

四川盆地西部上三叠统须家河组物质来源： 碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄研究

余世花^{1,2} 梁新权^{1*}

(中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室¹, 广州 510640; 中国科学院大学², 北京 100049)

摘要 对四川盆地西部晚三叠世须家河组碎屑长石石英砂岩和须家河组四期砂岩中碎屑锆石进行了 U-Pb 定年。分析研究表明: ①川西西部都江堰地区沉积物样品具四个主要年龄峰分别为 245 Ma、460 Ma、773 Ma 和 1 836 Ma; 川西北部广元地区样品具四个主要年龄峰分别为 245 Ma、452 Ma、834 Ma 和 1 850 Ma; ②结合碎屑锆石 U-Pb 测年特征, 表明川西盆地北段广元地区和中段都江堰地区须家河组上部和下部年代学以及地球化学信息一致, 主要显示吕梁期(峰值 1 836 Ma、1 950 Ma 和 1 850 Ma)、晋宁末期(峰值为 865 Ma 和 834 Ma)、加里东期(峰值为 460 Ma 和 452 Ma)和海西-印支期年龄峰(峰值为 245 Ma), 反映两个地区具有相似物源; ③结合碎屑锆石 U-Pb 年龄与周缘造山带对比分析, 海西-印支期碎屑物质来源于秦岭造山带; 加里东期是秦岭造山带的主要造山阶段, 秦岭造山带为该阶段提供物源; 晋宁末期是扬子克拉通岩浆活动最活跃时期, 扬子克拉通为该阶段碎屑物质主要源区; 吕梁期碎屑锆石, 主要来自其北缘的华北克拉通。

关键词 碎屑锆石 U-Pb 定年 物源分析 上三叠统须家河组 四川盆地西部
中图分类号 P619.14; 文献标志码 A

四川盆地位于华南板块的西部(图 1), 受到北面秦岭-大别造山带、西面龙门山造山带、东面华南褶皱带和南面川西南褶皱带 4 条重要的造山或变形带的重大影响^[1-8]。盆地上三叠统须家河组堆积了巨厚的碎屑物质^[9], 这些沉积物中富含油气资源, 具有良好的勘探前景^[10-12]。然而, 随着研究力度的不断加深, 与油气有关的沉积物源区特征、演化规律以及动力学机制还不是很清楚。研究川西盆地晚三叠世物质来源有助于理解四川盆地和龙门山的演化过程, 重建川西晚三叠世岩相古地理, 从而推动川西上三叠统的油气勘探工作。

近年来对四川盆地西部(后文称川西)沉积物物源做了很多研究工作。一部分学者^[1, 4, 13-16]认为四川盆地在晚三叠世期间是转换前陆盆地, 是龙门山构造带逆冲加载及左旋走滑的响应, 其物源主要

来自龙门山造山带; 另一部分学者^[17, 18]认为, 晚三叠世早期, 须家河组川西物源主要来自龙门山北、中段和东北秦岭大巴造山带, 须家河组四期之后, 主要受到西部龙门山和少量东北部秦岭大巴山物源的影响; 最近, 有学者^[19]认为龙门山北段、中段和南段在 T_3 时期有完整的地层沉积记录, 龙门山北段此时的构造线与秦岭-大别构造线基本一致, 晚三叠世龙门山没有隆升, 川西盆地没有来自龙门山的物源。可见, 四川盆地西部晚三叠世沉积物的源区特征及动力学机制还存在很大的争议。

碎屑锆石 U-Pb 定年目前已经广泛应用于沉积物源区研究, 它是源区分析和古地理重建、地球历史演化等强有力的构造指示器和不可缺少的研究方法之一。然而, 在源区分析和古地理重建等方面, 单一年龄数据只能给出源区特征的一维时间坐标, 而与之配套的微量元素及 Lu-Hf 同位素比值的综合研究能为锆石年龄的正确解释和源区的有效约束及源区真实的地壳演化的探讨提供进一步的强有力的工具^[20-31]。Veevers 等^[23]通过澳大利亚 Perth 盆地奥陶纪、二叠纪、早三叠世及第四纪沉积样品中碎屑锆石 U-Pb-Hf 的系统研究, 指出物源来自其北部的 Yilgarn 克拉通, 而非南部 Albany 省; 如 Cawood and Nemchin^[30]通过纽芬兰阿帕拉契山脉加拿大劳伦大陆边缘新元古代-奥陶纪与前陆、裂谷和弧侧盆地有关的沉积记录和其碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成综合研究, 探讨了盆地源区及古地理位置的变

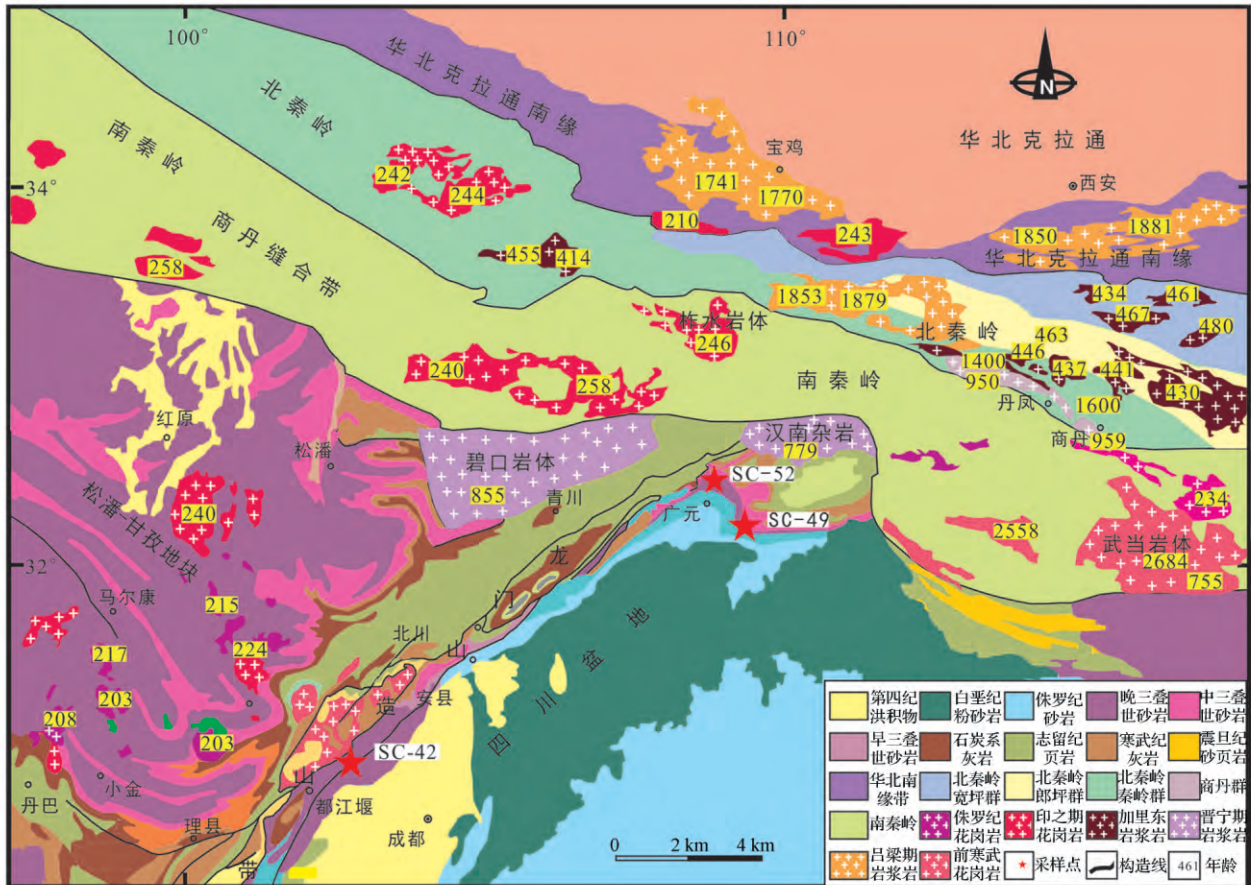
2016 年 5 月 09 日收到

第一作者简介: 余世花(1989—), 女, 羌族, 硕士研究生。研究方向: 沉积盆地物源。E-mail: 993788724@qq.com。

* 通信作者简介: 梁新权, 男, 博士。E-mail: liangxq@gig.ac.cn。

引用格式: 余世花, 梁新权, 王策. 四川盆地西部上三叠统须家河组物质来源: 碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(4): 13—24

Yu Shihua, Liang Xinquan, Wang Ce. Provenance of the Xu-jiahe group of late triassic in the Westren Sichuan Basin: evidence from detrital zircon U-Pb ages[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(4): 13—24



同位素数据来自文献[62—107]

图1 四川盆地及邻区大地构造单元图

Fig. 1 Tectonic units division of Sichuan Basin and neighboring areas

化,揭示了海洋的打开和闭合历史;Fonnellan等^[31]通过碎屑锆石的研究,论证了挪威海(Norwegian)东、西部晚白垩世至古新世沉积源区的变化。

本文在前人研究的基础上,对四川盆地西部北段和中段晚三叠世三个砂岩样品的碎屑锆石利用LA-(MC)-ICP-MS进行系统的U-Pb年代学、微量元素及Hf同位素测试,通过物源对比研究,论述了四川盆地西部晚三叠世沉积时期的物源主要来自北部,并证实了龙门山在晚三叠世未隆升的历史。

1 地质背景与样品描述

四川盆地西部指四川盆地内南江-三台-乐山以西,安县-都江堰-双石断裂以东的区域,周围被多个造山带包围(图1)。四川盆地北缘秦岭-大别带具有漫长的演化历史^[32—35]。华北与华南碰撞造山大概发生在中三叠世^[36,37],同时中生代发生左旋走滑^[38],导致了东秦岭逆冲推覆系、米仓山褶皱带、大巴山褶皱冲带的发育及秦岭南缘或四川盆地北部中生代巨厚沉积物的形成^[39,40]。盆地西缘龙门山带,于晚三叠世向东发生逆冲推覆的同时还经历过大规模

的NE-SW向左旋走滑运动^[41—45]。其西的松潘-甘孜地体发育与华南板块地层相对比的巨厚的古生界-下三叠统^[46],可能是华南板块的西延部分^[1]。松潘-甘孜地体内的中-上三叠世强烈褶皱和隆升,向东挤压、逆冲,形成龙门山推覆构造带^[8,43],并在其东侧形成前陆盆地^[16,47—50]。

晚三叠世中国南北大陆拼合,龙门山早期隆升以及海水从四川盆地西部退出、川西地区海相碳酸盐岩-海相碎屑岩-陆相碎屑岩的转换都发生在这一时期^[50]。随着龙门山和大巴山的形成海水自东而西从盆地逐渐退去,大量碎屑物质进入川西沉积形成了巨厚的以岩屑砂岩为主的上三叠统,盆地进而转变为陆相沉积。

四川盆地上三叠统须家河组按岩性分为六段(图2),其中一、三、五段以夹有煤系地层为特征,与砂岩互层,二、四、六段则是以砂岩为主,底部有砾岩。前人对四川盆地西部的砾岩及砂岩分布做过详细研究。

(1) 砾岩 四川盆地上三叠统须家河组砾石主要分布于须二段和须四段^[17]。须二段砾石主要分布

于川西北段,即广元地区。砾石成分以石英片岩和粉砂岩为主,成分成熟度较高。且砾石由西北向东南层厚减薄、粒径变细、成分成熟度增高的趋势。须四段的砾石仍然主要分布于川西北,其砾石成分以碳酸盐、岩浆岩为主,与须二段砾石相比,其成分成熟度及结构成熟度均明显下降,分布范围和厚度明显增大,且砾石展布有自西向东旋转的趋势。

(2) 砂体 须家河组发育 5 大砂体,但在不同时期砂体分布位置及规模有很大差异。须二段整体上,砂体呈西北厚、东南薄^[17]。从岩性分析,四川盆地西部北面和中部以岩屑砂岩、长石岩屑砂岩为主,南部以岩屑石英砂岩为主;须四段整体上,砂体西北方向收缩、东南方向增大。从岩性分析,四川盆地西部南面以岩屑砂岩为主,西面以岩屑石英砂岩和岩屑砂岩为主,东面以岩屑砂岩为主^[18]。

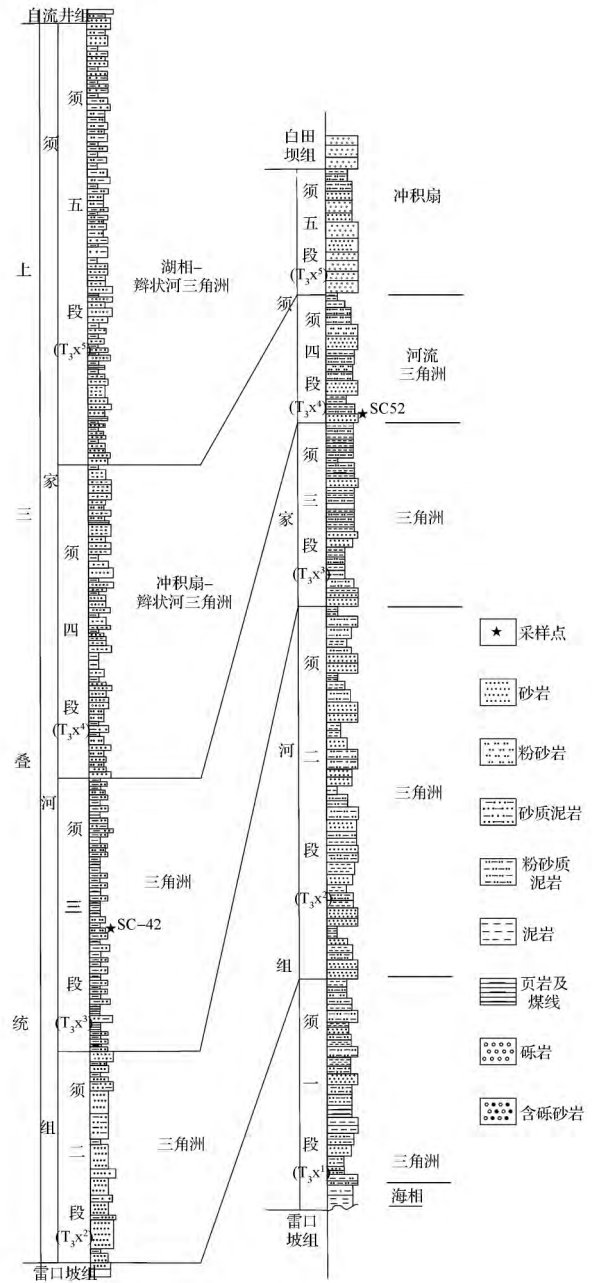
本文研究样品 SC-42 和 SC-52 为砂岩和粉砂岩,分别采自四川盆地西缘都江堰二王庙和广元须家河村[图 2(b)]。SC-42 就是采集于须家河组三段中部的砂岩(图 2),其地理坐标为 N31°00′33.8″,E103°36′28.1″。广元地区上三叠统须家河组地层出露比较完整(图 2),SC-52 采集于须家河组四段下部(图 2),其地理坐标为 E103°36′28.1″;N32°29′30.7″,E105°50′58.3″。

2 分析方法

2.1 锆石 U-Pb 定年及微量元素分析方法

首先将所选砂岩样品碎至 80 ~ 100 目,利用常规浮选和磁选方法选出锆石单矿物,每个样品挑选的锆石一般 > 1 000 颗,随机从中挑选 > 200 颗制成环氧树脂靶,固结后打磨、抛光至靶上锆石的中心部位暴露出来,再用 Milli-Q 水清洗风干。用体积比为 3% 的 HNO₃ 清洗样品表面,以除去样品表面的污染。然后进行锆石样品的反射光和透射光显微照相,并进行锆石阴极发光照相分析,以确定适合分析的锆石颗粒和激光剥蚀位置。阴极发光图像在北京锆年领航科技有限公司完成,分析以检查锆石内部结构特征。在 CL 照片基础上进行激光剥蚀(多接收)电感耦合等离子质谱仪[LA-(MC)-ICP-MS]原位微区分析。

锆石 U-Pb 年龄分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。LA-ICP-MS 其激光剥蚀系统采用 Geolas200M,ICP-MS 为 E1AN 6100 DRC,激光剥蚀方式为单点剥蚀。每个分析点的气体背景采集时间为 20 s,信号采集时间为 40 s,以 He 作为剥蚀物质的载气。锆石 U-Pb 年龄测定采用国际标准锆石 91500 作为外标校正,每测定 4 ~ 5 个点后测定一次



(a) 都江堰地区 (b) 广元地区
图 2 四川盆地西部及北部晚三叠统须家河组地层序列及采样层位

Fig. 2 The Xujiahe Formation of the Late Triassic stratigraphic sequences of west of the Sichuan Basin, in which sampling layers and sample codes are prominently marked

标样;以²⁹Si 作内标。采用美国国家标准术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST 610 进行仪器最佳化,测定样品前后各测 2 次 NIST 610,保证了标准样品和所测样品的仪器条件完全一致,分别进行锆石 U-Pb 定年和微量元素含量的测试分析。详细实验过程、仪器参数可参考 Yuan 等^[51],普

通铅校正采用 Anderson^[52]的方法。同位素比值数据处理采用 ICPMSDatacal 7.2 软件平滑方法进行^[53]。样品的加权年龄平均值计算采用 ISOPLLOT (3.00 版)^[54]软件进行,并绘制锆石 U-Pb 年龄谐和图和频率分布直方图。具体分析方法和步骤及普通 Pb 校正见参考文献[55,56]。

3 测试结果

3.1 锆石形态学特征

三个样品中所测的 164 颗碎屑锆石大都发育有较好的韵律环带,指示为岩浆成因锆石。除了 4 个测点(SC-4901、SC-4956、SC-4963、SC-5237) Th/U < 0.1 外,其他所有的锆石测点 Th/U > 0.1 [图 3 (a)],为岩浆成因锆石^[57,58]。所测试碎屑锆石微量元素稀土配分模式为右倾型,重稀土富集,轻稀土亏损,正的 Ce 异常,负 Eu 异常[图 3 (b)],亦显示典型岩浆成因特征的锆石^[58-60]。

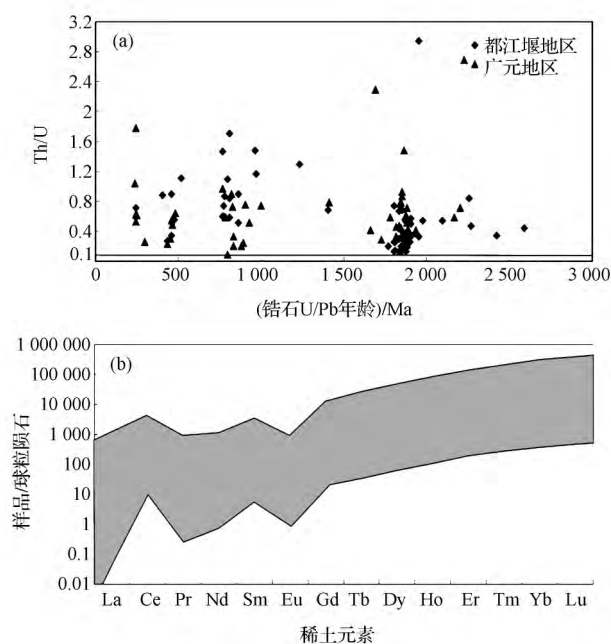


图3 四川盆地西部碎屑锆石 U-Pb 年龄与 Th/U 比值散点图(a)和稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(b)

Fig. 3 Plot of Th/U ratios versus U-Pb ages of detrital zircon in sandstone from the west of Sichuan Basin (a) and chondrite-normalized REE patterns (b)

3.2 锆石 U-Pb 年龄

3.2.1 样品 SC-42

对四川盆地西部都江堰地区样品 SC-42 的 60 颗碎屑锆石中,舍弃谐和度 > 110% 和 < 90% 的 U-Pb 年龄后,共得到 55 个 U-Pb 有效数据,获得的

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (< 1 000 Ma) 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (> 1 000 Ma) 年龄范围为 244 ~ 2 589 Ma(表 1)。具四个主要年龄峰(245 Ma、460 Ma、773 Ma 和 1 836 Ma) [图 4 (a)]。

3.2.2 样品 SC-52

对广元样品 SC-52 中 60 粒锆石进行分析,舍弃谐和度 > 110% 和 < 90% 的 U-Pb 年龄后,共得到 52 个有效数据(表 1),其协和曲线见图 4 (b)。获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (< 1 000 Ma) 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (> 1 000 Ma) 年龄范围为 238 ~ 2 229 Ma,具四个主要年龄峰(245 Ma、452 Ma、834 Ma 和 1 850 Ma) 和两个次要峰(1 410 Ma 和 2 205 Ma) [图 4 (b)]。

4 讨论

4.1 源区特征

川西盆地碎屑沉积物质的潜在源区包括北缘的华北克拉通、秦岭造山带和西缘的松潘-甘孜造山带及扬子克拉通。这些造山带和克拉通具有完全不同的演化历史和动力学过程,可以帮助我们了解川西盆地沉积物的主要来源。

华北克拉通具有 > 3.0 Ga、3.0 ~ 2.5 Ga、2.5 ~ 2.4 Ga 和 2.4 ~ 1.8 Ga 明显的多期造山成岩记录^[61,62]。在频谱图上,以古元古代-太古宙锆石年龄为特征,出现 1 863 Ma、1 935 Ma、2 791 Ma 和 2 779 Ma 峰值[图 5 (a)]。近几年的工作证实,它被一个古元古代转换造山带分成东西两个板块^[63-67]。它们具有明显不同的演化历史和物质记录。东部板块出露构造前的 TTG 岩套、同构造期的花岗质岩石和少量的基性-超基性火山岩。可靠的年代学资料确认 TTG 岩套形成于 3.5 ~ 2.5 Ga^[66],同构造花岗质岩石形成于 ~ 2.5 Ga,SHRIMP 锆石分析揭示了河北东部和鞍山穹隆有 ~ 3.8 Ga 地壳的残留^[68,69]。西部板块 TTG 岩套形成于晚太古代,在 ~ 2.5 Ga 发生区域变质作用^[66]。SHRIMP 锆石分析指示西部孔兹岩系和同构造期的花岗岩形成于 2.0 ~ 1.8 Ga^[66],SHRIMP 锆石分析熊耳群火山岩形成于 1.8 ~ 1.75 Ga^[70,71];转换带由遭受绿片岩相-麻粒岩相的不同比例的太古宙和古元古宙岩石组成,被解释为东西部板块在 ~ 1.8 Ga 碰撞带^[72]。

秦岭造山带,出露古元古代(1 800 ~ 2 500 Ma) 结晶基底和新元古代(800 ~ 900 Ma)、古生代(420 ~ 485 Ma) 和中生代(230 ~ 255 Ma) 的岩浆岩(图 1)^[34]。在频谱图上,主要出现中生代和古生代锆石年龄,并出现古元古代和新元古代次要峰值为特征标志[图 5 (b)]。古元古代以古老结晶基底岩块出现^[34,73],如宝鸡胡店和太白巩坚沟的片麻状二

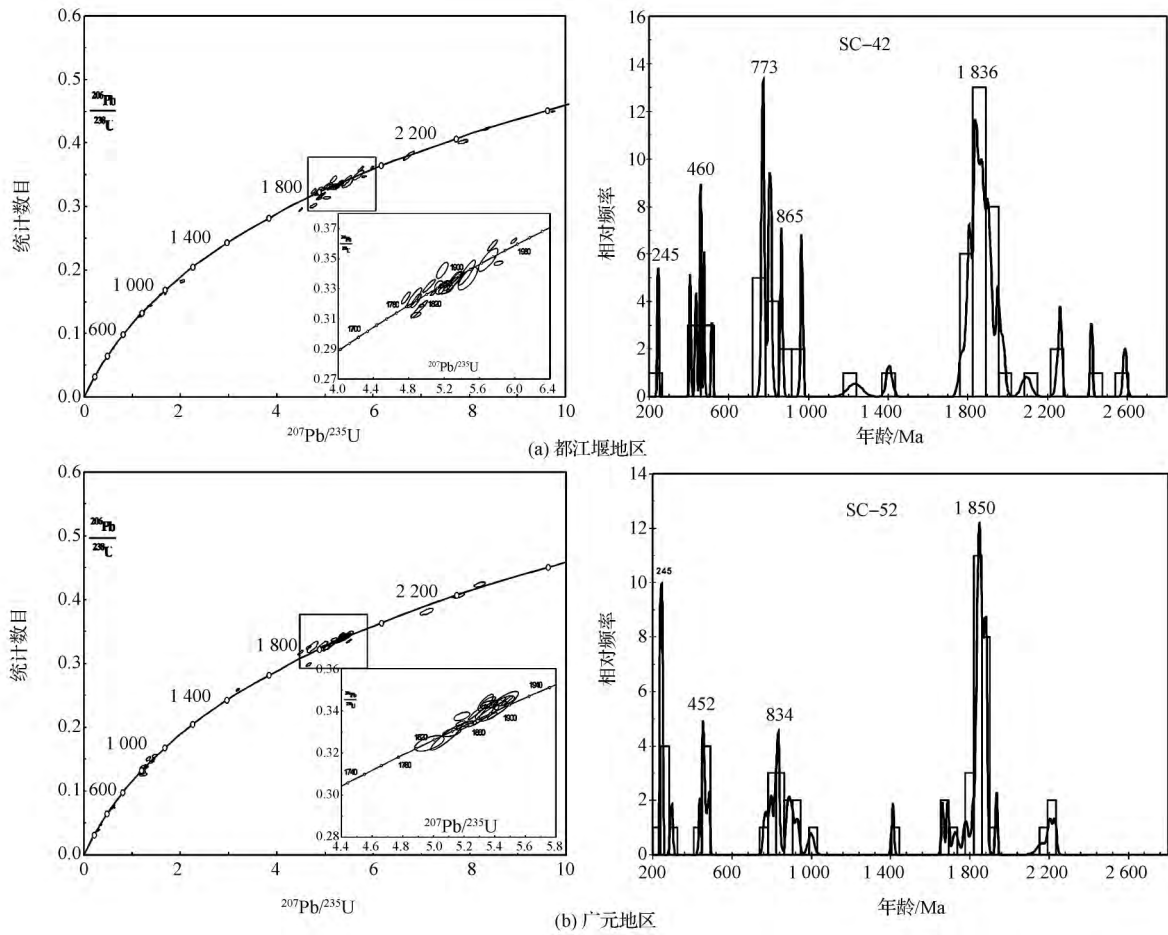


图 4 碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和图与频谱图

Fig. 4 U-Pb concordia plots and age spectrum diagram for detrital zircons

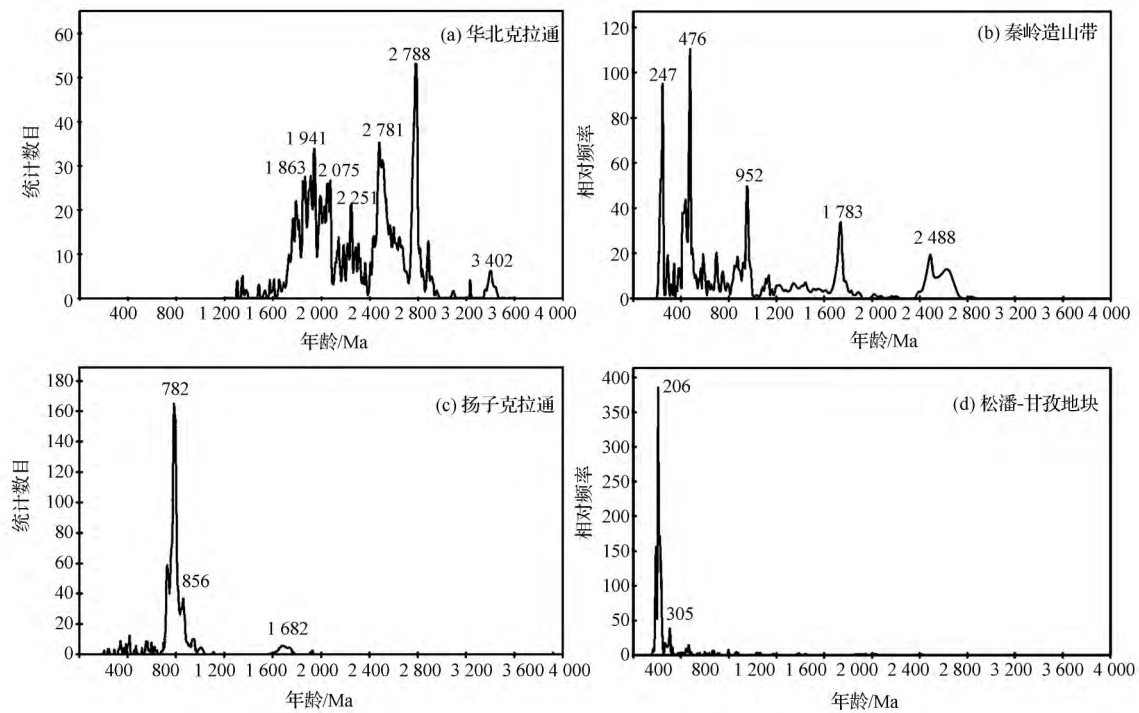


图 5 四川盆地西缘邻区锆石 U-Pb 年龄谱分布特征

Fig. 5 Age spectrum diagram for detrital zircons from peripheral region of Western Sichuan Basin

长花岗岩的年龄分别为(1 770 ± 13)、(1 741 ± 12) Ma^[74] 陕西小秦岭太华群锆石 U-Pb 年龄为 1 826 ~ 2 068 Ma^[75]; 新元古代花岗岩片麻岩的年龄多集中于 844 ~ 955 Ma, 主要出露于北秦岭秦岭群中太白宫山、黄土坳、西涝峪等岩体^[76-80]; 古生代岩浆岩在秦岭岩浆岩中占突出地位, 主要分布于北秦岭, 南秦岭仅有零星出露^[80]。SIMS 和 SHRIMP 锆石分析指示北秦岭古生代花岗岩岩体分为 470 ~ 505 Ma、422 ~ 455 Ma 和 400 ~ 415 Ma 三个年龄演化阶段^[76, 80, 81]。如位于陕西凤县的红花铺岩体 SIMS 年龄为 (414 ± 4) Ma^[82]; 河南狮子坪的灰池子岩体 SIMS 年龄为 (434 ± 7) Ma^[80]、丹凤县资峪一带宽坪岩体单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 (446 ± 19) Ma^[83]、陕西凤县唐藏岩体锆石 U-Pb 年龄为 (455 ± 1.9) Ma^[84], 赵蛟等^[85] 获得了北秦岭二郎坪基性火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 463 ~ 475 Ma; 秦岭造山带古生代的花岗岩突出地集中在商丹带以北, 而大量的晚海西-印支期花岗岩则在南北秦岭都有出露^[86, 87], 如 240 ~ 189 Ma 的花岗岩^[88], 刘春花等^[89, 90] 获得南秦岭东江口的花岗闪长岩体年龄为 (246.8 ± 2.5) Ma, 闫全人等^[90] 获得了南秦岭秦岭岩群中斜长角闪岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 258 Ma。

扬子克拉通主要出露新元古代岩石^[91], 在频谱图上以 423 Ma、858 Ma、2 035 Ma 和 2 494 Ma 峰值为特征 [图 5(c)]。扬子克拉通存在 2.87 ~ 3.50 Ga 的碎屑锆石或继承锆石^[92, 93], 崆岭群出露 2.90 ~ 2.95 Ga 奥长花岗岩, 并经历了 2.75 Ga 高级变质事件、1.90 Ga 的岩浆事件及 1.0 Ga 的 Pb 的丢失^[92]。部分学者^[94, 95] 开展了扬子克拉通前寒武纪莲沱组碎屑锆石的研究, 发现碎屑锆石年龄可以分成: > 3.0 Ga、2.95 Ga、2.6 ~ 2.5 Ga、2.0 Ga 和 820 ~ 750 Ma。虽然在扬子克拉通发现有古元古代-太古宙年龄的锆石^[92], 但是扬子克拉通主要产出的还是新元古代的岩浆岩^[95-100]。平先权等^[101] 获得川西盆地北缘碧口块体的锆石 U-Pb 年龄为 (855 ± 6) Ma、(917 ± 14) Ma 和 (854 ± 10) Ma; 敖文昊等^[102] 和凌文黎等^[103] 获得了川西盆地北缘汉南杂岩体的锆石 U-Pb 年龄分别为 (786 ± 4) Ma 和 (863 ± 10) Ma。

松潘甘孜褶皱带地层主要有三叠系浊积岩构成, 仅在东部边缘出露有震旦纪-古生代地层和前寒武纪杂岩体^[104]。在频谱图上以 206 Ma 峰值为特征 [图 5(d)]。Bruguier 等^[105] 和 Weislogel 等^[106] 曾对中、上三叠统碎屑锆石做了很多的 U-Pb 年代学工作, 其主要有 4 组年龄: 2.5 ~ 2.4 Ga、1.95 ~ 1.85 Ga、450 ~ 400 Ma 和 280 ~ 250 Ma, 其次还有 820 ~ 720 Ma、485 ~ 475 Ma、395 ~ 355 Ma 和 320 ~ 300

Ma。这些碎屑与秦岭-大别、华北及华南的输入有关。在松潘-甘孜体内的岩浆岩体主要形成于晚三叠世, 但岩浆活动可延续至早侏罗世晚期。戴宗明^[107] 获得四姑娘山岩体 SHRIMP 年龄为 (203.6 ± 6.8) Ma, 毛尔盖岩体为 (211 ± 4) Ma。

综上所述, 华北克拉通以古元古代-太古宙锆石年龄为特征; 秦岭造山带主要出现中生代和古生代锆石年龄, 并出现古元古代和新元古代次要峰值为特征标志; 扬子克拉通主要集中分布 750 ~ 850 Ma 的岩浆岩年龄信息; 松潘甘孜变形造山过程主要发生在晚三叠世或是印期。

4.2 碎屑物质来源

4.2.1 1 805 ~ 1 976 Ma

这一年龄阶段代表了古元古代末的吕梁期。古元古代是中国大陆许多地块的前寒武纪结晶基底重新组合或统一定型时期, 这一年龄段物质在华北克拉通、扬子地块、华夏地块及秦岭-大别造山带均能找到。四川盆地西缘晚三叠世须家河组这一阶段碎屑锆石年龄主要集中分布于 1 800 ~ 1 900 Ma, 优势很大且年龄峰值接近, 表明两个地区物源一致。该段年龄信息在扬子地块存在, 但 1 800 ~ 1 900 Ma 的碎屑锆石不可能来自扬子地块, 包括扬子地块内部以及北缘的秦岭造山带。因为一方面该段年龄信息在扬子地块与其广泛分布的新元古代年龄信息相比实在太少; 另一方面在扬子地块内部及其北缘地区无论是元古界还是古生界碎屑沉积物中都很少出现 1 800 ~ 1 900 Ma 的年龄信息; 而这些锆石年龄信息在三叠系碎屑岩中突然的出现且广泛分布于扬子内部及边缘, 这种现象只有用外来的物源进行解释比较合理。吕梁运动使得中国华北地区早期不同陆块最终碰撞、拼合, 形成华北克拉通统一的结晶基底, ~ 1.8 Ga 为早前寒武纪华北突出的锆石 U-Pb 年龄峰值^[61, 62]。再结合前人研究^[62, 63, 67], 中三叠世华南向北俯冲于华北板块之下, 使华北板块抬升并向松潘-甘孜提供物源, 到晚三叠世华南板块顺时针旋转, 使秦岭造山带抬升并且松潘-甘孜盆地关闭, 导致华北板块南缘增厚, 华北板块南缘的碎屑物质向南运移。因此华北克拉通可能是 1 800 ~ 1 900 Ma 碎屑锆石的主要物源区。华夏地块北部的武夷地块虽然年龄分布以 1 700 ~ 2 000 Ma 年龄组占优势的地区, 但其搬运距离以及路径均没有合理解释, 因而不可能是物源区。华北克拉通的熊耳群火山岩^[70] (1.84 ~ 1.40 Ga) 等都可能为四川盆地西缘晚三叠世 1 805 ~ 1 976 Ma 的碎屑锆石提供物质来源。

4.2.2 766 ~ 895 Ma 碎屑锆石

这一年龄段代表晋宁期末-早加里东期构造运

动阶段,一般认为其来源于扬子克拉通。前人研究表明,扬子造山作用期间(750~850 Ma)是扬子地块重要的地壳生长时期^[91,92]。晋宁 I 期(900 Ma),扬子和华夏两个微板块分别形成,在晋宁 II 期(850~820 Ma)扬子和华夏又拼合^[96-99]。相应的地质作用有扬子地块西缘存在新元古代的岩浆-变质事件,其轿子顶杂岩中的块状黑云母二长花岗岩测得锆 U-Pb 年龄为 $739 \pm 29 \sim 824 \pm 22$ Ma^[102],还有克拉通西北缘碧口群存在 776~846 Ma 的火山岩^[101];扬子克拉通北缘南华纪沉积岩的碎屑锆石有 745~890 Ma 的 U-Pb 年龄记录^[94];另扬子板块亦有集中于 850~820 Ma 的花岗岩同位素年龄^[95],如 (817 ± 5) Ma 的铁船山组,还有 840~790 Ma 的基性岩浆活动^[96,97]。扬子克拉通有该年龄对应的岩浆构造活动,所以四川盆地西缘晚三叠世 766~895 Ma 的碎屑锆石来源于扬子克拉通的物源贡献。

故就以上分析,其扬子地块西北缘轿子顶杂岩块状黑云母二长花岗岩及板块西北缘基性火山岩为主的碧口群火山岩系均为可能物源。

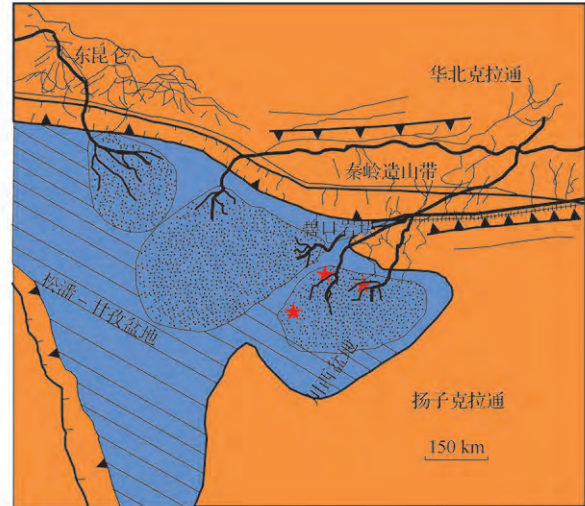
4.2.3 407~483 Ma 碎屑锆石

该年龄段为加里东造山作用阶段,是扬子板块内部褶皱和秦岭地质演化的重要阶段。在四川盆地西部晚三叠世早期(须一段),这一年龄段物源被认为分为南北两个物源区。认为秦岭造山带为北部物源,大别山北麓为四川盆地西南部物源。从本文所测得年龄数据看,两个地区有 452 Ma 和 458 Ma 两个接近的年龄峰值,故可能只有一个物源区。构造地质演化所衍生的地质体有如南秦岭佛坪 (424 ± 5) Ma 的片麻岩秦岭造山带西段红花铺晚侵入体^[74],及西段宽坪岩群斜长角闪岩^[79],还有北秦岭 400~505 Ma 的花岗岩体^[77,78]。

4.2.4 238~295 Ma 碎屑锆石

其年龄主要集中在 238~251 Ma。该阶段年龄的锆石分布表现为从东北向西南递减,在都江堰地区该年龄阶段的锆石分布较少。从年龄结构看,在两个地区均有 245 Ma 这一极高的年龄峰值,表明两个地区物源是近源的。这一阶段年龄在秦岭的党川花岗岩体、勉略缝合带及秦岭造山带中均存在^[88-90]。并且广元地区所测锆石年龄中含有大量 1 800~1 900 Ma 的锆石,因此该年龄阶段锆石可能来自附近的南秦岭地区。

综合分析研究区及周边区域地质特征,结合广元地区和都江堰地区上三叠统碎屑粒度的变化趋势(由东北向西南砾石和砂岩粒度变细),晚三叠世碎屑物沉积物质其北缘的华北克拉通、秦岭造山带及扬子克拉通(图 6)。



★为取样点

图 6 四川盆地西部碎屑物质来源示意图

Fig. 6 Reconstruction of Sichuan Basin complex paleodispersal systems during Upper Triassic

5 结论

对四川盆地西部中部和北部两个晚三叠世须家河组砂岩样品的碎屑锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素分析,得到以下几点结论。

(1) 通过碎屑锆石 U-Pb 测年,对比川西盆地北段上部和下部碎屑锆石年龄分布特征以及川西盆地北段广元地区和中段都江堰地区碎屑锆石,得出广元地区须家河组上部和下部沉积砂岩样品中的碎屑锆石年龄均具有 4 个类似年龄峰值区间,即 243~298 Ma、437~494 Ma、785~894 Ma 和 1 806~1 933 Ma;都江堰地区须家河组下部沉积砂岩样品的碎屑锆石年龄具有与广元地区类似的 4 个年龄峰值区间,即 236~271 Ma、420~478 Ma、772~854 Ma 和 1 801~1 984 Ma。

(2) 结合碎屑锆石 U-Pb 测年特征,表明川西盆地北段须家河组上部和下部年代学以及地球化学信息一致,表明川西盆地须家河组沉积时物源区并没有随区域不同或时间的变更发生大的改变,均具有相同的物质来源。

(3) 与周源造山带锆石年龄对比,川西盆地物源均来自其北部的秦岭造山带和华北克拉通,少量来自扬子克拉通。

参 考 文 献

- 1 Meng Q R, Wang E C, Hu J M. Mesozoic sedimentary evolution of the northwest Sichuan Basin: implication for continued clockwise rotation of the South China block. *GSA Bulletin*, 2005; 117: 396-410
- 2 Li Z X, Li X H. Formation of the 1 300-km-wide intracontinental

- orogen and post-orogenic magmatic province in Mesozoic South China: a flat-slab subduction model. *Geology*, 2007; 35: 179—182
- 3 Burchfiel B C, Chen Z, Liu Y, *et al.* Tectonics of Longmen Shan and adjacent regions, central China. *International Geological Review*, 1995; 37: 661—735
 - 4 许效松, 刘宝君, 徐强, 等. 中国西部大型盆地分析及地球动力学. 北京: 地质出版社, 1997: 1—168
Xu Xiaosong, Liu Baojun, Xu Qiang *et al.* Analysis for basin and the motivation in the west of China. Beijing: Geologic Press, 1997: 1—168
 - 5 姚根顺, 李大成, 卢文忠, 等. 四川叠合盆地盆山耦合特征分析. *大地构造与成矿学* 2006; 30(4): 435—444
Yao Genshun, Li Dacheng, Lu Wenzhong, *et al.* Characters of coupling between mesozoic sedimentary basin and orogenic belt in Sichuan overlain basin and its adjacent area. *Geotectonica et Metallogenia*, 2006; 30(4): 435—444
 - 6 沈传波, 梅廉夫, 徐振平, 等. 四川盆地复合盆山体系的结构构造和演化. *大地构造与成矿学* 2007; 31(3): 288—299
Shen Chuanbo, Mei Lianfu, Xu Zhenping *et al.* Architecture and tectonic evolution of composition Basin-mountain system in Sichuan Basin and its adjacent areas. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007; 31(3): 288—299
 - 7 翟光明, 宋建国, 靳久强. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价. 北京: 石油工业出版社 2002: 1—404
Zhai Guangming, Song Jianguo, Jin Jiuchang. Editorial group of sichuan oil and gas field. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 1—404
 - 8 郭正吾, 邓康龄, 韩永辉, 等. 四川盆地形成与演化. 北京: 地质出版社, 1996: 1—200
Guo Zhengwu, Dang Kangling, Han Yonghui *et al.* The evolution and composition of Sichuan Basin. Beijing: Geologic Press, 1996: 1—200
 - 9 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991: 1—707
Sichuan Geology and Mineral Bureau. Sichuan regional geology. Beijing: Geology Press, 1991: 1—707
 - 10 马永生, 蔡勋育, 郭彤楼. 四川盆地普光大型气田油气充注与富集成藏的主控因素. *科学通报* 2007; 52(增刊1): 149—155
Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Guo Tonglou. The Puguang oil field and its main factors on enrichment and hydrocarbon accumulation. *Geological Bulletin of China*, 2007; 52(S1): 149—155
 - 11 汪泽成, 赵文智, 张林, 等. 四川盆地构造层序与天然气勘探. 北京: 地质出版社 2002: 1—287
Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Zhang Lin, *et al.* The structural sequence and natural gas exploration in Sichuan Basin. Beijing: Geology Press, 2002: 1—287
 - 12 罗志立. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化. 成都, 成都科技大学出版社, 1994: 1—337
Luo Zhili. The uplifting of the Longmenshan orogenic zone and the subsidence of the west Sichuan Foreland Basin. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1994: 1—337
 - 13 Yong L, Allen P A, Densmore A L, *et al.* Evolution of the Longmenhan Foreland Basin (Western Sichuan, China) during the Late Triassic Indosinian orogeny. *Basin Research* 2003; 15: 117—138
 - 14 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化. 成都: 成都科技出版社, 1993: 1—167
Liu Shugen. The formation and evolution of Longmenshan Foreland Basin. Chengdu: Chengdu Technology Press, 1993: 1—167
 - 15 Chen S F, Wilson C L, Luo Z, *et al.* The evolution of the western Sichuan Basin, SW China. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994; 10: 159—168
 - 16 崔秉荃, 龙学明, 李元林. 川西拗陷的沉降与龙门山的崛起. *成都地质学院学报*, 1991; 18(1): 39—45
Cui Bingquan, Long Xuemin, Li Yuanlin. The subsidence of western Sichuan depression and the rise of Longmenshan Mountains. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1991; 18(1): 39—45
 - 17 施振生, 王秀芹, 吴长江. 四川盆地上三叠统须家河组重矿物特征及物源区意义. *天然气地球科学* 2011; 22(4): 619—627
Shi Zhensheng, Wang Xiuqin, Wu Changjiang. The heavy minerals and provenances of the upper triassic Xujiahe formation in Sichuan Basin. *Acta Geologica Sinica*, 2011; 22(4): 619—627
 - 18 杨映涛, 付菊, 吴玲. 川西拗陷中断上三叠统须家河组二、四段物源分析. *石油地质与工程* 2013; 27(6): 27—29
Yang Yingtao, Fu Ju, Wu Ling. Provenance analysis of the second and forth member of Xujiahe Formation in the middle part of western Sichuan depression. *Petroleum Geology and Engineering*, 2013; 27(6): 27—29
 - 19 张国伟, 郭安林, 王岳军, 等. 中国华南大陆构造与问题. *中国科学* 2013; 43(10): 1553—1582
Zhang Guowei, Guo Anlin, Wang Yuejun *et al.* The continental tectonics and the problem of South of China. *Science China*, 2013; 43(10): 1553—1582
 - 20 Condie K C, Beyer E, Belousova E, *et al.* U-Pb isotopic ages and Hf isotopic composition of single zircons: The search for juvenile Precambrian continental crust. *Precambrian Res*, 2005; 139: 42—100
 - 21 Davis D W, Amelin Y, Nowell G M, *et al.* Hf isotopes in zircon from the western Superior province, Canada: Implications for Archean crustal development evolution of the depleted mantle reservoir. *Precambrian Res*, 2005; 140: 132—156
 - 22 Veevers J J, Belousova E A, Saeed A, *et al.* Pan-Gondwanaland detrital zircons from Australia analysed for Hf-isotopes and trace elements reflect an ice-covered Antarctic provenance of 700 ~ 500 Ma age, TDM of 2.0 ~ 1.0 Ga, and alkaline affinity. *Earth-Science Reviews*, 2006; 76: 135—174
 - 23 Veevers J J, Saeed A, Belousova E A. U-Pb ages and source composition by Hf-isotope and trace-element analysis of detrital zircons in Permian sandstone and modern sand from southwestern Australia and a review of the paleogeographical and denudational history of the Yilgarn Craton. *Earth-Science Reviews*, 2005; 68: 245—279
 - 24 Wu F Y, Yang J H, Simon S A, *et al.* Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic constraints on the crustal evolution of North Korea. *Precambrian Research*, 2007; 159: 155—177
 - 25 Kemp A I S, Hawkesworth C J, Paterson B A, *et al.* Episodic growth of the Gondwana supercontinent from hafnium and oxygen isotopes in zircon. *Nature*, 2006; 439: 580—583
 - 26 Hawkesworth C J, Kemp A I S. Evolution of the continental crust. *Nature*, 2006; 443: 811—817
 - 27 Luo Y, Sun M, Zhao G C, *et al.* A comparison of U-Pb and Hf isotopic compositions of detrital zircons from the North and South Liaohu Groups: Constraints on the evolution of the Jiao-Liao-Ji Belt,

- North China Craton. *Precambrian Research*, 2008
- 28 Zheng Y F, Wu Y B, Chen F K, *et al.* Zircon U-Pb and oxygen isotope evidence for a large-scale O-18 depletion event in igneous rocks during the neoproterozoic. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004; 68: 4145—4165
- 29 Hawkesworth C J, Kemp A I S. Using hafnium and oxygen isotopes in zircons to unravel the record of crustal evolution. *Chem Geol*, 2006; 226: 144—162
- 30 Cawood P A, Nemchin A A. Source regions for Laurentian margin sediments: constraints from U/Pb dating of detrital zircon in the Newfoundland Appalachians. *GSA Bulletin*, 2001; 113: 1234—1246
- 31 Fonneland H C, Trond L, Martinsen O J, *et al.* Detrital zircon ages: a key to understanding the deposition of deep marine sandstones in the Norwegian Sea. *Sedimentary Geology*, 2004; 164: 147—159
- 32 Mattauer M, Matte P, Malavieille J, *et al.* Tectonics of the qinling belt: build-up and evolution of eastern asia. *Nature*, 1985; 317: 496—500
- 33 Zhang G, Zhang B, Yuan X, *et al.* The Qinling orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press, 2001: 1—855
- 34 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 2001: 1—855
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, *et al.* The Qinling belt and its continental synaics. Beijing: Science Press, 2001: 1—855
- 35 Ratschbacher L, Hacker B R, Calvert A, *et al.* Tectonics of the Qinling (Central China): Tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history. *Tectonophysics*, 2003; 366: 1—53
- 36 Meng Q R, Zhang G W. Timing of collision of the North and South China blocks: controversy and reconciliation. *Geology*, 1999; 27: 123—126
- 37 Meng Q R, Zhang G W. Geologic framework and tectonic evolution of the qinling orogen, Central China. *Tectonophysics*, 2000; 323: 183—196
- 38 Wang E, Meng Q, Burchfiel B C, *et al.* Mesozoic large-scale lateral extrusion, rotation, and uplift of the tongbai-dabie shan in East China. *Geology*, 2003; 31: 307—310
- 39 许志琴, 侯立玮, 王宗秀. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程. 北京: 地质出版社, 1992: 1—190
Xu Zhiqin, Hou Liwei, Wang Zongxiu. The orogenetic process of Songpan-Ganzi belt in China. Beijing: Geological Press, 1992: 1—190
- 40 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造. *中国科学*, 1995; 25: 994—1003
Zhang Guowei, Meng Qingren, Lai Shaocong. The structure and tectonics of Qinling Belt. *Science in China*, 1995; 25: 994—1003
- 41 Burchfiel B C, Chen Z, Liu Y, *et al.* Tectonics of Longmen shan and adjacent regions, Central China. *International Geological Review*, 1995; 37: 661—735
- 42 Chen S F, Wilson C G L, Worley B A. Tectonic transition from the Songpan-ganzi fold belt to the Sichuan Basin, Southwestern China. *Basin Research*, 1995; 7: 235—253
- 43 Chen S F, Wilson C J L. Emplacement of the Longmenshan thrust-nappe belt along the eastern margin of the tibetan plateau. *Journal of Structural Geology*, 1996; 18: 413—430
- 44 Worley B A, Wilson C J L. Deformation partitioning and foliation reactivation during transpressional orogenesis, and example from the Central Longmenshan, China. *Journal of Structural Geology*, 1996; 18: 395—411
- 45 王二七, 孟庆任, 陈智樑, 等. 龙门山断裂带印支期左旋走滑运动及其大地构造成因. *地学前缘*, 2001; 8(2): 375—384
Wang Erqi, Meng Qingren, Chen Zhiliang, *et al.* Early Mesozoic left-lateral movement along the Longmenshan Fault belt and its tectonic implications. *Earth Science Frontiers*, 2001; 8(2): 375—384
- 46 四川省地质矿产局. 四川省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 1—417
Sichuan Geology and Mineral Bureau. *Sichuan Lithostratigraphy*. Wuhan: University of Geoscience Press, 1997: 1—417
- 47 邓康龄. 四川盆地形成演化与油气勘探领域. *天然气工业*, 1992; 12: 13—22
Deng Kangling. The evolution and composition of Sichuan Basin and the petroleum exploration. *Natural Gas Industry*, 1992; 12: 13—22
- 48 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国, 等. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化. *地质学报*, 1994; 68(2): 101—118
Liu Hepu, Liang Huishe, Cai Liguoguo, *et al.* Structural styles of the Longmenshan thrust belt and evolution of the Foreland Basin in western Sichuan province, China. *Acta Geologica Sinica*, 1994; 68(2): 101—118
- 49 李勇, 曾允孚, 尹海生. 龙门山前陆盆地沉积及构造演化. 成都: 成都科技大学出版社, 1995: 1—92
Li Yong, Zeng Yunfu, Yin Haisheng. The sedimentary and the tectonic evolution of Longmenshan Foreland Basin. Chengdu: Chengdu university of Science and Technology Press, 1995: 1—92
- 50 刘树根, 李智武, 刘顺, 等. 大巴山前陆盆地冲断带的形成演化. 北京: 地质出版社, 2006: 1—221
Liu Shugen, Li Zhiwu, Liu Shun, *et al.* The evolution of Daba belt Foreland Basin and thrust belt. Beijing: Geological Press, 2006: 1—221
- 51 Yuan H L, Gao S, Liu X M, *et al.* Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2004; 28(3): 353—370
- 52 Andersen T. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Chem Geol*, 2005; 216: 249—270
- 53 Liu Y, Gao S, Hu Z. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the trans-north China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in Zircons from Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 2010; 51: 537—571
- 54 Ludwig K R. Isoplot 3.0: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003; 4: 1—71
- 55 Cawood P A, Nemchin A A, Strachan R, *et al.* Sedimentary Basin and detrital zircon record along East Laurentia and Baltica during assembly and breakup of Rodinia. *Journal of the Geological Society London*, 2007; 164: 257—275
- 56 Li X H, McCulloch M T. Secular variation in the Nd isotopic composition of Neoproterozoic sediments from the southern margin of the Yangtze Block: evidence for a Proterozoic continental collision in

- Southeast China. *Precambrian Res*, 1996; 76: 67—76
- 57 Belousova E, Griffin W L, O'reilly S Y. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2002; 143(5): 602—622
- 58 Hoskin P W, Ireland T R. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator. *Geology*, 2000; 28(7): 627—630
- 59 吴元保, 陈道公, 夏群科, 等. 大别山黄土岭麻粒岩中锆石 LA-MC-ICP-MS 微区微量元素分析和 Pb-Pb 定年. *中国科学(D 辑)*, 2003; 33(1): 21—28
Wu Yuanbao, Chen Daogong, Xia Qunke, *et al.* The LA-MC-ICP-MS in situ Pb-Pb and microelement analysis of zircon granulite in Huangtuling Dabie Mountain. *Science in China(Series D)*, 2003; 33(1): 21—28
- 60 雷玮琰, 施光海, 刘迎新. 不同成因锆石的微量元素特征研究进展. *地学前缘*, 2013; 20(4): 274—284
Lei Weiyan, Shi Guanghai, Liu Yingxin. The research progress of zircon trace elements with different genesis. *Earth Science Frontiers*, 2013; 20(4): 274—284
- 61 Andersen T. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: Limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Chem Geology*, 2005; 216: 249—270
- 62 Meng Q R, Zhang G W. Timing of collision of the North and South China blocks: Controversy and reconciliation. *Geology*, 1999; 27: 123—126
- 63 Zhai M G, Santosh M. The Early Precambrian odyssey of the North China Craton: a synoptic overview. *Gondwana Research*, 2011; 21(1): 6—25
- 64 Zhai M G. Cratonization and the Ancient North China Continent: a summary and review. *Science China (Earth Sciences)*, 2011; 54(8): 1110—1120
- 65 Zhao G C, Li S Z, Li X P. The Trans-North China Orogen a long-lived arc: evidence from SHRIMP U-Pb zircon ages of granitoid gneisses in the Luliang Complex. *Geochimica et Cosmochimica Acta (Suppl)*, 2007; 71: A1165—A1165
- 66 Zhao G C, Wilde S A, Cawood P A. Thermal history of the basement rocks from the eastern part of the North China Craton and its bearing on tectonic setting. *Tectonophysics*, 1998; 310: 37—53
- 67 Wu F Y, Yang J H, Simon S A, *et al.* Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic constraints on the crustal evolution of North Korea. *Precambrian Research*, 2007; 159: 155—177
- 68 Song B, Nutman A P, Liu D Y, *et al.* 3 800 ~ 2 500 Ma crustal evolution in the Anshan area of Liaoning Province, northeastern China. *Precambrian Res*, 1996; 78: 79—94
- 69 Liu D Y, Nutman A P, Compston W, *et al.* Remnants of >3 800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean Craton. *Geology*, 1992; 20: 339—342
- 70 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. *科学通报*, 2004; 49(22): 2342—2349
Zhao Taiping, Zhai Mingguo, Xia Bin, *et al.* The SHRIMP Analysis in the volcanic rocks in Xionger Group: to the caprock development initial time constraints of the North China craton. *Geological Bulletin of China*, 2004; 49(22): 2342—2349
- 71 Cui M L, Zhang B L, Zhang L C. U-Pb dating of baddeleyite and zircon from the Shizhaigou diorite in the southern margin of the North China: constrains on the timing and tectonic setting of the Paleoproterozoic Xionger group. *Gondwana Research*, 2011; 20: 184—193
- 72 Zhao G C, Li S Z, Li X P. The Trans-North China Orogen a long-lived arc: evidence from SHRIMP U-Pb zircon ages of granitoid gneisses in the Luliang Complex. *Geochimica et Cosmochimica Acta (Suppl)*, 2007; 71: A1165—A1165
- 73 杨力, 陈福坤, 杨一增, 等. 丹凤地区秦岭群片麻岩锆石 U-Pb 年龄: 北秦岭地质体中新元古代岩浆作用和早古生代变质作用的记录. *岩石学报*, 2010; 26(5): 1589—1630
Yang Li, Chen Fukun, Yang Yizeng, *et al.* Zircon U-Pb ages of the Qinling Group in Danfeng area: Recording Mesoproterozoic and Neoproterozoic magmatism and Early Paleozoic metamorphism in the North Qinling terrain. *Acta Petrologica Sinica*, 2010; 26(5): 1589—1630
- 74 王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 等. 北秦岭西段红花铺俯冲型侵入体 LA-ICPMS 定年及其地质意义. *现代地质*, 2006; 20(4): 537—544
Wang Hongliang, He Shiping, Chen Juanlu, *et al.* LA-ICPMS dating of zircon U-Pb and tectonic significance of Honghuapu subduction-related intrusions in the west segment of Northern Qinling Mountains. *Geoscience*, 2006; 20(4): 537—544
- 75 时毓, 于津海, 杨启军, 等. 小秦岭地区太华群锆石 U-Pb 年龄及华北克拉通南缘地壳演化. *地球科学与环境学报*, 2014; 36(1): 219—229
Shi Yu, Yu Jinhai, Yang Qijun, *et al.* Zircon U-Pb ages from Taihua group in Xiaoqinling area and crustal evolution of the Southern North China Craton. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2014; 36(1): 219—229
- 76 张成立, 刘良, 王涛, 等. 北秦岭早古生代大陆碰撞过程中的花岗岩浆作用. *科学通报*, 2013; 58(23): 2323—2329
Zhang Chengli, Liu Liang, Wang Tao, *et al.* Determination of early Paleozoic post-collisional granites in the North Qinling Mountains and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 2013; 58(23): 2323—2329
- 77 张成立, 刘良, 张国伟, 等. 北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义. *地学前缘*, 2004; 11(3): 33—42
Zhang Chengli, Liu Liang, Zhang Guowei, *et al.* Determination of Neoproterozoic post-collisional granites in the North Qinling Mountains and its tectonic significance. *Earth Science Frontiers*, 2004; 11(3): 33—42
- 78 陆松年, 李怀坤, 陈志宏. 塔里木与扬子新元古代热-构造事件特征、序列和时代-扬子与塔里木连接(YZ-TAR)假设. *地学前缘*, 2003; 10(4): 321—326
Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong. Characteristics, Sequence and ages of Neoproterozoic tectonic events between Tarim and Yangzi Blocks—a hypothesis of Yangzi-Tarim connection. *Earth Science Frontiers*, 2003; 10(4): 321—326
- 79 裴先治, 李勇, 陆松年. 西秦岭天水地区关子镇中基性岩浆杂岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *地质通报*, 2005; 24(1): 23—29
Pei Xianzhi, Li Yong, Lu Songnian. Zircon U-Pb ages of the Guanzhen intermediate-basic igneous complex in Tianshui area, West Qinling, and their geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2005; 24(1): 23—29
- 80 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. 中国科学(D辑): 地球科学, 2009; 39(7): 949—971
- Wang Tao, Wang Xiaoxia, Tian Wei, *et al.* Determination of early Paleozoic post-collisional granites and its tectonic significance in the north Qinling Mountains. *Science in China(Series D): Geoscience*, 2009; 39(7): 949—971
- 81 Shi Y, Yu J H, Santosh M. Tectonic evolution of the Qinling Orogenic belt, central China: new evidence from geochemical, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes. *Precambrian Research*, 2013; 231: 19—60
- 82 Lerch M F, Xue F, Kroner A. A middle Silurian-Early Devonian magmatic arc in the Qinling Mountains of central China. *Geol*, 1995; 103: 437—449
- 83 张宗清, 张国伟, 刘敦一. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学. 北京: 地质出版社, 2006
- Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Liu Dunyi. The isotope chronology and geochemistry of ophiolite, granite and detrital sedimentary rocks in Qinling Belt. Beijing: Geology Press, 2006
- 84 陈隽璐, 徐学义, 王洪亮. 北秦岭西段唐藏石英闪长岩岩体的形成时代及其地质意义. 现代地质, 2008; 22(1): 63—70
- Chen Juanlu, Xu Xueyi, Wang Hongliang. LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating of tangzang quartz-diorite pluton in the West Segment of North Qinling Mountains and its tectonic significance. *Geoscience*, 2008; 22(1): 63—70
- 85 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. 地学前缘, 2012; 19(4): 118—125
- Zhao Jiao, Chen Danling, Tan Qinghai, *et al.* Zircon on LA-ICP-MS U-Pb dating of basic volcanics from Erlangping Group of the North Qinling, eastern Qinling Mountains and its geological implication. *Earth Science Frontiers*, 2012; 19(4): 118—125
- 86 Castro A, Ignacio M V, Jesús D. H-type (hybrid) granitoid: a proposed revision of the granitic-type classification and nomenclature. *Earth Science Review*, 1991; 31: 237—253
- 87 Hutton D H W. Granite sheeted complexes: evidence for the dyking ascent mechanism. *Earth Sci*, 1992; 377—382
- 88 张宗清, 刘敦一, 付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京: 地质出版社, 1994: 1—191
- Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Fu Guomin. The study of metamorphic strata isotope chronology in the North Qinling belt. Beijing: Geology Press, 1994: 1—191
- 89 刘春花, 吴才来, 郝源红, 等. 南秦岭东江口、柞水和梨园堂花岗岩类锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学与锆石 Lu-Hf 同位素组成. 岩石学报, 2014; 30(8): 2402—2420
- Liu Chunhua, Wu Cailai, Hao Yuanhong, *et al.* Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and Lu-Hf isotopic system of Dongjiangkou, Zhashui, and Liyuantang granitoid intrusions, South Qinling belt, central China. *Acta Petrologica Sinica*, 2014; 30(8): 2402—2420
- 90 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 秦岭岩群中两类斜长角闪岩的性质和时代及其地质意义. 岩石学报, 2009; 25(9): 2178—2194
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Yan Zhen, *et al.* Tectonic affinity and timing of two types of amphibolites within the Qinling Group, North Qinling orogenic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 2009; 25(9): 2178—2194
- 91 Li X H, Li Z X, Ge W C, *et al.* Wingate. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma. *Precambrian Res*, 2003; 122: 45—83
- 92 Qiu Y M, Gao S, McNaughton N J, *et al.* First evidence of >3.2 Ga continental crust in the Yangtze craton of South China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics. *Geology*, 2000; 28: 11—14
- 93 Zhang S B, Zheng Y F, Wu Y B, *et al.* Zircon U-Pb age and Hf isotope evidence for 3.8 Ga crustal remnant and episodic reworking of Archean crust in South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006; 252: 56—71
- 94 谢士稳, 高山, 柳小明, 等. 扬子克拉通南华纪碎屑锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素对华南新元古代岩浆事件的指示. 地球科学-中国地质大学学报, 2009; 34(1): 118—126
- Xie Shiwen, Gao Shan, Liu Xiaoming, *et al.* U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons of Nanhu Sedimentary rocks from the Yangtze Gorges: implications for Genesis of Neoproterozoic Magmatism in South China. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2009; 34(1): 118—126
- 95 Liu X M, Gao S, Yang J H, *et al.* Precambrian crustal evolution of the Yangtze Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. *Goldschmidt Conference Abstracts*, 2006: 366
- 96 Li W X, Li X H. Adakitic granites within the NE Jiangxi Ophiolites, South China: geochemical and Nd isotopic evidence. *Precambrian Res*, 2003; 122: 9—44
- 97 Li W X, Li X H, Li Z X. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance. *Precambrian Res*, 2005; 136: 51—66
- 98 Li X H, McCulloch M T. Secular variation in the Nd isotopic composition of Neoproterozoic sediments from the southern margin of the Yangtze Block: evidence for a Proterozoic continental collision in Southeast China. *Precambrian Res*, 1996; 76: 67—76
- 99 Li Z X, Li X H. Formation of the 1300 km wide intracontinental orogen and post-orogenic magmatic province in Mesozoic South China: a flat-slab subduction model. *Geology*, 2007; 35: 179—182
- 100 Li Z X, Li X H, Kinny P D. The breakup of Rodinia: did it start with a mantle plume beneath South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 1999; 173: 171—181
- 101 平先权, 郝建平, 熊庆, 等. 扬子西北缘碧口块体花岗岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义. 吉林大学学报(地球科学版), 2014; 44(4): 1201—1218
- Ping Xianquan, Zhao Jianping, Xiong Qing, *et al.* Zircon U-Pb ages and Hf Isotope characteristics of the granitic plutons in Bikou Terrane, Northwestern Yangtze Block, and their geological significance. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2014; 44(4): 1201—1218
- 102 敖文昊, 张宇昆, 张瑞英, 等. 新元古代扬子北缘地壳增生事件: 来自汉南祖师店奥长花岗岩地球化学、锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学和 Hf 同位素证据. 地质评论, 2014; 60(6): 1394—1408
- Ao Wenhao, Zhang Yukun, Zhang Ruiying, *et al.* Neoproterozoic crustal accretion of the Northern Margin of Yangtze Plate: constraints from geochemical characteristics, LA-ICP-MS Zircon U-Pb chronology and Hf isotopic compositions of Trondhjemite from Zushidian area, Hannan region. *Geological Review*, 2014; 60(6): 1394—1408
- 103 凌文黎, 高山, 程建萍. 扬子陆核与陆缘新元古代岩浆事件对

- 比及其构造意义—来自黄陵和汉南侵入杂岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素年代学的约束. 岩石学报, 2006; 22(2): 387—396
- Ling Wenli, Gao Shan, Cheng Jianping. Neoproterozoic magmatic events within the Yangtze continental interior and along its northern margin and their tectonic implication: constraint from the LA-ICPMS U-Pb geochronology of zircon from the Huangling and Hannan complexes. *Acta Petrologica Sinica* 2006; 22(2): 387—396
- 104 胡建明, 孟庆任, 石玉若, 等. 松潘-甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义. 岩石学报, 2005; 21(3): 867—880
- Hu Jianming, Meng Qingren, Shi Yuruo *et al.*. SHRIMP U-Pb dating of zircons from granitoid bodies in the Songpan-Ganzi terrane and its implications. *Acta Petrologica Sinica*, 2005; 21(3): 867—880
- 105 Bruguier O, Lancelot J R, Malavieille J. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flysch Central China: provenance and tectonic correlations. *Earth Planet Sci Lett*, 1997; 152: 217—231
- 106 Weislogel A L, Graham S A, Chang E Z, *et al.* Detrital zircon provenance of the Late Triassic Songpan-Ganzi complex: Sedimentary record of collision of the North and South China blocks. *Geology*, 2006; 34: 97—100
- 107 戴宗明, 孙传敏, 张宽忠, 等. 松潘甘孜地块四姑娘山花岗岩锆石 U-Pb 年代学证据及与汶川地震的关系. 中国地质, 2011; 38(3): 623—636
- Dai Zongming, Sun Chuanmin, Zhang Kuanzhong *et al.* U-Pb dating of zircons from the Four-Girl Mountain Pluton in the Songpan-Ganze Terrane, and the relationship between the pluton and the Wenchuan Ms 8.0 Earthquake of 2008. *Geology in China*, 2011; 38(3): 623—636

Provenance of the Xujiahe Group of Late Triassic in the Western Sichuan Basin: Evidence from Detrital Zircon U-Pb Ages

YU Shi-hua^{1,2}, LIANG Xin-quan^{1*}

(State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences¹, Guangzhou 510640, P. R. China; University of Chinese Academy of Sciences², Beijing 100049, P. R. China)

[Abstract] Combined U-Pb analyses of detrital zircons from the third and fourth Xujiahe Formation of the Upper Triassic in the Western Sichuan Basin, This study reveals that ① the sandstone from Doujiangyan, the west of the Western Sichuan Basin and the siltstone from Guangyuan, the north of the Western Sichuan Basin yield similar U-Pb age population, the age characteristics mainly display Luliangian (peak ca. 1 836 Ma, 1 950 Ma and 1 850 Ma), the late of Jinningian (peak ca. 865 Ma and 834 Ma), Caledonian age (peak ca. 460 Ma and 452 Ma) and Hercynian-Indosinian ages (peak ca. 245 Ma), which suggests similar source regions. ② By comparative study of the zircon U-Pb ages which indicate that detrital zircons in the Xujiahe Formation yield consistent characteristics and the sediments in Western Sichuan Basin were derived from the same source areas. ③ By comparative study of the zircon U-Pb ages composition with the adjacent orogenic belt, the detrital zircons of 1 800 ~ 1 900 Ma should originate from the North China plate. A large population of detrital zircons show the characteristic of Qinling Orogenic Belt whose U-Pb ages are 230 ~ 300 Ma and 420 ~ 490 Ma. The group of 770 ~ 890 Ma correspond to the data in Yangtze block, which indicate that the detrital zircons of 770 ~ 890 Ma derive from Yangtze block.

[Key words] detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb dating Xujiahe formation of upper triassic Western of Sichuan Basin