

doi:10.3799/dqkx.2015.180

# 鄂西南齐岳山须家河组物源及构造背景:来自岩石学、地球化学和锆石年代学的制约

田 洋<sup>1,2</sup>, 谢国刚<sup>1,2\*</sup>, 王令占<sup>1,2</sup>, 涂 兵<sup>1,2</sup>, 赵小明<sup>1,2</sup>, 曾波夫<sup>1,2</sup>

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北武汉 430205

2. 中国地质调查局古生物与生命—环境协同演化重点实验室, 湖北武汉 430205

**摘要:** 为揭示鄂西南齐岳山地区晚三叠世须家河组物源与构造背景, 以周家湾与颜家沟剖面为代表, 对须家河组碎屑岩的颗粒组分、元素组成以及锆石年龄进行测试与统计。结果显示: 砂岩碎屑颗粒石英含量高、岩屑与长石含量低, 平均值分别为76.15%、8.90%与3.45%, 具有锆石—板钛矿—磁铁矿—榍石—电气石重矿物组合, 反映源岩以酸性岩或低级变质岩为主, Dickinson 判别图解表明物源主要来自再旋回造山带; 砂岩  $(\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})^*$  与  $\text{TiO}_2^*$  含量低,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  比值低,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值高, 最接近被动大陆边缘特征值; 泥岩成分变异指数 ICV 分布于 0.32~0.79 之间, 平均值为 0.56, 反映物源主要为再旋回沉积物; 样品稀土元素配分模式、特征微量元素含量及比值指示晚三叠世沉积构造背景为被动与活动大陆边缘; 碎屑锆石分为磨圆与自形两类, 磨圆者具有 2480 Ma、1880 Ma、832 Ma 年龄峰值 ( $n=133$ ), 年龄频数分特征与扬子陆块最接近; 自形锆石具有 435 Ma、217 Ma 年龄峰值 ( $n=42$ ), 年龄频数分布特征与秦岭造山带和雪峰造山带花岗岩年龄具有很好的对应关系。结合物源与构造背景判别图解, 上述特征综合表明须家河组形成于被动大陆边缘(为主)与活动大陆边缘环境, 其物源来自东南的雪峰造山带(为主)与北侧的秦岭造山带。

**关键词:** 物源; 构造背景; 地球化学; 碎屑组分; 碎屑锆石; 须家河组; 鄂西南。

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2015)12-2021-16

收稿日期: 2015-05-12

## Provenance and Tectonic Settings of Triassic Xujiahe Formation in Qiyueshan Area, Southwest Hubei: Evidences from Petrology, Geochemistry and Zircon U-Pb Ages of Clastic Rocks

Tian Yang<sup>1,2</sup>, Xie Guogang<sup>1,2\*</sup>, Wang Lingzhan<sup>1,2</sup>, Tu Bing<sup>1,2</sup>, Zhao Xiaoming<sup>1,2</sup>, Zeng Bofu<sup>1,2</sup>

1. Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430205, China

2. Key Laboratory for Paleontology and Coevolution of Life and Environment, China Geological Survey, Wuhan 430205, China

**Abstract:** For revealing provenance and tectonic settings of Triassic Xujiahe Formation in Qiyueshan area, Southwest Hubei, detrital compositions, major, trace and rare earth elements, and zircon isotope ages of clastic rocks from Zhoujiawan and Yanjiagou sections were tested and analyzed. All sandstone samples are rich in quartz (Q), poor in lithic fragments (L) and feldspar (F), with an average of 76.15%, 8.90% and 3.45% respectively,  $Q/(Q+F+L)$  being averaged at 0.86, featuring with heavy mineral assemblage of zircon-brookite-magnetite-sphene-tourmaline, which suggests an acidic or low-grade metamorphic source. Dickinson discrimination diagrams show provenance mainly from recycled orogen. The sandstones are characterized by low  $(\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})^*$  (1.3%, 1.5%, average for Zhoujiawan and Yanjiagou sections respectively), low  $\text{TiO}_2^*$  (0.37%, 0.39%), low  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (0.10, 0.12) and high  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (4.89, 40.01), which are most similar to the characteristics of passive continental margin. The index of compositional variation (ICV; 0.32~0.79, average: 0.56) for mudstones implies the

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(No.41240016); 中国地质调查局基础地质调查项目(Nos.1212010911016, 12120113063200)。

**作者简介:** 田洋(1984-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事沉积大地构造学研究。E-mail: 41834572@qq.com

\* **通讯作者:** 谢国刚, E-mail: 155396407@qq.com

**引用格式:** 田洋, 谢国刚, 王令占, 等. 2015. 鄂西南齐岳山须家河组物源及构造背景: 来自岩石学、地球化学和锆石年代学的制约. 地球科学——中国地质大学学报, 40(12): 2021-2036.

source materials are mainly recycled sediments. The REE patterns, contents and ratios of specific trace elements indicate passive and active continental margin settings during Late Triassic. Detrital zircons can be divided into rounded and euhedral categories. As recycled zircons mostly, rounded zircons ( $>500$  Ma,  $n=133$ ) are characterized by “core-edge” or “core-mantle-edge” structure. Three prominent age peaks, i.e. 2 480 Ma, 1 880 Ma and 832 Ma are obtained, suggesting fingerprint of Yangtze craton. Having two prominent age peaks 435 Ma and 217 Ma, cylindrical euhedral zircons ( $<500$  Ma,  $n=42$ ) with typical oscillatory zoning possess the characteristics of Xuefeng and Qinling orogens. Combined with provenance and tectonic discrimination diagrams, these characteristics all above suggest that Xujiahe Formation deposited in passive (main) and active continental margin, and its provenances were from Xuefeng orogenic belt (main source) and Qinling orogen.

**Key words:** provenance; tectonic setting; geochemistry; clastic composition; detrital zircon; Xujiahe Formation; Southwest Hubei.

## 0 引言

扬子陆块自南华纪到早三叠世为一个稳定的古地理单元,其多数时间沉积浅水碳酸盐岩,而发生在三叠纪的印支运动,即华北板块向南强烈挤压、秦岭造山带大规模隆升、华夏地块强烈北西向挤压以及印支板块向北的挤压,结束了这一海相沉积史(梅冥相,2010; Wang *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2013)。晚三叠世须家河组就是在这一构造背景下形成的一套碎屑岩沉积,其作为印支运动的沉积响应,不仅记录了物源信息,而且能够反映印支期的构造特征。目前,对川—渝—鄂西南地区须家河组碎屑岩物源与构造背景的探讨主要是采用古水流、砂砾岩等厚图、重矿物组合及碎屑组分 Dickinson 判别图解(林良彪等,2006; 施振生等,2010; 淡永等,2013)等传统的地质方法来实现的。然而,碎屑岩沉积地球化学与锆石年代学特征也包含了丰富的物源与构造信息,众多学者已经开展了大量利用沉积地球化学(McLennan and Taylor, 1991; Cullers, 2000; Yan *et al.*, 2002; Armstrong-Altrin *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2004; Rashid, 2005; 李双应等, 2005; 张金亮和张鑫, 2007; 张英利等, 2011; Yang *et al.*, 2012; 杨栋栋等, 2012)与同位素年代学方法(Carter and Moss, 1999; Li *et al.*, 2005; 李瑞保等, 2010; 梁新权等, 2013)进行物源示踪与大地构造背景分析的工作,并积累了可靠经验。随着物源及大地构造属性研究的深入,单一的方法由于缺少相互验证已基本被舍弃,取而代之的是采用综合研究方法(Hallsworth *et al.*, 2000; 李双应等, 2014)。岩石学和沉积地球化学资料能够提供源区岩石学与构造背景的信息,碎屑锆石的化学组成和 U-Pb 年龄既可以建立源区的岩石组成(Belousova *et al.*, 2002),又可以构筑源区的时间特征(Fedo, 2003),因此,三者相结合是限定沉积岩物源与构造背景强有力的工具。近几年来,笔

者在鄂西南齐岳山地区从事基础地质调查研究工作,测制了多条须家河组剖面。本文拟以周家湾与颜家沟剖面为代表,通过分析碎屑组分、元素组成以及碎屑锆石的同位素年龄特征,对鄂西南齐岳山地区晚三叠世物源及构造背景进行探讨。

## 1 地质背景

本文所指的齐岳山地区位于重庆市石柱县与湖北省利川市交界处(图 1a),西与石柱复向斜相接,东与利川复向斜为邻,区内发育的齐岳山复背斜(图 1b),构造位置属中扬子陆块川东构造带(Yan *et al.*, 2003)。晚三叠世须家河组在研究区广泛出露,地貌上多形成连绵的山脊,岩性稳定,底部为灰绿色页片状泥岩、灰黑色碳质泥岩夹灰绿色中层状细粒长石石英砂岩,泥岩中产丰富植物化石,向上为灰白、灰绿色厚层至块状粗—中粒岩屑石英砂岩、长石石英砂岩、石英砂岩与灰绿色中层状细粒岩屑石英砂岩、长石石英砂岩,夹灰—灰绿色薄层状(碳质)泥岩及薄煤层,砂岩常含有“包壳状”铁质结核与植物叶片化石,平行层理、板状、楔状交错层理发育。整合或平行不整合于中三叠世巴东组不同层位之上,整合于侏罗纪自流井组之下。

## 2 样品采集与分析

样品采自齐岳山复背斜西翼的周家湾剖面与东翼的颜家沟剖面,剖面起点坐标分别为: E108°36'12", N30°18'15"; E108°41'12", N30°05'14" (图 1b),前者计有薄片样品 13 件,化学分析样品 12 件,碎屑锆石样品 6 件;后者有薄片样品 7 件,化学分析样品 14 件。由于颜家沟剖面样品的矿物学与沉积地球化学特征已撰文发表(田洋等, 2015),故主要用作对比研究。

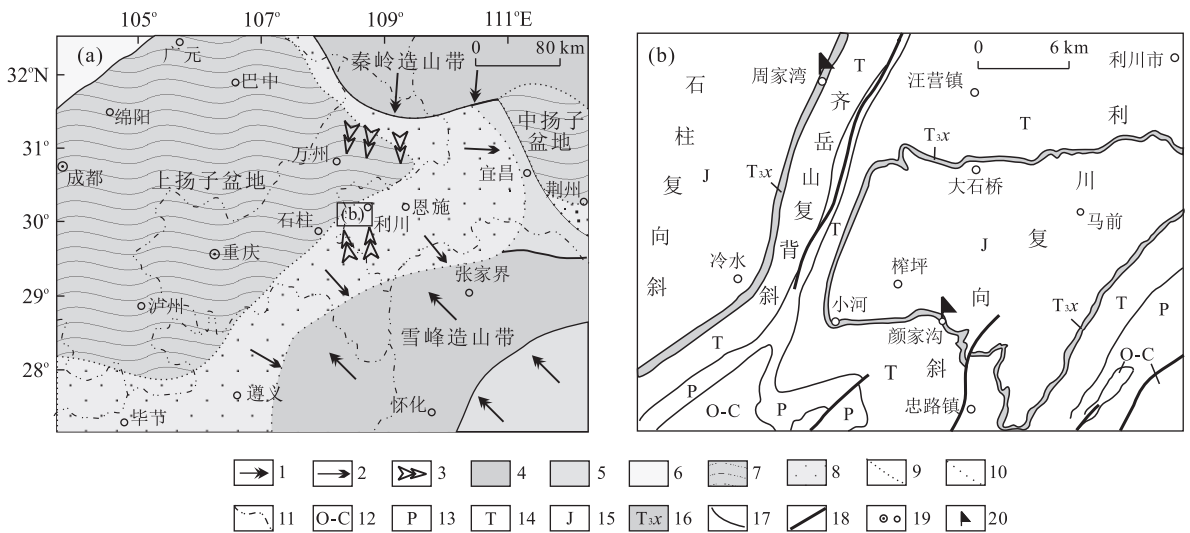


图 1 研究区及邻区晚三叠世瑞替期沉积盆地格局(a)与研究区地质简图(b)

Fig.1 The distribution pattern of sedimentary basin for the Late Triassic Rhaetian in the research area and its adjacent areas (a) and geological sketch and section location of study area (b)

1.构造块体主运动方向;2.瑞替期盆地超覆方向;3.古水流方向;4.早三叠世前形成的隆起区域;5.中三叠世前形成的隆起区域;6.诺利期形成的隆起区域;7.瑞替早期陆相盆地;8.瑞替晚期陆相盆地;9.瑞替早期陆相盆地边界;10.瑞替晚期陆相盆地边界;11.省界;12.奥陶系-石炭系;13.二叠系;14.三叠系;15.侏罗系;16.须家河组;17.地层界线;18.断层线;19.地名;20.剖面位置;图 a 据梅冥相(2010)和屈红军等(2009)

砂岩碎屑成分统计在偏光显微镜下采用点计数法(Dickinson, 1985)完成,统计内容为:石英颗粒总数  $Q_t$ ,包括单晶石英  $Q_m$  与多晶石英  $Q_p$ ;长石颗粒总数  $F$ ,包括斜长石  $P$  和钾长石  $K$ ;不稳定岩屑总数  $L$ ,包括火成岩岩屑  $L_v$  与沉积岩或变质岩岩屑  $L_s$ ,由于镜下未见火成岩岩屑,因此  $L=L_s$ ;所有岩屑总数  $L_t=L+Q_p$ 。另外,镜下常见长石被高岭石、绢云母部分交代,但晶形保留,双晶可辨,将其整体计为长石颗粒,陆源白云母计入沉积岩岩屑。

周家湾剖面主量元素在中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室采用 XRF-1800 波长扫描 X 射线荧光光谱仪进行测定,2 份标样与 1 个随机重复样品用于检测测试精度,精度优于 3%;微量元素在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)采用 ICP-MS 仪器进行测试,制样及测试方法参照 Liu *et al.* (2008b) 进行,精度优于 3%。颜家沟剖面样品的元素测试见田洋等(2015)。

锆石的挑选在河北廊坊区调研究所实验室利用传统重、磁分选方法完成,锆石制靶,透射光、反射光、阴极发光显微照相,微量元素分析与测年均在 GPMR 完成,其中锆石定年与微量元素分析利用 LA-ICP-MS 同时分析完成,激光剥蚀系统为 GeoLas 2005,ICP-MS 为 Agilent 7500a,测试时激光束斑采用  $32\ \mu\text{m}$ ,能量为 45 mJ,频率为 6 Hz,测试程

序按 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品剥蚀信号进行采集,分析过程中每进行 6 次样品的 U-Pb 同位素测量,就间隔 2 个标准锆石样品 91500 分析。样品的同位素比值和元素数据处理采用软件 ICPMS-DataCal (Liu *et al.*, 2008c),并应用 Andersen (2002) 编写的嵌入 Excel 的 CompbCoor # 3\_15G 程序来进行普通铅校正,对于年龄  $< 1\ 000\ \text{Ma}$  的锆石,采用  $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$  年龄;对于年龄  $> 1\ 000\ \text{Ma}$  的锆石,选取  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄,并剔除谐和度  $< 90\%$  年龄,最后采用 ISOPLOT (2.49 版) (Ludwig, 2001) 做碎屑锆石年龄频率直方图与年龄谐和图。

## 3 分析结果

### 3.1 砂岩碎屑颗粒特征

须家河组砂岩主要为岩屑石英砂岩与长石石英砂岩,碎屑颗粒多呈次棱角状一次圆状,分选较好,有颗粒支撑,结构成熟度较高。如表 1 所示,周家湾与颜家沟剖面须家河组砂岩具有相似的碎屑组成特征:碎屑总量高、石英(Q)含量高、岩屑(L)次之、长石(F)含量很低,尤其是颜家沟剖面,常不含斜长石。碎屑平均含量为 88.50%,石英含量为 54%~90%,平均为 76.15%, $Q/(Q+F+L)$  平均值为 0.86,其中单晶石英( $Q_m$ )弱重结晶,平均含量

表 1 须家河组砂岩碎屑颗粒含量统计(%)

Table 1 The detrital mineral compositions of sandstones in the Xujiache Formation (%)

| 编号        | Q     | Q <sub>m</sub> | Q <sub>p</sub> | F    | K    | P    | L <sub>s</sub> | L <sub>t</sub> | Q+F+L | Q <sub>m</sub> /Q | Q/(Q+F+L) | K/F  | 填隙物   |
|-----------|-------|----------------|----------------|------|------|------|----------------|----------------|-------|-------------------|-----------|------|-------|
| ZJW-21-1b | 77    | 70             | 7              | 5    | 3    | 2    | 9              | 16             | 91    | 0.91              | 0.85      | 0.60 | 9     |
| ZJW-22-1b | 90    | 77             | 13             | 5    | 3    | 2    | 0              | 13             | 95    | 0.86              | 0.95      | 0.60 | 5     |
| ZJW-27-1b | 77    | 72             | 5              | 8    | 6    | 2    | 5              | 10             | 90    | 0.94              | 0.86      | 0.75 | 10    |
| ZJW-27-2b | 85    | 78             | 7              | 5    | 3    | 2    | 5              | 12             | 95    | 0.92              | 0.89      | 0.60 | 5     |
| ZJW-30-1b | 88    | 75             | 13             | 5    | 3    | 2    | 0              | 13             | 93    | 0.85              | 0.95      | 0.60 | 7     |
| ZJW-31-1b | 80    | 70             | 10             | 3    | 2    | 1    | 5              | 15             | 88    | 0.88              | 0.91      | 0.67 | 12    |
| ZJW-35-1b | 77    | 57             | 20             | 5    | 3    | 2    | 8              | 28             | 90    | 0.74              | 0.86      | 0.60 | 10    |
| ZJW-40-1b | 64    | 58             | 6              | 2    | 1    | 1    | 9              | 15             | 75    | 0.91              | 0.85      | 0.50 | 25    |
| ZJW-44-1b | 65    | 60             | 5              | 2    | 1    | 1    | 19             | 24             | 86    | 0.92              | 0.76      | 0.50 | 14    |
| ZJW-48-1b | 87    | 83             | 4              | 6    | 3    | 3    | 2              | 6              | 95    | 0.95              | 0.92      | 0.50 | 5     |
| ZJW-48-2b | 54    | 46             | 8              | 2    | 1    | 1    | 21             | 29             | 77    | 0.85              | 0.70      | 0.50 | 23    |
| ZJW-53-1b | 62    | 55             | 7              | 2    | 1    | 1    | 12             | 19             | 76    | 0.89              | 0.82      | 0.50 | 24    |
| ZJW-54-1b | 68    | 54             | 14             | 4    | 2    | 2    | 20             | 34             | 92    | 0.79              | 0.74      | 0.50 | 8     |
| YJG-3-1b  | 78    | 68             | 10             | 8    | 4    | 4    | 6              | 16             | 92    | 0.87              | 0.85      | 0.50 | 8     |
| YJG-4-1b  | 80    | 67             | 13             | 1    | 0    | 1    | 8              | 21             | 89    | 0.84              | 0.90      | 0.00 | 11    |
| YJG-5-1b  | 73    | 70             | 3              | 1    | 1    | 0    | 14             | 17             | 88    | 0.96              | 0.83      | 1.00 | 12    |
| YJG-7-1b  | 70    | 65             | 5              | 2    | 2    | 0    | 14             | 19             | 86    | 0.93              | 0.81      | 1.00 | 14    |
| YJG-9-1b  | 83    | 70             | 13             | 0    | 0    | 0    | 10             | 23             | 93    | 0.84              | 0.89      | —    | 7     |
| YJG-10-2b | 78    | 70             | 8              | 2    | 2    | 0    | 7              | 15             | 87    | 0.90              | 0.90      | 1.00 | 13    |
| YJG-12-1b | 87    | 62             | 25             | 1    | 1    | 0    | 4              | 29             | 92    | 0.71              | 0.95      | 1.00 | 8     |
| 样品平均值     | 76.15 | 66.35          | 9.80           | 3.45 | 2.10 | 1.35 | 8.90           | 18.70          | 88.50 | 0.87              | 0.86      | 0.63 | 11.50 |
| ZJW 平均值   | 74.92 | 65.77          | 9.15           | 4.15 | 2.46 | 1.69 | 8.85           | 18.00          | 87.92 | 0.88              | 0.85      | 0.57 | 12.08 |
| YJG 平均值   | 78.43 | 67.43          | 11.00          | 2.14 | 1.43 | 0.71 | 9.00           | 20.00          | 89.57 | 0.86              | 0.87      | 0.75 | 10.43 |

注:ZJW,周家湾剖面;YJG,颜家沟剖面;Q、Q<sub>m</sub> 等代号的含义详见正文第 2 部分:“样品采集与分析”。

66.35%,约占石英总量的 87%(Q<sub>m</sub>/Q 为 0.71~0.96,平均值为 0.87),多晶石英(Q<sub>p</sub>)包括石英岩与硅质岩,平均含量为 9.80%。长石平均含量为 3.45%,其中钾长石(K)常高岭石化,斜长石(P)常绢云母化,但晶形及双晶可辨,K/F 多 $\geq$ 0.50,表明钾长石含量常高于斜长石。岩屑均为泥质岩,具显微鳞片结构,大部分呈不规则团块充填于石英碎屑间,含量变化于 0~21%之间,平均为 8.90%。另外,本组砂岩普遍具有锆石—板钛矿—磁铁矿—榍石—电气石的重矿物组合,不同的重矿物组合往往是不同母岩类型的反映,依照施振生等(2010)对四川盆地上三叠统碎屑岩重矿物组合与母岩类型对应关系的研究成果,该重矿物组合指示源岩主要为酸性岩或低级变质岩。

### 3.2 岩石化学组成

**3.2.1 主量元素特征** 如表 2 所示,周家湾剖面 12 个碎屑岩样品 SiO<sub>2</sub> 含量变化较大,为 55.50%~90.23%,平均 74.56%,砂岩 SiO<sub>2</sub> 平均含量高,为 85.18%,这与镜下所见砂岩富含石英现象一致。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量次之,分布于 6.15%~22.01%之间,平均为 14.13%,与 SiO<sub>2</sub> 具有良好的负相关性(R<sup>2</sup>=0.96)。TiO<sub>2</sub> 含量为 0.10%~1.06%,平均为 0.63%,

与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 具有良好的正相关性(R<sup>2</sup>=0.78)。K<sub>2</sub>O 含量为 1.22%~4.79%,平均为 3.02%。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O 在泥岩中含量明显高于砂岩。CaO 含量低,为 0.03%~0.47%,平均 0.14%,与镜下未见碳酸盐矿物这一特点吻合。Na<sub>2</sub>O 含量最高仅为 1.10%,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 为 1.21~30.29,平均为 13.82,nK<sub>2</sub>O/nNa<sub>2</sub>O (摩尔量之比)分布于 0.79~19.93 之间,平均值为 9.09,泥岩样品的平均值 14.97 明显大于砂岩的 3.22,K<sub>2</sub>O/(CaO+Na<sub>2</sub>O)为 1.12~17.67,平均为 8.08,同样泥岩样品的平均值 11.99 明显大于砂岩的 4.16。以上特征表明 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O 含量主要与泥级沉积物(包括泥质岩岩屑)含量及长石受到粘土矿物交代程度有关,而颜家沟剖面具有更高的 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值,且砂岩中的比值大于泥岩,这是由于样品的 Na<sub>2</sub>O 含量,尤其是在砂岩中的含量强烈偏低造成的。

**3.2.2 微量、稀土元素特征** 除元素 Cr 外,周家湾剖面泥岩样品的微量元素含量均明显高于砂岩(表 3,图 2)。与大陆上地壳平均值相比(Rudnick and Gao,2003),所有样品均显示 Sr 强烈亏损与 Cr 富集特征。高场强元素平均值(如:U、Th、Zr、Hf)与上地壳含量相近,大离子亲石元素 Pb、Rb 弱富集,过

表 2 周家湾剖面须家河组碎屑岩主量元素分析结果(10<sup>-2</sup>)

Table 2 Major elements contents of clastic rocks from Xujiahe Formation at Zhoujiawan section (10<sup>-2</sup>)

| 送样号<br>岩性  | 周家湾剖面       |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 颜家沟剖面       |             |                |               |               |                |                |               |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
|  | 16-1h<br>泥岩 | 17-1h<br>泥岩 | 20-1h<br>泥岩 | 21-1h<br>砂岩 | 22-1h<br>砂岩 | 32-1h<br>砂岩 | 37-1h<br>泥岩 | 44-1h<br>砂岩 | 44-2h<br>砂岩 | 44-3h<br>泥岩 | 53-1h<br>砂岩 | 55-1h<br>泥岩 | 样品均值<br>(n=12) | 砂岩均值<br>(n=6) | 泥岩均值<br>(n=6) | 样品均值<br>(n=14) | 砂岩均值<br>(n=11) | 泥岩均值<br>(n=3) |
| SiO <sub>2</sub>                                 | 59.38       | 55.50       | 59.99       | 88.88       | 88.09       | 90.23       | 72.85       | 81.11       | 80.91       | 64.12       | 81.87       | 71.82       | 74.56          | 85.18         | 63.94         | 80.40          | 84.14          | 66.68         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 22.01       | 20.73       | 20.47       | 6.75        | 7.67        | 6.15        | 14.50       | 12.31       | 12.31       | 20.79       | 9.71        | 16.16       | 14.13          | 9.15          | 19.11         | 11.74          | 9.69           | 19.24         |
| TF <sub>eq</sub> O <sub>3</sub>                  | 4.92        | 8.89        | 5.66        | 1.05        | 0.59        | 0.64        | 3.72        | 0.84        | 0.90        | 1.64        | 1.97        | 2.29        | 2.76           | 1.00          | 4.52          | 1.50           | 1.29           | 2.26          |
| CaO  | 0.32        | 0.47        | 0.10        | 0.08        | 0.06        | 0.03        | 0.04        | 0.09        | 0.07        | 0.12        | 0.15        | 0.11        | 0.14           | 0.08          | 0.19          | 0.29           | 0.28           | 0.32          |
| MgO  | 1.69        | 2.34        | 2.07        | 0.19        | 0.18        | 0.15        | 1.34        | 0.23        | 0.26        | 0.76        | 0.70        | 0.90        | 0.90           | 0.29          | 1.52          | 0.31           | 0.18           | 0.81          |
| K <sub>2</sub> O                                 | 3.970       | 3.710       | 4.240       | 1.220       | 1.400       | 1.670       | 4.020       | 3.190       | 3.150       | 4.790       | 1.600       | 3.250       | 3.018          | 2.038         | 3.997         | 2.330          | 1.650          | 4.820         |
| Na <sub>2</sub> O                                | 0.170       | 0.150       | 0.140       | 1.010       | 1.100       | 0.190       | 0.230       | 0.460       | 0.330       | 0.170       | 1.010       | 0.260       | 0.435          | 0.683         | 0.187         | 0.090          | 0.080          | 0.140         |
| TiO <sub>2</sub>                                 | 0.900       | 0.830       | 0.810       | 0.100       | 0.130       | 0.280       | 0.730       | 0.520       | 0.610       | 1.030       | 0.560       | 1.060       | 0.630          | 0.367         | 0.893         | 0.520          | 0.380          | 1.030         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                    | 0.060       | 0.270       | 0.130       | 0.020       | 0.010       | 0.010       | 0.030       | 0.020       | 0.010       | 0.040       | 0.080       | 0.050       | 0.061          | 0.025         | 0.097         | 0.030          | 0.020          | 0.040         |
| MnO  | 0.070       | 0.050       | 0.020       | 0.010       | 0.000       | 0.000       | 0.020       | 0.000       | 0.010       | 0.010       | 0.010       | 0.030       | 0.019          | 0.005         | 0.033         | 0.010          | 0.010          | 0.010         |
| 灼失   | 5.96        | 6.63        | 5.91        | 1.07        | 1.22        | 1.05        | 2.93        | 1.67        | 1.84        | 6.09        | 1.94        | 4.47        | 3.40           | 1.47          | 5.33          | 2.72           | 2.24           | 4.50          |
| 总和   | 99.45       | 99.57       | 99.54       | 100.38      | 100.45      | 100.40      | 100.41      | 100.44      | 100.40      | 99.56       | 99.60       | 100.40      | 100.05         | 100.28        | 99.82         | 99.84          | 99.85          | 99.79         |
| TiO <sub>2</sub> *                               | 0.96        | 0.89        | 0.87        | 0.10        | 0.13        | 0.28        | 0.75        | 0.53        | 0.62        | 1.10        | 0.57        | 1.10        | 0.66           | 0.37          | 0.95          | 0.53           | 0.39           | 1.08          |
| (TF <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO) *          | 7.07        | 12.08       | 8.26        | 1.25        | 0.78        | 0.80        | 5.19        | 1.08        | 1.18        | 2.57        | 2.73        | 3.33        | 3.86           | 1.30          | 6.42          | 1.87           | 1.50           | 3.23          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> | 0.37        | 0.37        | 0.34        | 0.08        | 0.09        | 0.07        | 0.20        | 0.15        | 0.15        | 0.32        | 0.12        | 0.23        | 0.21           | 0.11          | 0.31          | 0.15           | 0.12           | 0.29          |
| K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O               | 23.35       | 24.73       | 30.29       | 1.21        | 1.27        | 8.79        | 17.48       | 6.93        | 9.55        | 28.18       | 1.58        | 12.50       | 13.82          | 4.89          | 22.75         | 38.60          | 40.01          | 33.41         |
| nK <sub>2</sub> O/nNa <sub>2</sub> O             | 15.37       | 16.27       | 19.93       | 0.79        | 0.84        | 5.78        | 11.50       | 4.56        | 6.28        | 18.54       | 1.04        | 8.22        | 9.09           | 3.22          | 14.97         | 25.39          | 26.32          | 21.98         |
| K <sub>2</sub> O/(CaO+Na <sub>2</sub> O)         | 8.10        | 5.98        | 17.67       | 1.12        | 1.21        | 7.59        | 14.89       | 5.80        | 7.88        | 16.52       | 1.38        | 8.78        | 8.08           | 4.16          | 11.99         | 5.92           | 4.73           | 10.32         |
| ICV  | 0.55        | 0.79        | 0.64        | 0.54        | 0.45        | 0.48        | 0.70        | 0.43        | 0.43        | 0.41        | 0.62        | 0.49        | 0.54           | 0.49          | 0.60          | 0.45           | 0.43           | 0.50          |
| F1   | -0.70       | 1.09        | -1.96       | -5.59       | -5.60       | -7.52       | -5.54       | -5.86       | -6.05       | -3.89       | -5.09       | -4.55       | -4.27          | -5.95         | -2.59         | -4.84          | -4.97          | -4.34         |
| F2   | -2.03       | -4.22       | -2.55       | -3.56       | -2.97       | -3.96       | -1.89       | -0.97       | -1.24       | 0.91        | -3.39       | -1.79       | -2.31          | -2.68         | -1.93         | -2.96          | -3.95          | 0.68          |

注:“\*”表示不含挥发分的含量;F1、F2 函数系数数据 Roser and Korsch(1988);颜家沟剖面数据据田洋等(2015)。

表 3 周家湾剖面须家河组碎屑岩微量及稀土元素分析结果(10<sup>-6</sup>)  
Table 3 Trace elements contents of clastic rocks from Xujiahe Formation at Zhoujiawan section (10<sup>-6</sup>)

| 送样号<br>岩性              | 周家湾剖面       |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 颜家沟剖面       |             |                |               |               |                |                |               |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
|                        | 16-1h<br>泥岩 | 17-1h<br>泥岩 | 20-1h<br>泥岩 | 21-1h<br>砂岩 | 22-1h<br>砂岩 | 32-1h<br>砂岩 | 37-1h<br>泥岩 | 44-1h<br>砂岩 | 44-2h<br>砂岩 | 44-3h<br>泥岩 | 53-1h<br>砂岩 | 55-1h<br>泥岩 | 样品均值<br>(n=12) | 砂岩均值<br>(n=6) | 泥岩均值<br>(n=6) | 样品均值<br>(n=14) | 砂岩均值<br>(n=11) | 泥岩均值<br>(n=3) |
| Pb                     | 37.20       | 17.16       | 8.19        | 1.83        | 1.48        | 3.89        | 49.38       | 4.12        | 16.38       | 107.19      | 10.25       | 22.10       | 23.26          | 6.32          | 40.20         | 18.52          | 16.13          | 27.30         |
| Zn                     | 53.55       | 68.14       | 64.74       | 8.08        | 6.36        | 6.39        | 161.56      | 51.08       | 55.12       | 165.03      | 29.69       | 62.90       | 61.05          | 26.12         | 95.99         | 20.29          | 16.05          | 35.83         |
| Cr                     | 109.29      | 97.42       | 102.37      | 232.03      | 193.78      | 211.92      | 176.89      | 201.08      | 148.92      | 125.51      | 203.04      | 130.51      | 161.06         | 198.46        | 123.66        | 36.80          | 24.64          | 81.40         |
| V                      | 155.47      | 135.56      | 135.87      | 30.71       | 27.10       | 30.44       | 123.82      | 58.81       | 68.81       | 127.08      | 76.80       | 137.74      | 92.35          | 48.78         | 135.92        | 54.55          | 34.52          | 128.00        |
| Co                     | 58.66       | 21.37       | 10.15       | 1.47        | 1.61        | 1.11        | 27.43       | 3.27        | 9.34        | 21.50       | 7.51        | 11.35       | 14.56          | 4.05          | 25.08         | 2.77           | 2.68           | 3.09          |
| Rb                     | 221.74      | 172.33      | 195.90      | 33.67       | 38.10       | 46.86       | 155.82      | 90.91       | 91.45       | 191.85      | 52.08       | 158.33      | 120.75         | 58.84         | 182.66        | 89.20          | 53.80          | 219.00        |
| Sr                     | 71.14       | 83.24       | 71.61       | 2.42        | 25.86       | 20.62       | 48.70       | 28.64       | 23.56       | 59.22       | 48.02       | 84.66       | 49.17          | 28.59         | 69.76         | 28.83          | 19.49          | 63.07         |
| Sc                     | 19.17       | 21.49       | 19.09       | 2.41        | 2.43        | 2.96        | 14.06       | 8.33        | 8.81        | 19.68       | 6.99        | 15.35       | 11.73          | 5.32          | 18.14         | 10.71          | 6.61           | 25.73         |
| U                      | 5.69        | 4.27        | 3.83        | 0.65        | 0.68        | 1.08        | 2.96        | 2.06        | 2.45        | 4.38        | 1.62        | 4.16        | 2.82           | 1.42          | 4.22          | 2.57           | 1.44           | 6.72          |
| Th                     | 21.71       | 18.73       | 19.22       | 3.42        | 3.58        | 6.58        | 13.30       | 10.20       | 10.29       | 19.77       | 7.56        | 14.62       | 12.42          | 6.94          | 17.89         | 9.49           | 7.79           | 15.73         |
| Zr                     | 205.55      | 148.36      | 151.67      | 56.08       | 73.93       | 169.95      | 224.68      | 273.52      | 410.95      | 270.47      | 115.11      | 286.31      | 198.88         | 183.26        | 214.51        | —              | —              | —             |
| Hf                     | 5.69        | 4.33        | 4.57        | 1.63        | 2.12        | 5.12        | 5.87        | 7.46        | 10.70       | 7.37        | 3.26        | 7.60        | 5.48           | 5.05          | 5.91          | —              | —              | —             |
| La                     | 40.28       | 49.05       | 54.35       | 14.64       | 18.90       | 20.77       | 57.63       | 45.37       | 22.91       | 78.74       | 36.36       | 45.65       | 40.39          | 26.49         | 54.28         | 46.64          | 41.12          | 66.87         |
| Ce                     | 101.41      | 96.68       | 100.19      | 25.79       | 33.74       | 37.70       | 107.88      | 79.54       | 43.25       | 171.14      | 72.16       | 86.33       | 79.65          | 48.70         | 110.60        | 75.16          | 65.01          | 112.40        |
| Pr                     | 9.45        | 11.01       | 11.47       | 2.85        | 3.74        | 3.96        | 11.52       | 9.53        | 4.86        | 17.90       | 8.27        | 9.52        | 8.67           | 5.54          | 11.81         | 9.35           | 8.41           | 12.78         |
| Nd                     | 34.50       | 42.18       | 41.57       | 10.14       | 13.53       | 13.83       | 42.52       | 35.68       | 17.73       | 66.77       | 30.67       | 36.00       | 32.09          | 20.26         | 43.92         | 31.16          | 28.73          | 40.10         |
| Sm                     | 7.30        | 9.81        | 6.05        | 1.54        | 2.26        | 2.29        | 7.44        | 6.20        | 3.36        | 11.78       | 5.22        | 6.84        | 5.84           | 3.48          | 8.20          | 4.98           | 4.76           | 5.77          |
| Eu                     | 1.36        | 2.07        | 1.19        | 0.38        | 0.57        | 0.40        | 1.62        | 1.18        | 0.72        | 2.32        | 1.12        | 1.54        | 1.21           | 0.73          | 1.68          | 0.91           | 0.87           | 1.07          |
| Gd                     | 6.58        | 8.65        | 4.75        | 1.26        | 1.88        | 1.68        | 6.20        | 4.90        | 2.91        | 10.39       | 4.21        | 6.38        | 4.98           | 2.81          | 7.16          | 4.09           | 3.80           | 5.18          |
| Tb                     | 1.18        | 1.42        | 0.79        | 0.19        | 0.27        | 0.29        | 1.01        | 0.77        | 0.48        | 1.75        | 0.64        | 1.11        | 0.82           | 0.44          | 1.21          | 0.58           | 0.52           | 0.79          |
| Dy                     | 6.68        | 7.53        | 4.67        | 0.99        | 1.38        | 1.78        | 5.49        | 4.27        | 2.56        | 9.76        | 3.30        | 6.29        | 4.56           | 2.38          | 6.74          | 3.15           | 2.69           | 4.85          |
| Ho                     | 1.25        | 1.38        | 0.96        | 0.20        | 0.26        | 0.35        | 1.14        | 0.83        | 0.51        | 2.04        | 0.61        | 1.26        | 0.90           | 0.46          | 1.34          | 0.61           | 0.50           | 1.01          |
| Er                     | 3.54        | 3.76        | 2.94        | 0.62        | 0.74        | 1.16        | 3.60        | 2.54        | 1.53        | 6.00        | 1.82        | 3.72        | 2.67           | 1.40          | 3.93          | 1.75           | 1.41           | 3.01          |
| Tm                     | 0.58        | 0.56        | 0.48        | 0.10        | 0.11        | 0.18        | 0.61        | 0.41        | 0.26        | 1.95        | 0.28        | 0.60        | 0.43           | 0.22          | 0.63          | 0.32           | 0.25           | 0.56          |
| Yb                     | 3.49        | 3.57        | 2.93        | 0.63        | 0.74        | 1.13        | 3.74        | 2.35        | 1.68        | 5.49        | 1.62        | 3.46        | 2.57           | 1.36          | 3.78          | 2.14           | 1.68           | 3.84          |
| Lu                     | 0.54        | 0.59        | 0.48        | 0.10        | 0.11        | 0.17        | 0.64        | 0.39        | 0.29        | 0.90        | 0.27        | 0.57        | 0.42           | 0.22          | 0.62          | 0.31           | 0.24           | 0.56          |
| Rb/Sr                  | 3.12        | 2.07        | 2.74        | 1.36        | 1.47        | 2.27        | 3.20        | 3.17        | 3.88        | 3.24        | 1.08        | 1.87        | 2.46           | 2.21          | 2.71          | 2.91           | 2.76           | 3.45          |
| Sc/Cr                  | 0.175       | 0.221       | 0.187       | 0.010       | 0.013       | 0.014       | 0.080       | 0.041       | 0.059       | 0.157       | 0.034       | 0.118       | 0.092          | 0.029         | 0.156         | 0.310          | 0.300          | 0.350         |
| La/Sc                  | 2.10        | 2.28        | 2.85        | 6.08        | 7.79        | 7.01        | 4.10        | 5.45        | 2.60        | 4.00        | 5.20        | 2.97        | 4.37           | 5.69          | 3.05          | 5.54           | 6.34           | 2.63          |
| Th/U                   | 3.82        | 4.39        | 5.01        | 5.28        | 5.30        | 6.12        | 4.49        | 4.94        | 4.20        | 4.51        | 4.68        | 3.51        | 4.69           | 5.09          | 4.29          | 5.38           | 5.90           | 3.47          |
| ΣREE                   | 218.15      | 238.26      | 232.82      | 59.45       | 78.23       | 85.70       | 251.05      | 193.98      | 103.05      | 385.95      | 166.56      | 209.26      | 185.20         | 114.49        | 255.91        | 181.16         | 159.98         | 258.80        |
| ΣL/ΣH                  | 8.15        | 7.68        | 11.93       | 13.49       | 13.23       | 11.71       | 10.19       | 10.78       | 9.08        | 9.35        | 12.06       | 7.95        | 10.47          | 11.73         | 9.21          | 13.51          | 13.79          | 12.49         |
| Ce/Ce*                 | 1.19        | 0.94        | 0.90        | 0.89        | 0.89        | 0.92        | 0.93        | 0.86        | 0.92        | 1.04        | 0.95        | 0.93        | 0.95           | 0.91          | 0.99          | 0.79           | 0.77           | 0.83          |
| Eu/Eu*                 | 0.59        | 0.67        | 0.66        | 0.81        | 0.83        | 0.60        | 0.71        | 0.63        | 0.69        | 0.63        | 0.71        | 0.70        | 0.69           | 0.71          | 0.66          | 0.61           | 0.61           | 0.60          |
| La/Yb                  | 11.54       | 13.73       | 18.52       | 23.20       | 25.45       | 18.44       | 15.43       | 19.28       | 13.66       | 14.34       | 22.48       | 13.18       | 17.44          | 20.42         | 14.46         | 23.69          | 25.57          | 16.81         |
| (La/Yb) <sub>N</sub>   | 7.80        | 9.28        | 12.51       | 15.68       | 17.20       | 12.46       | 10.43       | 13.03       | 9.23        | 9.69        | 15.19       | 8.90        | 11.78          | 13.80         | 9.77          | 16.01          | 17.28          | 11.36         |
| (La/Yb) <sub>UCC</sub> | 0.73        | 0.87        | 1.17        | 1.47        | 1.61        | 1.17        | 0.98        | 1.22        | 0.86        | 0.91        | 1.42        | 0.83        | 1.10           | 1.29          | 0.91          | 1.50           | 1.62           | 1.06          |

注: ΣL/ΣH 为轻重稀土比值, 下标 N 表示元素相对于球粒陨石标准化; 下标 UCC 表示元素相对于大陆壳标准化; Eu/Eu\* = 2 × Ce<sub>N</sub> / (La<sub>N</sub> + Nd<sub>N</sub>); 上地壳值据 Rudnick and Gao(2003); 球粒陨石值据 Taylor and McLennan(1985); 颜家沟剖面数据据田洋等(2015).

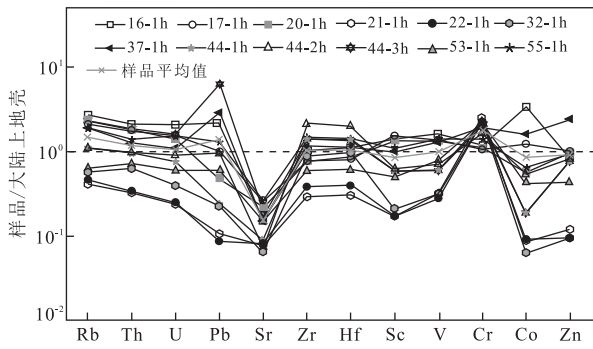


图 2 周家湾剖面须家河组样品碎屑岩特征微量元素标准化蜘蛛网图

Fig.2 Normalized diagram of trace elements for Xujiache Formation clastic rocks at Zhoujiawan section  
标准化值据 Rudnick and Gao(2003)



图 4 周家湾剖面须家河组锆石阴极发光图像及分析点表面年龄

Fig.4 Cathodoluminescence images with analytical spots and corresponding apparent ages of detrital zircons from Xujiache Formation at Zhoujiawan section

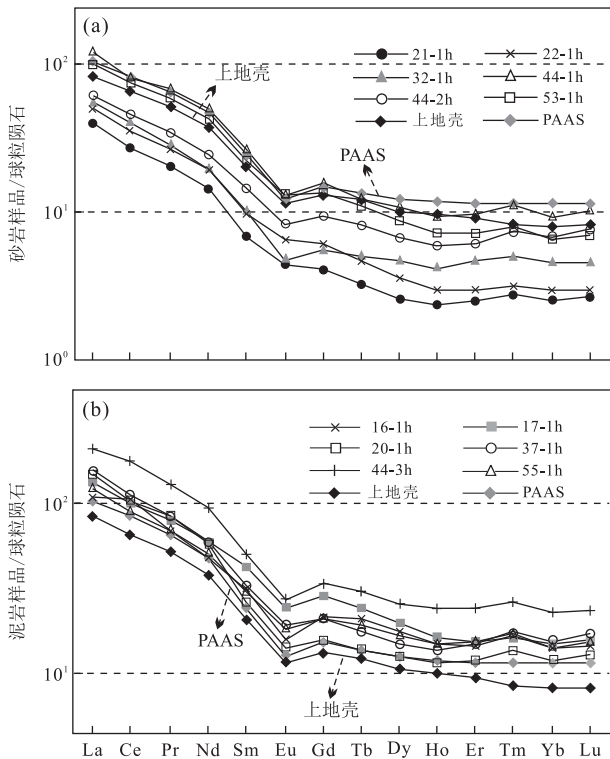


图 3 周家湾剖面须家河组砂岩(a)、泥岩(b)样品 REE 球粒陨石标准化配分模式

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns for Xujiache Formation clastic rocks at Zhoujiawan section  
标准化值据 Taylor and McLennan(1985); 上地壳值据 Rudnick and Gao(2003); PAAS 据 McLennan and Taylor(1991)

渡族元素 Zn、V 相近, Co、Sc 弱亏损, 颜家沟剖面元素 U、Th、Pb、Rb、Sr 特征具有与周家湾剖面相似的特点, 但其他元素则略有差异。

稀土元素含量、特征比值如表 3、图 3 所示, 周家湾剖面须家河组  $\Sigma$  REE 为  $59.45 \times 10^{-6} \sim$

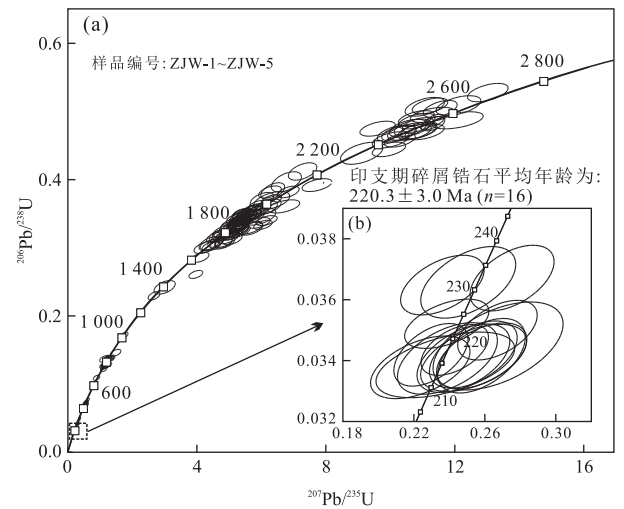


图 5 周家湾剖面须家河组碎屑锆石(a)与其中最年轻锆石(b) U-Pb 同位素谐和图

Fig.5 U-Pb concordia plots of detrital zircons from Xujiache Formation at Zhoujiawan section (a) and the youngest group zircons (b)

$385.95 \times 10^{-6}$ , 平均为  $185.20 \times 10^{-6}$ , 泥岩样品  $\Sigma$  REE 平均含量约为砂岩的 2.2 倍,  $\Sigma$  LREE/ $\Sigma$  HREE 为 7.68~13.49, 平均为 10.47; Eu/Eu\* 为 0.59~0.83, 平均为 0.69; Ce/Ce\* 为 0.86~1.19, 平均为 0.95; La/Yb 比值在 11.54~25.45 之间, 平均为 17.44; (La/Yb)<sub>N</sub> 值为 7.80~17.20, 平均为

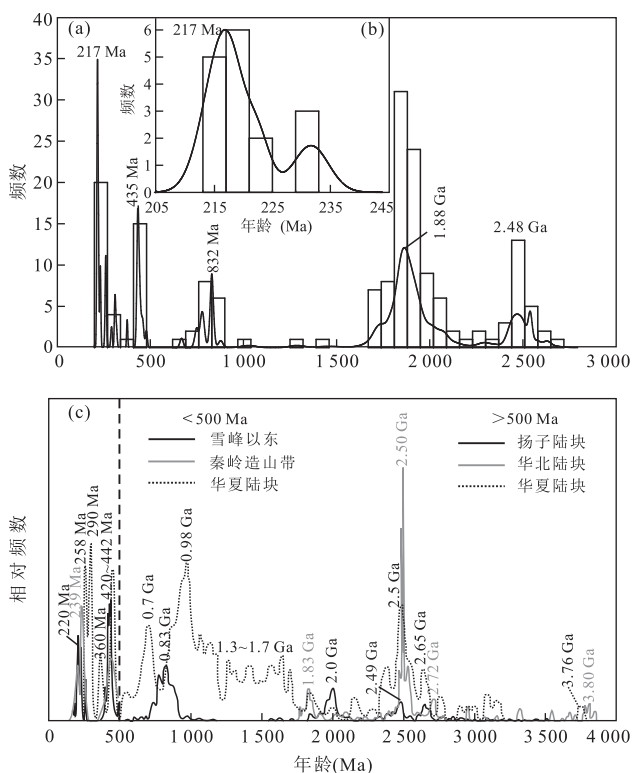


图 6 周家湾剖面须家河组碎屑锆石(a)、最年轻锆石(b) U-Pb 谐和年龄频数直方图及与扬子、华北、华夏陆块及雪峰、秦岭造山带的对比(c)

Fig.6 Concordia age histogram of detrital zircons from Xuji-ahé Formation at Zhoujiawan section (a), and the youngest group zircons (b), and their comparisons with those of the Yangtze craton, North China block 华北数据据 Liu *et al.* (2008c); 华夏陆块数据据于津海等(2006)和梁新权等(2013); 雪峰数据据 Zhang *et al.* (2013); 秦岭造山带数据据杨文涛等(2012)

11.78;  $(La/Yb)_{ucc}$  值为 0.73~1.61, 平均值为 1.10. 尽管样品 REE 绝对含量变化较大, 但砂岩与泥岩球粒陨石标准化配分型式较一致(图 3a, 3b), 均呈现与大陆上地壳(UCC)及澳大利亚后太古代页岩(PAAS)相似的配分模式, 具有轻稀土富集、重稀土平坦、中度 Eu 负异常和微弱 Ce 异常的特征. 同样, 尽管颜家沟剖面碎屑岩稀土元素含量及比值与周家湾剖面不尽相同, 但配分型式却十分相似.

### 3.3 碎屑锆石特征

根据反射光、透射光和阴极发光图像, 周家湾剖面碎屑锆石可以分为磨圆和自形两种类型(图 4). 磨圆锆石年龄均 > 500 Ma, 多呈次圆状—圆状, 粒度多 > 100  $\mu\text{m}$ , 其阴极发光图像特征变化较大, 但常具有“核一边”或者“核—幔一边”结构, 年龄越大, 一般磨圆就越好, 表明其经过了远距离搬运或沉积再

旋回. 自形锆石年龄多 < 500 Ma, 呈柱状—长柱状, 长约 100~200  $\mu\text{m}$ , 宽约 50~100  $\mu\text{m}$ , 长: 宽多 > 2: 1, 阴极发光图像具有典型岩浆生长振荡环带与单一的韵律结构, 部分锆石棱角处轻微磨圆化, 表明其经历较短距离搬运.

本次测试共获得了 189 组锆石 U-Pb 谐和年龄, 剔除 14 组谐和度低于 90% 的数据后, 余下 175 组碎屑锆石的 U-Pb 谐和年龄几乎全部位于谐和线上(图 5a), 表明所测锆石在形成后 U-Pb 同位素体系是封闭的, 基本没有 U 和 Pb 的加入或丢失, 因此锆石年龄是可靠的 (Wang *et al.*, 2005a; Ding *et al.*, 2006).

碎屑锆石年龄值(图 6a)主要集中在: 2 654~2 263 Ma (峰值 2 480 Ma)、2 119~1 672 Ma (峰值 1 880 Ma)、845~742 Ma (峰值 832 Ma)、479~432 Ma (峰值 435 Ma) 与 232~214 Ma (峰值 217 Ma), 最年轻一组锆石的 U-Pb 谐和年龄加权平均值为  $220.3 \pm 3$  Ma (图 5b, 6b), 表明须家河组沉积时代不早于晚三叠世诺利期.

## 4 讨论

### 4.1 物源分析

**4.1.1 主量元素与物源** Cox *et al.* (1995) 在研究简单大陆板块上泥岩成分随时间系统变化时, 提出了成分变异指数为:

$$ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3,$$

其中:  $Fe_2O_3$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $MnO$ 、 $TiO_2$  和  $Al_2O_3$  分别代表他们的百分含量.

沉积物在循环过程中非粘土矿物的降低与粘土矿物的增长, 或者第 1 次循环碎屑输入量的降低, 都将导致泥岩的 ICV 值降低. 粘土矿物含量较低的泥岩 ICV 值一般 > 1, 这种岩石经常作为第 1 次旋回的沉积物沉积于构造活动地区; 粘土矿物含量较高的泥岩 ICV 值 < 1, 形成于构造较平静的环境, 该背景下沉积物的再循环十分发育 (Cox *et al.*, 1995). 扬子陆块属于稳定的克拉通, 研究区位于扬子陆块中部, 符合 Cox 提出的简单大陆板块的前提. 本次研究采集的 9 个泥岩样品 ICV 值分布于 0.32~0.79 之间, 平均值为 0.56, 表明泥岩中含有较高的粘土矿物. 结合前文所述的砂岩普遍含泥质岩岩屑的现象, 指明泥岩中高粘土矿物含量是沉积物再旋回的结果, 因此, 研究区须家河组应沉积于构造较平静的环



境,物源主要为再旋回沉积物。

Roser and Korsch(1988)提出了一套适用于砂、泥岩的主量元素多变量物源区环境的判别图解(图 7),除 2 个泥岩样品(周家湾、颜家沟各 1 个)指示了酸性火成岩物源,1 件周家湾泥岩样品位于铁镁质物源区外,其余 23 件须家河组样品均落入富含石英质沉积岩物源区,该物源区可能为古老的地质体、克拉通或是再旋回造山带。另外,泥岩中的  $F_2$  值普遍高于砂岩,这主要是泥岩中  $Al_2O_3$  与  $TiO_2$  含量较高造成的。

**4.1.2 稀土元素与物源** 源区岩石中的丰度以及风化条件是控制沉积物中 REE 的主要因素,而沉积时和沉积后的作用,如:搬运、沉积和成岩过程中的交换反应,对沉积物中 REE 含量的改变很微弱,因此源区岩石 REE 特征能够被可靠地保存在沉积物中(Bhatia,1985)。Eu 异常( $Eu/Eu^*$ )可以灵敏地反映体系内的地球化学状态,并可作为鉴别物质来源的重要参数,如:花岗岩和长英质变质岩以及来自大陆源区的沉积岩等 Eu 多显示为负异常。周家湾须家河组样品的  $Eu/Eu^*$  比值在 0.59~0.83 之间,平均 0.69(表 3),记录了源岩的 Eu 亏损,颜家沟剖面同样显示了该特征。同样,稀土元素的配分型式可以客观地反映沉积物物源性质,前文指出须家河组碎屑岩稀土元素具有与上地壳相似的配分型式,说明物源具有上地壳属性,其原因在于上地壳中大离子亲

石元素的含量相对于原始地幔明显偏高,导致轻稀土富集重稀土亏损,而上地壳内缺少使重稀土分馏的因素,因而重稀土含量均匀, Eu 的负异常是由于元素分异作用使上地壳中 Eu 元素缺失造成的(McLennan *et al.*,1995)。

**4.1.3 碎屑锆石年龄与物源** 周家湾剖面须家河组碎屑锆石 U-Pb 谐和年龄变化范围宽广,介于 214~2 654 Ma 之间,前寒武纪碎屑锆石有 133 粒,占锆石总数的 76%,具有 2 480 Ma、1 880 Ma、832 Ma 三个明显的峰值(图 6a),其年代学结构特征与扬子陆块组成十分相似(图 6c),尤其是具有扬子陆块特有的 830 Ma 特征峰值(Liu *et al.*,2008a),却与华夏陆块(存在格林威尔期约 1 000 Ma 的特征峰值,于津海等,2006)和华北陆块(存在 >3 000 Ma 的特征值,Liu *et al.*,2008a)的相应特征区别明显,指示这些锆石具有扬子陆块属性。前文指出此类锆石磨圆好(图 4),经历了长距离的搬运,同时碎屑岩颗粒组分及主量元素特征表明须家河组物源主要来自再旋回沉积物,因此其更可能是来自扬子陆块的再旋回锆石。

显生宙以来的锆石有 42 粒,占总数的 24%,具有 435 Ma、217 Ma 两个明显年龄峰值,其年龄分布与秦岭造山带(杨文涛等,2012)及雪峰地区东侧过铝质花岗岩年龄分布特征(Zhang *et al.*,2013)较为相似(图 6c),同时以缺少 320~400 Ma 年龄及 360 Ma 的年龄峰值明显区别于华夏地块(梁新权等,2013)。晚三叠世的自形岩浆锆石( $220.3 \pm 3$  Ma,峰值 217 Ma)作为确定的第 1 次旋回的沉积物,对物源有着直接的指示意义。该年龄与扬子陆块东南的雪峰古陆及以北的南秦岭地区的印支期岩体年龄相一致,如:湖南的白马山、洑山、桃江花岗岩(Ding *et al.*,2006; Chen *et al.*,2007; Chu *et al.*,2012; Wang *et al.*,2012),陕西的柞水、东江口、西坝等岩体(杨恺等,2009;张帆等,2009;Ping *et al.*,2013)锆石年龄介于 213~222 Ma 之间。晚三叠世时期研究区及邻区具有北部与南东部较高、中间低的古地理格局(刘宝珺和许效松,1994;郑荣才等,2012),并具有来自秦岭地区的由北至南与来自雪峰地区的由南东向北西的 2 个方向的古水流(图 1a,屈红军等,2009),因此,雪峰造山带与秦岭造山带隆升的剥蚀物(包括印支期岩体与晚三叠世之前的岩石)均可成为研究区的物源供给,考虑到具有扬子陆块属性的前寒武锆石所占比例较高,故物源应以前者为主。另外,晚三叠世锆石的大量出现是在须家河组顶部砂

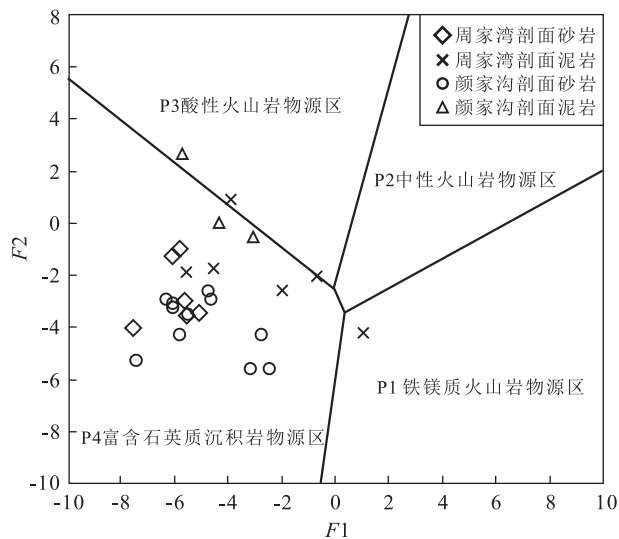


图 7 须家河组碎屑岩  $F_2$ - $F_1$  物源判别图解

Fig.7 Discrimination function diagram ( $F_2$ - $F_1$ ) for illustrating sedimentary provenance of Xujiahe Formation clastic rocks

据 Roser and Korsch(1988)

岩中,即接近三叠纪—侏罗纪界线( $201.3 \pm 0.2$  Ma),据此推算印支期岩体从侵位结晶到大量露出地表遭受剥蚀、直至进入沉积盆地大约经历了 20 Ma.

## 4.2 构造背景分析

### 4.2.1 碎屑组成与构造背景

Dickinson and Suczek(1979)提出了砂岩碎屑颗粒组成与物源区构造环境的 Q-F-L、 $Q_m$ -F-L<sub>1</sub> 及  $Q_m$ -P-K 判别图解,并指出大陆板块物源与再旋回造山带物源在 Q-F-L 图解的 Q 极点有部分重合,两者不易区分,而  $Q_m$ -F-L<sub>1</sub> 能较好地地区分这两者,之后于 1983 年(Dickinson *et al.*, 1983)对该模型进行了改进.在 Q-F-L 图解中(图 8a),除 2 个周家湾剖面样品落入大陆板块物源区的克拉通内部外,其余样品均落入再旋回造山带,且多数较紧密地分布于 Q 极点附近; $Q_m$ -F-L<sub>1</sub> 图解中(图 8c),有 2 个周家湾剖面样品落入克拉通内部,其余样品均指示再旋回造山带石英再旋回物源区; $Q_m$ -P-K 图解(图 8b)高度一致地表明沉积物来自成熟度较高的大陆板块或再循环物源区,上述图解综合表明须家河组砂岩样品物源主要来自再旋回造山带石英再旋回区.再旋回造山带物源区可分为 3 种:(1)板块俯冲带的混杂岩物源区,由已有构造形变的蛇绿岩和大洋中其他物质所组成;(2)碰撞造山带物源区,即两个板块相接合的地区,大部分由沉积、沉积变质的推覆体和冲断岩席所组成;(3)前陆隆起物源区,为前陆褶皱—冲断带(岩石类型为沉积岩序列)所形成的高地,被侵蚀后产生的碎屑可直接

流入相邻的前陆盆地内.此外,盆地还接受克拉通内隆起提供的碎屑物质,因而砂岩的成熟度也相对高一些(Dickinson and Suczek, 1979).须家河组砂岩石英颗粒含量高,石英对长石的比值高,普遍含有(低级变质)沉积岩或岩屑,不含火成岩岩屑,同时,周家湾剖面有 2 个样品也指示了克拉通内部物源,这些特征表明须家河组物源区应为前陆隆起物源区.

### 4.2.2 主量元素与构造背景

Bhatia(1983)指出从大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘到被动大陆边缘,杂砂岩( $TFe_2O_3 + MgO$ )\*、 $TiO_2$ \*、 $Al_2O_3/SiO_2$  降低,而  $K_2O/Na_2O$  与  $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$  值增加(表 4).之后,国内一些学者将其推广到砂岩的构造背景研究中(张金亮和张鑫, 2007; 孔为伦等, 2011).周家湾剖面砂岩( $TFe_2O_3 + MgO$ )\*: 0.78%~2.73%, 平均 1.30%;  $TiO_2$ \*: 0.10%~0.62%, 平均 0.37%;  $Al_2O_3/SiO_2$ : 0.07~0.15, 平均 0.11;  $K_2O/Na_2O$ : 1.21~9.55, 平均为 4.89, 颜家沟剖面的平均值分别为 1.50%、0.39%、0.12 与 40.01, 两剖面均最接近被动大陆边缘的特征值(表 4).

Roser and Korsch(1986)利用砂、泥岩  $K_2O/Na_2O$  与  $SiO_2$  的变化规律,提出了  $K_2O/Na_2O$ - $SiO_2$  构造环境判别图解(图 9),须家河组两个剖面所有样品显示出了高度的一致性,均指示了被动大陆边缘构造环境.

### 4.2.3 微量、稀土元素与构造背景

由于稀土元素和一些微量元素(如: Th、Sc、Zr、Co)在天然水体中很难溶解,不易受风化搬运和沉积作用影响,能够很

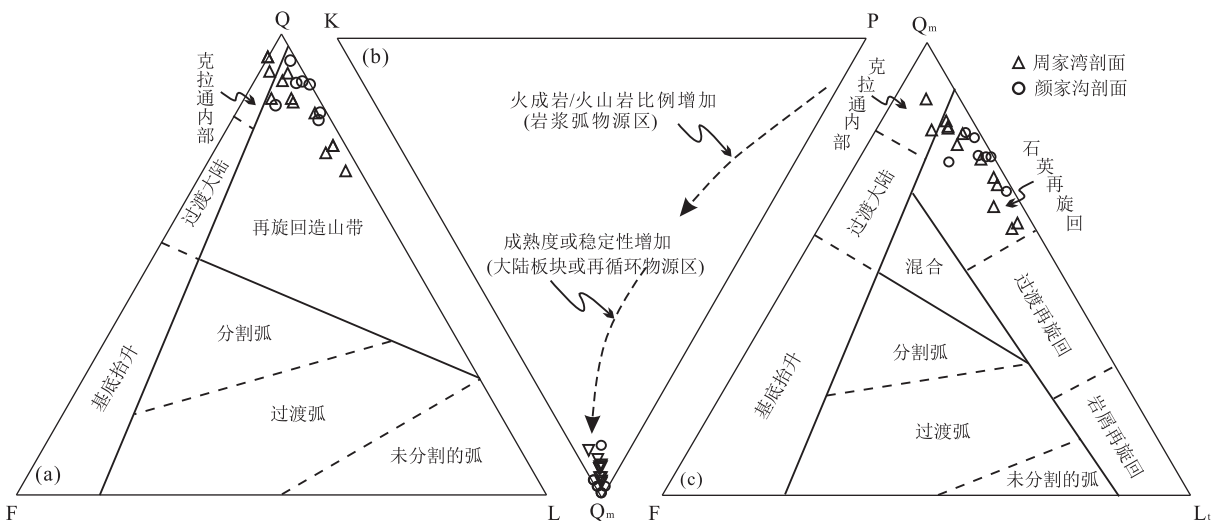


图 8 须家河组砂岩形成环境 Q-F-L(a),  $Q_m$ -P-K(b),  $Q_m$ -F-L<sub>1</sub>(c) 判别

Fig.8 Tectonic discrimination of Q-F-L (a),  $Q_m$ -P-K (b) and  $Q_m$ -F-L<sub>1</sub> (c) for Triassic sandstones from Xujiahe Formation 据 Dickinson *et al.*(1983)

表 4 须家河组砂岩与不同构造环境杂砂岩主量元素、微量元素和稀土元素特征参数的对比

Table 4 Comparison major, trace and rare earth elements characteristics of Xujiahe Formation sandstones with graywackes in different tectonic settings

| 构造环境                                       | 大洋岛弧         | 大陆岛弧         | 活动大陆边缘         | 被动大陆边缘  | 周家湾剖面  | 颜家沟剖面* |
|--|--------------|--------------|----------------|---|--------|--------|
| ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ ) * | 8.00~14.00   | 5.00~8.00    | 2.00~5.00      | 富 $\text{SiO}_2$ 、贫 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{TiO}_2$ | 1.30   | 1.50   |
| $\text{TiO}_2$ *                           | 0.80~1.40    | 0.50~0.70    | 0.25~0.45      |   | 0.37   | 0.39   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$       | 0.24~0.33    | 0.15~0.22    | —              |   | 0.11   | 0.12   |
| $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$   | 0.20~0.40    | 0.40~0.80    | $\approx 1.00$ |   | 4.89   | 40.01  |
| Zn   | 89.00±18.60  | 74.00±9.80   | 52.00±8.60     | 26.00±12.00   | 26.12  | 16.05  |
| Co   | 18.00±6.30   | 12.00±2.70   | 10.00±1.70     | 5.00±2.40   | 4.05   | 2.68   |
| Sc   | 19.50±5.20   | 14.80±1.70   | 8.00±1.10      | 6.00±1.40   | 5.32   | 6.61   |
| Nb   | 2.00±0.40    | 8.50±0.80    | 0.70±1.40      | 7.90±1.90   | 7.68   | —      |
| V  | 131.00±40.00 | 89.00±13.70  | 48.00±5.90     | 31.00±9.90  | 48.78  | 34.52  |
| Zr   | 96.00±20.00  | 229.00±27.00 | 179.00±33.00   | 298.00±80.00  | 183.26 | —      |
| Hf   | 2.10±0.60    | 6.30±2.00    | 6.80           | 10.10   | 5.05   | —      |
| Nd   | 11.36±2.90   | 20.80±1.60   | 25.40±3.40     | 29.00±5.03  | 20.26  | 28.73  |
| La/Sc                                      | 0.55±0.22    | 1.82±0.30    | 4.55±0.80      | 6.25±1.35   | 5.69   | 6.34   |
| Rb/Sr                                      | 0.05±0.05    | 0.65±0.33    | 0.89±0.24      | 1.19±0.40   | 2.21   | 2.76   |
| Sc/Cr                                      | 0.57±0.16    | 0.32±0.06    | 0.30±0.02      | 0.16±0.02   | 0.029  | 0.30   |
| Th/U                                       | 2.10±0.78    | 4.6±0.45     | 4.80±0.38      | 5.60±0.70   | 5.09   | 5.90   |

注:主量元素含量的单位为  $10^{-2}$ ,据 Bhatia(1983);微量、稀土元素含量的单位为  $10^{-6}$ ,据 Bhatia and Crook(1986);颜家沟剖面\* 数据据田洋等(2015)。

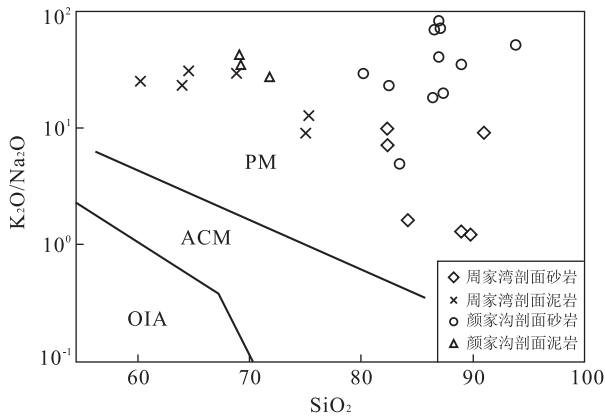


图 9 须家河组碎屑岩  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  构造环境判别  
Fig.9 Tectonic discrimination of the Xujiahe Formation clastic rocks base on  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$

PM.被动大陆边缘;ACM.活动大陆边缘;OIA.大洋岛弧;据 Roser and Korsch(1986)

好地反映源区的地球化学性质,因此被广泛的应用到沉积物物源和构造背景的研究中(Bhatia, 1985; Bhatia and Crook, 1986)。周家湾剖面砂岩含量与稀土元素 Zn、Co、Sc、Nb、V、Zr、Hf、La、Ce、Nd 平均含量分别为  $26.12 \times 10^{-6}$ 、 $4.05 \times 10^{-6}$ 、 $5.32 \times 10^{-6}$ 、 $7.68 \times 10^{-6}$ 、 $48.78 \times 10^{-6}$ 、 $183.26 \times 10^{-6}$ 、 $5.05 \times 10^{-6}$ 、 $26.49 \times 10^{-6}$ 、 $48.70 \times 10^{-6}$ 、 $20.26 \times 10^{-6}$ 、La/Sc、Rb/Sr、Sc/Cr、Th/U、Eu/Eu\*、 $\sum \text{REE}$ 、 $\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}$ 、La/Yb、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$  平均比值分别为 5.69、2.21、0.029、5.09、0.71、114.49、11.73、

20.42、13.80(表 4,表 5),其中 9 个指标接近被动大陆边缘特征,5 个指标接近活动大陆边缘特征,5 个指标反映了大陆岛弧特征.与周家湾剖面相比,颜家沟剖面砂岩 16 个构造环境地球化学判别指标中,11 个指示了被动大陆边缘环境,4 个指示了活动大陆边缘环境,仅 1 个指标反映了大陆岛弧信息,其更多地反映了被动大陆边缘环境.2 条剖面样品的地球化学特征,综合表明晚三叠世须家河组构造背景以被动大陆边缘为主,其次为活动大陆边缘,物源来自隆升的基底与克拉通内部的构造高地。

晚三叠世时期,扬子陆块东南侧发生陆内挤压造山形成雪峰山陆内复合构造系统(Wang *et al.*, 2005b;郑荣才等,2012;Zhang *et al.*, 2013),同时,北侧与华北陆块及其间的秦岭微陆块发生持续俯冲碰撞造山(刘少峰和张国伟,2008;许志琴等,2012;Zhang *et al.*, 2013),因此,研究区须家河组沉积时期的构造背景具有陆内环境与碰撞造山双重属性.碎屑岩颗粒组成与地球化学特征表明须家河组形成于被动大陆边缘与活动大陆边缘环境,Roser and Korsch(1986)所定义的被动大陆边缘包括陆内环境,活动大陆边缘包括大陆碰撞及与俯冲相关的盆地.因此,本文基于碎屑岩颗粒组成与地球化学的研究得出的晚三叠世构造背景与前人的研究成果一致。

综上所述,鄂西南齐岳山须家河组沉积时期盆

表 5 须家河组砂岩与不同构造环境杂砂岩稀土元素特征参数的对比(据 Bhatia, 1985)

Table 5 Comparison REE characteristics of Xujiahe Formation sandstones with graywackes in different tectonic settings

| 构造环境<br>物源类型         | 大洋岛弧      | 大陆岛弧      | 活动大陆边缘<br>隆升的基底 | 被动大陆边缘<br>克拉通内部构造高地 | 砂岩平均值  |        |
|----------------------|-----------|-----------|-----------------|---------------------|--------|--------|
|                      | 未切割的岩浆弧   | 切割岩浆弧     |                 |                     | 周家湾剖面  | 颜家沟剖面* |
| La                   | 8.0±1.7   | 27.0±4.5  | 37              | 39                  | 26.49  | 41.12  |
| Ce                   | 19.0±3.7  | 59.0±8.2  | 78              | 85                  | 48.70  | 65.01  |
| Eu/Eu*               | 1.04±0.11 | 0.79±0.13 | 0.60            | 0.56                | 0.71   | 0.61   |
| ∑REE                 | 58±10     | 146±20    | 186             | 210                 | 114.49 | 159.98 |
| ∑LREE/∑HREE          | 3.8±0.9   | 7.7±1.7   | 9.1             | 8.5                 | 11.73  | 13.79  |
| La/Yb                | 4.2±1.3   | 11.0±3.6  | 12.5            | 15.9                | 20.42  | 25.57  |
| (La/Yb) <sub>N</sub> | 2.8±0.9   | 7.5±2.5   | 8.5             | 10.8                | 13.80  | 17.28  |

注:稀土元素含量的单位为  $10^{-6}$ ;颜家沟剖面数据\*据田洋等(2015)。

地构造背景既具有被动大陆边缘盆地的性质,也具有活动大陆边缘盆地的性质。结合碎屑锆石年代学研究结果,认为鄂西南齐岳山地区须家河组的沉积物主要来自东南的雪峰造山带,同时也接受了北部秦岭造山带的剥蚀物。该时期研究区处于两个造山带夹持的、向西开口的喇叭状盆地之中(图 1a)。

## 5 结论

(1)须家河组砂岩碎屑颗粒富含石英(平均为 76.15%),岩屑次之(平均为 8.90%),贫长石(平均为 3.45%), $Q/(Q+F+L)$ 平均值为 0.86,具有锆石—板钛矿—磁铁矿—榍石—电气石重矿物组合,反映源岩以酸性岩或低级变质岩为主,Dickinson 判别图解表明物源主要来自再旋回造山带。

(2)砂岩主量元素( $TFe_2O_3 + MgO$ )\* (周家湾与颜家沟剖面平均值分别为 1.3%、1.5%)与  $TiO_2$ \* (0.37%、0.39%)含量低, $Al_2O_3/SiO_2$  比值低(0.11、0.12), $K_2O/Na_2O$  比值高(4.89、40.01),最接近被动大陆边缘特征值。泥岩成分变异指数 ICV 均  $< 1$ ,分布于 0.32~0.79 之间,平均为 0.56,表明岩石沉积于构造平静的环境,物源主要为再旋回沉积物。

(3)碎屑锆石分为磨圆与自形两类,磨圆者常具有“核一边”或者“核—幔一边”结构,为再旋回锆石,具有 2 480 Ma、1 880 Ma、832 Ma 年龄峰值,年龄频数分布特征与扬子陆块最接近;自形锆石呈柱状,具有典型岩浆生长振荡环带与单一的韵律结构,具有 435 Ma、217 Ma 年龄峰值,年龄频数分布特征与雪峰造山带和秦岭造山带的花岗岩年龄具有很好的对应关系。

(4)结合判别图解,碎屑组分、地球化学以及碎屑锆石 U-Pb 年龄特征综合表明须家河组形成于被动大陆边缘(为主)与活动大陆边缘环境,物源为东

南的雪峰造山带(为主)与北侧的秦岭造山带隆升的剥蚀物,包括印支期花岗岩与晚三叠世之前的岩石,该时期,鄂西南齐岳山地区处于两个造山带夹持的、向西开口的喇叭状盆地之中。

致谢:所有参加“湖北 1:5 万汪家营幅、利川市幅、忠路幅、黄泥塘幅区域地质调查”项目组的同志付出了辛勤的劳动,武汉地质矿产研究所的牛志军、龙文国研究员,广州地球化学研究所李武显研究员给予了悉心指导,在此一并表示感谢!

## References

- Andersen, T., 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses That do not Report  $^{204}Pb$ . *Chemical Geology*, 192 (1-2): 59-79.
- Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y. I., Verma, S. P., et al., 2004. Geochemistry of Sandstones from the Upper Miocene Kudankulam Formation, Southern India: Implications for Provenance, Weathering, and Tectonic Setting. *Journal of Sedimentary Research*, 74(2): 285-297.
- Belousova, E. A., Griffin, W. L., O'Reilly, S. Y., et al., 2002. Igneous Zircon: Trace Element Composition as an Indicator of Source Rock Type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143(5): 602-622.
- Bhatia, M. R., 1983. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones. *The Journal of Geology*, 91(6): 611-627.
- 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.
- 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.
- Carter, A., Moss, S. J., 1999. Combined Detrital-Zircon Fission-Track and U-Pb Dating: A New Approach to Un-

- derstanding Hinterland Evolution. *Geology*, 27(3): 235.
- Chen, W. F., Chen, P. R., Huang, H. Y., et al., 2007. Chronological and Geochemical Studies of Granite and Enclave in Baimashan Pluton, Hunan, South China. *Science in China (Series D)*, 50(11): 1606—1627.
- Chu, Y., Lin, W., Faure, M., et al., 2012. Phanerozoic Tectonothermal Events of the Xuefengshan Belt, Central South China: Implications from U-Pb Age and Lu-Hf Determinations of Granites. *Lithos*, 150: 243—255.
- 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.
- Cullers, R. L., 2000. The Geochemistry of Shales, Siltstones and Sandstones of Pennsylvanian-Permian Age, Colorado, USA; Implications for Provenance and Metamorphic Studies. *Lithos*, 51(3): 181—203.
- Dan, Y., Lin, L. B., Zhong, Y. J., et al., 2013. The Conglomerate Composition of the Fourth Member of Xujiache Formation, Upper Triassic, in the Front of Micang-Daba Mountains, Sichuan, China; Implication for Provenance Analysis. *Geological Review*, 59(1): 15—23 (in Chinese with English abstract).
- Dickinson, W. R., 1985. Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones. *Provenance of Arenites*, 333—361.
- Dickinson, W. R., Suzek, C. A., 1979. Plate Tectonics and Sandstone Compositions. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63(12): 2164—2182.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., et al., 1983. Provenance of North American Phanerozoic Sandstones in Relation to Tectonic Setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 222—235. doi: 10.1130/0016-7606(1983)94<222;PONAPS>2.0.CO;2
- Ding, X., Chen, P. R., Chen, W. F., et al., 2006. Single Zircon LA-ICPMS U-Pb Dating of Weishan Granite (Hunan, South China) and Its Petrogenetic Significance. *Science in China (Series D)*, 49(8): 816—827.
- Fedo, C. M., 2003. Detrital Zircon Analysis of the Sedimentary Record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 277—303.
- Hallsworth, C. R., Morton, A. C., Clauoué-Long, J., et al., 2000. Carboniferous Sand Provenance in the Pennine Basin, UK: Constraints from Heavy Mineral and Detrital Zircon Age Data. *Sedimentary Geology*, 137(3—4): 147—185.
- Kong, W. L., Wang, S., Du, Y. L., et al., 2011. Composition and Geochemistry of Permian Clastic Rocks in the Northern Margin of the Middle and Upper Yangtze Region. *Geochimica*, 40(5): 473—486 (in Chinese with English abstract).
- Li, R. B., Pei, X. Z., Liu, Z. Q., et al., 2010. Basin-Mountain Coupling Relationship of Foreland Basins between Dabashan and Northeastern Sichuan—The Evidence from LA-ICP-MS U-Pb Dating of the Detrital Zircons. *Acta Geologica Sinica*, 84(8): 1118—1134 (in Chinese with English abstract).
- Li, R. W., Wan, Y. S., Cheng, Z. Y., et al., 2005. The Dabie Orogen as the Early Jurassic Sedimentary Provenance: Constraints from the Detrital Zircon SHRIMP U-Pb Dating. *Science in China (Series D)*, 48(2): 145.
- Li, S. Y., Li, R. W., Meng, Q. R., et al., 2005. Geochemistry of the Mesozoic and Cenozoic Detrital Rocks and Its Constraints on Provenance in the Southeast Foot of Dabie Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4): 1157—1166 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. Y., Li, R. W., Yue, S. C., et al., 2004. Geochemistry of Rare Earth Elements of Mesozoic-Cenozoic Sandstones in North Margin of Dabie Mountains and Adjacent Areas: Constraints to Source Rocks. *Journal of Rare Earths*, 22(4): 558—562.
- Li, S. Y., Yang, D. D., Wang, S., et al., 2014. Characteristics of Petrology, Geochemistry, Heavy Minerals and Isotope Chronology of Upper Carboniferous Detrital Rocks in the Middle Segment of South Tianshan and Constraints to the Provenance and Tectonic Evolution. *Acta Geologica Sinica*, 88(2): 167—184 (in Chinese with English abstract).
- Liang, X. Q., Zhou, Y., Jiang, Y., et al., 2013. Difference of Sedimentary Response to Dongwu Movement: Study on LA-ICPMS U-Pb Ages of Detrital Zircons from Upper Permian Wujiaping or Longtan Formation from the Yangtze and Cathaysia Blocks. *Acta Petrologica Sinica*, 29(10): 3592—3606 (in Chinese with English abstract).
- Lin, L. B., Chen, H. D., Zhai, C. B., et al., 2006. Sandstone Compositions and Paleogeographic Evolution of the Upper Triassic Xujiache Formation in the Western Sichuan Basin, China. *Petroleum Geology & Experiment*, 28(6): 511—517 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. J., Xu, X. S., 1994. Atlas of the Palaeogeography of South China (Sinian-Triassic). Science Press, Beijing, 162—167.
- 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, X. M., Gao, S., Diwu, C. R., et al., 2008a. Precambrian Crustal Growth of Yangtze Craton as Revealed by Detrital Zircon Studies. *American Journal of Science*, 308(4): 421—468.
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008c. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1—2): 34—43.
- Liu, Y. S., Zong, K. Q., Kelemen, P. B., et al., 2008b. Geochemistry and Magmatic History of Eclogites and Ultramafic Rocks from the Chinese Continental Scientific Drill Hole: Subduction and Ultrahigh-Pressure Metamorphism of Lower Crustal Cumulates. *Chemical Geology*, 247(1—2): 133—153.
- Ludwig, K. R., 2001. Isoplot/Ex (Rev. 2.49), a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 1a. University of California, Berkeley, 55.
- McLennan, S. M., Hemming, S. R., Taylor, S. R., et al., 1995. Early Proterozoic Crustal Evolution: Geochemical and Nd-Pb Isotopic Evidence from Metasedimentary Rocks, Southwestern North America. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(6): 1153—1177.
- McLennan, S. M., Taylor, S. R., 1991. Sedimentary Rocks and Crustal Evolution: Tectonic Setting and Secular Trends. *The Journal of Geology*, 99(1): 1—21.
- Mei, M. X., 2010. Stratigraphic Impact of the Indo-China Movement and Its Related Evolution of Sedimentary-Basin Pattern of the Late Triassic in the Middle-Upper Yangtze Region, South China. *Earth Science Frontiers*, 17(4): 99—111 (in Chinese with English abstract).
- Ping, X. Q., Zheng, J. P., Zhao, J. H., et al., 2013. Heterogeneous Sources of the Triassic Granitoid Plutons in the Southern Qinling Orogen: An E-W Tectonic Division in Central China. *Tectonics*, 32(3): 396—416.
- Qu, H. J., Ma, Q., Dong, Y. P., et al., 2009. Migration of the Late Triassic-Jurassic Depocenter and Paleocurrent Direction in the Dabashan Foreland Basin. *Oil & Gas Geology*, 30(5): 584—588 (in Chinese with English abstract).
- Rashid, S. A., 2005. The Geochemistry of Mesoproterozoic Clastic Sedimentary Rocks from the Rautgara Formation, Kumaun Lesser Himalaya: Implications for Provenance, Mineralogical Control and Weathering. *Current Science*, 88(11): 1832—1836.
- Roser, B. P., Korsch, R. J., 1986. Determination of Tectonic Setting of Sandstone-Mudstone Suites Using SiO<sub>2</sub> Content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O Ratio. *The Journal of Geology*, 94(5): 635—650.
- 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.
- Rudnick, R. L., Gao, S., 2003. Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, 3(12): 1—64.
- Shi, Z. S., Yang, W., Xie, Z. Y., et al., 2010. Upper Triassic Clastic Composition in Sichuan Basin, Southwest China: Implication for Provenance Analysis and the Indosinian Orogeny. *Acta Geologica Sinica*, 84(3): 387—397 (in Chinese with English abstract).
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Tian, Y., Zhao, X. M., Wang, L. Z., et al., 2015. Geochemistry of Clastic Rocks from the Triassic Xujiahe Formation, Lichuan Area, Southwestern Hubei: Implications for Weathering, Provenance and Tectonic Setting. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 261—272 (in Chinese with English abstract).
- Wang, K. X., Chen, P. R., Chen, W. F., et al., 2012. Magma Mingling and Chemical Diffusion in the Taojiang Granitoids in the Hunan Province, China: Evidences from Petrography, Geochronology and Geochemistry. *Mineralogy and Petrology*, 106(3—4): 243—264.
- Wang, Y. J., Fan, W. M., Zhang, G. W., et al., 2013. Phanerozoic Tectonics of the South China Block: Key Observations and Controversies. *Gondwana Research*, 23(4): 1273—1305.
- Wang, Y. L., Fan, W. M., Liang, X. Q., et al., 2005a. SHRIMP Zircon U-Pb Geochronology of Indosinian Granites in Hunan Province and Its Petrogenetic Implications. *Chinese Science Bulletin*, 50(13): 1395—1403. doi: 10.1360/982004—603
- Wang, Y. J., Zhang, Y. H., Fan, W. M., et al., 2005b. Structural Signatures and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Geochronology of the Indosinian Xuefengshan Tectonic Belt, South China Block. *Journal of Structural Geology*, 27(6): 985—998.
- Xu, Z. Q., Yang, J. S., Li, H. Q., et al., 2012. Indosinian Collision-Orogenic System of Chinese Continent and Its Orogenic Mechanism. *Acta Petrologica Sinica*, (6): 1697—1709 (in Chinese with English abstract).
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Song, H. L., et al., 2003. Origin and Tectonic Significance of a Mesozoic Multi-Layer Over-

- Thrust System within the Yangtze Block (South China). *Tectonophysics*, 361(3-4): 239-254.
- Yan, Q. R., Gao, S. L., Wang, Z. Q., et al., 2002. Geochemical Constraints of Sediments on the Provenance, Depositional Environment and Tectonic Setting of the Songliao Prototype Basin. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 76(4): 455-462.
- Yang, D. D., Li, S. Y., Zhao, D. Q., et al., 2012. Geochemistry and Detrital Zircon Geochronology of Carboniferous Detrital Rocks in the Northern Margin of Dabie Mountains, Central China and Constraints to Distinguishing the Provenance Tectonic Attribute. *Acta Petrologica Sinica*, 28(8): 2619-2628 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. H., Du, Y. S., Cawood, P. A., et al., 2012. Modal and Geochemical Compositions of the Lower Silurian Clastic Rocks in North Qilian, NW China: Implications for Provenance, Chemical Weathering, and Tectonic Setting. *Journal of Sedimentary Research*, 82(2): 92-103.
- Yang, K., Liu, S. W., Li, Q. G., et al., 2009. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology and Geological Significance of Zhashui Granitoids and Dongjiangkou Granitoids from Qinling, Central China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45(5): 841-847 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. T., Yang, J. H., Wang, X. F., et al., 2012. Geochronology from Middle Triassic to Middle Jurassic Detrital Zircons in Jiuyuan Basin and Its Implications for the Qinling Orogen. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(3): 489-500 (in Chinese with English abstract).
- Yu, J. H., Wei, Z. Y., Wang, L. J., et al., 2006. Cathaysia Block: A Young Continent Composed of Ancient Materials. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 440-447 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, F., Liu, S. W., Li, Q. G., et al., 2009. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology and Geological Significance of Xiba Granitoids from Qinling, Central China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45(5): 833-840 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. W., Guo, A. L., Wang, Y. J., et al., 2013. Tectonics of South China Continent and Its Implications. *Science China Earth Sciences*, 56(11): 1804-1828. doi: 10.1007/s11430-013-4679-1
- Zhang, J. L., Zhang, X., 2007. Element Geochemistry of Sandstones in the Silurian of Central Tarim Basin and the Significance in Provenance Discrimination. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2990-3002 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. L., Wang, Z. Q., Yan, Z., et al., 2011. Tectonic Setting of Neoproterozoic Beiyixi Formation in Quruqtagh Area, Xinjiang: Evidence from Geochemistry of Clastic Rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 27(6): 1785-1796 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, R. C., Dai, Z. C., Zhu, R. K., et al., 2012. Sequence-Based Lithofacies and Paleogeographic Characteristics of Upper Triassic Xujiahe Formation in Sichuan Basin. *Geological Review*, 55(4): 484-495 (in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献

- 淡永, 林良彪, 钟怡江, 等, 2013. 米仓山一大巴山前缘上三叠统须家河组四段砾岩特征及其对物源的指示. *地质论评*, 59(1): 15-23.
- 孔为伦, 王松, 杜叶龙, 等, 2011. 中上扬子北缘二叠纪碎屑岩组分和地球化学特征. *地球化学*, 40(5): 473-486.
- 李瑞保, 裴先治, 刘战庆, 等, 2010. 大巴山及川东北前陆盆地山物质耦合——来自 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年代学证据. *地质学报*, 84(8): 1118-1134.
- 李双应, 李任伟, 孟庆任, 等, 2005. 大别山东南麓中生代碎屑岩地球化学特征及其对物源的制约. *岩石学报*, 21(4): 1157-1166.
- 李双应, 杨栋栋, 王松, 等, 2014. 南天山中段上石炭统碎屑岩岩石学、地球化学、重矿物和锆石年代学特征及其对物源区、构造演化的约束. *地质学报*, (2): 167-184.
- 梁新权, 周云, 蒋英, 等, 2013. 二叠纪东吴运动的沉积响应差异: 来自扬子和华夏板块吴家坪组或龙潭组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄研究. *岩石学报*, 29(10): 3592-3606.
- 林良彪, 陈洪德, 翟常博, 等, 2006. 四川盆地西部须家河组砂岩组分及其古地理探讨. *石油实验地质*, 28(6): 511-517.
- 刘宝珺, 许效松, 1994. 中国南方岩相古地理图集(震旦纪—三叠纪). 北京: 科学出版社, 162-167.
- 刘少峰, 张国伟, 2008. 东秦岭—大别山及邻区盆—山系统演化与动力学. *地质通报*, 27(12): 1943-1960.
- 梅冥相, 2010. 中上扬子印支运动的地层学效应及晚三叠世沉积盆地格局. *地质前缘(中国地质大学(北京))*; 北京大学, 17(4): 99-111.
- 屈红军, 马强, 董云鹏, 等, 2009. 大巴山前陆盆地晚三叠世—侏罗纪沉积中心的迁移及古流向. *石油与天然气地质*, 30(5): 584-588.
- 施振生, 杨威, 谢增业, 等, 2010. 四川盆地晚三叠世碎屑组分对源区分析及印支运动的指示. *地质学报*, 84(3): 387-397.

田洋,赵小明,王令占,等,2015.鄂西南利川三叠纪须家河组地球化学特征及其对风化、物源与构造背景的指示.岩石学报,31(1):261-272.

许志琴,杨经绥,李化启,等,2012.中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制.岩石学报,(6):1697-1709.

杨栋栋,李双应,赵大千,等,2012.大别山北缘石炭系碎屑岩地球化学及碎屑锆石年代学分析及其对物源区大地构造属性判别的制约.岩石学报,28(8):2619-2628.

杨恺,刘树文,李秋根,等,2009.秦岭柞水岩体和东江口岩体的锆石 U-Pb 年代学及其意义.北京大学学报:自然科学版,45(5):841-847.

杨文涛,杨江海,汪校锋,等,2012.豫西济源盆地中三叠世一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.地球科学——中国地质大学学报,37(3):

489-500.

于津海,魏震洋,王丽娟,等,2006.华夏地块:一个由古老物质组成的年轻陆块.高校地质学报,12(4):440-447.

张帆,刘树文,李秋根,等,2009.秦岭西坝花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义.北京大学学报:自然科学版,45(5):833-840.

张金亮,张鑫,2007.塔中地区志留系砂岩元素地球化学特征与物源判别意义.岩石学报,23(11):2990-3002.

张英利,王宗起,闫臻,等,2011.库鲁克塔格地区新元古代贝义西组的构造环境:来自碎屑岩地球化学的证据.岩石学报,27(6):1785-1796.

郑荣才,戴朝成,朱如凯,等,2012.四川类前陆盆地须家河组层序-岩相古地理特征.地质论评,55(4):484-495.

\*\*\*\*\*

## 《地球科学——中国地质大学学报》

2016 年 1 月 第 41 卷 第 1 期 要目预告

|   |      |
|---|------|
| 内蒙古红彦镇地区山神府花岗岩熔融-流体包裹体特征及其成矿意义 .....    | 毛 晨等 |
| 东昆仑黑海地区加里东期过铝质花岗岩岩石学、地球化学特征及地质意义 .....  | 施 彬等 |
| 吉林荒沟山金矿床成矿流体特征研究 .....                  | 周向斌等 |
| 四川盆地西南中二叠统白云岩的地球化学特征及其成因研究 .....        | 韩晓涛等 |
| 赣东北蛇绿混杂岩岩石地球化学特征及构造意义 .....             | 周文婷等 |
| 松辽盆地南部钱家店铀矿床后生蚀变作用及其对铀成矿的约束 .....       | 荣 辉等 |
| 福建平和矾山地区花岗岩地球化学、年代学、Hf 同位素特征及地质意义 ..... | 王 森等 |