

文章编号: 1009-3850(2013)04-0001-x

南秦岭西乡群孙家河组锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 及其构造地质意义

崔建堂¹, 王 峰⁴, 段建国³, 赵陕兰³, 崔海涛¹, 崔海曼²

(1. 陕西省核工业地质调查院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地质调查中心, 陕西 西安 710065; 3. 陕西区域地质矿产研究院, 陕西 咸阳 712000; 4. 陕西省地矿总公司第二地质大队, 陕西 汉中 723000)

摘要: 对南秦岭西乡群孙家河组英安质火山熔岩进行了锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和岩石化学、稀土元素、微量元素等方面的研究。获得的锆石年龄为 814.8 ± 5.2 Ma, 属于晚青白口世。该年龄为研究南秦岭扬子陆块过渡基底的形成时代提供了有力的佐证, 并为研究扬子陆块 Rodinia 超大陆汇聚时限及秦岭造山带的构造演化提供了新证据。

关键词: 南秦岭; 西乡群; 孙家河组; 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

中图分类号: P534.1

文献标识码: A

扬子陆块新元古代的研究是当前国内外学者十分关注的地质问题, 华南新元古代研究的一个重要进展是识别出新元古代扬子陆块 Rodinia 超大陆汇聚事件地质记录^[1,5]。

陕西区测队 1960 年于陕西省西乡县创名西乡群, 西北地质局区测队 1965 年在《1:20 万汉中幅地质图说明书》中正式命名西乡群。西乡群^[2]广义上由下至上划分为白勉峡组、三湾组、孙家河组、三郎铺组及大石板沟组。孙家河组是西乡群中的一个组级单位, 为一套中基性-中酸性火山岩组合。

目前,《陕西省区域地质志》(张拴厚, 崔建堂等 2012) 修编项目组依据最新区域地质调查成果资料, 对西乡群进行了重新厘定; 西乡群专指孙家河组的中基性-中酸性火山岩和火山碎屑岩。

20 世纪 80 年代以来, 随着地质理论及研究技术方法的进步, 不同学者对华南扬子陆块出露的西乡群等地层单位的岩石组合、形成时代、构造环境和成因等的研究获得重要进展, 但仍存在重大分

歧。最主要的分歧是关于西乡群孙家组形成时代: 夏林圻等(1996)^[3]取得玄武岩 Sm-Nd 等时线年龄为 1104.1 Ma; 张宗清等(1996)^[4]获得 Sm-Nd 等时线年龄为 733 Ma、752 Ma、846 Ma 和 1109 Ma; 凌文黎等(2002)^[5]获得锆石 U-Pb (TIMS) 同位素年龄为 904 ± 18 Ma; 2006 年, 赵凤清等(1999)^[6]获得锆石 U-Pb 稀释年龄为 820 ~ 840 Ma; 王宗起等(1999)^[7]在西乡孙家河发现放射虫化石, 时代为上泥盆一下石炭统。由此可见, 关于南秦岭扬子陆块过渡基底上出露的西乡群孙家河组的形成时代存在着较大的分歧。

2009 年, 陕西地质志修编项目组在前人对秦岭造山带研究的基础上, 对南秦岭扬子陆块过渡基底出露西乡群孙家河组进行了系统的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年代学和岩石化学、稀土元素、微量元素等方面的研究, 首次获得了精确的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄。该年龄的获得为研究南秦岭扬子陆块过渡基底的形成时代提供了精确的同位素年龄数据。

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 崔建堂(1960-) 男, 硕士, 教授级高工, 从事区域地质调查工作。

地调项目: 中国地质调查局项目《陕西省地质系列图件编制与综合研究》

1 区域地质概况

1.1 研究区位置及岩石组合特征

研究区位于扬子陆块北缘汉南地层区西乡地层小区。西乡群孙家河组主要分布于西乡县古城以东黄泥梁-孙家河一带,东西延伸长约 8.25km,宽约 1000m。在北部与三花石群中基性火山岩呈断层接触,在黄泥梁一带被肉红色钾长花岗岩侵入,其上被南华系三郎铺组砂砾岩不整合覆盖(图 1)。

西乡群孙家河组主要由中基性-中酸性火山岩和火山碎屑岩组成,岩石组合主要为玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩、沉凝灰岩、凝灰质细碧岩等。岩石成层性好,喷发旋回清楚,按岩石组合分为上下两段。

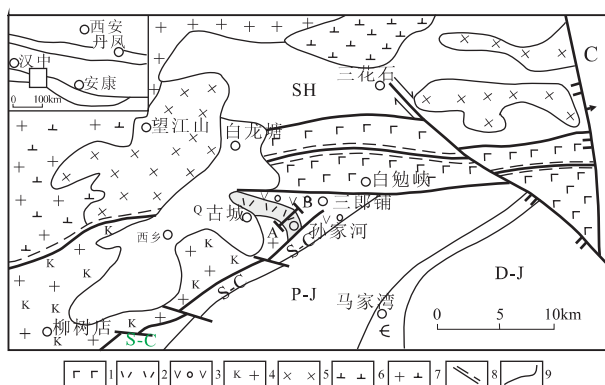


图 1 西乡地区地质构造简图^[2]

1. 白勉峡组和三湾组火山岩; 2. 孙家河组火山沉积岩; 3. 三郎铺组和大石沟组火山沉积岩; 4. 钾长花岗岩; 5. 辉长岩; 6. 闪长岩; 7. 花岗闪长岩; 8. 韧性剪切带; 9. 地质界线; SH. 三花石群; ∈. 寒武系; S-C. 志留系-石炭系; C. 石炭系; D-J. 泥盆系-侏罗系; P. 二叠系; P-J. 二叠系-侏罗系

Fig. 1 Simplified geological map of the Xixiang region (modified from Xu Xueyi et al., 2009)

1 = volcanic rocks from the Baimianxia and Sanwan Formations; 2 = volcanic-sedimentary rocks from the Sunjiahe Formation; 3 = volcanic-sedimentary rocks from the Sanlangpu and Dashigou Formations; 4 = moyite; 5 = gabbro; 6 = diorite; 7 = granodiorite; 8 = ductile shear zone; 9 = geological boundary; SH = Sanhuashi Group; ∈ = Cambrian; S-C = Silurian - Carboniferous; C = Carboniferous; D-J = Devonian - Jurassic; P = Permian; P-J = Permian - Jurassic

1.2 剖面特征及采样位置

项目组依据扬子陆块西乡群孙家河组出露特征,选择对西乡县黄泥梁-罗家沟地层剖面进行详细研究,并采集锆石 SHRIMP U-Pb 同位素样品等,其剖面(图 2)特征如下:

剖面厚度大于 1045.2m。上段厚度大于 687.8m,主要岩性为玄武岩、玄武安山岩、变玄武质含角砾岩屑凝灰岩、安山岩、流纹岩,由中基性熔岩-酸性熔岩-火山碎屑岩构成两个喷发旋回;下段厚度 357.4m,主要岩性为变安山质沉凝灰岩、变沉凝灰岩、变安山质屑晶屑凝灰岩、安山岩,构成一个韵律喷发旋回。

纵向上,孙家河组形成 3 个喷发韵律,每个韵律下部由中基性熔岩组成,上部为中性-中酸性火山碎屑岩,顶部有沉凝灰岩发育。该组具明显陆相火山岩特征,可见层理及层面构造,如波痕、干裂、火山泥球、递变层理、流动流纹、红顶绿底以及熔结火山岩,岩石为灰紫色、紫红色、灰色、灰绿色等。

样品采自该剖面第 7 层绿灰色英安质熔岩。锆石单矿物分选在核工业 203 所测试中心进行。样品靶制备、SHRIMP U-Th-Pb 测定及有关预处理工作,均在北京离子探针分析中心进行。

1.3 样品的岩石学特征

测年样品为绿灰色英安质熔岩。岩石为绿灰色,变余斑状结构、基质呈粒状纤状变晶结构,块状构造。矿物成分:斜长石斑晶含量 15%~25%;变质基质矿物主要有次闪石(20%),碳酸盐(20%),斜长石(10%),绢云母(30%)。岩石由斑晶矿物和变质基质矿物组成。斑晶矿物成分主要为斜长石(中长石)。发生脆性变形后,斜长石破碎呈粒状集合体,并具强波状消光,部分发生钠长石化,双晶多已消失。有些经研磨园化,呈纺锤状。粒径大小约 0.3~1.5mm,长轴有定向分布特征,个别斜长石斑晶呈半自形板状。部分斑晶斜长石破碎后呈短条纹状,杂乱散布。

基质矿物含量约占 75%~85%,其发生次蚀变后生成大量细小的次闪石、碳酸盐、绢云母和钠长石等蚀变矿物,原岩矿物和结构构造被彻底改造。次闪石呈细小纤维状、纤柱状,粒度为 0.02~0.2mm,碳酸盐呈细小的微粒状小集合体与次闪石、绢云母混杂,为原岩中的暗色矿物所变。绢云母呈细小的鳞片状,残留斜长石很小、且细小,一般都小于 0.05mm,多已钠长石化。基质蚀变矿物混杂在一起,分布较均匀。

2 西乡群孙家河组锆石测年

2.1 分析方法

绿灰色英安质熔岩是西乡群孙家河组的主要岩石类型。D11-4 样品采自西乡县城东黄泥梁-罗家

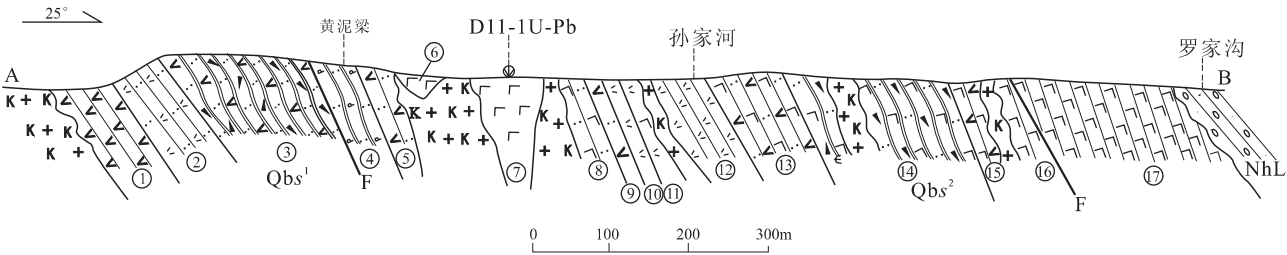


图 2 西乡县黄泥梁罗家沟孙家河组(Qbs) 实测地层剖面

Fig.2 Measured stratigraphic section across the Sunjiahe Formation in the Xixiang Group

西乡县黄泥梁-罗家沟孙家河组(Qbs) 实测地层剖面(引用陕西省地质调查院陈高潮等 1:25 万《南江市》区域地质调查成果资料 略有修改)

三郎铺组: 红色砂砾岩

~~~~~不整合~~~~~

孙家河组( Qbs)

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 上段                            | 厚度 687.8m |
| 17. 蚀变玄武岩                     | 202.4m    |
| ——断层——                        |           |
| 16. 暗绿色玄武岩                    | 14.0m     |
| 15. 蚀变玄武安山岩                   | 34.6m     |
| 14. 变玄武质含角砾岩屑凝灰岩夹酸性熔岩         | 163.7m    |
| 13. 玄武质凝灰安山岩                  | 92.4m     |
| 12. 流纹岩                       | 59.7m     |
| 11. 玄武质安山岩-流纹岩构成喷发旋回          | 15.9m     |
| 10. 灰白色流纹岩                    | 20.7m     |
| 9. 安山质凝灰岩                     | 12.9m     |
| 8. 凝灰质细碧岩                     | 19.4m     |
| 7. 英安质熔岩 采集 SHRIMP U-Pb 同位素样品 | 48.5m     |
| 6. 玄武岩                        | 3.6m      |
| 下段                            | 厚度 357.4m |
| 5. 蚀变安山质沉凝灰岩                  | 23.7m     |
| 4. 灰色变沉凝灰岩                    | 33.5m     |
| ——断层——                        |           |
| 3. 变安山质岩屑晶屑凝灰岩夹变安山质凝灰熔岩       | 187.5m    |
| 2. 灰色、浅灰绿色薄层状凝灰岩              | 30.8m     |
| 1. 角岩化安山岩                     | 81.9m     |
| 未见底( 钾长花岗岩侵入)                 |           |

沟地层剖面孙家河附近 ,采样点经纬度: E107°51.164′ N33°00.412′。

在双目镜下挑选出合适的锆石颗粒制成样品靶 将靶上的锆石颗粒打磨至中心部位出露后 ,进行抛光。随后进行可见光和阴极发光( CL) 的照相 ,其中阴极发光照相在中国地质科学院矿产资源研究所进行。在进行 SHRIMP 测定之前 ,对样品靶进行清洗和镀金膜。锆石的 SHRIMP 测定在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上进行 ,实验流程同于 Compston 等<sup>[8]</sup>、Williams<sup>[9]</sup> 和宋彪等<sup>[10]</sup> 的描述。数据处理时使用 K. Ludwig 博士编写的 Squid 程序 ,谐和图的绘制使用 ISOPLOT 程序。测定时标准样品( TEM 年龄为 417Ma) 和待测样品交替进行测定。

铀含量用标准 SL13( U 含量为  $238 \times 10^{-6}$  ,年龄为 572Ma) 标定。

2.2 锆石特征及分析结果

挑选的定年锆石样品为无色透明 ,以短柱状四方柱为主 ,部分为四方锥( 图 3) 。西乡群孙家河组中的锆石颗粒发育规则的韵律环带结构 ,反映了典型岩浆型锆石的特点( 图 3) 。D11-4 样品共测得 22 个数据点( 表 1 和图 4) ,给出的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为  $814.8 \pm 5.2\text{Ma}$  ,对应的 MSWD = 1.5。因此 南秦岭扬子陆块西乡群孙家河组其形成确切时代为晚青白口世。依据岩石化学、稀土元素、微量元素等方面的研究表明 孙家河组火山岩为形成于扬子陆块西北活动大陆边缘的岛弧岩浆岩系。

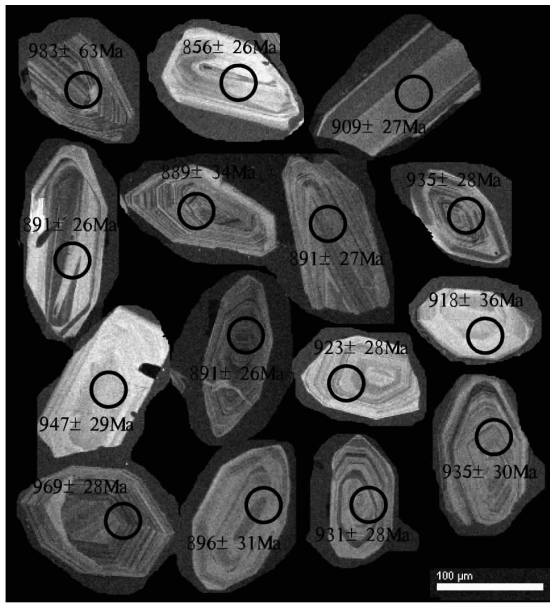


图3 西乡群孙家河组锆石阴极发光图像和测点年龄位置

Fig. 3 Cathodoluminescence images and ages of the zircons from the Sunjiahe Formation in the Xixiang Group

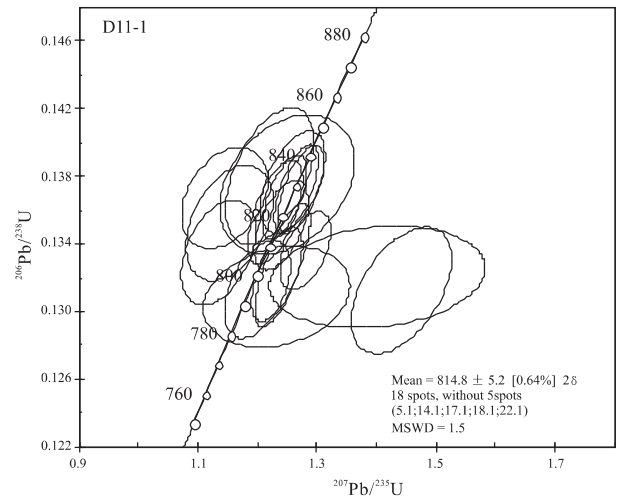


图4 西乡群孙家河组锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia plot for the Sunjiahe Formation of the Xixiang Group

表1 西乡群孙家河组锆石 (D11-1) SHRIMP U-Th-Pb 同位素分析数据表

Table 1 SHRIMP U-Th-Pb isotopic data of the zircon sample D11-1 from the Sunjiahe Formation in the Xixiang Group

| 测定<br>编号 | U<br>$\times 10^6$ | Th<br>$\times 10^6$ | $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ | $^{206}\text{Pb}^*$<br>$\times 10^6$ | $^{206}\text{Pb}_c$<br>(%) | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$<br>$\pm\%$ (Ma) | $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$<br>$\pm\%$ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$<br>$\pm\%$ (Ma) | $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$<br>$\pm\%$ |
|----------|--------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1.1      | 52                 | 28                  | 0.56                             | 6.22                                 | 0.62                       | 833 $\pm 15$                                     | 1.222 4.0                                     | 748 $\pm 74$                                      | 0.1380 1.9                                    |
| 2.1      | 101                | 54                  | 0.55                             | 12.0                                 | 0.14                       | 831 $\pm 11$                                     | 1.260 2.8                                     | 819 $\pm 51$                                      | 0.1377 1.4                                    |
| 3.1      | 158                | 116                 | 0.76                             | 18.0                                 | 0.03                       | 804 $\pm 14$                                     | 1.242 2.5                                     | 864 $\pm 35$                                      | 0.1327 1.8                                    |
| 4.1      | 99                 | 56                  | 0.58                             | 11.3                                 | 0.40                       | 795 $\pm 11$                                     | 1.200 3.1                                     | 815 $\pm 56$                                      | 0.1313 1.5                                    |
| 5.1      | 156                | 105                 | 0.69                             | 17.4                                 | 0.11                       | 785 $\pm 10$                                     | 1.193 2.2                                     | 833 $\pm 37$                                      | 0.1294 1.4                                    |
| 6.1      | 115                | 67                  | 0.61                             | 13.2                                 | 0.51                       | 808 $\pm 12$                                     | 1.135 3.6                                     | 662 $\pm 71$                                      | 0.1335 1.5                                    |
| 7.1      | 130                | 88                  | 0.70                             | 15.3                                 | 0.86                       | 818 $\pm 13$                                     | 1.153 4.2                                     | 669 $\pm 82$                                      | 0.1352 1.7                                    |
| 8.1      | 53                 | 24                  | 0.47                             | 5.98                                 | 0.61                       | 795 $\pm 14$                                     | 1.442 3.8                                     | 1,189 $\pm 66$                                    | 0.1313 1.9                                    |
| 9.1      | 38                 | 23                  | 0.61                             | 4.58                                 | 1.19                       | 831 $\pm 15$                                     | 1.250 6.0                                     | 804 $\pm 120$                                     | 0.1375 2.0                                    |
| 10.1     | 119                | 82                  | 0.71                             | 13.6                                 | 0.60                       | 800 $\pm 11$                                     | 1.40 8.5                                      | 1,120 $\pm 170$                                   | 0.1320 1.5                                    |
| 11.1     | 385                | 383                 | 1.03                             | 44.4                                 | 0.45                       | 808.4 $\pm 8.6$                                  | 1.281 2.2                                     | 914 $\pm 39$                                      | 0.1336 1.1                                    |
| 12.1     | 187                | 139                 | 0.77                             | 22.1                                 | 0.21                       | 829.2 $\pm 9.8$                                  | 1.265 1.9                                     | 833 $\pm 30$                                      | 0.1373 1.3                                    |
| 13.1     | 182                | 120                 | 0.68                             | 21.5                                 | 0.12                       | 829.0 $\pm 9.7$                                  | 1.273 2.0                                     | 847 $\pm 32$                                      | 0.1372 1.2                                    |
| 14.1     | 35                 | 34                  | 1.00                             | 3.71                                 | 1.17                       | 744 $\pm 14$                                     | 1.029 4.8                                     | 639 $\pm 93$                                      | 0.1224 2.0                                    |
| 15.1     | 225                | 156                 | 0.72                             | 26.5                                 | 0.15                       | 826.2 $\pm 9.4$                                  | 1.246 1.9                                     | 809 $\pm 32$                                      | 0.1367 1.2                                    |
| 16.1     | 105                | 77                  | 0.76                             | 12.4                                 | 0.68                       | 826 $\pm 11$                                     | 1.145 4.2                                     | 631 $\pm 84$                                      | 0.1367 1.4                                    |
| 17.1     | 85                 | 32                  | 0.39                             | 10.4                                 | --                         | 855 $\pm 12$                                     | 1.360 2.6                                     | 914 $\pm 44$                                      | 0.1418 1.5                                    |
| 18.1     | 219                | 204                 | 0.96                             | 26.4                                 | 0.10                       | 844.7 $\pm 9.7$                                  | 1.288 1.8                                     | 829 $\pm 29$                                      | 0.1400 1.2                                    |
| 19.1     | 115                | 100                 | 0.90                             | 13.5                                 | 0.16                       | 821 $\pm 12$                                     | 1.230 2.5                                     | 796 $\pm 41$                                      | 0.1359 1.5                                    |
| 20.1     | 110                | 68                  | 0.64                             | 12.7                                 | 2.31                       | 793 $\pm 11$                                     | 1.233 6.6                                     | 878 $\pm 130$                                     | 0.1309 1.5                                    |
| 21.1     | 116                | 77                  | 0.68                             | 13.2                                 | --                         | 800 $\pm 10$                                     | 1.233 2.3                                     | 858 $\pm 38$                                      | 0.1322 1.4                                    |
| 22.1     | 156                | 114                 | 0.76                             | 18.1                                 | 0.15                       | 816.8 $\pm 9.9$                                  | 1.240 2.4                                     | 825 $\pm 42$                                      | 0.1351 1.3                                    |

注:  $^{206}\text{Pb}_c \times 10^{-2}$  指普通铅中的  $^{206}\text{Pb}$  占全部  $^{206}\text{Pb}$  的百分数; 普通铅校正根据实测的  $^{204}\text{Pb}$  进行, 其组成根据 Stacey & Kramers (1975) 给出的模式计算得到

### 3 地质意义及讨论

(1) 西乡群孙家河组变质火山岩系出露于扬子陆块北缘汉南地区,主体为由浅变质中基性火山熔岩、火山碎屑岩夹沉凝灰岩等组成的岛弧火山岩系。前人根据西乡群与震旦系的接触关系,倾向于将其时代划归新元古代。夏林圻<sup>[3]</sup>、张宗清<sup>[4]</sup>、凌文黎<sup>[5]</sup>、赵凤清<sup>[6]</sup>等依据对汉南杂岩和西乡群的同位素测年研究,将其时代置于中—新元古代。王宗起等<sup>[7]</sup>依据放射虫化石将其划归上泥盆统一石炭统。本文从西乡群孙家河组英安质火山熔岩中获得的锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为  $814.8 \pm 5.2$  Ma, 时代为晚青白口世。本文的结论与区域上南华系三郎铺组紫红色砂砾岩以不整合超覆于西乡群孙家河组火山岩之上,并被浅成红色钾长玢岩岩脉或次火山岩侵入( $760 \sim 780$  Ma<sup>[6]</sup>) 相符合。由此可见,西乡群孙家河组火山岩形成时代应为青白口纪,其时代证据比较充分。

(2) 西乡群孙家河组火山岩同位素年龄的获得,为南秦岭扬子陆块过渡基底的形成时代研究提供了有力的佐证。对研究南秦岭扬子陆块新元古代构造物质组成、演化,乃至秦岭造山带 Rodinia 超大陆汇聚等重大地质事件具有重要地质构造意义。

致谢: 论文在撰写过程中得到了中国地质科学院地质研究所高林志研究员的指导; 在分析测试过程中得到北京离子探针中心石玉若副研究员的帮

助,在此表示衷心感谢!

#### 参考文献:

- [1] 凌文黎, 张本仁, 张宏飞, 等. 扬子克拉通北缘中、新元古代洋壳俯冲及壳幔再物质循环作用同位素地球化学证据[J]. 地球科学, 1996, 21(3): 332–335.
- [2] 徐学义, 陈隽璐, 李向民, 等. 扬子地台北缘白勉峡组和三湾组火山岩形成构造环境及岩石成因的地球化学约束[J]. 地质学报, 2009, 83(11): 1–15.
- [3] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 南秦岭元古宙西乡群大陆溢流玄武岩的确定及其地质意义[J]. 地质论评, 1996, 42(6): 513–522.
- [4] 张宗清, 张国伟, 傅国民, 等. 秦岭变质地层年龄及其构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 20(3): 216–222.
- [5] 凌文黎, 高山, 欧阳建平, 等. 西乡群的时代与构造背景: 同位素年代学及地球化学制约[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(2): 101–112.
- [6] 赵凤清, 赵文平, 左义成, 等. 陕西汉中地区新元古代岩浆岩 U-Pb 年代学[J]. 地质通报, 2006, 25(3): 383–388.
- [7] 王宗起, 陈海泓, 李继亮, 等. 南秦岭西乡群放射虫化石的发现及其地质意义[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(1): 38–44.
- [8] COMPOSTON W, WILLIAMS I S, MEYER C. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high-resolution ion microprobe [J]. J. Geophys. Res., 1984, 89: B525–534.
- [9] WILLIAMS I S. Some observations on the use of zircons U-Pb geochronology in study of granite rocks [J]. Trans. R. Soc., 1992, 83: 447–485.
- [10] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质评论, 2002 (增刊): 26–30.

## The Sunjiahe Formation of the Xixiang Group, southern Qinling Ranges: SHRIMP zircon U-Pb age and its tectonic implications

CUI Jian-tang<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>4</sup>, DUAN Jian-guo<sup>3</sup>, ZHAO Shan-lan<sup>3</sup>, CUI Hai-tao<sup>1</sup>, CUI Hai-man<sup>2</sup>  
(1. Institute of Geological Survey, Shaanxi Geological Bureau of Nuclear Industry, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Xi'an Center, China Geological Survey, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 3. Research Institute of Regional Geology and Mineral Resources, Xianyang 712000, Shaanxi, China; 4. No. 2 Geological Party, Shaanxi Corporation of Exploration and Development of Geology and Mineral Resources, Hanzhong 723000, Shaanxi, China)

**Abstract:** The dacitic lavas from the Sunjiahe Formation in the Xixiang Group, southern Qinling Ranges are examined on the basis of lithochemical, REE and Trace element data, and give a SHRIMP zircon U-Pb age of  $814.8 \pm 5.2$  Ma which represents the late Qingbaikouan. This age provides a new evidence for the approaches to the ages of the transitional basement of the Yangtze block in southern Qinling Ranges, and the convergence timing of the supercontinent Rodinia in the Yangtze block and tectonic evolution of the Qinling orogenic zone.

**Key words:** southern Qinling Ranges; Xixiang Group; Sunjiahe Formation; SHRIMP zircon U-Pb age