

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2010.06073

长江流域现代沉积物碎屑锆石 U-Pb 年龄物源探讨

杨蓉¹, Diane Seward², 周祖翼¹

(1 同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092;

2 Department of Geography, Environment and Earth Sciences, Victoria University, Wellington, New Zealand)

摘要: 长江流域上游到入海口共 10 个现代沉积物样品碎屑锆石 U-Pb 年龄分析表明, 200~300、400~500、750~850 和 1 800~2 000 Ma 这 4 组年龄是长江流域沉积物 U-Pb 年龄的主要组成, 出现在大多数样品中, 其中又以 200~300、750~850 Ma 占主体。10 个样品中大多数锆石颗粒 $\text{Th}/\text{U} > 0.3$, 说明这些锆石多是岩浆成因的锆石。所有样品锆石年龄的重叠度和相似度都在 0.6 以上, 说明长江流域现代沉积物在不同河段, 其锆石 U-Pb 年龄相近。通过与长江流域可能物源区羌塘地块、义敦岛弧、松潘甘孜复理石盆地、扬子克拉通、秦岭造山带、大别造山带几个构造单元锆石 U-Pb 年龄对比发现, 除了羌塘地块和义敦岛弧之外, 其他几个构造单元几乎都包括 200~300、400~500、750~850 和 1 800~2 000 Ma 这 4 组年龄, 因此, 由锆石 U-Pb 年龄判别不出具体的物源供给。在青藏高原东部的红河和湄公河沉积物中反映出与长江流域相似的 U-Pb 年龄谱, 从而进一步证实由于长江流域可能物源区锆石 U-Pb 年龄的相似性, 单一碎屑锆石 U-Pb 年龄方法不能把各个物源区区分开来, 有必要与其他物源分析方法相结合。

关键词: 现代沉积物; 碎屑锆石; U-Pb 年龄; 物源分析; 长江流域

中图分类号:P539

文献标识码:A

文章编号: 0256-1492(2010)06-0073-11

长江源于青藏高原地区, 全长 6 300 多千米, 穿越我国 3 个地貌阶梯, 东流入海。长江的形成演化与中国大陆地形的演化密切相关, 这种地形的转变主要反映在新生代。中生代时中国的地形整体上是向西倾斜的^[1], 在东南沿海一带存在着带状山系, 在今长江流域中部一带分布着近南北向的巫山山脉。这两个山系成为当时河流的主要分水岭。在东南沿海山系以东, 水系东流; 巫山山脉以西, 水系西流, 并与南北向川江和金沙江汇合, 经红河注入南海。而介于两个山系之间的水系则成为内流河或流向西南。因此, 从当时的情况来看, 长江还不是一条连续完整的河流。新生代以来, 由于欧亚板块和印度板块的碰撞, 青藏高原隆升, 导致中国地形发生剧烈变化, 形成西高东低的地形特征。于是古长江通过溯源侵蚀、河流袭夺等方式, 使金沙江由南流改为东流, 上游水系贯穿三峡地区东流出川和中游水系贯穿湖泊群东流入海, 形成现代意义的长江^[2]。

河流的形成演化是构造、气候等因素共同作用的结果, 河流中携带的沉积物保存着流域演化的相关信息。具体到长江流域, 其沉积物从源到汇过程的研究对于认识青藏高原隆升与东亚季风演化、我

国新生代地形的宏观格局演化等均具有重要意义。然而, 综合前人的认识不难发现, 这些研究主要只集中在长江三角洲地区, 缺乏对整个流域的系统研究。近 20 多年来, 随着新的定年手段的出现, 单颗粒矿物年龄的研究与应用得到了较大发展, 尤其是激光熔蚀电感耦合质谱仪(LA-ICPMS)对于单颗粒锆石的精确定年, 使得碎屑锆石 U-Pb 年龄分析方法广泛应用于沉积物物源研究^[3-7]。

1 分析方法

在长江干流上游到入海口不同河段和部分支流共采集了 10 个现代沉积物砂样(图 1, 表 1), 每个样品的重量大约 3 kg。样品采集回来, 经过淘洗和常规的重液和磁选过程, 最后经过人工镜下挑选得到纯净的锆石颗粒。

对于每一个锆石样品, 随机选择若干锆石颗粒, 将其按长条状黏贴在双面胶上。每一个样品在双面胶上排列 2~3 排。一个样品靶上黏贴两个样品, 分别分布在靶的两侧。整个样品大约分布在直径为 10 mm 的范围内, 且两个待测样品之间要保留适当空隙, 以黏贴标准锆石。本研究按照亚利桑那大学 Laser Chron 中心标准, 选用的标准锆石是 SL13(年龄为 564 ± 4 Ma, $^{238}\text{U} = 238 \mu\text{g/g}$) 和 R33, 前者用于校正 U 含量, 后者用于校正年龄。锆石颗粒排列完

基金项目: 国家自然科学基金项目(40621063)

作者简介: 杨蓉(1985—), 女, 硕士, 从事低温年代学研究,
E-mail: longli9@163.com

收稿日期: 2010-04-14; 改回日期: 2010-08-20. 周立君编辑

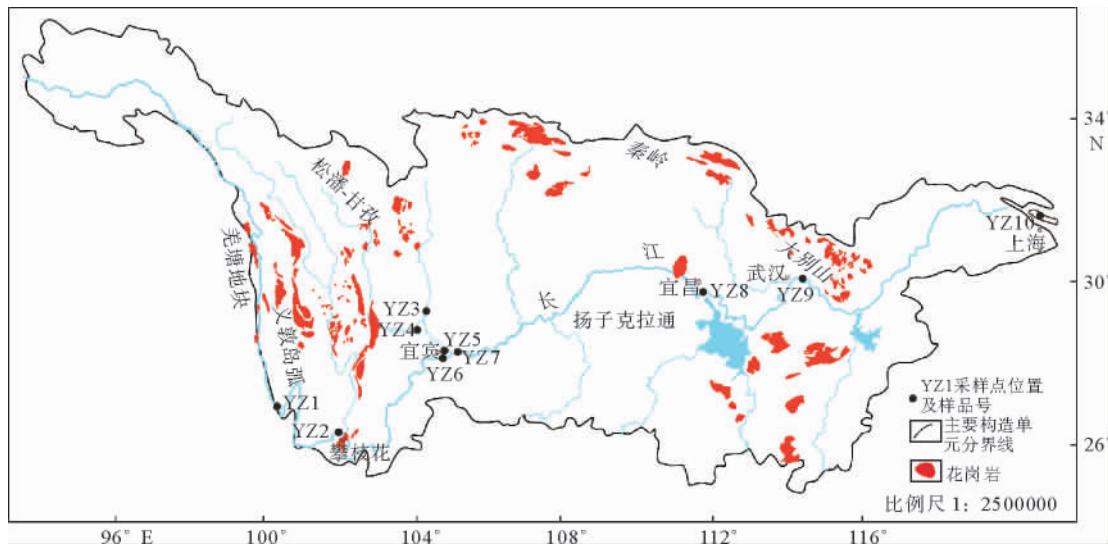


图 1 长江流域采样点位置及花岗岩分布(据 1:2500000 中华人民共和国地质图修改)

Fig. 1 Sampling sites and distribution of granites in the Yangtze drainage basin

(modified from the 1:250000 China Geological Map)

表 1 长江流域各个采样点位置

Table 1 Location of sampling sites in the Yangtze drainage basin

样品号	采样点	位置	高度/m
YZ1	石鼓镇长江 第一湾	26°52'26.3"N, 99°57'38.1"E	1 817
YZ2	攀枝花格里 坪金沙江	26°35'41.2"N, 101°31'39.9"E	1 849
YZ3	乐山岷江	29°32'52.9"N, 103°46'01.7"E	340.7
YZ4	乐山大渡河	29°33'09.9"N, 103°45'40.8"E	341.7
YZ5	宜宾岷江	28°46'30.2"N, 104°37'38.1"E	373.1
YZ6	宜宾金沙江	28°46'30.2"N, 104°37'38.1"E	293.6
YZ7	宜宾长江	28°46'15.2"N, 104°38'50.9"E	243.3
YZ8	宜昌长江	30°41'14.5"N, 111°17'25.3"E	28.6
YZ9	武汉长江	30°33'00.2"N, 114°17'16.6"E	30.5
YZ10	上海崇明岛	31°29'07"N, 121°54'42"E	4.2

毕后,将内径为 22 mm,外径约 25 mm 的聚四氟乙烯空心柱放置在已黏贴了锆石的双面胶表面,使锆石位于空心柱中心。将按照质量比 25 : 3 配制的 Struers EPOES 树脂和 EPOAR 凝固剂搅匀,灌注在空心柱中,并将其在室温下放置 24 h。待其冷却后进行抛光和显微照相,处理完毕,就可以将样品靶放置在样品盒中,进行 U-Pb 测试。

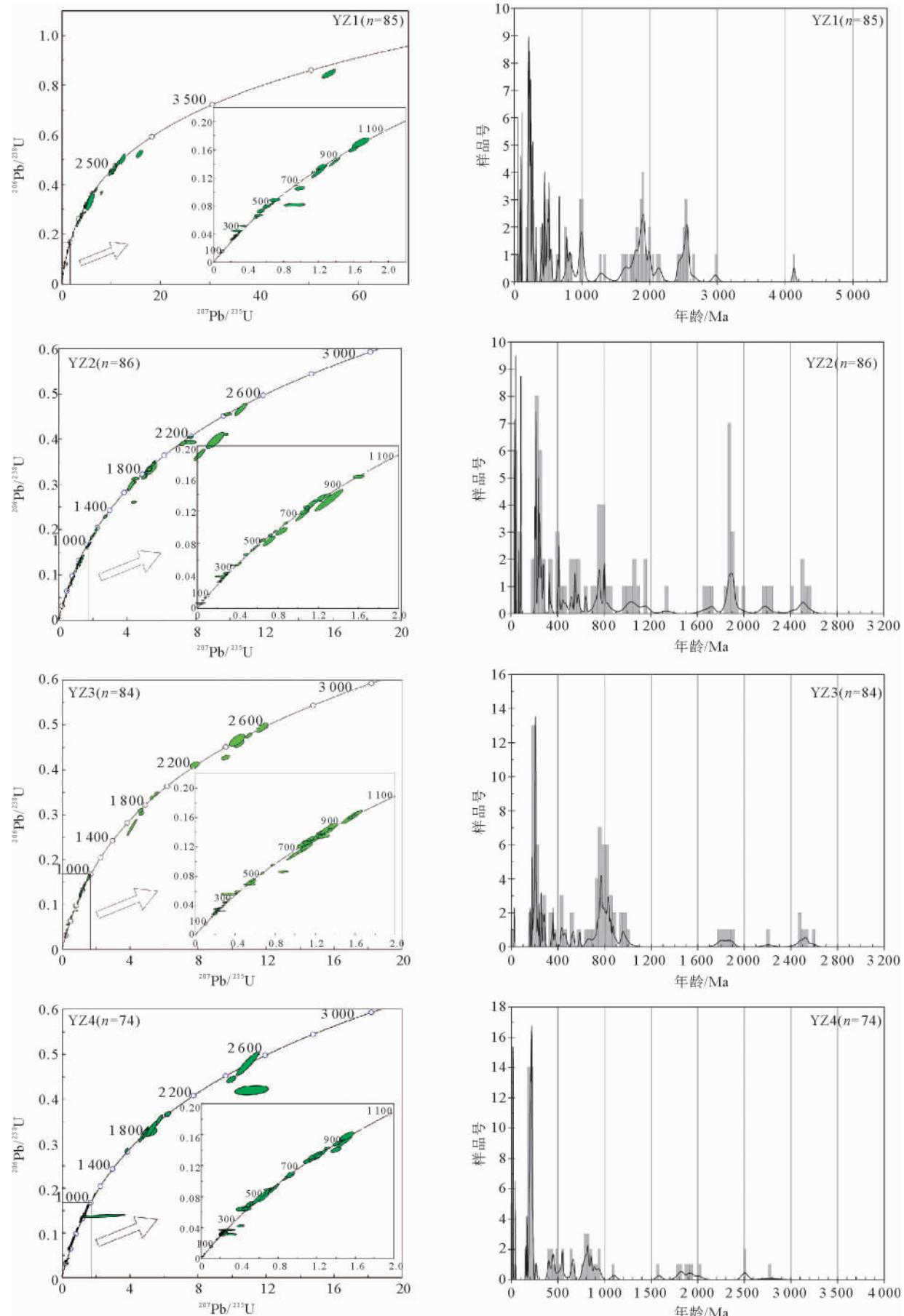
锆石 U-Pb 年龄测试是在美国亚利桑那大学 Laser Chron 中心进行的,采用的仪器是激光熔蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICPMS)。每一个样品随机选择 100 粒锆石进行测试,样品测试过程中采用的激光束斑直径为 35 μm 。对于颗粒较小的锆石,采用 25 μm 的激光束斑。得到原始数据后用亚

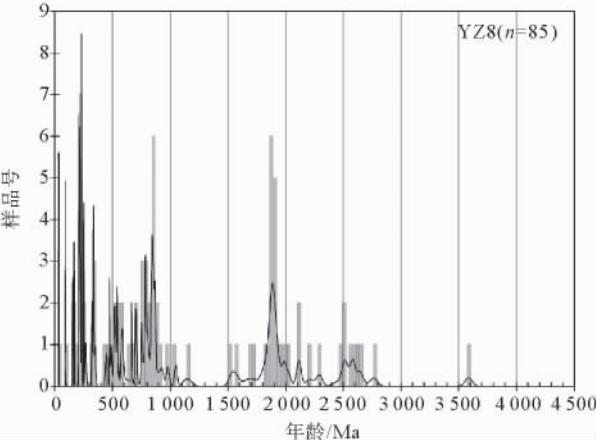
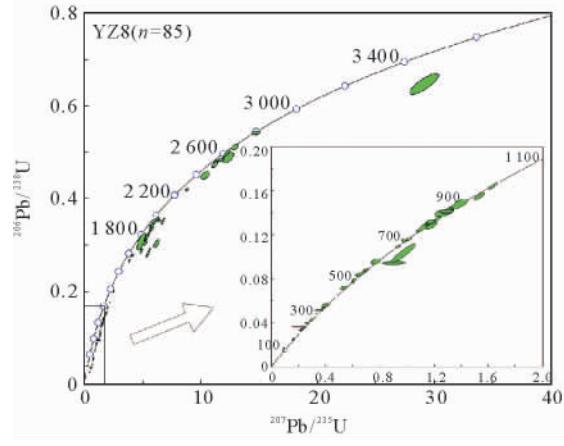
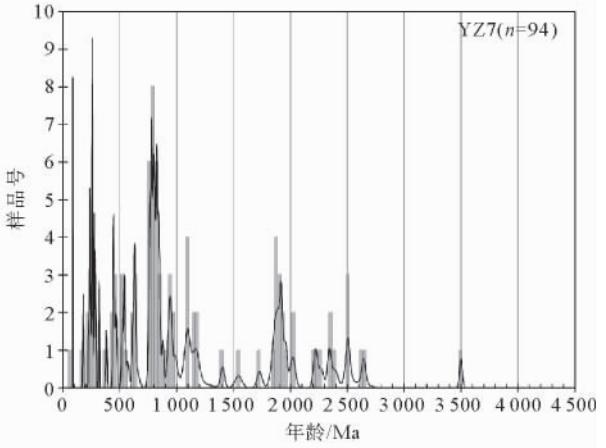
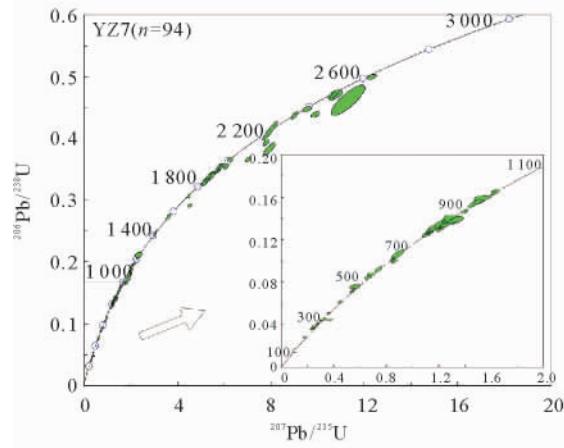
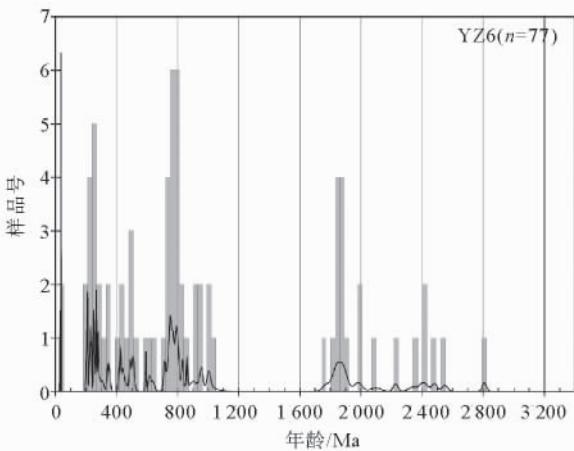
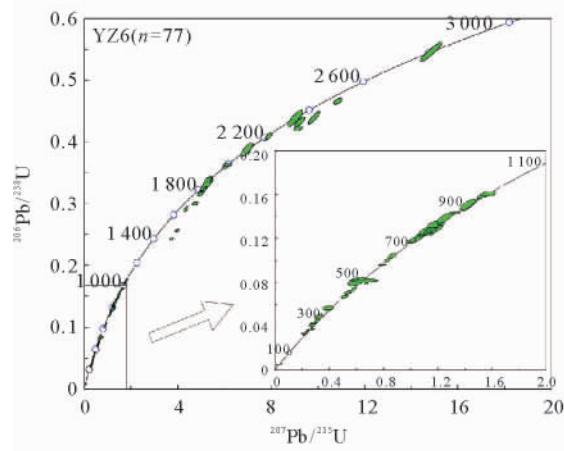
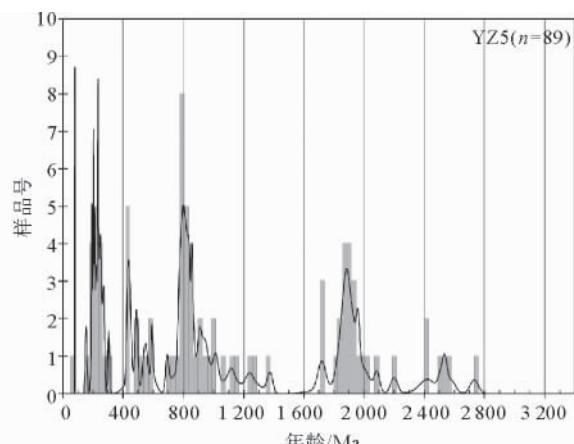
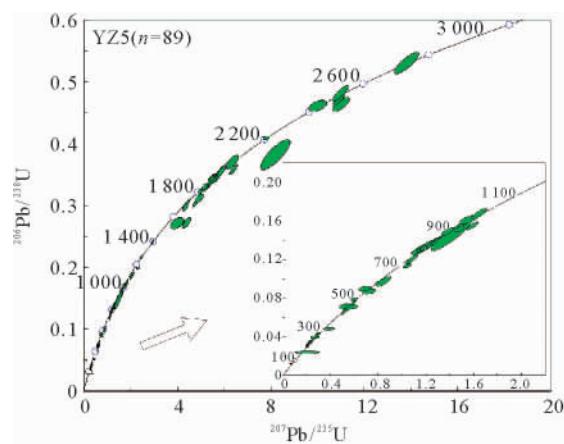
利桑那大学 Laser Chron 中心的 agecalc 软件进行处理,对数据经过了普通 Pb 校正、深度校正和分馏作用校正。普通 Pb 校正采用的是 Stacey 和 Kramers(1975)²⁰⁴ Pb 校正模型,深度校正和分馏作用校正都是通过标准锆石颗粒进行。

由于 U-Pb 体系 Pb 的丢失,会导致²⁰⁶ Pb/²³⁸ U、²⁰⁷ Pb/²³⁵ U 和²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 这 3 个年龄的不谐和。在本研究中,不谐和度的分割点取 30%,即不谐和度超过 30% 的数据均视为不谐和。同时,对于谐和的数据点,其²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 和²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 这两个年龄数据值也存在差异,所以,在选取锆石颗粒的最佳年龄时,必须考虑到这两种年龄的测量精度。大量的数据证明,当年龄 < 1.0 Ga 时,²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 的年龄精度高于²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 的年龄精度;当年龄 > 1.0 Ga 时,²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 的年龄精度高于²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 的年龄精度。因此本研究在选取最佳年龄时,依据这个标准,对于 < 1.0 Ga 的年龄,统一选择²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 的年龄作为最佳年龄;对于 > 1.0 Ga 的年龄,统一选择²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 的年龄作为最佳年龄^[7]。

2 结果与讨论

经过上述数据处理过程后,样品 YZ1 至 YZ10 分别得到 85、86、84、74、89、77、94、85、94 和 88 个有效数据。全部 10 个样品的碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图和年龄谱图如图 2 所示。锆石颗粒 Th/U 分析表明,大多数颗粒的 Th/U > 0.3,反映是岩浆成因的锆石^[8]。





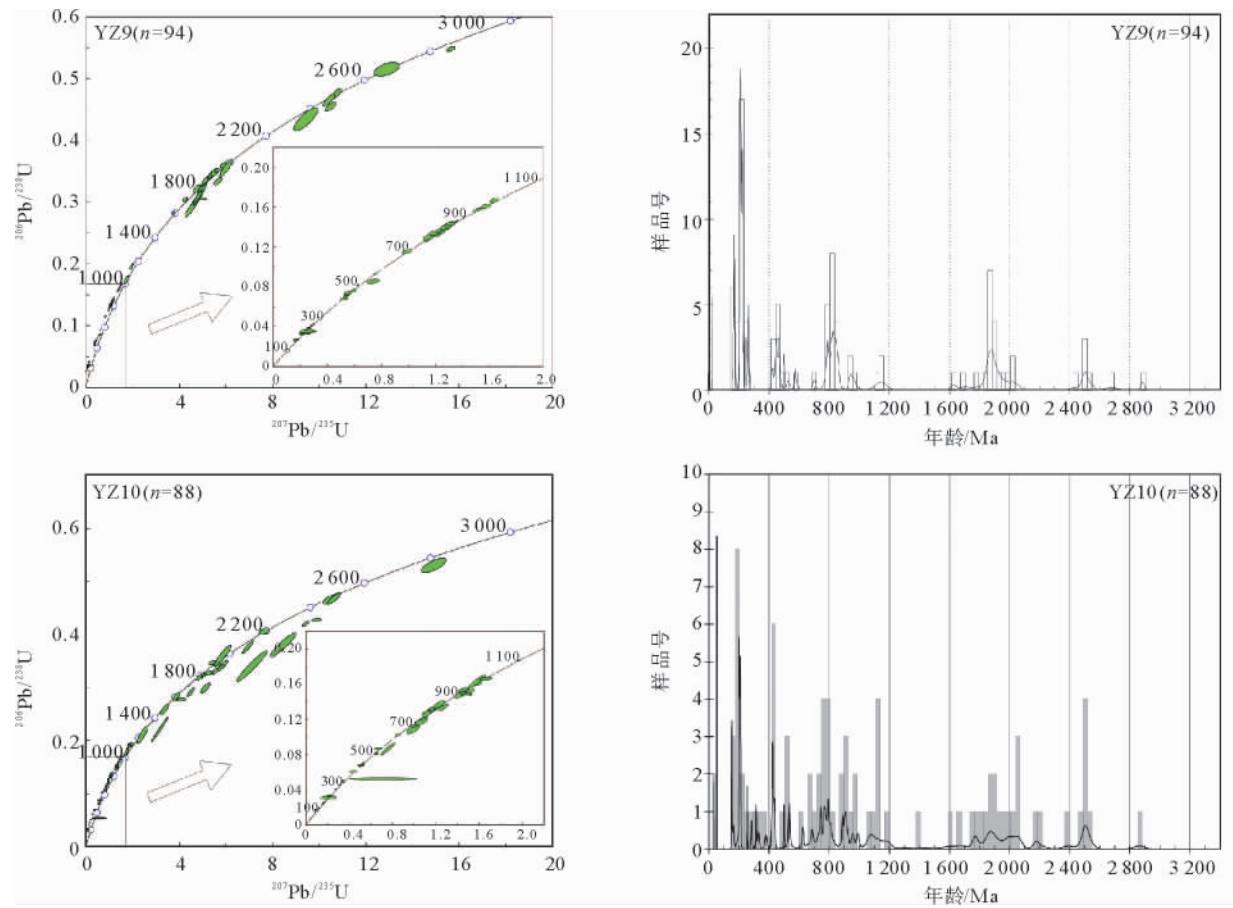


图 2 长江流域样品碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图和年龄谱图

Fig. 2 The U-Pb Concordia plots and age distribution patterns of detrital zircons in the Yangtze drainage basin

从长江上游金沙江样品 YZ1 到长江口样品 YZ10, 10 个现代沉积物样品中, 一共出现 6 组碎屑锆石 U-Pb 年龄, 即 <100 、 $200\sim300$ 、 $400\sim500$ 、 $750\sim850$ 、 $1\,800\sim2\,000$ 和 $2\,500$ (表 2)。其中仅有 2 个样品有 <100 Ma 的年龄组分, 10 个样品都包含 $200\sim300$ Ma 的年龄组分, 5 个样品有 $400\sim500$ Ma 组分, 9 个样品有 $750\sim850$ Ma 的组分, 6 个样品有 $1\,800\sim2\,000$ Ma 组分, 2 个样品有 $2\,500$ Ma 组分。因此认为 $200\sim300$ 、 $400\sim500$ 、 $750\sim850$ 、 $1\,800\sim2\,000$ Ma 这 4 组年龄是长江流域碎屑锆石的主要年龄组成。10 个样品碎屑锆石 U-Pb 年龄重叠度和相似度分析表明^[9~10], 所有样品重叠度和相似度都在 0.6 以上, 这在一定程度上说明长江流域现代沉积物在不同河段, 其锆石 U-Pb 年龄相近。

长江流域由于河流长度较长, 流域地形复杂, 锆石颗粒在被河流搬运的过程中很可能丢失, 不能自始至终存在于河流沉积物中。如在样品 YZ2 和 YZ4 中, 发现有 <100 Ma 的锆石组分, 其比例分别占到 10% 和 6.7%, 而在下游的各个采样点中没有

这部分年龄的体现。对于这部分锆石的丢失, 其所占的比例较少, 可能由于各个支流物质汇入的稀释, 所以没有在下游体现出来。而长江流域各个河段碎屑锆石 U-Pb 年龄表现出来的相似性, 很可能是沿途源区新补充锆石 U-Pb 年龄相近的结果。基于这一推论, 下面对长江流域各构造单元以及东南亚其他发源于青藏高原的大河流的沉积物碎屑锆石年龄与长江流域进行比较。

2.1 长江流域相关各构造单元年代学特征

2.1.1 羌塘地块

羌塘地块处于青藏高原的内部, 夹在金沙江缝合带和班公怒江缝合带之间, 以北是松潘甘孜复理石沉积盆地, 以南是拉萨地块。在构造上, 羌塘地块是一个复背斜, 核部由上古生代浅海相的地层和变质岩组成, 翼部由三叠纪至侏罗纪浅海和陆相地层及火山岩组成。综合前人的研究成果^[11], 羌塘地块的锆石 U-Pb 年龄表现为多峰值, 其主要峰值是 471~325 Ma 和 1 144~509 Ma, 在 1 400~2 000 Ma

表 2 长江流域样品碎屑锆石 U-Pb 年龄分布

Table 2 The distribution of U-Pb ages from detrital zircons in the Yangtze drainage basin %

U-Pb	YZ1	YZ2	YZ3	YZ4	YZ5	YZ6	YZ7	YZ8	YZ9	YZ10
<100 Ma		10		6.7						
200~300 Ma	22.3	20.9	27.4	41.9	17.9	20.7	12.8	11.7	33	15.9
400~500 Ma	12.9				7.8		5.3		11.7	7.9
750~850 Ma		12.8	39.3	17.6	23.6	25.9	25.5	20	19.1	13.6
1 800~2 000 Ma	20	15			16.8	16.9	13.8	20	19.1	
~2 500 Ma		12.9								7.9

以及 2 400~2 600 Ma 也有年龄分布(图 3)。与长江流域的碎屑锆石 U-Pb 年龄相比,缺少 200~300 Ma 这一主要年龄峰值。

2.1.2 义敦岛弧

义敦岛弧位于松潘-甘孜复理石盆地的西南部,金沙江缝合带和甘孜-理塘缝合带之间,是一个三叠纪的火山岛弧。地层学和岩相研究表明,义敦岛弧古生代地层中的化石和岩相特征与扬子克拉通相似,因此,认为西义敦岛弧是从扬子克拉通的东缘裂解来的^[12-14]。义敦岛弧花岗岩的锆石 U-Pb 年龄有三类^[15],一类是早一中三叠世(245~229 Ma),一类是晚三叠世(219~216 Ma),还有一类是白垩纪(105~95 Ma)。

2.1.3 松潘-甘孜盆地

松潘-甘孜复理石盆地位于青海-西藏高原的东北缘,呈一个三角形的构造带夹于华北板块、华南板块和西藏地块之间,北以东昆仑造山带为界,南西以甘孜-理塘蛇绿岩和义敦火山岛弧为界,东南以龙门山造山带与扬子克拉通分割开来,北东为秦岭大别造山带。盆地内充填中晚三叠世的深海陆坡相浊流沉积。

松潘-甘孜盆地在晚三叠世—早侏罗世发生构造挤压,形成了松潘-甘孜逆冲褶皱带,由于地壳的挤压加厚作用,地壳发生部分熔融,与褶皱同期或者稍晚时期形成花岗岩体^[16-17]。盆地中沉积物碎屑锆石的 U-Pb 年龄表现为 4 个主要的峰值^[18-19],即 211~352、360~528、1 800~2 000 和 2 365~2 568 Ma,此外在 650~1 000 Ma 也有颗粒分布(图 3)。松潘-甘孜盆地东南部花岗岩体分为两类,一类是角闪石花岗岩体,其锆石 U-Pb 年龄是 197±6 Ma;另一类是白云母花岗岩,其锆石 U-Pb 年龄为 188±2 和 153±3 Ma^[16]。东北部分布的花岗岩锆石 U-Pb 年龄是 221 和 216 Ma^[20]。

2.1.4 扬子克拉通

扬子克拉通与华夏地块一起同属于华南板块的范畴。扬子克拉通北以嘉山-响水断裂和勉略-大别山南缘断裂为界与华北板块和秦岭微板块相接,西以龙门山断裂和金沙江-哀牢山断裂为界与松潘-甘孜盆地分开,东南以江绍古缝合线与华夏地块为邻。

目前的研究证实,新元古代是华南板块的一个重要构造演化期。新元古代晋宁期的火山岩在扬子克拉通广泛分布,这一事件又分为两个时期:早期(950~850 Ma)产生于岛弧环境的火山岩和晚期(850~750 Ma)由于 Rodinia 超大陆的裂解形成的火山岩。在华南板块的湖北、四川、贵州、云南、广西、康定等地都有关于这一时期花岗岩的报道。而华南板块更老的基底由于厚层南华系(850~635)和震旦系(635~534)地层的覆盖,很少有出露。但是碎屑锆石 U-Pb 年龄以及相关研究反映在扬子克拉通内确实存在太古代>3.2、2.5 和 1.8~2.0 Ga 锆石年龄^[21-23]。

大量资料表明,华南板块在加里东期存在着强烈的构造热事件,并表现为多幕的构造运动。加里东早期(约 900 Ma),伴随着罗迪尼亞超大陆的裂解,我国华南所在区域脱离罗迪尼亞大陆,扬子陆块边缘裂解成湘桂地块、保山地块和腾冲地块,华夏地块则被裂成许多的小地块,包括云开地块、赣南地块、浙闽地块等。加里东中期(震旦纪末期—寒武纪初期),湘桂地块逐渐和扬子陆块边缘靠近,在两者之间的缝合地带有丹洲群地幔岩浆的侵入和喷发活动。加里东中晚期(晚奥陶世—志留纪),华夏陆块裂解的各地块(浙闽、云开、赣南)与扬子陆块逐渐靠近,发生碰撞拼贴,形成东南沿海加里东增生造山带。同时,湘桂地块在后缘地块的推动下,碰撞造山作用加强,并在碰撞挤压强烈地区发生变形、变质和混合岩带化作用^[24]。根据现有资料,华南出露有

100 多个加里东期花岗岩, 总面积 2 万余平方千米, 大者 3 000 余平方千米, 小者 10 余平方千米, 多数为强过铝花岗岩^[25]。主要分布于武夷—云开地区、万洋山—诸广山地区、湖南雪花顶、江西武功山和桂东北等地, 其岩浆锆石 U-Pb 年龄为 480~390 Ma, 高高峰期为 430~400 Ma^[25~27]。

在华南板块, 早中生代的花岗岩体主要分布在湖南, 其次是广西、海南、广东、江西一带, 岩体较分散。现有资料表明(据湖南 16 个岩体、广东 6 个岩体和江西 3 个岩体)表明, 印支期花岗岩同位素年龄值主要集中在 240~205 Ma^[28]。鉴于印支期花岗岩的形成滞后于印支运动的变质峰期 243~258 Ma^[29], 因此, 它们属于后碰撞花岗岩, 是华南板块中生代的重新改造。

燕山期花岗岩在华南板块出露面积很大, 以粤、湘、赣为主要区域, 主要形成时代为 J₂—K₂。

2.1.5 秦岭造山带

秦岭造山带是华南板块和华北板块的分界带, 晚三叠世时, 由于华南板块和华北板块的碰撞, 两者之间的古特提斯洋关闭。秦岭造山带从北向南可划分为 4 个构造区域, 即小秦岭、北秦岭、中秦岭和南秦岭。

小秦岭的基底是太古界和古元古代的基底, 其上被中元古代陆相沉积和新元古代到中奥陶世的被动大陆边缘沉积覆盖^[30]。

北秦岭由变质沉积岩和变质火山岩组成。年代学和古生物化石分析表明, 这些地层的沉积年龄是晚元古代到早古生代, 是一套陆相大陆架和陆坡沉积^[31]。

中秦岭构造带是古生代中秦岭和北秦岭的碰撞结合带, 可以进一步将其分成秦岭复合体和二郎坪、黑河、丹凤 3 个火山岛弧。其中秦岭复合体由长英质片麻岩、角闪石和超铁镁质岩石组成。二郎坪、黑河、丹凤 3 个火山岛弧锆石 Pb-Pb 年龄反映了两期构造热事件。较老的一期分布相对广泛, 为奥陶纪的花岗岩, 年龄为 448~470 Ma, 反映的是同碰撞期的年龄; 较年轻的一期是晚志留世至早泥盆世的花岗岩, 年龄为 401~436 Ma, 反映的是碰撞后期的年龄^[32]。

南秦岭构造带位于扬子板块的北缘, 北部以商丹缝合带和秦岭中央构造带分割开来。南秦岭与扬子板块边界基底的锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 762 Ma, 因此, 认为南秦岭和扬子板块北缘一带有统一的基底, 都形成于晚元古代的构造热事件^[32]。厚层上元古代至中三叠世的沉积物沉积于中晚元古代的基底

上。南秦岭勉略缝合线以北分布着延伸 400 km 的花岗岩, 这些花岗岩被认为是三叠纪同碰撞花岗岩^[33]。这些花岗岩全岩 Rb-Sr 定年的范围是 264~323 Ma^[34], 锆石 U-Pb 定年的结果为 205~220 Ma^[35], 这些同碰撞期的花岗岩年龄与大别苏鲁造山带超高压变质岩一样都反映了三叠纪华南和华北板块的碰撞事件。

2.1.6 大别造山带

大别山是印支期华北板块和扬子板块之间的碰撞造山带。造山带内含金刚石和柯石英包体榴辉岩, 表明其曾经历过强烈的变质作用。大量矿物 Sm-Nd 和 U-Pb 锆石同位素年龄指示超高压变质作用发生于 245~230 Ma, 带中的花岗片麻岩和部分榴辉岩的原岩形成于 700~800 Ma 的新元古代^[36~39]。除了新元古代的基底年龄, 大别山地区还报道有古元古代的原岩年龄。如宿松杂岩中的二长花岗片麻岩原岩时代形成于 2 020 Ma 左右的古元古代^[40]; 潜山县牌楼石英硬玉岩和榴辉岩中获得的 2 489±25 和 1 880±35 Ma 的锆石离子探针上交点年龄^[37~38]; 新近罗田黄土岭基性麻粒岩中 2 741±22 Ma 的岩浆锆石年龄^[38], 表明大别山核部存在新太古代古老陆壳包体。这些新元古代和古元古代的年龄具有扬子陆块北缘的年代学属性, 是扬子陆块北缘俯冲基底的一部分。

印支期以来, 大别造山带发表的锆石 U-Pb 年龄很多, 尽管仍存在一些不同看法, 发生于 215~245 Ma 的三叠纪碰撞和超高压变质事件和发生于 125~135 Ma 的强烈而广泛的燕山期岩浆活动这两点已为多数人所共识^[37, 41]。

2.2 东南亚其他河流现代沉积物碎屑锆石 U-Pb 年龄特征

湄公河和红河与长江一样, 是发源于青藏高原东部的另外两条大河流, 且两者都汇入南海。湄公河流域主体位于羌塘地块和印支板块, 红河流域主体位于扬子克拉通和印支板块的边缘。

湄公河和红河现代沉积物碎屑锆石颗粒 U-Pb 定年结果表明(图 3), 两者的年龄谱相似, 都有 200~300、400~500、700~800、1 800~1 900 和 2 500 Ma 这些年龄组分, 且以 200~300 Ma 的颗粒为主体^[42]。两者的区别在于红河沉积物中大量输入了 700~800 Ma 这一年龄段的颗粒, 而在湄公河中较少。这一点不难解释, 因为红河流域位于扬子克拉通的边缘, 所以, 相对而言扬子克拉通的物质输入较多。

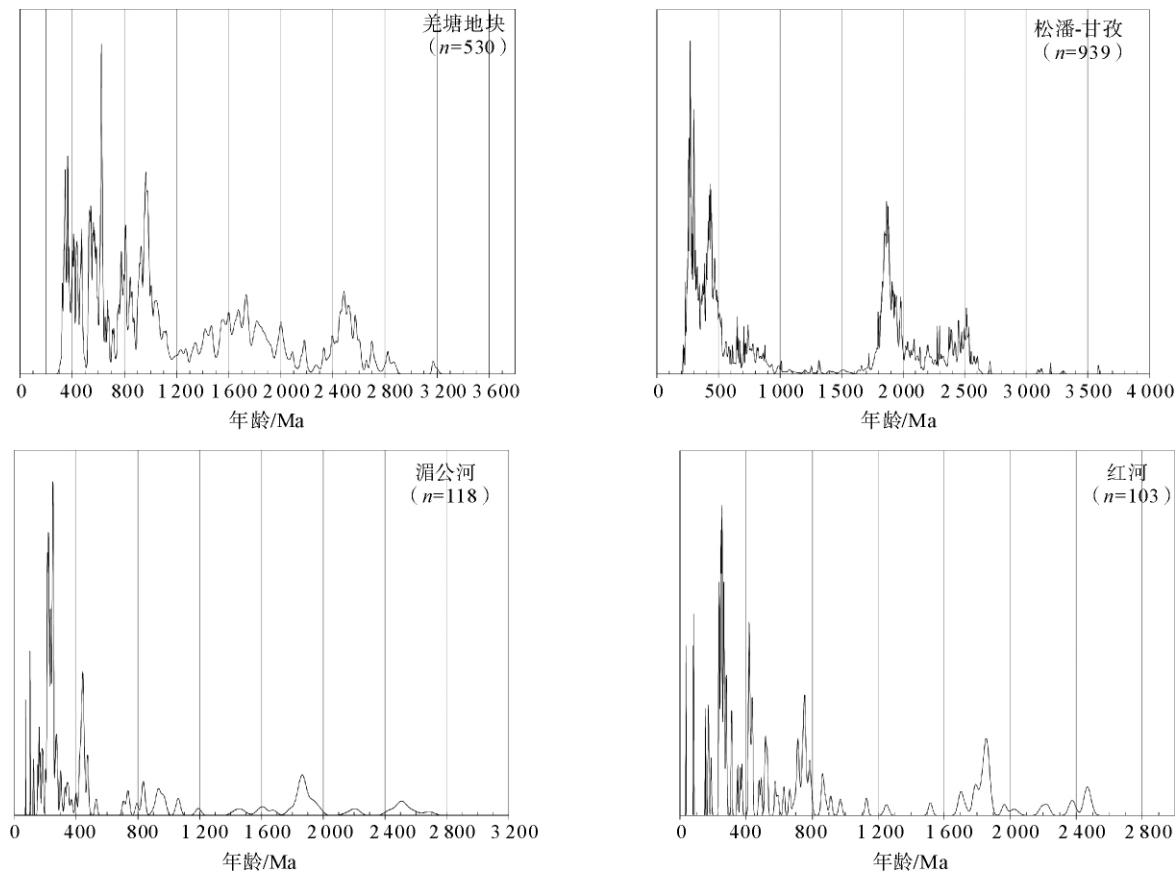


图 3 羌塘地块^[11]、松潘甘孜盆地^[18-19]、湄公河和红河^[42]的锆石 U-Pb 年龄谱

Fig. 3 U-Pb age patterns from zircon data on Qiangtang Block^[11], Songpan-Ganze Basin^[18-19], Mekong River and Red River^[42]

2.3 长江流域沉积物来源讨论

2.3.1 年龄<100 Ma

此组年龄出现在 YZ2 和 YZ4 这两个样品中。在 YZ2 中, 该组锆石所占的比例是 10%, 峰值年龄是 43.4 Ma。YZ2 样品采集于雅砻江与金沙江汇合处, 采样点附近的安宁河断裂据报道在新生代以来有着持续活动并控制着临近地区的岩浆活动, 因此, 这些新生代的锆石应该与安宁断裂新生代的活动相关^[43-44]。在 YZ4 中, 该组锆石所占的比例是 6.7%, 峰值年龄是 19.2 Ma。从采样位置来看, YZ4 采集于长江的支流大渡河, 河流切过鲜水河断裂附近的贡嘎山岩体。该岩体的锆石 U-Pb 年龄反映了两期岩浆活动。一期是新元古代的岩浆活动, 花岗岩体锆石 U-Pb 的平均年龄是 768 Ma^[45]; 另一期锆石颗粒的谐和年龄是 13.4 Ma, 不谐和年龄的上交点是 800 Ma, 下交点是 12.8 Ma, 反映了晚期锆石继承了早期 800 Ma 左右的锆石核^[44], 这期岩浆活动与鲜水河断裂同时期的活动相关^[44,46]。因此, YZ4 中新生代的岩浆锆石应来源于贡嘎山岩体。可见, 这一

组分的锆石主要是近源供给, 在沿途其他各个构造单元, 没有这一时期的锆石补给, 所以, 在搬运的过程中丢失。

2.3.2 年龄为 200~300、400~500、750~850 和 1 800~2 000 Ma

这 4 组碎屑锆石 U-Pb 年龄是长江流域现代沉积物的主要年龄组成, 在本研究采集的大多数样品中都有出现, 分别对应着早二叠—晚三叠世、早古生代、新元古代和古元古代。通过与长江流域可能物源区各构造单元的年代学特征比较, 羌塘地块的碎屑锆石 U-Pb 年龄谱以 471~325 Ma 和 1 144~509 Ma 为主要峰值, 缺少 200~300 Ma 的年龄信号; 义敦岛弧主要是三叠纪和白垩纪的花岗岩。这两个构造单元可能向长江流域输入物质, 但是除此之外, 长江流域还有其他物质来源区。在松潘-甘孜盆地中, 沉积物碎屑锆石有 211~352、360~528、1 800~2 000 Ma 这 3 组年龄信号, 盆地中发育的花岗岩也主要是三叠纪—侏罗纪。因此松潘-甘孜盆地中包含了长江流域的主要年龄信号, 是可能的物源区。在扬子克拉通, 除了新元古代是其花岗岩活动的特

征时期之外, 其年代学特征十分丰富, 加里东期、印支期以及老到太古代的花岗岩在该区域内都有分布, 长江流域碎屑锆石 U-Pb 年龄几个主要峰值在扬子克拉通都有体现。秦岭造山带和大别造山带是华南板块和华北板块的碰撞结合带, 有华南板块的古老基底物质的卷入。除此之外, 后期早古生代和三叠纪的碰撞事件在秦岭造山带产生岩浆活动。和长江流域碎屑锆石 U-Pb 年龄比较, 秦岭造山带也是可能的物源区。大别造山带除了华南板块的物质卷入以外, 后期主要是三叠纪的变质事件和燕山期的岩浆岩。而在长江流域的沉积物中, 大多数都是岩浆成因的锆石, 可见大别造山带对长江流域的物质贡献有限。通过上述比较发现, 由于 200~300、400~500、750~850 和 1 800~2 000 Ma 这 4 组碎屑锆石 U-Pb 年龄的主要峰值不具有特征性, 在各个构造单元都有所体现, 所以不能由这 4 组年龄判别具体物质来源。同时, 在发源于青藏高原的其他两条河流红河和湄公河流域现代沉积物中, 其碎屑锆石 U-Pb 年龄谱也包含 200~300、400~500、700~800 和 1 800~1 900 Ma 的年龄组分, 因此, 这几组年龄可能具有一定的普遍性。

2.3.3 年龄为 2 500 Ma

这组年龄仅出现在长江上游第一个样品 YZ1 和长江口样品 YZ10 中, 所占的比例较小, 分别为 12.9% 和 7.9%, 对应着新太古代—古元古代, 是本研究中长江流域最老的一组锆石 U-Pb 年龄。对比长江流域相关构造单元, 除了义敦岛弧以外, 羌塘板块、松潘—甘孜盆地、扬子克拉通、秦岭造山带、大别造山带都有这一时期的基底年龄。但是这一古老基底多被上覆沉积盖层覆盖, 出露局限。所以在沿途搬运过程中, 由于物质的补给有限, 导致这一组分的丢失或者偶有出现。

3 结论

(1) 长江流域碎屑锆石 U-Pb 年龄主要包括 200~300、400~500、750~850 和 1 800~2 000 Ma 组分, 尤其以 200~300 和 750~850 Ma 占主体。

(2) 与长江流域各可能物源区的锆石 U-Pb 年龄相比较, 除了羌塘板块和义敦岛弧以外, 松潘—甘孜盆地、扬子克拉通、秦岭造山带和大别造山带这几个构造单元都包括 200~300、400~500、750~850 和 1 800~2 000 Ma 这几个年龄组分; 与其他两条发源于青藏高原东部的河流湄公河和红河现代沉积物碎屑锆石 U-Pb 年龄相比较, 其 U-Pb 年龄谱和长

江流域的几个年龄峰值相似。因此, 本文认为单一碎屑锆石 U-Pb 年龄分析方法不能区分出整个长江流域的物质来源, 有必要与其他物源分析方法相结合。

(3) 建议碎屑锆石 U-Pb 年龄分析作为一种物源分析方法, 在研究物源时, 除了可能物源区需要积累有大量锆石年龄以外, 每个物源区还必须有其特征年龄峰值, 否则依靠单一 U-Pb 年龄分析方法很难区分各个物源区。

致谢: 同济大学海洋与地球科学学院程昊老师对本研究提出了许多宝贵意见和建议, 河北省区域地质矿产研究所廊坊实验室李林庆先生等帮助进行了锆石分选工作, 美国亚利桑那大学 Laser Chron 中心对本研究的测试给予了帮助, 特此一并致谢。

参考文献(References)

- [1] 汪品先. 新生代亚洲形变与海陆相互作用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2005, 30(1): 1-18. [WANG Pinxian. Cenozoic deformation and history of sea-land interaction in Asia [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2005, 30(1): 1-18.]
- [2] 范代读, 李从先. 长江贯通时限研究进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(2): 121-131. [FAN Daidu, LI Congxian. Reviews on researches of timing of the Yangtze draining the Tibetan Plateau to the East Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2007, 27(2): 121-131.]
- [3] Ruiz G M H, Seward D Winkler. Detrital thermochronology—a new perspective on Hinterland tectonics, an example from the Andean Amazon Basin, Ecuador [J]. Basin Research, 2004, 16: 413-430.
- [4] Viola G, Anczkiewicz R. Exhumation history of the Red River shear zone in northern Vietnam: New insights from zircon and apatite fission-track analysis [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 33(1): 78-90.
- [5] Campbell I H, Reiners P W, Allen C M, et al. He-Pb double dating of detrital zircons from the Ganges and Indus Rivers: Implication for quantifying sediment recycling and provenance studies [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2005, 237: 402-432.
- [6] 梁育瑄. 雅鲁藏布江与伊洛瓦底江碎屑锆石同位素示踪研究[D]. 台湾: 国立台湾大学地质科学研究所, 2006.
- [7] Prokopiev A V, Toro J, Miller E L, et al. The paleo-Lena River-200 m. y. of transcontinental zircon transport in Siberia [J]. Geology, 2008, 36(9): 699-702.
- [8] Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon [J]. J. Metamorphic Geol., 2000, 18: 423-439.
- [9] Gehrels G E. Introduction to detrital zircon studies of Paleozoic and Triassic strata in western Nevada and northern California [J]. Geol. Soc. Am., Spec. Paper, 2000, 347: 1-17.
- [10] Gehrels G E, Stewart J H, Ketner K B. Cordilleran-margin

- quartzites in Baja California—implications for tectonic transport [J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 2000, 199:201-210.
- [11] Pullen A, Kapp P, Vervoort J D, et al. Triassic continental subduction in central Tibet and Mediterranean-style closure of the Paleo-Tethys Ocean [J]. *Geology*, 2008, 36(5):351-354.
- [12] 陈炳蔚, 王铠元, 刘万熹, 等. 怒江—澜沧江—金沙江地区大地构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1987. [CHEN Bingwei, WANG Kaiyuan, LIU Wanxi, et al. *Geotectonics of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.]
- [13] Zhang Q, Zhou D, Zhao D, et al. Ophiolites of the Hengduan Mountains, China: characteristics and tectonic settings [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994, 9(4):335-344.
- [14] 张能德. 甘孜—理塘裂谷带地质与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1998. [ZHANG Nengde. *Geology and Metallogeny in the Garze - Litang Rift Zone* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.]
- [15] Reid A, Wilson C J L, Liu S, et al. Mesozoic plutons of the Yidun Arc, SW China: U/Pb geochronology and Hf isotopic signature [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31:88-106.
- [16] Roger F, Malavieille J, Leloup P H, et al. Timing of granite emplacement and cooling in the Songpan-Garze Fold Belt (eastern Tibetan Plateau) with tectonic implications [J]. *J. Asian Earth Sci.*, 2004, 22:465-481.
- [17] Harrowfield M J, Wilson C J L. Indosinian deformation of the Songpan-Garze Fold Belt, northeast Tibetan Plateau [J]. *J. Struct. Geol.*, 2005, 27:101-117.
- [18] Weislogel A L, Graham S A, Chang E Z, et al. Detrital zircon provenance of the Late Triassic Songpan-Ganzi complex: Sedimentary record of collision of the North and South China blocks [J]. *Geology*, 2006, 34(2):97-100.
- [19] Bruguier O, Lancelot J R, Malavieille J. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flysch (Central China): provenance and tectonic correlation [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, 152:217-231.
- [20] Zhang H F, Zhang L, Harris N, et al. U-Pb zircon ages, geochemical and isotopic compositions of granitoids in Songpan-Garze fold belt, eastern Tibetan Plateau: constraints on petrogenesis and tectonic evolution of the basement [J]. *Contrib. Mineral Petrol.*, 2006, 152:75-88.
- [21] Liu D Y, Nutman A P, Compston W, et al. Remnants of 3 800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton [J]. *Geology*, 1992, 20:339-342.
- [22] Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al. Metamorphism of basement rocks in the Central Zone of the North China craton: implications for Paleoproterozoic tectonic evolution [J]. *Precambrian Research*, 2000, 103:55-88.
- [23] Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, et al. Recycling lower continental crust in the North China craton [J]. *Nature*, 2004, 432: 892-897.
- [24] 刘运黎, 周小进, 廖宗庭, 等. 华南加里东期相关地块及其汇聚过程探讨 [J]. *石油实验地质*, 2009, 31(1):19-25. [LIU Yunli, ZHOU Xiaojin, LIAO Zongting, et al. Relative blocks and convergence process during the Caledonian movement in South China [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2009, 31(1):19-25.]
- [25] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化:从华夏地块到加里东期造山带 [J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4):418-431. [SHU Liangshu. Pre-devonian tectonic evolution of South China: from cathaysian block to caledonian period folded orogenic belt [J]. *Geological Journal of China*, 2006, 12(4):418-431.]
- [26] 王德滋. 华南花岗岩研究的回顾与展望 [J]. *高校地质学报*, 2004, 10(3):305-314. [WANG Dezi. The study of granitic rocks in South China: looking back and forward [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10(3):305-314.]
- [27] 李献华. 万洋山-诸广山加里东期花岗岩的形成机制-微量元素和稀土元素地球化学证据 [J]. *地球化学*, 1993, 1:35-44. [LI Xianhua. On the genesis of Caledonian granitoid rocks at Wangyangshan and Zhuguangshan, Southeast China: evidence from trace elements and rare-earth elements Geochemistry [J]. *Geochimica*, 1993, 1:35-44.]
- [28] 周新民. 对华南花岗岩研究的若干思考 [J]. *高校地质学报*, 2003, 9(4):556-565. [ZHOU Xinmin. My thinking about granite genesis of South China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(4):556-565.]
- [29] Carter A, Roques D, Bristow C, et al. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam [J]. *Geology*, 2001, 29:211-214.
- [30] Wang Y X. The Sedimentary and tectonic evolution of the western Ordos region [D]. Beijing: China University of Geoscience, 1991.
- [31] Zhou H R. Stratigraphy and tectonogeographic evolution of the middle to late Proterozoic strata in the southern margin of the North China Platform [D]. Beijing: China University of Geosciences, 1991.
- [32] Xue F, Kröner A, Zhang G W, et al. A middle Silurian-Early Devonian magmatic arc in the Qinling Mountains of Central China [J]. *Journal of Geology*, 1995a, 103:437-449.
- [33] 张本任, 骆庭川, 高山. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. [ZHANG Benren, LUO Tingchuan, GAO Shan, et al. *Geochemical Study of the Lithosphere, Tectonism and Metallogenesis in the Qinling-Dabieshan Region* [M]. Wuhan: Chinese University of Geoscience Press, 1994:110-122.]
- [34] 尚瑞钧, 严阵. 秦巴花岗岩 [M]. 中国地质大学出版社, 1988: 69-144. [SHANG Ruijun, YAN Zhen. *Granites in the Qinling and Bashan area* [M]. Wuhan: Chinese University of Geoscience Press, 1988:69-144.]
- [35] Sun W D, Li S G, Chen Y D, et al. Timing of synorogenic Granitoids in the South Qinling, Central China: Constraints on the Evolution of the Qinling-Dabie Orogenic Belt [J]. *The Journal of Geology*, 2002, 110:457-468.
- [36] 程裕淇, 刘敦一, Williams I S, 等. 大别山碧溪岭深色榴辉岩和片麻状花岗岩岩石 SHRIMP 分析—晋宁期高压-超高压变质作用的同位素年代学证据 [J]. *地质学报*, 2000, 74:

- 193–205. [CHEN Yuqi, LIU Dunyi, Williams I S, et al. SHRIMP U-Pb dating of zircons of a dark-coloured eclogite and a garnet-bearing gneissic-granitic rock from Bixiling, eastern Dabie area[J]. *Acat Geology Sinica*, 2000, 74:193–205.]
- [37] 陈道公, Deloule E, 夏群科, 等. 大别山双河超高压榴辉岩中变质锆石: 离子探针和微区结构研究[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 369–377. [CHEN Daogong, Deloule E, XIA Qunke, et al. Metamorphic zircon from Shuanghe ultra-high pressure eclogite Dabieshan: ion microprobe and internal micro-structure study[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(3):369–377.]
- [38] 吴元保, 陈道公, 夏群科, 等. 北大别黄土岭麻粒岩锆石 U-Pb: 离子探针定年[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 378–382. [WU Yuanbao, CHEN Daogong, XIA Qunke, et al. SIMS U-Pb dating of zircons in granulite of Huangtuling from Northern Dabieshan [J]. *Acta Petrological Sinica*, 2002, 18(3):378–382.]
- [39] 郑永飞, 陈福坤, 龚冰, 等. 大别-苏鲁造山带超高压变质岩原岩性质: 锆石氧同位素和 U-Pb 年龄证据[J]. 科学通报, 2003, 48(2): 110–119. [ZHENG Yongfei, CHEN Fukun, GONG Bing. The nature of the protolith of the ultra-metamorphic rocks in Dabie-Sulu orogenic belt: from the evidences of Oxygen isotope analysis and U-Pb dating of zircons [J]. *China Science Bulletin*, 2003, 48(2):110–119.]
- [40] 江来利, 吴维平, 刘贻灿, 等. 大别山南部宿松杂岩的 U-Pb 锆石和 Ar-Ar 角闪石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2003, 19(3):497–505. [JIANG Laili, WU Weiping, LIU Yican, et al. U-Pb zircon and Ar-Ar hornblende ages of the Susong complex of the Southern Dabie orogen and their geological implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(3):497–505.]
- [41] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 161:215–230.
- [42] Clift P D, Carter A, Campbell I H. Thermochronology of mineral grains in the Red and Mekong Rivers, Vietnam: Provenance and exhumation implications for Southeast Asia [J]. *American Geophysical Union*, 2006, 71:1–28.
- [43] 何宏林, 池田安隆. 安宁河断裂带晚第四纪运动特征及模式的讨论[J]. 地震学报, 2007, 29(5):537–548. [HE Honglin, Yasutakyi L. Faulting on the Anning Fault zone, southwest China in late Quaternary and its movement model[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2007, 29(5):537–548.]
- [44] Roger F, Calassou S, Lancelot J, et al. Miocene emplacement and deformation of the Konga Shan granite (Xianshui He fault zone, west Sichuan, China): Geodynamic implications [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1995, 130:201–216.
- [45] Li X H, Li Z X, Ge W C, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825Ma? [J]. *Precambrian Research*, 2003, 122:45–83.
- [46] 张岳桥, 陈文, 杨农. 川西鲜水河断裂带晚新生代剪切变形 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年及其构造意义[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(7): 613–621. [ZHANG Yueqiao, CHEN Wen, YANG Nong. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Late Cenozoic shear deformation events on the Xianshuihe fault in West Sichuan and its tectonic implication[J]. *Science in China (Series D)*, 2004, 34(7):613–621.]

PROVENANCE STUDY BY U-Pb DATING OF THE DETRITAL ZORCONS IN THE YANGTZE RIVER

YANG Rong¹, Diane Seward², ZHOU Zuyi¹

(1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2 Department of Geography, Environment and Earth Sciences, Victoria University, Wellington, New Zealand)

Abstract: Four major U-Pb age groups of detrital zircons are recognized in the modern Yangtze River sediments. They are 200~300 Ma, 400~500 Ma, 750~850 Ma and 1 800~2 000 Ma respectively with 200~300 Ma and 750~850 Ma dominating. Most grains studied are granitic zircons with the Th/U over 0.3. The overlap and similarity analysis of all the samples are in an excess of 0.6. It means that all the samples have the similar U-Pb ages. By comparison of the U-Pb age patterns with the potential source areas of Qiangtang Block, Yidun Volcanic Arc, Songpan-Ganze basin, Yangtze Craton, Qinling orogen and Dabie orogen, it is found that the four age groups mentioned above appeared in almost all the regions except the Qiangtang Block and Yidun Volcanic Arc, hence it is hard to distinguish the final source by U-Pb dating. Meanwhile, the U-Pb age patterns of the Red River and Mekong River sediments are close to those of the Yangtze River, suggesting that the U-Pb dating of detrital zircons can not work well in the Yangtze River as there are no exclusive age indicators. Other methods should be used for seeking conclusions.

Key words: modern sediments; detrital zircons; U-Pb dating; provenance study; the Yangtze river