

2.2 分析方法

2.2.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试 样品碎样和锆石分选工作由河北省廊坊宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成.锆石矿物分选后在双目镜下选择较透明的锆石颗粒制成环氧树脂样品靶,磨至锆石颗粒中心部位后抛光,然后进行透射光、反射光及阴极发光(CL)照相,此项工作在北京锆年领航技术服务有限公司完成.在测试前,仔细研究锆石的晶体形态与内部结构特征,以选择最佳测试点.锆石 U-Pb 年龄测定和微量元素分析采用激光剥蚀—等离子体质谱(LA-ICP-MS)联机技术在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成.其中激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司的 GeoLas 200M(准分子激光器,193 nm ArF Excimer),电感耦合等离子体质谱仪为 Agilent 公司 7500a ICP-MS.本次测试采用的激光剥蚀束斑直径为 32 μm,锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标,元素含量采用 NIST SRM610 作为外标,²⁹Si 为内标元素进行校正,分析方法见 Yuan *et al.*(2004).所得锆石 U-Pb 年龄计算及年龄谐和图、频谱图的绘制采用 ISOPLOT 软件.数据分

析时,将谐和度在 90%~110% 的年龄数据视为有效数据,考虑到年轻的锆石²⁰⁷Pb 积累较少,锆石年龄小于 1 Ga 时采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,大于 1 Ga 时采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄,分析结果见附表 1.

2.2.2 岩石地球化学分析 主量、微量元素分析在国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成.全岩主量元素在 X 荧光光谱仪(AXIOS 型)上测定,通过测定特征谱线的强度来分析物质中的含量,检出限一般大于 0.005%,分析精密度 RSD% 为 0.1~1.0.微量元素和稀土元素则采用混合酸溶矿制样,在电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS-X II Series)上检测完成,检出限一般大于 0.01×10^{-6} ,分析精密度短期稳定性 < 1.5% RSD,长期稳定性 < 3% RSD.分析过程中采用与来样岩性相近的国家一级标样控制分析质量,经数据检查显示标样及密码双样的分析结果均符合 DZ/T0130-2006 相关质量管理规范的要求,分析测试结果见附表 2.

3 分析结果

3.1 碎屑锆石年代学特征

三个样品中的碎屑锆石颗粒大小悬殊,粒径在



图 4 淅川地区泥盆系砂岩中碎屑锆石的阴极发光图像

Fig.4 Cathodoluminescence (CL) images of detrital zircons from Devonian rocks in Xichuan area

40~200 μm 之间,其中样品 D155 中锆石粒度基本在 100 μm 以下,普遍偏小.形态上从棱柱状到浑圆状均有出现,总体上显示碎屑锆石的特征.CL 图像显示,锆石呈现了各种不同的内部结构特征,如振荡环带、无分带、核边结构等,部分有后期的增生边结构和蚀变亮边,但是 CL 图像基本显示了典型的岩浆生长振荡环带和韵律结构,且绝大多数锆石的 Th/U 比值都大于 0.4,表明这些碎屑锆石主要为岩浆成因(图 4).

对泥盆纪白山沟组砂岩 D151 样品中 60 粒锆石进行了微区分析,共获得 58 个有效数据,定年结果显示数据点普遍分布在谐和线上及其附近,表明大部分锆石没有因受明显的后期热事件改造而致铅丢失.锆石年龄范围分布于 441~3 031 Ma,主要集中在 441~604 Ma,704~845 Ma,977~1 655 Ma,1 794~2 539 Ma 和 2 713~3 031 Ma 五个区间,分别占总数的 19%,31%,27.6%,15.5% 和 6.9%,其中存在 445 Ma,800 Ma 和 1 025 Ma 等主要峰值年龄.最老的 1 颗锆石 3 032±34 Ma 靠近谐和线.

对泥盆纪王冠沟组砂岩 D152 样品中 48 粒锆石进行了分析,共获得 44 组有效数据,锆石年龄范围分布于 414~2 775 Ma,主要有 4 组年龄区间:414~489 Ma,780~955 Ma,1 030~1 587 Ma,1 837~2 775 Ma,分别占测试数据的 45.5%,22.7%,18.2%,13.6%,年龄峰值主要有 445 Ma,782 Ma,874 Ma 和 1 103 Ma.

对泥盆纪白山沟组粉砂岩 D155 样品中 48 粒锆石进行了分析,共获得 44 组有效年龄数据,锆石年龄范围分布于 406~2 879 Ma,可划分为 406~634 Ma,705~971 Ma,1 072~1 705 Ma,1 775~2 243 Ma 和 2 607~2 879 Ma 五组年龄区间,分别占总数的 13.6%,31.8%,29.5%,15.9% 和 9.2%,存在 407 Ma,751 Ma,900 Ma 和 1 682 Ma 四个主要峰值年龄.该样品中获得了 3 颗变质锆石年龄,其年龄分别为 724±4 Ma(点 10, Th/U 值为 0.09)、1 332±20 Ma(点 33, Th/U 值为 0.01)和 2 880±16 Ma(点 43, Th/U 值为 0.05).获得 3 个最年轻的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄为 409±3 Ma,406±2 Ma 和 409±2 Ma.

总体上,可以看出采自淅川地区泥盆纪地层中的碎屑锆石年龄主要分布在新元古代晚期—古生代(0.40~0.63 Ga)、新元古代(0.7~0.9 Ga)和中元古代(1.0~1.6 Ga)三个区间,并存在少量古元古代和中晚太古代年龄(图 5).新元古代晚期—古生代(0.40~0.63 Ga)的锆石多为晶型较好的棱角状、短柱状,Th/U 比值范围为 0.21~1.23,整体为岩浆锆石特征,大多显示较宽的岩浆振荡环带、板状环带或环带不发育(如图 4a 中 4,33 点,图 4b 中 25,40 点,图 4c 中 22 点),还有一些锆石显示清晰的岩浆振荡环带(如图 4a 中 35 点,图 4c 中 6 点),前者与形成温度较高的基性岩浆岩的锆石类似,而后者与形成温度较低的中酸性岩中的锆石相似(吴元保和郑永

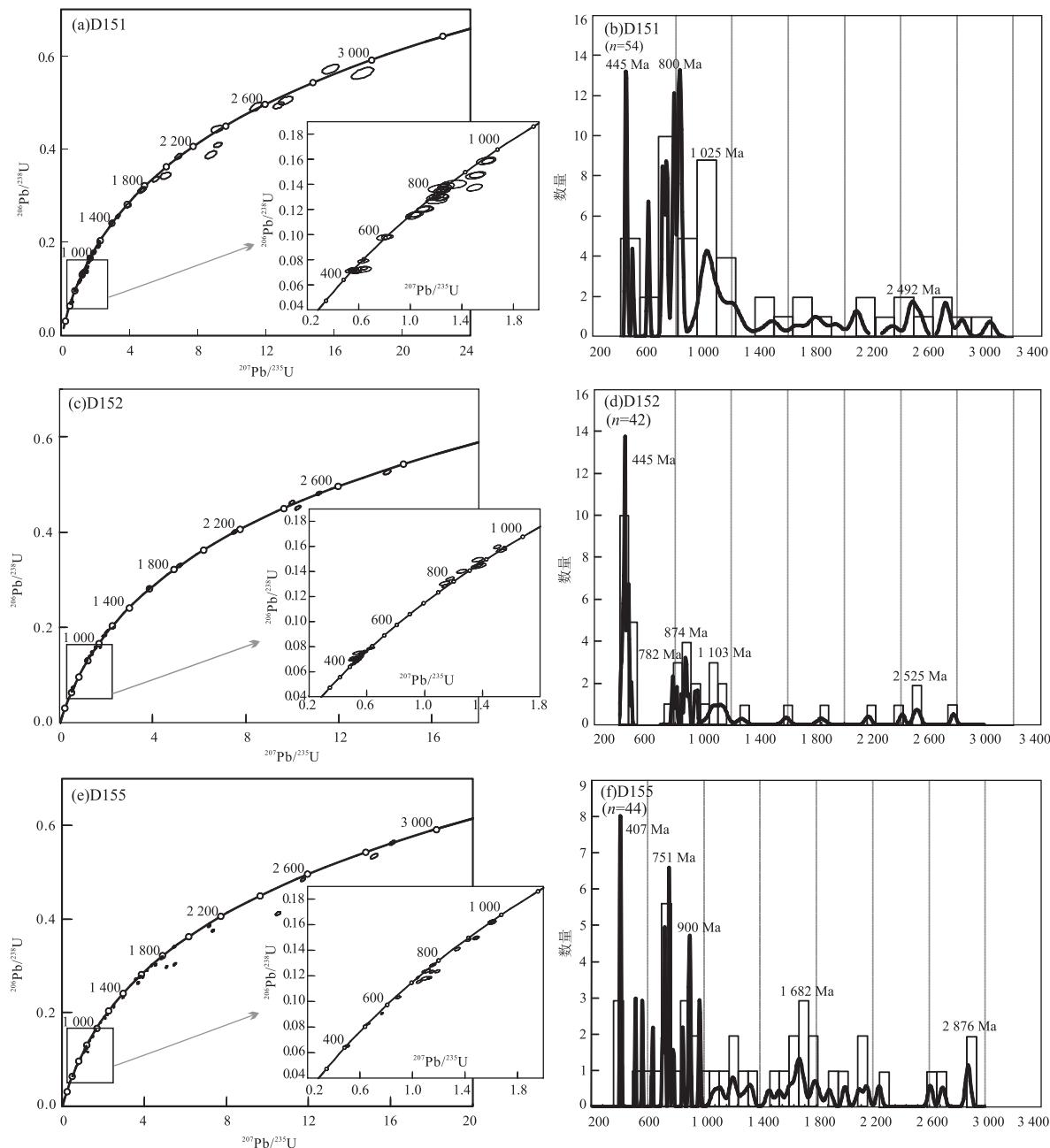


图5 淅川地区泥盆系样品碎屑锆石U-Pb年龄谐和图和频谱直方图

Fig.5 Concordia and probability density diagrams for the detrital zircons of the Devonian samples in Xichuan area

飞,2004).新元古代(0.7~0.9 Ga)的锆石多呈长柱状、短柱状,少量呈次圆状,反映源区较近,其Th/U比值多大于0.3,且多发育清晰的岩浆振荡环带、平行纹理等,整体为岩浆锆石特征。此外,该组中少量锆石遭受强烈的变质重结晶改造(如图4c中10点)或发育较窄的变质新生边(如图4a中3点,图4b中2、23点),由于研究区内泥盆纪地层几乎未变质,因此笔者推测其为物源区构造热事件的产物。中元古代(1.0~1.6 Ga)的锆石多为次圆状或次棱角状,表明搬运距离不远,其Th/U比值范围为0.11~2.41

(除D155-33点),基本显示较暗的阴极发光特征,部分锆石显示明显的岩浆振荡环带(如图4a中的23、49点,图4c中的31、35点),部分锆石表现为无分带或弱分带(如图4a中的19点,图4b中的44、36、39点),主体应形成于岩浆岩中。古元古代(1.8~2.4 Ga)和中晚太古代(2.5~3.0 Ga)的锆石多呈次圆—浑圆状,亦有少量锆石呈次棱角状(如图4c中的29、46点),其内部结构复杂多样,少数可看到岩浆振荡环带,具有较高的Th/U比值(除D155-43点外多大于0.4),应为岩浆锆石。

3.2 碎屑岩地球化学特征

淅川地区泥盆纪碎屑岩样品的 SiO_2 含量 (63.04%~93.14%) 与澳大利亚后太古代平均页岩 (PAAS) 相比较高; 砂岩中 Al_2O_3 含量变化范围为 2.82%~7.02%, 平均值为 4.68%, 而泥质粉砂岩中 Al_2O_3 含量很高, 为 12.95%~15.98%, 反映其含量与泥质沉积物的含量有关。泥质粉砂岩中 K_2O 相对富集, 平均 4.76%, 砂岩 K_2O 含量均值为 1.58%; 样品中 Na_2O 含量明显亏损, 均值为 0.11%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值变化为 6.26~85.2, 较大的变化范围表明样品可能遭受强烈风化作用, 且 Na 比 K 元素更容易淋滤丢失。样品的 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})$ 变化于 9.96~24.58, 而 D152-1 仅为 2.67, 这一明显差异可能是由于该样品中长石碎屑含量异常高所致。样品中 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MnO 、 MgO 、 K_2O 与 SiO_2 均具有较强的负相关性, 表明随着矿物成熟度的增加, 不稳定成分(岩屑和长石)逐渐降低。

由于样品中较高的石英与长石对稀土元素的“稀释”作用, 泥盆纪中砂岩样品明显亏损稀土元素, 稀土总量(不包括 Y)的变化范围在 72.65×10^{-6} ~ 110.57×10^{-6} 之间, 平均值 91.74×10^{-6} 显著低于后太古代澳大利亚页岩 (PAAS, 184.73×10^{-6}) 和大陆上地壳 (UCC, 146.4×10^{-6}), 而两个泥砂岩样品的稀土总量相对较高, 为 194.65×10^{-6} ~ 220.98×10^{-6} 。样品总体表现为轻稀土元素富集, 重稀土元素相对亏损的特点, LREE/HREE 均值为 8.59 低于 PAAS(9.49) 和 UCC(9.56), $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 均值为 10.19 略高于 PAAS(9.72) 和 UCC(9.78)。而反映轻稀土分异的 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 均值 3.57 低于 PAAS(4.44) 和 UCC(4.30); 反映重稀土分异的 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 平均值 1.91 则大于 PAAS(1.37) 和 UCC(1.43), 表明样品相对 PAAS 和 UCC 具有较低的轻稀土分异度和相对较高的重稀土分异。图 6 中, 所有样品均显示出右倾、轻稀土分异高, 重稀土平坦的特点。样品的 Eu/Eu^* 值为 0.67~0.75, 均值 0.70, 具有微弱一中等的负 Eu 异常。而样品中的 Ce 则不具有明显的异常。样品中特征微量元素 Th、U、Hf、Sc、Zr 平均含量分别为 5.05×10^{-6} 、 1.44×10^{-6} 、 5.2×10^{-6} 、 3.67×10^{-6} 、 206.8×10^{-6} , Rb/Sr、Th/U、Ti/Zr、La/Sc、Th/Sc 比值分别为 2.2、3.9、12.26、8.02 和 1.63。源区成分差异、矿物的分选和石英含量变化可能是导致微量元素差异的原因。

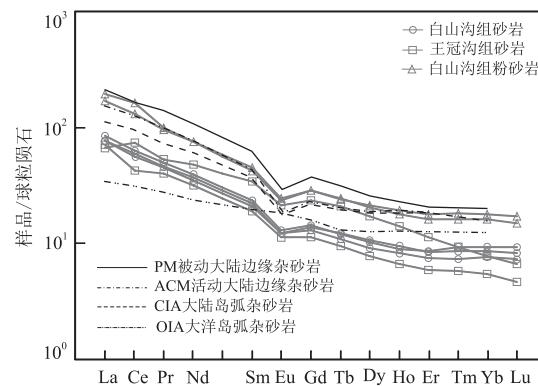


图 6 淅川地区泥盆纪碎屑岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns of Devonian sandstones in Xichuan area

球粒陨石标准值据 Sun and McDonough(1989); 代表性构造环境碎屑沉积岩平均值据 Bhatia and Crook(1986)

4 讨论

4.1 两种不同类型的沉积盆地

秦岭造山带中泥盆系分布广泛, 沉积分异明显, 通常自北往南以商南—丹凤断裂带、山阳—凤镇断裂带、安康—竹山断裂带和襄樊—广济断裂带为界将泥盆纪地层划分为 3 个地层分区或构造岩相带(杜定汉, 1986; 杜远生, 1995, 1997; 梅志超等, 1999)(图 1)。本次研究的淅川盆地属于中带东段, 其与北带刘岭盆地差异明显, 是两种不同类型的沉积盆地。在基底构造方面, 刘岭盆地发育于商丹缝合带南侧, 与其他单元均呈构造接触关系(杜定汉, 1986; Yan et al., 2012; Dong et al., 2013), 其形成与商丹带演化关系密切; 而淅川盆地则发育在南秦岭早古生代被动陆缘之上, 盆地内泥盆系与下伏早古生代地层呈平行不整合接触。沉积特征方面, 刘岭盆地以深陆棚—滨岸相沉积为主, 内夹深水细粒浊积岩, 具向上变粗、变浅的进积序列(梅志超等, 1999); 而淅川盆地为浅水陆棚—滨岸碎屑岩和台地碳酸盐岩沉积, 总体表现为一个不断加深的沉积层序(杜远生, 1995, 1997; 孟庆任等, 1995), 其上部沉积了稳定的石炭系台地相碳酸盐岩。碎屑岩构造背景分析显示, 刘岭盆地泥盆系为低成熟度的活动陆缘弧前盆地沉积(Yan et al., 2012), 而淅川盆地泥盆系为具再旋回沉积特征的被动大陆边缘沉积。两个盆地之间呈断层接触, 反映出南秦岭泥盆纪不是统一的盆地, 南、北部的泥盆系是在两个完全独立的沉积盆地中形成的, 它们之间曾存在一个相当规模的古陆

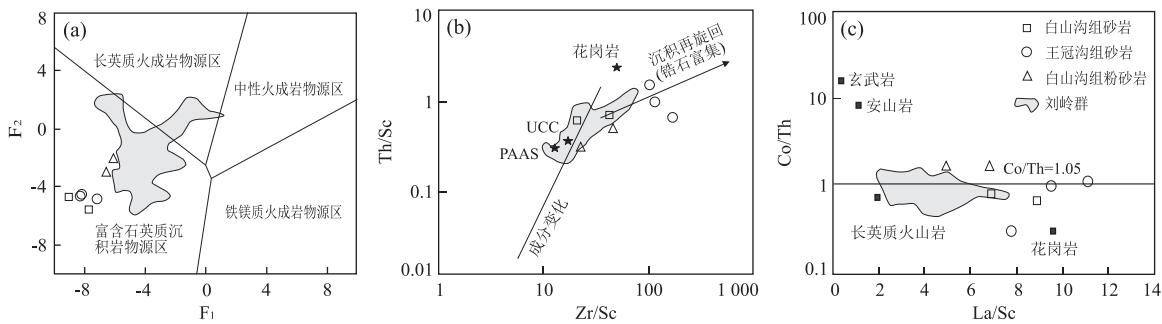


图7 淅川地区泥盆纪碎屑岩源区物质组成图解

Fig.7 The characteristics of source composition discrimination diagrams for clastic rocks of Denvonian from Xichuan area
a. F_1 - F_2 主量元素判别函数图解,据 Roser and Korsch(1988);b. Zr/Sc - Th/Sc 判别图解,据 Bhatia and Crook(1986);c. La/Sc - Co/Th 判别图解,据 Bhatia and Crook(1986).刘岭群数据来自 Yan et al.(2012)

(孟庆任等,1995).

4.2 物源区分析

4.2.1 物源类型 沉积物物源分析是盆地分析的重要内容,是再现沉积盆地演化恢复古构造环境的重要依据.Roser and Korsch(1988)根据主量元素判别函数 F_1 - F_2 将碎屑岩物源划分为长英质火成岩源区、中性火成岩源区、铁镁质火成岩源区和富含石英质沉积岩源区4类.研究区样品均落入富含石英质沉积岩源区(图7a),说明淅川地区泥盆系物源区主要为成熟大陆石英质物源区,可能为古老的地质体、克拉通或是再旋回造山带.Cox et al.(1995)提出成分变异指数(ICV)来判断沉积物是否经历了再循环,研究区样品的ICV值变化于0.62~1.19,均值(0.94)接近1,表明沉积物可能经历了沉积再循环,并有少量物质具初次沉积特征. Th/Sc 比值主要反映火成岩化学分异过程, Zr/Sc 比值主要用来评估锆石富集程度及沉积物分选和再循环程度(McLennan et al., 1993),样品中表现出较高的 Th/Sc 值(0.90~2.74,平均值1.63)和 Zr/Sc 值(21.4~173,平均值75.6),在图7b中,大多数数据远离成分演化线,亦反映出研究区碎屑岩主要来源于上地壳岩石,且源区存在多旋回物质加入,与镜下观察特征一致.

沉积岩中REE及Sc、Th、Co等微量元素地球化学性质一般较稳定,受搬运、沉积和成岩等作用影响小,更能直观地反映源区的地球化学性质(Bhatia, 1985; Yan et al., 2012; 李良等,2017).运用REE元素判别源区岩石应当注重REE配分曲线而不是元素绝对丰度(赵振华,1997).研究区样品中REE为明显右倾斜配分模式,轻稀土元素相对重稀土元素明显富集,样品稀土元素特征与上地壳岩石类似.铕异常系数(δEu)可鉴别物质来源:中性斜长岩具有Eu正异常($1.01 < \delta Eu < 2.33$);玄武岩没有Eu异常($0.9 <$

$\delta Eu < 1.0$);花岗岩多为Eu负异常($\delta Eu < 0.9$).研究区样品 $\delta Eu = 0.67 \sim 0.73$,平均值0.7,具有明显负异常,说明其源岩为花岗岩类等酸性火成岩.图7c中,样品表现为相对稳定且较低的Co/Th值(主要范围为0.31~1.70,平均值为1.05),但La/Sc变化较大,全部投点均落入长英质火山岩与花岗岩之间,同样指示物源主要以长英质岩石为主.

综上所述,淅川盆地泥盆纪碎屑岩物源与刘岭盆地刘岭群具有一定的差异(图7),碎屑物质来自于以酸性岩类为主的后太古宙大陆上地壳,并具一定程度的沉积再循环特征.

4.2.2 碎屑锆石年龄与物源 淅川盆地泥盆系与北部刘岭盆地泥盆系(刘岭群、武关群等)的年龄谱均主要集中在新元古代晚期—古生代(0.40~0.63 Ga)、新元古代(0.7~0.9 Ga)和中元古代(1.0~1.6 Ga)三个区间,并存在少量古元古代和中—晚太古代年龄,二者年龄谱总体上较为相似(图8).但是相同年龄所代表的地质事件可能出现在不同的构造体系,造成物源的多解性,这对准确判定源区及解释盆地性质造成困扰.因此,除年龄谱峰的对比外,还要结合地球化学、锆石阴极发光特征,并通过与研究区北部刘岭盆地泥盆系、邻区已知(或可能的)地质事件等的对比综合限定物源.与刘岭盆地不同,研究区内泥盆纪地层中碎屑锆石的物源区可能均来自于南秦岭本身.

新元古代时期,受Rodinia超大陆的聚合和裂解活动的影响,北秦岭和南秦岭均遭受晋宁期相似的强烈地质作用,都具有亲扬子的属性.基于现有的研究成果,一般认为北秦岭、南秦岭分别以发育新元古代早期950~850 Ma、新元古代中晚期760~710 Ma的岩浆活动为主要特征.对北部刘岭盆地中新元古代碎屑锆石年龄的物源争议较大,部分学者

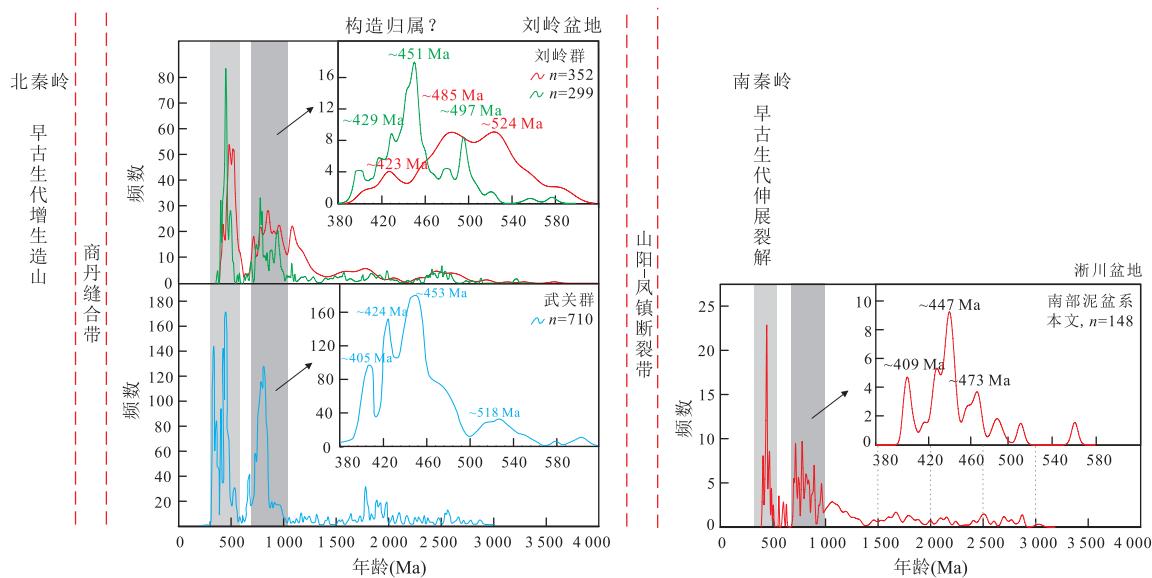


图 8 碎屑锆石年龄频谱对比

Fig.8 Relative probability diagrams of U-Pb detrital zircon age distributions

刘岭群数据来自 Dong et al. (2013)、Liao et al. (2017); 武关群数据来自 Yan et al. (2016)

认为盆地内泥盆纪地层中 1 000~900 Ma 和 850~700 Ma 的年龄谱峰分别来自于北秦岭和南秦岭, 从而认为南秦岭与北秦岭在早泥盆世已沿商丹带闭合 (Dong et al., 2013; Liao et al., 2017). 而亦有学者提出 850~700 Ma 锆石在北秦岭中亦存在, 如秦岭群中识别出 867~729 Ma 的榴辉岩/退变榴辉岩、角闪岩相基性岩, 秦岭群和宽坪群中 730~610 Ma 的基性岩—花岗岩脉等, 进而认为刘岭盆地(及相当构造位置的南湾盆地)泥盆纪地层中所有的物源在北秦岭中均能找到, 并结合区内与洋壳俯冲相关的石炭纪变质作用事件, 提出这套物质为弧前盆地沉积, 南秦岭与北秦岭在泥盆纪时期并未沿商丹带闭合 (Liu et al., 2013; Wu and Zheng, 2013; Chen et al., 2014; Yan et al., 2016), 该观点亦得到了泥盆纪碎屑岩的地球化学证据支持 (Yan et al., 2012). 本次获得南部淅川盆地泥盆系碎屑锆石的新元古代 (0.7~0.9 Ga) 年龄存在 720 Ma、782 Ma、897 Ma 和 967 Ma 四个峰值, 以前两者为主峰, 锆石 CL 特征反映其源区较近, 并且新元古代早期的岩浆记录在扬子北缘的黄陵地区 (Peng et al., 2012; Wei et al., 2012)、大洪山地区 (Shi et al., 2007; Xu et al., 2016)、米仓山—汉南地区 (Dong et al., 2011, 2012)、柞水—镇安地区 (刘仁燕等, 2011; Hu et al., 2016) 等地逐渐被识别, 表明扬子陆块北缘(包括南秦岭)也存在新元古代早期的岩浆活动, 记录了大量的超大陆旋回与洋陆演化信息. 前已述及, 研究区泥盆

纪地层发育在南秦岭内部新元古代基底和古生代被动陆缘沉积之上, 南秦岭地块中存在新元古代早期、晚期的岩浆活动记录, 所以年龄集中区为 0.7~0.9 Ga 的碎屑锆石的物源可能主要来自南秦岭本身.

早古生代时期, 南秦岭与北秦岭间以商丹洋相隔, 北秦岭地块经历了洋壳俯冲、大陆深俯冲和 HP-UHP 变质作用, 伴随着相关的岩浆作用及后期的隆升事件 (Wu and Zheng, 2013; Liu et al., 2016), 而南秦岭则表现为强烈的陆内裂解. 前人均认为北部刘岭盆地泥盆纪地层中新元古代晚期—古生代 (0.40~0.63 Ga) 的物源来自于北秦岭 (Dong et al., 2013; Liu et al., 2013; Chen et al., 2014; Yan et al., 2016), 并且泥盆系年龄谱中的 3 个年龄峰值 (刘岭群 420 Ma、451 Ma、497 Ma; 武关群 424 Ma、453 Ma、518 Ma) 与北秦岭早古生代 3 阶段岩浆作用相对应 (Liao et al., 2017). 淅川盆地泥盆系中新元古代晚期—古生代 (0.40~0.63 Ga) 的物源若来自于北秦岭, 则南秦岭与北秦岭间的商丹洋应于中泥盆世之前闭合, 北秦岭隆升提供物源, 且盆地类型应为与碰撞有关的前陆盆地沉积, 二者显然与前述南、北部泥盆系碎屑岩地化特征均不符. 此外, 淅川地区泥盆系古生代年龄峰值主要有 ~409 Ma、~447 Ma 和 ~473 Ma, 明显缺失北部刘岭盆地泥盆系中 490~520 Ma 的峰值区间 (图 8), 暗示其来自不同的源区. 南秦岭构造带在早古生代中晚期存在强烈的地壳扩张事件, 普遍发育一套呈北西西向延伸的

碱性—基性岩墙群和火山岩,少量的 A 型花岗岩,可能为重要的源区.Yang et al.(2015)认为勉略带三河口群碎屑硅质岩中碎屑锆石年龄谱中 412~587 Ma 的物源与华南陆块南秦岭地区古生代岩浆作用有关.张英利等(2016)认为北大巴山晚古生代滔河口组碎屑锆石的物源为南秦岭内部古生代发育的镁铁质侵入岩、粗面岩和玄武岩.本次获得的新元古代晚期—古生代(0.40~0.63 Ga)的碎屑锆石阴极发光图像不仅显示了中基性岩浆锆石较宽的岩浆振荡环带、板状环带或环带不发育的特点,而且部分显示出酸性岩浆锆石密集振荡环带的特征,与南秦岭新元古代晚期发育的镁铁质—超镁铁质岩、早古生代晚期同时发育酸性和基性岩浆岩的特征一致,所以这一年龄值区间碎屑锆石的物源可能主体来自南秦岭.年龄谱中的 3 个年龄峰值(~409 Ma、~447 Ma 和 ~473 Ma)未全部找到对应的地质实体,可能由于研究程度低未厘定(如区内奥陶系柞岫组火山岩等)、或未公开报道,亦可能未出露或已剥蚀.

尽管在秦岭造山带泥盆纪地层中发现大量的中元古代(1.0~1.6 Ga)锆石,但造山带内尚少有确切的相关地质体年龄报道.部分学者认为北部刘岭盆地泥盆系中 1.6~1.7 Ga 和 1.35~1.50 Ga 的碎屑锆石可能来自华北南缘熊耳群火山岩,而 1.0~1.2 Ga 的碎屑锆石来自于北秦岭(Dong et al., 2013; Liao et al., 2017).而在扬子陆块北缘庙湾蛇绿岩中同样存在 0.9~1.1 Ga 的岩浆记录(Peng et al., 2012).此外,南秦岭三叠纪花岗岩类的全岩 Nd 模式年龄和锆石 Hf 同位素模式年龄均主要集中在 1.1~1.3 Ga, 少量 Hf 模式年龄为 1.4~1.6 Ga, 表明扬子陆块中存在中元古代新生地壳物质(秦江锋, 2010).同时该年龄段碎屑锆石也存在于扬子陆块中新元古代的碎屑岩中,其碎屑物可能来源于扬子陆块本身未出露或已剥蚀的古老基底(Wang et al., 2010; 徐大良等, 2016).CL 图像显示该年龄段锆石并未经历远距离的搬运,因此,南部浙川盆地中元古代(1.0~1.6 Ga)的物源可能来自于南秦岭地区未出露或已剥蚀的中元古代岩石.

古元古代(1.8~2.4 Ga)和中晚太古代(2.5~3.0 Ga)的年龄谱数量较少,年龄较分散,没有显示出特征年龄峰值.扬子北缘发育的太古代岩石(如崆岭群、陡岭群、鱼洞子群等)中记录有~2.5 Ga、~2.7 Ga、~2.8~3.0 Ga 的年龄信息,并且扬子陆块中存在大量与 Columbia 超大陆聚合和裂解有关的古元古代(2.1~1.8 Ga)构造热事件的记录.因此,鉴

于测试样品中该年龄段少量锆石呈次棱角状暗示其源区较近,年龄区间为 1.8~2.4 Ga 和 2.5~3.0 Ga 的物源可能主要来自扬子北缘(南秦岭)古老的构造基底.

4.3 构造背景

新元古代晚期—早古生代,南秦岭与北秦岭之间被原特提斯商丹洋所分割.由于原特提斯洋向北俯冲消减,北秦岭在早古生代演化为活动大陆边缘.而对于秦岭造山带古生代中晚期的大地构造背景、原特提斯洋是否在早泥盆世已沿商丹缝合带碰撞拼合等一直存在争论(和政军等, 2005; 闫臻等, 2007; Yan et al., 2012, 2016; Dong et al., 2013; Liu et al., 2013; Chen et al., 2014; Liao et al., 2017).一方面,南秦岭早古生代裂谷盆地充填式关闭并整体隆升的时代与北秦岭早古生代岩浆作用结束时限大致相当,似乎暗示着商丹洋在早泥盆世的闭合;另一方面,泥盆纪刘岭群具有弧前盆地的地化属性(Yan et al., 2012),沿商丹带存在石炭纪变质作用(Liu et al., 2013; Chen et al., 2014; Yan et al., 2016),以及华北板块与扬子陆块于晚二叠世—三叠纪最终碰撞的事实,表明商丹洋的闭合时限可能持续到了二叠纪.前述相互矛盾的地质事实暗示着该时期的构造格局需要从新的角度进行解释.

碎屑岩的地球化学特征与物质组成密切相关,不仅能反映物源区岩石成分,而且能反映沉积构造背景,根据地壳性质可将盆地构造类型划分为大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘 4 种典型构造环境(Bhatia, 1983; Bhatia and Crook, 1986).基于澳大利亚东北古生代浊积岩系列的研究,Bhatia(1983)提出判别板块构造环境的主量元素地球科学参数,最有效的是 $(\text{TiO}_2 + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$ 图解, $(\text{TiO}_2 + \text{MgO})$ 代表了岩石中相对基性的组分.在图 9a 中,浙川盆地泥盆纪砂岩样品均落入或靠近被动大陆边缘区,粉砂岩样品落在被动大陆边缘区和活动大陆边缘区上方,反映受 TiO_2 含量的影响较大.根据 Bhatia(1983)提出主量元素判别构造环境的判别函数,研究区砂岩样品全部位于被动大陆边缘区域,而粉砂岩样品则落入活动大陆边缘区域(图 9b).Bhatia(1985)总结了代表性构造环境碎屑沉积岩的稀土元素平均值,将泥盆系碎屑岩稀土元素与其进行比较,与被动大陆边缘环境的杂砂岩稀土配分模式非常相似(图 6).在不活泼的微量元素 $\text{La}/\text{Sc}-\text{Ti}/\text{Zr}$ 图解、 $\text{La}-\text{Th}-\text{Sc}$ 图解和 $\text{Th}-\text{Sc}-\text{Zr}/10$ 图解中,多数样品主要分布于被动大陆边

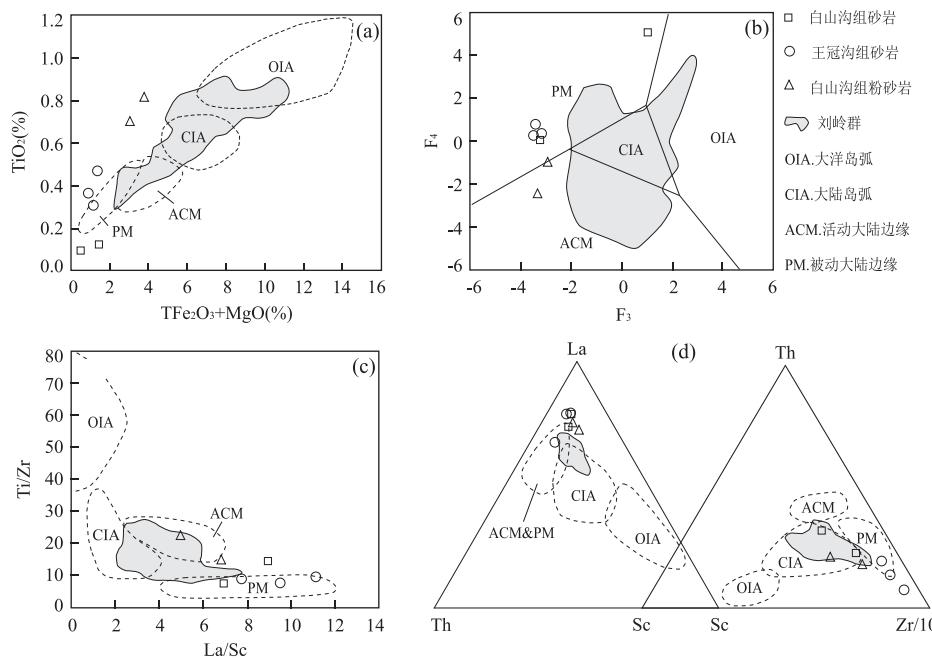


图 9 淅川盆地泥盆纪砂岩构造环境判别图

Fig.9 Tectonic discrimination diagrams for the Devonian sandstones in Xichuan area

a. $(\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$ 图解, 据 Bahtia(1983); b. 构造环境判别函数图解, 据 Bahtia(1983); c. $\text{La}/\text{Sc}-\text{Ti}/\text{Zr}$ 图解, 据 Bhatia and Crook(1986); d. $\text{La}-\text{Th}-\text{Sc}$ 和 $\text{Th}-\text{Sc}-\text{Zr}/10$ 三角图解, 据 Bhatia and Crook(1986). 刘岭群数据来自 Yan et al.(2012)

缘区域, 少量数值点落在活动大陆边缘或大陆岛弧范围内(图 9c、9d). 由图 9 可以看出, 淅川盆地泥盆纪碎屑岩物源的构造背景与北部刘岭盆地存在显著差异, 暗示其来自于不同的物源区. 综上, 淅川盆地泥盆系物源区形成于被动大陆边缘、活动大陆边缘或大陆岛弧的构造背景中, 考虑到碎屑沉积岩地球化学特征具有构造背景的继承性, 主要反映物源区的构造背景, 被动大陆边缘形成的砂岩可以包含古老大陆岛弧、活动大陆边缘的地球化学信息(Bhatia, 1985; 杨文涛和杜远生, 2017), 因此, 淅川地区泥盆系沉积时期的构造背景可能为被动大陆边缘(Gao et al., 1995), 对应的物源来自南秦岭内部隆升的基底与克拉通内部的构造高地.

南秦岭在早古生代时期为扬子北缘被动大陆边缘, 其内部发育了多条现今呈北西西向的裂谷(杨森楠, 1985), 裂陷凹槽中常被深水炭质硅泥质沉积、火山岩充填, 至奥陶纪—志留纪发育了由基性、超基性岩和碱性岩组成的次火山岩带, 地幔上隆导致地壳减薄, 以至出现过渡壳和新生洋壳, 裂陷凹槽之间则为由古老基底碎块组成的裂陷地体, 由于凸起较高常缺乏沉积或仅有浅薄的台地碳酸盐岩等稳定沉积. 泥盆纪时期, 南秦岭地块继承了早古生代的隆凹古地理格局, 被古隆起分割的泥盆纪沉积盆地自西向东海侵(杜远生, 1997), 在低洼处首先接受沉积,

与扬子东南缘泥盆纪盆地类似(徐亚军和杜远生, 2018). 沿区域性山阳—凤镇断裂带的差异隆升使得古老基底隆起(孟庆任等, 1995), 淅川地区泥盆系物源可能主要来自基底隆起带(如陡岭)和构造高地, 泥盆系沉积中相对复杂的物源组成和年龄谱特征反映其源区隆起带中可能包含新元古代造山带物质、早古生代裂谷盆地物质等, 与碎屑岩地球化学构造背景的判别相对应. 南秦岭内部基本没有遭受加里东期的构造变形变质, 泥盆系物源区来自于南秦岭本身, 并未接受来自于北秦岭的物源, 说明北秦岭地块古生代的俯冲增生事件可能并未影响到南秦岭内部.

5 结论

(1) 碎屑岩主量、微量元素和稀土元素分析表明, 淅川地区泥盆系碎屑岩具有一定度的沉积再旋回特征, 源区物质成分以长英质岩石为主, 主要来源于上地壳.

(2) 淅川地区泥盆系碎屑岩样品的锆石年龄谱主要集中在新元古代晚期—古生代($0.40 \sim 0.63 \text{ Ga}$)、新元古代($0.7 \sim 0.9 \text{ Ga}$)和中元古代($1.0 \sim 1.6 \text{ Ga}$)3个区间, 并存在少量古元古代和中—晚太古代年龄, 其物源区主要为南秦岭自身隆

升的基底和构造高地,属于近源沉积。

(3)南秦岭内部泥盆纪时期继承了早古生代的古地理格局,泥盆纪沉积形成于被动大陆边缘环境,并未接受来自于北秦岭的物源,反映沿商丹洋的俯冲增生事件可能未影响到南秦岭内部。

致谢:衷心感谢两位匿名审稿专家对本文提出了许多建设性的意见和建议!

References

- Andersen, T., 2005. Detrital Zircons as Tracers of Sedimentary Provenance: Limiting Conditions from Statistics and Numerical Simulation. *Chemical Geology*, 216(3–4): 249–270. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.11.013>
- Bhatia, M. R., 1985. Rare Earth Element Geochemistry of Australian Paleozoic Graywackes and Mudrocks: Provenance and Tectonic Control. *Sedimentary Geology*, 45(1–2): 97–113. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(85\)90025-9](https://doi.org/10.1016/0037-0738(85)90025-9)
- Bhatia, M. R., Crook, K. A. W., 1986. Trace Element Characteristics of Graywackes and Tectonic Setting Discrimination of Sedimentary Basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92(2): 181–193. <https://doi.org/10.1007/bf00375292>
- Bhatia, M. R., 1983. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones. *Journal of Geology*, 91(6): 611–627.
- Chen, L. Y., Liu, X. C., Qu, W., et al., 2014. U-Pb Zircon Ages and Geochemistry of the Wuguan Complex in the Qinling Orogen, Central China: Implications for the Late Paleozoic Tectonic Evolution between the Sino-Korean and Yangtze Cratons. *Lithos*, 192–195: 192–207. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.01.014>
- Cox, R., Lowe, D. R., Cullers, R. L., 1995. The Influence of Sediment Recycling and Basement Composition on Evolution of Mudrock Chemistry in the Southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(14): 2919–2940. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00185-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00185-9)
- Dickinson, W. R., Suczek, C. A., 1979. Plate Tectonics and Sandstone Compositions. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63(12): 2164–2182.
- Dong, Y. P., Liu, X. M., Neubauer, F., et al., 2013. Timing of Paleozoic Amalgamation between the North China and South China Blocks: Evidence from Detrital Zircon U-Pb Ages. *Tectonophysics*, 586(2): 173–191. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.11.018>
- Dong, Y. P., Liu, X. M., Santosh, M., et al., 2011. Neoproterozoic Subduction Tectonics of the Northwestern Yangtze Block in South China: Constraints from Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of Mafic Intrusions in the Hannan Massif. *Precambrian Research*, 189(1–2): 66–90. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.05.002>
- Dong, Y. P., Liu, X. M., Santosh, M., et al., 2012. Neoproterozoic Accretionary Tectonics along the Northwestern Margin of the Yangtze Block, China: Constraints from Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry. *Precambrian Research*, 196–197(1): 247–274. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.12.007>
- Dong, Y. P., Santosh, M., 2016. Tectonic Architecture and Multiple Orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China. *Gondwana Research*, 29(1): 1–40. <https://doi.org/10.13039/501100001809>
- Du, D. H., 1986. Study of the Devonian of the Qinba Area, Shanxi Province. Xi'an Jiaotong University Press, Xi'an, 230 (in Chinese).
- Du, Y. S., 1995. Devonian Paleo-Ocean of Qinling Orogenic Belt. *Earth Science*, 20(6): 617–623 (in Chinese with English abstract).
- Du, Y. S., 1997. Devonian Sedimentary Geology of Qinling Orogenic Belt. China University of Geosciences Press, Wuhan, 130 (in Chinese).
- Gao, S., Zhang, B. R., Gu, X. M., et al., 1995. Silurian-Devonian Provenance Changes of South Qinling Basins: Implications for Accretion of the Yangtze (South China) to the North China Cratons. *Tectonophysics*, 250(1–3): 183–197. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00051-5](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00051-5)
- He, Z. J., Niu, B. G., Ren, J. S., 2005. Tectonic Discriminations of Sandstones Geochemistry from the Middle-Late Devonian Liuling Group in Shanyang Area, Southern Shaanxi. *Chinese Journal of Geology*, 40(4): 594–607 (in Chinese with English abstract).
- Hu, F. Y., Liu, S. W., Santosh, M., et al., 2016. Chronology and Tectonic Implications of Neoproterozoic Blocks in the South Qinling Orogenic Belt, Central China. *Gondwana Research*, 30: 24–47. <https://doi.org/10.13039/501100004613>
- Li, L., Sun, F. Y., Li, B. L., et al., 2017. Geochronology of Ershi'erzhan Formation Sandstone in Mohe Basin and Tectonic Environment of Its Provenance. *Earth Science*, 42(1): 35–52 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.003>
- Liao, X. Y., Wang, Y. W., Liu, L., et al., 2017. Detrital Zircon U-Pb and Hf Isotopic Data from the Liuling Group in the South Qinling Belt: Provenance and Tectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 134: 244–261. <https://doi.org/10.13039/501100001809>
- Liu, L., Liao, X. Y., Wang, Y. W., et al., 2016. Early Paleozoic Tectonic Evolution of the North Qinling Orogenic Belt

- in Central China: Insights on Continental Deep Subduction and Multiphase Exhumation. *Earth-Science Reviews*, 159: 58 – 81. <https://doi.org/10.13039/501100001809>
- Liu, R.Y., Niu, B.G., He, Z.J., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of the Eastern Part of the Xiaomaoling Composite Intrusives in Zhashui Area, Shaanxi, China. *Geological Bulletin of China*, 30(2–3):448–460 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X.C., Jahn, B.M., Li, S.Z., et al., 2013. U-Pb Zircon Age and Geochemical Constraints on Tectonic Evolution of the Paleozoic Accretionary Orogenic System in the Tongbai Orogen, Central China. *Tectonophysics*, 599(4): 67 – 88. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.04.003>
- Mattauer, M., Matte, P., Malavieille, J., et al., 1985. Tectonics of the Qinling Belt: Build-Up and Evolution of Eastern Asia. *Nature*, 317(6037): 496–500. <https://doi.org/10.1038/317496a0>
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., et al., 1993. Geochemical Approaches to Sedimentation, Provenance and Tectonics. *Geological Society of America, Special Paper*, 284:21–40.
- Mei, Z.C., Meng, Q.R., Cui, Z.L., et al., 1999. Devonian Depositional System and Paleogeographic Evolution of Qinling Orogenic Belt. *Journal of Palaeogeography*, 1(1): 32–40 (in Chinese with English abstract).
- Meng, Q.R., Mei, Z.C., Yu, Z.P., et al., 1995. A Disappeared Devonian Highland in the Northern Margin of the Qinling Plate. *Chinese Science Bulletin*, 40(3): 254 – 256 (in Chinese with English abstract).
- Meng, Q.R., Zhang, G.W., 1999. Timing of Collision of the North and South China Blocks: Controversy and Reconciliation. *Geology*, 27(2): 123 – 126. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027<0123:tocotn>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0123:tocotn>2.3.co;2)
- Peng, S.B., Kusky, T.M., Jiang, X.F., et al., 2012. Geology, Geochemistry, and Geochronology of the Miaowan Ophiolite, Yangtze Craton: Implications for South China's Amalgamation History with the Rodinian Supercontinent. *Gondwana Research*, 21(2–3): 577–594. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.07.010>
- Qin, J.F., 2010. Petrogenesis and Geodynamic Implications of the Late-Triassic Granitoids from the Qinling Orogenic Belt (Dissertation). Northwestern University, Xi'an, 282 (in Chinese with English abstract).
- Ratschbacher, L., Hacker, B.R., Calvert, A., et al., 2003. Tectonics of the Qinling (Central China): Tectonostratigraphy, Geochronology, and Deformation History. *Tectonophysics*, 366(1–2): 1–53.
- Ren, J.S., Jiang, C.F., Zhang, Z.K., et al., 1980. *Tectonic and Evolution of China*. Science Press, Beijing, 124 (in Chinese).
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1988. Provenance Signatures of Sandstone-Mudstone Suites Determined Using Discriminant Function Analysis of Major-Element Data. *Chemical Geology*, 67(1–2): 119 – 139. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)
- Shi, Y.R., Liu, D.Y., Zhang, Z.Q., et al., 2007. SHRIMP Zircon U-Pb Dating of Gabbro and Granite from the Huashan Ophiolite, Qinling Orogenic Belt, China: Neoproterozoic Suture on the Northern Margin of the Yangtze Craton. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 81(2): 239 – 243. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2007.tb00947.x>
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1): 313 – 345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Wang, L.J., Griffin, W.L., Yu, J.H., et al., 2010. Precambrian Crustal Evolution of the Yangtze Block Tracked by Detrital Zircons from Neoproterozoic Sedimentary Rocks. *Precambrian Research*, 177(1–2): 131 – 144. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2009.11.008>
- Wang, Z.Q., Wang, T., Yan, Z., et al., 2002. Late Paleozoic Forearc Accretionary Piggyback Type Basin System in the South Qinling, Central China. *Regional Geology of China*, 21(8–9): 456 – 464 (in Chinese with English abstract).
- Wei, Y.X., Peng, S.B., Jiang, X.F., et al., 2012. SHRIMP Zircon U-Pb Ages and Geochemical Characteristics of the Neoproterozoic Granitoids in the Huangling Anticline and Its Tectonic Setting. *Journal of Earth Science*, 23(5): 659 – 676. <https://doi.org/10.1007/s12583-012-0284-z>
- Wu, Y.B., Zheng, Y.F., 2004. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589 – 1604 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y.B., Zheng, Y.F., 2013. Tectonic Evolution of a Composite Collision Orogen: An Overview on the Qinling-Tongbai-Hong'an-Dabie-Sulu Orogenic Belt in Central China. *Gondwana Research*, 23(4): 1402 – 1428. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.09.007>
- Xu, D.L., Liu, H., Wei, Y.X., et al., 2016. Detrial Zircon U-Pb Dating of Zhengjiaya Formation from the Shengnongjia Area in the Northern Yangtze Block and Its Tectonic Implications. *Acta Geologica Sinica*, 90(10): 2648 – 2660 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Y., Yang, K.G., Polat, A., et al., 2016. The ~860 Ma Mafic Dikes and Granitoids from the Northern Margin of the Yangtze Block, China: A Record of Oceanic Sub-

- duction in the Early Neoproterozoic. *Precambrian Research*, 275: 310—331. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2016.01.021>
- Xu, Y.J., Du, Y.S., 2018. From Periphery Collision to Intraplate Orogeny: Early Paleozoic Orogenesis in Southeastern Part of South China. *Earth Science*, 43(2): 333—353 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.582>
- Yan, Z., Fu, C. L., Wang, Z. Q., et al., 2016. Late Paleozoic Subduction-Accretion along the Southern Margin of the North Qinling Terrane, Central China: Evidence from Zircon U-Pb Dating and Geochemistry of the Wuguan Complex. *Gondwana Research*, 30: 97—111. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.05.005>
- Yan, Z., Wang, Z., Yan, Q., et al., 2012. Geochemical Constraints on the Provenance and Depositional Setting of the Devonian Liuling Group, East Qinling Mountains, Central China: Implications for the Tectonic Evolution of the Qinling Orogenic Belt. *Journal of Sedimentary Research*, 82(1): 9—20. <https://doi.org/10.2110/jsr.2012.4>
- Yan, Z., Wang, Z. Q., Wang, T., et al., 2007. Tectonic Setting of Devonian Sediments in the Qinling Orogen: Constraints from Detrital Modes and Geochemistry of Clastic Rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 1023—1042 (in Chinese with English abstract).
- Yang, L.Q., Ji, X.Z., Santosh, M., et al., 2015. Detrital Zircon U-Pb Ages, Hf Isotope, and Geochemistry of Devonian Chert from the Mianlue Suture: Implications for Tectonic Evolution of the Qinling Orogen. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113: 589—609. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.04.013>
- Yang, W. T., Du, Y. S., 2017. Geochemistry of Mudstones from Mesozoic Jiyuan Basin, West Henan: Implications for Provenance Analysis. *Earth Science*, 42(1): 53—67 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.004>
- Yang, S.N., 1985. The Evolution of Qinling Intercontinental Rift System in Paleozoic. *Earth Science*, 10(4): 53—62 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H.F., Huang, D.H., 1996. Early Palaeozoic Evolution of the Zhen'an-Xichuan Block and the Small Qinling Multi-Island Ocean Basin. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 9(1): 1—15. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.1996.mp9001001.x>
- Yuan, H.L., Gao, S., Liu, X.M., et al., 2004. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353—370. <https://doi.org/10.1111/j.1755-908x.2004.tb00755.x>
- Zhang, G.W., Mei, Z.C., Li, T.H., 1988. The Ancient Passive Continental Margin South of the Qinling Orogenic Belt. In: Zhang, G.W., et al., eds., *Formation and Evolution of the Qinling Orogen*. Northwest University Press, Xi'an, 192 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. W., Zhang, B. R., Yuan, X. C., et al., 2001. *Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics*. Science Press, Beijing, 855 (in Chinese).
- Zhang, H.Q., 1987. Stratigraphic Division and Correlation of the Devonian in the Xichuan-Neixiang Area, Henan Province. *Regional Geology of China*, 6(4): 322—326 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y.L., Wang, Z.Q., Wang, G., et al., 2016. Detrital Zircon Geochronology of the Late Paleozoic Taohekou Formation and Its Constraints on the Paleozoic Magmatic Events in North Daba Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 90(4): 728—738 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. H., 1997. *The Geochemistry Principle of Trace Element*. Science Press, Beijing, 217 (in Chinese).

附中文参考文献

- 杜定汉, 1986. 陕西秦巴地区泥盆系研究. 西安: 西安交通大学出版社, 230.
- 杜远生, 1997. 秦岭造山带泥盆纪沉积地质学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 130.
- 杜远生, 1995. 秦岭造山带泥盆纪古海洋研究. 地球科学, 20(6): 617—623.
- 和政军, 牛宝贵, 任纪舜, 2005. 陕南山阳地区刘岭群砂岩岩石地球化学特征及其构造背景分析. 地质科学, 40(4): 594—607.
- 李良, 孙丰月, 李碧乐, 等, 2017. 漠河盆地二十二站组砂岩形成时代及物源区构造环境判别. 地球科学, 42(1): 35—52. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.003>
- 刘仁燕, 牛宝贵, 和政军, 等, 2011. 陕西柞水地区小茅岭复式岩体东段 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年. 地质通报, 30(2—3): 448—460.
- 梅志超, 孟庆任, 崔智林, 等, 1999. 秦岭造山带泥盆纪的沉积体系与古地理格局演化. 古地理学报, 1(1): 32—40.
- 孟庆任, 梅志超, 于在平, 等, 1995. 秦岭板块北缘一个消失了的泥盆纪古陆. 科学通报, 40(3): 254—256.
- 秦江锋, 2010. 秦岭造山带晚三叠世花岗岩类成因机制及深部动力学背景(博士学位论文). 西安: 西北大学, 282.
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等, 1980. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社, 124.
- 王宗起, 王涛, 闫臻, 等, 2002. 秦岭晚古生代弧前增生的背驮型盆地体系. 地质通报, 21(8—9): 456—464.

- 吴元保,郑永飞,2004.锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约.科学通报,49(16): 1589—1604.
- 徐大良,刘浩,魏运许,等,2016.扬子北缘神农架地区郑家垭组碎屑锆石年代学及其构造意义.地质学报,90(10): 2648—2660.
- 徐亚军,杜远生,2018.从板缘碰撞到陆内造山:华南东南缘早古生代造山作用演化.地球科学,43(2): 333—353.
<https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.582>
- 闫臻,王宗起,王涛,等,2007.秦岭造山带泥盆系形成构造环境:来自碎屑岩组成和地球化学方面的约束.岩石学报,23(5): 1023—1042.
- 杨森楠,1985.秦岭古生代陆间裂谷系的演化.地球科学,10(4): 53—62.
- 杨文涛,杜远生,2017.豫西济源盆地中生代泥岩地球化学特

- 征对物源区的指示.地球科学,42(1): 53—67.<https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.004>
- 张国伟,张本仁,袁学诚,等,2001.秦岭造山带与大陆动力学.北京:科学出版社,855.
- 张国伟,梅志超,李桃红,1988.秦岭造山带的南部古被动大陆边缘.见:张国伟等著,秦岭造山带的形成及其演化.西安:西北大学出版社,192.
- 张海清,1987.河南省淅川—内乡泥盆系的划分与对比.中国区域地质,6(4): 322—326.
- 张英利,王宗起,王刚,等,2016.北大巴山地区晚古生代滔河口组碎屑锆石年代学研究及对古生代岩浆事件的限定.地质学报,90(4): 728—738.
- 赵振华,1997.微量元素地球化学原理.北京:科学出版社,217.