

陈伟男, 裴先治, 刘成军, 等. 西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 741-755.  
Chen Weinan, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, et al. U-Pb ages of detrital zircons from Taiyangsi Rock Group in Shujiba area of West Qinling Mountains and their geological significance[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 741-755(in Chinese with English abstract).

## 西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

陈伟男<sup>1</sup> 裴先治<sup>1,2</sup> 刘成军<sup>1</sup> 李瑞保<sup>1</sup> 李佐臣<sup>1</sup> 魏博<sup>1</sup>  
胥晓春<sup>1</sup> 刘图杰<sup>1</sup> 王元元<sup>1</sup> 任厚州<sup>1</sup>

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;  
2. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 为了探讨西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组的物源特征及形成时代, 本文选取该套地层中碎屑锆石作为研究对象, 采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学方法, 界定舒家坝地区太阳寺岩组的形成时代, 并探讨其物质来源。结果表明, 太阳寺岩组的沉积下限为 (437±4) Ma, 结合前人对周边地质体研究情况, 其主体形成时代为志留纪。舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石年龄谱明显分为 4 个年龄组段: (1) 437~526 Ma, 峰值为 458 Ma, 年龄较为集中, 呈现最为强烈峰值特征, 指示其物源可能来自于西秦岭北缘构造带和北祁连造山带; (2) 601~978 Ma, 可细分为 601~651 Ma、738~978 Ma 2 个亚组, 峰值分别为 650 Ma、814 Ma, 年龄也相对比较集中, 这一时期受新元古代 Rodinia 超大陆汇聚和裂解的影响, 在秦岭造山带和祁连造山带产生了一系列的构造岩浆活动, 为研究区提供物源奠定了可能性; (3) 1032~1245 Ma, 峰值为 1092 Ma, 这组年龄反映其物源主要来自于北祁连造山带; (4) 1668~2546 Ma, 该组可细分为 1668~2019 Ma、2304~2546 Ma 2 个亚组, 其峰值分别为 1920 Ma、2418 Ma, 反映了西秦岭北缘构造带和北祁连造山带二者的结晶基底以及华北板块结晶基底都存在为研究区提供物源的可能性。综合分析显示太阳寺岩组碎屑沉积物质来源比较复杂, 具有明显的多元性, 有西秦岭北缘构造带、北祁连造山带和华北板块基底 3 个物源区, 其中西秦岭北缘构造带和北祁连造山带为主要物源区, 二者相比, 北祁连造山带应为最主要物源区。

**关键词:** 太阳寺岩组; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 物源; 西秦岭北缘; 北祁连造山带

**中图分类号:** P588.2; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)03-0741-15

沉积盆地和构造带为大陆地壳的 2 个最基本的构造单元, 在空间上相互依存, 在物质上相互转换, 并统一于地球深部动力学机制, 有机地组成了一个相互联系且不可分割的整体——盆山体系或盆山系统<sup>[1-2]</sup>。而盆地碎屑沉积物既是盆地沉积和构造演化的直接证据和重要标志, 也是区域构造背景控制下的物源区与盆地沉积有机结合配置的产物, 记

录了盆山构造格局形成及与周围环境相互作用的演化历史<sup>[3-4]</sup>。因此通过盆地沉积物来研究恢复再造山过程、造山事件, 探讨陆内造山过程中盆-山演化及热构造格局已成为大陆动力学研究新的方法和突破口。盆地碎屑沉积物中的锆石不仅分布较广, 而且稳定性极强, 即使岩石受过部分熔融、甚至区域变质作用的影响, 也不会把其中的源区信息

收稿日期: 2013-10-14; 改回日期: 2014-01-05

资助项目: 国家自然科学基金项目(41172186、40972136、40572121)、教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110205110004)、中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2011TD020、2013G1271091、2013G1271092)联合资助。

作者简介: 陈伟男, 男, 1990 年生, 硕士生, 构造地质学专业; E-mail: wnchen1990@126.com。

通讯作者: 裴先治, 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 从事构造地质学和区域地质学研究; E-mail: peixzh@263.net。

完全丢失。锆石常具有良好的晶形、特殊的晶体习性以及颜色和环带等现象,并且它们随着形成环境的不同,会有不同的特点。所以来源不同的锆石在形态、成分组成以及年龄上的差异就成为示踪源区和指示区域构造演化的重要探针<sup>[5]</sup>。

秦岭造山带是中朝克拉通华北板块和扬子克拉通板块结合区域,其独特的大地构造位置、复杂的地质演化和丰富的矿产资源而成为地质科学研究的焦点<sup>[6-7]</sup>。研究区所处位置为西秦岭与祁连造山带的结合部位,是中央造山系东西衔接的关键地段,大地构造位置处于古亚洲构造域和特提斯构造域交汇过渡与转换的特殊部位,对大陆动力学研究具有十分重要的科学意义<sup>[8]</sup>。西秦岭北缘舒家坝地区太阳寺岩组是一套早古生代浅变质碎屑沉积地层,记录了有关西秦岭北缘构造带和北祁连造山带在古生代构造演化以及构造岩浆事件的信息,通过这些信息讨论研究区的物质来源和形成时代,对进一步研究该区古生代造山作用过程以及古地理格局等具有重要地质意义。本文通过大量的野外地质工作,并采用LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素年龄学方法,对舒家坝地区太阳寺岩组碎屑岩进行系统的碎屑锆石年代学研究,进而探讨其物源特征及形成时代。

## 1 区域地质背景

西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组位于甘肃省东部天水市,地处青藏高原东北缘,大地构造位置位于中央造山系中段西秦岭北缘构造带和北祁连造山带的交接转换部位。以新阳一元龙韧性剪切带为界,北侧为祁连造山带,出露地层有古元古界陇山岩群、下志留统葫芦河群、中—上奥陶统陈家河群和下志留统红土堡组变基性火山岩;新阳一元龙韧性剪切带南侧为西秦岭北缘构造带,出露地层有古元古界秦岭岩群、南华系木其滩岩组、奥陶系李子园群、上奥陶统草滩沟群、志留系太阳寺岩组、中泥盆统舒家坝群以及中晚泥盆统西汉水群(图1)。

长安大学地质调查研究院(2004)在进行1:25万天水市幅区域地质调查中,依据该区域的浅变质碎屑地层在岩石组合特征、变质变形方面与李子园群或丹凤岩群以及中泥盆统舒家坝群和大草滩群的显著差异,将其从上述地层中分别解体出来重新组合,并以出露最好地段两当县太阳寺地区命名其

为太阳寺岩组,具体沿革史见表1。太阳寺岩组主要分布于西秦岭北缘构造带两当县太阳寺乡以北地区,呈狭长带状展布,自东到西为两当冉家院—太阳寺—天子山岩体—八卦山岩体—钱家坝—娘娘坝、峡门北断续延伸至杨家寺、金家河寨柯里一带被温泉岩体吞没,与周围相邻的地层单位呈反S状分布。舒家坝地区太阳寺岩组近南北向带状展布,东西宽约5 km,南北长约28 km,其分布形态受周边断层控制,北侧与上泥盆统大草滩群红绿砂岩断层接触,东侧与奥陶系李子园群为断层接触,局部与印支期花岗岩呈侵入接触,南侧和西侧为中泥盆统舒家坝群泥岩、粉砂岩,均呈断层接触(图2)。区内主要为一套浅变质碎屑地层,以浅灰色—灰色中薄—中厚层状变质石英(砂)岩、石英片岩为主,夹绢云母石英片岩、浅灰绿色含绿泥绢云石英片岩等,尤其向西部延伸逐渐以绢云母石英片岩为主夹石英片岩。岩石变形较为强烈,原始层理已经被片理甚至糜棱岩化置换,局部夹层发生变形,可见压扁拉长的砾岩,同时内部发育有紧闭同斜褶皱甚至无根钩状褶皱。

## 2 样品位置和测年方法

本次工作为了获取舒家坝地区太阳寺岩组中变质碎屑岩的形成时代,进而分析其物源,采用LA-ICP-MS法对变质碎屑岩中的碎屑锆石进行U-Pb同位素年龄测试。本文所研究的样品(DCB01)采自甘肃省天水市舒家坝地区大草坝太阳寺岩组,采样地理位置为:34°14'01"N,105°48'28"E,岩性为灰绿色绿泥绢云石英片岩。

所测年样品在陕西省地勘局区域地质矿产研究院采用常规方法粉碎至0.180~0.154 mm(80~100目),并用常规浮选方法进行分选,得到大于400粒锆石后,再在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象。将锆石颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部暴露,然后进行锆石显微(反射光和透射光照相)、阴极发光(CL)显微图像研究及LA-ICP-MS分析。锆石的反射光和透射光显微照相以及阴极发光(CL)显微照相在中国地质科学院北京离子探针中心扫描电镜及阴极发光实验室完成。阴极发光(CL)显微照相采用日立HITACHI S3000-N型扫描

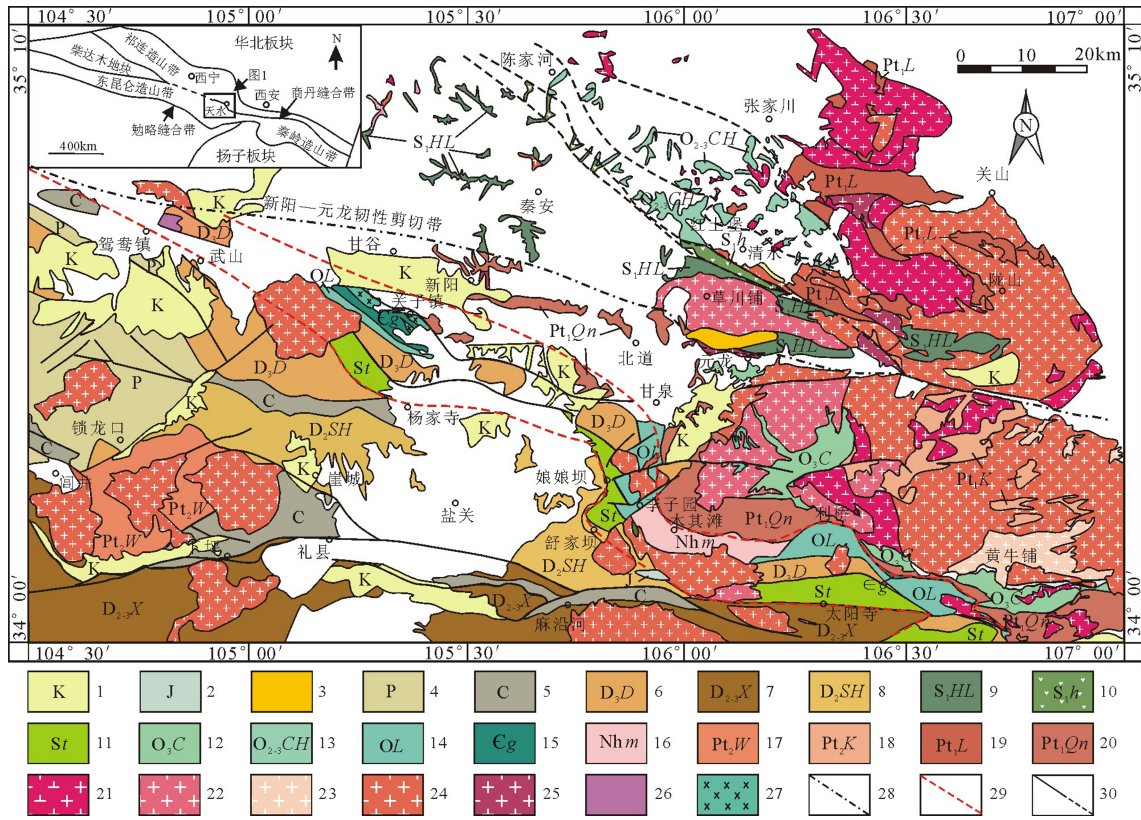


图1 西秦岭北缘天水地区地质构造略图

- 1—白垩系;2—侏罗系;3—晚三叠世小河子陆相酸性火山岩系;4—二叠系;5—石炭系;6—上泥盆统大草滩群;
- 7—中—上泥盆统西汉水群;8—中泥盆统舒家坝群;9—下志留统葫芦河群;10—下志留统红土堡组变基性火山岩;
- 11—志留系太阳寺岩组;12—上奥陶统草滩沟群;13—中—上奥陶统陈家河群;14—奥陶系李子园群;15—寒武纪关子镇蛇绿岩;
- 16—南华系木其滩岩组;17—中元古界吴家山岩群;18—下古生界宽坪岩群;19—古元古界陇山岩群;
- 20—古元古界秦岭岩群;21—加里东早期俯冲型闪长岩—石英闪长岩;22—加里东晚期碰撞型花岗岩;23—海西期花岗岩;
- 24—印支期花岗岩;25—新元古代花岗质片麻岩;26—早古生代镁铁—超镁铁质岩;27—早古生代变形辉长岩—辉长闪长岩;
- 28—主边界断裂;29—构造边界断裂;30—断层、推测断层

Fig.1 Schematic geological tectonic map of Tianshui area, north margin of Western Qinling

- 1-Cretaceous; 2-Jurassic; 3-Late Triassic Xiaozezi continental acid volcanic rocks; 4-Permian; 5-Carboniferous;
- 6-Upper Devonian Dacaoan Group; 7-Middle-upper Devonian Xihanshui Group; 8-Middle Devonian Shujiaba Group;
- 9-Lower Silurian Huluhe Group; 10-Meta-basic volcanic rocks of Lower Silurian Hongtubao Formation; 11-Silurian Taiyangsi Rock Formation; 12-Upper Ordovician Caotangou Group; 13-Mid-upper Ordovician Chenjiahe Group;
- 14-Ordovician Liziyuan Group; 15-Cambrian Guanzhizhen ophiolite; 16-Nanhua Muqitan Formation; 17-Lower Paleozoic Wujiashan Rock Group; 18-Mesoproterozoic Kuanzhen Rock Group; 19-Paleoproterozoic Longshan Rock Group;
- 20-Paleoproterozoic Qinling Rock Group; 21-Early Caledonian subduction diorites and quartz diorites; 22-Late Caledonian collisional granites; 23-Hercynian granites; 24-Indosinian granites; 25-Neoproterozoic granitic gneiss; 26-Early Paleozoic mafic-ultramafic rocks; 27-Early Paleozoic deformed gabbro-gabbro diorites; 28-Main tectonic boundary;
- 29-Boundary fault; 30-Fault and inferred fault

电子显微镜和GATAN公司Chroma阴极发光探头进行锆石内部结构分析研究。测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光显微照片进行初选,再与CL照片反复比对,力求避开内部裂隙和包裹体,以期获得较准确的年龄信息。

锆石原位U-Pb同位素年龄分析在西北大学大

陆动力学国家重点实验室的LA-ICP-MS仪器上用标准测定程序进行。分析仪器为Elan6100DRC型四极杆质谱仪和Geolas200M型激光剥蚀系统,激光器为193 nmArF准分子激光器。激光剥蚀斑束直径为30 μm,激光剥蚀样品的深度为20~40 μm。锆石年龄计算采用国际标准锆石91500作为外标,元素

表1 太阳寺岩组沿革史<sup>①</sup>

Table 1 The course of changes of Taiyangsi Rock Formation

1:20万 香泉幅 (1968)	1:20万 天水幅幅 (1969)		甘肃省区域 地质志 (1989)		张维吉 孟宪恂 (1994)		1:5万 娘娘坝幅 (1991)		1:5万太白幅 太阳寺幅 (1996)		1:5万 辛家庄幅 (1996)		1:25万 天水市幅 (2004)		
上泥盆统	上泥盆统	大草滩群	中泥盆统	舒家坝群	震旦—下古生界	李子园群	变碎屑岩组	下古生界	丹凤群	大草坝岩组	下古生界	丹凤群	大草坝岩组	碎屑岩段	太阳寺岩组
	中泥盆统	舒家坝组					火山岩组			变中酸性			黑湾里岩组		

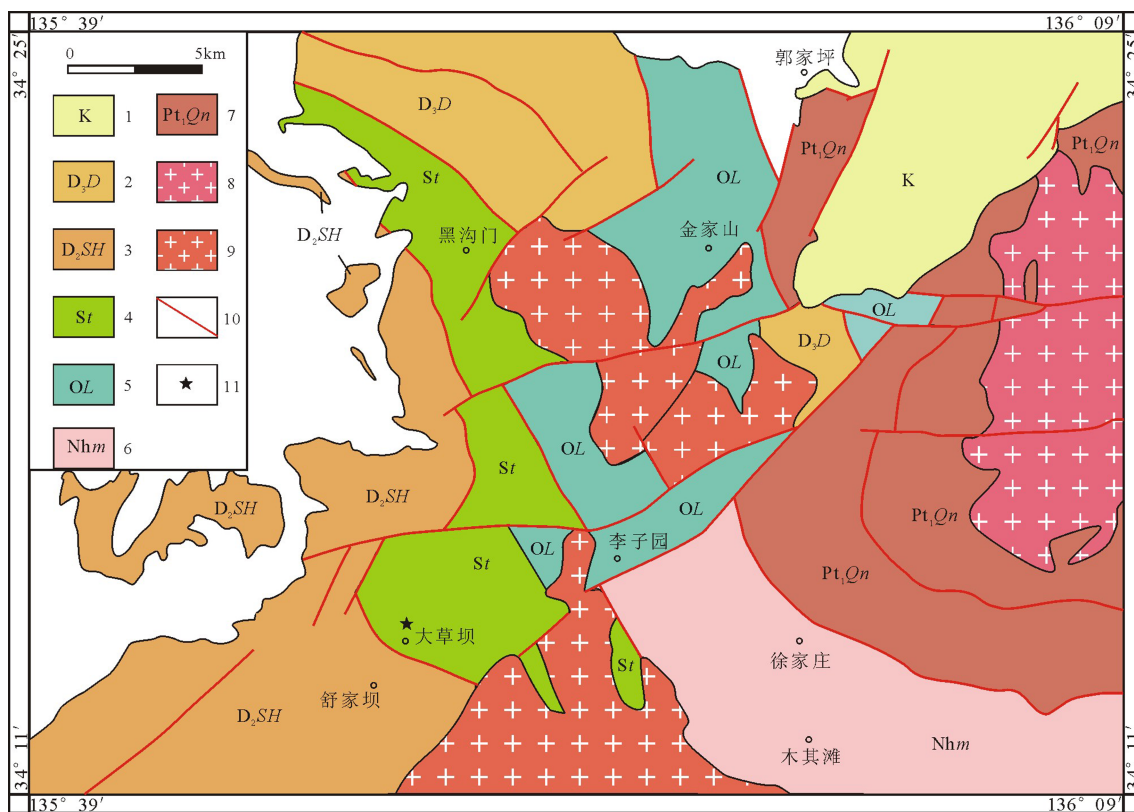


图2 舒家坝地区太阳寺岩组分布图

- 1—白垩系;2—上泥盆统大草滩群3—中泥盆统舒家坝群;4—志留系太阳寺岩组;5—奥陶系李子园群;  
6—南华系木其滩岩组;7—古元古界秦岭岩群;8—加里东晚期碰撞型花岗岩;9—印支期花岗岩;  
10—断层、推测断层;11—采样位置

Fig.2 Distribution of Taiyangsi Rock Formation in Shujiaba area

- 1—Cretaceous;2—Upper Devonian Dacaotan Group;3—Middle Devonian Shujiaba Group;  
4—Silurian Taiyangsi Rock Formation;5—Ordovician Liziyuan Group;6—Nanhua Muqitan Rock Formation;  
7—Paleoproterozoic Qinling Rock Group;8—Late Caledonian collisional granites;9—Indosinian granites;  
10—Fault and inferred fault;11—Sampling position

① 长安大学地质调查研究院. 1:25万天水幅区域地质调查报告. 2004.

含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃NIST SRM610作为外标, $^{29}\text{Si}$ 作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用CLITTER(4.0版, Maquarie University)软件,并采用Andersen(2002)软件对测试数据进行普通铅校正,年龄计算及谐和图采用ISOPLOT(2.49版)软件完成。详细的实验原理和流程及仪器参数见文献<sup>[9-10]</sup>。按照碎屑锆石年龄分布范围,对于年龄>1000 Ma的锆石,由于含大量放射性成因Pb,因而采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄;但对于年龄<1000 Ma的锆石,由于可用于测量的放射性成因Pb含量低和普通Pb校正的不确定性,因而采用更为精确的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄<sup>[11-18]</sup>。

### 3 碎屑锆石特征和年龄谱

#### 3.1 碎屑锆石特征

样品(DCB01)中锆石呈浅黄色-无色透明,多数为短柱状,少部分为长柱状,极少部分为不规则状,粒度为80~150  $\mu\text{m}$ 。锆石内部结构较为复杂(图3)。研究表明Th/U比值一般大于0.4为岩浆锆石,小于0.1为变质锆石<sup>[19-20]</sup>,本文所测锆石的Th/U比

值为0.28~1.75, Th/U比值小于0.4的仅占4%,表明舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石基本为岩浆成因锆石。多数锆石具有明显的岩浆环带特征,其中部分锆石具有浅色较窄的增生边,表明岩浆锆石发生变质。少数锆石具有残留的核部,为继承锆石或者捕获锆石。这种复杂的锆石形态特征和成因的多样性,反映了其物源区的复杂性。

#### 3.2 碎屑锆石年龄谱特征

共对样品(DCB01)中的70颗锆石进行同位素测年,测试结果见表2。所得数据显示大部分锆石具有谐和年龄,其中测得最年轻和最古老年龄分别为(437 $\pm$ 4)Ma和(2546 $\pm$ 6)Ma。由图4、表2可以得出,舒家坝地区太阳寺岩组样品(DCB01)所得数据可以分为437~526 Ma、601~978 Ma、1032~1245 Ma、1668~2546 Ma 4个年龄组。其中437~526 Ma年龄组有27颗锆石,约占总体的38.6%,年龄较为集中,呈现强烈峰值特征,其峰值为458 Ma;601~978 Ma年龄组有22颗锆石,约占总体31.4%,可细分为601~651 Ma、738~978 Ma 2个亚组,峰值分别为650 Ma、814 Ma;1032~1245 Ma年龄组有6颗锆石,约占总体的8.6%,其峰值为1092 Ma;1668~

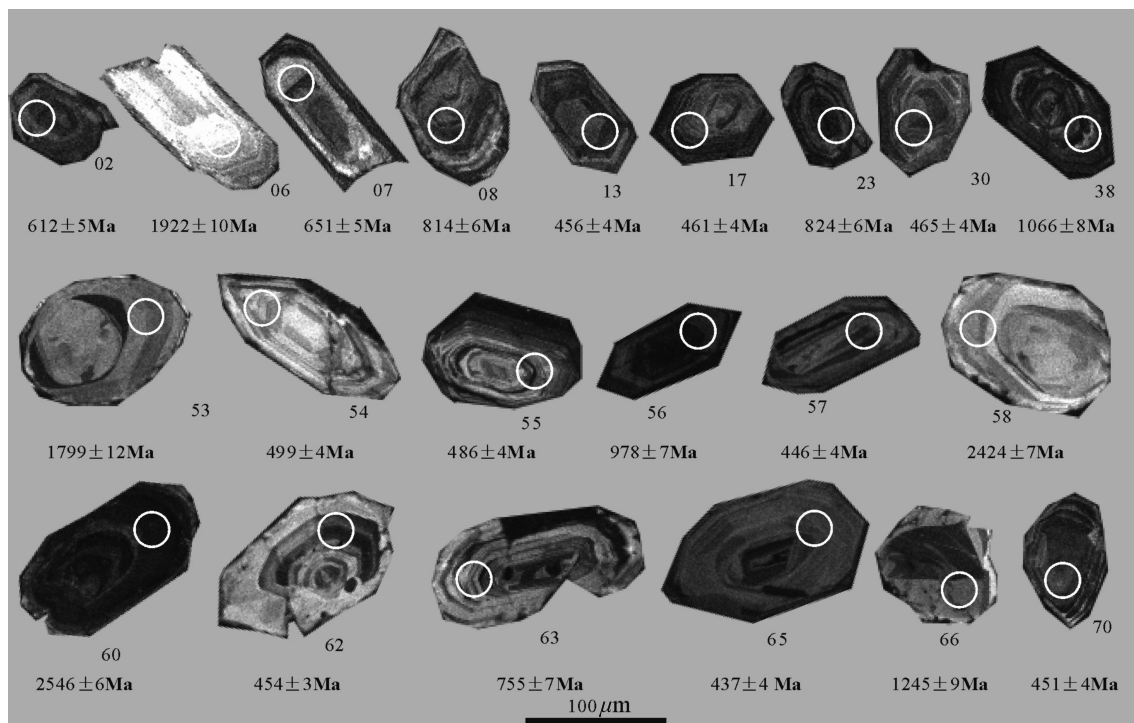


图3 太阳寺岩组样品(DCB01)典型锆石阴极发光图像及年龄

Fig.3 Representative zircon CL images and ages of Taiyangsi Rock Formation from sample DCB01



续表 2

点号	$^{238}\text{Th}$		Th/U	同位素比值				同位素年龄/Ma										
	$^{206}\text{Pb}$	$^{232}\text{Th}$ / $10^{-6}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\sigma$					
35	266	162	160	1.01	0.1464	0.0026	8.4943	0.1304	0.4208	0.0037	0.1183	0.0010	2304	31	2285	14	2264	17
36	74.6	137	255	0.54	0.0562	0.0008	0.5765	0.0073	0.0744	0.0006	0.0252	0.0002	461	15	462	5	462	4
37	84.3	107	108	0.99	0.0784	0.0010	2.1504	0.0232	0.1988	0.0016	0.0629	0.0005	1158	10	1165	7	1169	9
38	286	204	424	0.48	0.0749	0.0008	1.7756	0.0164	0.1719	0.0013	0.0554	0.0004	1066	8	1037	6	1023	7
39	204	381	407	0.94	0.0666	0.0008	1.1752	0.0116	0.1279	0.0010	0.0405	0.0003	826	9	789	5	776	6
40	118	208	222	0.94	0.0738	0.0009	1.3735	0.0144	0.1350	0.0011	0.0455	0.0003	1036	10	878	6	816	6
41	61.7	53.1	93.4	0.57	0.0737	0.0012	1.7081	0.0262	0.1681	0.0015	0.0548	0.0006	1032	17	1012	10	1002	8
42	76.5	296	268	1.10	0.0605	0.0011	0.6051	0.0105	0.0726	0.0006	0.0235	0.0002	620	23	480	7	452	4
43	235	283	334	0.85	0.0758	0.0009	1.8679	0.0172	0.1788	0.0014	0.0574	0.0004	1088	8	1070	6	1060	8
44	58.4	124	175	0.71	0.1156	0.0016	1.3539	0.0156	0.0849	0.0007	0.0463	0.0004	1889	10	869	7	525	4
45	48.8	197	169	1.17	0.0634	0.0011	0.6425	0.0102	0.0735	0.0006	0.0254	0.0002	720	20	504	6	457	4
46	218	295	531	0.56	0.0571	0.0007	0.8211	0.0084	0.1042	0.0008	0.0239	0.0002	497	11	609	5	639	5
47	258	524	431	1.22	0.0695	0.0009	1.4604	0.0154	0.1524	0.0012	0.0488	0.0004	913	10	914	6	914	7
48	113	83.7	84.9	0.99	0.1111	0.0013	5.1883	0.0496	0.3387	0.0027	0.1033	0.0008	1817	8	1851	8	1880	13
49	52.1	110	182	0.60	0.0561	0.0010	0.5619	0.0087	0.0726	0.0006	0.0239	0.0002	456	20	453	6	452	4
50	21.2	29.0	42.3	0.69	0.1191	0.0031	2.0888	0.0499	0.1272	0.0015	0.0702	0.0010	1942	27	1145	16	772	8
51	77.1	180	254	0.71	0.0619	0.0009	0.6586	0.0087	0.0772	0.0006	0.0265	0.0002	670	15	514	5	479	4
52	281	76.9	155	0.49	0.1621	0.0022	10.1792	0.1092	0.4554	0.0037	0.1267	0.0010	2478	23	2451	10	2419	16
53	311	79.9	233	0.34	0.1100	0.0012	5.1291	0.0427	0.3382	0.0026	0.1020	0.0008	1799	7	1841	7	1878	13
54	56.9	77.7	179	0.43	0.0702	0.0011	0.7796	0.0111	0.0805	0.0007	0.0317	0.0003	935	16	585	6	499	4
55	149	334	457	0.73	0.0588	0.0021	0.6354	0.0218	0.0783	0.0007	0.0243	0.0002	561	79	499	14	486	4
56	692	425	1072	0.40	0.0699	0.0008	1.5790	0.0158	0.1638	0.0013	0.0500	0.0004	926	10	962	6	978	7
57	91.3	277	320	0.87	0.0559	0.0018	0.5522	0.0167	0.0717	0.0006	0.0223	0.0002	448	72	446	11	446	4
58	138	60.2	77.2	0.78	0.1570	0.0017	9.8315	0.0881	0.4540	0.0036	0.1391	0.0011	2424	7	2419	8	2413	16
59	379	319	646	0.49	0.0662	0.0009	1.3603	0.0149	0.1490	0.0012	0.0489	0.0004	813	11	872	6	895	7
60	2139	426	1128	0.38	0.1688	0.0017	11.1898	0.0852	0.4807	0.0037	0.1001	0.0007	2546	6	2539	7	2530	16
61	83.5	202	156	1.30	0.1455	0.0021	2.7296	0.0339	0.1360	0.0012	0.0606	0.0005	2294	11	1337	9	822	7
62	118	399	411	0.97	0.0698	0.0009	0.7019	0.0081	0.0729	0.0006	0.0260	0.0002	922	12	540	5	454	3
63	120	425	242	1.75	0.0643	0.0026	1.1015	0.0429	0.1243	0.0012	0.0381	0.0003	751	87	754	21	755	7
64	89.2	267	312	0.86	0.0585	0.0009	0.5843	0.0079	0.0724	0.0006	0.0241	0.0002	549	16	467	5	451	4
65	28.7	73.3	104	0.71	0.0560	0.0014	0.5419	0.0124	0.0702	0.0006	0.0236	0.0003	452	34	440	8	437	4
66	275	287	359	0.80	0.0820	0.0010	2.1937	0.0218	0.1941	0.0015	0.0619	0.0005	1245	9	1179	7	1143	8
67	49.8	86.2	148	0.58	0.1604	0.0024	1.8812	0.0243	0.0851	0.0008	0.0659	0.0006	2460	11	1074	9	526	4
68	67.0	235	228	1.03	0.0623	0.0011	0.6385	0.0101	0.0743	0.0006	0.0247	0.0002	685	20	501	6	462	4
69	172	260	354	0.73	0.0743	0.0010	1.2580	0.0143	0.1228	0.0010	0.0441	0.0004	1050	11	827	6	746	6
70	40.7	105	142	0.74	0.0565	0.0012	0.5649	0.0114	0.0725	0.0006	0.0250	0.0003	471	29	455	7	451	4

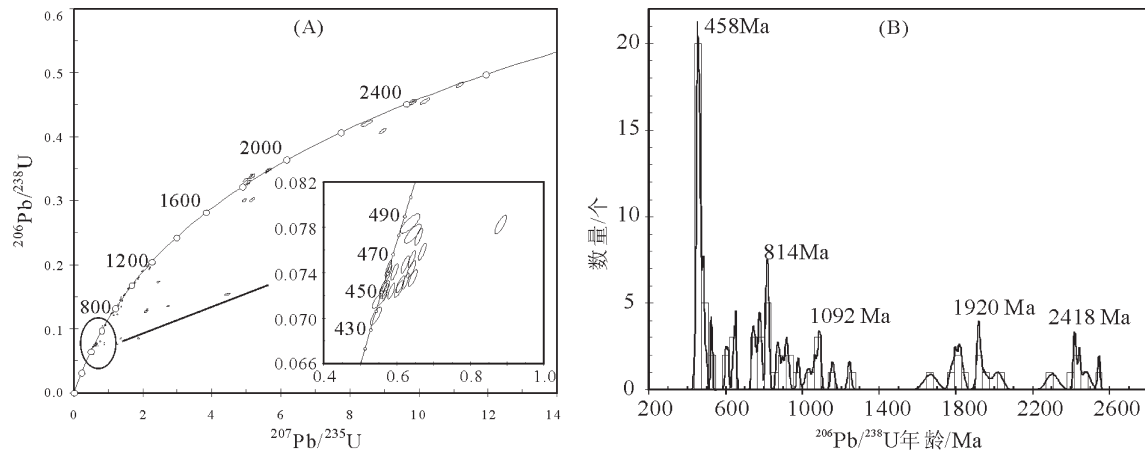


图4 太阳寺岩组样品(DCB01)锆石U-Pb谐和图与年龄直方图

Fig.4 Detrital zircon U-Pb of Taiyangsi Rock Formation concordant diagram and age histogram of sample DCB01

2546 Ma年龄组有15颗锆石,约占总体的21.4%,该组可细分为1668~2019 Ma、2304~2546 Ma 2个亚组,其峰值分别为1920 Ma、2418 Ma。

## 4 碎屑锆石年龄谱信息

### 4.1 加里东期年龄信息

舒家坝地区太阳寺岩组研究样品(DCB01)中,共有27颗锆石的年龄(437~526 Ma)属于加里东期,约占总体的38.6%,所占比例较大,峰值年龄为458 Ma,表明该年龄组对应了加里东期构造岩浆热事件,这与该地区早古生代一系列的构造事件相吻合。

西秦岭北缘地区出露有一系列加里东期岩浆岩,如舒家坝地区太阳寺岩组东部出露有党川花岗岩体,王婧等(2008)获得其LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(438±3)Ma<sup>[21]</sup>;分布于百花林场附近的百花中基性岩浆杂岩体,裴先治等(2007)获得其辉长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(434.6±1.5)Ma<sup>[22]</sup>,高景民等(2013)获得其中石英闪长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(444.0±2.8)Ma<sup>[23]</sup>;王洪亮等(2006)获得分布在凤县以东的红花铺岩体的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(450.5±1.8)Ma<sup>[24]</sup>;陈隽璐等(2008)获得陕西凤县一带的唐藏花岗岩体的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(454.7±1.9)Ma<sup>[25]</sup>;杨钊等(2006)在水关子镇地区获得关子镇蛇绿岩中辉长岩的成岩年龄为(471.1±1.4)Ma<sup>[26]</sup>,裴先治等(2007)获得关子镇蛇绿岩中辉长岩的锆石

U-Pb年龄为(499.7±1.8)Ma<sup>[27]</sup>;裴先治等(2005)获得天水关子镇地区的流水沟岩浆杂岩体TIMS法锆石U-Pb年龄为(507.5±3.0)Ma<sup>[28]</sup>;李王晔等(2008)通过对关子镇一带不同地区的岩浆岩SHRIMP锆石U-Pb测年,在关子沟口获得变闪长岩的原岩结晶年龄为(517±8)Ma,在流水沟获得变辉长岩的原岩结晶年龄为(534±9)Ma<sup>[29]</sup>;王洪亮等(2007)在草滩沟群的一套沉积-火山岩系中获得LA-ICP-MS锆石微区U-Pb年龄为(456.4±1.8)Ma<sup>[30]</sup>;侵位于秦岭岩群中的岩湾岩体,王洪亮等(2009)获得其含石榴子石二长花岗岩的形成年龄为(414±1.9)Ma<sup>[31]</sup>,陈隽璐等(2008)获得岩湾蛇绿混杂岩中玄武岩锆石SHRIMP U-Pb年龄为(483±13)Ma<sup>[32]</sup>。

在北祁连地区同样出露有大量加里东期岩浆岩体,如平行展布于葫芦河群北侧的红土堡组变基性火山岩系,何世平等(2007)获得其变玄武岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(443.4±1.7)Ma<sup>[33]</sup>;在红土堡组的北侧,陈家河群变质中酸性火山岩呈带状分布于秦安—张家川—胡川—清水后川峡一带,李王晔(2008)获得其SHRIMP锆石U-Pb年龄为(447±8)Ma、(448±8)Ma<sup>[34]</sup>;草川铺花岗岩体侵位于葫芦河群中,主要岩性为花岗闪长岩、二长花岗岩,形成年龄为438 Ma<sup>[35]</sup>;侵位于陈家河群之中的黄门川花岗岩体,魏方辉等(2012)获得其LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(442.8±2.1)Ma<sup>[36]</sup>;分布于陇县王家岔、店子上,张家川回族自治县恭门、阎家店一带的王家岔石英闪长岩体,呈东西带状侵位于变质基



底陇山岩群中,陈隽璐等(2007)获得其LA-ICP-MS 锆石U-Pb 年龄为 $(454.7\pm 1.7)\text{Ma}$ <sup>[37]</sup>;裴先治等(2007)通过对阎家店闪长岩体进行LA-ICP-MS 锆石U-Pb 测年,获得其形成年龄为 $(440.2\pm 0.92)\text{Ma}$ <sup>[38]</sup>;分布于陕西省陇县东部新街掌里沟一带的新街花岗质片麻岩,何红艳等(2005)获得其原岩形成年龄为 $(447\pm 5.7)\text{Ma}$ <sup>[39]</sup>。

上述构造岩浆事件的时间和本文碎屑锆石的加里东期年龄谱之间吻合关系,表明了437~526 Ma 年龄组与加里东期商丹一天水一武山洋向北俯冲碰撞在北秦岭构造带和北祁连造山带产生的一系列岩浆事件在时代上具有较好的对应性。综合证实了西秦岭北缘构造带和北祁连造山带为研究区提供物源的可能性,并向研究区提供了大部分碎屑物质成分。

#### 4.2 新元古代年龄信息

在本文的太阳寺岩组样品中,符合新元古代年龄段的有22颗锆石(601~978 Ma),约占总体的31.43%,其峰值为814 Ma。这期碎屑锆石年龄组又可以细分为601~651 Ma、738~978 Ma 2个亚组,峰值分别为650 Ma 和818 Ma,以738~978 Ma 年龄段为主,601~651 Ma 年龄段仅有5颗锆石。受全球新元古代Rodinia 超大陆汇聚和裂解事件的影响,在秦岭造山带和祁连造山带产生了一系列新元古代构造岩浆事件。

根据前人资料显示,张维吉(1994)得到木其滩组的Rb-Sr 年龄为 $(858\pm 15)\text{Ma}$ ,裴先治(2004)得到其Sm-Nd 年龄为 $(932\pm 54)\text{Ma}$ <sup>[40]</sup>,张志国等(2011)通过对木其滩组的斜长角闪岩研究,得出其LA-ICP-MS 锆石U-Pb 年龄为 $(762.5\pm 4.6)\text{Ma}$ <sup>[41]</sup>;裴先治等(2006)获得新阳一元龙花岗质片麻岩的原岩锆石U-Pb 年龄为 $(914.7\pm 7.6)\text{Ma}$ 、 $(978.5\pm 4.8)\text{Ma}$ 、 $(935.5\pm 3.1)\text{Ma}$ <sup>[42]</sup>;陆松年等(2003)获得社棠镇郭家坪花岗质片麻岩的TIMS 锆石U-Pb 年龄为 $(953.4\pm 14)\text{Ma}$ <sup>[43]</sup>;刘会彬等获得新阳一元龙花岗质片麻岩的原岩锆石U-Pb 年龄为 $(924.2\pm 2.7)\text{Ma}$ <sup>[44]</sup>;丁仁平等(2007)获得天水市西北部新阳镇东侧的花岗质片麻岩的LA-ICP-MS 锆石U-Pb 同位素加权平均年龄为 $(938\pm 4)\text{Ma}$ ~ $(981\pm 5)\text{Ma}$ <sup>[45]</sup>;徐通等(2013)获得横现河地区张岩沟双峰式火山岩中流纹岩的LA-ICP-MS 锆石U-Pb 年龄为 $(728\pm 10)\text{Ma}$ <sup>[46]</sup>;徐学

义等(2008)对北祁连造山带东端榆中县城南兴隆群火山岩采用LA-ICP-MS 锆石U-Pb 法获得其年龄为 $(723\sim 824)\text{Ma}$ <sup>[47]</sup>;根据曾建元等(2006)对北祁连牛心山片麻状花岗岩和雷公山片麻状石英闪长岩的研究,其原岩形成年龄分别为 $(776\pm 10)\text{Ma}$  和 $(774\pm 23)\text{Ma}$ ,并认为北祁连地区在新元古代存在一期重要的岩浆活动<sup>[48]</sup>。

参照前人研究成果,601~651 Ma 年龄段在区内基本无对应岩浆事件信息,738~978 Ma 年龄段与上述西秦岭北缘构造带和北祁连造山带的新元古代构造岩浆事件在时间上较好地对应,证明西秦岭北缘构造带和北祁连造山带是舒家坝地区太阳寺岩组的重要物源区,并且提供了部分碎屑物质成分。

#### 4.3 中元古代年龄信息

在本文太阳寺岩组的样品中,符合中元古代年龄段的有6颗锆石(1032~1245)Ma,约占总体的12.86%,其峰值为1092 Ma。王洪亮等(2007)获得北祁连造山带东段马街山花岗岩LA-ICP-MS 锆石U-Pb 年龄为 $(1192\pm 38)\text{Ma}$ <sup>[49]</sup>;徐学义等(2008)在研究中祁连造山带兴隆山群时,在榆中县兴隆山区获得玄武岩中岩浆成因的锆石年龄为 $(1032\sim 1172)\text{Ma}$ <sup>[47]</sup>。从年龄谱来看,本次在研究区获得的中元古代年龄信息较少,说明在这一时期研究区周边可能很少发生构造岩浆事件,或者因为其他原因,这一时期形成火成岩体很难向研究区提供物源。综合上述年龄信息,可以推断中元古代时期的物源基本来自于北祁连造山带的物质。

#### 4.4 古元古代—新太古代年龄信息

在本次的研究样品中,符合古元古代—新太古代年龄段的有15颗锆石(1668~2546)Ma,约占总体的21.43%,该年龄组可以分为1668~2019 Ma (9颗)、2304~2546 Ma (6颗)2个年龄段,其峰值分别为1920 Ma 和2418 Ma。1668~2019 Ma 反映了西秦岭北缘构造带、北祁连造山带在这一时期的活动,2304~2546 Ma 反映的是西秦岭北缘构造带、北祁连造山带和华北板块三者结晶基底的年龄。王洪亮等(2008)在北秦岭构造带西段宝鸡地区首次识别出陕西太白岩基巩固沟变形侵入体和宝鸡岩基胡店变形侵入体,其原岩均为中细粒二长花岗岩,获得岩浆结晶年龄分为 $(1741\pm 12)\text{Ma}$  和 $(1770\pm 13)\text{Ma}$ <sup>[50]</sup>;沈其韩等(2005)在秦岭大别山地区发现前寒

武纪锆石年龄最大峰值为(2500~2550)Ma<sup>[51]</sup>;曹荣龙等(1995)和陈能松等(1996)分别在南大别山和北大别山地区报道了2775 Ma和2663 Ma的年龄,说明其结晶基底不晚于2775 Ma<sup>[52,53]</sup>;王洪亮等(2007)在测定草滩沟火山岩时获得(4079±5)Ma的古老碎屑锆石,说明北秦岭可能存在冥古宙的地壳物质<sup>[30]</sup>;裴先治等(2007)在秦祁结合部位的葫芦河群中获得了(2302~2540)Ma的碎屑锆石年龄,为新太古代末期构造岩浆作用的产物<sup>[54]</sup>;王银川等(2012)在祁连东段古元古界陇山岩群中,对其中的花岗质片麻岩测试得出其LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(1765±57)Ma<sup>[55]</sup>;何红艳等(2005)对陇山岩群进行了年代学研究,发现陇山岩群中存在1990 Ma、2350 Ma和2500 Ma 3期构造热事件,其中2500 Ma代表了结晶基底年龄<sup>[56]</sup>;高胜等(2013)认为宽坪岩群的形成应在(530±4)Ma之后,表明宽坪群形成于新元古代晚期或古生代早期<sup>①</sup>;耿元生等(2010)认为华北克拉通内部最集中的岩浆事件发生在(2490~2540) Ma,其中最古老的正片麻岩时代为2600 Ma<sup>[57]</sup>。区域资料表明,华北板块最强烈和最早的构造热事件发生在新太古代末期2500 Ma左右,并通过大量TTG花岗岩增生与侵位造成华北板块的大陆地壳增生。

结合前人已有的成果和本次在研究区所获得的年龄信息,上述年龄信息与该组年龄比较相似,这说明西秦岭北缘构造带、北祁连造山带以及二者结晶基底都可能为舒家坝地区太阳寺岩组提供物源,部分物源也可能来自于华北板块变质基底。

## 5 讨 论

本次研究所测锆石的Th/U比值均在0.28~1.75,从阴极发光照片可以看出多数锆石具有明显的岩浆环带特征,说明舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石基本为岩浆成因锆石。由此可以推断这些锆石的来源和周边地区的构造岩浆事件有密切联系。研究区所处位置为西秦岭北缘构造带与北祁连造山带的结合部位,综合分析研究区以及周边区

域地质特征,以及本次研究所获得的数据和研究区已有资料的对比,推断西秦岭北缘构造带和祁连山构造带都存在为舒家坝地区太阳寺岩组提供物源的可能性。区域地质资料显示,在早古生代西秦岭北缘古洋陆构造格局经历了从洋盆形成到洋壳俯冲消减直至陆-陆碰撞造山的板块构造演化过程,祁连区于奥陶世一早中泥盆世俯冲碰撞造山、隆升成为优先蚀源区,二者都向舒家坝地区太阳寺岩组的沉积提供物源,北祁连造山带可能为更重要的物源区,此外,太阳寺岩组的部分物源还可能来自于华北板块基底。

1978年,甘肃省地质局第七地质队二分队曾在舒家坝北大草坝一带岩层中采集了微古样,经西安地质矿产研究所叶晓荣等鉴定,发现含有小孢子:*Leiotriletes*(光面三缝孢),*Retusotriletes*,*Punctatisporites*(点面三缝孢),*Apiculiretusispora*,*Acanthotriletes* cf. *emphanisporites*及疑源类:*Leiopsophsphaera*(光球藻),*Lophosphaeridium*(瘤面球形藻),*Dictyotidium*(网面球形藻),*Trachysphaeridium*(粗面球形藻),*Acanthorytidodiadrodium*等。根据孢子组合面貌,其时代大致为晚志留一早泥盆世早期<sup>[58]</sup>;1989年,甘肃省地矿局第一地质队在进行1:5万甘泉寺幅、娘娘坝幅区调时,在大草坝大理岩中采得*Teridonlas* sp.(园柱牙形石属,未定种),经西安地质矿产研究所鉴定,认为时代应为晚寒武—奥陶纪<sup>②</sup>;长安大学地质调查研究院(2004)依据该套浅变质地层与李子园群或丹凤岩群以及泥盆系舒家坝群和大草滩群在地层岩石组合特征、变形变质方面的重大差异,而将其从原划地层中分别解体出来,以出露最好地段太阳寺地区命名为太阳寺岩组,并将其暂归为早古生代<sup>③</sup>。

研究区主要以浅灰色—灰色中薄层—中厚层变质石英(砂)岩、石英片岩为主,岩石变形强烈,发育强烈片理甚至糜棱岩化,内部可见发育有紧闭同斜褶皱构造甚至无根钩状褶皱。其南侧为中泥盆统舒家坝群,岩性主要为泥岩和粉砂岩,北侧上泥盆统大草滩群,岩性主要为细砂岩、含砾细砂岩。说

①高胜,陈丹玲,孙勇,等.天水东盆地区宽坪岩群锆石U-Pb年代学和Lu-Hf同位素研究[C].全国岩石学与地球动力学研讨会.2013.

②甘肃省地质矿产局第一地质队.1:5万甘泉寺幅、娘娘坝幅区域地质调查报告.1991.

③长安大学地质调查研究院.1:25万天水幅区域地质调查报告.2004.

明太阳寺岩组沉积时间早于中泥盆统舒家坝群和上泥盆统大草滩群。所测样品(DCB01)中碎屑锆石最小一组年龄是(437±4)Ma, 综上推断舒家坝地区太阳寺岩组形成时代主体为志留纪。

## 6 结 论

(1)太阳寺岩组的碎屑锆石U-Pb同位素年龄明显可分为4组:437~526 Ma, 峰值为458 Ma; 601~978 Ma, 峰值为814 Ma, 细分为601~651 Ma、738~978 Ma 2个亚组, 峰值分别为650 Ma和818 Ma; 1032~1245 Ma, 峰值为1092 Ma; 1668~2546 Ma, 峰值为1920 Ma, 细分为1668~2019 Ma、2304~2546 Ma 2个亚组, 峰值分别为1920 Ma和2418 Ma。

(2)上述碎屑锆石年龄信息表明:舒家坝地区太阳寺岩组碎屑沉积物质来源复杂, 具有明显的多元性, 有西秦岭北缘构造带、北祁连造山带和华北基板块3大物源区。其中西秦岭北缘构造带和北祁连造山带为研究区提供了大部分物质来源, 北祁连造山带是二者之中更重要的物源区。

(3)舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石U-Pb同位素年龄的最小年龄为(437±4)Ma, 结合研究区周边地层的地质特征及形成时代, 可确定舒家坝地区太阳寺岩组形成时代的主体为志留纪。

**致谢:** 锆石U-Pb定年工作得到西北大学大陆动力学国家重点实验室柳小明博士、第五春荣博士和袁洪林教授的大力支持和帮助; 野外地质工作和室内资料整理还得到陈有忻博士、徐通博士以及杨杰、胡楠等硕士的帮助; 审稿专家和编辑提出了很好的修改意见, 在此一并衷心致谢。

## 参考文献(References):

- [1] 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 中国西部盆山系统的耦合关系及其动力学模式[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 177-186.  
Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, et al. Coupling relationships of sedimentary basin-orogenic belt systems and their dynamic models in west China[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2): 177-186(in Chinese with English abstract).
- [2] 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[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 393-404.  
Zhai Guangming, Song Jianguo, Jin Jiuqiang. The Formation of Plate Tectonic Evolution and Petroleum Basin and Evaluation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 393-404(in Chinese).
- [3] Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone

composition[J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(12): 2164-2182.

- [4] Dickinson W R, Valloni R J. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting[J]. Geol. Soc. Amer. Bull, 1983, 94(2): 222-235.
- [5] 闫义, 林舸, 李自安. 利用锆石形态、成分组成及年龄分析进行沉积物源区示踪的综合研究[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(2): 184-190.  
Yan Yi, Lin Ge, Li Zi'an. Provenance tracing of sediments by means of synthetic study of shape, composition and chronology of zircon[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27(2): 184-190(in Chinese with English abstract).
- [6] 张宗清, 刘敦一, 宋彪, 等. 秦岭造山带中部存在太古宙岩块——陕西省商南县湘河地区楼房沟斜长角闪岩—浅粒岩锆石SHRIMP U-Pb年龄及其意义[J]. 中国地质, 2005, 32(4): 579-587.  
Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Song Biao, et al. An Archean block in the Central Qinling orogenic belt: zircon SHRIMP U-Pb ages of the Loufanggou amphibolite-leucogranulite (leptite) in the Xianghe area Sannan, Shaanxi, and their implications[J]. Geology in China, 2005, 32(4): 579-587(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 854-865.  
Chen Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 854-865(in Chinese with English abstract).
- [8] 张国伟, 郭安林, 姚安平, 等. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结[J]. 地学前缘, 2004, 11, (3): 23-32.  
Zhang Guowei, Guo Anlin, Yao Anping, et al. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11, (3): 23-32(in Chinese with English abstract).
- [9] 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针U-Pb年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 2003, 48(14): 1511-1520.  
Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. Analysis of zircon U-Pb age of laser probe Cenozoic intrusions in northeastern China and determination of rare earth elements[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(14): 1511-1520(in Chinese).
- [10] 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[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2004, 28(3): 353-370.
- [11] Cherniak D J, Watson E B. Pb diffusion in zircon[J]. Chemical Geology, 2000, 172: 5-24.
- [12] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.  
Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16): 1589-1604(in Chinese).

- [13] Cawood P A, Nemchin A A. Provenance record of a rift basin: U/Pb ages of detrital zircons from the Perth Basin, Western Australia[J]. *Sedimentary Geology*, 2000, 134: 209–234.
- [14] Cawood P A, Nemchin A A. Paleogeographic development of the east Laurentian margin: Constraints from U–Pb dating of detrital zircons in the Newfoundland Appalachians[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2001, 113: 1234–1246.
- [15] Cawood P A, Nemchin A A, Smith M, et al. Source of the Dalradian Supergroup constrained by U–Pb dating of detrital zircon and implications for the East Laurentian margin[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 2003, 160: 231–246.
- [16] Cawood P A, Nemchin A A, Strachan R A, et al. Laurentian provenance and an intracratonic setting for the Moine Supergroup, Scotland, constrained by detrital zircons from the Loch Eil and Glen Urquhart successions[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 2004, 161: 861–874.
- [17] Bruguier O, Lancelot J R, Malavielle J. U–Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan–Ganze flysch (Central China): Provenance and tectonic correlations[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, 161: 217–231.
- [18] Wysoczanski R J, Gibson G M, Ireland T R. Detrital zircon age patterns and provenance in Late Paleozoic Early Mesozoic New Zealand terranes and development of the Pale Pacific Gondwana margin[J]. *Geology*, 1997, 25: 937–942.
- [19] Hoskin P W O. Rare earth element chemistry of zircon and its use as provenance indicator[J]. *Geology*, 2002, 28(8): 627–630.
- [20] Belousova E A, Griffin W L, O'Rilly S Y. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contrib. Mineral Petrol.*, 2002, 143: 602–622.
- [21] 王婧, 张宏飞, 徐旺春, 等. 西秦岭党川地区花岗岩的成因及其构造意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2008, 33(4): 475–485.  
Wang Jing, Zhang Hongfei, Xu Wangchun, et al. Petrogenesis of Granites from Dangchuan area in west Qinling orogenic belt and its tectonic implication[J]. *Earth Science——Journal of China University of Geosciences*, 2008, 33(4): 475–485(in Chinese with English abstract).
- [22] 裴先治, 丁仁平, 张国伟, 等. 西秦岭天水地区百花基性岩浆杂岩 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 年龄及地球化学特征[J]. *中国科学(D辑)*, 2007, 37(增刊): 224–234.  
Pei Xianzhi, Ding Sapling, Zhang Guowei, et al. Zircon U–Pb ages of the Baihua basic igneous complex in Tianshui area, West Qinling, and their geochemical characteristics[J]. *Science in China (Series D)*, 2007, 37(Supp.): 224–234(in Chinese with English abstract).
- [23] 高景民. 西秦岭北缘天水地区北秦岭构造带的物质组成、构造特征及构造演化[D]. 长安大学硕士学位论文, 2013: 1–126.  
Gao Jingmin. The Material Composition, Structure and Tectonic Evolution of the North Qinling Belt in North Margin of the West Qinling, Tianshui, Gansu Province[D]. Dissertation of Master Degree of Chang'an University, 2013: 1–126(in Chinese with English abstract).
- [24] 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–ICP–MS 定年及其地质意义[J]. *现代地质*, 2006, 20(4): 536–544.  
Wang Hongliang, He Shiping, Chen Junlu, et al. LA–ICP–MS dating of Zircon U–Pb and tectonic significance of Honghuapu subduction–related intrusions in the west segment of northern Qinling Mountains[J]. *Geoscience*, 2006, 20(4): 536–544(in Chinese with English abstract).
- [25] 陈隽璐, 徐学义, 王洪亮, 等. 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[J]. *现代地质*, 2008, 22(1): 46–51.  
Chen Junlu, Xu Xueyi, Wang Hongliang, et al. LA–ICP MS Zircon U–Pb dating of Tangzang Quartz–diorite pluton in the west segment of north Qinling Mountains and its tectonic significance[J]. *Geoscience*, 2008, 22(1): 46–51(in Chinese with English abstract).
- [26] 杨钊, 董云鹏, 柳小明, 等. 西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩锆石 LA–ICP–MS U–Pb 定年[J]. *地质通报*, 2006, 25(11): 1321–1325.  
Yang Zhao, Dong Yunpeng, Liu Xiaoming, et al. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating of gabbro in the Guanzizhen ophiolite, Tianshui, West Qinling[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(11): 1321–1325(in Chinese with English abstract).
- [27] 裴先治, 丁仁平, 李佐臣, 等. 西秦岭北缘关子镇蛇绿岩的形成时代: 来自辉长岩中 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 年龄的证据[J]. *地质学报*, 2007, 81(11): 1551–1561.  
Pei Xianzhi, Ding Sapling, Li Zuochen, et al. LA–ICP–MS Zircon U–Pb dating of the gabbro from the Guanzizhen ophiolite in the northern margin of the Western Qinling and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(11): 1551–1561(in Chinese with English abstract).
- [28] 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区岛弧型基性岩浆杂岩的地球化学特征及形成时代[J]. *中国地质*, 2005, 32(4): 529–540.  
Pei Xianzhi, Li Zuochen, Di Sapling, et al. Geochemical characteristics and zircon U–Pb ages of island–arc basic igneous complexes in the Tianshui area, West Qinling, 2005, 32(4): 529–540(in Chinese with English abstract).
- [29] 李王晔, 李曙光, 裴先治, 等. 西秦岭关子镇蛇绿混杂岩的地球化学和锆石 SHRIMP U–Pb 年龄[J]. *岩石学报*, 2007, 23(11): 2836–2844.  
Li Wangye, Li Shuguang, Pei Xianzhi, et al. Geochemistry and zircon SHRIMP U–Pb ages of the Guanzizhen ophiolite complex, the western Qinling orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(11): 2836–2844(in Chinese with English abstract).
- [30] 王洪亮, 陈亮, 孙勇, 等. 北秦岭西段奥陶纪火山岩中发现近 4.1 Ga 的捕虏锆石[J]. *科学通报*, 2007, 52(14): 1685–1693.

- Wang Hongliang, Chen Liang, Sunyong, et al. The zircon xenocrysts aged 4.1 Ga of the Ordovician igneous in the west segment of Northern Qinling[J]. Chinese Science Bulletin, 2007a, 52(14): 1685-1693(in Chinese).
- [31] 王洪亮, 徐学义, 陈隽璐, 等. 北秦岭西段岩湾加里东期碰撞型侵入体形成时代及地球化学特征[J]. 地质学报, 2009, 83(3): 354-362.
- Wang Hongliang, Xu Xueyi, Chen Junlu, et al. Dating and geochemical characteristics of the Yanwan Paleozoic collisional intrusion in the west segment of Northern Qinling Mts[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(3): 354-362(in Chinese with English abstract).
- [32] 陈隽璐, 徐学义, 王宗起, 等. 西秦岭太白地区岩湾-鸚鵡咀蛇绿混杂岩的地质特征及形成时代[J]. 地质通报, 2008, 27(4): 500-508.
- Chen Junlu, Xu Xueyi, Wang Zongqi, et al. Geological features and SHRIMP U-Pb zircon age of the Yanwan-Yinggezui ophiolitic mélange in the Taibai area, West Qinling[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(4): 500-508(in Chinese with English abstract).
- [33] 何世平, 王洪亮, 徐学义, 等. 北祁连东段红土堡基性火山岩锆石LA-ICP-MS U-Pb年代学及其地质意义[J]. 地球科学进展, 2007, 20(2): 143-151.
- He Shiping, Wang Hongliang, Xu Xueyi, et al. A LA-ICP-MS U-Pb chronological study of zircons from Hongtubu basic volcanic rocks and its geological significance in the east segment of North Qilian Orogenic Belt[J]. Advances in Earth Science, 2007, 20(2): 143-151(in Chinese with English abstract).
- [34] 李王晔. 西秦岭-东昆仑构造带蛇绿岩及岛弧型岩浆岩的年代学和地球化学特征——对特提斯洋演化的制约[D]. 中国科学技术大学博士学位论文, 2008: 1-154.
- Li Wangye. Geochronology and Geochemistry of the Ophiolites and Island-arc-type Igneous Rocks in the Western Qinling Orogen and the Eastern Kunlun Orogen: Implication for the Evolution of the Tethyan Ocean[D]. Dissertation for Doctor's Degree of University of Science and Technology of China, 2008: 1-154(in Chinese with English abstract).
- [35] Zhang H F, Zhang B R, Harris N, et al. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of intrusive rocks from the Longshan-Tianshui area in the southeast corner of the Qilian orogenic belts, China: Constraints on petrogenesis and tectonic affinity[J]. Journal of Asian Earth Science, 2006, 27: 751-764.
- [36] 魏方辉, 裴先治, 李瑞保, 等. 甘肃天水地区早古生代黄门川花岗岩体的形成时代及构造意义[J]. 地质通报, 2012, 31(9): 1496-1509.
- Wei Fanghui, Pei Xianzhi, Li Ruibao, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Early Paleozoic Huangmenchuan granodiorite in Tianshui area of Gansu Province and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(9): 1496-1509(in Chinese with English abstract).
- [37] 陈隽璐, 李好斌, 王洪亮, 等. 秦祁结合部位王家岔石英闪长岩体锆石LA-ICPMS定年及地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(3): 423-431.
- Chen Junlu, Li Haobin, Wang Hongliang, et al. LA-ICPMS zircon U-Pb dating of a quartz diorite pluton from Wangjiacha, the junction area between the Qinling and Qilian orogenic belts and its tectonic significance[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(3): 423-431(in Chinese with English abstract).
- [38] 裴先治, 孙仁奇, 丁仁平, 等. 陇东地区阎家店闪长岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb的年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(1): 8-16.
- Pei Xianzhi, Sun Renqi, Ding Saping, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Yanjiadian diorite in the eastern Qilian Mountains and its geological significance[J]. 2007, 34(1): 8-16(in Chinese with English abstract).
- [39] 何红艳, 孙勇, 陈亮, 等. 陇县地区新街片麻岩套锆石年龄及其地质意义[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2005, 21(1): 125-134.
- He Hongyan, Sun Yong, Chen Liang, et al. Zircon chronology of Xinjie complex in Longxian County and its geological significance[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 2005, 21(1): 125-134(in Chinese with English abstract).
- [40] 张维吉, 孟宪恂, 胡建民, 等. 祁连-北秦岭构造带结合部位特征与造山过程[M]. 西安: 西北大学出版社, 1994: 1-283.
- Zhang Weiji, Meng Xianxun, Hu Jianmin, et al. The Characteristic and Orogenetic Process in the Binding Site of Qilian and North Qinling Orogen[M]. Xi'an: Northwest University Press, 1994: 1-283(in Chinese).
- [41] 张志国, 陈隽璐, 徐学义, 等. 木其滩岩组的形成时代、地球化学特征: 对北秦岭构造演化制约[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 757-769.
- Zhang Zhiguo, Chen Junlu, Xu Xueyi, et al. Geochronology and geochemistry of the Neo-Proterozoic amphibolites in the Muqitan Formation: Implications for the tectonic evolution of the North Qinling Orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 757-769 (in Chinese with English abstract).
- [42] 裴先治, 刘会彬, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区李子园群变质火山岩的地球化学特征及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 32(2): 193-205.
- Pei Xianzhi, Liu Huibin, Ding Saping, et al. Geochemical characteristics and tectonic significance of the meta-volcanic rocks in the Liziyuan Group from Tianshui area, Western Qinling orogen[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2006, 32(2): 193-205(in Chinese with English abstract).
- [43] 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 等. 秦岭中-新元古代地质演化及对RODINIA超级大陆事件的影响[M]. 北京: 北京出版社, 2003:

- 1-194.  
Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong, et al. Late Mesoproterozoic- Early Neoproterozoic Evolution and the Disturbance to RODINIA Super Continent Events[M]. Beijing: Beijing Press, 2003: 1-194(in Chinese).
- [44] 刘会彬, 裴先治, 丁仁平, 等. 西秦岭天水市元龙地区新元古代花岗质片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2006, 25(11): 1316-1320.  
Liu Huibin, Pei Xianzhi, Ding Sapin, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Neoproterozoic granitic gneisses in the Yuanlong area, Tianshui City, West Qinling[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(11): 1316-1320(in Chinese with English abstract).
- [45] 丁仁平, 裴先治, 刘会彬, 等. 西秦岭天水地区新元古代花岗质片麻岩的锆石 LA-ICP-MS 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1217-1225.  
Ding Sapin, Pei Xianzhi, Liu Huibin, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Xinyang Neoproterozoic granitoid gneisses in the Tianshui area, western Qinling, and its geological significance[J]. Geology in China, 2006, 33(6): 1217-1225(in Chinese with English abstract).
- [46] 徐通, 裴先治, 李瑞保, 等. 勉略构造带横现河地区张岩沟双峰式火山岩的地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 中国地质, 2013, 40(6): 1777-1792.  
Xu Tong, Pei Xianzhi, Li Ruibao, et al. Geochemical characteristics, LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and tectonic significance of Zhangyangou bimodal volcanic rocks in Hengxianhe area, Mian-Lue tectonic zone[J]. Geology in China, 2013, 40(6): 1777-1792(in Chinese with English abstract).
- [47] 徐学义, 王洪亮, 陈隽璐, 等. 中祁连东段兴隆山群基性火山岩锆石 U-Pb 定年及岩石成因研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 827-840.  
Xu Xueyi, Wang Hongliang, Chen Junlu, et al. Zircon U-Pb dating and petrogenesis of Xinglongshan Group basic volcanic rocks at eastern segment of Middle Qilian Mts[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4): 827-840(in Chinese with English abstract).
- [48] 曾建元, 杨宏仪, 万渝生, 等. 北祁连山变质杂岩中新元古代(~775 Ma) 岩浆活动记录的发现: 来自 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年的证据[J]. 科学通报, 2006, 51(5): 575-581.  
Zeng Jianyuan, Yang Hongyi, Wan Yusheng, et al. North Qilian Mountains metamorphic rock in the Neoproterozoic (~775 Ma) magmatism records found: from the SHRIMP zircon U-Pb dating evidence[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(5): 575-581(in Chinese).
- [49] 王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 等. 甘肃马衔山花岗岩杂岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J]. 地质学报, 2007, 81(1): 72-78.  
Wang Hongliang, He Shiping, Chen Junlu, et al. LA-ICP-MS dating of zircon U-Pb and its tectonic significance of Maxianshan granitoid intrusive complex, Gansu Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(1): 72-78(in Chinese with English abstract).
- [50] 王洪亮, 肖邵文, 徐学义, 等. 北秦岭西段吕梁期构造岩浆事件的年代学及其构造意义[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1728-1738.  
Wang Hongliang, Xiao Shaowen, Xu Xueyi, et al. Geochronology and significance of the early Mesoproterozoic tectono-magmatic event in the western segment of the North Qinling Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(10): 1728-1738(in Chinese with English abstract).
- [51] 沈其韩, 耿元生, 宋彪, 等. 华北和扬子陆块及秦岭—大别构造带地表和深部太古宙基底的新信息[J]. 地质学报, 2005, 79(5): 616-627.  
Shen Qihan, Geng Yuansheng, Song Biao, et al. New information from the surface outcrops and deep crust of Archean rocks of the North China and Yangtze Blocks, and Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(5): 616-627(in Chinese with English abstract).
- [52] 曹荣龙, 朱寿华. 大别山含柯石石榴辉岩区——一个晚太古代的超高压变质带[J]. 地质学报, 1995, 69(3): 232-242.  
Cao Ronglong, Zhu Shouhua. The Dabieshan coesite-bearing eclogite terrain—A Neoproterozoic ultra-high pressure metamorphic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 69(3): 232-242(in Chinese with English abstract).
- [53] 陈能松, 游振东, 索书田, 等. 大别山区中酸性麻粒岩和变形花岗岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. 科学通报, 1996, 41(11): 1009-1012.  
Chen Nengsong, You Zhendong, Suo Shutian, et al. Zircon U-Pb age of Acid granulite and Deformation granite, Dabieshan area[J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(11): 1009-1012(in Chinese).
- [54] 裴先治, 孟勇, 丁仁平, 等. 祁连—秦岭构造带交接部位 25 亿年碎屑锆石的发现及其地质意义[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(2): 111-116.  
Pei Xianzhi, Meng Yong, Ding Sapin, et al. Identification of 2.5 Ga detrital zircons from Conjoint area between Qilian-Qinling orogenic belts and its geological implication[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2007, 29(2): 111-116(in Chinese with English abstract).
- [55] 王银川, 裴先治, 李佐臣, 等. 祁连构造带东端张家川地区长宁驿中元古代花岗质片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地质通报, 2012, 31(10): 1576-1587.  
Wang Yinchuan, Pei Xianzhi, Li Zuochen, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Mesoproterozoic granitic gneisses at Changningyi of Zhangjiachuan area on the eastern edge of the Qilian Orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(10): 1576-1587(in Chinese with English abstract).
- [56] 何红艳, 孙勇, 陈亮, 等. 陇山杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2003, 21(1): 125-134.  
He Hongyan, Sun Yong, Chen Liang, et al. Zircon U-Pb chronology of Longshan complex by LA-ICP-MS and its

- geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(1): 125–134(in Chinese with English abstract).
- [57] 耿元生, 沈其韩, 任留东. 华北克拉通晚太古代末—古元古代初的岩浆事件及构造热体系[J]. *岩石学报*, 2010, 26(7): 1945–1966.
- Geng Yuansheng, Shen Qihan, Ren Liudong, et al. Late Neoproterozoic to Early Paleoproterozoic magmatic events and tectonothermal systems in the North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(7): 1945–1966(in Chinese with English abstract).
- [58] 甘肃省地矿局. 甘肃省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1–692.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province. *Regional Geology of Gansu Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 1–692 (in Chinese).

## U–Pb ages of detrital zircons from Taiyangsi Rock Group in Shujiba area of West Qinling Mountains and their geological significance

CHEN Wei–nan<sup>1</sup>, PEI Xian–zhi<sup>1,2</sup>, LIU Cheng–jun<sup>1</sup>, LI Rui–bao<sup>1</sup>, LI Zuo–chen<sup>1</sup>, WEI Bo<sup>1</sup>,  
XU Xiao–chun<sup>1</sup>, LIU Tu–jie<sup>1</sup>, WANG Yuan–yuan<sup>1</sup>, REN Hou–zhou<sup>1</sup>

(1. *College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*

2. *Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)*

**Abstract:** With clastic rocks of Taiyangsi Rock Group in Shujiaba area of West Qinling Mountains as the research object, the authors used the LA–ICP–MS zircon U–Pb isotopic geochronologic methods to study the formation age and material source of Taiyangsi Rock Group in Shujiaba area. The results show that the lower limit of the deposition of Taiyangsi Rock Group is (437±4) Ma, suggesting that it was formed during the Silurian, as also evidenced by the previous research on the surrounding geological setting. Detrital zircon age spectra of Taiyangsi Rock Group in Shujiaba area can be clearly divided into four age segments: (1) 437–526 Ma, with the peak value of 458 Ma, characterized by relatively concentrated ages and a strong peak, indicating that the source might have come from the northern margin of West Qinling tectonic zone and North Qilian orogenic belt; (2) 601–978 Ma, which can be divided into two subgroups of 601–651 Ma and 738–978 Ma, with the peak values of 650 Ma and 814 Ma, assuming concentrated ages. During this period, due to the influence of the aggregation and breakup of the Neoproterozoic super–continent Rodinia, a series of orogenic magmatic activities occurred in the Qinling and Qilian orogenic belts, which resulted in a possibility for providing source materials for the area; (3) 1032–1245 Ma, with the peak value of 1092 Ma, suggesting that the material source was probably mainly derived from the North Qilian orogenic belt; (4) 1668–2546 Ma, which can be divided into two subgroups of 1668–2019 Ma and 2304–2546 Ma, with the peak values being 1920 Ma and 2418 Ma respectively, implying that the crystalline basement of both the northern margin of West Qinling tectonic zone and the North Qilian tectonic belt and the crystalline basement of the North China plate were present in the study area to provide the possibility of provenance. A comprehensive analysis shows that the material sources of Taiyangsi Rock Group is much more complicated and characterized by obvious diversity. Its material sources might have come from the northern margin of western Qinling orogenic belt, Qilian orogenic belt and the basement of North China plate. The Qilian orogenic belt and the northern margin of western Qinling orogenic belt made significant source contribution to the sedimentation of Taiyangsi Rock Group, with the Qilian orogenic belt playing the more dominant role.

**Key words:** Taiyangsi Rock Group; LA–ICP–MS zircon U–Pb age; material source; northern margin of West Qinling

**About the first author:** CHEN Wei–nan, male, born in 1990, master candidate, majors in structural geology; E–mail: wnchen1990@126.com.

**About the corresponding author:** PEI Xian–zhi, male, born in 1963, professor; E–mail: peixzh@263.net.