

共和盆地西缘柔起岗地区变质岩系锆石 U-Pb 年龄

——原岩最老沉积时代及物源研究

李瑞保^{1,2)}, 裴先治¹⁾, 杨栓海²⁾, 王伟峰²⁾, 魏立勇²⁾, 孙雨³⁾, 李飞²⁾,

刘满年²⁾, 赵长存²⁾, 李佐臣¹⁾, 杨高学¹⁾, 陈力子²⁾

1) 长安大学国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 西安, 710054

2) 中国人民武装警察黄金部队第五支队, 西安, 710000

3) 核工业北京地质研究院遥感信息与图像分析技术国家重点实验室, 北京, 100029

内容提要:共和盆地西缘原划古元古代金水口岩群中发育一套低级变质的灰色绢云石英片岩、绢云石英岩及黑云石英片岩组合, 该套变质岩系原岩沉积时代及变质基底构造属性存在争议。本文对采自青海省兴海县柔起岗地区的两件片岩样品开展了系统的岩石学及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究, 对其原岩沉积时代、沉积物源及基底构造亲缘性进行了探讨。结果表明, 该套片岩两件样品的碎屑锆石 U-Pb 年龄谱可明显分为新元古代和古元古代两个主年龄谱以及中元古代的两个次年龄谱, 新元古代主年龄谱分别为 688~908 Ma 和 711~841 Ma, 峰值年龄为 788 Ma 和 780 Ma, 古元古代主年龄谱分别为 1871~2174 Ma 和 1832~2194 Ma, 峰值年龄为 2140 Ma 和 2072 Ma, 中元古代两个次年龄谱分别为 1520~1638 Ma 和 1271~1276 Ma, 峰值年龄为 1635 Ma 和 1275 Ma。片岩最小碎屑锆石年龄值 688 Ma 限定了其原岩的最老沉积时代。塔洞片岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱特征表明其碎屑物质来源较为复杂, 物源主体来自周邻造山带的西秦岭、东昆仑和柴达木盆地北缘构造带的前寒武纪块体, 扬子板块对其沉积物源亦有部分贡献, 而华北板块没有对其提供沉积物源。更为重要的是, 该套片岩锆石 U-Pb 年龄谱突出显示新元古代早期的构造-岩浆-热事件年龄信息, 而没有华北板块典型的 1850 Ma 和 2500 Ma 左右的特征, 结合区域资料认为西秦岭源区基底与东昆仑地块、柴达木盆地北缘、祁连地块等一样表现出扬子板块的构造亲缘性, 源区基底固结时代为新元古代早期。

关键词:西秦岭; 碎屑锆石; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 沉积物源; 变质基底

利用沉积物碎屑锆石同位素年代学进行物源示踪及哑地层沉积年龄限定具有其独特的优势, 可以从沉积物中获取源区年龄组成的信息, 更加全面地了解源区地壳生长、构造演化等内容 (McLennan et al., 2001; Nutman, 2001; Fedo et al., 2003; Weislogel et al., 2006; Zhang Shaobing et al., 2006; Dong Yunpeng et al., 2013), 尤其对于缺少化石的前寒武纪地层来说更可以获得满意的研究结果 (Nelson, 2001)。对于副变质岩或浅变质碎屑岩系, 同样可以利用碎屑锆石年龄谱中最小 U-Pb 年龄来限定原岩的形成时代及探讨其源区特征, 目前已有国内外学者尝试利用该方法对副变质岩进行了大量的实践, 并取得了较好的研究效果 (Nelson,

2001; Li Qiugen et al., 2009; Li Dapeng et al., 2013; Fan Jianjun et al., 2014; Li Xiaobing et al., 2014; Chen Ming et al., 2014)。

研究区变质岩系零星出露于中央造山系西段共和盆地西缘。该套变质岩系岩石组合较为复杂, 主体为一套片岩、片麻岩、斜长角闪岩及大理岩组合。目前有关该套变质岩系, 尤其是其中的“片岩组合”时代一直没有得到很好的约束。最早青海省地质矿产局 (1993) 1:5 万沙乃亥幅区域地质调查将其中的浅变质片岩时代归属于早二叠世^①。青海省地质调查院 (2001) 完成的新一轮 1:25 万兴海幅区域地质调查依据造山带非史密斯地层的思路将其中的片岩组合称为“雪穷糜棱片岩岩片”, 限定其形成时代

注: 本文为国家自然科学基金项目 (编号 41472191, 41172186)、中国地质调查局地质矿产调查基金项目 (编号 1212011220660) 和中央高校基本科研业务费专项资金项目 (编号 CHD2011TD020, 2013G1271091, 2013G1271092) 联合资助成果。

收稿日期: 2014-12-18; 改回日期: 2015-03-31; 责任编辑: 周健。

作者简介: 李瑞保, 男, 1982 年生。博士, 主要从事区域地质和构造地质学教学与研究。Email: liruibao0971@163.com; 通讯作者: 裴先治, 通讯地址: 710054, 西安市雁塔路南段 126 号; Email: peixzh@263.net。

为二叠纪,并将其中的片麻岩组合称为“沙乃亥片麻岩岩片”,时代置于古元古代,总体显示出不同时代、不同属性的岩块构造混杂的地质特征^①。Zhang Xueting et al. (2007)通过区域地层对比,将其全部归属于古元古代金水口岩群(Pt_1J),代表东昆仑及西秦岭西段最古老的造山带结晶基底岩系,亦即部分学者所称的“硬基底”(Jiang Chunfa et al., 1992)。Li Rongshe et al. (2008)则在昆仑山地地质编图时将其归属于苦海岩群(Pt_1K)。Zhang Hongfei et al. (2006)和 Chen Yuelong et al. (2009)通过对共和盆地周缘印支中晚期花岗岩及中生代碎屑岩同位素年代学研究,认为西秦岭西段与东昆仑、柴达木及欧龙布鲁克陆块具有统一的扬子型基底构造属性,均为从冈瓦纳大陆裂解后增生到北方欧亚大陆。最近,Liu Yongjiang et al. (2012)认为柴达木盆地北缘、南祁连前寒武纪基底性质与扬子板块相似,与华北板块基底完全不同。由此看来,西秦岭西段变质岩系的变质岩石组合较为复杂,其形成时代、地层归属、物源归属及基底属性等内容仍未达成共识,引起争议的重要原因之一为该套变质地层的形成时代没有直接的同位素年龄约束。

为此,本文针对西秦岭西段塔洞—柔起岗地区副变质的片岩组合(为便于描述,以下简称之为“塔洞片岩”)开展系统的岩石学及 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年代学研究,试图获得变质岩系的形成时代、源区特征,并探讨中国西部前寒武纪基底构造属性。

1 区域地质背景

研究区大地构造位置处于中央造山系西段的西秦岭与东昆仑及祁连造山带构造交接转换的结点区域(Zhang Guowei et al., 2004)(图 1a、b),也有研究者因其平面形态呈西窄东宽的楔形状插入祁连与东昆仑造山带内部,形象地称之为西秦岭楔(Yan Zhen et al., 2012; Xu Zhiqin et al., 2013)。西秦岭造山带(西段)北部以青海南山断裂为界与祁连造山带相隔,南以阿尼玛卿蛇绿混杂岩带为界与巴颜喀拉造山带相邻,西侧过鄂拉山北西向左行平移断裂则归属于东昆仑造山带和柴达木地块(图 1b)。研究区现今主导构造面貌主要形成于中国大陆印支主拼合期,并叠加有燕山期与鄂拉山构造相关的北西向构造,新生代则受青藏高原隆升向东逃逸的叠加改造终成今日之格局。研究区及邻区地层系统主要包括元古代基底岩系与晚古生代—中生代沉积盖层,早古生代地层缺失。晚古生代—中生代沉积盖

层主要包括二叠系甘家组、中下三叠统隆务河组、中三叠统古浪堤组、侏罗系羊曲组。西秦岭造山带西段还出露有多个呈面状分布的具后碰撞属性的印支晚期花岗岩体(图 1b)(Zhang Hongfei et al., 2006; Pei Xianzhi et al., 2009; Qin Jiangfeng et al., 2009),如大河坝岩体、黑马河岩体、温泉岩体、同仁岩体,然果儿岗岩体,该期构造岩浆事件与区域上金、锑等多金属成矿密切相关。

研究区元古代变质岩系出露面积较小,主要零星分布在共和盆地西缘兴海县尕玛羊曲、塔洞、柔起岗、温泉地区,基本呈北东—北东东向展布,与周围不同时代地层均呈断层接触。该套变质岩系岩石组合复杂,按照岩石组合不同可划分为片岩组合(Sch)、副片麻岩组合(gn)和正片麻岩组合(Zgn)等(图 1c)。其中,片岩组合主要为一套副变质的绢云石英片岩、绢云石英岩及黑云石英片岩,副片麻岩组合包括长英质片麻岩和富铝片麻岩,正片麻岩主要由变形变质的中酸性变质侵入体组成。本次工作重点研究的片岩组合(塔洞片岩)位于塔洞—柔起岗地区,塔洞片岩南部与二叠系甘家组上部灰岩段均呈断层接触,北部和西部均与金水口岩群片麻岩呈断层接触。塔洞片岩被晚三叠世花岗岩体侵入,并在其接触地段常常发育有角岩化现象。

2 岩石组合与变质作用

根据“塔洞片岩”岩石组合、变质矿物不同,塔洞片岩可划分为两个岩段,第一岩段主体为一套灰—浅灰色绿泥绢云石英片岩、绿泥二云石英片岩夹少量灰—灰绿色绢云千枚岩。第二岩段以黑云石英片岩、绢云石英片岩、条纹状绿泥绢云石英岩为主夹有二云石英片岩,第二岩段以黑云母(雏晶)出现为其主要划分标志。该套片岩遭受了后期强烈的右行韧性剪切作用改造,可见到较多条纹构造和旋转碎斑构造(图 2)。塔洞片岩主要变质矿物为斜长石、黑云母、石英、绢云母、白云母等。斜长石呈他形—半自形柱状、粒状晶体,发育钠长石双晶,后期有弱的绢云母化退变现象。黑云母为鳞片状晶体,为浅褐色—褐色,解理较发育,常形成团块状,断续定向排列。绢云母主要存在大多数变质岩中,单个晶体少见,多呈鳞片状集合体,定向排列构成片理。绢云母电子探针分析显示^②,其 SiO_2 、 FeO 、 MnO 、 K_2O 含量较高, Na_2O 、 Al_2O_3 含量较低,其结构式中均有较高的 Si 阳离子数,在 3.280~3.599 之间,平均值为 3.448,并以富钾贫钠为特征,K,Na 分别在 0.641~

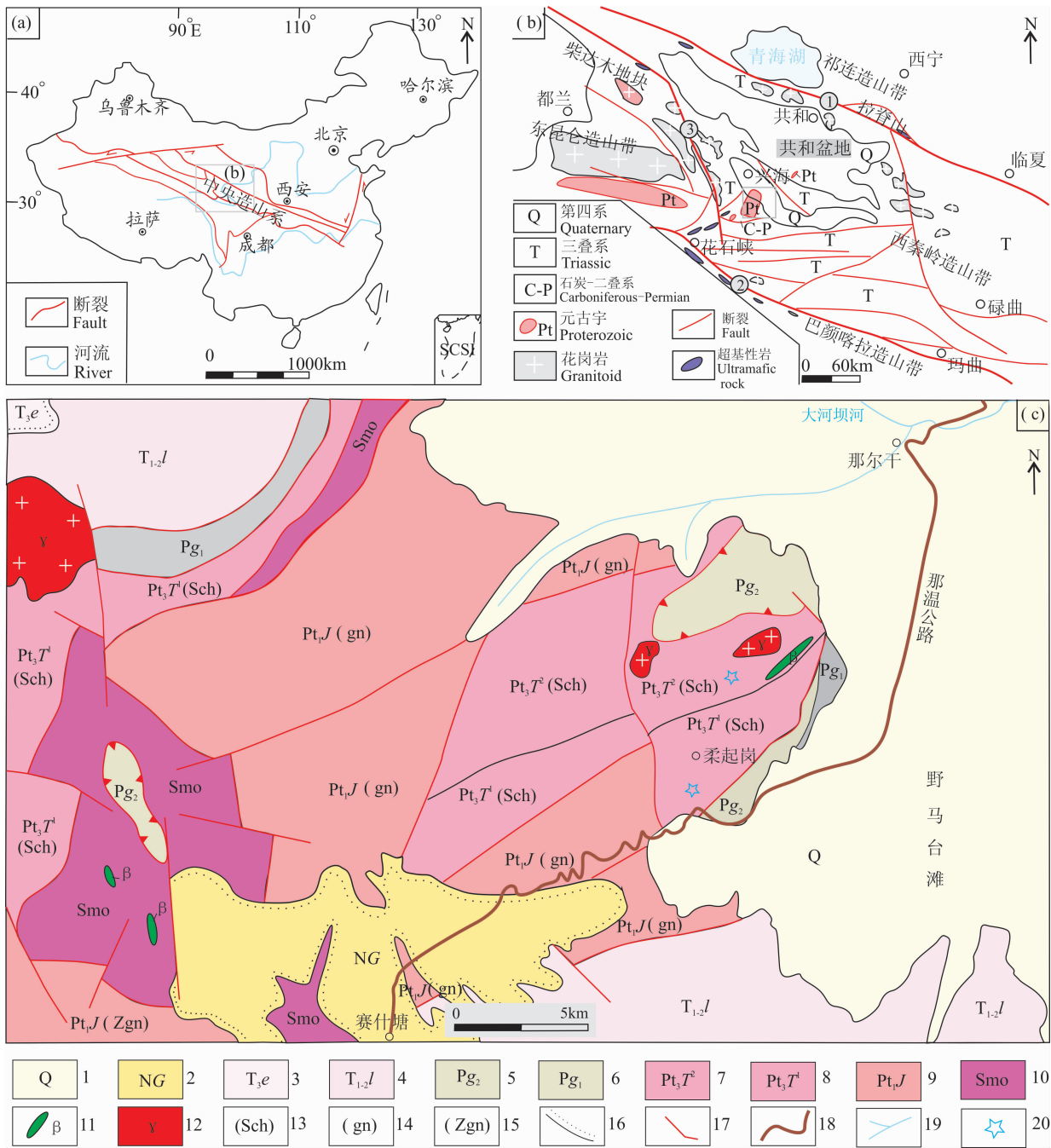


图 1 中央造山系构造格架简图(a)和秦祁昆过渡转换区域构造简图(b)及柔起岗地区地质简图(c)
(据 1:25 万兴海幅,1:5 万沙乃亥幅,1:5 万卡力岗幅编制)

Fig. 1 Tectonic framework of Central orogenic belt (a), tectonic background of Qilian-East Kunlun-West Qinling Orogeny belt (b) and simplified geological map of Rouqigang area (c) (modified from 1:250000 Xinghai data, 1:50000 Shanaihah data and 1:50000 Kaligang data)

1—第四系;2—贵德群;3—鄂拉山组;4—隆务河组;5—甘家组上段;6—甘家组下段;7—塔洞片岩第二岩段;8—塔洞片岩第一岩段;9—金水口岩群;10—蛇绿混杂岩;11—基性火山岩;12—晚三叠世花岗岩闪长岩;13—片岩组合;14—副片麻岩组合;15—正片麻岩组合;16—角度不整合;17—断层;18—县道;19—水系;20—采样位置;①—青海南山断裂;②—阿尼玛卿蛇绿混杂岩带;③—鄂拉山断裂

1—Quaternary; 2—Guide Group; 3—Elashan Formation; 4—Longwuhe Formation; 5—the upper part of Ganjia Formation; 6—the lower part of Ganjia Formation; 7—the second part of Tadong Schist; 8—the first part of Tadong Schist; 9—Jingshuikou Group; 10—ophiolite mélange rocks; 11—basic volcanic rock; 12—Late Triassic granodiorite; 13—schist association; 14—paragneisses association; 15—orthoparagneisses association; 16—angular unconformity; 17—fault; 18—road; 19—river; 20—sampling location; ①—Qinghainanshan fault; ②—Anyemaqen ophiolitic mélange belt; ③—Elashan fault

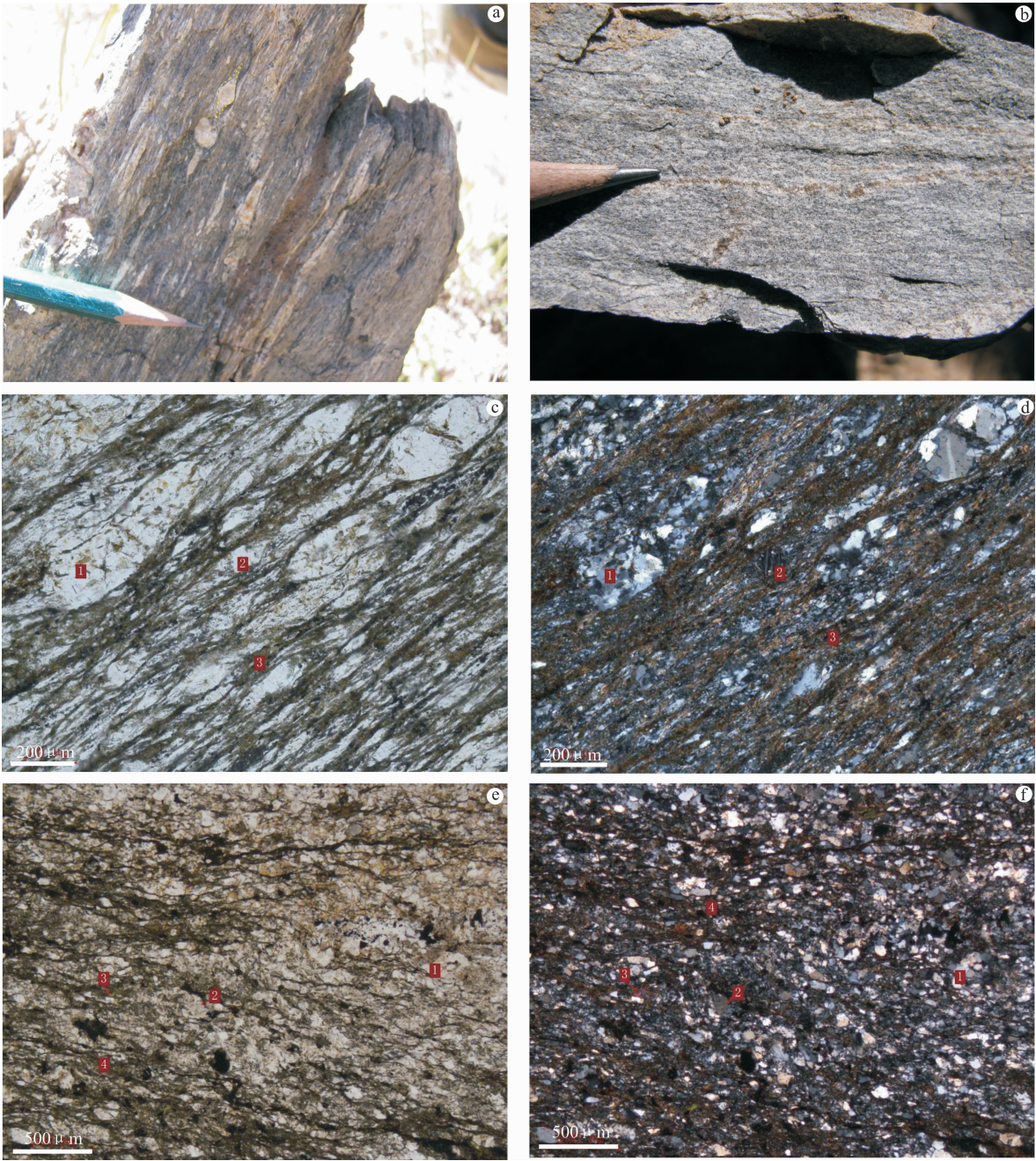


图 2 柔起岗地区塔洞片岩露头尺度和显微照片

Fig. 2 The outcrop photos and microscopic photos of Tatong schist from Rouqigang area

(a)—糜棱岩化黑云石英岩中的旋转碎斑;(b)—黑云石英岩,弱条纹构造;(c)—糜棱岩化片岩(单偏光);(d)—糜棱岩化片岩(正交偏光);(e)—二云石英片岩(单偏光);(f)—二云石英片岩(正交偏光)
(a)—Rotation porphyroblast in mylonitic biotite quartz schist; (b)—stripe structure in biotite quartz schist; (c)—mylonitic schist (plane-polarized light); (d)—mylonitic schist (cross-polarized light); (e)—two-mica quartz schist (plane-polarized light); (f)—two-mica quartz schist (cross-polarized light)

0.695,0~0.076 之间,为典型的多硅白云母。由此,塔洞片岩经历了早期低角闪岩相区域变质作用和晚期的绿片岩相退变作用,早期低角闪岩相变质矿物大部分已发生绿片岩相退变,残留的早期变质矿物组合为“黑云母+斜长石+石英”,晚期退变质

矿物组合为“绢云母+绿泥石+石英”。

3 测试方法

本次工作为了获取塔洞片岩(变质碎屑岩)的形成时代及物源特征,采用 LA-ICP-MS 法对塔洞片

岩中的碎屑锆石进行 U-Pb 同位素年龄测试。两件样品(样品编号:305-2,304-3)采自兴海县南侧的柔起岗地区,采样点地理坐标分别为 N35°23′20″,E99°58′50″和 N35°25′15″,E100°00′20″,岩性分别为绢云石英片岩和黑云母石英片岩。所采测年样品在廊坊地源矿物测试分选公司采用常规方法进行分破碎、分选,得到>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(反射光和投射光照相)显微、阴极发光(CL)显微图象研究及 LA-ICP-MS 分析。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 Elan 6100DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas200M 型激光剥蚀系统,激光器为 193 nm ArF 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,²⁹Si 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 GLITTER (4. 0 版, Macquarie 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)(Ludwig,2003)软件完成。详细的实验原理和流程及仪器参数见文献(Yuan Honglin et al. , 2004)。

4 锆石形貌及 U-Pb 年龄谱

4. 1 锆石形貌学

在双目镜透射光和反射光下,两件样品锆石均呈浅黄色。从锆石的阴极发光图像可以看出(图 3, 4),锆石多为无色透明短柱状,粒径多为 60~120 μm,个别锆石粒径达 200 μm。少部分为长柱状、等粒状、半截状及不规则状,且少部分被不同程度搬运磨圆(如 305-2-2,305-2-30,304-4-8 等样品),为圆状一次圆状,呈现出碎屑锆石的形貌特征,这部分锆石往往具有较老的年龄值。绝大多数锆石晶形完好(305-2-14,305-2-14,304-4-3 等样品),基本没有被搬运磨圆,阴极发光显示为典型的岩浆韵律环带和条带结构,且没有变质增生边。极少数锆石由于强烈的结晶作用几乎全部置换了锆石原始生长环带信息,阴极发光显示其通体呈灰白色或白色,这部分锆石往往具有中元古代或更老的年龄值。因此,从锆石形貌特征来看,塔洞片岩的原岩碎屑距蚀物区较近,且物源以岩浆成因锆石为主,变质成因锆石较少。本次工作为保证测定结果的代表性,测点尽可能覆盖外形、形态、环带结构和粒径大小不同的锆石,使得能充分反映碎屑锆石群的年龄分布特点。

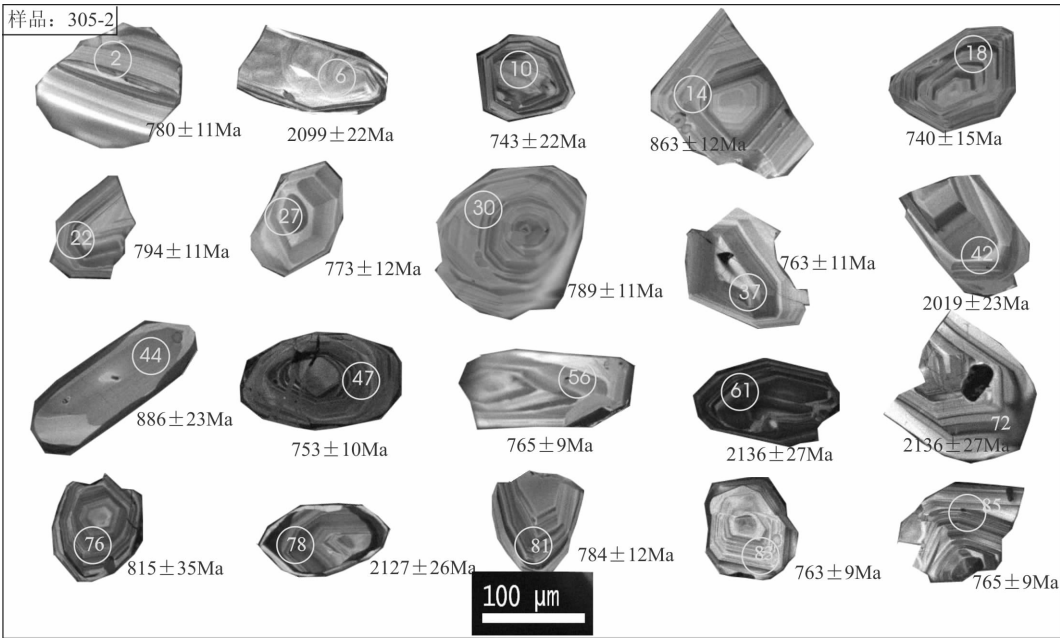


图 3 塔洞片岩第一岩段绢云石英片岩锆石阴极发光(CL)照片
Fig. 3 The zircon cathodoluminescence (CL) images of sericite-quartz schist from Tatong schist

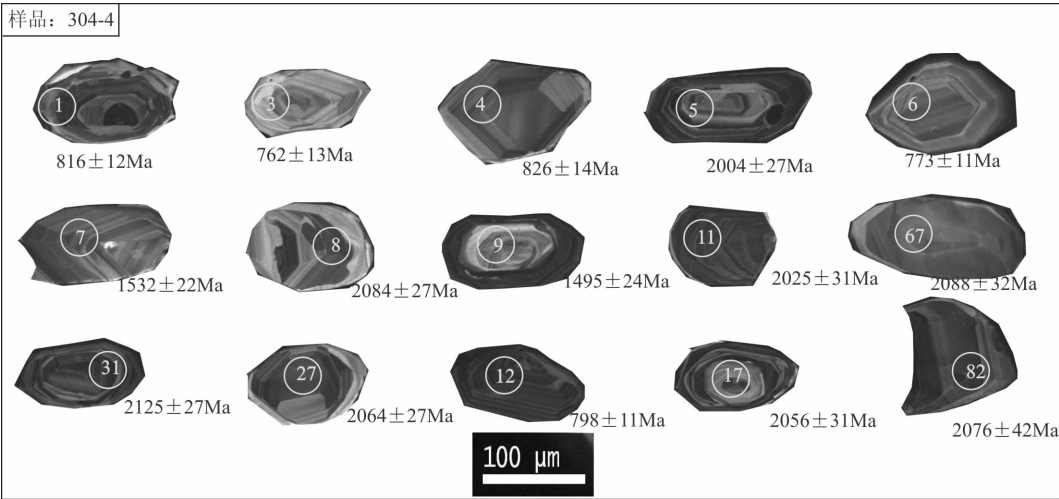


图 4 塔洞片岩第二岩段黑云母长石英片岩锆石阴极发光(CL)照片
Fig. 4 The zircon cathodoluminescence (CL) images of biotite-quartz schist from Tatong schist

4.2 锆石微量元素

对于岩浆结晶的锆石,其 Th/U 比值一般高于 0.4,而变质成因锆石的 Th/U 比值一般低于 0.1 (Belousova et al., 2002; Hoskin, 2002)。一些研究发现,快速生长的变质锆石将会含相对高的 Th/U 比值 (Vavra et al., 1999; Whitehouse et al., 2002),不彻底的变质重结晶锆石仍可残留相对高的 Th/U 比值。因此,本文主要依据锆石的内部结构、Th/U 比值并结合其他约束来解释其相应年龄的地质含义。样品 305-2 和 304-4 的 Th、U 含量和其比值差异较大。样品 305-2 的 Th 值为 $5.54 \times 10^{-6} \sim 323.80 \times 10^{-6}$, U 值为 $6.36 \times 10^{-6} \sim 441.37 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.0391~1.69(图 3,表 1)主体大于 0.4;样品 304-4 的 Th 值为 $13.49 \times 10^{-6} \sim 282.17 \times 10^{-6}$, U 值为 $22.73 \times 10^{-6} \sim 704.63 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.12~1.57

(图 5,表 1、2)。在 Th/U 和年龄协变图解上可以看出(图 5),两件样品不同年龄分组的 Th/U 值均较大,且主体均位于=0.4 线之上,表明所测锆石绝大多数为岩浆成因锆石。锆石微量元素比值可以大致判别锆石岩石成因类型及锆石结晶环境 (Belousova et al., 2002; Grimes et al., 2007),在 U/Yb-Y 图解(图 6),锆石数据全部落入大陆壳区域。在 Y-U 图解中(图 6),碎屑锆石样品主体落入中酸性岩石区域,少量锆石显示来自基性岩石,藉此表明塔洞片岩锆石主体为陆壳熔融花岗岩质岩石及少量基性岩风化剥蚀的产物。

4.3 锆石年龄谱

本文对于>1200 Ma 的样品,由于含大量放射性成因 Pb 因而采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄,对于<1200 Ma 的数据,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,采用更为可靠

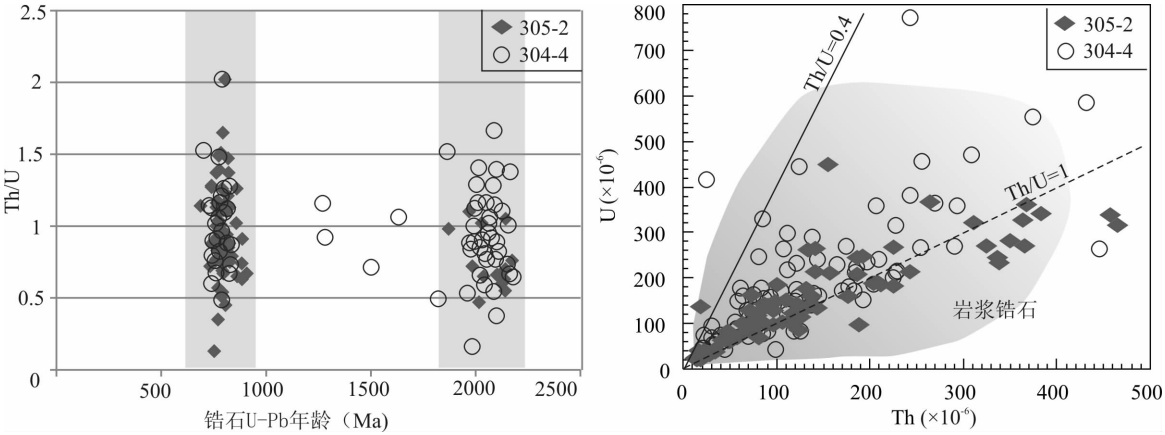


图 5 柔起岗地区塔洞片岩碎屑锆石成因类型判别图解
Fig. 5 The discrimination diagrams of genetic types for detrital zircons of Tadong schist in Rouqigang area

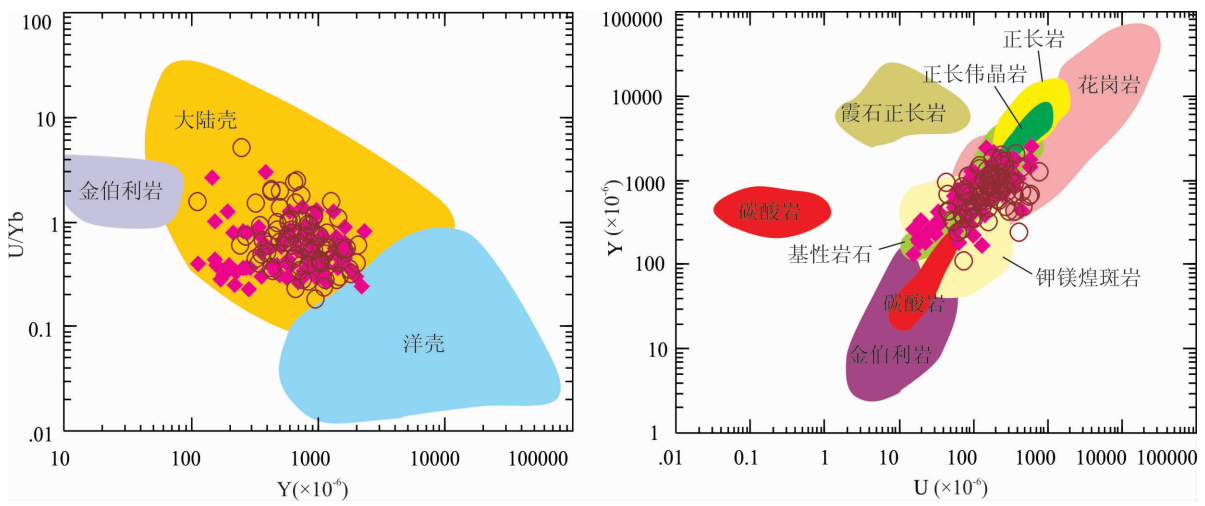


图 6 柔起岗地区塔洞片岩碎屑锆石物源类型判别图解

Fig. 6 The discrimination diagrams of sediment source for detrital zircons of Tadong schist in Rouqigang area

的²⁰⁶Pb/²³⁸Pb 表面年龄 (Sircombe et al., 1999; Cawood et al., 2000)。此外,为使碎屑锆石年龄数据准确且有代表性,本文选取谐和度 85%~115% 的数据进行讨论。本次测试工作在塔洞片岩第一岩段样品(样品号:305-2)中共完成测点 85 个,数据谐和度较好。第二岩段样品(样品号:304-4)共完成测点 85 个,位于谐和度 85%~115% 范围内的有效测点为 83 个。两件样品的测试结果见表 1 和表 2。

塔洞片岩第一岩段绢云石英片岩锆石测点的年龄数据在²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U 谐和图上表现为较好的谐和性(图 7)。测试结果显示碎屑锆石年龄最小值为 688±13 Ma,最大值为 2174±14 Ma。锆石年龄具有 688~2174 Ma 的年龄谱范围,并可区别为两组明显不同的年龄段(图 8),从老到新分别为 1871~2174 Ma(古元古代)和 688~908 Ma(新元古代),峰值年龄分别为 2140 Ma 和 788 Ma。其中,2019~2161 Ma 年龄谱范围的测点有 15 个,占锆石总测点数的 18%,且所测锆石大部分具有较高的 Th/U 值,主体具岩浆锆石成因特征;734~827 Ma 年龄谱范围的测点较多,共有 70 个测点,占锆石总测点的 82%。这些锆石 Th/U 值变化范围较大,大部分>0.4,具岩浆锆石成因特征。

塔洞片岩第二岩段黑云母长石石英片岩(样品号:304-4)中绝大多数锆石测点的年龄数据在²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U 谐和图上表现为较好的谐和性(图 7),仅个别数据偏离谐和线。测试结果显示锆石年龄具有 711~2194 Ma 的年龄谱范围,锆石年龄最小值为 711±12 Ma,最大值为 2194±21

Ma。第二岩段表现为四个不同的年龄频谱(图 8),从老到新主要有 1832~2194 Ma(古元古代)、1520~1638 Ma(中元古代)、1271~1276 Ma(中元古代)、711~841 Ma(新元古代)四个年龄段,峰值年龄分别为 2072 Ma、1635 Ma、1275 Ma、780 Ma。其中,1832~2194 Ma 年龄谱范围的测点有 51 个,占所测锆石 61%,所测锆石绝大多数具有较高的 Th/U 值,具岩浆锆石成因特征,少数锆石尽管 Th/U 值高,但其 CL 照片具变质锆石面状分带等特征(例如,样品 304-4-27、304-4-67)。1520~1638 Ma 年龄谱范围的测点有 2 个,约占所测锆石 1%,所测锆石亦有较高的 Th/U 值;1271~1276 Ma 年龄谱范围的测点仅有 2 个,约占所测锆石 1%。711~841 Ma 年龄谱范围的测点较多,共有 28 个测点,点所测锆石 35%,所测锆石 Th/U 值变化范围较大,大部分>0.4,具岩浆锆石成因特征。

从塔洞片岩两个年龄样品测试数据可以看出,二者均具有新元古代年龄段与古元古代年龄段,均占据较大比例,且二者各自年龄峰值亦相当。唯一不同的是,第二岩段包含少量的(4 颗)中元古代年龄的锆石颗粒,反映了二者物源共性中的差异性。

5 讨论

5.1 原岩最老沉积时代

734~827 Ma 年龄段锆石占本次工作所测锆石的绝大多数,且测点主体位于基本没有磨圆的晶形较好的岩浆锆石环带上,所有测点 Th/U>0.4,证明了岩浆锆石成因。第一岩段样品的 LA-ICP-MS

表 1 塔洞片岩第一岩段绢云石英片岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试结果
Table 1 LA-ICP-MS dating results of zircons from the first part of Tadong Schist

测试点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值				表面年龄(Ma)			
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$
305-2TW-01	18.32	242.04	209.49	1.16	0.0647	0.00185	1.12286	0.0264	0.12585	0.00163	765	± 28
305-2TW-02	10.88	136.45	154.54	0.88	0.06518	0.00254	1.15609	0.04049	0.12861	0.00197	780	± 48
305-2TW-03	10.15	131.68	173.52	0.76	0.06666	0.00248	1.25097	0.04154	0.13607	0.00187	827	± 46
305-2TW-04	17.14	203.6	183.29	1.11	0.06576	0.00321	1.19304	0.05415	0.13155	0.00231	799	± 66
305-2TW-05	12.7	140.52	210.48	0.67	0.06959	0.00337	1.45111	0.06542	0.1512	0.00268	916	± 63
305-2TW-06	19.61	79.6	120.3	0.66	0.13025	0.00278	6.91193	0.09762	0.38481	0.00475	2101	± 11
305-2TW-07	72.89	366.67	359.69	1.02	0.12501	0.00261	6.37307	0.08501	0.36966	0.00447	2029	± 11
305-2TW-08	4.3	50.3	57.43	0.88	0.06726	0.00276	1.26586	0.04716	0.13646	0.00214	846	± 51
305-2TW-09	6.58	77.39	112.57	0.69	0.06582	0.00218	1.18715	0.0338	0.13079	0.00181	801	± 37
305-2TW-10	10.47	121.5	138.63	0.88	0.06455	0.00647	1.08801	0.10572	0.12222	0.00376	760	± 154
305-2TW-11	8.23	97.3	144.4	0.67	0.0657	0.00211	1.19019	0.03248	0.13137	0.00181	797	± 34
305-2TW-12	18.72	225.22	177.74	1.27	0.06476	0.00364	1.08693	0.05747	0.1217	0.00233	767	± 79
305-2TW-13	16.23	190.47	245.26	0.78	0.06718	0.00213	1.24904	0.03358	0.13483	0.00185	843	± 33
305-2TW-14	5.44	61.29	93.88	0.65	0.06782	0.00257	1.34005	0.04512	0.14327	0.00217	863	± 45
305-2TW-15	15.16	186.13	240	0.78	0.0667	0.00442	1.23059	0.07771	0.13378	0.00295	828	± 95
305-2TW-16	9.5	112.52	98.47	1.14	0.06668	0.00264	1.23128	0.04386	0.13389	0.00202	828	± 49
305-2TW-17	38.23	157.13	207.74	0.76	0.13575	0.00322	7.45673	0.12939	0.39831	0.00532	2174	± 14
305-2TW-18	35.77	525.15	411.59	1.28	0.06481	0.00413	1.0874	0.0658	0.12167	0.00257	768	± 92
305-2TW-19	29.7	349.18	276.98	1.26	0.06574	0.00222	1.18368	0.03443	0.13057	0.00184	798	± 38
305-2TW-20	33.11	365.97	267.17	1.37	0.06684	0.00291	1.25239	0.0497	0.13587	0.00222	833	± 55
305-2TW-21	8.85	116.17	116.65	1.00	0.06559	0.00266	1.14422	0.04182	0.12651	0.00195	793	± 51
305-2TW-22	4.85	56.97	62.89	0.91	0.06576	0.00259	1.18853	0.04188	0.13107	0.00196	799	± 49
305-2TW-23	21.53	143.44	130.31	1.10	0.12093	0.00489	5.93351	0.22128	0.35582	0.0073	1970	± 38
305-2TW-24	11.49	94.72	122.72	0.77	0.06567	0.00863	1.13835	0.14594	0.12572	0.00501	796	± 205
305-2TW-25	45.72	556.85	578.04	0.96	0.06534	0.00241	1.1595	0.03777	0.1287	0.00189	785	± 44
305-2TW-26	6.04	74.8	86.49	0.86	0.06665	0.00511	1.21166	0.08932	0.13184	0.00325	827	± 113
305-2TW-27	7.7	96.38	92.5	1.04	0.06593	0.00307	1.15734	0.0497	0.12731	0.00212	804	± 62
305-2TW-28	10.52	46.27	76.73	0.60	0.13204	0.00343	7.10455	0.14363	0.39022	0.00554	2125	± 17
305-2TW-29	16.62	211.16	181.07	1.17	0.06572	0.00186	1.15178	0.02603	0.1271	0.00163	797	± 27
305-2TW-30	6.26	72.42	76.46	0.95	0.06646	0.0024	1.19261	0.03765	0.13014	0.00185	821	± 42
305-2TW-31	16.4	207.47	187.89	1.10	0.06629	0.00232	1.22516	0.03739	0.13405	0.00193	816	± 40
305-2TW-32	5.89	71.58	157.57	0.45	0.06676	0.00386	1.22775	0.06705	0.13338	0.00265	830	± 81
305-2TW-33	5.23	47.31	55.56	0.85	0.06584	0.00298	1.14388	0.04758	0.12601	0.0021	801	± 59
305-2TW-34	14.34	175.67	154.41	1.14	0.06555	0.00253	1.17522	0.04056	0.13004	0.00197	792	± 47

续表 1

测试点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值				表面年龄(Ma)					
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
305-2TW-35	25.14	338.14	230.79	1.47	0.06663	0.00366	1.2442	0.06434	0.13543	0.00256	826	76	819	15
305-2TW-36	8.79	106.19	97.23	1.09	0.06485	0.00349	1.13732	0.05745	0.12718	0.00235	769	75	772	13
305-2TW-37	37.3	457.16	334.57	1.37	0.06471	0.00253	1.12099	0.03926	0.12564	0.00192	765	48	763	11
305-2TW-38	6.32	70.75	123.19	0.57	0.06585	0.00206	1.15419	0.03052	0.12711	0.00172	802	33	771	10
305-2TW-39	20.44	223.88	263.71	0.85	0.06738	0.00171	1.25976	0.02433	0.13558	0.00171	850	21	820	10
305-2TW-40	1.453	17.16	21.7	0.79	0.06651	0.00281	1.23012	0.04744	0.13414	0.00212	822	54	811	12
305-2TW-41	2.245	23.47	31.75	0.74	0.06904	0.00243	1.40033	0.0433	0.14709	0.00214	900	40	885	12
305-2TW-42	3.72	16.2	34.5	0.47	0.1242	0.00296	6.29848	0.11143	0.36775	0.00493	2017	15	2019	23
305-2TW-43	6.38	78.51	102.39	0.77	0.06675	0.00213	1.25475	0.03402	0.13632	0.0019	830	34	824	11
305-2TW-44	1.11	12.02	19.12	0.63	0.06908	0.00602	1.40366	0.11844	0.14735	0.00412	901	128	886	23
305-2TW-45	2.425	26.9	26.39	1.02	0.0677	0.00369	1.32912	0.06814	0.14235	0.00271	859	75	858	15
305-2TW-46	1.071	13.2	18.3	0.72	0.06456	0.00446	1.07361	0.07088	0.12059	0.0027	760	101	734	16
305-2TW-47	1.377	17.22	133.08	0.13	0.06503	0.00208	1.11149	0.03036	0.12394	0.00172	775	34	753	10
305-2TW-48	10.13	122.51	81.27	1.51	0.06598	0.00166	1.17885	0.02267	0.12955	0.00163	806	21	785	9
305-2TW-49	4.97	59.06	66.31	0.89	0.06583	0.00167	1.20371	0.02346	0.1326	0.00168	801	21	803	10
305-2TW-50	4.61	21.98	33.85	0.65	0.12568	0.00342	6.42986	0.14311	0.37097	0.00558	2038	20	2034	26
305-2TW-51	3.23	33.36	36.68	0.91	0.06871	0.00538	1.39813	0.10549	0.14754	0.00384	890	113	887	22
305-2TW-52	7.03	87.26	92.86	0.94	0.06645	0.00254	1.2333	0.04229	0.13459	0.00207	821	46	814	12
305-2TW-53	1.174	12.84	16.26	0.79	0.06763	0.00415	1.29506	0.07575	0.13884	0.00282	857	88	838	16
305-2TW-54	2.6	32.61	32.65	1.00	0.06536	0.0031	1.13228	0.04969	0.12561	0.00217	786	63	763	12
305-2TW-55	1.566	18.99	22.78	0.83	0.06513	0.00466	1.135	0.07782	0.12636	0.00294	779	105	767	17
305-2TW-56	3.07	12.87	19.99	0.64	0.13172	0.00422	7.03921	0.1986	0.38749	0.00684	2121	26	2111	32
305-2TW-57	6.48	80.57	64	1.26	0.06818	0.00256	1.34109	0.04495	0.14263	0.00219	874	44	860	12
305-2TW-58	4.08	16.53	15.79	1.05	0.13342	0.00374	7.19383	0.16899	0.39095	0.00618	2143	21	2127	29
305-2TW-59	14.69	186.88	92.49	2.02	0.06621	0.00256	1.21348	0.04222	0.13289	0.00206	813	47	804	12
305-2TW-60	8.81	41.4	59.19	0.70	0.13333	0.00391	7.2148	0.18101	0.39238	0.00646	2142	22	2134	30
305-2TW-61	82.45	572.17	581.48	0.98	0.11445	0.00328	5.32047	0.1266	0.33713	0.00511	1871	22	1873	25
305-2TW-62	10.81	125.09	108.77	1.15	0.06602	0.0026	1.20416	0.0425	0.13227	0.00203	807	48	801	12
305-2TW-63	27.41	335.34	241.44	1.39	0.06539	0.00166	1.15564	0.02239	0.12815	0.0016	787	21	777	9
305-2TW-64	4.65	49.18	55.65	0.88	0.06567	0.00364	1.17714	0.06137	0.13	0.00248	796	77	788	14
305-2TW-65	9.23	108.39	146.37	0.74	0.06578	0.00211	1.19896	0.03268	0.13217	0.00182	799	34	800	10
305-2TW-66	20.25	89.08	135.89	0.66	0.13045	0.00292	6.94468	0.10792	0.38604	0.00492	2104	12	2104	23
305-2TW-67	29.6	364.05	323.51	1.13	0.06736	0.00273	1.27019	0.04645	0.13673	0.00215	849	50	826	12
305-2TW-68	29.7	364.05	323.55	1.14	0.0623	0.0036	0.9672	0.0531	0.1126	0.0022	684	84	688	13
305-2TW-69	38.68	263.52	365.44	0.72	0.12191	0.02631	6.072	1.31728	0.36118	0.03368	1984	261	1988	160

续表 1

测试点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值					表面年龄(Ma)				
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
305-2TW-70	6.05	72.28	78.47	0.92	0.06511	0.00577	1.13109	0.09693	0.12598	0.0035	778	134	765	20
305-2TW-71	11.98	139.77	260.66	0.54	0.06557	0.00169	1.18221	0.02344	0.13075	0.00164	793	22	792	9
305-2TW-72	22.05	99.68	181.97	0.55	0.13323	0.00363	7.21752	0.15966	0.39283	0.00592	2141	19	2136	27
305-2TW-73	10.78	132.72	258.68	0.51	0.06544	0.00178	1.17381	0.02532	0.13006	0.00166	789	25	788	9
305-2TW-74	25.51	311.52	317.54	0.98	0.06549	0.00165	1.1659	0.02213	0.12908	0.0016	790	20	783	9
305-2TW-75	52.75	612.24	371.25	1.65	0.06615	0.00159	1.19624	0.02096	0.13113	0.0016	811	18	794	9
305-2TW-76	25.28	323.93	267.87	1.21	0.06651	0.00998	1.24152	0.18228	0.13535	0.00611	822	236	818	35
305-2TW-77	6.89	74.93	99.54	0.75	0.06723	0.0033	1.26938	0.05795	0.13691	0.00242	845	65	827	14
305-2TW-78	19.21	85.88	137.13	0.63	0.13302	0.00341	7.16978	0.143	0.39082	0.00555	2138	17	2127	26
305-2TW-79	37.09	465.36	311.45	1.49	0.06566	0.00161	1.15663	0.02082	0.12773	0.00157	796	19	775	9
305-2TW-80	4.14	45.18	56.92	0.79	0.0666	0.00409	1.20793	0.07033	0.13152	0.00271	825	87	797	15
305-2TW-81	10.53	132.68	131.04	1.01	0.06599	0.00287	1.1769	0.04677	0.12931	0.00209	806	56	784	12
305-2TW-82	12.41	155.05	447.41	0.35	0.06524	0.00189	1.14331	0.02695	0.12706	0.00166	782	28	771	9
305-2TW-83	9.34	112.31	101.85	1.10	0.06518	0.00217	1.16019	0.03315	0.12907	0.00178	780	37	783	10
305-2TW-84	29.17	382.45	338.7	1.13	0.0647	0.00158	1.12106	0.02013	0.12563	0.00153	765	19	763	9
305-2TW-85	14.94	186.36	204.79	0.91	0.06505	0.00173	1.13038	0.02351	0.12599	0.00158	776	24	765	9

表 2 塔洞片岩第二段黑云长石英片岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试结果
Table 2 LA-ICP-MS dating result of zircons from the second part of Tadong Schist

测试点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值				表面年龄 (Ma)					
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
304-4-01	148.32	290.95	269.97	1.08	0.06631	0.00245	1.23476	0.02918	0.13502	0.00208	816	25	816	12
304-4-02	100.88	36.2	61.41	0.88	0.1285	0.00548	6.69733	0.21928	0.37792	0.00775	2078	30	2067	36
304-4-03	56.78	77.64	115.29	0.76	0.06569	0.00342	1.13632	0.04913	0.12542	0.00232	797	60	762	13
304-4-04	40.93	48.33	70.13	1.11	0.06738	0.00322	1.27018	0.04853	0.13669	0.0024	850	50	826	14
304-4-05	514.2	206.92	360.01	0.67	0.13476	0.00455	6.7755	0.12737	0.36458	0.00564	2161	15	2004	27
304-4-06	95.5	203.31	186.3	0.66	0.06602	0.00259	1.1601	0.03149	0.12742	0.00201	807	31	773	11
304-4-07	163.33	137.36	142.21	1.02	0.10077	0.00373	3.72813	0.09029	0.26828	0.00441	1638	22	1532	22
304-4-08	235.53	120.53	149.13	0.88	0.13007	0.00438	6.84411	0.12822	0.38155	0.00589	2099	15	2084	27
304-4-09	167.99	75.17	163.91	0.69	0.09459	0.00385	3.40578	0.10077	0.26108	0.00463	1520	30	1495	24
304-4-10	80.55	32.15	53.8	0.88	0.1251	0.00633	6.34286	0.273	0.36764	0.00908	2030	42	2018	43
304-4-11	320.35	111.33	216.95	0.67	0.1305	0.00486	6.64297	0.16572	0.36912	0.00648	2105	21	2025	31
304-4-12	252.04	308.5	471.74	1.27	0.06612	0.0023	1.20122	0.02472	0.13174	0.00198	810	21	798	11
304-4-13	88.09	122.79	159.33	0.78	0.06463	0.0039	1.0918	0.05767	0.12251	0.00254	762	76	745	15

续表 2

测试点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值				表面年龄(Ma)			
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
304-4-14	114.65	184.96	224.26	0.65	1.15083	0.02986	0.12804	0.00201	780	29	777	11
304-4-15	355.86	164.73	228.67	0.78	7.04193	0.16022	0.38734	0.00652	2122	19	2110	30
304-4-16	39.94	20.94	45.08	1.14	2.46191	0.10199	0.2144	0.00425	1276	50	1252	23
304-4-17	251.77	57.73	148.78	0.76	6.63886	0.1692	0.3756	0.00667	2073	22	2056	31
304-4-18	726.86	243.47	770.53	1.28	6.25214	0.15108	0.36598	0.00629	2013	21	2010	30
304-4-19	50.4	72.29	91.71	1.26	1.26925	0.06294	0.13652	0.00273	851	70	825	15
304-4-20	428.44	138.45	290.8	1.37	6.91058	0.14978	0.38506	0.00634	2100	18	2100	30
304-4-21	255.8	85.85	155.48	1.00	7.38153	0.13565	0.39745	0.00612	2160	14	2157	28
304-4-22	124.15	85.45	77.69	0.91	6.7346	0.14609	0.37857	0.00621	2084	18	2070	29
304-4-23	110.94	224.38	202.43	1.10	1.23072	0.03292	0.13399	0.00212	826	30	811	12
304-4-24	102.51	57.32	89.05	0.77	6.90136	0.30739	0.38403	0.0099	2102	43	2095	46
304-4-25	103.1	70.23	71.22	0.96	6.53679	0.24878	0.37435	0.00851	2052	36	2050	40
304-4-26	50.42	79.22	85.37	0.86	1.31186	0.05312	0.13943	0.00254	876	54	841	14
304-4-27	363.32	196.53	234.58	1.04	6.67049	0.12175	0.37737	0.00578	2073	14	2064	27
304-4-28	142.64	445.19	264.67	0.60	1.11204	0.03975	0.12398	0.00215	776	46	753	12
304-4-29	89.1	138.95	166.59	1.17	1.1889	0.04483	0.13078	0.00232	804	49	792	13
304-4-30	158.03	112.17	298.96	0.95	1.17341	0.02746	0.12896	0.00198	806	25	782	11
304-4-31	495.24	227.65	315.36	1.10	7.11978	0.12253	0.3904	0.00587	2128	13	2125	27
304-4-32	86.29	145.29	162.29	0.45	1.21007	0.08838	0.13156	0.00342	828	109	797	19
304-4-33	218.38	68.62	129.74	0.85	7.07945	0.12913	0.3894	0.00598	2123	14	2120	28
304-4-34	219.41	192.18	151.52	1.14	6.68772	0.16408	0.37854	0.0066	2072	21	2069	31
304-4-35	207.86	293.06	358.7	1.47	1.15887	0.02428	0.1288	0.00194	782	21	781	11
304-4-36	587.32	255.23	455.57	1.09	6.17683	0.1128	0.36315	0.00555	2005	15	1997	26
304-4-37	266.52	93.3	158.44	1.37	7.39439	0.135	0.39766	0.00612	2162	14	2158	28
304-4-38	137.64	77.01	89.85	0.57	6.47759	0.18751	0.37277	0.00709	2043	26	2042	33
304-4-39	117.35	126.17	82.78	0.85	6.07295	0.14049	0.36069	0.00606	1987	20	1985	29
304-4-40	73.08	113.16	135.36	0.79	1.11602	0.05119	0.1252	0.0024	763	64	760	14
304-4-41	137.64	117.96	83.78	0.74	7.4294	0.15476	0.39804	0.00647	2169	17	2160	30
304-4-42	61.99	98.97	44.26	0.47	5.05571	0.1868	0.3274	0.00695	1832	37	1826	34
304-4-43	191.45	70.89	115.92	0.77	6.43561	0.16282	0.371	0.00656	2040	22	2034	31
304-4-44	73.03	44.05	43.6	0.63	7.62174	0.1919	0.40239	0.0072	2194	21	2180	33
304-4-45	95.5	183.04	172.01	1.02	1.12107	0.05024	0.12529	0.0024	771	62	761	14
304-4-46	561.68	268.91	365.08	0.72	6.30413	0.10617	0.36613	0.00546	2027	13	2011	26
304-4-47	418.28	174.86	270.87	0.13	6.12995	0.11551	0.36105	0.00559	2002	15	1987	26
304-4-48	295.94	123.96	443.99	1.51	1.02598	0.03909	0.11661	0.00207	735	51	711	12

续表 2

测试点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值				表面年龄(Ma)			
	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$
304-4-49	114.53	229.64	215.66	0.89	0.06409	0.00256	1.05934	0.0304	0.11987	0.00193	745	34
304-4-50	236.75	63.56	160.95	0.65	0.12528	0.00422	6.36088	0.12548	0.3682	0.00581	2033	16
304-4-51	62.02	55.03	103.33	0.91	0.0651	0.00371	1.13576	0.0561	0.12653	0.00254	778	70
304-4-52	661.35	24.85	416.04	0.94	0.12715	0.00411	6.53221	0.11266	0.37258	0.00561	2059	14
304-4-53	188.2	121.39	121.37	0.79	0.12507	0.00442	6.36846	0.14369	0.36926	0.00618	2030	19
304-4-54	123.17	30.41	69.45	1.00	0.13439	0.00475	7.32108	0.16627	0.39508	0.0067	2156	19
304-4-55	49.34	57.38	85.16	0.83	0.06632	0.00287	1.2138	0.04039	0.13273	0.00222	816	42
304-4-56	195.17	110.89	119.68	0.64	0.12625	0.00466	6.48592	0.16324	0.37256	0.00659	2046	22
304-4-57	676.71	432.02	586.24	1.26	0.12937	0.00506	6.80381	0.19466	0.38142	0.0073	2089	25
304-4-58	142.17	80.96	245.8	1.05	0.06588	0.00287	1.17337	0.0393	0.12917	0.00221	803	42
304-4-59	91.96	170.53	173.56	2.02	0.06575	0.00255	1.1948	0.03265	0.13179	0.0021	798	32
304-4-60	133.05	90.04	84.44	0.70	0.13015	0.00472	6.8477	0.1666	0.38157	0.00666	2100	21
304-4-61	384.07	144.23	240.86	0.98	0.12543	0.00407	6.40785	0.11358	0.37048	0.00563	2035	14
304-4-62	115.53	46.46	72.65	1.15	0.12506	0.00523	6.38022	0.2066	0.36999	0.00757	2030	30
304-4-63	265.34	121.4	175.47	1.39	0.12473	0.00407	6.279	0.11364	0.36509	0.00558	2025	14
304-4-64	113.59	227.37	213.91	0.88	0.06702	0.00344	1.26053	0.05414	0.1364	0.0026	838	58
304-4-65	548.98	84.89	328.86	0.74	0.13236	0.00428	7.1006	0.12438	0.38905	0.00591	2130	14
304-4-66	64.52	73.84	103.07	0.66	0.06789	0.00284	1.29749	0.04085	0.1386	0.00232	865	38
304-4-67	161.27	30.38	96.09	1.13	0.13057	0.00481	6.88636	0.17452	0.38248	0.00684	2106	22
304-4-68	100.23	177.2	180.26	1.12	0.06388	0.00379	1.05481	0.05485	0.11974	0.00247	738	75
304-4-69	111.65	84.14	176.98	0.72	0.06693	0.00248	1.26631	0.0317	0.13721	0.00215	836	27
304-4-70	41.93	21.4	47.25	0.92	0.08309	0.00384	2.47864	0.09232	0.21634	0.00409	1271	44
304-4-71	271.84	104.73	172.88	0.54	0.12826	0.00417	6.70609	0.1209	0.37917	0.00581	2074	14
304-4-73	122.17	22.17	74.02	0.51	0.12223	0.00435	6.05657	0.14192	0.35934	0.0061	1989	20
304-4-74	810	374.25	553.5	0.98	0.12152	0.00404	5.97915	0.11602	0.35684	0.0056	1979	16
304-4-75	129.7	40.67	76.43	1.65	0.13	0.0049	6.85532	0.18369	0.38243	0.00706	2098	23
304-4-76	97.24	61.49	178.34	1.21	0.06646	0.00275	1.20814	0.03749	0.13183	0.00219	821	38
304-4-77	323.76	184.7	213.66	0.75	0.12872	0.00463	6.6991	0.16135	0.37744	0.00657	2081	20
304-4-78	583.01	242.35	382.89	0.63	0.12443	0.00394	6.25957	0.10358	0.36482	0.00542	2021	13
304-4-79	353.58	253.86	266.01	1.49	0.11531	0.00567	5.39237	0.22532	0.33915	0.00804	1885	42
304-4-81	415.97	107.13	264.46	1.01	0.12745	0.00406	6.62153	0.11245	0.37677	0.00566	2063	13
304-4-82	345.09	121.24	531.23	0.35	0.13083	0.00603	6.85474	0.26262	0.37996	0.00889	2109	36
304-4-83	90.51	33.87	22.12	1.10	0.12391	0.00429	6.21235	0.13629	0.36359	0.006	2013	18
304-4-84	208.15	74.5	126.28	1.13	0.12521	0.0042	6.34265	0.12774	0.36738	0.00587	2032	16
304-4-85	392	209.33	240.95	0.91	0.12767	0.00407	6.63152	0.11346	0.3767	0.00567	2066	13

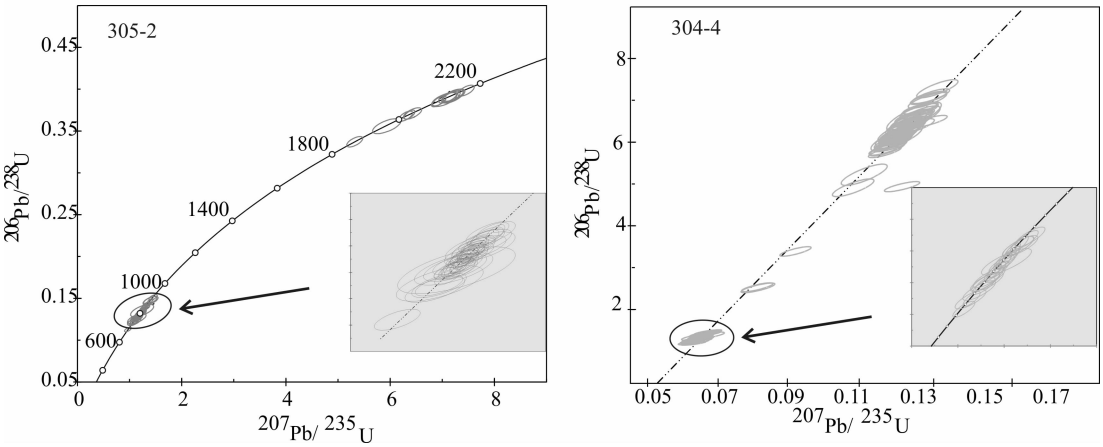


图 7 柔起岗地区塔洞片岩锆石 U-Pb 年龄谐和图解

Fig. 7 The concordia diagrams of U-Pb values for detrital zircons of Tadong schist in Rouqigang area

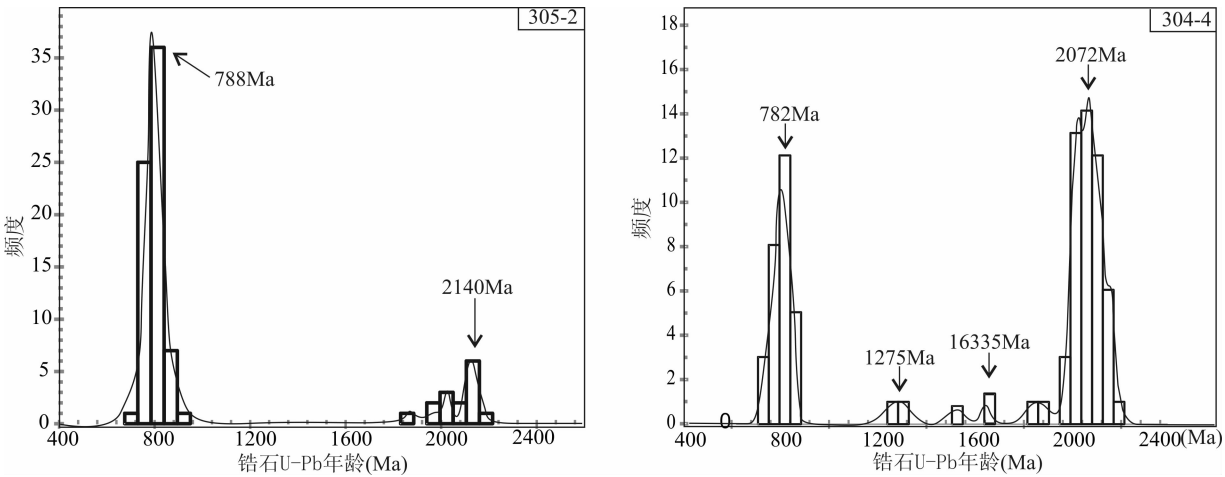


图 8 柔起岗地区塔洞片岩碎屑锆石年龄谱对比图

Fig. 8 The histogram age spectra for detrital zircons of Tadong schist in Rouqigang area

锆石 U-Pb 年龄谱中最小锆石年龄为 688 Ma,代表了沉积时代的最大值。第二岩段锆石年龄谱中最小锆石年龄为 711 Ma,代表了第二岩段原岩沉积时代的下限。这两个年龄在误差范围内略有差异,可能是由于沉积源区的不同或搬运距离的远近而引起。虽然该数据不能作为严格区别两个岩段相对早晚的有力证据,但仍能大致限定其原岩沉积时代。前人研究表明,新元古代早中期年龄谱(711~841 Ma)对应于区域上东昆仑及柴达木盆地北缘地区新元古代早期一次强烈的构造岩浆事件,与中国西域块体及全球 Rodina 超大陆裂解事件密切相关(Hoffman,1991;Condie et al.,2001;Lu Songnian et al.,2001,2006;Li Xianhua et al.,2002)。塔洞片岩碎屑锆石微量元素特征显示其少部分锆石结晶母岩为基性岩石(图 6),可能为与该次裂解事件有

关的基性岩浆活动的产物。

新元古代早期岩浆活动形成的岩浆岩抬升剥蚀产物成为塔洞片岩原岩的最主要沉积物源,同时也记录了塔洞片岩沉积时代的下限(688 Ma)。值得引起注意的是,区域上,与研究区相邻的东昆仑造山带及西秦岭造山带还发育有大量的新元古代晚期—早古生代构造岩浆事件(Pei Xianzhi et al.,2007,2009,2012;Dong Yunpeng et al.,2008;Li Dapeng et al.,2013;Liu Bin et al.,2013;Meng Fancong et al.,2013),在研究区周边发育有更多的晚古生代—中生代构造岩浆事件(Yang Jingsui et al.,2005;Xiong Fuhao et al.,2010;Li Bile et al.,2012;Li Ruibao et al.,2012a,b;Xu Zhiqin et al.,2013),但是塔洞片岩碎屑锆石年龄谱中没有显示晚于 680 Ma 以来的任何岩浆活动信息,藉此从碎屑锆石角

度排除了其形成于南华纪之后的可能。综合上述资料认为塔洞片岩原岩沉积时代下限为 688 Ma, 为新元古代南华纪。

5.2 物源特征

沉积岩和变质沉积岩中碎屑锆石具有多来源和多成因的特点, 碎屑锆石年龄谱的研究可以提供蚀源区构造—热事件演化、沉积物源及基底属性等丰富的地质信息。塔洞片岩多个分组的年龄谱特征记录了蚀源区构造岩浆事件及源区特征等信息。

(1) 新元古代年龄信息: 在塔洞片岩两个年龄样品中, 新元古代年龄数据占有最大比例, 共有 98 颗锆石, 占总体的 63%, 峰值年龄为 788 Ma。新元古代早期受全球 Rodina 超大陆聚合和裂解影响 (Hoffman, 1991; Condie et al., 2001), 扬子板块、东昆仑及柴达木盆地北缘产生了一系列构造岩浆事件 (Guo Jinjing et al., 1999; Lu Songnian et al., 2001, 2006; Li Xianhua et al., 2002; Li Zhengxiang et al., 2003; Wang Guocan et al., 2004, 2007; Meng Fancong et al., 2013)。据前人研究, 扬子板块西北缘和其内部新元古代早期构造岩浆事件是扬子板块演化的一次标志性事件, 与华北板块缺乏该期事件形成显著对比。例如, 扬子板块内部的赣东北九岭岩体、广西三防岩体、元宝山岩体 (Li Xianhua et al., 1999, 2001), 扬子西北缘的陕西南南侵入杂岩 (Zhang Zongqing et al., 2001) 及康定杂岩 (Li Xianhua et al., 2002) 等均为新元古代早期的构造岩浆事件。西秦岭南缘构造带亦有新元古代早中期 841~728 Ma 的构造岩浆事件 (Li Ruibao et al., 2009; Yan Quanren et al., 2012; Xu Tong et al., 2013)。柴达木盆地北缘构造带及东昆仑造山带亦有大量的新元古代早期与 Rodina 超大陆演化相关的构造岩浆事件, Tan Shengxiang et al. (2004) 在祁漫塔格滩北山用 TIMS 法获得花岗质片麻岩锆石 U-Pb 年龄为 831 ± 51 Ma, 认为是同碰撞构造环境的物质记录; Lu Songnian et al. (2006) 在金水口地区用 LA-ICP-MS 法获得二长花岗质片麻岩锆石 U-Pb 年龄为 817 ± 10 Ma, 用 SHRIMP 法在香日德—清水泉一带获得沟里花岗闪长质片麻岩锆石 U-Pb 年龄为 859 ± 42 Ma, 在清水泉三岔口获得花岗闪长质片麻岩锆石 U-Pb 年龄为 878 ± 12 Ma; Zhang Jinming et al. (2012) 在祁漫塔格喀拉克登塔格地区用 LA-ICP-MS 法获得花岗质片麻岩锆石 U-Pb 年龄为 824 ± 3 Ma; Meng Fancong et al. (2013) 在祁漫塔格尕斯库勒地区眼球状花岗质片麻岩中分别用

SHRIMP 和 LA-MC-ICP-MS 两种手段获得锆石 U-Pb 年龄分别为 938 ± 5 Ma 和 938 ± 2 Ma, 代表了中国西部陆块的一期碰撞事件。此外, 中下三叠统隆务河组砂岩碎屑锆石中亦出现 750~1000 Ma 的年龄信息 (Yan Zhen et al., 2012), 与塔洞片岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱出现大量 700~900 Ma 的年龄基本吻合, 从沉积物源角度表明源区确实存在一期新元古代早期岩浆事件。以上构造岩浆事件与塔洞片岩新元古代年龄具有较好的对应性, 表明西秦岭、东昆仑、柴达木盆地北缘的前寒武纪块体及扬子板块对塔洞片岩 (变碎屑岩) 的沉积具有一定的物质贡献。

(2) 中元古代年龄信息: 塔洞片岩第一岩段年龄谱中没有中元古代年龄信息, 第二岩段有 4 颗锆石年龄为中元古代 (1520~1638 Ma、1271~1276 Ma), 并且这 4 颗锆石 Th/U 值较高, 锆石具有明显的韵律环带, 表明其为典型的岩浆锆石。虽然该期年龄数据较少, 但是说明第二岩段较第一岩段源区还有少量的中元古代岩浆岩为其提供物源。迄今为止, 东昆仑造山带、柴达木盆地北缘构造带及祁连造山带有关 1520~1638 Ma 和 1271~1276 Ma 的中元古代构造岩浆事件报道相对较少, 但是塔洞片岩中元古代年龄信息表明其源区确实存在古老物质。区域上有限的几个中元古代年龄有: 东昆仑哈拉郭勒北侧原划分的苦海杂岩中的超镁铁岩岩块的 Sm-Nd 等时年龄为 1004.71 Ma, 清水泉一带白沙河岩群中的超镁铁质块体的 Sm-Nd 等时年龄为 1279~1372 Ma, 兴海地区扎那合热一带产于苦海杂岩中的超基性岩岩块的 Sm-Nd 等时线年龄为 1440 Ma (Zhu Yunhai et al., 1999; Wang Bingzhang et al., 2001; Wang Guocan et al., 2007)。东昆仑东段中元古代小庙岩组碎屑锆石年龄谱中存在大量 1554~1683 Ma 的年龄信息 (Chen Youxin et al., 2011), 表明了中元古代构造—岩浆—热事件的存在。以上构造岩浆事件年龄与塔洞片岩年龄相似, 很可能曾经为塔洞片岩第二岩段提供过少量的物质供应。因此, 我们推断塔洞片岩中元古代物源的沉积源区很可能是东昆仑或其他陆块的基底。

(3) 古元古代年龄信息: 古元古代年龄信息在第一岩段和第二岩段中占有较大比例, 分别为 18% 和 61%, 表明古元古代基底对塔洞片岩物源贡献亦较大。2019~2161 Ma 年龄谱范围的测点主要为磨圆较好的锆石, 这些锆石主体呈浑圆状且有良好的环带结构, 少数锆石具有变质锆石阴极发光特征。该

年龄特征代表物源区古元古代基底为其提供主要物源,第二岩段相对第一岩段,古元古代碎屑物占有更大比例,暗示塔洞片岩(变碎屑岩)第二岩段沉积时古老基底抬升剥蚀较为强烈,为第二岩段提供了更多的更古老基底剥蚀物。区域上,东昆仑造山带古元古代金水口岩群、祁连造山带古元古代托赖岩群、湟源岩群构成西域板块早期的结晶基底(Wang Guocan et al., 2007)。金水口岩群中斜长角闪岩 Sm-Nd 等时线年龄值为 $1970 \pm 16 \text{ Ma}$ ^⑨, 苦海地区角闪斜长片麻岩中锆石 U-Pb 的上交点年龄 $2330 \pm 50 \text{ Ma}$, 塞什塘地区变质基性岩墙 Sm-Nd 等时线年龄为 $2213 \pm 10 \text{ Ma}$ (Wang Bingzhang et al., 1999), 羊曲地区角闪斜长片麻岩(原岩为中性火山岩)单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $2330 \pm 50 \text{ Ma}$, 这些年龄与塔洞片岩古元古代年龄相近,表明其很可能为塔洞片岩一个重要的沉积物源区。值得注意的是,本次塔洞片岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱没有显示 2500 Ma 左右以及更老的太古宙年龄信息,表明了华北板块对其没有沉积碎屑的供应。

综上,塔洞片岩(变沉积岩)锆石 U-Pb 年龄谱突出显示西秦岭造山带、东昆仑造山带和柴达木盆地北缘构造带及扬子板块新元古代早期、东昆仑造山带和祁连造山带古元古代的物源信息,另有极少量的中元古代年龄值,而没有显示出华北板块典型的 1850 Ma 和 2500 Ma 左右的年龄信息。综合以上年代学资料及分析周邻造山带区域地质特征认为塔洞片岩物源来源较为复杂,物源主体来自于西秦岭造山带、东昆仑造山带和柴达木盆地北缘构造带中的前寒武纪块体,扬子板块对其沉积物源亦有部分贡献,而华北板块没有对其提供沉积物源。

5.3 基底属性

中央造山带西部微陆块群的基底属性、构造亲缘性及在 Rodina 超大陆位置一直是学术界研究的热点与焦点(Ge Xiaohong et al., 2000; Wan Yusheng et al., 2003a; Wang Guocan et al., 2004, 2007; Chen Nengsong et al., 2006, 2007; Wang Guocan et al., 2007; Chen Yuelong et al., 2009)。西秦岭造山带(西段)被中下三叠统隆务河组及第四系大面积覆盖,前寒武纪地层出露较少,西秦岭西段前寒武纪基底的构造属性研究较少,大多通过花岗岩深部探针及中生代砂岩碎屑锆石间接研究(Zhang Hongfei et al., 2006; Chen Yuelong et al., 2009),认为西秦岭西段与柴达木及欧龙布鲁克陆块具有统一的扬子型基底构造属性。Guo Jinjing et

al. (1999)在综合分析祁连地区新元古代早期构造岩浆事件及柴达木地块南华纪沉积序列和生物资料,认为柴达木-祁连-阿拉善与扬子地块关系密切,在震旦纪之前可能属于扬子板块的组成部分。祁连造山带基底变碎屑岩锆石年龄谱中存在明显的中、新元古代年龄信息,与华北板块在新、中元古代时已经成为稳定地台完全不同,而与扬子地块前寒武纪基底岩石的年龄频谱相似(Dong Guo'an et al., 2007; Liu Yonghong et al., 2012),亦表明了扬子地块的亲缘性。Lu Songnian et al. (2003)通过对塔里木、祁连、扬子板块构造热事件的研究提出,秦-祁-昆造山带中的祁连、柴达木及北秦岭等地块,其前寒武纪演化特点与塔里木及扬子克拉通有较大的相似性,而与华北克拉通则有明显区别。

众所周知,华北板块基底固结于 1850 Ma 的吕梁运动,并响应于全球哥伦比亚超大陆聚合事件,中新元古代之后处于以长城系为开始的相对稳定的沉积盖层(裂谷系)发展阶段(Hu Bo et al., 2013; Zhai Mingguo et al., 2014),几乎没有明显岩浆热事件活动。近些年研究指出(Dong Guo'an et al., 2007; Zhang jin et al., 2012; Bao Chuang et al., 2014),阿拉善地块基底组成与广义华北板块基底组成不同,突出显示了 850 Ma 左右的构造热事件。与此相对应,扬子板块新元古代早期构造岩浆热事件是其地质演化的显著特征,也是其主要的地壳增长期(图 9)。塔洞片岩新元古代早期碎屑锆石年龄($734 \sim 827 \text{ Ma}$, $711 \sim 841 \text{ Ma}$)记录了西秦岭西段及邻区新元古代早期与 Rodina 超大陆聚合及裂解事件,进一步表明新元古代早期是西秦岭(西段)源区主要地壳增生期。次级峰值(1500 Ma 、 2035 Ma)反映了其源区有来自古老地壳的物质,近些年来扬子北缘及东昆仑亦有中元古代甚至太古宙基底年龄信息的报道(Qiu Yumin et al., 2000; Liu Xiaoming et al., 2008; Jiao Wenfang et al., 2009)。更为重要的是,塔洞片岩年龄谱突出显示与扬子板块相似的新元古代早期的年龄信息(图 9),塔洞片岩年龄谱主峰值为 788 Ma , 祁连地块年龄谱主峰值为 799 Ma , 东昆仑年龄谱主峰值稍大为 850 Ma , 扬子板块年龄谱主峰值为 796 Ma , 这些峰值年龄大致相同均为新元古代早期。与此形成鲜明对比的是,华北板块(阿拉善地块以东)没有新元古代早期的构造岩浆热事件记录,而是具有典型的 1850 Ma 和 2500 Ma 左右的峰值特征(图 9),藉此表明塔洞片岩(变碎屑岩)源区基底表现出与东昆仑地块、柴达木盆地北缘、祁连、

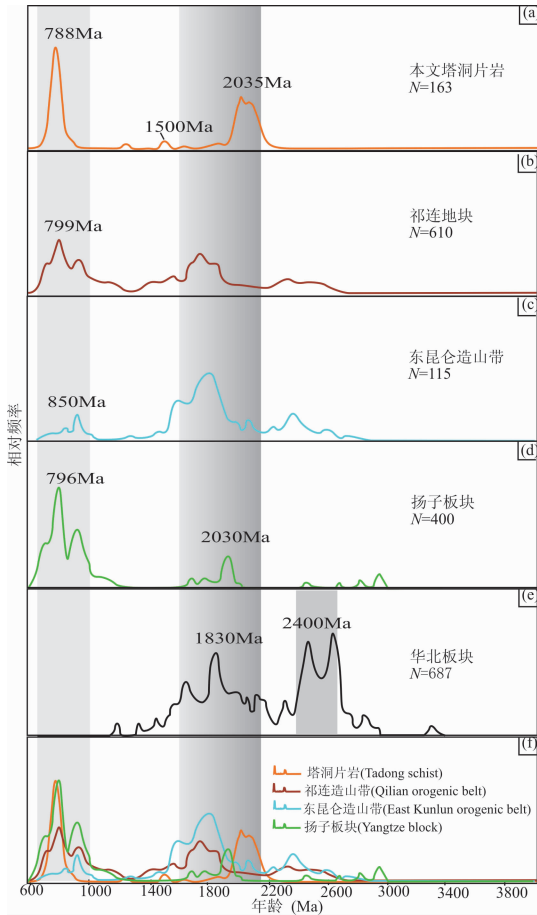


图 9 塔洞片岩与祁连造山带、东昆仑造山带、扬子板块、华北板块前寒武纪年龄对比图

Fig. 9 The Precambrian age spectra diagrams of

Tadong schist, Qilian block, East Kunlun Orogeny belt,

Yangtze block and North China block

(a) —塔洞片岩碎屑锆石年龄值特征；(b) —祁连地块年龄谱特征 (Gehrels et al., 2003; Bao Chuang et al., 2014); (c) —东昆仑造山带年龄谱特征 (Wang Guocan et al., 2007; Chen Youxin et al., 2011; Chen Youxin, 2015); (d) —扬子板块年龄谱特征 (Liu Xiaomng et al., 2008; Chen Yuelong et al., 2009; Xu Yajun et al., 2010); (e) —华北板块年龄谱特征 (Wan Yusheng et al., 2003; Chen Yuelong et al., 2009); (f) —塔洞片岩、祁连、东昆仑与扬子基底组成对比图 (a) —Age spectra diagram of detrital zircons in this paper; (b) —age spectra diagram of Qilian block; (c) —age spectra diagram for East Kunlun Orogenic belt; (d) —age spectra diagram for Yangtze block; (e) —age spectra diagram of North China block; (f) —comparison of relative age probabilities between Tadong schist, Qilian, East Kunon and the basement of the Yangtze block

扬子板块的构造亲缘性(图 9)(Ge Xiaohong et al., 2000; Wang Guocan et al., 2007)。Chen Yuelong et al. (2009)对西秦岭新元古代—石炭纪砂岩 Nd 同位素研究后得出其 Nd 亏损地幔模式年龄主要分布于 1.55~1.98 Ga, 类似于扬子板块, 与华北板块

主要为古元古代与太古宙的模式年龄形成明显的对比。综上, 塔洞片岩源区前寒武纪基底表现出与扬子板块的亲缘性, 新元古代早期是其地壳强烈增长的时期, 也是其基底固结的主要时期。

6 结论

(1)塔洞片岩碎屑岩锆石 U-Pb 年龄谱中最年轻岩浆锆石年龄为 688 Ma, 表明该套浅变质岩系原岩沉积时代应晚于 688 Ma, 结合区域构造岩浆事件资料认为其原岩沉积时代上限为新元古代南华纪。

(2)塔洞片岩两件样品的碎屑锆石 U-Pb 年龄谱可分为新元古代和古元古代两个主年龄谱以及中元古代的两个次年龄谱, 新元古代年龄谱分别为 688~908 Ma 和 711~841 Ma, 峰值年龄为 788 Ma 和 780 Ma, 古元古代年龄谱分别为 1871~2174 Ma 和 1832~2194 Ma, 峰值年龄为 2140 Ma 和 2072 Ma, 中元古代两个年龄谱分别为 1520~1638 Ma 和 1271~1276 Ma, 峰值年龄为 1635 Ma 和 1275 Ma。

(3)对塔洞片岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱综合分析, 表明其碎屑物质来源较为复杂, 物源主体来自周邻的西秦岭造山带、东昆仑造山带和柴达木盆地北缘构造带, 扬子板块对其沉积物源亦有部分贡献, 而华北板块没有对其提供沉积物源。

(4)塔洞片岩锆石 U-Pb 年龄谱突出显示新元古代早期年龄信息, 而没有显示华北板块典型的 1850 Ma 和 2500 Ma 左右的特征, 结合区域资料认为西秦岭源区基底与东昆仑地块、柴达木盆地北缘、祁连地块及阿拉善地块等一样表现出扬子板块的构造亲缘性, 源区基底固结时代为新元古代早期。

致谢:野外工作期间, 得到中国人民武装警察黄金部队第五支队游银、王栋、陈俊辉、王旭、陈延辉、乔鹏鹏等的大力支持与帮助, 在此一并致以诚挚的谢意!

注 释

- ① 青海省地质矿产局. 1993. 中华人民共和国区域地质调查报告(1: 5 万鄂拉山口幅、沙乃亥幅).
- ② 青海省地质调查院. 2001. 中华人民共和国区域地质调查报告(1: 25 万兴海幅).

References

Bao Chuang, Chen Yuelong, Li Dapeng, Wang Shanhui. 2014. Provenances of the Mesozoic sediments in the Ordos Basin and implications for collision between the North China Craton (NCC) and the South China Craton (SCC). Journal of Asian

- Earth Sciences, 96:296~307.
- Belousova E A, Griffin W L, O'Rilly S Y. 2002. Igeous zircon; trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 143: 602~622.
- Cawood P A, Nemchin A A. 2000. Provenance record of a rift basin: U/Pb ages of detrital zircons from the Perth Basin, Western Australia. *Sedimentary Geology*, 134: 209~304.
- Chen Ming, Sun Min, Cai Keda, Mikhail M B, Zhao Guochun, Elena S. R, Elena E. V. 2014. Detrital zircon record of the early Paleozoic meta-sedimentary rocks in Russian Altai; Implications on their provenance and the tectonic nature of the Altai-Mongolian terrane. *Lithos*, doi: 10.1016/j.lithos.2014.11.023.
- Chen Youxin, Pei Xianzhi, Li Ruibao, Liu Zhanqing, Li Zuochen, Zhang Xiaofei, Chen Guochao, Liu Zhigang, Ding Saping, Guo Junfeng. 2011. Zircon U-Pb age of Xiaomiao formation of proterozoic in the eastern section of the East Kunlun orogenic belt. *Geoscience*, 25(3): 510~521 (in Chinese with English abstract).
- Chen Youxin. 2015. Pre-Devonian metamorphic rock series composition and tectonic evolution in the eastern section of East Kunlun orogeny. Xi'an: Chang'an University; 1~160 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuelong, Li Dapeng, Zhou Jian, Liu Fei, Zhang Hongfei, Nie Lanshi, Jiang Liting. 2009a. U-Pb dating, geochemistry, and tectonic implications of the Songpan-Ganzi block and the Longmeng Shan, China. *Geochemical Journal*, 43: 77~99.
- Chen Yuelong, Zhou Jian, Pi Qiaohui, Wang zhong, Li Dapeng. 2009b. Zircon U-Pb dating and geochemistry of clastic sedimentary rocks in the Gonghe-Huashixia Area, Qinghai Province and their geological implications. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 161~174 (in Chinese with English abstract).
- Condie K C. 2001. Continent grouping during formation of Rodinia at 1.35-0.9 Ga. *Condwana Research*, 1: 5~16.
- Dong Guoan, Yang Huairan, Yang Hongyi, Liu Dunyu, Zhang Jianxin, Wan Yusheng, Zeng Jianyuan. 2007. SHRIMP U-Pb Chronology of Precambrian basement zircon and its geological significance for Qilian block. *Chinese Science Bulletin*, 52(19): 2687~2701 (in Chinese without English abstract).
- Dong Yunpeng, Yang Zhao, Zhang Guowei, Zhao Xia, Xu Jinggang, Yao Anping. 2008. Geochemistry of the ophiolite in the Guanzizhen Area, West Qinling and its tectonic implications. *Acta Geologica Sinica*, 82(9): 1186~1195 (in Chinese with English abstract).
- Dong Yunpeng, Liu Xiaoming, Neubauer F, Zhang Guowei, Tao Ni, Zhang Yiguo, Zhang Xiaoning, Li Wei. 2013. Timing of Paleozoic amalgamation between the North China and South China Blocks: evidence from detrital zircon U-Pb ages. *Tectonophysics*, 586: 173~191.
- Fan Jianjun, Li Cai, Wang Ming, Xie Chaoming, Wu Yanwang. 2014. The analysis of depositional environment and U-Pb dating of detrital zircon for Zhanjin formation at Gangma Co area, Southern Qiangtang, Tibetan Plateau. *Acta Geologica Sinica*, 88(10):1820~1831 (in Chinese with English abstract).
- Fedo C M, Sircombe K N, Rainbird R H. 2003. Detrital zircon analysis of the sedimentary record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 277~303.
- Ge Xiaohong, Liu Junlai. 2000. Broken "Western China Craton". *Acta Petrologica Sinica*, 16(1): 59~66 (in Chinese with English abstract).
- Gehrels G E, Yin An, Wang Xiaofeng. 2003. Detrital-zircon geochronology of the northeastern Tibetan plateau. *Geological Society of America Bulletin*, 115(7): 881~896.
- Grimes C B, John B E, Kelemen P B, Mazdab F K, Wooden J L, Cheadle M J, Schwrtz J J. 2007. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance. *Geology*, 35(7): 643~646.
- Guo Jinjing, Zhang Guowei, Lu Songnian, Zhao Fengqing. 1999. Neoproterozoic continental block collage of China and Rodinia supercontinent. *Geological Journal of China Universities*, 5(2): 148~156 (in Chinese with English abstract).
- Hoffman P F. 1991. Did the breakup of Laurentia turn Gondwana inside out. *Science*, 252: 1409~1412.
- Hoskin P W O. 2002. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator. *Geology*, 28(7): 627~630.
- Hu Bo, Zhai Mingguo, Peng Peng, Liu Fu, DiWu ChunRong, Wang HaoZheng, Zhang HaiDong. 2013. Late Paleoproterozoic to Neoproterozoic geological events of the North China Craton-Evidences from LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Cambrian and Jurassic sedimentary rocks in Western Hills of Beijing. *Acta Petrologica Sinica*, 29(7): 2508~2536 (in Chinese with English abstract).
- I, iu Yongjiang, Franz Neubauerz, Li Weimin, Johann Genser, Li Wei. 2012. Tectono-thermal events of the Northern Qaidam Margin-Southern Qilian Area, Western China. *Journal of Jilin University*, 42(5): 1317~1329 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Chunfa, Yang Jingshui, Feng Binggui. 1992. Opening and Closing tectonics in East Kunlun. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese without English abstract).
- Jiao WenFang, Wu YuanBao, Yang SaiHong, Peng Min, Wang Jing. 2009. The oldest basement rock in the Yangtze Craton revealed by zircon U-Pb age and Hf isotope composition. *Science China (Ser. D)*, 52(9): 1393~1399.
- Li Bile, Sun Fengyue, Yu Xiaofei, Qian Ye, Wang Guan, Yang Yanqian. 2012. U-Pb dating and geochemistry of diorite in the eastern section from eastern Kunlun middle uplifted basement and granitic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4): 1163~1172 (in Chinese with English abstract).
- Li Dapeng, Luo Zhaohua, Chen Yuelong. 2013. Carboniferous sedimentary source and palaeogeographic position of Tengchong block: data of detrital zircon U-Pb isotope age, and Hf isotope. *Acta Geologica Sinica*, 87(z1): 377 (in Chinese with English

- abstract).
- Li Qiugen, Chen Xu, Liu Shuwen, Wang Zongqi, Zhou Yingkui, Zhang Jian, Wang Tao. 2009. Evaluating the provenance of metasedimentary rocks of the Jiangxian Group from the Zhongtiao Mountain using whole-rock geochemistry and detrital zircon Hf isotope. *Acta Geologica Sinica*, 83(3): 550~561 (in Chinese with English abstract).
- Li Rongshe, Ji Wenhua, Yang Yongcheng. 2008. *Geology of Kunlun and Adjacent area*. Beijing: Geological Publishing House: 1~265 (in Chinese without English abstract).
- Li Ruibao, Pei Xianzhi, Ding Saping, Li Zuochen, Feng Jianyun, Sun Yu, Zhang Yafeng, Liu Zhanqing. 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Pipasi Basic volcanic rocks within the Mian-Lue tectonic zone in the Southern Margin of West Qinling and its geological implication. *Acta Geologica Sinica*, 83(11): 1613~1623 (in Chinese with English abstract).
- Li Ruibao. 2012. *Research on the Late Paleozoic-Early Mesozoic Orogeny in East Kunlun Orogen*, Xi'an: Chang'an University. 1~150 (in Chinese with English abstract).
- Li Ruibao, Pei Xianzhi, Li Zuochen, Liu Zhanqing, Chen Guochao, Chen Youxin, Wei Fanghui, Gao Jingmin, Liu Chengjun, Pei Lei. 2012. Geological characteristics of Late Palaeozoic-Mesozoic unconformities and their response to some significant tectonic events in eastern part of Eastern Kunlun. *Earth Science Frontiers*, 19(5): 244~254 (in Chinese with English abstract).
- Li Ruibao, Pei Xianzhi, Li Zuochen, Sun Yu, Pei Lei, Chen Guochao, Chen Youxin, Liu Chengjun, Wei Fanghui. 2013. Regional tectonic transformation in East Kunlun Orogenic Belt in Early Paleozoic: constraints from the geochronology and geochemistry of Helegangnaren alkali-feldspar granite. *Acta Geologica Sinica*, 87(2): 333~345.
- Li Xianhua. 1999. U-Pb zircon ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance. *Geochimica*, 28(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, Zhou Hanwen, Li Wuxian, Liu Ying. 2001. U-Pb zircon ages of the Neoproterozoic granitoids in South China and their tectonic implications. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 20(4): 271~273 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, Liu Ying, Liang Xirong. 2002. U-Pb zircon geochronological geochemical and Nd isotopic study of Neoproterozoic basaltic magmatism in Western Sichuan: Petrogenesis and geodynamic implications. *Earth Science Frontiers*, 9(4): 329~338 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiaobing, Pei Xianzhi, Chen Youxin, Liu Chengjun, Li Ruibao, Li Zuochen, Chen Guochao, Xu Tong, Yang Jie, Hu Nan. 2014. Metamorphosed polymictic conglomerate layer zircon U-Pb age and its geological significance at Balong Area in east part of Eastern Kunlun Mountains. *Geological Review*, 60(6): 1213~1230 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhengxiang, Li Xianhua, Kinny P D. 2003. Geochronology of Neoproterozoic rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122: 85~109.
- Liu Bin, Ma Changqian, Jiang Hongan, Guo Pan, Zhang Jinyang, Xiong Fuhao. 2013. Early Paleozoic tectonic transition from ocean subduction to collisional orogeny in the Eastern Kunlun region: Evidence from Huxiaoqin mafic rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 29(6): 2093~2106 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoming, Gao Shan, Diwu Chunrong, Ling Wenli. 2008. Precambrian crustal growth of Yangtze craton as revealed by detrital zircon studies. *American Journal of Science*, 308: 421~468.
- Lu Songnian. 2001. From Rodinia to Gondwanaland supercontinents-thinking about problems of researching Neoproterozoic supercontinents. *Earth Science Frontiers*, 8(4): 441~448 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong. 2003. Characteristics, sequence and ages of Neoproterozoic thermo-tectonic events between Tarim and Yangzi blocks-a hypothesis of Yangzi-Tarim connection. *Earth Science Frontiers*, 10(4): 321~326 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun, Guo Kunyi, Wang Huichu, Jin Wei, Zhang Chuanlin, Liu Yongshun. 2006. *Research for the key Precambrian geological problem of China-Precambrian key geological events group and its tectonic significance*. Beijing: Geological Publishing House: 1~206 (in Chinese without English abstract).
- Ludwig K R. 2003. Isoplot /Ex version 2. 49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 1a: 1~56.
- McLennan S M, Bock B, Compston W, Hemming S R, McDaniel D K. 2001. Detrital zircon geochronology of Taconian and Acadian foreland sedimentary rocks in New England. *Journal of Sedimentary Research*, 7: 305~317.
- Meng Fancong, Cui Meihui, Wu Xiangke, Wu Jiufang, Wang Jianhua. 2013a. Magmatic and metamorphic events recorded in granitic gneisses from the Qimantag, East Kunlun Mountains, Northwest China. *Acta Petrologica Sinica*, 29(6): 2107~2122 (in Chinese with English abstract).
- Meng Fangcong, Zhang Jianxin, Cui Meihui. 2013b. Discovery of Early Paleozoic eclogite from the East Kunlun, Western China and its tectonic significance. *Gondwana Research*, 23: 825~836.
- Nelson D R. 2001. An assessment of the determination of depositional ages for Precambrian clastic sedimentary rocks by U-Pb dating of detrital zircon. *Geological Society of America Bulletin*, 141/142: 137~160.
- Nutman A P. 2001. On the scarcity of >3900 Ma detrital zircons in

- ≥3500 Ma metasediments. *Precambrian Research*, 105(2): 93~114.
- Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xinzhen. 1997. Geological evolution of Eastern Tethys. Beijing: Geological Publishing House: 1~156 (in Chinese without English abstract).
- Pei Xianzhi, Liu Zhanqing, Ding Saping, Li Zuochen, Li Gaoyang, Li Rui-bao, Wang Fei, Li Fujie. 2007. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the gabbro from the Baihua Igneous Complex in Tianshui Area, Eastern Gansu, and its geological significance. *Advances In Earth Science*, 22(8): 818~827 (in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Ding Saping, Li Zuochen, Liu Zhanqing, Li Ruibao, Feng Jianyun, Sun Yu, Zhang Yafeng, Liu Zhigang, Zhang Xiaofei, Chen Guochao, Chen Youxin. 2009. Early Paleozoic Tianshui-Wushan tectonic zone of the Northern Margin of West Qinling and its tectonic evolution. *Acta Geologica Sinica*, 83(11): 1547~1546 (in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Li Zuochen, Li Ruibao. 2012. LA-ICP-MSU-Pb ages of detrital zircons from the meta-detrital rocks of the Early Palaeozoic Huluhu Group in eastern part of Qilian orogenic belt: Constraints of material source and sedimentary age. *Earth Science Frontiers*, 19(5): 205~224 (in Chinese with English abstract).
- Qin Jiangfeng, Lai Shaocong, Rodney G, Diwu Chunrong, Ju Yinjuan, Li Yongfei. 2009. Geochemical evidence for origin of magma mixing for the Triassic monzonitic granite and its enclaves at Mishuling in the Qinling orogen (central China). *Lithos*, 112(3~4): 259~276.
- Qiu Yumin M., Gao Shan, McNaughton N J, Groves D I, Ling Wenli. 2000. First evidence of ≥3.2Ga continental crust in the Yangtze craton of South China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics. *Geology*, 28: 11~14.
- Sircombe K N. 1999. Tracing provenance through the isotope ages of literal and sedimentary detrital zircon, eastern Australia. *Sedimentary Geology*, 124: 47~67.
- Tan Shengxiang, Bai Yongshan, Chang Gehong, Tong Haikui, Bao Guangpu. 2004. Discovery and geological significance of metamorphic and intrusive rock (system) of Qimantage region in Jinning epoch. *Northwestern Geology*, 37(1): 69~73 (in Chinese with English abstract).
- Vavra G, Schmid R, Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibole to granulite facies zircon: geochronology of the Ivren Zone (Southern Alps). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134(4): 380~404.
- Wan Yusheng, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Zhang Jianxin. 2003a. The Precambrian High-grade Basement of the Qilian Terrane and Neighboring Areas: Its Ages and Compositions. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(4): 319~324 (in Chinese with English abstract).
- Wan Yusheng, Zhang Qiaoda, Song Tianrui. 2003b. Detrital zircon SHRIMP age of Changzhougou group in Beijing Ming tombs: Sedimentary Provenance and largest sedimentary age limit of the North China Craton. *Chinese Science Bulletin*, 48(18): 1969~1975 (in Chinese without English abstract).
- Wang Bingzhang, Qi Shengsheng, Zhu yingtang, Zhang zhiyong. 1999. Geological features of the Paleoproterozoic meta-basic dike swarms in Kuhai-Saishitang region and it significance. *Qinghai Geology*, 1: 6~11 (in Chinese with English abstract).
- Wang Bingzhang, Zhang senqi, Zhang zhiyong, Wang Jin. 2001. Proterozoic ophiolite in the Zhanahere area in the east section of the East Kunlun. *Regional Geology Of China*, 20(1): 53~57 (in Chinese with English abstract).
- Wang Guocan, Wang Qinghai, Jian Ping, Zhu Yunhai. 2004. Zircon SHRIMP ages of Precambrian metamorphic basement rocks and their tectonic significance in the eastern Kunlun Mountains, Qinghai Province, China. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 481~490 (in Chinese with English abstract).
- Wang Guocan, Wei Qirong, Jia Chunxing, Zhang Kexin, Li Dewei, Zhu Yunhai, Xiang Shuyuan. 2007. Some ideas of Precambrian geology in the East Kunlun. China. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 929~937 (in Chinese with English abstract).
- Weislogel A L, Graham S A, Chang E Z, Wooden J L, Gehrels G E, Yang Hengshu. 2006. Detrital zircon provenance of the Late Triassic Songpan-Ganzi complex: sedimentary record of collision of the North and South China blocks. *Geology*, 34: 97~100.
- Whitehouse M J, Kamber B S. 2002. On the overabundance of light rare earth elements in terrestrial zircons and its implication for Earth's earliest magmatic differentiation. *Earth Planet Sci Lett*, 204(3~4): 333~346.
- Xiong Fuhao, Ma Changqian, Zhang Jinyang, Liu Bin. 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, elements and Sr-Nd-Hf isotope geochemistry of the Early Mesozoic mafic dyke swarms in East Kunlun orogenic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 27(11): 3350~3364 (in Chinese with English abstract).
- Xu Tong, Pei Xianzhi, Li Ruibao, Li Zuochen, Pei Lei, Liu Chengjun, Chen Youxin, Wang Xiaowei, Yang Jie, Hu Nan. 2013. Geochemical characteristics, LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and tectonic significance of Zhangyangou bimodal volcanic rocks in Hengxianhe area, Mian-Lue tectonic zone. *Geology in China*, 40(6): 1777~1792 (in Chinese with English abstract).
- Xu Yajun, Du Yuansheng, Cawood P A, Guo Hua, Huang Hu, An Zhihui. Detrital zircon record of continental collision: Assembly of the Qilian Orogen, China. *Sedimentary Geology*, 230(1): 35~45.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Wenchang, Li Huaqi, Cai Zhihui, Yan Zhen, Ma Changqian. 2013. Paleo-Tethys system and accretionary orogen in the Tibet Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 29(6): 1847~1860 (in Chinese with English abstract).
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Yan Zhen, Xiang Zhongjin, Chen Junlu, Wang Tao. 2012. SHRIMP Analyses for Ophiolitic-Mafic Blocks in the Kangxian-Mianxian Section of the Mianxian-Lueyang Melange: Their Geological Implications. *Geological Review*, 53(6): 755~763 (in Chinese with English abstract).

- Yan Zhen, Wang Zongqi, Li Jiliang, Xu Zhiqin, Deng Jinfu. 2012. Tectonic settings and accretionary orogenesis of the West Qinling Terrane, northeastern margin of the Tibet Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 28(6): 1808~1828 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Li Haibing and Shi Rendeng. 2005. The paleo-Tethyan volcanism and plate tectonic regime in the A'nyemaqen region of East Kunlun, northern Tibet Plateau. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 24(5): 369~380 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Gao Shan, Liu Xiaoming, Li Huiming, Gunther D, Wu Fuyuan. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28(3): 353~370.
- Zhai Mingguo, Hu Bo, Peng Peng. 2014. Meso-Neoproterozoic magmatic events and multi-stage rifting in the NCC. *Earth Science Frontiers*, 21(1): 100~119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Guo Anlin, Yao Anping. 2004. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 23~32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hongfei, Chen Yuelong, Xu Wangchun, Liu Rong, Yuan Honglin, Liu Xiaoming. 2006. Granitoids around Gonghe basin in Qinghai province: petrogenesis and tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2910~2922 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jin, Li Jinyi, Liu Jianfeng, Li Yanfeng, Qu Junfeng, Feng Qianwen. 2012. The relationship between the Alxa Block and the North China Plate during the Early Paleozoic: New information from the Middle Ordovician detrital zircon ages in the eastern Alxa Block. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2912~2934 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinming, Wang Qinyuan, Xu Haiquan, Yan Yufeng. 2012. Discovery and geological significance of metamorphic and intrusive rock (system) of Kayakedengtage region intruded into Jinshuihou Paleo-proterozoic rock. *Northwestern Geology*, 45(3): 13~19 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shaobing, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, Gao Shan, Wu Fuyuan. 2006. Zircon U-Pb age and Hf isotope evidence for 3.8 Ga crustal remnant and episodic reworking of Archean crust in South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 252: 56~71.
- Zhang Xueting, Yang Shengde. 2007. Plate tectonic of Qinghai Province. Beijing: Geological Publishing House: 1~125 (in Chinese without English abstract).
- Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan, Zhang Qiaoda, Wwang Jinhui. 2001. Geochronology of the Hannan intrusive complex to adjoin the Qinling orogen and its rapid cooling reason. *Chinese Science Bulletin*, 46(8): 685~689 (in Chinese without English abstract).

参 考 文 献

- 陈有妍, 裴先治, 李瑞保, 刘战庆, 李佐臣, 张晓飞, 陈国超, 刘智刚, 丁仁平, 郭俊锋. 2011. 东昆仑造山带东段元古界小庙岩组的锆石 U-Pb 年龄. *现代地质*, 25(3): 510~521.
- 陈有妍. 2015. 东昆仑造山带东段前泥盆纪变质岩系物质组成及构造演化. 西安: 长安大学: 1~160.
- 陈岳龙, 周建, 皮桥辉, 王忠, 李大鹏. 2009. 青海共和-花石峡三叠纪碎屑沉积岩的地球化学特征与锆石 U-Pb 年龄及地质意义. *地质学前沿*, 16(2): 161~174.
- 董国安, 杨怀仁, 杨宏仪, 刘敦一, 张建新, 万渝生, 曾建元. 2007. 祁连地块前寒武纪基底锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义. *科学通报*, 52(19): 2687~2701.
- 董云鹏, 杨钊, 张国伟, 赵霞, 徐静刚, 姚安平. 2008. 西秦岭关子镇蛇绿岩地球化学及其大地构造意义. *地质学报*, 82(9): 1186~1195.
- 范建军, 李才, 王明, 解超明, 吴彦旺. 2014. 青藏高原羌塘南部冈玛错地区展金组的沉积环境分析及碎屑锆石 U-Pb 定年. *地质学报*, 88(10): 1820~1831.
- 葛肖虹, 刘俊来. 2000. 被肢解的“西域克拉通”. *岩石学报*, 16(1): 59~66.
- 郭进京, 陆松年. 1999. 中国新元古代大陆拼合与 Rodina 超大陆. *高校地质学报*, 5(2): 148~156.
- 胡波, 翟明国, 彭澎, 刘富, 第五春荣, 王浩铮, 张海东. 2013. 华北克拉通元古代末—新元古代地质事件—来自北京西山地区寒武系和侏罗系碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学证据. *岩石学报*, 29(7): 2508~2536.
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵. 1992. 昆仑开合构造. 北京: 地质出版社.
- 李碧乐, 孙丰月, 于晓飞, 钱烨, 王冠, 杨延乾. 2012. 东昆仑隆起东段闪长岩 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究. *岩石学报*, 28(4): 1163~1172.
- 李大鹏, 罗照华, 陈岳龙. 2013. 腾冲地块石炭系沉积岩物源及古地理位置: 源自碎屑锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素的制约. *地质学报*, 87(z1): 377.
- 李荣社, 计文化, 杨永成. 2008. 昆仑山及邻区地质. 北京: 地质出版社: 1~265.
- 李瑞保, 裴先治, 丁仁平, 李佐臣, 冯建赞, 孙雨, 张亚峰, 刘战庆. 2009. 西秦岭南缘勉略带琵琶寺基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. *地质学报*, 83(11): 1613~1623.
- 李瑞保. 2012a. 东昆仑造山带(东段)晚古生代—早中生代造山作用研究. 西安: 长安大学: 1~150.
- 李瑞保, 裴先治, 李佐臣, 刘战庆, 陈国超, 陈有妍, 魏方辉, 高景民, 刘成军, 裴磊. 2012b. 东昆仑东段晚古生代—中生代若干不整合面特征及其对重大构造事件的响应. *地质学前沿*, 19(5): 244~254.
- 李献华. 1999. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义. *地球化学*, 28: 1~9.
- 李献华, 李正祥, 葛文春, 周汉文, 李武显, 刘颖. 2001. 华南新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. *矿物岩石地球化学通报*, 20(4): 271~273.
- 李献华, 李正祥, 周汉文, 刘颖, 梁细荣. 2002. 川西新元古代玄武质岩浆岩的锆石 U-Pb 年代学、元素和 Nd 同位素研究: 岩石成因与

地球动力学意义. 地学前缘, 9(4): 329~338.

李小兵, 裴先治, 陈有忻, 刘成军, 李瑞保, 李佐臣, 陈国超, 徐通, 杨杰, 胡楠. 2014. 东昆仑东段巴隆地区变复成分砾岩层锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质论评, 60(6): 1212~1230.

刘永江, Neubauer F, 李伟民, Genser J, 李伟. 2012. 柴北缘—南祁连地区构造热事件. 吉林大学学报(地球科学版), 42(5): 1317~1329.

刘彬, 马昌前, 蒋红安, 郭盼, 张金阳, 熊富浩. 2013. 东昆仑早古生代洋壳俯冲与碰撞造山作用的转换: 来自胡晓钦镁铁质岩石的证据. 岩石学报, 29(6): 2093~2106.

陆松年. 2001. 从罗迪尼亚到冈瓦纳超大陆-对新元古代超大陆研究几个问题的思考. 地学前缘, 8(4): 441~448.

陆松年, 李怀坤, 陈志宏. 2003. 塔里木与扬子新元古代热—构造事件特征、序列和时代: 扬子与塔里木连接假设. 地学前缘, 10(4): 321~326.

陆松年, 于海峰, 李怀坤, 郭坤一, 王惠初, 金巍, 张传林, 刘永顺. 2006. 中国前寒武纪重大地质问题研究—中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义. 北京: 地质出版社, 1~206.

孟繁聪, 崔美慧, 吴祥珂, 吴久芳, 王建华. 2013. 东昆仑祁漫塔格花岗片麻岩记录的岩浆和变质事件. 岩石学报, 29(6): 2107~2122.

潘桂堂, 陈智梁, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社: 1~156

裴先治, 刘战庆, 丁仁平, 李佐臣, 李高阳, 李瑞保, 王飞, 李夫杰. 2007. 甘肃天水地区百花岩浆杂岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义. 地球科学进展, 22(8): 818~827.

裴先治, 丁仁平, 李佐臣, 刘战庆, 李瑞保, 冯建赞, 孙雨, 张亚峰, 刘智刚, 张晓飞, 陈国超, 陈有忻. 2009. 西秦岭北缘早古生代天水—武山构造带及其演化. 地质学报, 83(11): 1547~1546.

裴先治, 李佐臣, 李瑞保, 裴磊, 刘成军, 高景民, 魏方辉, 吴树宽, 王银川, 陈有忻. 2012. 祁连造山还东段早古生代葫芦河群变质碎屑岩中碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄: 源区特征和沉积时代的限定. 地学前缘, 19(5): 205~224.

谈生祥, 拜永山, 常革红, 童海奎, 保光普. 2004. 祁漫塔格地区晋宁期变质侵入岩(体)的发现及其地质意义. 西北地质, 37(1): 69~73.

万渝生, 许志琴, 杨经绥, 张建新. 2003a. 祁连造山带及邻区前寒武纪深变质基底的时代和组成. 地球学报, 24(4): 319~324.

万渝生, 张巧大, 宋天锐. 2003b. 北京十三陵长城系常州沟组碎屑锆石 SHRIMP 年龄: 华北克拉通盖层物源区及最大沉积年龄的限定. 科学通报, 48(18): 1969~1975.

王秉璋, 张森琦, 张智勇, 王瑾. 2001. 东昆仑东端扎那合惹地区元古宙蛇绿岩. 中国区域地质, 20(1): 53~57.

王秉璋, 祁生胜, 朱迎堂, 张智勇. 1999. 苦海-赛什塘地区古元古代变质基性岩墙群的地质特征及意义. 青海地质, 1: 6~11.

王国灿, 王青海, 简平, 朱云海. 2004. 东昆仑前寒武纪基底变质岩系的锆石 SHRIMP 年龄及其构造意义. 地学前缘, 11(4): 481~490.

王国灿, 魏启荣, 贾春兴, 张克信, 李德威, 朱云海, 向树元. 2007. 关于东昆仑地区前寒武纪地质的几点认识. 地质通报, 26(8): 929~937.

熊富浩, 马昌前, 张金阳, 刘彬. 2010. 东昆仑造山带早中生代镁铁质岩墙群 LA-ICP-MS 锆石定年、元素和 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学. 岩石学报, 27(11): 3350~3364.

许志琴, 杨经绥, 李文昌, 李化启, 蔡志慧, 闫臻, 马昌前. 2013. 青藏高原中的古特提斯体制与增生造山作用. 岩石学报, 29(6): 1847~1860.

徐通, 裴先治, 李瑞保, 李佐臣, 裴磊, 刘成军, 陈有忻, 汪晓伟, 杨杰, 胡楠. 2013. 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、LAICPMS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 中国地质, 40(6): 1777~1792

闫臻, 王宗起, 李继亮, 许志琴, 邓晋福. 2012. 西秦岭楔的构造属性及其增生造山过程. 岩石学报, 28(6): 1808~1828.

闫全人, 王宗起, 闫臻, 向忠金, 陈隽璐, 王涛. 2012. 秦岭勉略构造混杂岩带康县—勉县段蛇绿岩块—镁铁质岩块的 SHRIMP 年代及其意义. 地质论评, 53(6): 755~763.

杨经绥, 许志琴, 李海兵, 史仁灯. 2005. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系. 岩石矿物学杂志, 24(5): 369~380.

翟明国, 胡波, 彭澎, 赵太平. 2014. 华北中新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件. 地学前缘, 21(1): 100~119.

张国伟, 郭安林, 姚安平. 2004. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结. 地学前缘, 11(3): 23~32.

张宏飞, 陈岳龙, 徐旺春, 刘荣, 袁洪林, 柳小明. 2006. 青海共和盆地周缘印支期花岗岩类的成因及其构造意义. 岩石学报, 22(12): 2910~2922.

张雪亭, 杨生德. 2007. 青海省板块构造. 北京: 地质出版社: 1~125

朱云海, 张克信, Pan Yuanming, 陈能松, 王国灿, 侯光久. 1999. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义. 地球科学, 24(2): 134~138.

张金明, 王钦元, 许海全, 严玉峰. 2012. 喀雅克登塔格地区古元古代金水口变质侵入岩(体)的发现及其地质意义. 西北地质, 45(3): 13~19.

张进, 李锦铁, 刘建峰, 李岩峰, 曲军峰, 冯乾文. 2012. 早古生代阿拉善地块与华北地块之间的关系: 来自阿拉善东缘中奥陶统碎屑锆石的信息. 岩石学报, 28(9): 2912~2934.

**LA-ICP-MS Zircon Age of Metamorphism Rocks
in the Rouqigang Area of Western Gonghe Basin:
Maximum Depositional Ages of Protoliths and Provenance Feature**

LI Ruibao^{1,2)}, PEI Xianzhi¹⁾, YANG Shuahai²⁾, WANG Weifeng²⁾, WEI Liyong²⁾, SUN Yu³⁾,
LI Fei²⁾, LIU Mannian²⁾, ZHAO Changcun²⁾, LI Zuo Chen¹⁾, YANG Gaoxue¹⁾, CHEN Lizi²⁾

1) *Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Chang'an University, Xi'an, 710054;*

2) *No. 5 Gold Geological Party of Chinese Armed Police Force, Xi'an, 710000;*

3) *National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis Technology,
Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing, 100029*

Abstract

Paleoproterozoic Jinshui Kou Group in the west of the West Qinling composed by sericite-quartz schist, chlorite-sericite-quartz schist and biotite quartz schist, underwent greenschist facies metamorphism, which has much debate about the deposition time and tectonics property of metamorphic basement. With two schist samples of the Jinshui Kou Group in the Rouqigang area of Qinghai province as the research object, this paper used the LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic geochronologic method to determine the formation age, sedimentary source of Jinshui Kou Group and metamorphic basement affinity. Detrital zircon U-Pb age spectrum of two schist samples can be divided into two major age spectrums of Neoproterozoic and Paleoproterozoic, and two minor age spectrum of Mesoproterozoic. Neoproterozoic age spectrums are group 688~908 Ma and 711~841 Ma, with peak values of 788 Ma and 780 Ma; Paleoproterozoic age spectrums are group 1871~2174 Ma and 1832~2194 Ma, with peak values of 2140 Ma and 2072 Ma; Mesoproterozoic age spectrums are group 1520~1638 Ma and 1271~1276 Ma, with peak value of 1635 Ma and 1275 Ma. The age group information indicates that the sedimentary sources of the Jinshui Kou Group is much more complicated and characterized by obvious diversity. Its sources might have come mainly from the East Kunlun orogenic belt and the North Qaidam tectonic belt, and some from Yangtze plate, but without North China plate. More importantly, the U-Pb age spectrum of the schist zircon highlights about the 780 Ma age of Neoproterozoic, but without representative 1850 Ma age and 2500 Ma age of North China plate. In combination with regional data, the West Qinling basement, whose crystallization time is Early Neoproterozoic, is identical to the East kunlun block, the North Qaidam, and Qilian block, which all express tectonic affinity to the Yangtze plate.

Key words: West Qinling; detrital zircon; LA-ICP-MS zircon age; sedimentary sources; metamorphosed basement