



论文

湘桂震旦-寒武纪沉积岩组成的变化——对华南构造演化的指示

王鹏鸣, 于津海*, 孙涛, 时毓, 陈培荣, 赵葵东, 陈卫峰, 刘潜

内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093

* 联系人, E-mail: jhyu@nju.edu.cn

收稿日期: 2012-10-19; 接受日期: 2013-02-11; 网络版发表日期: 2013-10-30

国家重点基础研究发展计划(编号: 2012CB416701)、国家自然科学基金项目(批准号: 41272085)、中国核工业地质局“十一五”继承科研项目(编号: YK11)和中国地质调查局地质调查工作项目(编号: 资[2010]矿评 01-15-28)资助

摘要 对位于湘桂交界的苗儿山地区和湘南金鸡岭地区的震旦纪和寒武纪地层浅变质岩进行了地球化学和碎屑锆石 U-Pb 年代学研究. 岩相学和地球化学结果显示这些浅变质岩的原岩为陆源碎屑沉积岩, 具有中等风化程度, 形成于被动大陆边缘. 地球化学和碎屑锆石 U-Pb 年龄特征表明金鸡岭地区震旦纪和寒武纪沉积岩的碎屑物组成具有相似性, 都以含大量的 Grenville 期年龄的碎屑锆石为特征, 表现出与华夏地块明显的亲缘性. 苗儿山地区的寒武纪沉积岩显示出与金鸡岭地区沉积岩相似的地球化学和碎屑锆石年代学特征, 也具有华夏地块的亲缘性. 而苗儿山地区的震旦纪沉积岩在地球化学上不同于苗儿山的寒武纪沉积岩以及金鸡岭地区的沉积岩, 并且以含丰富 840~700 Ma 以及少量的 2.0 Ga 碎屑锆石为特征, 具有明显的扬子地块的亲缘性. 这些差异表明从震旦纪到寒武纪, 金鸡岭地区沉积盆地一直稳定地接受来自华夏地块的碎屑物质, 而苗儿山地区沉积盆地的物源区却从扬子地块转变为华夏地块. 说明在中晚寒武纪之前发生了一次构造运动, 使苗儿山盆地进一步沉陷或盆地中心发生了向西北的转移, 从而使苗儿山地区接受了来自华夏地块的碎屑物. 这一事实也表明扬子地块和华夏地块这时已经聚合, 它们之间在西南地区的分界线就在苗儿山与金鸡岭之间.

关键词

地球化学

锆石 U-Pb 定年

震旦纪沉积岩

寒武纪沉积岩

扬子和华夏地块界线

华南板块由扬子地块和华夏地块组成的, 两地块有着复杂的且各自不同的形成和演化历史(于津海等, 2006, 2007; 郑永飞等, 2007; 张少兵等, 2007; Xu 等, 2007b). 根据近年来对江南造山带东南缘前寒武纪地质的详细研究, 华夏地块和扬子地块很可能是在 830~920 Ma 期间, 伴随着古华南海的闭合, 聚合

成为统一的大陆(Li 等, 2009; Wang 等, 2007, Wang 等, 2010a; Ye 等, 2007; Zhao 等, 2011). 江山-绍兴断裂带被大多数学者认为是两者在东部的分界线. 但是, 两板块在西南段的界线仍然有不同的观点(陈凌云和张忠伟, 2003; 陈懋弘等, 2006; 董云鹏等, 2002; 郭令智等, 1981; 洪大卫等, 2002; 胡肇荣和邓国辉, 2009;

中文引用格式: 王鹏鸣, 于津海, 孙涛, 等. 湘桂震旦-寒武纪沉积岩组成的变化——对华南构造演化的指示. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 1893-1906

英文引用格式: Wang P M, Yu J H, Sun T, et al. Composition variations of the Sinian-Cambrian sedimentary rocks in Hunan and Guangxi provinces and their tectonic significance. Science China: Earth Sciences, 2013, doi: 10.1007/s11430-013-4634-1

夏斌, 1984; 杨明桂和梅勇文, 1997; Guo 等, 2009; Li, 1999; Wang 等, 2003, 2010b; Xu 等, 2007b; Zhang 和 Wang, 2007). 曾经提出的界线(断裂)多达十几条, 如凭祥-南宁以北-柳州以南-荔浦-恭城(陈凌云和张忠伟, 2003; 陈懋弘等, 2006; 洪大卫等, 2002)、钦杭结合带(胡肇荣和邓国辉, 2009; 杨明桂和梅勇文, 1997)、龙胜断裂带(郭令智等, 1981; 夏斌, 1984)以及郴州-临武至四会-吴川断裂(Wang 等, 2003; Zhang 和 Wang, 2007)等。

本次研究的地区是华南内陆的桂东北和湘南-湘西南地区。这里是扬子地块和华夏地块在西南地区的边界交接地带, 有很多以往提出的边界断裂从研究区境内经过(图 1)。研究区包括了西北侧属于扬子地块的江南造山带, 以及东南侧属于华夏地块的加里东褶皱带。该区主要出露晚古生代地层, 有少量前寒武纪变质基底和早古生代浅变质地层出露。研究区有多期岩浆活动, 并伴有大量金属矿产的形成, 如

W, Sn, Nb, Ta, REE 和 U 等。因此研究区不仅是钦杭带西段主要的成矿关键地区, 也是研究华南基础地质问题的理想场所。

相对于华南东部以及扬子地块东南缘而言, 本研究区基底变质岩的研究程度还相对较低。本文通过对研究区震旦系和寒武系变质沉积岩的地球化学研究, 结合碎屑锆石的 U-Pb 定年结果, 试图理清研究区不同时代基底地层的物质组成和地球化学变化规律, 并对扬子地块和华夏地块的西南段边界以及两者拼合的时代提供重要的限定。

1 区域地质概况

研究区位于华南中部的湘南、湘西和桂东北地区(图 1)。湘南地区最老地层为震旦纪地层(图 2), 分为泗洲山组、天子地和留茶坡组(张纯臣等, 1997)。泗洲山组岩性为紫灰色板岩、砂质板岩夹含砾板岩。天子地组底部为硅质岩, 上部为紫红色、灰绿色岩屑砂

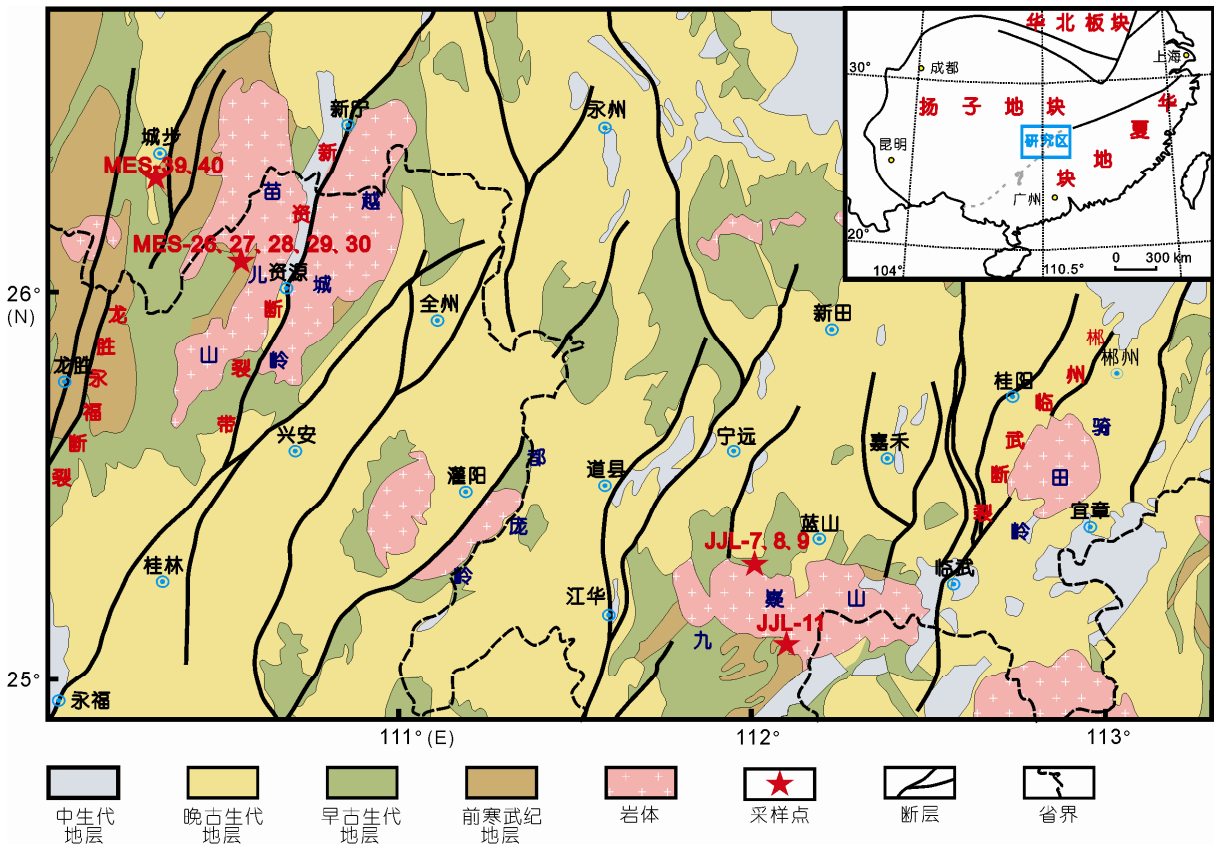


图 1 研究区地质简图和采样点位置图

据广西壮族自治区地质矿产局(1985)和湖南省地质矿产局(1988)修改

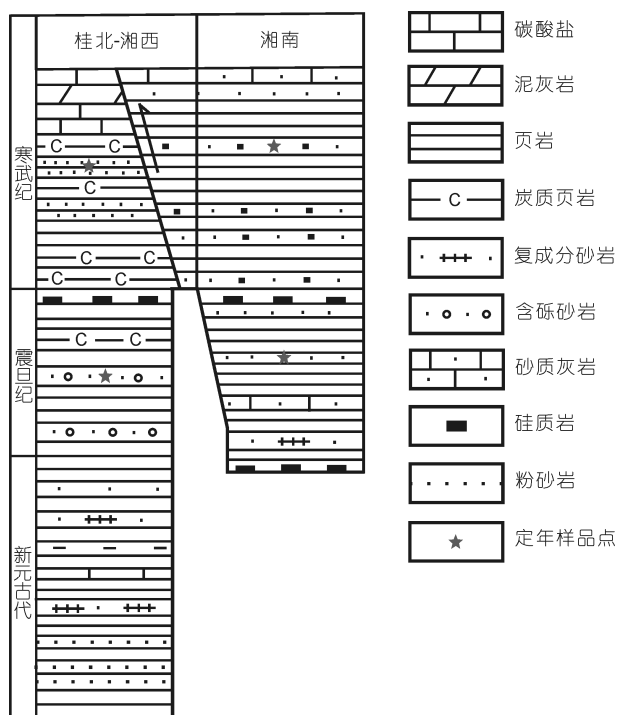


图 2 研究区前寒武-寒武纪岩性柱状图

据广西壮族自治区地质矿产局(1985)和张纯臣等(1997)修改

岩、板岩。留茶坡组为一套不夹其他岩性的硅质岩。寒武纪地层有香楠组、茶园头组和小紫荆组三个组, 其中香楠组为一套以浅变质砂岩为主, 夹板岩及较多炭质板岩的地层。茶园头组岩性为灰、深灰色、灰黑色浅变质厚层细粒石英砂岩夹板岩。小紫荆组为一套浅变质砂岩夹板岩及碳酸盐岩的地层(张纯臣等, 1997)。

湘西地区出露的地层有新元古代的高洞群, 岩性和时代与雪峰山地区的板溪群相对应, 主要由砂岩、钙质板岩、大理岩和凝灰质板岩构成。震旦纪地层由长安组、富禄组和大塘坡组构成。长安组岩性为巨厚层状含砾泥岩、含砾砂岩, 夹细砂岩、粉砂岩及泥岩; 富禄组岩性为层理清晰的砂岩、泥岩, 局部夹含砾砂岩、凸镜状白云岩; 大塘坡组岩性为一套细碎屑岩。寒武纪地层为塔山群, 下组为浅变质石英砂岩, 往上为板岩、细粒石英砂岩。中组由浅变质的石英砂岩、长石石英砂岩、板岩组成。上组由灰黑色石英砂岩、板岩和灰岩组成(图 2)。

桂东北地区出露的地层与湘西的相似, 其新元古代地层为丹洲群, 主要以海相碎屑岩沉积为主(广西壮族自治区地质矿产局, 1985)。震旦纪地层由长安

组、富禄组、南沱组、陡山沱组 and 老堡组组成(图 2)。长安组与南沱组岩性为块状含砾砂岩, 块状含砾泥岩, 以及含砾粉砂岩夹砂岩、粉砂岩和泥岩; 陡山沱组主要岩性为含磷、锰、黄铁矿及石煤的黑色页岩和炭质页岩; 老堡组基本为层状硅质岩。寒武纪地层为清溪组和边溪组, 清溪组下部为灰黑色泥质页岩、炭质页岩夹薄层硅质岩, 上部为灰色灰岩、泥质灰岩; 边溪组下部为灰黑色页岩为主, 夹炭质页岩、砂质页岩、砂岩及灰岩、泥质灰岩, 中上部以砂、页岩为主(广西壮族自治区地质矿产局, 1985)。

研究区断裂构造发育, 为多期运动所成, 控制着区内的岩浆活动和沉积活动。主要断裂有: 呈南北向展布的龙胜-永福断裂(图 1), 活动于新元古代到燕山期(张明华等, 2001); 北东向的新资断裂带, 主要活动于加里东期到燕山期(康自立等, 1991); 还有活动于加里东期到喜山期的北东向的郴州-临武断裂。研究区内出露许多花岗岩岩体, 如苗儿山地区加里东期二长花岗岩, 都庞岭加里东期花岗闪长岩, 骑田岭印支期二长花岗岩岩体以及九嶷山燕山期花岗闪长岩等。

本次研究的野外考察集中在湘南和桂北-湘西的苗儿山、金鸡岭、蜡屋村和车田等地区。所采集的 20 件样品主要属于震旦纪和寒武纪变质沉积岩(图 1 和 2)。样品的岩性包括变质砂岩、变质粉砂岩、板岩、千枚岩和片岩(网络版附表 1, <http://earth.scichina.com>)。其中金鸡岭地区样品主要为变质砂岩、杂砂岩和板岩, 矿物以石英、长石和绢云母为主, 有些含绿泥石和少量黑云母雏晶。变质程度较浅, 岩石普遍绢云母化, 但定向性不强。苗儿山地区震旦纪样品主要为千枚岩、变质砂岩和板岩, 矿物以石英、长石、绢云母、绿泥石和微晶白云母为主。变质程度稍高, 应属于低绿片岩相到葡萄石-绿纤石相。苗儿山地区样品的片理化也较强于金鸡岭地区, 绢云母多具定向排列, 显示受到过较强的定向应力作用。苗儿山寒武纪样品以砂岩、板岩为主, 主要矿物为石英、长石和绢云母, 变质程度同样很浅。

2 分析技术

样品的主量元素测定是在南京大学分析中心完成, 测定方法为 X 荧光光谱, 检测仪器为美国热电

ARL9800XP+XRF 射线荧光光谱仪, 大多数元素的分析精度优于 2%。微量元素测定是在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室的电感耦合等离子体质谱仪 Finnigan Element II 上完成, 分析精度优于 10%, 且绝大多数好于 5%。

锆石 U-Pb 年龄测定工作是在内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室用 LA ICPMS 方法完成。测试仪器为 Agilent7500a 型, 激光剥蚀系统为 New Wave 公司生产的 UP213 固体激光剥蚀系统。分析过程中采用 He 气作为剥蚀物质的载气, 通过直径 3 mm 的 PVC 管将剥蚀物质传送到 ICP-MS, 并在进入 ICP-MS 之前混入 Ar 气。仪器工作参数为: 激光波长 213 nm, 蚀孔径 25 μm , 剥蚀时间 60 s, 背景测量时间 40 s, 激光脉冲重复频率 5 Hz, 脉冲能量为 10~20 J cm^{-2} 。质量分馏校正采用标样 GEMOC/GJ-1(608 Ma)(Jackson 等, 2004), 每轮(RUN)测试约分析 10 个样品, 开始和结束前分别分析 GJ-1 标样 2 次, 中间测定一次已知年龄样品 Mud Tank(735 Ma)(Black 和 Gulson, 1978), 以检测仪器的可靠性。在测点测试结束后, 使用 GLITTER(ver.4.4)程序处理数据, 并用 ISOPLOT 3.23 程序对分析结果进行加权平均年龄计算和谐和图绘制。测试全过程严格按实验规定流程和要求进行。

3 岩石地球化学

野外地质和岩相学观察显示, 所采集样品的岩性主要为浅变质的碎屑沉积岩。在岩石化学的尼格里指数-Si 判别图上(图 3(a)), 样品点也全部落在沉积岩区域。在 $\text{La/Yb}-\sum \text{REE}$ 判别图解上(图 3(b)), 所有样品点都落在页岩、粘土岩和砂岩、杂砂岩范围内, 证实岩石均为碎屑岩, 与岩相学观察吻合。

3.1 主量元素

苗儿山和金鸡岭两地震旦纪和寒武纪沉积岩的主量元素大致相似。 SiO_2 含量中等(51.21%~78.51%, 网络版附表 1), 平均 68.38%。 Al_2O_3 含量为 9.07%~20.67%。反应沉积岩成熟度的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值变化于 2.48~8.66, 平均 5.02, 样品之间相差不大, 说明样品的成熟度基本相同。 K_2O 的含量为 1.40%~7.69%, Na_2O 含量为 0.04%~2.72%。反应淋滤程度的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值变化于 1.01~143.3, 不同样品之间差别很大。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值高的样品可能表明样品受过强烈的淋滤作用, 使 Na 大量淋滤丢失, 而 K 较多的保留。尤其是那些板岩-千枚岩, 可能是其原岩(泥岩)含有较多粘土矿物能吸附更多 K^+ 所致。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值同样也受沉积盆地构造环境的制约, 根据现代沉积物的

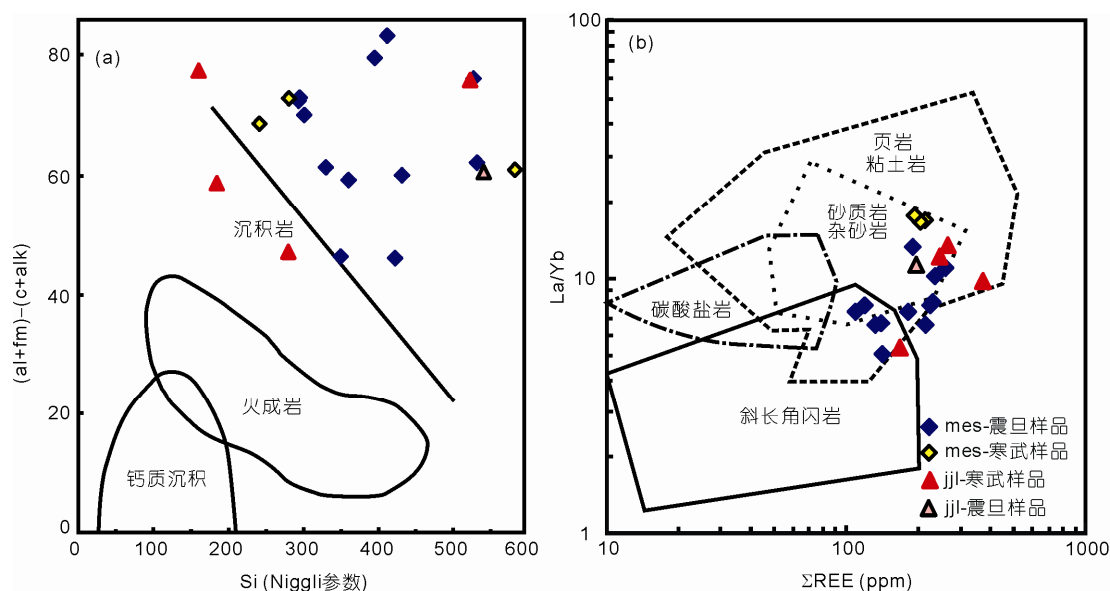


图3 尼格里指数-Si 投影图和 $\text{La/Yb}-\sum \text{REE}$ 投影图

(a) 据文献 Winkler(1976); (b) 据文献 Gromet 等(1984)

组成特征, 火山活动强烈环境的现代深海浊积岩中的砂岩 $K_2O/Na_2O < 1$; 沉积盆地边缘砂岩的 $K_2O/Na_2O > 1$ (McLennan 等, 1990), 据此可以判断研究区样品主要为远离火山活动的沉积盆地边缘的碎屑岩. 岩石含有较高的 $(Fe_2O_3^* + MgO)$ 含量, 为 2.3%~13.48%, 平均 8.03%. 大部分样品的 CaO 含量低于 0.5%, 只有个别的 CaO 含量较高. $Al_2O_3/(Na_2O + CaO)$ 值变化较大, 为 2.69~249.6. 其中板岩和千枚岩的此值最大, 而砂岩的相对较小. 表明板岩和千枚岩的稳定组分较多, 成分成熟度大于砂岩.

3.2 微量元素

研究区样品的微量元素总体变化较大. 其中相容元素 Cr, Ni, Co, V 和 Sc 的含量分别变化于 21.0~316.7, 13.3~155.7, 1.96~35.5, 43.5~352 和 8.0~33.0 ppm. 大离子亲石元素 Rb, Ba, Sr 和 Cs 含量变化于 87.7~376.3, 338.7~2186.7, 17.8~217.9 和 3.5~35.9 ppm. 高场强元素 Zr, Hf, Th 和 U 变化于 133.4~1010, 3.80~33.0, 4.22~33.0 和 0.82~7.09 ppm. 与澳大利亚后太古代页岩(PAAS)相比(Wronkiewicz 和 Condie, 1990), 相容元素与 PAAS 基本相同, 大离子亲石元素中 Rb 和 Cs 也相似于 PAAS, 但 Sr 亏损, 而 Ba 相对富集. 在风化条件下, Ba 易于固定, 而 Sr 易被淋失, 也说明样品的风化程度强于 PAAS. 高场强元素的 Zr 和 Hf 相对富集, Th, U 与 PAAS 基本相同.

对比两个地区不同时代沉积岩的地球化学特征显示, 苗儿山震旦纪样品与寒武纪样品和金鸡岭地区的样品有较大的区别, 其中苗儿山震旦纪样品的 Th 和 U 含量较低(图 4(a)), 与扬子地块南缘的江南造

山地区元古代样品接近(顾雪祥等, 2003). 而苗儿山寒武纪的样品与金鸡岭地区的样品相似, 有较高的 Th 和 U 含量(图 4(a)), 相似于南岭地区新元古代沉积岩(魏震洋等, 2009).

Th 常在酸性岩中赋存, 而 Sc 则富集于基性岩中, Th/Sc 的比值不随沉积再循环作用而改变, 可以反映源区的特征(McLennan 等, 1993). 苗儿山震旦纪沉积岩的 Th/Sc 较低, 变化于 0.23~0.82, 平均 0.6, 相似于扬子南缘的元古代沉积岩(顾雪祥等, 2003). 而苗儿山地区的寒武纪样品与金鸡岭地区的样品的 Th/Sc 较为相似(图 4(b)和(c)), 变化于 0.64~2.18, 平均 1.2, 高于苗儿山震旦纪样品, 而相似于南岭地区的新元古代沉积岩(魏震洋等, 2009). 说明苗儿山震旦纪沉积物中有较多的基性岩成分, 与扬子地块江南造山带其他地区新元古代沉积岩具有相似性; 而苗儿山寒武纪和金鸡岭地区震旦-寒武纪的沉积岩源区中基性岩成分含量较低, 主要为酸性岩成分, 更接近华夏地块南岭地区新元古代沉积岩的组成(魏震洋等, 2009).

3.3 稀土元素

所研究样品的稀土(REE)含量都较高, 总量变化于 108~369 ppm(网络版附表 1), 平均为 200 ppm. 样品的球粒陨石标准化分配模式显示这些沉积岩的轻稀土中等富集, $(La/Yb)_N$ 的值为 3.4~17.5, 平均为 7.2; LREE/HREE 比值为 3.93~10.96, 平均 6.76. 轻稀土相对分异较大, $(La/Sm)_N$ 值为 2.62~5.19, 而重稀土分异较小或几乎没有分异, $(Gd/Yb)_N$ 比值为 0.66~2.36. 大多数样品的 Eu 呈弱负异常到没有异常($Eu/Eu^* = 0.62 \sim$

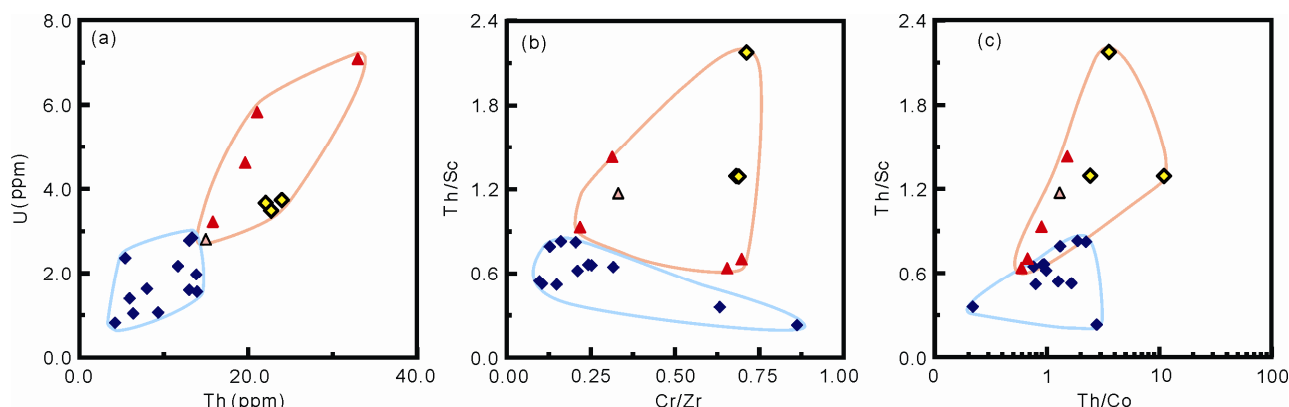


图 4 样品微量元素二维投影图
(a) U-Th; (b) Th/Sc-Cr/Zr; (c) Th/Sc-Th/Co

0.99, 除了一个样品). 总的来看, 这些沉积岩的稀土分配模式与 PAAS 稀土分配模式相似(图 5). 对比显示, 苗儿山的震旦纪沉积岩略不同于寒武纪沉积岩,

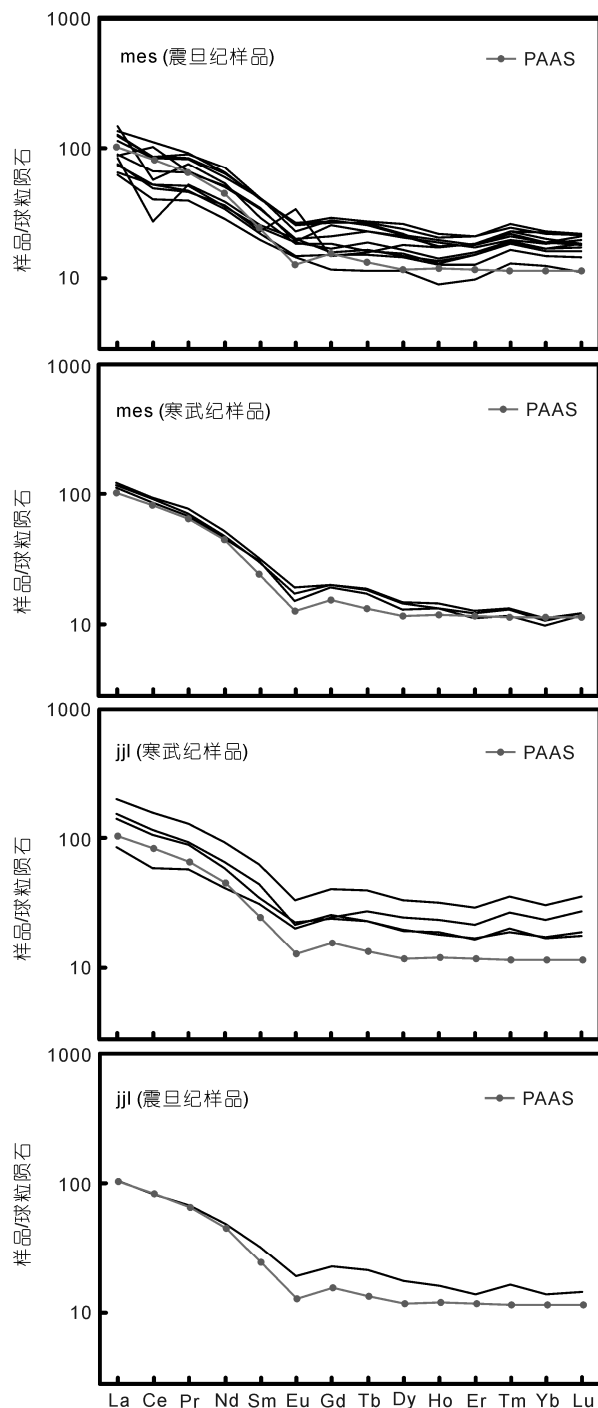


图 5 稀土元素的球粒陨石标准化曲线

球粒陨石和 PAAS 数据据文献 Taylor 和 McLennan(1985)

有相对低的稀土分异程度(平均 $(La/Yb)_N=5.48$)和更弱的 Eu 负异常(网络版附表 1), 而金鸡岭的震旦纪样品与寒武纪样品没有明显区别, 且与苗儿山的寒武纪样品相似(图 5).

4 沉积岩的物质组成-碎屑锆石 U-Pb 年龄

本次研究选择了金鸡岭和苗儿山地区震旦系和寒武系的四个变质砂岩样品进行了 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄测定. 这些砂岩中的锆石既有自形-半自形也有呈中等磨圆程度的, 表明沉积物既有近源的也有远源或再循环的物质; 颗粒大小形状各异也暗示其复杂的来源. 绝大部分锆石的 Th/U 都大于 0.4(网络版附表 2, <http://earth.scichina.com>), 说明碎屑锆石主要为岩浆成因. 定年结果显示大部分锆石表现出很好的谐和性(图 6), 表明后期改造较弱.

4.1 金鸡岭寒武纪沉积岩

金鸡岭寒武纪沉积岩样品 jil-7 共分析了 44 颗锆石, 大部分锆石的年龄具有很好的谐和性. 这些锆石年龄变化较大(网络版附表 2), 最老的年龄为 (2759 ± 22) Ma. 年龄谱的主峰为 1000~1300 Ma, 此外还有 694, 1789 和 2225 Ma 三个弱的年龄峰值(图 7). 一颗最小年龄的锆石为 (430 ± 6) Ma, 但其谐和度很差 68%. 分析的锆石中最年轻的谐和年龄为 (689 ± 9) Ma, 表明其沉积时代肯定晚于 690 Ma.

4.2 金鸡岭震旦纪沉积岩

对金鸡岭震旦纪样品 jil-11 共进行了 53 颗锆石的 U-Pb 定年. 这些锆石大多数都是谐和的. 在年龄谱图可以看到岩石中锆石年龄峰值主峰在 1000 Ma 左右, 并含有少量古元古代锆石(图 7), 一颗最年轻的锆石年龄为 (591 ± 8) Ma, 而最老的年龄为 (2954 ± 31) Ma. 该样品的年龄谱总体相似于上述寒武纪沉积岩.

4.3 苗儿山寒武纪沉积岩

苗儿山寒武纪沉积岩(mes-40)的锆石颗粒较大, 有两种类型, 一种为长柱状的锆石, 锥面多被磨蚀. 另一种为椭圆状锆石. 51 颗锆石的分析结果显示绝大部分锆石的 Th/U>0.4, 且年龄谐和. 该样品的年龄主

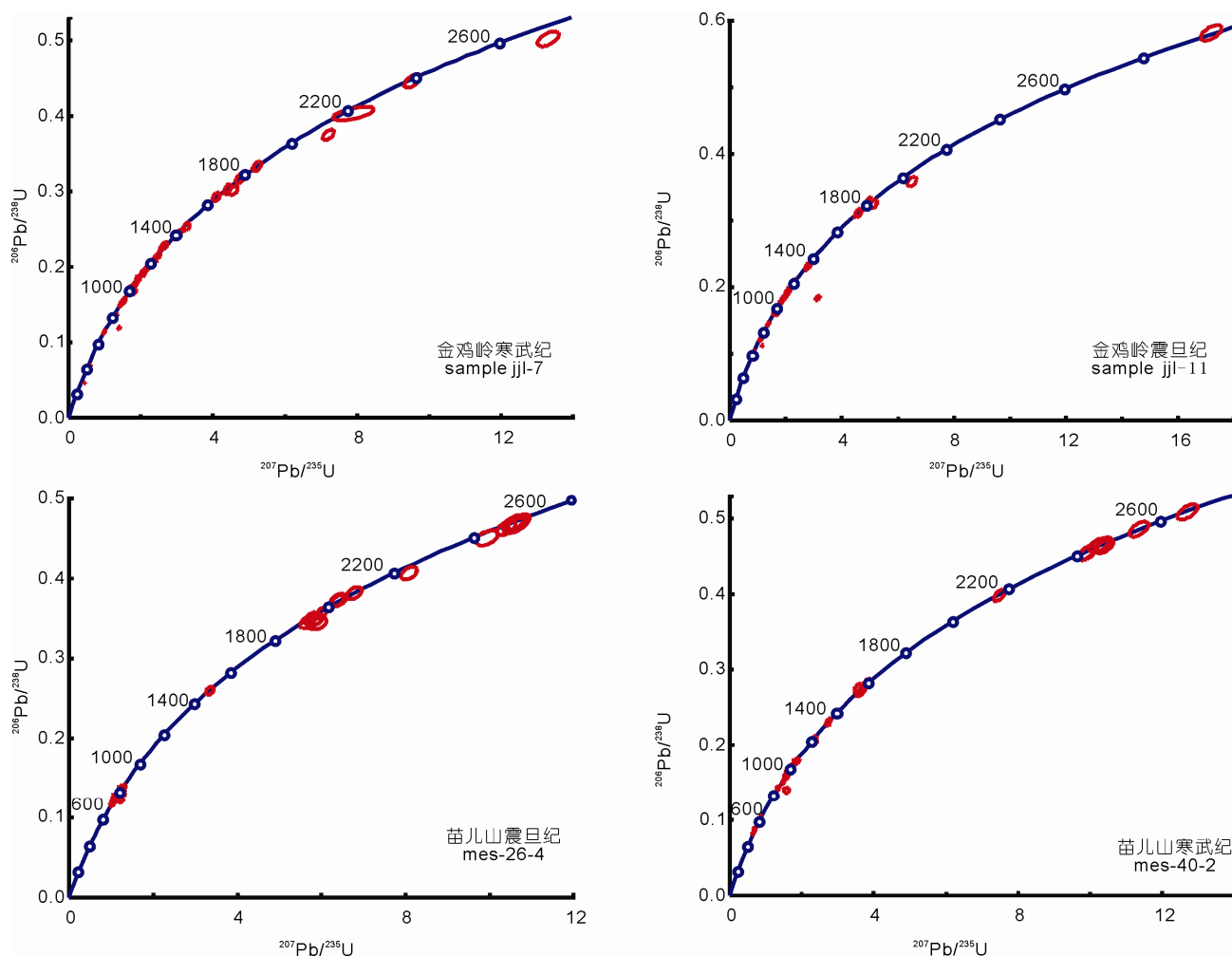


图 6 苗儿山和金鸡岭地区震旦和寒武纪沉积岩中碎屑锆石 U-Pb 谐和图

峰是 971 Ma, 较弱的年龄峰是 2461, 1585 和 520 Ma(图 7). 样品中最老的一颗锆石年龄为 (2661 ± 21) Ma. 四颗年轻碎屑锆石的年龄变化于 543~505 Ma, 平均为 521 Ma, 表明该沉积岩的沉积作用不早于 520 Ma.

4.4 苗儿山震旦纪沉积岩

苗儿山震旦纪砂岩(mes-26-4)的锆石颗粒较小, 磨圆中等, 一些柱状锆石的晶面清楚, 部分粒状锆石呈破碎状, 晶面不清晰. 所分析的 51 颗锆石有三个年龄峰, 年龄主峰是 770 Ma, 另外有二个弱峰是~2.0 和~2.5 Ga(图 8). 该样品中最年轻锆石的谐和年龄为 (705 ± 8) Ma, 谐和度为 99. 最老的年龄为 (2508 ± 28) Ma. 此样品以具有明显的新元古代年龄主峰和丰富的~2.0 Ga 锆石区别于其他三个样品.

5 讨论

5.1 物源区岩性组成与古风化环境

因为风化作用、搬运作用、沉积作用、成岩作用、物源区的成分和构造环境都能影响到沉积岩的化学组成, 因此研究沉积岩的地球化学成分可以得到当时的风化环境、物源区成分和构造环境等信息(Bhatia, 1983). 因为本次研究的沉积岩都只受到非常浅的变质作用, 因此其化学成分能够代表原岩的组成.

在 Roser 等(1988)的沉积物源区 F1-F2 判别图上(图 9), 物源区被划分为长英质火成物源区、中性岩火成物源区、石英岩沉积物源区和镁铁质火成物源区 4 个区域. 本次研究的金鸡岭沉积岩和苗儿山的寒武纪沉积岩几乎都落在石英质沉积物源区, 表明碎屑物质主要来源于再循环的沉积岩, 相似于南岭地区

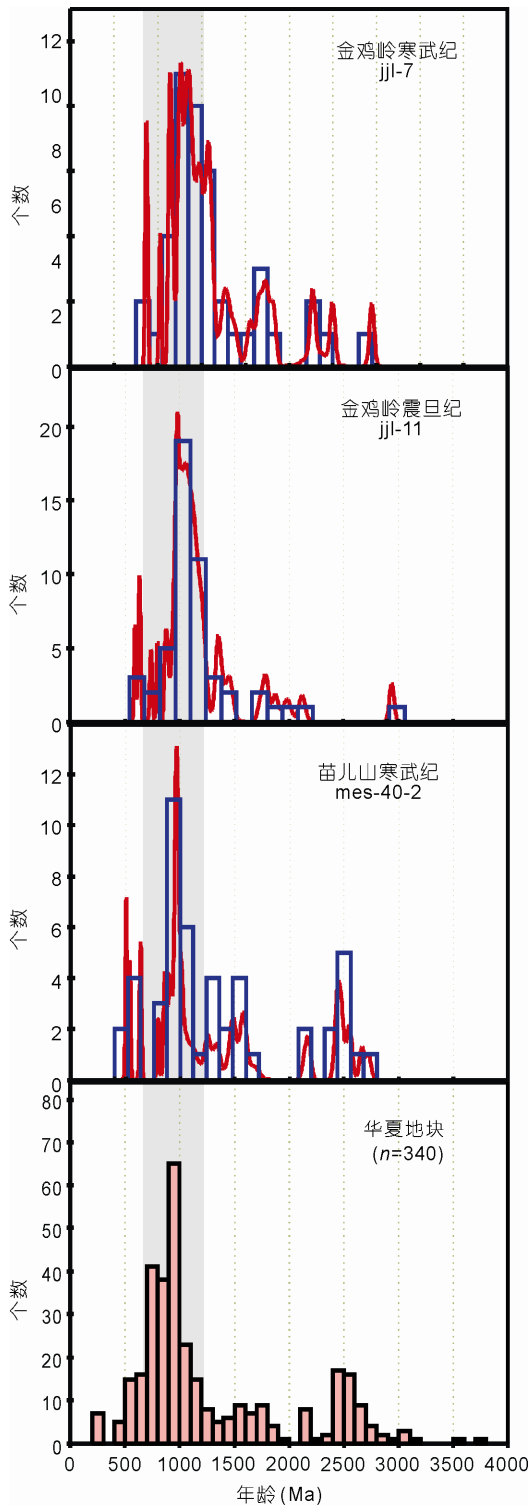


图7 苗儿山寒武纪和金鸡岭地区震旦和寒武纪变质沉积岩中碎屑锆石年龄谱图与华夏地块年龄直方图
选择谱和度 80% 以上的投影; 华夏地块数据来自文献 Xu 等(2007b) 和 Yu 等(2008, 2010)

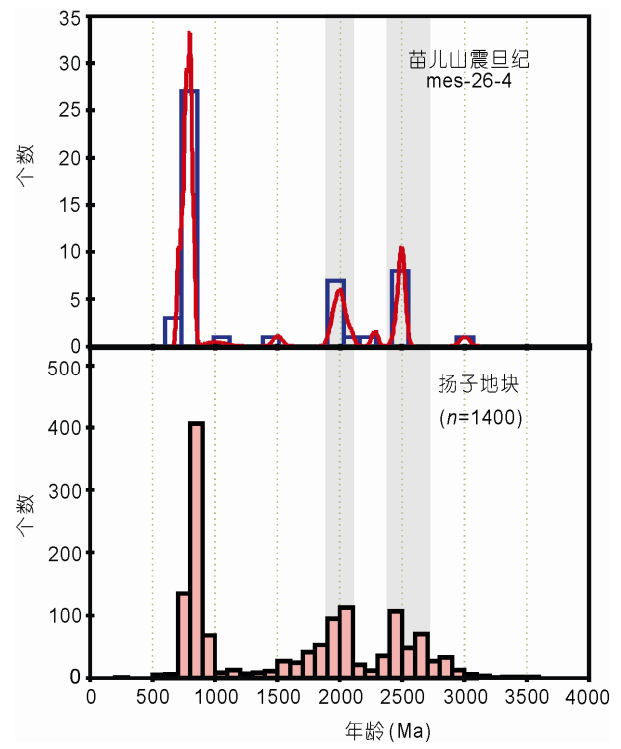


图8 苗儿山震旦纪变质沉积岩中碎屑锆石年龄谱图与扬子地块年龄直方图
扬子陆块数据来自 Wang 等(2007); Liu 等(2008); Zheng 等(2006); Wang 等(2010a)

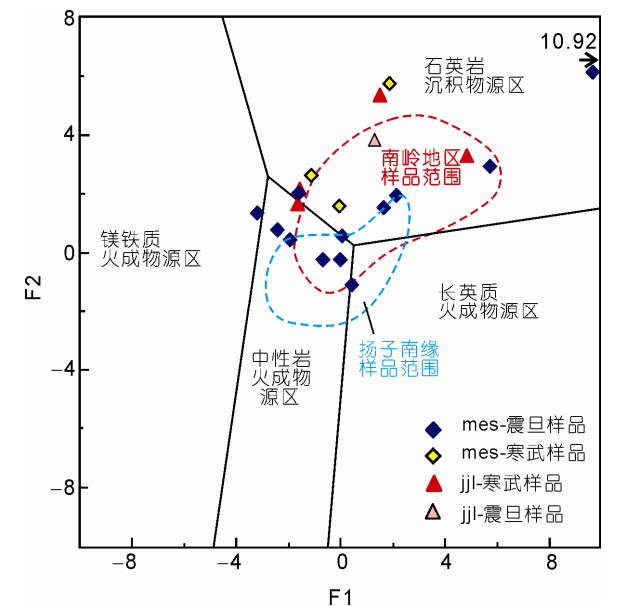


图9 沉积岩源区判别 F1-F2 投影图
据文献 Roser 和 Korsch(1988); 南岭地区样品范围据魏震洋等(2009); 扬子南缘样品范围据顾雪祥等(2003)

的新元古代沉积岩(图 9). 而苗儿山地区的震旦纪沉积岩大多数落在中性火成岩物源区, 少量落入石英质沉积物源区, 相似于扬子南缘雪峰山地区的新元古代沉积岩(图 9). 表明苗儿山地区震旦纪沉积岩的物质主要为中性火成岩, 或酸性与基性火成岩的混合物, 而少量来自再循环的沉积岩.

半径较大的阳离子, 如 Cs, Ba, K 和 Rb 会因选择性交换而被粘土矿物吸附留在风化壳上, 而较小半径的阳离子, 如 Ca, Na 和 Sr 等会从风化壳分离. 这些化学元素的行为轨迹被保留在了沉积记录中, 因此提供了一种还原物源区风化条件的有效指示. Nesbitt 等(1982, 1984, 1989)提出的 CIA 指数($CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$, CaO^* 仅代表硅酸岩中 CaO), 以及 A-CN-K 风化程度图来指示岩石的风化程度, 揭示碎屑岩的源区古风化环境和成分变化历史. 因为超过 50% 的上地壳由长石组成, 这个指数也可以有效的估量长石在风化过程中转变成粘土矿物的程度, 从而得出岩石的风化程度. 未风化的长石 CIA 指数为 50, 未风化的花岗岩和花岗闪长岩 CIA 值为 45~55, 而高岭土和绿泥石的 CIA 指数趋近于 100(Nesbitt 和 Young, 1982). 苗儿山和金鸡岭震旦纪和寒武纪沉积岩的 CIA 值变化于 53~84, 平均 71, 远高于平均上地壳($CIA=48$), 而相似于平均页岩($CIA=73$)(Nesbitt 和 Young, 1984), 显示出较强的风化程度.

在风化作用中斜长石比钾长石更容易风化, 造成 Na 和 Ca 的丢失速率大于 K 的丢失速率, 因此没经过变质作用改造的岩石的风化趋势线在 A-CN-K 风化程度图中应近似平行于 A-CN 边, 指向 Al_2O_3 端(图 10 中虚线). 当岩石中的斜长石消失时, 岩石的投影点应靠近 A-K 边界. 随风化作用的进一步深入, K 从钾长石和含 K 的粘土矿物中移除, 物质成分点移向 Al_2O_3 . 在 A-CN-K 图中可以看出苗儿山和金鸡岭沉积岩既有上地壳或 TTG 甚至镁铁质岩石风化的产物, 也有一些是花岗质岩石风化的(图 10). 少量样品偏离风化趋势线移向 K 端元, 表明这些沉积岩可能经历过沉积后的 K 质交代作用(Fedo 等, 1995, 1996). 未经过变质作用改造的沉积岩的风化演化线与长石连线的相交点反映了源区岩石中斜长石和钾长石的比例关系, 从而可以了解原岩的类型. 本次研究的样品连线大致交汇于上地壳和花岗岩之间, 表明物源区应以长英质岩石为主, 镁铁质岩较少.

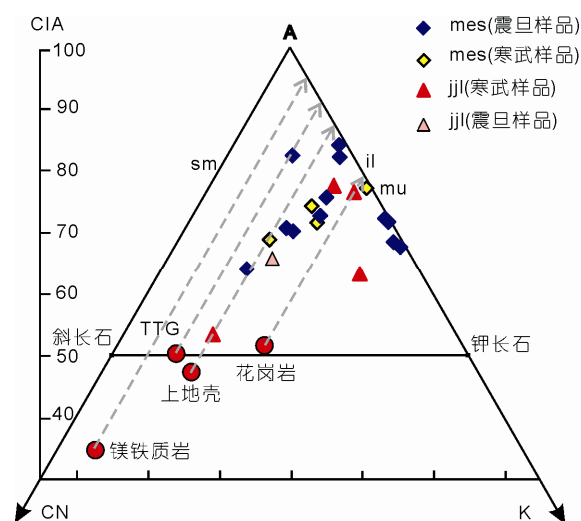


图 10 沉积岩 A-CN-K 风化程度图

据 Nesbitt 等(1982), 虚线为理想的风化趋势线

5.2 原岩沉积构造环境

Roser 等(1986)和 Bhatia 等(1986)分别提出了用主量元素判别砂岩和泥岩沉积盆地构造环境的 K_2O/Na_2O-SiO_2 图解和用微量元素判别砂岩和泥岩沉积盆地构造环境的 La-Th-Sc 和 Th-Sc-Zr/10 图解. 苗儿山和金鸡岭沉积岩的 K_2O/Na_2O 和 SiO_2 的值都很高, 因此在 SiO_2-K_2O/Na_2O 构造判别图中大多投在被动大陆边缘沉积盆地区域内(图 11), 而部分落入活动大陆边缘沉积盆地. 而在 Th-Sc-Zr/10 和 La-Th-Sc 的构造位置判别图中(图 12(a)和(b)), 苗儿山和金鸡岭的大部分样品都投在大陆岛弧的区域内, 而少量位于被动大陆边缘或活动大陆边缘构造环境之中.

两种构造环境判别图得到的结论并不完全相同. 这可能与两者的划分依据不同相关. Bhatia 等(1986)的判别图解分为大洋岛弧(OIA)、大陆岛弧(CIA)、主动大陆边缘(ACM)和被动大陆边缘(PM)四种类型的构造环境. 主动大陆边缘包括具有板块汇聚和造山带火山岩的安第斯型大陆边界和走滑大陆边界. 被动大陆边缘包括沿大陆边缘发育的大西洋型大陆裂谷边界, 还有造山带的前陆盆地和不活动的聚合边缘. 大洋岛弧环境为邻近大洋岛弧的沉积盆地, 碎屑物质来源于钙-碱和拉斑玄武岩型岛弧. 大陆岛弧环境邻近发育在大陆壳上的岛弧, 这种岛弧为从大陆分离出去的碎片, 碎屑物质来源于长英质火山岩石. 而在 Roser 等(1986)的构造判别图中, 沉积盆地只分

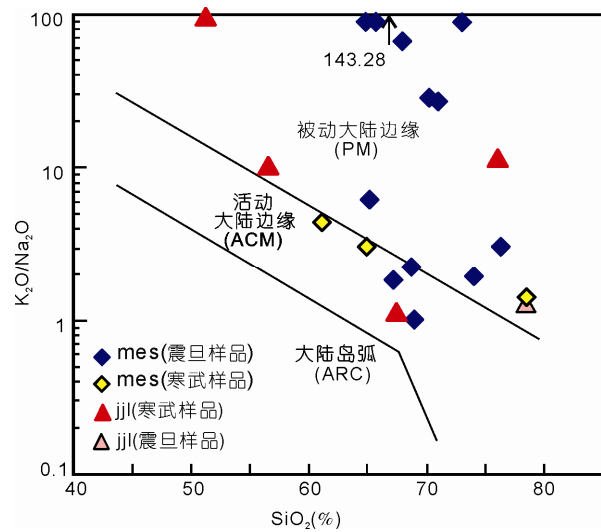


图 11 K_2O/Na_2O-SiO_2 构造判别图
据文献 Roser 和 Korsch(1986)

为三种构造环境: 被动大陆边缘(PM)、活动大陆边缘(ACM)和大洋岛弧(ARC). 被动大陆边缘指在稳定的大陆边缘或内部的盆地, 盆地的矿物成熟度高(石英含量高). 活动大陆边缘指构造活动大陆边缘或接近活动板块边界的沉积盆地(石英含量中等). 大洋岛弧是指盆地的沉积物(石英很少)来自于大洋岛弧. 很显然 Roser 等(1986)是按构造位置和矿物成熟度来划分构造环境的, 而 Bhatia 等(1986)则偏重于按板块构造来划分构造环境类型.

由于岛弧环境的特殊性使得在大陆岛弧构造环境下的陆源碎屑沉积具有非常特别的化学特征, 并且不会有很多被动大陆边缘地球化学信息. 而被动大陆边缘由于物源的复杂性则可能具有早期大陆岛弧的特征(柏道远等, 2007). 因此如果同时出现两种构造背景的属性, 则更可能为被动大陆边缘构造环境. 另一方面, 相对主量元素而言, 微量元素 REE, Y, Th, Zr, Hf, Ti 和 Sc 等的化学性质稳定, 不溶于水等, 因此更能定量地从原岩转移到碎屑沉积物中 (McLennan 等, 1993; 柏道远等, 2007). 这样, 没有经历强烈再循环作用的沉积物往往继承了原岩形成时的大陆岛弧型的微量元素信息, 则在 $Th-Sc-Zr/10$ 和 $La-Th-Sc$ 图中将可能落入大陆岛弧范围内. 而在 SiO_2-K_2O/Na_2O 主量元素构造判别图上则更多的屏蔽了原岩的影响显示出被动大陆构造环境的属性. 在 Roser 的沉积物源区判别图中, 本次研究的样品也主要位于石英岩沉积物源区, 也间接的表明了被动大陆边缘的特征(图 9). 综上所述, 研究区震旦-寒武纪的沉积盆地应位于被动大陆边缘. 柏道远等(2007)曾在湖南郴州附近采集过南华系-寒武系的砂岩进行岩石地球化学分析, 并得出湘东南南华系-寒武系砂岩应形成于被动大陆边缘的结论. 魏震洋等(2009)对华夏地块南岭地区新元古代变质岩的研究也得出同样的结论. 而这一时期华南几乎没有岩浆活动和变质作用也与此推论相吻合.

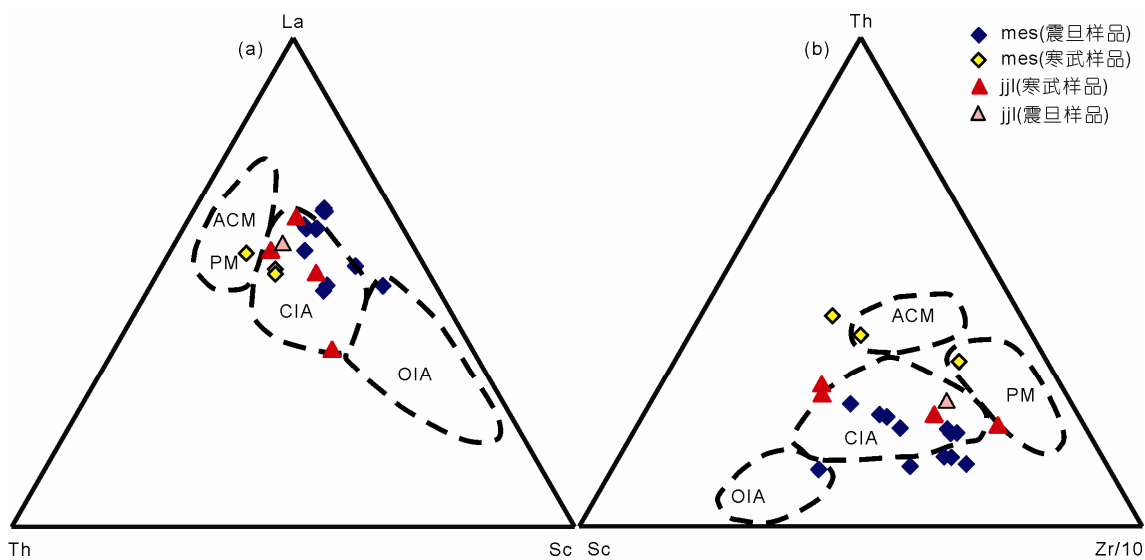


图 12 $La-Th-Sc$ 构造环境判别图(a)和 $Th-Sc-Zr/10$ 构造环境判别图(b)
据文献 Bhatia 和 Crook(1986)

5.3 研究区震旦-寒武纪沉积岩的物源区

将本研究沉积岩中碎屑锆石的年龄谱图与扬子地块和华夏地块的特征年龄峰值做对比(图 7 和 8), 可以有效地识别碎屑沉积物的来源. 已有的研究显示华夏地块新元古代沉积岩中包含了大量的 Grenville 期(~ 1.0 Ga)和新太古代(~ 2.5 Ga)的碎屑锆石(Yu 等, 2010, 2008; 王丽娟等, 2008), 而且在华夏的南缘很可能曾经存在一个 Grenville 期的造山带(王丽娟等, 2008). 而扬子地块是以强烈的 860~780 Ma 的新元古代岩浆活动为标志. 这期岩浆活动广泛分布于扬子地块的周缘, 但在华夏地块却很弱(图 7), 主要分布于东华夏的北武夷地区. 扬子地块另一个特征的构造热事件发生在 2.0 Ga(Liu 等, 2008; Zheng 等, 2006)(图 8). 扬子地块虽然也有 ~ 1.0 Ga 的碎屑锆石和岩石的发现, 但主要位于扬子地块的西缘(Greentree 和 Li, 2006; 杨崇辉等, 2009), 远离研究区, 且在扬子地块西缘的岩浆活动中不占主体.

金鸡岭地区震旦纪和寒武纪沉积岩的碎屑物组成与南岭新元古代沉积岩相似, 以含有大量的 Grenville 期年龄的碎屑锆石为特征, 并含少量的新太古代锆石, 表现出与华夏地块明显的亲缘性. 而在苗儿山地区南部的震旦纪沉积岩具有与扬子南缘新元古代沉积岩相似的化学组成. 它们以含有大量 700~840 Ma 年龄的碎屑锆石, 没有 Grenville 期年龄的锆石为特征, 而且含有的 ~ 2.0 Ga 和 ~ 2.5 Ga 的碎屑锆石. 这些与扬子地块的年龄谱特征非常相似(图 8), 表明其物源区是扬子地块. 而采自西北侧的寒武纪沉积岩中却有大量 1.0 Ga 左右的碎屑锆石, 显示出与金鸡岭和华夏南岭地区沉积物的相似性(图 7), 说明这时候苗儿山地区的沉积盆地开始接受了来自华夏地块的碎屑物质. 这与 Wang 等(2010b)对华南早古生代沉积物的研究和古流向的分析结论相符合. 他们研究显示在早古生代, 从扬子中部到东部, 再到华夏地块, 沉积相由碳酸岩沉积逐渐变为硅质碎屑岩, 而这些地区的早古生代碎屑物组成相似, 都来自于东南侧的华夏地块. 苗儿山地区沉积盆地的物源区从震旦纪到寒武纪($< 700\sim 520$ Ma)发生了重大改变, 这表明: (1) 苗儿山沉积盆地处于扬子地块和华夏地块的边界附近. 在没有明显沉积间断的情况下, 只有靠近两者的边界才可能接受到两者的碎屑物质. (2) 在寒武纪沉积之前发生了构造运动, 使苗儿山以及扬子南缘其他地区的沉积盆地发生沉降或盆地中心

发生了向西北的迁移, 从而使该地区也接受了来自东南侧华夏地块的碎屑物质. 由物源区变化限定的这次构造运动略早于广西的以不整合为标志的郁南运动(寒武纪末), 而且主要发生的是升降作用, 没有造成明显不整合, 更没有强烈发变质作用和岩浆活动. 因此, 这次构造运动很可能是华南早古生代造山作用的初始阶段.

5.4 扬子地块和华夏地块的界线

扬子地块与华夏地块的界线一直存在争议, 其东北段的界线为江山-绍兴断裂已经为大多数学者所接受, 但其西南段的界限却众说纷纭. 陈凌云等(2003)与洪大卫等(2002)通过岩石地球化学研究认为凭祥-南宁以北-柳州以南-荔浦-恭城一线为两地块的西南界线. 陈懋弘等(2006)通过岩相古地理的研究认为两地块的西南分界线为荔浦断裂. Li(1999), Wang 等(2005)和 Xu 等(2007a)认为扬子地块与华夏地块的分界线应以在华南板块出露的板溪群的南部边缘为界. 胡肇荣等(2009)和杨明桂等(1997)通过收集的数据综合研究认为扬子和华夏两个地块应沿钦-杭结合带拼合. 郭令智等(1981)与夏斌(1984)则认为龙胜地区断裂带为两地质块体的碰撞带. Wang 等(2003)通过研究在郴州-临武断裂两侧的镁铁质岩认为郴州-临武断裂是扬子地块与华夏地块的界线. Zhang 等(2007)通过对华南地区地壳地震波的分析认为吴川-四会断裂为扬子地块和华夏地块的界线. 而董云鹏等(2002)和 Guo 等(2009)通过对滇东南火山岩和花岗岩的研究认为滇东南-黔西南的弥勒-师宗-罗平-兴义-望谟-罗甸一线为扬子地块与华夏地块的碰撞带. 显然利用不同的资料可能得出不同的认识.

本文发现的苗儿山与金鸡岭之间震旦-寒武纪沉积岩组成的变化为确定震旦纪-寒武纪时期扬子地块与华夏地块在西南的界限提供了一种可能. 一般认为扬子地块与华夏地块在新元古代早期发生聚合, 而在新元古代中晚期又在伸展构造背景下拉伸形成了华南裂谷盆地. 由于板块结合部是薄弱地区, 因此, 往往也是新形成盆地的中心. 早期(震旦纪)盆地两侧沉积岩的沉积物来自各自盆地边缘的剥蚀区, 即苗儿山地区接受来自扬子地块的碎屑物, 而金鸡岭地区接受来自华夏地块的碎屑物. 当到了中晚寒武纪, 华南受到早古生代造山运动初期升降作用的影响, 盆地中心发生迁移或扬子一侧沉降(华夏一侧相对隆

升), 则隆升一侧(华夏地块)提供了更多的碎屑物。这时, 不仅金鸡岭地区继续接受来自华夏地块的这些碎屑物, 而且原来盆地另一侧的苗儿山等地区也接受了来自华夏地块的沉积物(Wang 等, 2010b)。据此分析, 本文认为扬子地块与华夏地块在西南的界限很可能就是从苗儿山与金鸡岭之间通过。

6 结论

岩相学和地球化学数据表明采自苗儿山和金鸡岭地区的震旦纪和寒武纪浅变质岩的原岩为陆源碎屑沉积岩。这些沉积岩具有中等风化程度, 一些沉积岩可能经历过沉积后的 K 质交代作用。根据主微量元素的构造判别图, 结合源区分析和华南缺少同时代岩浆活动的事实, 推测震旦纪和寒武纪时二个地区的沉积环境最可能是被动大陆边缘。地球化学分析还表明苗儿山地区的震旦纪沉积岩相似于扬子地块南缘其他地区的新元古代沉积岩, 而与苗儿山寒

武纪沉积岩的化学组成不同; 而金鸡岭地区震旦纪和寒武纪沉积岩的化学组成没有明显区别, 且与华夏地块南岭地区新元古代沉积岩以及苗儿山地区的寒武纪沉积岩具有相似性。

对二个地区不同时代沉积岩中碎屑锆石 U-Pb 定年结果也表明, 苗儿山寒武纪沉积岩、金鸡岭震旦纪和寒武纪沉积岩中都含丰富的具 Grenville 期年龄的碎屑锆石, 与华夏地块岩浆事件特征年龄峰相似, 显示了华夏地块亲缘性; 而苗儿山地区震旦纪沉积岩中碎屑锆石以强烈的新元古代年龄峰为特征, 具有明显的扬子地块亲缘性。碎屑锆石年龄信息与岩石地球化学特征相吻合, 都表明苗儿山地区沉积盆地的物源区在中晚寒武纪(>505 Ma 之间)前发生了重大改变, 由扬子地块变为了华夏地块。这一方面说明在此期间发生了一次构造运动, 使华夏地块进一步抬升或苗儿山盆地进一步沉陷(沉降盆地中心发生迁移), 另一方面, 也表明扬子地块与华夏地块的西南分界线应该是从苗儿山和金鸡岭之间经过。

致谢 感谢武兵老师在 U-Pb 测年方面的指导和帮助, 感谢刘飞同学在野外工作时的帮助。

参考文献

- 柏道远, 周亮, 王先辉, 等. 2007. 湘东南南华系-寒武系砂岩地球化学特征及对华南新元古代-早古生代构造背景的制约. 地质学报, 81: 755-771
- 陈凌云, 张忠伟. 2003. 加里东期扬子陆块与南华活动带在广西境内分界线的探讨. 南方国土资源, 12: 8-19
- 陈懋弘, 梁金城, 张桂林, 等. 2006. 加里东期扬子陆块与华夏板块西南段分界线的岩相古地理制约. 高校地质学报, 12: 111-122
- 董云鹏, 朱炳泉, 常向阳, 等. 2002. 滇东师宗-弥勒带北段基性火山岩地球化学及其对华南大陆构造格局的制约. 岩石学报, 18: 37-46
- 郭令智, 施央申, 马瑞士, 等. 1981. 中国东南部地体构造的研究. 南京大学学报(自然科学版), 20: 782-739
- 顾雪祥, 刘建明, Oskar S, 等. 2003. 江南造山带雪峰隆起区元古宙沉积岩沉积构造背景的地球化学制约. 地球化学, 32: 406-426
- 广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社. 853
- 洪大卫, 谢锡林, 张季生. 2002. 试析杭州-诸广山-花山高值 ϵNd 花岗岩带的地质意义. 地质通报, 21: 348-354
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志. 北京: 地质出版社. 663
- 胡肇荣, 邓国辉. 2009. 钦杭结合带之构造特征. 东华理工大学学报, 32: 114-122
- 康自立, 吴伟成, 祝民强. 1991. 新资断裂带的构造地球化学特征. 铀矿地质, 7: 137-145
- 魏震洋, 于津海, 王丽娟, 等. 2009. 南岭地区新元古代变质沉积岩的地球化学特征及构造意义. 地球化学, 38: 1-19
- 王丽娟, 于津海, O'Reilly S Y, 等. 2008. 华夏南部可能存在 Grenville 期造山作用: 来自基底变质岩中锆石 U-Pb 定年及 Lu-Hf 同位素信息. 科学通报, 53: 1680-1692
- 夏斌. 1984. 广西龙胜元古代二种不同成因蛇绿岩岩石地球化学及侵位方式研究. 南京大学学报(自然科学版), 3: 554-566
- 杨明桂, 梅勇文. 1997. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征. 华南地质与矿产, 3: 52-59
- 于津海, 魏震洋, 王丽娟, 等. 2006. 华夏地块: 一个由古老物质组成的年轻陆块. 高校地质学报, 12: 440-447
- 于津海, O'Reilly Y S, 王丽娟, 等. 2007. 华夏地块古老物质的发现和前寒武纪地壳的形成. 科学通报, 52: 11-18
- 杨崇辉, 耿元生, 杜利林, 等. 2009. 扬子地块西缘 Grenville 期花岗岩的厘定及其地质意义. 中国地质, 36: 647-657
- 郑永飞, 张少兵. 2007. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化. 科学通报, 52: 1-10
- 张少兵, 郑永飞. 2007. 扬子陆核的生长和再造: 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素研究. 岩石学报, 23: 393-402
- 张纯臣, 谭正修, 朱伦杰, 等. 1997. 全国地层多重划分对比研究: 湖南省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社. 269

- 张明华, 梁锦叶, 欧阳成甫, 等. 2001. 桂林市西部地区地质构造与成热关系. 桂林工学院学报, 21: 213–217
- Bhatia M R, Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib Mineral Petrol*, 92: 181–193
- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J Geol*, 91: 611–627
- Black L P, Gulson B L. 1978. The age of the Mud Tank carbonatite, Strangways Range, Northern Territory, BMRJ. *Aust Geol Geophys*, 3: 227–232
- Fedo C M, Eriksson K A, Krogstad E J. 1996. Geochemistry of shales from the Archean (~3.0 Ga) buhwa greenstone belt, Zimbabwe: Implications for provenance and source-area weathering. *Geochim Cosmochim Acta*, 60: 1751–1763
- Fedo C M, Nesbitt H W, Young G M. 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23: 921–924
- Greentree M R, Li Z X. 2008. The oldest known rocks in south-western China: SHRIMP U-Pb magmatic crystallisation age and detrital provenance analysis of the Paleoproterozoic Dahongshan Group. *Asian Earth Sci*, 33: 289–302
- Gromet L P, Haskin L A, Korotev R L, et al. 1984. The “North American Shale Composite”: Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochim Cosmochim Acta*, 48: 2469–2482
- Guo L G, Liu Y P, Li C Y, et al. 2009. SHRIMP zircon U-Pb geochronology and lithogeochemistry of Caledonian Granites from the Laojunshan area, southeastern Yunnan Province, China: Implications for the collision between the Yangtze and Cathaysia blocks. *Geochem J*, 43: 101–122
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. 2004. The application of laser ablation microprobe-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LAM-ICP-MS) to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chem Geol*, 211: 47–69
- Li X H, Li W X, Li Z X, et al. 2009. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks in South China: Constraints from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks. *Precambrian Res*, 174: 117–128
- Li X H. 1999. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze Block: Timing of Neoproterozoic Jinning Orogeny in SE China and implications for Rodinia Assembly. *Precambrian Res*, 97: 43–57
- Liu X M, Gao S, Diwu C R, et al. 2008. Precambrian crustal growth of Yangtze craton as revealed by detrital zircon studies. *Am J Sci*, 308: 421–468
- McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, et al. 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Geol Soc Am*, 284: 21–40
- McLennan S M, Taylor S R, McCulloch M T, et al. 1990. Geochemical and Nd, Sr isotopic composition of deep sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochim Cosmochim Acta*, 54: 2015–2050
- Nesbitt H W, Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715–717
- Nesbitt H W, Young G M. 1984. Prediction of some weathering plotonic and volcanic rocks based upon thermodynamic considerations. *Geochim Cosmochim Acta*, 48: 1523–1534
- Nesbitt H W, Young G M. 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles. *J Geol*, 97: 129–147
- Roser B P, Korsch R J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratios. *J Geol*, 94: 635–650
- Roser B P, Korsch R J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant cation analysis of major-element data. *Chem Geol*, 67: 119–139
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford: Blackwell. 1–312
- Wang L J, Griffin W L, Yu J H, et al. 2010a. Precambrian crustal evolution of the Yangtze Block tracked by detrital zircons from Neoproterozoic sedimentary rocks. *Precambrian Res*, 177: 131–144
- Wang X L, Zhou J C, Griffin W L, et al. 2007. Detrital zircon geochronology of Precambrian basement sequences in the Jiangnan orogen: Dating the assembly of the Yangtze and Cathaysia Blocks. *Precambrian Res*, 159: 117–131
- Wang Y J, Zhang F F, Fan W M, et al. 2010b. Tectonic setting of the South China Block in the early Paleozoic: Resolving intracontinental and ocean closure models from detrital zircon U-Pb geochronology. *Tectonics*, 29: TC6020
- Wang Y J, Fan W M, Guo F, et al. 2003. Geochemistry of Mesozoic mafic rocks adjacent to the Chenzhou-Linwu fault, South China: Implications for the lithospheric boundary between the Yangtze and Cathaysia Blocks. *Inter Geol Rev*, 45: 263–286
- Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M, et al. 2005. Structural signatures and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block. *J Struct Geol*, 27: 985–998

- Winkler H G F. 1976. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag. 334
- Wronkiewicz D J, Condie K C. 1987. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source-area weathering and provenance. *Geochim Cosmochim Acta*, 51: 2401–2416
- Xu D R, Gu X X, Li P C, et al. 2007a. Mesoproterozoic-Neoproterozoic transition: Geochemistry, provenance and tectonic setting of clastic sedimentary. *J Asian Earth Sci*, 29: 637–650
- Xu X S, O'Reilly S Y, Griffin W L, et al. 2007b. The crust of Cathaysia: Age, assembly and reworking of two terranes. *Precambrian Res*, 158: 51–78
- Ye M F, Li X H, Li W X, et al. 2007. SHRIMP zircon U-Pb geochronological and whole-rock geochemical evidence for an early Neoproterozoic Sibaoan magmatic arc along the southeastern margin of the Yangtze Block. *Gondwana Res*. 12: 144–156
- Yu J H, O'Reilly S Y, Wang L J, et al. 2008. Where was South China in the Rodinia supercontinent? Evidence from U-Pb geochronology and Hf isotopes of detrital zircons. *Precambrian Res*, 164: 1–15
- Yu J H, O'Reilly S Y, Wang L J, et al. 2010. Components and episodic growth of Precambrian crust in the Cathaysia Block, South China: Evidence from U-Pb ages and Hf isotopes of zircons in Neoproterozoic sediments. *Precambrian Res*, 181: 97–114
- Zhang Z J, Wang Y H. 2007. Crustal structure and contact relationship revealed from deep seismic sounding data in South China. *Phys Earth Planet Inter*, 165: 114–126
- Zhao J H, Zhou M F, Yan D P, et al. 2011. Reappraisal of the ages of Neoproterozoic strata in South China: No connection with the Grenvillian orogeny. *Geology*, 39: 299–302
- Zheng J P, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. 2006. Widespread Archean basement beneath the Yangtze Craton. *Geology*, 34: 417–420



附录

附表 1 苗儿山和金鸡岭地区震旦系-寒武系变质沉积岩的主量和微量元素组成^{a)}

样品号	09JL -7	09JL -8	09JL -9a	09JL -9b	09JL -11	09MES -26-1	09MES -26-2	09MES -26-3	09MES -26-4	09MES -26-5
岩性	变质细粒 杂砂岩	变质杂砂岩	板岩	变质石英 砂岩	变质石英 细砂岩	千枚状片岩	千枚岩	绢云母 千枚岩	变质细砂岩	白云母 千枚岩
产地	金鸡岭	金鸡岭	金鸡岭	金鸡岭	金鸡岭	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山
时代	寒武纪	寒武纪	寒武纪	寒武纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪
主量元素(%)										
SiO ₂	56.59	67.45	51.21	76.15	78.51	69.07	70.88	70.16	74.12	68.76
TiO ₂	0.80	1.34	0.90	0.73	0.62	0.60	0.64	0.73	0.59	0.74
Al ₂ O ₃	18.63	12.40	20.67	10.78	9.07	15.47	13.03	14.23	13.25	15.16
Fe ₂ O ₃	8.79	6.30	10.33	4.53	3.56	3.75	5.17	4.59	2.48	4.65
FeO	0.98	0.70	1.15	0.50	0.40	0.42	0.57	0.51	0.28	0.52
MnO	0.07	0.16	0.08	0.03	0.03	0.08	0.06	0.06	0.04	0.09
MgO	3.71	3.20	4.62	1.64	2.11	1.27	2.32	2.28	1.52	1.39
CaO	0.68	2.28	0.32	0.19	0.22	0.84	0.03	0.12	0.13	0.49
Na ₂ O	0.74	2.32	0.05	0.19	1.46	2.72	0.08	0.09	0.71	1.42
K ₂ O	7.69	2.67	5.15	2.21	1.92	2.76	2.18	2.61	1.40	3.16
P ₂ O ₅	0.15	0.27	0.24	0.15	0.10	0.10	0.06	0.06	0.04	0.09
烧失量	1.63	0.86	5.53	2.72	1.82	2.72	4.67	4.34	5.11	3.34
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3.04	5.44	2.48	7.07	8.66	4.46	5.44	4.93	5.59	4.54
K ₂ O/Na ₂ O	10.32	1.15	97.64	11.58	1.32	1.01	27.35	28.93	1.98	2.23
FeO+MgO	13.48	10.20	16.10	6.66	6.07	5.44	8.06	7.37	4.28	6.55
Al ₂ O ₃ / (Na ₂ O+CaO)	13.0	2.69	55.9	28.0	5.39	4.34	119	68.6	15.8	7.95
CIA	63.32	53.33	76.81	77.89	64.98	63.24	83.68	81.70	81.93	69.53
微量元素(ppm)										
Li	132.5	44.5	129.0	64.2	89.7	61.7	121.7	95.5	170.2	64.0
Be	5.67	3.29	6.72	2.31	1.55	4.40	3.44	3.30	3.06	2.70
Sc	27.9	23.0	33.0	16.9	12.8	15.3	14.0	16.2	11.0	16.4
Ti	6480	10437	7501	5749	4747	4513	4874	5730	4669	5834
V	194	159	252	116	80	80	70	76	78	100
Cr	134	317	150	77	101	47	56	75	24	49
Co	29.2	21.8	35.5	17.7	11.6	10.1	6.2	6.0	4.7	9.9
Ni	70.9	146.2	81.5	38.5	53.4	20.9	25.9	28.0	18.7	20.6
Cu	6.4	19.5	7.1	6.9	15.1	6.3	35.6	20.6	19.0	52.4
Zn	134	162	197	85	127	119	169	86	100	127
Ga	31.3	22.4	35.8	18.0	13.8	22.6	20.0	23.0	15.8	21.6
Rb	376.3	138.0	242.1	121.8	105.7	114.0	103.0	117.4	105.6	132.1
Sr	52.2	76.1	30.7	76.9	27.3	218.0	25.5	27.8	25.9	81.1
Y	40.4	71.0	51.3	39.1	36.4	54.4	39.9	40.4	29.6	47.5
Zr	192	1010	230	353	306	316	346	365	243	380
Nb	24.4	30.7	24.2	17.1	13.7	16.4	16.4	18.7	12.1	18.5
Mo	3.62	28.12	1.62	2.44	7.75	3.10	3.48	7.44	3.69	2.49
Cd	0.14	0.65	0.19	0.24	0.19	0.26	0.32	0.34	0.24	0.29
Sn	9.54	4.54	6.99	3.57	3.14	2.54	3.10	3.50	2.02	3.76
Cs	35.89	17.01	23.58	12.31	8.78	22.57	16.48	18.46	27.83	25.02
Ba	760	618	1422	707	339	1421	418	472	715	803
La	51.2	72.7	30.8	56.3	38.3	42.2	33.2	47.3	30.8	45.7
Ce	101.8	148.9	56.2	110.1	78.6	80.3	63.3	83.3	25.7	82.8
Pr	12.0	17.6	7.74	12.58	9.40	11.26	8.95	12.42	7.11	11.61
Nd	41.3	65.6	29.4	46.7	34.9	42.7	36.5	50.4	27.2	45.2
Sm	8.03	14.43	7.13	10.16	7.54	9.55	7.98	9.46	5.86	9.46
Eu	1.94	2.86	1.73	1.87	1.67	2.28	1.68	1.96	1.72	2.22

(续附表 1)										
样品号	09JL-7	09JL-8	09JL-9a	09JL-9b	09JL-11	09MES-26-1	09MES-26-2	09MES-26-3	09MES-26-4	09MES-26-5
岩性	变质细粒杂砂岩	变质杂砂岩	板岩	变质石英砂岩	变质石英细砂岩	千枚状片岩	千枚岩	绢云母千枚岩	变质细砂岩	白云母千枚岩
产地	金鸡岭	金鸡岭	金鸡岭	金鸡岭	金鸡岭	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山
时代	寒武纪	寒武纪	寒武纪	寒武纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪
微量元素(ppm)										
Gd	7.30	12.44	7.51	7.82	7.00	8.92	7.73	8.41	4.81	8.10
Tb	1.33	2.29	1.59	1.33	1.23	1.58	1.32	1.47	0.95	1.52
Dy	7.49	12.69	9.30	7.27	6.73	9.97	7.80	8.15	5.58	9.05
Ho	1.51	2.69	1.98	1.58	1.37	1.87	1.58	1.65	1.15	1.73
Er	4.21	7.16	5.29	4.12	3.47	5.17	4.28	4.48	3.71	5.14
Tm	0.66	1.27	0.94	0.71	0.58	0.87	0.70	0.75	0.66	0.92
Yb	4.21	7.50	5.76	4.18	3.43	5.41	4.53	4.68	3.97	5.66
Lu	0.72	1.35	1.03	0.67	0.55	0.81	0.74	0.80	0.61	0.83
Hf	6.90	33.03	7.85	11.76	9.85	9.46	11.83	13.04	7.78	12.56
Ta	1.75	2.23	1.73	1.27	1.02	0.71	1.10	1.35	0.71	1.26
W	1.89	2.64	2.63	2.16	0.99	1.05	3.70	4.24	2.91	1.91
Pb	27.40	16.71	9.85	7.68	11.42	18.87	20.87	17.00	10.20	15.23
Bi	0.56	0.27	0.23	0.08	0.15	0.11	0.43	0.38	0.08	0.70
Th	19.63	32.98	21.05	15.78	14.97	7.99	11.66	13.33	5.93	12.99
U	4.62	7.09	5.83	3.23	2.81	1.63	2.17	2.84	1.40	2.78
REE	243.6	369.4	166.4	265.3	194.7	222.8	180.3	235.2	119.7	229.9
Eu*	0.78	0.65	0.72	0.64	0.70	0.76	0.65	0.67	0.99	0.77
LRE/HRE	7.81	6.73	3.93	8.52	6.93	5.37	5.23	6.67	4.51	5.91
(La/Yb) _N	8.22	6.55	3.61	9.10	7.55	5.26	4.95	6.83	5.24	5.45
(La/Sm) _N	4.01	3.17	2.72	3.49	3.20	2.78	2.62	3.15	3.30	3.04
(Gd/Yb) _N	1.41	1.34	1.06	1.52	1.66	1.34	1.38	1.46	0.98	1.16
Th/Sc	0.70	1.43	0.64	0.93	1.17	0.52	0.83	0.82	0.54	0.79
样品号	09MES-27-1	09MES-27-2	09MES-27-3	09MES-29-1	09MES-30-1	09MES-30-2	09MES-30-4	09MES-39-3	09MES-40-1	09MES-40-2
岩性	千枚岩	千枚状变质细砂岩	变质粉砂质细砂岩	板岩	细砂岩	板岩	千枚岩	变质细砂粉砂岩	板岩	变质粉砂质细砂岩
产地	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山
地层时代	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	寒武纪	寒武纪	寒武纪
主量元素(%)										
SiO ₂	65.15	67.23	76.43	67.87	73.03	65.61	64.91	64.80	61.01	78.55
TiO ₂	0.74	0.78	0.37	0.73	0.57	0.71	0.70	0.68	0.77	0.52
Al ₂ O ₃	15.65	15.80	12.05	14.88	12.12	13.83	13.31	15.10	16.52	9.59
Fe ₂ O ₃	6.96	5.12	2.27	0.78	4.51	7.79	8.66	6.46	5.26	3.14
FeO	0.77	0.57	0.25	0.09	0.50	0.87	0.96	0.72	0.58	0.35
MnO	0.13	0.11	0.03	0.01	0.03	0.05	0.08	0.03	0.05	0.03
MgO	2.46	1.67	1.64	1.43	1.60	2.37	2.37	3.54	4.53	1.60
CaO	0.34	0.45	0.05	0.02	0.09	0.02	0.03	0.21	0.54	0.25
Na ₂ O	0.55	1.63	0.92	0.10	0.06	0.04	0.05	1.01	0.91	1.33
K ₂ O	3.40	3.01	2.82	6.62	5.09	5.12	4.75	3.14	4.03	1.73
P ₂ O ₅	0.10	0.11	0.03	0.03	0.10	0.08	0.10	0.13	0.12	0.14
烧失量	3.62	3.54	2.76	7.11	2.07	3.33	3.89	3.93	5.29	2.66
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	4.16	4.26	6.34	4.56	6.03	4.74	4.88	4.29	3.69	8.19
K ₂ O/Na ₂ O	6.23	1.85	3.06	67.90	92.31	143.28	104.04	3.10	4.43	1.30
FeO+MgO	10.19	7.36	4.16	2.30	6.61	11.03	11.99	10.72	10.37	5.09
Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O+CaO)	17.7	7.6	12.4	129	84.1	250	182	12.36	11.44	6.08
CIA	75.09	70.08	72.09	66.89	67.77	71.04	71.64	73.49	70.75	68

(续附表 1)

样品号	09MES -27-1	09MES -27-2	09MES -27-3	09MES -29-1	09MES -30-1	09MES -30-2	09MES -30-4	09MES -39-3	09MES -40-1	09MES -40-2
岩性	千枚岩	千枚状变质 细砂岩	变质粉砂质 细砂岩	板岩	细砂岩	板岩	千枚岩	变质细砂 粉砂岩	板岩	变质粉砂质 细砂岩
产地	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山	苗儿山
地层时代	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	震旦纪	寒武纪	寒武纪	寒武纪
微量元素(ppm)										
Li	34.9	39.0	128.3	50.6	26.7	43.2	40.5	36.5	36.3	19.2
Be	2.30	2.44	4.18	5.60	2.79	2.88	2.86	3.66	3.36	1.90
Sc	21.4	17.7	8.0	23.5	15.0	19.5	21.1	17.1	18.6	10.4
Ti	5534	6060	2561	6060	4129	5375	5531	4594	4576	3546
V	128	111	43	352	75	96	85	103	113	57
Cr	61	168	21	144	45	60	63	119	92	247
Co	18.2	29.1	2.6	2.0	9.5	13.8	15.3	9.1	2.2	6.4
Ni	39.6	68.0	13.3	21.2	38.1	62.1	66.8	62.9	28.3	155.7
Cu	11.2	40.8	3.9	17.9	5.2	10.1	99.2	44.6	40.7	19.6
Zn	147	108	46	233	63	84	78	427	184	172
Ga	22.7	19.8	14.0	25.3	16.3	22.2	23.2	22.8	20.8	14.0
Rb	120.0	87.7	97.0	155.8	131.6	192.6	202.3	193.5	204.4	102.1
Sr	88.9	120.8	17.8	74.3	36.1	27.4	25.7	47.8	49.2	63.0
Y	32.1	35.7	24.3	47.9	29.5	42.8	44.9	29.0	30.8	27.1
Zr	194	266	202	167	214	248	251	175	133	347
Nb	22.4	15.9	11.5	23.4	14.6	22.0	21.0	19.9	17.4	14.8
Mo	0.85	32.69	1.96	5.70	2.74	4.76	3.54	5.71	4.07	25.46
Cd	0.23	0.27	0.51	0.15	0.13	0.16	0.19	1.76	0.15	0.27
Sn	3.66	3.21	1.66	4.22	3.38	3.82	4.17	3.91	3.39	2.52
Cs	13.74	13.14	25.96	10.72	8.49	16.87	17.51	5.84	6.41	3.50
Ba	1231	1049	641	5654	756	636	694	1731	2187	1195
La	54.8	27.4	22.7	28.0	23.7	50.4	32.6	43.0	45.1	41.6
Ce	54.6	49.6	38.4	47.0	50.4	107.6	99.1	88.0	91.2	82.2
Pr	10.38	6.97	5.40	6.23	6.40	12.62	9.07	9.71	10.61	9.36
Nd	37.9	24.9	20.2	25.6	24.2	46.7	35.9	34.0	37.2	32.7
Sm	6.65	5.66	4.55	5.21	5.06	9.25	7.72	6.92	7.52	7.16
Eu	1.60	1.64	1.26	2.92	1.28	2.30	1.75	1.48	1.65	1.31
Gd	5.65	5.14	3.55	4.52	4.63	8.37	6.41	6.12	6.09	5.84
Tb	0.94	1.09	0.66	0.91	0.88	1.49	1.31	1.06	1.07	1.00
Dy	5.82	6.31	4.29	6.78	5.50	8.24	7.92	5.48	5.62	4.91
Ho	1.10	1.20	0.76	1.45	1.08	1.47	1.50	1.13	1.21	1.12
Er	3.71	3.88	2.40	4.56	3.18	4.53	4.45	2.99	3.16	2.77
Tm	0.67	0.68	0.46	0.82	0.59	0.77	0.82	0.46	0.47	0.41
Yb	4.17	4.13	3.07	5.59	3.63	4.59	4.99	2.63	2.72	2.39
Lu	0.65	0.70	0.42	0.81	0.55	0.68	0.70	0.46	0.46	0.45
Hf	6.52	8.95	6.06	5.05	6.94	8.43	8.32	4.96	3.80	8.84
Ta	1.43	0.99	0.59	1.15	0.96	1.33	1.47	1.33	1.20	1.08
W	2.85	8.03	1.30	1.13	1.26	1.22	1.35	12.07	1.87	1.71
Pb	9.12	8.58	4.35	15.33	7.75	3.99	6.42	14.94	2.50	10.99
Bi	0.05	0.10	0.07	0.49	0.23	1.22	0.78	0.58	0.03	0.18
Th	13.84	6.36	4.22	5.42	9.32	12.99	13.92	22.06	23.98	22.73
U	1.98	1.04	0.82	2.36	1.07	1.60	1.56	3.67	3.73	3.49
REE	188.6	139.3	108.2	140.3	131.0	259.0	214.2	203.4	214.1	193.3
Eu*	0.80	0.93	0.96	1.84	0.81	0.80	0.76	0.70	0.75	0.62
LRE/HRE	7.23	4.95	5.85	4.40	5.47	7.52	6.56	8.94	9.21	9.16
(La/Yb) _N	8.87	4.48	5.01	3.39	4.40	7.41	4.41	11.06	11.19	11.75
(La/Sm) _N	5.19	3.05	3.14	3.38	2.95	3.43	2.66	3.92	3.78	3.66
(Gd/Yb) _N	1.10	1.01	0.94	0.66	1.03	1.48	1.04	1.89	1.81	1.98
Th/Sc	0.65	0.36	0.53	0.23	0.62	0.66	0.66	1.29	1.29	2.18

a) REE 标准化所用球粒陨石数据来自文献 Taylor 和 McLennan(1985)

附表 2 苗儿山和金鸡岭地区震旦系-寒武系沉积岩中锆石 U-Pb 定年结果

分析 点号	同位素比值						年龄(Ma)						Th/U	谐和 性
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm\sigma$		
金鸡岭寒武纪														
jjl-7-1	0.1392	0.0017	7.2043	0.0991	0.3754	0.0046	2217	22	2137	12	2055	22	0.63	93
jjl-7-2	0.0776	0.0013	2.0613	0.0356	0.1925	0.0026	1138	33	1136	12	1135	14	1.80	100
jjl-7-3	0.1920	0.0025	13.3053	0.1980	0.5026	0.0065	2759	22	2702	14	2625	28	0.80	95
jjl-7-4	0.0886	0.0013	2.9416	0.0467	0.2407	0.0031	1396	29	1393	12	1390	16	1.19	100
jjl-7-5	0.0935	0.0017	3.2637	0.0617	0.2533	0.0035	1497	35	1472	15	1455	18	0.91	97
jjl-7-6	0.0701	0.0011	1.3125	0.0222	0.1358	0.0017	932	34	851	10	821	10	1.17	88
jjl-7-7	0.0845	0.0011	1.3889	0.0197	0.1192	0.0015	1305	25	884	8	726	9	1.03	56
jjl-7-8	0.0757	0.0011	1.8594	0.0292	0.1782	0.0023	1086	29	1067	10	1057	13	1.00	97
jjl-7-9	0.0731	0.0011	1.7307	0.0290	0.1718	0.0023	1016	31	1020	11	1022	13	0.40	101
jjl-7-10	0.0751	0.0014	1.7914	0.0332	0.1731	0.0022	1071	38	1042	12	1029	12	1.09	96
jjl-7-11	0.0762	0.0010	1.9506	0.0277	0.1858	0.0023	1099	26	1099	10	1098	13	0.26	100
jjl-7-12	0.0799	0.0012	2.2303	0.0347	0.2025	0.0026	1194	29	1191	11	1189	14	2.66	100
jjl-7-13	0.1418	0.0070	7.8840	0.3709	0.4034	0.0058	2249	87	2218	42	2185	27	0.70	97
jjl-7-14	0.0826	0.0012	2.4078	0.0385	0.2115	0.0027	1259	30	1245	11	1237	14	0.66	99
jjl-7-15	0.0719	0.0010	1.5168	0.0241	0.1530	0.0021	983	29	937	10	918	11	1.03	95
jjl-7-16	0.0628	0.0010	0.5969	0.0108	0.0689	0.0010	702	35	475	7	430	6	0.42	68
jjl-7-17	0.0808	0.0012	2.2477	0.0371	0.2017	0.0026	1217	31	1196	12	1184	14	0.58	98
jjl-7-18	0.1098	0.0019	4.5577	0.0802	0.3010	0.0038	1797	32	1742	15	1696	19	0.89	97
jjl-7-19	0.0792	0.0011	2.1534	0.0336	0.1973	0.0026	1176	28	1166	11	1161	14	1.20	99
jjl-7-20	0.0833	0.0013	2.4665	0.0417	0.2147	0.0029	1276	31	1262	12	1254	15	1.30	99
jjl-7-21	0.0711	0.0014	1.5281	0.0307	0.1560	0.0022	959	40	942	12	935	12	1.06	98
jjl-7-22	0.1054	0.0014	4.4069	0.0658	0.3031	0.0040	1722	24	1714	12	1707	20	0.46	100
jjl-7-23	0.1136	0.0015	5.2162	0.0784	0.3332	0.0043	1857	25	1855	13	1854	21	0.32	100
jjl-7-24	0.0844	0.0015	2.6643	0.0478	0.2290	0.0030	1301	34	1319	13	1329	16	1.12	101
jjl-7-25	0.1548	0.0021	9.5316	0.1454	0.4467	0.0059	2399	23	2391	14	2381	26	1.32	100
jjl-7-26	0.0728	0.0011	1.7037	0.0277	0.1697	0.0023	1010	30	1010	10	1010	13	0.17	100
jjl-7-27	0.0626	0.0010	0.9722	0.0172	0.1127	0.0015	693	36	690	9	689	9	1.11	99
jjl-7-28	0.0689	0.0010	1.4211	0.0238	0.1496	0.0020	896	32	898	10	898	11	0.44	100
jjl-7-29	0.0726	0.0015	1.7157	0.0355	0.1714	0.0023	1003	42	1014	13	1020	13	0.80	101
jjl-7-30	0.1012	0.0016	4.0835	0.0702	0.2926	0.0039	1647	30	1651	14	1654	19	0.86	100
jjl-7-31	0.0827	0.0011	2.5765	0.0387	0.2258	0.0030	1263	26	1294	11	1313	16	0.26	102
jjl-7-32	0.0712	0.0009	1.6665	0.0255	0.1697	0.0023	964	28	996	10	1010	12	0.69	103
jjl-7-33	0.0621	0.0008	0.9813	0.0150	0.1147	0.0015	677	29	694	8	700	9	0.32	103
jjl-7-34	0.0905	0.0013	3.0547	0.0505	0.2449	0.0033	1435	29	1421	13	1412	17	0.78	99
jjl-7-35	0.1086	0.0017	4.7512	0.0813	0.3173	0.0042	1776	30	1776	14	1777	20	0.36	100
jjl-7-36	0.0791	0.0012	1.8250	0.0295	0.1673	0.0022	1176	30	1054	11	997	12	0.63	90
jjl-7-37	0.0748	0.0011	1.8335	0.0297	0.1778	0.0024	1064	29	1058	11	1055	13	0.67	99
jjl-7-38	0.0776	0.0014	2.0588	0.0418	0.1924	0.0029	1137	38	1135	14	1134	16	0.36	100
jjl-7-39	0.0753	0.0013	1.8624	0.0358	0.1794	0.0026	1077	36	1068	13	1063	14	1.43	99
jjl-7-40	0.0757	0.0016	1.9172	0.0419	0.1837	0.0026	1087	44	1087	15	1087	14	0.31	100
jjl-7-41	0.0719	0.0011	1.6410	0.0286	0.1655	0.0023	984	32	986	11	987	13	0.90	100
jjl-7-42	0.0826	0.0012	2.3727	0.0378	0.2085	0.0027	1259	29	1234	11	1221	15	0.52	98
jjl-7-43	0.0745	0.0011	1.8151	0.0293	0.1767	0.0024	1055	30	1051	11	1049	13	1.04	100
jjl-7-44	0.0695	0.0014	1.4549	0.0310	0.1518	0.0022	914	43	912	13	911	12	0.63	100

(续附表 2)

分析 点号	同位素比值						年龄(Ma)						Th/U	谐和 性
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$		
金鸡岭震旦纪														
jjl-11-1	0.1316	0.0022	6.4979	0.1144	0.3582	0.0049	2119	30	2046	15	1974	23	1.27	93
jjl-11-2	0.0761	0.0014	1.6775	0.0321	0.1599	0.0022	1098	38	1000	12	956	12	0.71	87
jjl-11-3	0.0691	0.0011	1.3770	0.0240	0.1446	0.0019	901	35	879	10	871	11	0.34	97
jjl-11-4	0.0603	0.0011	0.7981	0.0151	0.0959	0.0013	616	40	596	9	591	8	1.71	96
jjl-11-5	0.0770	0.0014	1.9443	0.0363	0.1832	0.0025	1121	37	1096	13	1084	13	0.99	97
jjl-11-6	0.0875	0.0016	2.7952	0.0528	0.2317	0.0031	1372	36	1354	14	1343	16	0.51	98
jjl-11-7	0.0743	0.0012	1.7908	0.0317	0.1747	0.0024	1050	34	1042	12	1038	13	2.69	99
jjl-11-8	0.0721	0.0010	1.6385	0.0257	0.1648	0.0022	990	29	985	10	983	12	0.90	99
jjl-11-9	0.0603	0.0009	0.8655	0.0136	0.1040	0.0014	616	31	633	7	638	8	0.85	104
jjl-11-10	0.0719	0.0012	1.6286	0.0290	0.1644	0.0022	982	35	981	11	981	12	0.66	100
jjl-11-11	0.0729	0.0011	1.7152	0.0289	0.1706	0.0023	1012	32	1014	11	1015	13	0.32	100
jjl-11-12	0.0786	0.0013	2.1227	0.0379	0.1959	0.0027	1162	34	1156	12	1153	14	1.39	99
jjl-11-13	0.1240	0.0018	3.1353	0.0500	0.1834	0.0024	2015	26	1441	12	1085	13	0.41	54
jjl-11-14	0.0655	0.0011	1.1886	0.0216	0.1316	0.0018	791	37	795	10	797	10	0.95	101
jjl-11-15	0.1071	0.0017	4.5838	0.0799	0.3103	0.0042	1751	30	1746	15	1742	21	1.16	99
jjl-11-16	0.0714	0.0012	1.5791	0.0275	0.1604	0.0021	969	34	962	11	959	12	0.97	99
jjl-11-17	0.0749	0.0014	1.8279	0.0347	0.1770	0.0024	1066	37	1056	12	1050	13	1.41	99
jjl-11-18	0.0806	0.0011	2.2468	0.0335	0.2022	0.0026	1211	26	1196	10	1187	14	0.68	98
jjl-11-19	0.1146	0.0018	5.1268	0.0884	0.3245	0.0045	1874	30	1841	15	1812	22	0.83	97
jjl-11-20	0.0811	0.0015	2.3050	0.0448	0.2061	0.0029	1224	37	1214	14	1208	15	1.83	99
jjl-11-21	0.0787	0.0013	2.1111	0.0376	0.1946	0.0026	1164	34	1152	12	1146	14	1.51	98
jjl-11-22	0.0721	0.0013	1.6281	0.0305	0.1638	0.0022	988	37	981	12	978	12	1.14	99
jjl-11-23	0.0774	0.0012	2.0008	0.0345	0.1875	0.0025	1132	33	1116	12	1108	14	0.78	98
jjl-11-24	0.0751	0.0012	1.8297	0.0313	0.1768	0.0024	1071	33	1056	11	1049	13	1.66	98
jjl-11-25	0.0718	0.0012	1.5797	0.0277	0.1597	0.0021	979	34	962	11	955	12	1.37	98
jjl-11-26	0.0657	0.0017	1.0975	0.0285	0.1212	0.0018	796	56	752	14	738	11	1.70	93
jjl-11-27	0.2143	0.0027	17.1776	0.2509	0.5813	0.0077	2939	21	2945	14	2954	31	0.64	101
jjl-11-28	0.0727	0.0013	1.6867	0.0324	0.1682	0.0024	1006	38	1004	12	1002	13	0.14	100
jjl-11-29	0.0761	0.0010	1.9302	0.0291	0.1840	0.0024	1097	27	1092	10	1089	13	0.71	99
jjl-11-30	0.0744	0.0010	1.7946	0.0279	0.1750	0.0023	1052	28	1043	10	1039	13	0.79	99
jjl-11-31	0.0744	0.0010	1.8070	0.0275	0.1762	0.0023	1052	27	1048	10	1046	13	0.23	99
jjl-11-32	0.0736	0.0014	1.6932	0.0331	0.1670	0.0024	1029	38	1006	12	995	13	1.68	97
jjl-11-33	0.0758	0.0011	1.8898	0.0315	0.1809	0.0024	1089	31	1078	11	1072	13	0.96	98
jjl-11-34	0.0777	0.0018	2.0569	0.0476	0.1920	0.0029	1140	46	1135	16	1132	15	0.01	99
jjl-11-35	0.0748	0.0011	1.1499	0.0185	0.1115	0.0015	1063	30	777	9	682	9	0.22	64
jjl-11-36	0.0728	0.0012	1.6884	0.0293	0.1683	0.0023	1008	33	1004	11	1003	13	0.95	99
jjl-11-37	0.0735	0.0009	1.7047	0.0219	0.1682	0.0023	1028	26	1010	8	1002	12	0.35	98
jjl-11-38	0.0867	0.0011	2.7389	0.0360	0.2292	0.0031	1354	26	1339	10	1330	16	0.91	98
jjl-11-39	0.0775	0.0013	2.0257	0.0330	0.1896	0.0027	1134	34	1124	11	1119	14	0.44	99
jjl-11-40	0.0723	0.0012	1.6861	0.0283	0.1692	0.0024	994	36	1003	11	1008	13	1.55	101
jjl-11-41	0.0865	0.0011	2.7347	0.0336	0.2293	0.0031	1350	24	1338	9	1331	16	0.73	99
jjl-11-42	0.0806	0.0013	2.3085	0.0352	0.2079	0.0029	1211	31	1215	11	1217	15	1.85	101
jjl-11-43	0.1096	0.0014	4.9547	0.0620	0.3278	0.0044	1793	23	1812	11	1828	21	1.00	102
jjl-11-44	0.0914	0.0013	3.1812	0.0548	0.2524	0.0037	1456	29	1453	13	1451	19	0.02	100
jjl-11-45	0.0786	0.0015	2.2185	0.0455	0.2047	0.0032	1163	38	1187	14	1201	17	0.81	103
jjl-11-46	0.0746	0.0017	1.6288	0.0394	0.1583	0.0025	1059	48	981	15	947	14	0.69	90
jjl-11-47	0.0620	0.0012	0.8728	0.0184	0.1021	0.0015	674	43	637	10	627	9	1.18	93
jjl-11-48	0.0726	0.0016	1.6297	0.0371	0.1630	0.0025	1001	44	982	14	973	14	1.27	97
jjl-11-49	0.0771	0.0015	1.9861	0.0427	0.1869	0.0028	1123	41	1111	15	1105	15	0.82	98
jjl-11-50	0.0908	0.0022	2.9869	0.0749	0.2386	0.0038	1443	47	1404	19	1380	20	0.35	96
jjl-11-51	0.1218	0.0023	6.1309	0.1289	0.3651	0.0057	1983	35	1995	18	2006	27	0.37	101
jjl-11-52	0.0713	0.0014	1.5257	0.0322	0.1553	0.0023	965	40	941	13	931	13	0.54	97
jjl-11-53	0.0702	0.0017	1.4362	0.0364	0.1484	0.0024	935	51	904	15	892	13	0.78	95

(续附表 2)

分析 点号	同位素比值						年龄(Ma)						Th/U	谐和 性
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$		
苗儿山震旦纪														
mes-26-4-1	0.1443	0.0022	8.0863	0.1285	0.4063	0.0053	2280	26	2241	14	2198	24	0.27	98
mes-26-4-2	0.1226	0.0019	5.8952	0.0952	0.3489	0.0045	1994	28	1961	14	1929	21	1.72	98
mes-26-4-3	0.1192	0.0018	5.7508	0.0953	0.3500	0.0048	1945	27	1939	14	1935	23	0.39	100
mes-26-4-4	0.0633	0.0021	1.0231	0.0329	0.1173	0.0018	718	71	715	17	715	11	1.26	100
mes-26-4-5	0.0699	0.0011	1.2789	0.0218	0.1327	0.0017	925	34	836	10	803	10	1.53	90
mes-26-4-6	0.0655	0.0015	1.1551	0.0260	0.1280	0.0018	789	48	780	12	776	10	1.36	99
mes-26-4-7	0.0725	0.0030	1.2157	0.0488	0.1216	0.0021	1001	86	808	22	740	12	1.55	81
mes-26-4-8	0.0653	0.0028	1.1148	0.0461	0.1238	0.0022	785	92	760	22	752	13	1.37	97
mes-26-4-9	0.0685	0.0037	1.2401	0.0646	0.1314	0.0031	883	114	819	29	796	17	1.51	93
mes-26-4-10	0.0648	0.0013	1.1289	0.0231	0.1264	0.0017	767	43	767	11	767	10	0.17	100
mes-26-4-11	0.1628	0.0021	10.3927	0.1499	0.4629	0.0059	2485	22	2470	13	2452	26	1.00	99
mes-26-4-12	0.0655	0.0012	1.1277	0.0213	0.1249	0.0017	789	38	767	10	759	10	0.58	97
mes-26-4-13	0.1220	0.0016	5.9975	0.0919	0.3564	0.0048	1986	24	1975	13	1965	23	0.51	99
mes-26-4-14	0.0661	0.0010	1.2023	0.0203	0.1319	0.0018	810	33	802	9	799	10	2.95	99
mes-26-4-15	0.0635	0.0009	1.0116	0.0158	0.1156	0.0015	724	31	710	8	705	8	2.08	98
mes-26-4-16	0.0651	0.0013	1.1457	0.0243	0.1275	0.0018	779	44	775	11	774	10	1.68	100
mes-26-4-17	0.0671	0.0024	1.1651	0.0409	0.1260	0.0020	841	76	784	19	765	12	0.75	93
mes-26-4-18	0.1190	0.0022	5.6595	0.1107	0.3450	0.0051	1941	34	1925	17	1910	24	1.24	99
mes-26-4-19	0.1599	0.0026	9.9364	0.1726	0.4505	0.0062	2455	28	2429	16	2397	27	2.14	99
mes-26-4-20	0.0678	0.0017	1.2963	0.0319	0.1387	0.0021	862	52	844	14	837	12	0.95	98
mes-26-4-21	0.1240	0.0032	5.8852	0.1494	0.3442	0.0054	2015	47	1959	22	1907	26	3.10	97
mes-26-4-22	0.0666	0.0016	1.2508	0.0299	0.1362	0.0019	826	51	824	13	823	11	0.94	100
mes-26-4-23	0.0637	0.0024	1.0557	0.0397	0.1202	0.0019	731	83	732	20	732	11	1.47	100
mes-26-4-24	0.0666	0.0015	1.1926	0.0276	0.1299	0.0020	825	47	797	13	787	11	0.95	97
mes-26-4-25	0.1651	0.0023	10.6979	0.1674	0.4700	0.0063	2508	24	2497	15	2484	28	1.68	100
mes-26-4-26	0.1647	0.0025	10.6355	0.1814	0.4683	0.0065	2504	26	2492	16	2476	28	1.82	99
mes-26-4-27	0.0654	0.0011	1.1561	0.0215	0.1283	0.0018	786	37	780	10	778	10	1.41	99
mes-26-4-28	0.1289	0.0021	6.7817	0.1177	0.3815	0.0051	2084	29	2083	15	2083	24	1.17	100
mes-26-4-29	0.0642	0.0015	1.2163	0.0298	0.1374	0.0020	748	52	808	14	830	11	1.53	108
mes-26-4-30	0.0645	0.0012	1.0999	0.0226	0.1236	0.0018	759	41	753	11	751	10	1.19	99
mes-26-4-31	0.0648	0.0034	1.1296	0.0579	0.1265	0.0024	767	114	768	28	768	14	2.09	100
mes-26-4-32	0.1647	0.0021	10.6654	0.1579	0.4698	0.0063	2505	22	2494	14	2483	27	2.14	100
mes-26-4-33	0.0937	0.0017	3.3480	0.0648	0.2591	0.0036	1503	36	1492	15	1485	18	0.60	99
mes-26-4-34	0.0664	0.0019	1.2000	0.0346	0.1311	0.0020	818	62	801	16	794	11	1.55	98
mes-26-4-35	0.1634	0.0022	10.5804	0.1639	0.4697	0.0062	2491	24	2487	14	2482	27	0.08	100
mes-26-4-36	0.0662	0.0018	1.2033	0.0332	0.1319	0.0020	812	58	802	15	799	11	0.89	99
mes-26-4-37	0.1246	0.0023	6.4135	0.1230	0.3733	0.0051	2024	34	2034	17	2045	24	1.02	101
mes-26-4-38	0.0666	0.0011	1.2139	0.0222	0.1322	0.0018	825	36	807	10	801	10	2.25	98
mes-26-4-39	0.1245	0.0017	6.3879	0.0982	0.3720	0.0048	2022	25	2031	13	2039	23	0.72	100
mes-26-4-40	0.1649	0.0027	10.5943	0.1847	0.4660	0.0061	2507	28	2488	16	2466	27	1.74	99
mes-26-4-41	0.0656	0.0018	1.0296	0.0280	0.1138	0.0019	794	57	719	14	695	11	0	88
mes-26-4-42	0.0664	0.0012	1.2295	0.0246	0.1343	0.0020	818	39	814	11	812	12	0.6	99
mes-26-4-43	0.0675	0.0016	1.2229	0.0304	0.1314	0.0021	853	51	811	14	796	12	1.4	93
mes-26-4-44	0.0645	0.0021	1.0725	0.0353	0.1206	0.0022	758	71	740	17	734	12	1.3	97
mes-26-4-45	0.2228	0.0053	18.0645	0.4365	0.5879	0.0093	3001	39	2993	23	2981	38	1.9	99
mes-26-4-46	0.0642	0.0011	1.0614	0.0212	0.1199	0.0018	749	38	735	10	730	11	1.3	97
mes-26-4-47	0.0675	0.0016	1.2556	0.0315	0.1350	0.0022	852	51	826	14	816	13	0.8	96
mes-26-4-48	0.0666	0.0021	1.1474	0.0356	0.1249	0.0022	826	66	776	17	759	12	1.4	92
mes-26-4-49	0.0701	0.0035	1.2688	0.0614	0.1312	0.0029	932	105	832	27	795	17	1.3	85
mes-26-4-50	0.1618	0.0033	10.4525	0.2261	0.4686	0.0072	2474	35	2476	20	2478	32	2.3	100

(续附表 2)

分析 点号	同位素比值						年龄(Ma)						Th/U	谐和 性
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$		
苗儿山寒武纪														
mes-40-2-1	0.0822	0.0010	2.3483	0.0343	0.2073	0.0027	1250	25	1227	10	1214	15	0.57	97
mes-40-2-2	0.1809	0.0022	12.6931	0.1849	0.5091	0.0068	2661	21	2657	14	2653	29	0.44	100
mes-40-2-3	0.1693	0.0023	11.3476	0.1762	0.4862	0.0067	2551	23	2552	14	2554	29	1.13	100
mes-40-2-4	0.0725	0.0013	1.6797	0.0328	0.1680	0.0024	1000	38	1001	12	1001	13	1.34	100
mes-40-2-5	0.0716	0.0010	1.5694	0.0245	0.1590	0.0021	975	29	958	10	951	12	2.03	98
mes-40-2-6	0.0557	0.0012	0.6288	0.0141	0.0819	0.0012	441	49	495	9	507	7	2.35	115
mes-40-2-7	0.0933	0.0013	3.5504	0.0557	0.2762	0.0037	1493	27	1539	12	1572	19	0.69	105
mes-40-2-8	0.0598	0.0012	0.8573	0.0182	0.1040	0.0015	596	45	629	10	638	9	1.23	107
mes-40-2-9	0.0713	0.0021	1.5670	0.0461	0.1595	0.0025	965	61	957	18	954	14	0.83	99
mes-40-2-10	0.0572	0.0010	0.6431	0.0119	0.0815	0.0011	501	39	504	7	505	7	2.38	101
mes-40-2-11	0.0739	0.0014	1.8192	0.0372	0.1785	0.0026	1039	40	1052	13	1059	14	2.46	102
mes-40-2-12	0.1361	0.0016	7.4846	0.1060	0.3988	0.0053	2179	21	2171	13	2163	24	0.12	99
mes-40-2-13	0.0704	0.0016	1.5599	0.0368	0.1608	0.0024	939	49	954	15	961	13	1.90	102
mes-40-2-14	0.0699	0.0009	1.5564	0.0239	0.1615	0.0022	925	28	953	9	965	12	0.91	104
mes-40-2-15	0.1578	0.0020	9.8947	0.1476	0.4547	0.0061	2433	22	2425	14	2416	27	1.49	99
mes-40-2-16	0.0717	0.0015	1.5979	0.0339	0.1617	0.0024	977	42	969	13	966	13	1.74	99
mes-40-2-17	0.0581	0.0010	0.7039	0.0130	0.0878	0.0012	534	38	541	8	543	7	1.97	102
mes-40-2-18	0.0819	0.0027	1.5764	0.0510	0.1397	0.0025	1242	66	961	20	843	14	1.23	68
mes-40-2-19	0.0730	0.0016	1.7269	0.0382	0.1715	0.0025	1015	45	1019	14	1021	14	2.51	101
mes-40-2-20	0.0764	0.0014	1.8844	0.0368	0.1789	0.0025	1106	38	1076	13	1061	14	0.88	96
mes-40-2-21	0.0717	0.0011	1.6767	0.0292	0.1696	0.0023	978	33	1000	11	1010	13	2.91	103
mes-40-2-22	0.0859	0.0012	2.7304	0.0434	0.2306	0.0031	1335	28	1337	12	1338	16	0.47	100
mes-40-2-23	0.0582	0.0014	0.6882	0.0163	0.0857	0.0012	539	52	532	10	530	7	2.01	98
mes-40-2-24	0.0712	0.0013	1.4866	0.0293	0.1514	0.0021	963	39	925	12	909	12	0.56	94
mes-40-2-25	0.0725	0.0013	1.6545	0.0308	0.1655	0.0023	1001	36	991	12	987	13	1.05	99
mes-40-2-26	0.1583	0.0022	9.9285	0.1565	0.4550	0.0062	2437	24	2428	15	2417	27	1.55	99
mes-40-2-27	0.0721	0.0010	1.6398	0.0263	0.1650	0.0022	988	29	986	10	985	12	1.30	100
mes-40-2-28	0.0822	0.0018	2.3441	0.0531	0.2067	0.0031	1251	44	1226	16	1211	17	1.68	97
mes-40-2-29	0.0970	0.0015	3.6184	0.0606	0.2707	0.0037	1566	29	1554	13	1544	19	1.96	99
mes-40-2-30	0.1614	0.0023	10.3657	0.1666	0.4659	0.0062	2470	25	2468	15	2466	27	3.27	100
mes-40-2-31	0.0658	0.0009	1.1970	0.0185	0.1320	0.0017	798	29	799	9	799	10	1.13	100
mes-40-2-32	0.0679	0.0012	1.3277	0.0246	0.1418	0.0019	866	37	858	11	855	11	1.96	99
mes-40-2-33	0.1627	0.0022	10.4013	0.1588	0.4637	0.0062	2484	23	2471	14	2456	27	1.71	99
mes-40-2-34	0.0716	0.0010	1.6047	0.0252	0.1625	0.0021	975	29	972	10	971	12	1.10	100
mes-40-2-35	0.0975	0.0014	3.6838	0.0576	0.2740	0.0036	1577	27	1568	12	1561	18	0.79	99
mes-40-2-36	0.0678	0.0010	1.3420	0.0226	0.1435	0.0019	863	33	864	10	865	11	1.38	100
mes-40-2-37	0.0703	0.0011	1.5877	0.0268	0.1639	0.0022	936	32	965	11	978	12	1.06	104
mes-40-2-38	0.1596	0.0024	10.2207	0.1696	0.4646	0.0063	2451	26	2455	15	2460	28	2.03	100
mes-40-2-39	0.0980	0.0015	3.8201	0.0654	0.2828	0.0038	1586	30	1597	14	1605	19	2.18	101
mes-40-2-40	0.1336	0.0019	7.1969	0.1198	0.3908	0.0055	2146	26	2136	15	2126	26	0.02	99
mes-40-2-41	0.0922	0.0015	3.3143	0.0612	0.2607	0.0039	1472	31	1484	14	1494	20	0.98	102
mes-40-2-42	0.1690	0.0025	11.1611	0.1887	0.4793	0.0068	2547	25	2537	16	2524	30	0.23	99
mes-40-2-43	0.0777	0.0017	2.0429	0.0473	0.1907	0.0029	1139	46	1130	16	1125	16	0.51	99
mes-40-2-44	0.1867	0.0029	13.1348	0.2325	0.5080	0.0027	2721	26	2689	17	2648	31	0.42	97
mes-40-2-45	0.0925	0.0016	3.1112	0.0596	0.2440	0.0035	1478	34	1435	15	1407	18	1.27	95
mes-40-2-46	0.0707	0.0032	1.2473	0.0542	0.1280	0.0026	948	94	822	24	776	15	0.63	82
mes-40-2-47	0.0863	0.0026	2.5284	0.0748	0.2125	0.0037	1345	59	1280	22	1242	20	0.68	92
mes-40-2-48	0.0701	0.0015	1.4269	0.0323	0.1476	0.0022	932	45	900	14	888	12	0.69	95
mes-40-2-49	0.1026	0.0026	4.0105	0.1033	0.2837	0.0046	1671	48	1636	21	1610	23	1.14	96
mes-40-2-50	0.0625	0.0015	0.8943	0.0223	0.1039	0.0016	690	52	649	12	637	9	0.23	92
mes-40-2-51	0.0713	0.0016	1.5072	0.0362	0.1534	0.0024	966	48	933	15	920	13	0.75	95