

扬子板块西北缘碧口微地块南华系碎屑锆石 U-Pb 年龄及其物源示踪

毛帆¹, 裴先治^{1,2*}, 李瑞保^{1,2}, 李佐臣^{1,2}, 裴磊^{1,2}, 刘成军^{1,2},
赵少伟^{1,2}, 高峰¹, 陈有炘^{1,2}, 周海^{1,2}

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

摘要:扬子板块西北缘碧口微地块红岩沟地区碧口群火山岩系之上发育有南华—震旦纪沉积盖层,但南华系的沉积时代尚缺乏依据,其物源及构造背景也仍无定论。本文采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年方法,对南华系上部含砾岩系中的长石砂岩进行了碎屑锆石测年研究,结果表明碎屑锆石的年龄可以分为两组:(1)新元古代晚期年龄组(750~800Ma),峰值年龄为 795Ma;(2)新元古代早中期年龄组(820~920Ma),该组有明显峰值,峰值年龄为 850Ma。碎屑锆石最小年龄组平均年龄为 750Ma,即南华系上部含砾岩系沉积时代不老于 750Ma,结合地层序列中的层位关系,认为该地层的沉积时代可能为晚南华世。综合研究认为,南华系上部含砾岩系物源具多源性,主要来自扬子板块西北缘碧口微地块内部和南侧后龙门山构造带、汉南—米仓山微地块的新元古代中酸性岩浆岩,北侧勉略构造带出露的岩浆岩可能也为该地层提供了少量的物源,其沉积事件对应于新元古代中晚期(~810Ma)碧口微地块及扬子板块西北缘后碰撞—裂解阶段。

关键词:扬子板块西北缘;碧口微地块;南华系;碎屑锆石;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

中图分类号:P588.21

文献标识码:A

碧口微地块地处秦岭造山带、松潘—甘孜造山带以及扬子板块汇聚交接部位,是中国大陆中央造山系、南北向贺兰—龙门山构造带和青藏高原之间的构造交接部位(图 1a)^[1]。碧口微地块在漫长的构造演化过程中,经历了多期构造变形叠加、改造及外动力地质作用,形成了现今的构造格架与地质外貌。由于其所处构造位置的特殊性,深入研究碧口微地块的构造属性及构造演化对秦岭造山带、松潘—甘孜造山带与扬子板块相互作用以及本区区域地质演化历史具有十分重要的地质意义。同时,碧口微地块可为华南板块周缘新元古代构造演化历史提供有效信息。

前人对碧口微地块开展了大量深入细致的研

究工作,但研究主要限于碧口群火山岩系^[2-8]。碧口群火山岩系形成时代主要为新元古代,这已被大部分学者所接受,但对其形成环境的认识仍有很大分歧:一些学者认为其形成于大陆裂谷环境^[2,5,6];一些学者认为其形成于岛弧环境^[3,4,7-9];一些学者认为其形成于洋盆或大洋板内^[10-13],也有学者将其看作元古宙古陆块^[14]。对碧口群火山岩系形成环境的分歧,使得碧口微地块的新元古代构造属性存在多解性,也为碧口微地块整体构造演化的研究带来困惑。

碧口微地块东北部勉县红岩沟地区出露层序较为完整的南华—震旦纪沉积盖层,但前人对红岩沟地区物质组成的研究主要集中在下伏碧口群火山

收稿日期:2020-07-23; 改回日期:2020-10-20

作者简介:毛帆(1995—),男,硕士研究生,地质学专业。E-mail:759002225@qq.com

通讯作者:裴先治(1963—),男,教授,博士生导师,从事构造地质学与区域地质学研究。E-mail:peixianzhi@qq.com

资助项目:国家自然科学基金项目(项目号:41872233、41872235);陕西省自然科学基金项目(项目号:2020JQ-353、2019JM-312);中央高校基本科研业务费资助项目(项目号:300102279108)

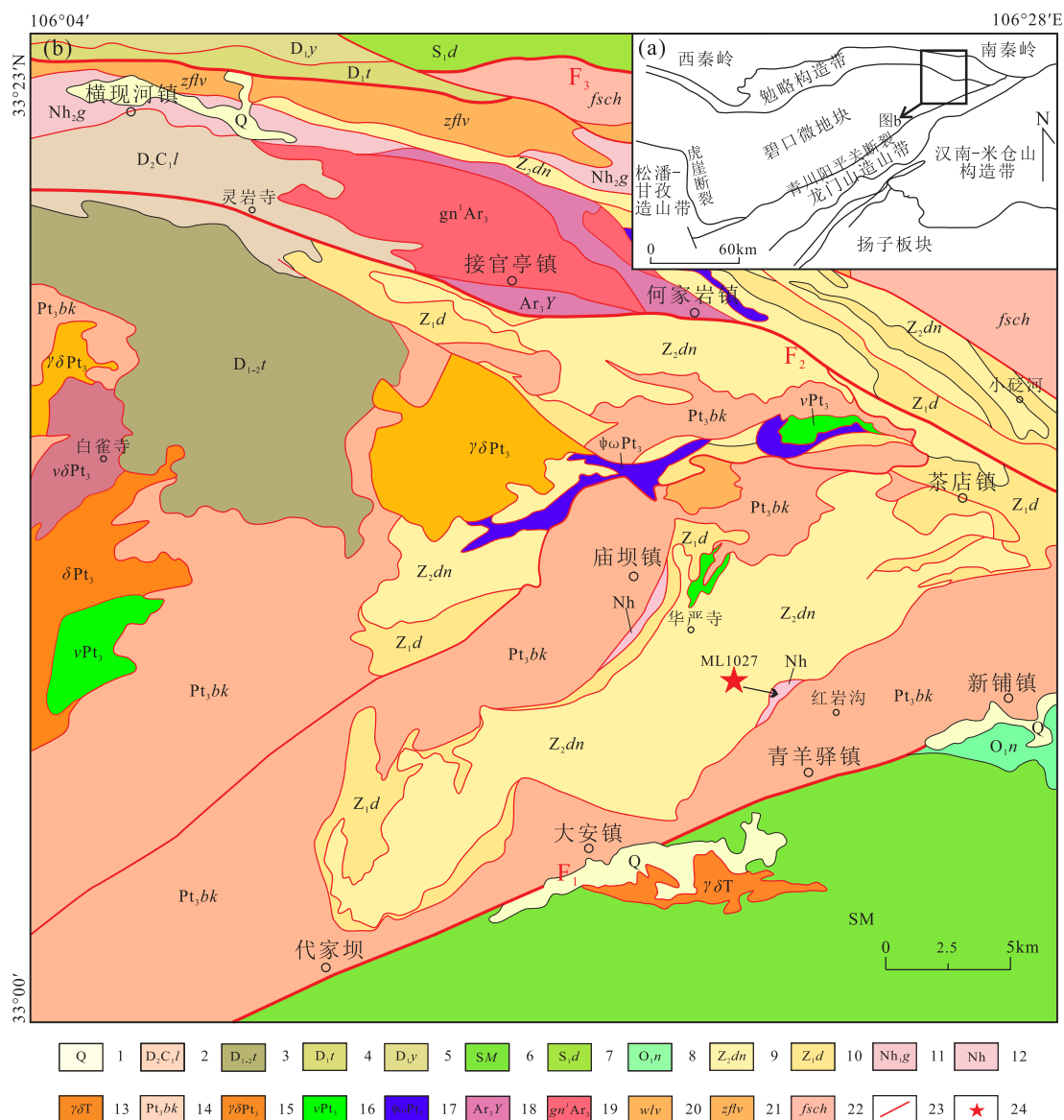


图1 碧口微地块及邻区构造简图(a)、研究区地质图及采样位置(b)

1. 第四系;2. 中泥盆—早石炭世略阳组;3. 下—中泥盆世踏坡组;4. 泥盆纪屯寨组;5. 泥盆纪羊汤寨组;6. 志留纪茂县岩群;7. 志留纪迭部岩组;8. 奥陶系南屏组;9. 晚震旦世灯影组;10. 早震旦世陡山沱组;11. 晚南华世关家沟组;12. 南华系(未分);13. 三叠纪花岗岩闪长岩;14. 新元古代碧口群;15. 新元古代花岗岩闪长岩;16. 新元古代硤口驿基性岩;17. 新元古代黑木林超基性岩;18. 新太古代鱼洞子岩群;19. 新太古代花岗质片麻岩;20. 五郎坪火山岩岩块;21. 纸房沟火山岩岩块;22. 早古生代方家坝片岩岩组;23. 断层;24. 采样位置。F₁ 青川—阳平关—勉县断裂;F₂. 荷叶坝—何家岩断裂;F₃ 状元碑断裂;图a 据李佐臣等(2013)^[26];图b 据陕西省地质调查院(2007, 1:250000 略阳县幅)^[27] 修编。

Fig. 1 Simplified tectonic framework of Bikou microblock and its adjacent areas(a) and geological map of study area and sampling sites(b)

岩,对沉积地层研究较少,尤其是南华系作为碧口群火山岩的沉积盖层缺乏年代学资料,需进一步研究。为此,本文选取勉县红岩沟地区南华系上部含砾岩系中的长石砂岩为研究对象,对其进行系统的岩石学与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究,以限定其沉积时限及物源,探讨其形成的构造背景,进而为碧口微地块及邻区新元古代构造演化提供有

效信息。

1 区域地质概况及南华纪地层特征

1.1 区域地质概况

碧口微地块北、南、西分别以勉略构造带、青川—阳平关—勉县断裂带、虎崖断裂为界与南秦岭构造带、龙门山造山带以及松潘—甘孜造山带相接,

呈长三角形块体,向东构造尖灭(图 1a)^[14-17]。碧口微地块主要由新太古代鱼洞子杂岩、新元古代早期碧口群、新元古代中期横丹群和上覆新元古代晚期南华—震旦纪沉积盖层组成。新太古代鱼洞子杂岩为碧口微地块出露最古老的构造岩石单元,分布于略阳阁老岭—鱼洞子地区,由新太古代花岗质片麻岩和新太古代鱼洞子岩群变质地层组成^[18]。碧口微地块内部以枫香院—铜钱坝断裂带为界,北侧为新元古代中期横丹群,主要为陆源碎屑岩系或浊积岩系,南侧为新元古代早期碧口群,总体为一套巨厚的浅变质海相火山岩系。新元古代晚期南华—震旦纪地层主要分布于碧口微地块东部勉略宁三角区的代家坝北—大安北—茶店—何家岩一带,呈大型 NE 向延伸的复式向斜构造区域不整合叠置在碧口群浅变质火山岩系之上(图 1b),多数地带已呈构造接触关系,南东翼大致产状正常,北西

翼多已倒转,两翼均以北西倾斜为主。此外,碧口微地块还出露大量侵入岩,侵入岩主要有新元古代和早中生代两个时期,新元古代侵入体包括白雀寺基性—中酸性杂岩体、二里坝花岗岩体、铜厂闪长岩体等^[19-21],早中生代侵入体包括南一里、木皮、麻山、阳坝等花岗岩体^[22-25]。

1.2 南华纪地层特征

碧口微地块南华系仅在勉县青羊驿红岩沟地区(复式向斜南东翼)、宁强庙坝华严寺(复式向斜北西翼)等地有所残留,且前人在此做的工作有限,没有进行详细的划分,仅笼统地划分为南沱组^[27-30]。本次根据野外地质剖面观察到的沉积岩石组合特征,将红岩沟地区南华系从下至上划分为底部泥质岩系(Nh¹)、下部含砾岩系(Nh²)、中部细碎屑岩系(Nh³)和上部含砾岩系(Nh⁴)四套岩石地层单位(图 2)。

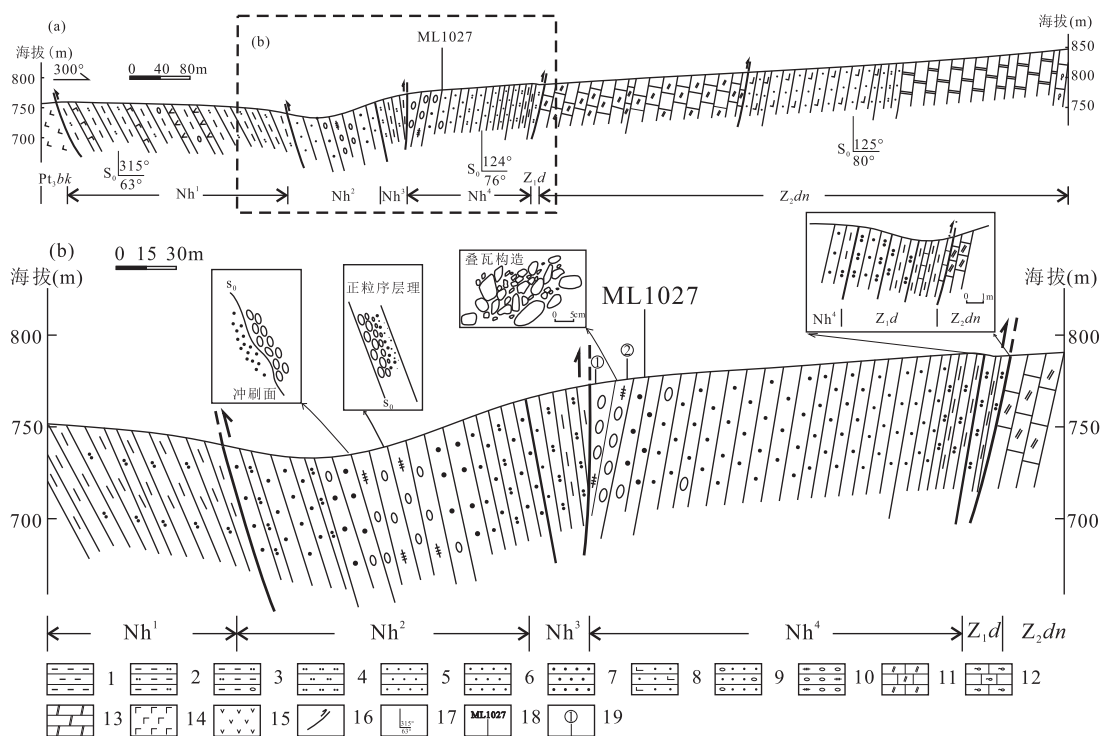


图 2 勉县青羊驿镇红岩沟地区南华系地质剖面图

1. 泥岩;2. 粉砂质泥岩;3. 含砾粉砂质泥岩;4. 粉砂岩;5. 细砂岩;6. 中砂岩;7. 粗砂岩;8. 钙质砂岩;9. 含砾砂岩;10. 复成分砾岩;11. 白云质灰岩;12. 条带状灰岩;13. 白云岩;14. 玄武岩;15. 中酸性火山岩;16. 断层;17. 产状;18. 采样位置;19. 砾石统计点

Fig. 2 The geological section of Nanhua System in Hongyangou area, Qingyangyi town, Mian County

南华系底部第一套岩石地层单位为底部泥质岩系(Nh¹),厚 307.70m,主要以一套浅灰色变粉砂质泥岩夹少量变质粉砂岩为主,下部局部夹变质基性火山岩(图 3a),上部局部夹变质中酸性火山岩

(图 3b),夹层一般厚 1~3m,偶含泥砾,片理十分发育,多已变质为绢云母千枚岩,片理北倾为主,变形较强,与南侧碧口群火山岩呈构造接触关系。

南华系向上的第二套岩石地层单位为下部含

砾岩系(Nh^2),厚 169.36m,主要以浅灰色含砾粗砂岩、含砾砂岩夹砂砾岩为主,夹少量粉砂质板岩。砾石较小,多为 0.5~5cm,个别达 10~15cm,含量 5%~30%,磨圆度一般,多为次棱角—次圆状,砾石成分多为砂岩、石英岩,少量花岗岩(图 3c),砾岩底部见小型冲刷面,单层内发育正粒序层理(图 3d),与下伏地层呈断层接触关系。

南华系由下向上第三套岩石地层单位中部细碎屑岩系(Nh^3),厚 17.80m,主要以深灰色中厚层状细砂岩为主,向北粒度变细,逐渐以粉砂岩、粉砂质板岩为主,夹少量泥岩,片理较发育,变形较强,与下部含砾岩系呈整合接触关系。

南华系最上层的一套岩石地层单位上部含砾岩系(Nh^4),厚 176.31m,下部主要以灰黑色含砾粗砂岩、复成分砂砾岩为主;发育叠瓦状构造,向北逐渐变细,上部以深灰色中细砂岩为主,夹少量粉砂岩,发育正粒序层理。砾石大小混杂,杂乱堆积,砾径一般为 2~10cm,少量 10~30cm,个别可达 50cm,磨圆度较好,大部分为次圆—圆状,个别为次棱角状(图 3e;图 3f),砾石成分与下部含砾岩系相似,成分较为复杂,主要以砂岩、石英岩为主,少量片理化花岗岩、变质火山岩,与上覆震旦系陡山沱组深灰色—灰色粉砂质板岩(Z_1d)呈整合接触关系。

红岩沟地区南华纪地层岩性列述如下:

上覆地层:震旦系陡山沱组(Z_1d)深灰色—灰色粉砂质板岩为主,夹薄层细砂岩、泥质板岩,顶部为紫红色泥质板岩夹薄层灰岩或钙质板岩

===== 整合接触 =====	
南华系	总厚度 671.0m
上部含砾岩系(Nh^4)	厚度 176.31m
23 灰绿色薄层状细砂岩夹粉砂质板岩、泥质板岩	29.88m
22 深灰色—灰黑色中厚层状中—细砂岩,偶含砾,向北逐渐变细	114.56m
21 灰黑色厚层块状粗砂岩,局部含砾,向南陡倾,地层倒转	11.95m
20 灰黑色厚层状砾岩,局部夹粗砂岩层,砾石分选差,磨圆好,成分复杂	19.92m
===== 断层接触 =====	
中部细碎屑岩系(Nh^3)	厚度 17.80m
19 灰色中薄层状粉砂质板岩,夹泥质板岩	2.96m
18 灰色中薄层状细砂岩,夹粉砂质板岩,向北逐渐变细	14.84m
===== 整合接触 =====	
下部含砾岩系(Nh^2)	厚度 169.36m

17 深灰色中厚层状中—细砂岩,夹少量粉砂岩	19.92m
16 深灰色中厚层状粗砂岩,片理发育,北倾为主,局部含砾	29.89m
15 灰黑色厚层状含砾砂岩,夹少量粉砂质板岩	39.85m
14 浅灰色厚层状砾岩,砾石磨圆一般,含量 5%~30%,成分以砂岩、石英为主	29.89m
13 浅灰色厚层状含砾粗砂岩,片理化,北倾,较陡,单层内发育正粒序层理	9.96m
12 浅灰色片理化变砂岩,夹少量变质粉砂岩	39.85m
===== 断层接触 =====	
底部泥质岩系(Nh^1)	厚度 307.70m
11 浅灰色中薄层状粉砂质泥岩	22.83m
10 浅灰色中薄层状粉砂质泥岩,夹少量变质粉砂岩	108.19m
9 浅灰绿色中酸性火山岩	1.98m
8 浅灰色中薄层状粉砂质泥岩,偶含泥砾	33.75m
7 浅灰绿色中酸性火山岩	1.99m
6 浅灰色中薄层状粉砂质泥岩,强片理化	46.65m
5 灰绿色片理化变玄武岩	2.98m
4 浅灰色中薄层状粉砂质泥岩,局部含泥砾,泥砾大小 1~2cm	49.63m
3 浅灰—深灰色中薄层状粉砂质泥岩,片理发育,北倾	24.81m
2 灰绿色片理化变玄武岩	4.96m
1 浅灰色中薄层状粉砂质泥岩,弱变质,片理发育,变形较强	9.93m
===== 断层接触 =====	

下伏地层:碧口群(Pt_3bk)变质玄武岩,变形较强,片理发育,北倾,绿帘石化明显,变质程度为低绿片岩相,局部可见枕状构造

红岩沟地区南华系主体为含砾碎屑岩系沉积组合,自下而上由多个沉积韵律层组成。以南华系上部含砾岩系的砾岩层为研究对象,在野外露头上进行数据测量统计,限于统计的平面出露较少,本次仅在砾岩层南北两侧各一出露良好的平面进行统计,南北两侧统计点相距 14.8m,位置如图 2 所示,同时为使砾石统计更具代表性,南北两侧统计点统计区域均大于 140cm×140cm。结果显示砾石成分较为复杂,主要以砂岩、石英岩为主,二者占砾石总量 79%~86%,其次为片理化花岗岩、火山岩、变质岩,表明结构成熟度和成分成熟度都较低,沉积碎屑距物源较近,搬运距离不远,可能为近源快速沉积的产物。砾石大小混杂,杂乱堆积,砾径多为 2~10cm,少量 10~30cm,个别达 50cm,磨圆度较好,大部分为次圆—圆状,个别为次棱角状(图 4)。

值得注意的是,南侧砾石统计点(测点 1)和北侧统计点(测点 2)在砾石成分和磨圆度均存在差异,如测点 1 与测点 2 中砂岩所占比例分别为 48%、52%;石英岩所占比例分别为 31%、34%;花岗岩所占比例分别为 15%、9%;变质岩所占比例分

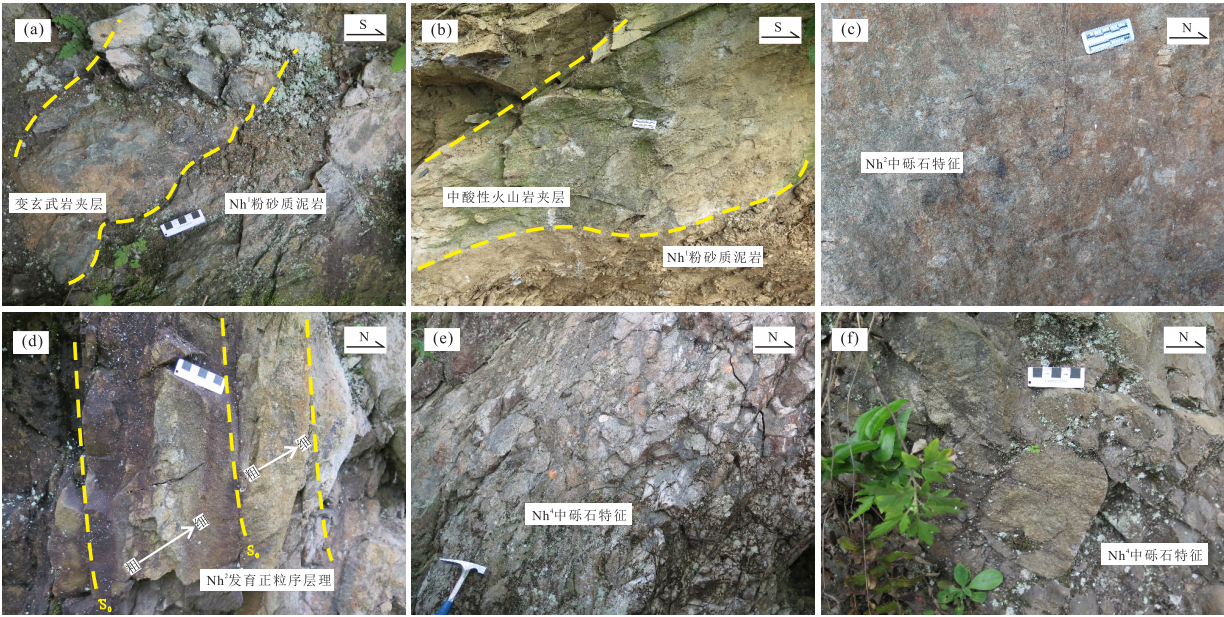


图3 红岩沟地区南华系岩性特征

Fig.3 Lithologic character of the Nanhua System in Hongyangou area

别为4%、3%；次圆—圆状所占比例分别为90%、95%。不难发现,由南至北,砂岩、石英岩砾石增多,花岗质砾石减小,且磨圆度更好,指示该套地层沉积时期,砂岩、石英岩物源区物质供给逐渐增加,花岗质物源区物质供给减少,且碎屑物质搬运距离愈来愈远。测点1与测点2砾石 Φ 值分布均比较零

散,变化范围在-2~8,在-3~-7相对集中,指示砾石分选差,大小混杂,由南至北(从底至顶),砾径峰值呈现由大到小的变化趋势,反映出随层位抬升,砾石沉积粒度逐渐变细。此外,在野外对砾石长轴空间排列进行统计,测点1与测点2砾石长轴均以南倾为主,指示古水流方向由南至北。

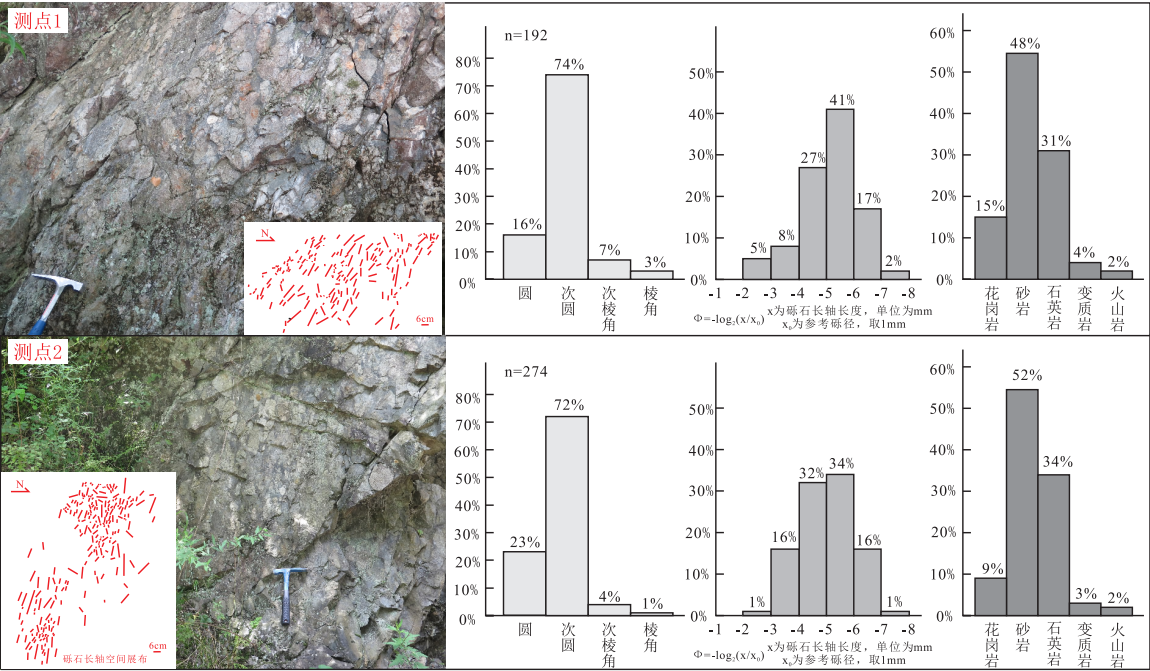


图4 红岩沟地区南华系上部含砾岩系砾石成分和结构统计

Fig.4 Statistics of composition and structure of gravels in the Upper Nanhua System in Hongyangou area

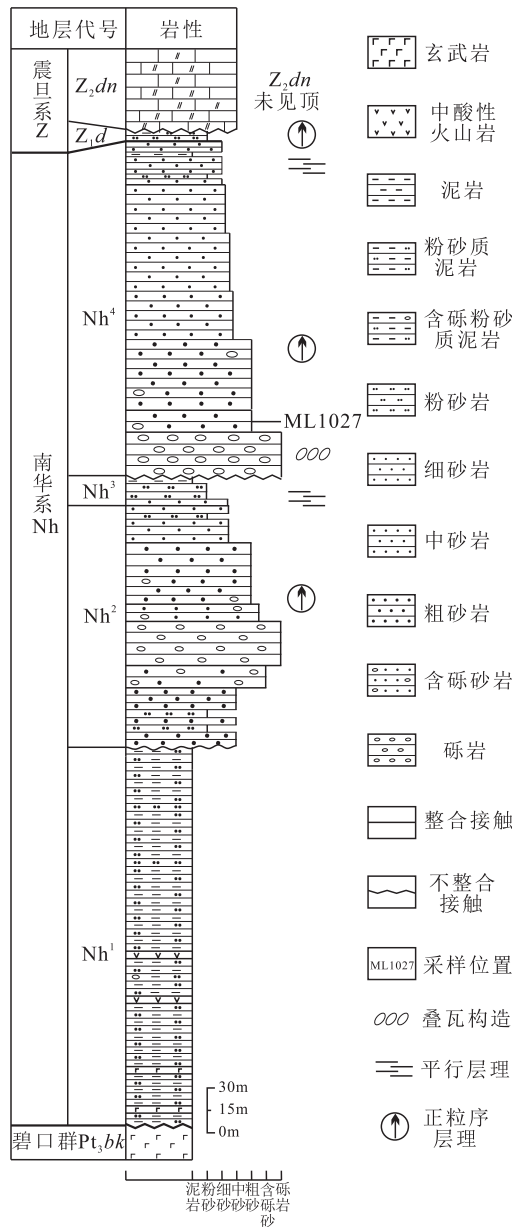


图5 红岩沟地区南华系柱状简图

Fig. 5 Stratigraphic column diagram of Nanhua System in Hongyanggou area

前人将红岩沟地区南华系笼统地划分为南沱组,认为其为冰碛成因^[28]。本次野外观察,砾石整体磨圆度较好,多为次圆—圆状,砾石表面未见磨光面、钉头形擦痕、压坑和压裂等冰蚀作用痕迹。此外,该套含砾岩系具明显的成层性,自下而上由多个沉积韵律层组成,单个韵律层内向上砾石含量减少,表现为正粒序,故其并非冰碛岩。

南华系上部含砾岩系颜色主体为灰色—灰黑色,且含少量黄铁矿,指示沉积时为还原环境,从野外观察到的沉积岩石组合来看,从下部到上部岩石

组合规律性较强,原生沉积的粒度变化明显。此外,分布于文县—康县—略阳地区的关家沟组与本文研究的含砾岩系具有可比性^[31-33],前人对关家沟组研究较多,苏春乾等和卢海峰等通过系统研究认为文县地区关家沟组为海底扇沉积体系,不含冰碛岩层^[34, 35];徐通等认为康县碾坝地区的关家沟组主体可能为一套滨浅海相裂谷环境浊流沉积建造^[33];略阳火神庙及三岔子地区的关家沟组也被认为属陆内裂谷沉积^[36, 37]。综上所述,红岩沟地区南华系上部含砾岩系主体可能为一套浊积岩和碎屑流沉积组合。

2 样品位置及分析方法

2.1 样品位置

碎屑锆石同位素年龄样品编号为 ML1027,采样点地理坐标为 N33°06'50", E106°22'23" (图 1c),采样层位如图 2、图 5 所示。岩性为灰黑色中细粒长石砂岩,新鲜面呈灰黑色,风化面呈黑褐色,中细粒砂状结构,中厚层状构造。碎屑成分主要由长石、石英、岩屑等组成。石英含量约 30~35%,粒度大小约 0.25~0.45mm,次棱角状、次圆状、不规则状,分选性和磨圆度较差;长石含量约 50~55%,粒度大小约 0.30~1.0mm,无色,半自形板状,次棱角状,具聚片双晶,分选性和磨圆度较差;岩屑主要成分为泥质岩屑,次为硅质岩屑及少量火山岩岩屑,含量约 15%,粒度大小 0.25~0.43mm,次圆状—次棱角状。胶结物以泥质为主,较均匀分布于碎屑之间。样品中含少量黄铁矿 (图 6a;图 6b)。

2.2 分析方法

首先将样品粉碎至 0.180~0.154mm (80~100 目),并用常规磁选和重液方法将锆石分离,得到大于 200 粒锆石颗粒,然后在双目镜下随机挑选不同粒径、结构和外形特征各异的锆石作为测试对象,将锆石颗粒粘在双面胶上,并用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固定化后,利用砂纸等将锆石磨到内部曝露并且抛光,然后对锆石进行反射光、透射光照相以及阴极发光图像研究。力求避开内部裂隙、包裹体以及不同成因的区域,对不同形态、不同结构锆石进行测试,以期获得更为准确的年龄信息。

碎样及锆石挑选、锆石制靶、反射光与阴极发光 (CL) 显微照相在西安瑞石地质科技有限公司完成。锆石 U-Pb 测年在天津测试技术有限公司

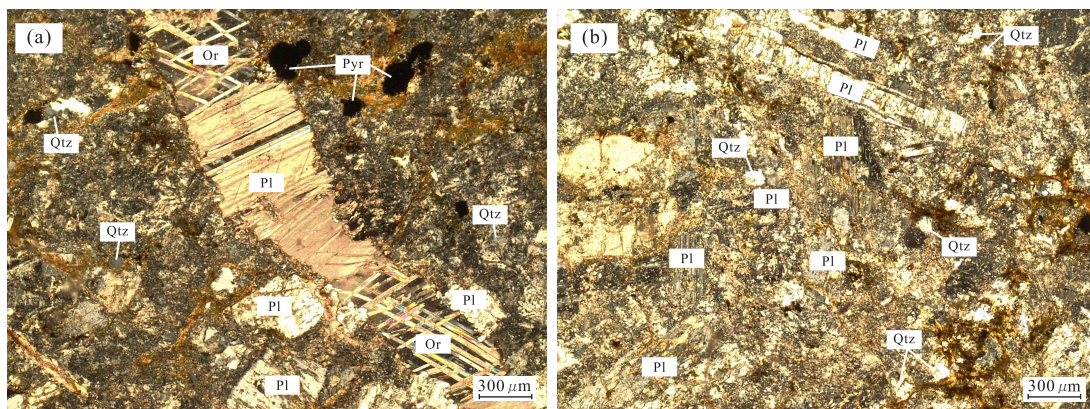


图6 红岩沟地区南华系上部长石砂岩样品显微镜下正交偏光照片(a,b)

Qtz. 石英;Pl. 斜长石;Or. 正长石;Pyr. 黄铁矿

Fig.6 Microphotographs of the Upper Nanhua System sample in Hongyangou area

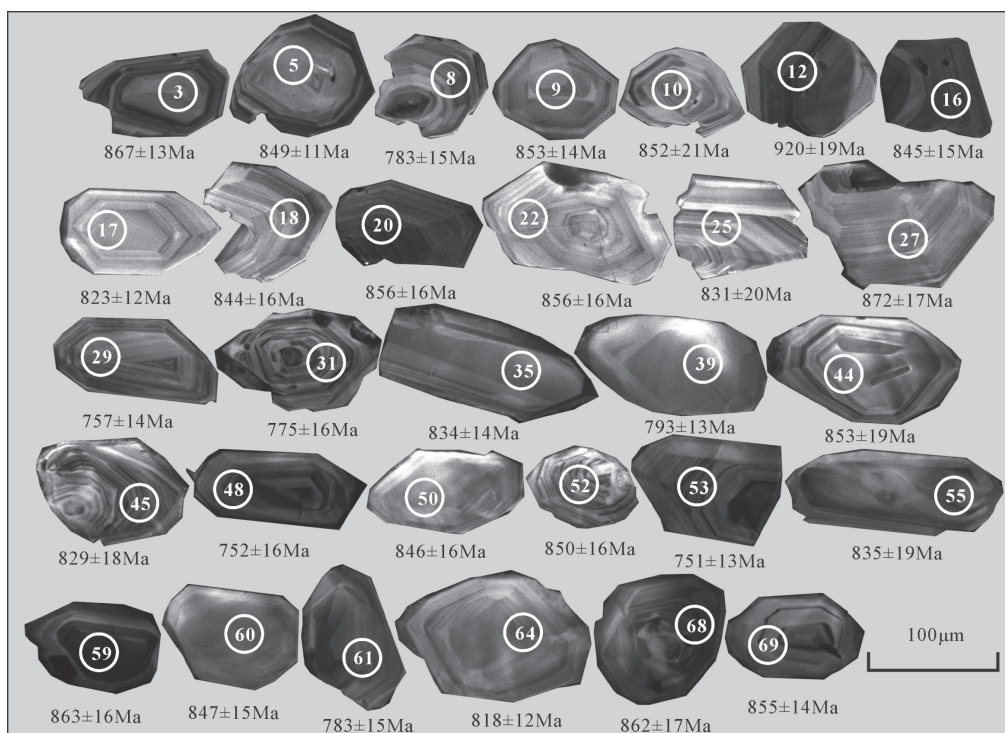


图7 红岩沟地区南华系上部长石砂岩样品代表性碎屑锆石阴极发光图像及年龄值

Fig.7 Cathodoluminescence (CL) images showing zircons from Upper Nanhua System and their ages in Hongyangou area

同位素实验室的激光剥蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICP-MS)测定,仪器为 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune,激光剥蚀的斑束直径为 30 μ m,深度为 20 ~ 40 μ m。锆石年龄计算采用标准锆石 91500 作为外标,元素含量采用 NISTSRM610 作为外标, ^{29}Si 作为内标元素进行校正。采用中国地质大学(武汉)刘勇胜研发的 ICPMS Data Cal 程序^[38]和 KENNETH R L 的 Isoplot^[39]宏程序进行数据处理和成图,利用 ^{208}Pb 校正法对普通铅进行校正^[40],具体

分析及仪器参数可以见参考文献^[41]。

3 测试结果

3.1 碎屑锆石特征

本次工作共完成碎屑锆石测点 70 个,碎屑锆石多为无色或浅黄色,粒径多数在 70 ~ 150 μ m,大部分为短柱状,少部分为长柱状、等粒状或者不规则状,总体磨圆度较差(图7),指示搬运距离有限。碎屑锆石基本都具有典型的岩浆锆石振荡环带(如测

点 10、17、18、22 等), 表明为岩浆成因锆石, 并且多数锆石 CL 图像显示清晰细密的震荡环带, 说明碎屑锆石主要为长英质岩浆锆石, 仅少量基性岩浆锆石。

碎屑锆石的 Th 含量为 $20 \times 10^{-6} \sim 297 \times 10^{-6}$, U 含量为 $18 \times 10^{-6} \sim 231 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 $0.9 \sim 2.6$ (表 1)。在相关研究当中, 一般认为 Th/U 比值高于 0.4 为岩浆结晶锆石, Th/U 比值低于 0.1 为变质成因锆石^[42]。红岩沟地区南华系上部长石砂岩碎屑锆石的 Th/U 比值均大于 0.4 (图 8a), 显示样品中碎屑锆石几乎全部为岩浆成因锆石。此外, Rimmer 等认为 Th/U 比值可以反映沉积环境的氧化还原条件, Th/U 比值小于 4 为强还原环境, 比值介于 4~10 为还原环境, 比值 10~30 为弱氧化弱还原环境, 大于 30 则为强氧化环境^[43-45]。本次样品 Th/U 比值均小于 4, 指示沉积环境应为强还原环境。

不同成因的锆石在其稀土元素配分模式图解也会有差异, 典型岩浆锆石显示出轻稀土相对亏损, 重稀土相对富集, 明显的 Ce 正异常和 Eu 负异常的左倾模式, 幔源锆石的稀土元素配分显示出弱

Eu 异常或 Eu 没有异常、稀土总量低、重稀土部分相对平缓等特点^[46, 47]。红岩沟地区南华系上部长石砂岩碎屑锆石稀土元素球粒陨石标准化配分模式图表明碎屑锆石具有岩浆锆石特征 (图 8b)。在 Yb-U、Pb-Th 判别图解上, 数据位于陆壳成因锆石区 (图 8c), 而且这些锆石主要来自陆壳花岗质岩石中的 S 型花岗岩 (图 8d)。

3.2 碎屑锆石 U-Pb 年龄

本文对于小于 1000Ma 的样品, 由于可用于测量的放射性成因 Pb 含量低和普通 Pb 校正的不确定性, 采用更为可靠的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄^[50]。本次共完成测点 70 个, 碎屑锆石同位素样品中有效锆石颗粒 (谐和度大于 90%) 为 69 颗, 除测点 29 的谐和度为 93% 外, 其余测点的谐和度均在 95% 以上。碎屑锆石同位素样品中最年轻和最老的锆石分别为 750Ma 和 920Ma, 最小年龄组平均年龄为 750Ma。测年结果可分为 2 个年龄组: ①新元古代晚期年龄 19 颗, 为 750~800Ma, 占总数的 28%, 峰值年龄为 795Ma。②新元古代早中期年龄 50 颗, 为 820~920Ma, 占总数的 72%, 该组年龄有明显峰值, 峰值年龄为 850Ma (图 9)。

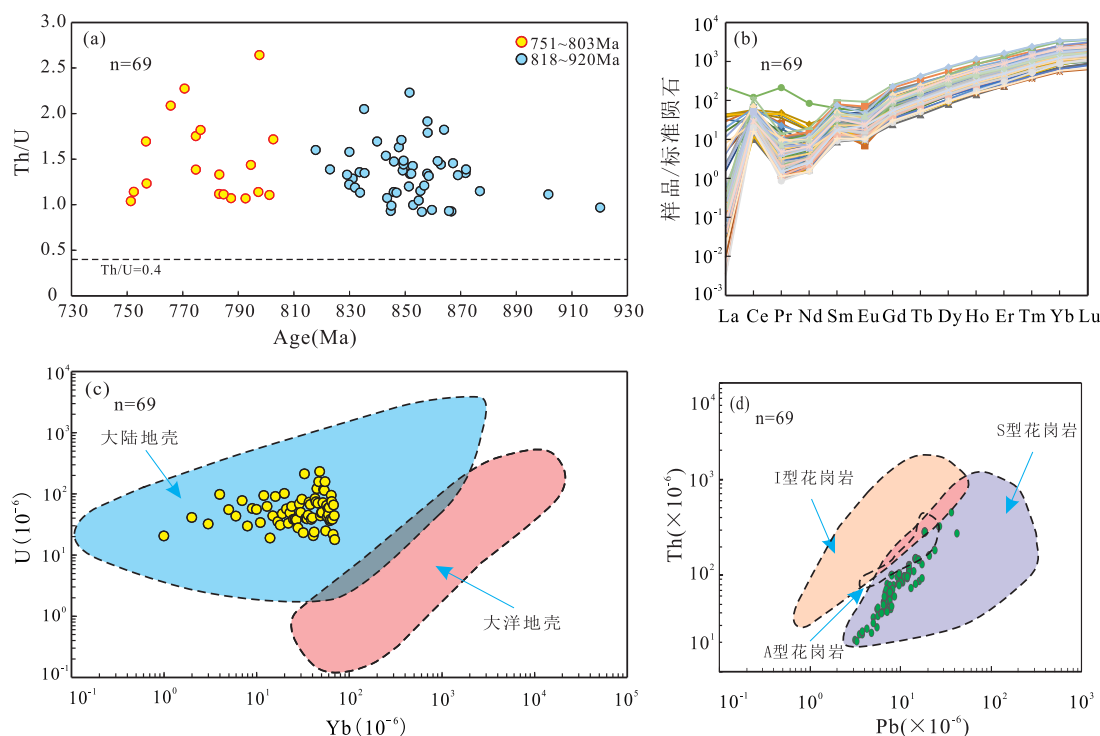


图 8 红岩沟地区南华系上部长石砂岩碎屑锆石的 Th/U 比值(a);碎屑锆石稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(b) (球粒陨石数据据 Sun S S, et al., 1989)^[48];碎屑锆石的 Yb/U 图解(c);碎屑锆石 Pb/Th 图解(d) (据 Kelemen et al., 2007)^[49]
Fig. 8 Th/U ratios of the detrital zircons(a) and their chondrite-normalized REE patterns(b), Yb versus U diagram(c), and Pb versus Th diagram(d) of detrital zircons from the Upper Nanhua System in Hongyangou area

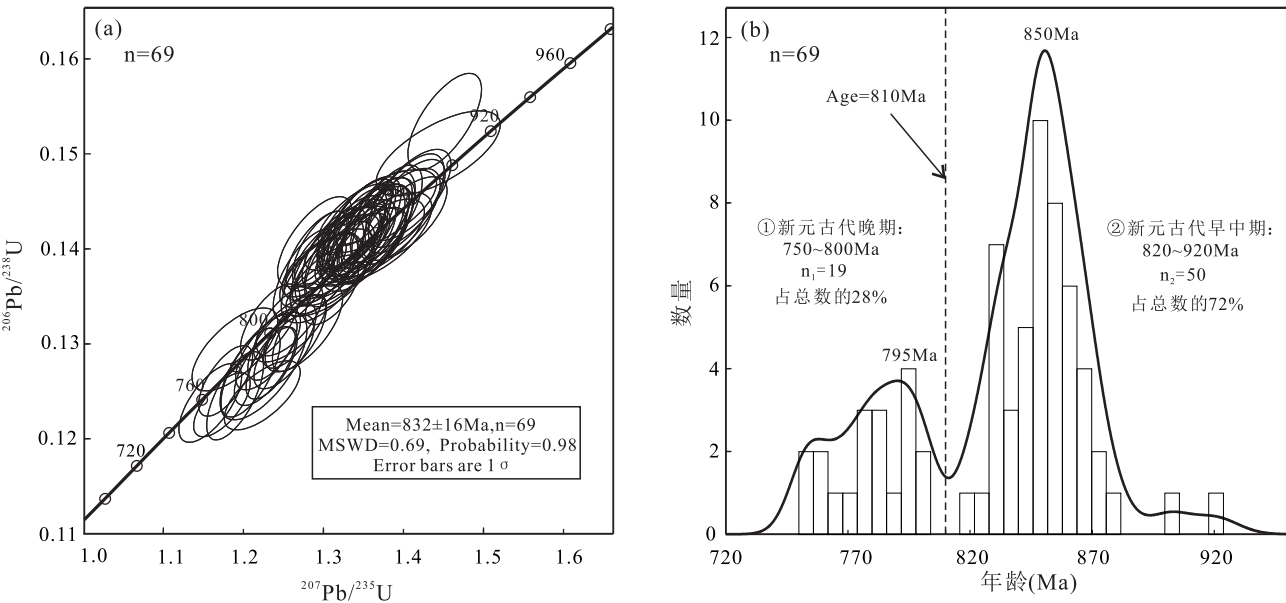


图9 红岩沟地区南华系上部长石砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)及年龄分布直方图(b)

Fig.9 U-Pb concordia diagrams (a) and histograms (b) of detrital zircons from the Upper Nanhua System in Hongyangou area

表1 红岩沟地区南华系上部长石砂岩碎屑锆石 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb age results of detrital zircons from the Upper Nanhua System in Hongyangou area

点	测 含 量(×10 ⁻⁶)			Th/U	同 位 素 比 值								年 龄(Ma)								谐和度
	²³² Th	²³⁸ U			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ					
1	22.6	20.3	1.1		0.0713	0.0027	1.4422	0.0512	0.1501	0.0029	965	80	907	21	902	17	99%				
2	66.6	40.9	1.6		0.0692	0.0011	1.3416	0.0243	0.1406	0.0022	906	33	864	11	848	12	98%				
3	29.6	32	0.9		0.0681	0.0012	1.3489	0.0245	0.1439	0.0023	872	36	867	11	867	13	99%				
4	131	97.5	1.3		0.0705	0.0013	1.4002	0.0326	0.1448	0.0035	943	42	889	14	872	19	98%				
5	94	55	1.7		0.0682	0.0016	1.3219	0.0304	0.1407	0.002	876	45	855	13	849	11	99%				
6	48.8	42.9	1.1		0.0695	0.0019	1.2568	0.0298	0.1317	0.0023	922	56	826	13	797	13	96%				
7	130	76.9	1.7		0.0691	0.001	1.3238	0.0319	0.1392	0.0035	902	64	856	14	840	20	98%				
8	33	29.5	1.1		0.0697	0.0018	1.2275	0.0254	0.1292	0.0026	920	54	813	12	783	15	96%				
9	81.8	57.4	1.4		0.0683	0.001	1.3338	0.0283	0.1414	0.0025	876	25	861	12	853	14	99%				
10	124	55.5	2.2		0.0696	0.0013	1.3512	0.0361	0.1412	0.0037	917	39	868	16	852	21	98%				
11	45.2	33.8	1.3		0.0703	0.0016	1.3678	0.0438	0.1413	0.0031	939	42	875	19	852	18	97%				
12	90	93	1		0.0694	0.0013	1.4503	0.0303	0.1534	0.0034	922	39	910	13	920	19	98%				
13	105	62	1.7		0.0699	0.0016	1.1885	0.0233	0.1246	0.0031	924	48	795	11	757	18	95%				
14	21.4	18.8	1.1		0.0698	0.0018	1.3447	0.0372	0.1402	0.0027	922	55	865	16	846	15	97%				
15	82.8	43.3	1.9		0.07	0.0013	1.3635	0.0282	0.1424	0.0029	931	34	873	12	858	17	98%				
16	83.3	89.7	0.9		0.0677	0.0013	1.2942	0.0224	0.14	0.0026	859	42	843	10	845	15	99%				
17	48.2	34.8	1.4		0.0695	0.0016	1.3025	0.0333	0.1362	0.0021	922	48	847	15	823	12	97%				
18	32.8	30.6	1.1		0.067	0.001	1.2913	0.0258	0.1398	0.0028	839	33	842	11	844	16	99%				
19	44.3	47	0.9		0.0691	0.0015	1.3444	0.0296	0.1427	0.0031	902	44	865	13	860	18	99%				
20	92.6	100	0.9		0.069	0.0011	1.3408	0.0244	0.142	0.0029	898	33	864	11	856	16	99%				
21	103	56.4	1.8		0.0711	0.0017	1.3895	0.0365	0.1434	0.0034	961	50	885	16	864	19	97%				
22	37.7	32.8	1.2		0.0702	0.0015	1.3594	0.0272	0.1419	0.0029	1000	38	872	12	856	16	98%				
23	70.5	48.5	1.5		0.0683	0.002	1.3664	0.0487	0.144	0.0029	877	92	875	21	867	16	99%				
24	82.9	61.9	1.3		0.0702	0.0013	1.3648	0.032	0.1424	0.0039	1000	38	874	14	858	22	98%				
25	49.1	38.2	1.3		0.0685	0.0013	1.3046	0.0387	0.1376	0.0035	885	34	848	17	831	20	98%				
26	41.1	38.4	1.1		0.0692	0.0012	1.2373	0.0217	0.1299	0.0025	906	32	818	10	787	14	96%				
27	51.8	37.4	1.4		0.0702	0.001	1.4029	0.0318	0.1448	0.0031	1000	30	890	13	872	17	97%				
28	25.6	27.5	0.9		0.0697	0.0012	1.3774	0.0297	0.1438	0.0034	920	34	879	13	866	19	98%				
29	83.8	68	1.2		0.0709	0.0013	1.2226	0.0313	0.1246	0.0024	955	39	811	14	757	14	93%				
30	86.2	49.2	1.8		0.0695	0.0015	1.2239	0.0358	0.1277	0.0037	915	44	812	16	775	21	95%				

(接表1)

点	测 含 量 (×10 ⁻⁶)		Th/U	同位素比值								年 龄 (Ma)								谐和度
	²³² Th	²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ					
31	112	80.8	1.4	0.0698	0.0013	1.2257	0.0252	0.1277	0.0027	924	39	812	12	775	16	95%				
32	25.5	22.9	1.1	0.0668	0.0024	1.1883	0.0353	0.1295	0.0029	833	69	795	16	785	16	98%				
33	480	211	2.3	0.0691	0.001	1.2079	0.0244	0.127	0.0031	902	30	804	11	771	18	95%				
34	44	39.7	1.1	0.0677	0.0013	1.2323	0.0244	0.1323	0.0026	857	38	815	11	801	15	98%				
35	52.7	38.9	1.4	0.0687	0.0014	1.303	0.0258	0.1381	0.0025	900	41	847	11	834	14	98%				
36	54.4	44.5	1.2	0.0688	0.0012	1.2996	0.0277	0.1374	0.0028	892	36	846	12	830	16	98%				
37	125	72.6	1.7	0.0691	0.0015	1.2564	0.0275	0.1326	0.0025	902	43	826	12	803	14	97%				
38	139	66.4	2.1	0.0675	0.001	1.1767	0.0222	0.1261	0.0025	854	27	790	10	766	14	96%				
39	40.7	38.1	1.1	0.0698	0.0012	1.2568	0.0219	0.1308	0.0022	924	37	826	10	793	13	95%				
40	72.4	40.5	1.8	0.0687	0.0013	1.3465	0.0325	0.1424	0.0035	900	41	866	14	858	20	99%				
41	24.5	20.6	1.2	0.0681	0.0015	1.295	0.0336	0.1378	0.0026	872	44	844	15	832	15	98%				
42	31.2	23.6	1.3	0.2446	0.0195	5.0269	0.4752	0.1443	0.0048	3150	127	1824	80	869	27	29%				
43	151	83	1.8	0.0703	0.0016	1.2341	0.0211	0.128	0.0025	939	42	816	10	776	14	95%				
44	73.4	73.8	1	0.0705	0.0016	1.3612	0.0324	0.1415	0.0034	943	48	872	14	853	19	97%				
45	161	121	1.3	0.0683	0.0013	1.276	0.0263	0.1373	0.0032	876	38	835	12	829	18	99%				
46	93.8	70	1.3	0.0662	0.0049	1.4169	0.12	0.1413	0.0075	813	156	896	50	852	42	94%				
47	216	157	1.4	0.0662	0.0008	1.288	0.0307	0.1408	0.0031	813	26	840	14	849	18	98%				
48	264	231	1.1	0.0679	0.0012	1.1575	0.0259	0.1238	0.0027	865	35	781	12	752	16	96%				
49	58.5	43.4	1.3	0.0685	0.0017	1.3054	0.0368	0.1384	0.0025	885	53	848	16	835	14	98%				
50	71.9	48.8	1.5	0.0694	0.0022	1.3224	0.0394	0.1402	0.0029	909	67	856	17	846	16	98%				
51	59.6	49.2	1.2	0.0704	0.002	1.3595	0.0354	0.1422	0.0036	939	57	872	15	857	20	98%				
52	103	71.2	1.4	0.0698	0.0017	1.3419	0.0313	0.1409	0.0029	922	50	864	14	850	16	98%				
53	122	117	1	0.0686	0.001	1.1721	0.0233	0.1236	0.0022	887	30	788	11	751	13	95%				
54	297	112.6	2.6	0.07	0.0009	1.2745	0.0319	0.1317	0.0031	929	27	834	14	798	17	95%				
55	321	156	2.1	0.0685	0.0009	1.3031	0.0303	0.1383	0.0034	883	26	847	13	835	19	98%				
56	28	24.8	1.1	0.0677	0.0014	1.2873	0.0264	0.1381	0.0021	861	44	840	12	834	12	99%				
57	98.9	64.4	1.5	0.0687	0.001	1.3227	0.0311	0.1397	0.0032	900	31	856	14	843	18	98%				
58	41.5	41.9	1	0.0683	0.0012	1.3125	0.0265	0.1401	0.0028	876	40	851	12	845	16	99%				
59	82.8	57.5	1.4	0.0708	0.0012	1.4003	0.0349	0.1432	0.0029	950	33	889	15	863	16	97%				
60	67.8	45.7	1.5	0.0693	0.0015	1.3352	0.029	0.1409	0.0026	906	44	861	13	849	15	98%				
61	78.6	59.1	1.3	0.0704	0.0013	1.2496	0.0247	0.1292	0.0026	940	37	823	11	783	15	95%				
62	41	36.2	1.1	0.0705	0.0015	1.3566	0.0304	0.1404	0.0026	943	43	870	13	847	15	97%				
63	49.9	38	1.3	0.0692	0.0016	1.3379	0.0302	0.1425	0.0029	906	50	862	13	859	16	99%				
64	150	93.9	1.6	0.0705	0.0012	1.3093	0.0218	0.1353	0.0021	944	40	850	10	818	12	96%				
65	107	74.3	1.4	0.0704	0.0009	1.269	0.0223	0.1312	0.0027	939	21	832	10	795	15	95%				
66	60	38	1.6	0.0695	0.0016	1.3115	0.034	0.1374	0.0022	922	48	851	15	830	13	97%				
67	26	21.7	1.2	0.0708	0.0019	1.3673	0.0382	0.1412	0.0027	950	56	875	16	851	15	97%				
68	96.8	65.5	1.5	0.0695	0.001	1.3659	0.0289	0.143	0.003	922	30	874	12	862	17	98%				
69	45.7	43.8	1	0.0686	0.0012	1.3338	0.0276	0.1418	0.0025	887	37	861	12	855	14	99%				
70	20.3	17.7	1.1	0.0702	0.0013	1.4066	0.0339	0.1457	0.0032	933	36	892	14	877	18	98%				

注:测试单位为北京科荟测试技术有限公司,测试手段为激光剥蚀-等离子体质谱分析(LA-ICP-MS)

表 2 红岩沟地区南华系上部长石砂岩碎屑锆石 LA-ICP-MS 稀土元素质量分数(×10⁻⁶)

Table 2 LA-ICP-MS trace element compositions of detrital zircons in Upper Nanhua System in Hongyangou area

测点	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	7.71	15.92	1.80	3.34	2.09	0.70	7.10	2.19	26.86	10.04	46.74	11.74	118.55	21.18
2	1.10	20.67	1.06	5.24	7.27	2.19	23.47	7.12	80.90	28.08	117.36	27.58	262.37	42.66
3	0.12	6.15	0.13	0.79	1.33	0.59	4.96	1.60	20.44	7.98	38.21	10.37	117.81	22.47
4	8.88	30.69	3.35	7.80	5.48	1.51	15.68	4.60	52.46	18.15	77.72	19.30	200.18	33.83
5	0.37	21.94	0.82	4.88	7.49	2.71	27.01	8.22	96.66	34.35	150.30	36.15	358.22	62.70
6	0.06	15.63	0.28	1.99	3.49	1.30	12.54	4.14	52.17	19.99	90.69	24.09	251.74	42.03
7	10.46	30.84	4.01	8.37	4.32	1.41	12.60	3.81	45.02	16.76	76.99	20.23	219.98	39.79
8	0.00	12.68	0.16	1.29	2.47	0.93	8.32	2.69	33.08	12.58	57.33	14.65	149.71	25.30
9	0.02	18.38	0.30	2.26	3.90	1.47	15.69	5.62	71.46	27.93	130.05	33.10	341.53	58.64
10	10.28	34.71	4.62	11.56	6.96	2.34	19.40	5.77	66.73	23.45	99.43	24.16	239.10	37.83

(接表2)

测点	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
11	0.05	13.77	0.48	3.36	5.60	1.89	18.14	5.28	61.03	21.48	93.03	22.45	223.04	35.95
12	0.00	29.73	1.36	2.98	2.05	0.53	6.91	2.53	33.59	13.75	66.30	18.49	207.17	36.82
13	0.07	25.04	0.87	6.29	9.51	3.15	32.55	9.84	111.67	38.02	158.20	37.56	363.28	54.21
14	0.10	9.62	0.14	1.01	1.91	0.68	6.58	2.05	23.88	8.69	37.90	9.17	92.24	15.84
15	0.07	25.02	0.98	6.87	11.76	3.59	37.42	10.43	112.62	37.16	148.20	32.85	299.88	48.28
16	0.04	27.59	0.11	0.78	2.06	0.45	9.76	3.79	50.25	20.11	95.98	25.51	270.56	48.21
17	0.01	15.53	0.29	2.12	3.60	1.17	12.45	3.79	45.27	16.80	72.95	17.84	176.98	30.48
18	0.01	12.54	0.15	1.18	2.61	0.82	8.65	2.80	34.93	13.70	62.75	15.75	160.24	28.54
19	0.14	11.33	0.18	1.18	2.45	0.58	9.34	3.12	38.88	14.39	62.09	15.01	147.85	25.22
20	6.88	36.09	2.46	4.89	2.40	0.40	8.42	3.30	45.25	18.67	93.36	25.73	278.15	51.30
21	0.06	15.31	0.64	3.80	6.04	2.67	20.89	6.10	68.15	24.23	105.41	26.08	266.41	49.55
22	0.03	13.37	0.18	1.43	2.57	0.89	9.67	3.06	37.58	14.17	65.06	16.25	168.71	29.04
23	0.26	20.75	0.26	2.04	4.09	0.81	16.23	5.78	71.82	26.72	119.86	29.24	283.39	50.76
24	0.04	30.75	0.33	2.52	4.88	1.39	17.60	5.74	70.04	26.17	114.44	27.87	274.65	46.81
25	0.02	17.52	0.29	2.20	4.36	1.23	15.45	4.95	58.42	21.49	95.42	22.91	223.51	39.52
26	0.00	18.95	0.11	0.88	2.34	0.52	10.69	3.90	49.46	18.86	85.74	21.21	207.36	36.91
27	0.02	10.58	0.38	2.72	4.91	1.00	18.01	6.00	72.20	26.52	112.36	26.45	250.39	43.46
28	0.01	7.66	0.12	0.87	1.55	0.64	5.68	1.92	22.71	9.31	45.50	12.44	137.28	28.15
29	00.000	16.30	0.21	1.40	2.63	1.00	10.14	3.65	46.38	17.96	85.70	22.46	240.51	45.39
30	0.06	20.91	0.86	6.20	9.57	3.07	32.84	9.61	107.11	36.96	152.44	34.77	321.53	54.75
31	0.59	18.27	0.29	1.07	1.65	0.54	6.27	2.14	27.48	11.09	53.16	14.42	149.50	29.59
32	0.02	11.66	0.13	1.10	2.18	0.78	8.34	2.83	34.88	13.58	60.88	15.03	149.95	27.07
33	0.51	41.80	0.33	1.49	3.06	1.53	12.75	4.19	51.62	19.37	89.90	22.88	239.89	45.37
34	10.08	28.08	4.22	8.66	3.40	0.53	9.75	3.37	44.22	19.87	80.83	20.60	206.08	38.08
35	0.03	8.78	0.25	1.79	3.02	1.35	9.57	2.89	32.86	12.12	55.58	13.97	146.47	28.17
36	0.15	17.42	0.31	2.06	3.90	1.32	14.37	4.65	56.50	21.07	94.94	22.98	229.40	42.30
37	4.74	38.20	2.16	6.15	5.30	1.43	18.98	6.37	78.96	30.49	136.70	32.51	313.27	57.65
38	0.10	24.14	1.11	7.23	12.24	4.03	43.58	12.93	140.69	48.90	201.07	45.69	420.31	74.23
39	0.04	11.26	0.19	1.74	3.98	1.22	14.63	4.72	54.17	19.64	86.53	20.79	199.58	36.50
40	0.03	20.14	0.61	3.75	7.39	2.04	24.66	7.45	88.52	28.93	122.24	28.08	259.59	44.95
41	0.01	9.49	0.13	0.85	1.85	0.68	7.08	2.21	26.30	9.98	44.59	10.81	107.39	20.01
42	50.98	73.86	20.31	39.39	9.61	1.19	14.31	3.94	42.23	14.87	63.90	15.29	146.29	25.69
43	0.14	19.49	0.78	4.96	8.66	2.27	31.53	9.87	114.99	40.85	174.07	39.95	370.16	64.19
44	0.00	21.24	0.09	0.94	2.00	0.57	9.01	3.32	44.12	18.15	89.56	23.56	250.81	48.08
45	0.01	27.52	0.10	0.68	1.82	0.64	7.83	2.84	37.41	15.08	73.06	19.29	208.41	40.15
46	0.04	31.67	0.52	3.59	6.48	1.93	24.07	7.81	92.59	34.64	153.90	36.77	355.99	63.28
47	1.00	39.90	0.73	3.24	5.27	1.30	19.68	6.96	89.95	35.26	166.16	42.81	438.59	78.31
48	0.05	50.71	0.21	1.62	4.03	0.73	20.91	8.48	116.17	47.81	219.12	55.13	543.67	89.46
49	0.01	23.72	0.17	1.18	2.77	0.87	11.92	4.17	53.32	20.89	95.53	22.98	225.29	41.05
50	0.03	19.21	0.39	2.79	5.25	1.66	18.56	5.73	67.56	24.98	107.84	25.73	247.47	43.51
51	0.16	18.35	0.25	1.48	2.88	0.76	11.78	4.35	55.25	21.79	101.69	26.12	271.24	48.42
52	0.03	16.73	0.30	2.01	3.48	1.32	11.86	3.84	47.82	18.10	85.49	22.29	235.64	44.22
53	2.74	35.79	1.07	3.03	2.89	0.51	12.24	4.67	62.21	24.52	118.90	32.10	338.08	57.65
54	0.10	71.86	1.33	8.93	15.43	5.34	50.82	15.59	174.15	61.06	256.33	60.90	580.23	93.42
55	0.08	31.39	0.80	5.64	11.60	2.77	46.73	15.82	183.96	65.81	270.38	61.77	572.09	92.74
56	0.00	11.20	0.11	1.06	2.05	0.70	8.18	2.76	34.82	13.55	61.49	15.37	156.21	27.97
57	00.000	30.98	0.16	1.57	3.19	0.84	12.59	4.21	51.67	19.14	85.92	20.92	201.89	34.92
58	1.91	16.27	1.03	2.69	2.52	0.55	9.75	3.39	42.22	16.04	72.15	18.39	183.12	31.22
59	0.47	25.64	0.62	3.37	5.75	1.67	19.55	6.40	75.48	27.74	122.16	30.24	301.38	49.80
60	0.07	22.75	0.42	2.92	5.01	1.58	17.90	5.72	67.54	24.81	106.67	25.39	245.26	41.34
61	0.03	27.77	0.36	2.66	5.15	1.45	19.79	6.40	75.94	28.12	122.14	29.58	289.92	50.03
62	0.01	14.26	0.19	1.52	2.86	1.02	11.21	3.68	45.79	17.92	81.80	20.43	208.91	36.42
63	0.02	18.81	0.14	1.28	2.62	0.87	9.23	3.00	36.96	14.00	62.04	15.45	152.59	26.02
64	1.18	43.14	0.91	4.65	7.65	1.77	28.07	8.87	102.93	37.09	156.82	36.87	354.99	58.12
65	0.05	31.59	0.43	2.90	5.53	1.93	21.96	7.16	89.20	34.49	153.18	37.92	371.63	62.47
66	0.03	15.41	0.70	4.56	6.75	2.31	22.72	6.79	75.92	26.42	109.82	25.98	250.30	41.18
67	0.02	12.05	0.14	1.17	2.66	1.29	11.12	3.84	46.83	17.76	80.65	20.20	208.88	37.69
68	0.02	18.22	0.45	3.09	5.21	1.39	20.77	7.17	89.64	32.85	146.05	36.19	365.99	61.00
69	0.00	12.32	0.08	0.72	1.40	0.60	5.58	1.93	24.57	9.89	48.83	13.18	147.70	28.44
70	0.00	9.86	0.11	0.70	1.62	0.59	6.22	1.97	24.08	8.83	39.02	9.67	98.65	16.88

注:测试单位为北京科荟测试技术有限公司,测试手段为激光剥蚀-等离子体质谱分析(LA-ICP-MS)

4 讨论

4.1 沉积时代

该套南华—震旦系曾被命名为雪花太坪群,岩性主体以碳酸盐岩为主^[51]。王明加等将雪花太坪群自下而上划分为史家坪组、范家营组、九道拐组及望天坪组,将其与蓟县系进行对比^[52],宁强庙坝华严寺及本文红岩沟地区含砾岩系即为上述史家坪组。裴先治等认为雪花太坪群与横丹群为同时代地层,时代为青白口纪,代表弧前盆地沉积^[53]。陕西省地质调查院与徐学义等将红岩沟地区含砾岩系与峡区“南沱冰碛岩”进行对比,并引用区域地层单位名称南沱组,时代厘定为晚南华世^[27-29]。

上述可知,前人对红岩沟地区含砾岩系形成时代研究较少,尚无可靠的同位素年代学资料报道。本次研究获得上部含砾岩系中的长石砂岩碎屑锆石年龄数据中,最年轻的碎屑锆石 U-Pb 年龄为 750Ma,表明上部含砾岩系的沉积时代应不早于 750Ma。此外,上部含砾岩系上覆地层为区域特征明显的震旦系,且与陡山沱组呈整合接触关系,故可将其沉积上限限定为早震旦世。综合前人时代划分、本文碎屑锆石年龄结果以及地层序列中的层位关系,红岩沟地区上部含砾岩系形成时代可能为晚南华世。

4.2 碎屑锆石物源分析

所有碎屑锆石样品年龄都属于新元古代,结合碎屑锆石形态特征、Th/U 比值以及碎屑锆石稀土元素球粒陨石标准化配分模式图可以得知其源区物质以新元古代岩浆岩为主,且大部分为中酸性岩浆岩。本次获得新元古代晚期碎屑锆石有 19 颗,年龄为 750~800Ma,占总数的 28%。北侧勉略构造带、碧口微地块内部以及南侧后龙门山构造带、汉南—米仓山微地块均发育新元古代晚期中酸性岩浆事件。在勉略构造带,郭镇铎厂沟变英安岩年龄为 $802 \pm 5\text{Ma}$ ^[54];横现河地区张岩沟变流纹岩年龄为 $728 \pm 10\text{Ma}$ ^[55];此外,略阳惠家沟变安山岩、水得沟变安山岩、黑沟峡变安山岩年龄分别为 $797 \pm 14\text{Ma}$ 、 $804 \pm 20\text{Ma}$ 、 $807 \pm 13\text{Ma}$ ^[33]。在碧口微地块,闫全人等获得两个碧口群火山岩系变流纹质凝灰岩年龄分别为 $790 \pm 15\text{Ma}$ 和 $776 \pm 13\text{Ma}$ ^[56]。在后龙门山构造带,裴先治等对轿子顶穹隆核部的过铝质花岗岩类进行研究,获得块状花岗岩、变形花岗岩年龄分别为 $792 \pm 11\text{Ma}$ 和 $793 \pm 11\text{Ma}$ ^[57];李佐臣等获得

刘家坪大滩花岗岩年龄为 $806 \pm 19\text{Ma}$ ^[26]。在汉南—米仓山构造带,五堵门复式花岗岩体英云闪长岩年龄为 $764 \pm 12 \sim 789 \pm 10\text{Ma}$ ^[58,59]、花岗闪长岩年龄为 $735 \pm 8\text{Ma}$ ^[60];铁船山组流纹岩年龄为 $806 \pm 14\text{Ma}$ ^[61]。

新元古代早中期碎屑锆石有 50 颗,年龄为 820~920Ma,占总数的 72%。无论是勉略构造带、碧口微地块还是汉南—米仓山微地块都记录了新元古代早中期中酸性岩浆事件。在勉略构造带,略阳三岔子偏桥沟斜长花岗岩年龄为 $923 \pm 13\text{Ma}$ ^[62];三岔河地区张儿沟变安山岩年龄分别为 $840 \pm 5\text{Ma}$ ^[33];康县马家沟英安岩年龄为 $837 \pm 16\text{Ma}$ ^[33]。在碧口微地块,略阳白雀寺杂岩体中二长花岗岩年龄为 $835 \pm 3\text{Ma}$ ^[19];宁强巨亭岩组变英安岩年龄为 849~873Ma^[63];略阳陈家坝岩组变英安岩年龄为 850~860Ma^[63];勉县大安岩组变英安质流纹岩年龄为 842~860Ma^[63]。在汉南—米仓山微地块,碑坝杂岩体花岗闪长岩年龄为 $863 \pm 10\text{Ma}$ ^[59-60];孙家河组流纹岩、英安岩年龄分别为 $904 \pm 18\text{Ma}$ ^[61] 和 $833 \pm 5\text{Ma}$ ^[64]。

红岩沟地区南华系上部长石砂岩碎屑锆石磨圆度较差,整体为次棱角—棱角状(图 7),表明锆石颗粒未经过长距离的搬运,且年龄谐和图和分布直方图呈现出较为集中的特点(图 9a;图 9b),暗示这套含砾岩系为近源快速堆积。从上述可知,在新元古代早中期和新元古代晚期,北侧勉略构造带、碧口微地块内部、南侧后龙门山构造带与汉南—米仓山微地块均有大量中酸性岩浆事件的报道(表 3),且与本次样品中所获得同位素年龄相似,表明勉略构造带、碧口微地块与扬子板块西北缘后龙门山构造带及汉南—米仓山微地块均可作为南华系上部含砾岩系提供碎屑物质。结合从南到北的古水流方向,大部分碎屑物质则可能由研究区南侧提供。故推测碧口微地块内部和南侧后龙门山构造带及汉南—米仓山微地块的新元古代中酸性岩浆岩为红岩沟地区南华系上部含砾岩系的主要物源,而勉略构造带则只可能提供了少量的碎屑物质。

4.3 地质意义

无论是勉略构造带、碧口微地块还是汉南—米仓山微地块都记录了大量新元古代早中期板块汇聚岩浆事件。闫全人等在康县地区获得洋壳型大堡变镁铁质岩、香子坝变镁铁质岩、水泉沟变镁铁质岩年龄分别为 $812 \pm 11\text{Ma}$ 、 $841 \pm 16\text{Ma}$ 、 $826 \pm 19\text{Ma}$ ^[62]。

表 3 碧口微地块及邻区部分中酸性岩浆岩同位素年龄统计

Table 3 Ages of intermediate-acid magmatic rocks in Bikou microblock and its adjacent areas

位置	岩体(火山岩)	岩性	测试方法	年龄 (Ma)	资料来源
南秦岭勉略构造带	张岩沟火山岩	变流纹岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	728±10	徐通, 2013 ^[55]
	惠家沟火山岩	变安山岩		797±14	徐通, 2016 ^[33]
	铔厂沟火山岩	变英安岩		802±5	林振文等, 2013 ^[54]
	水得沟火山岩	变安山岩		804±20	徐通, 2016 ^[33]
	黑沟峡火山岩	变安山岩		807±13	徐通, 2017 ^[65]
	马家沟火山岩	变英安岩		837±16	徐通, 2016 ^[33]
	张儿沟火山岩	变安山岩		840±5	徐通, 2016 ^[33]
	偏桥沟花岗岩	变斜长花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	923±13	闫全人等, 2007 ^[62]
碧口微地块	碧口群火山岩	变流纹质凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	776±13	闫全人等, 2003 ^[56]
	碧口群火山岩	变流纹质凝灰岩		790±15	闫全人等, 2003 ^[56]
	白雀寺杂岩体	二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	835±3	游军等, 2018 ^[19]
	大安岩组	变英安质流纹岩		842~860	陕西地质调查中心 ^[63]
	巨亭岩组	变英安岩		849~873	陕西地质调查中心 ^[63]
	陈家坝岩组	变英安岩		850~860	陕西地质调查中心 ^[63]
	铜厂闪长岩体	闪长岩		844±4	宫相宽等, 2013 ^[20]
	白雀寺杂岩体	角闪石英二长岩		855±6	平先权等, 2014 ^[66]
后龙门山地区	轿子顶花岗岩	块状花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	792±11	裴先治等, 2009 ^[57]
	轿子顶花岗岩	变形花岗岩		793±11	裴先治等, 2009 ^[57]
	刘家坪大滩花岗岩	花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	806±19	李佐臣等, 2013 ^[26]
	刘家坪大滩花岗岩	花岗岩		826±8	胡安新等, 2014 ^[67]
汉南-米仓山微地块	西乡群	花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	707±20	Dong et al., 2012 ^[68]
	西乡群	凝灰岩		760±5	邓奇等, 2013 ^[69]
	西乡群	闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	764±9	Zhao et al., 2009 ^[60]
	西乡群	凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	789±4	邓奇等, 2013 ^[69]
	西乡群	英安质熔岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	815±5	崔建堂等, 2010 ^[70]
	西乡群	流纹岩	TIMS	840~820	赵凤清等, 2006 ^[58]
	西乡群	流纹岩	SHRIMP 锆石 U Pb	833±5	徐学义等, 2009 ^[71]
	西乡群	英安岩	LA ICP-MS 锆石 U-Pb	833±5	夏林圻等, 2009 ^[72]
	西乡群	流纹岩	TIMS	895±3	Ling et al., 2003 ^[73]
	西乡群	流纹岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	904±18	凌文黎等, 2002 ^[61]
	西乡群	英安岩		946±18	凌文黎等, 2002 ^[61]
	西乡群	流纹岩	TIMS	950±4	Ling et al., 2003 ^[73]
	望江山岩体	闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	819±10	Zhou et al., 2002 ^[74]
	五堵门杂岩体	花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	718±9	Dong et al., 2012 ^[68]
	五堵门杂岩体	花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	735±8	Zhao and zhou, 2009 ^[60]
	五堵门杂岩体	英云闪长岩	TIMS	764±12	赵凤清等, 2006 ^[58]
	五堵门杂岩体	英云闪长岩	LA ICP-MS 锆石 U-Pb	789±10	凌文黎等, 2006 ^[59]
	碑坝杂岩体	辉长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	814±10	Zhao and zhou, 2009 ^[60]
	碑坝杂岩体	花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	863±10	凌文黎等, 2006 ^[59]
	喜神坝花岗岩体	花岗岩		706±9	Dong et al., 2012 ^[68]
	黄官花岗岩体	花岗岩		777±8	Dong et al., 2012 ^[68]
	罗家坝基性岩体	辉长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	746±4	Zhao and zhou, 2009 ^[60]
	黄家营复式岩体	钾长花岗岩	TIMS	778±5	赵凤清等, 2006 ^[58]
	铁船山组火山岩	流纹岩		817±5	Ling et al., 2003 ^[73]

这些指示了新元古代早中期勉略构造带古洋盆的存在,时限大致为 826 ~ 812Ma。徐通等在康县地区获得陆缘弧型马家沟变英安岩的年龄为 837 ±

16Ma^[33],指示新元古代早中期勉略洋盆俯冲作用的存在。碧口微地块范坝董家河一带存在残余洋壳,岩石组成类型有洋岛碱性玄武岩、洋岛拉斑玄

武岩、洋中脊玄武岩和辉长岩、辉石岩,应当为一套蛇绿混杂岩,其辉长岩年龄为 $839 \pm 8\text{Ma}$ ^[75, 76],表明在新元古代早中期碧口微地块中古洋盆的存在。叶霖等在略阳县铜厂获得闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $842 \pm 7\text{Ma}$,认为其形成于碰撞隆起-岛弧环境^[21]。此外,陈家坝地区弧型变安山岩($833 \pm 4\text{Ma}$)、大铁坝地区弧型变玄武岩($811 \pm 10\text{Ma}$)、清河-苍社地区弧型碱性玄武岩($814 \pm 9\text{Ma}$)^[77],这些均指示新元古代早中期碧口洋盆俯冲作用的存在。在汉南-米仓山微地块,凌文黎等对西乡群下部白勉峡组和上部孙家河组火山岩进行了颗粒级锆石 U-Pb 同位素定年,分别获得了 $946 \pm 18\text{Ma}$ 和 $904 \pm 18\text{Ma}$ 的谐和年龄,认为其具有岛弧岩浆岩的元素和同位素地球化学特征^[61],这暗示了汉南-米仓山微地块在该时期处于汇聚背景。以上地质信息表明勉略构造带、碧口微地块与汉南-米仓山微地块在新元古代早中期处于相似的构造背景及演化阶段,均响应了 Rodinia 超大陆的汇聚过程。

近年来,勉略构造带、碧口微地块以及汉南-米仓山微地块都有新元古代晚期伸展背景下形成的岩浆岩的报道。在勉略构造带,李瑞保等在武都琵琶寺获得裂解型变玄武岩的年龄为 $783 \sim 754\text{Ma}$ ^[78],王涛等在康县大堡朱家坝地区获得裂解型变基性火山岩的年龄为 $778 \sim 667\text{Ma}$ ^[79],徐通等在略阳横现河地区获得裂解型张岩沟大陆双峰式火山岩系中变流纹岩的年龄为 $728 \pm 10\text{Ma}$ ^[55]。在扬子板块西北缘的碧口微地块及龙门山构造带,裴先治等对轿子顶穹隆核部的过铝质花岗岩类进行研究,获得其年龄为 $792 \pm 11\text{Ma}$ 、 $793 \pm 11\text{Ma}$,认为其形成于同碰撞向碰撞后伸展环境的转化阶段^[57],李佐臣等在刘家坪地区获得大滩花岗岩年龄为 $806 \pm 19\text{Ma}$,认为其属于后造山花岗岩,标志着该区开始从同碰撞向碰撞后伸展环境的转化^[26]。扬子板块北缘汉南地区的五堵门复式花岗岩体英云闪长岩($764 \pm 12 \sim 789 \pm 10\text{Ma}$)、花岗闪长岩($735 \pm 8\text{Ma}$)、罗家坝基性岩体辉长岩($746 \pm 4\text{Ma}$)、望江山岩体辉长岩($808 \pm 14\text{Ma}$)、西乡地区正长花岗岩($707 \pm 20\text{Ma}$)、喜神坝地区二长花岗岩($706 \pm 9\text{Ma}$)构造环境也均指示裂解背景^[58-60, 68, 71, 74]。此外,扬子板块东部和西部均存在大规模的新元古代花岗岩浆活动,碎屑锆石年龄谱存在一个大致为 810Ma 的显著峰值^[80],为统一裂解机制形成^[26]。而南秦岭地区发育 $640 \sim 630\text{Ma}$ 镁铁-超镁铁质岩

体被认为是裂解过程最晚期的产物^[81-84]。以上研究都支持了上述地区新元古代早中期至晚期由汇聚背景到裂解背景转变的观点,其时限大致在 810Ma 左右。

在新元古代晚期伸展背景下,碧口微地块及周缘也存在大量沉积记录,如徐通等在康县碾坝南和味石沟出露的南华系关家沟组浅变质沉积地层中获得碎屑锆石年龄集中在 $861 \sim 678\text{Ma}$ 和 $877 \sim 718\text{Ma}$,认为其为一套南华纪裂谷环境的浊流沉积^[33]。苏联国等在略阳火神庙地区关家沟组变质沉积岩系中获得的碎屑锆石年龄介于 $932 \sim 723\text{Ma}$,峰值年龄为 838Ma ,认为其沉积时代应不早于南华纪,同为裂谷环境的沉积^[37]。弓晨等在略阳三岔子-金家河地区含砾千枚岩中获得的碎屑锆石年龄介于 $966 \sim 678\text{Ma}$,峰值年龄为 837Ma ,认为其沉积事件对应于新元古代中晚期勉略构造带及扬子地块西北缘后碰撞-裂解阶段,为勉略构造带新元古代中晚期陆内裂谷沉积^[36]。红岩沟地区南华系上部含砾岩系与上述地层具有较好的对比性,碎屑锆石年龄谱特征也具有一致性。本次获得最年轻的碎屑锆石年龄为 750Ma ,结合区域构造演化及前人对该区沉积地层的研究,红岩沟地区南华系上部含砾岩系沉积事件可能对应了新元古代中晚期($\sim 810\text{Ma}$)碧口微地块及扬子板块西北缘地区后碰撞-裂解阶段,应为边缘裂谷环境中的沉积盖层。

5 结论

(1) 碧口微地块东部红岩沟地区上部含砾岩系中的长石砂岩碎屑锆石样品中最年轻的碎屑锆石年龄为 750Ma ,根据区域地质资料,并结合地层序列中的层位关系,红岩沟地区上部含砾岩系形成时代可能为晚南华世。

(2) 红岩沟地区南华系上部含砾岩系中长石砂岩碎屑锆石同位素年龄可分为两组:①新元古代晚期年龄 19 颗,为 $750 \sim 800\text{Ma}$,占总数的 28%,峰值年龄为 795Ma 。②新元古代早中期年龄 50 颗,为 $820 \sim 920\text{Ma}$,占总数的 72%,表现明显峰值,峰值年龄为 850Ma 。综合研究认为碧口微地块内部和扬子板块西北缘汉南-米仓山微地块、后龙门山造山带的中酸性岩浆岩为南华系上部含砾岩系提供了大量的碎屑物质,为该地层的主要物源区。此外,勉略构造带出露的火成岩可能也提供了少量的碎屑物质。

(3)红岩沟地区南华系上部含砾岩系沉积事件可能对应了新元古代中晚期(~810Ma)碧口微地块及扬子板块西北缘地区后碰撞-裂解阶段,应为边缘裂谷环境的沉积盖层。

致谢:审稿专家和编委对稿件提出了建设性修改意见,对提高文章质量起了重要作用,作者表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 张国伟,张本仁,袁学成. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-855.
- [2] Li X, Li W, Wang X. The Bikou basalts in the northwestern Yangtze block, South China: Remnants of 820-810 Ma continental flood basalts[J]? Geological Society of America Bulletin, 2008, 120(11/12): 1478-1492.
- [3] Druschke P, Yan Q, Hanson A D. Stratigraphic and U-Pb SHRIMP Detrital Zircon Evidence for a Neoproterozoic Continental Arc, Central China: Rodinia Implications [J]. The Journal of Geology: a semi-quarterly magazine of geology and related sciences, 2006, 114(5): 627-636.
- [4] 闫全人, Andrew D. Hanson, 王宗起, 等. 扬子板块北缘碧口群火山岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 23(1): 1-11.
- [5] 徐学义, 夏祖春, 夏林圻. 南秦岭元古宙板内火山作用特征及构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(3): 255-262.
- [6] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 南秦岭中~晚元古代火山岩性质与前寒武纪大陆裂解[J]. 中国科学 D 辑(地球科学), 1996, (3): 237-243.
- [7] 赵祥生, 马少龙. 秦巴地区碧口群时代层序, 火山作用及含矿性研究[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1990, (29): 1-121.
- [8] 夏祖春, 夏林圻, 徐学义, 等. 碧口群火山岩性质及形成环境[J]. 地质论评, 1989, 45(S1): 3-5.
- [9] 秦克令, 金浩甲, 赵东宏. 碧口古岛弧带构造演化与成矿[J]. 河南地质, 1994, (4): 304-317.
- [10] 张二朋, 牛道韞, 霍有光. 秦巴及邻区地质构造特征概论[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-291.
- [11] 刘国惠, 张寿广, 游振东. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-190.
- [12] 裴先治. 碧口地区复理石岩系特征及其构造环境[J]. 长安大学学报(地球科学版), 1992, 14(1): 42-49.
- [13] 裴先治. 南秦岭碧口群岩石组合特征及其构造意义[J]. 长安大学学报(地球科学版), 1989, 11(2): 46-56.
- [14] 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学 D 辑(地球科学), 1996, (3): 193-200.
- [15] 李三忠, 张国伟, 李亚林, 等. 秦岭造山带勉略缝合带构造变形与造山过程[J]. 地质学报, 2002, 76(4): 469-483.
- [16] 裴先治, 张国伟, 赖绍聪, 等. 西秦岭南缘勉略构造带主要地质特征[J]. 地质通报, 2002, 21(8): 486-494.
- [17] 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学 B 辑(化学、生命科学、地学), 1995, (9): 994-1003.
- [18] 裴先治. 勉略-阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征[D]. 西安: 西北大学, 2001.
- [19] 游军, 张小明, 杨运军, 等. 略阳白雀寺-石瓮子双峰式侵入岩锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及意义[J]. 矿产勘查, 2018, 9(12): 2365-2377.
- [20] 宫相宽, 陈丹玲, 赵姣. 陕西铜厂闪长岩地球化学、锆石 U-Pb 定年及 Lu-Hf 同位素研究[J]. 西北地质, 2013, 46(3): 50-63.
- [21] 叶霖, 程增涛, 陆丽娜, 等. 陕南勉略宁地区铜厂闪长岩岩石地球化学及 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学[J]. 岩石学报, 2009, 25(11): 2866-2876.
- [22] 骆金诚, 赖绍聪, 秦江锋, 等. 扬子板块西北缘碧口地块南一里花岗岩成因研究[J]. 地球学报, 2011, 32(5): 559-569.
- [23] 吕崧, 颜丹平, 王焰, 等. 碧口地块麻山、木皮岩体岩石地球化学与地质年代学: 对构造属性的指示意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(6): 1889-1901.
- [24] 李佐臣, 裴先治, 丁仁平, 等. 川西北平武地区南一里花岗岩闪长岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(6): 1003-1012.
- [25] 秦江锋, 赖绍聪, 李永飞. 扬子板块北缘碧口地区阳坝花岗岩闪长岩体成因研究及其地质意义[J]. 岩石学报, 2005(3): 697-710.
- [26] 李佐臣, 裴先治, 李瑞保, 等. 扬子地块西北缘刘家坪地区大滩花岗岩体年代学、地球化学及其构造环境[J]. 地质论评, 2013, 59(5): 869-884.
- [27] 陕西省地质调查院. 略阳幅地质图(1:250000)[R]. 西安: 西安地图出版社, 2007.
- [28] 陕西省地质调查中心. 勉略宁地区地质图(1:50000 修测)[R]. 西安: 西安地图出版社, 2017.
- [29] 徐学义, 陈隽璐, 闫臻. 秦岭及邻区地质图(1:500000)[ZR]. 西安: 西安地图出版社, 2014.
- [30] 陕西地质矿产勘查开发局综合研究队. 大安镇幅地质图(1:50000)[R]. 西安: 西安地图出版社, 1996.
- [31] 陕西省地质调查院. 中国区域地质志·陕西志[M]. 西安: 陕西省地质调查院, 2017.
- [32] 陕西省地质调查院. 1:25 万略阳县幅区域地质调查报告[R]. 西安: 陕西省地质调查院, 2007.
- [33] 徐通. 秦岭南缘勉略构造带康县-略阳地区组成特征及构造演化研究[D]. 西安: 长安大学, 2016.
- [34] 苏春乾, 刘继庆, 王瑶培. 西秦岭文县地区关家沟组海底扇沉积体系[J]. 地球科学与环境学报, 2003, 25(4): 21-26.
- [35] 卢海峰, 王宗起, 王涛. 西秦岭关家沟组地层时代、物源及其构造响应[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(3): 315-321.
- [36] 弓晨, 裴先治, 李瑞保, 等. 南秦岭勉略构造带略阳三岔子地区金家河千枚岩沉积物源分析: 碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 西北地质, 2019, 52(4): 28-52.
- [37] 苏联国, 裴先治, 李瑞保, 等. 南秦岭勉略构造带火神庙地区关家沟组变质沉积岩系碎屑锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地球科学, 2019, 44(4): 1424-1442.
- [38] Yongsheng L, Zhaochu H, Keqing Z, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by

- LA-ICP-MS[J]. SP Science China Press, 2010, 55(15): 1535–1546.
- [39] Ludwig K R. User's Manual for Isoplot 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Geochronology Center Special Publication, 2003: 1–71.
- [40] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1–2): 59–79.
- [41] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, 2009, 29(S1): 600–601.
- [42] Hoskin P W O, Ireland T R. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator [J]. Geology, 2000, 28(7): 627–630.
- [43] Rimmer S M. Geochemical paleoredox indicators in Devonian-Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA) [J]. Chemical Geology, 2004, 206(3–4): 373–391.
- [44] Jones B, Manning D A C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones[J]. Chemical Geology, 1994, 111(1–4): 111–129.
- [45] Hatch J R, Leventhal J S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U. S. A. [J]. Chemical Geology, 1992, 99(1–3): 65–82.
- [46] Siebel W, Schmitt A K, Danišik M, et al. Prolonged mantle residence of zircon xenocrysts from the western Eger rift [J]. Nature Geoscience, 2009, 2(12): 886–890.
- [47] Belousova E, Griffin W, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type [J]. Contributions to Mineralogy & Petrology, 2002, 143(5): 602–622.
- [48] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes, in Magmatism in the Ocean Basins [J]. Geological Society London Special Publications, 1989, 423: 13–345.
- [49] Kelemen P B, Wooden J L, Cheadle M J, et al. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance [J]. GEOLOGY, 2007, 35(7): 643–646.
- [50] Keith N S. Tracing provenance through the isotope ages of littoral and sedimentary detrital zircon, eastern Australia [J]. SEDIMENTARY GEOLOGY, 1999, 124(1): 47–67.
- [51] 陶洪祥, 何恢亚, 王全庆, 等. 扬子板块北缘构造演化史[M]. 西安: 西北大学出版社, 1993.
- [52] 王明加, 吴国兴, 林世敏. 陕西勉略宁地区震旦亚界的划分与对比[J]. 西北地质, 1980, (3): 1–9.
- [53] 裴先治. 扬子板块西北缘碧口地区前震旦系构造特征及其演化[D]. 西安: 长安大学, 1989.
- [54] 林振文, 秦艳, 周振菊, 等. 南秦岭勉略带桦厂沟火山岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 2013, 29(1): 83–94.
- [55] 徐通, 裴先治, 李瑞保, 等. 勉略构造带横现河地区张岩沟双峰式火山岩的地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 中国地质, 2013, 40(6): 1777–1792.
- [56] 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 碧口群火山岩的时代—SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果[J]. 地质通报, 2003, (6): 456–458.
- [57] 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等. 扬子地块西北缘轿子顶新元古代过铝质花岗岩: 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和岩石地球化学及其构造意义[J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 231–249.
- [58] 赵凤清, 赵文平, 左义成, 等. 陕南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.
- [59] 凌文黎, 高山, 程建萍, 等. 扬子陆核与陆缘新元古代岩浆事件对比及其构造意义—来自黄陵和汉南侵入杂岩 ELA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素年代学的约束[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 387–396.
- [60] Zhou M, Zhao J. Secular evolution of the Neoproterozoic lithospheric mantle underneath the northern margin of the Yangtze Block, South China [J]. Lithos, 2009, 107(3/4): 152–168.
- [61] 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.
- [62] 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 秦岭勉略构造混杂带康县—勉县段蛇绿岩块—铁镁质岩块的 SHRIMP 年代及其意义[J]. 地质论评, 2007, 53(6): 755–764.
- [63] 陕西省地质调查中心. 陕西省勉略宁地区基础地质调查项目成果报告[R]. 西安: 陕西省地质调查中心, 2018.
- [64] 崔建堂, 彭俊英, 崔海曼, 等. 南秦岭西乡群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造地质意义[J]. 陕西地质, 2010, 28(2): 53–58.
- [65] 徐通, 裴先治, 李瑞保, 等. 南秦岭勉略构造带黑沟峡火山岩年代学及地球化学特征—新元古代勉略洋盆存在及俯冲的记录[J]. 地质论评, 2017, 63(2): 375–394.
- [66] 平先权, 郑建平, 熊庆, 等. 扬子西北缘碧口块体花岗岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(4): 1200–1218.
- [67] 胡安新, 孙丰月, 王英德, 等. 川陕交界地区刘家坪花岗岩年代学、地球化学特征及构造意义[J]. 西北地质, 2014, 47(2): 30–40.
- [68] Yunpeng D, Xiaoming L, M. S, et al. Neoproterozoic accretionary tectonics along the northwestern margin of the Yangtze Block, China: Constraints from zircon U–Pb geochronology and geochemistry[J]. Precambrian Research, 2012, 196–197.
- [69] 邓奇, 王剑, 汪正江, 等. 扬子北缘西乡群大石沟组和三郎铺组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, 43(3): 797–808.
- [70] 崔建堂, 韩芳林, 张拴厚, 等. 南秦岭西乡群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造地质意义[J]. 陕西地质, 2010, 28(2): 53–58.
- [71] 徐学义, 夏林圻, 陈隽璐, 等. 扬子地块北缘西乡群孙家河组火山岩形成时代及元素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2009, 25(12): 3309–3326.
- [72] 夏林圻, 夏祖春, 马中平, 等. 南秦岭中段西乡群火山岩岩石成因[J]. 西北地质, 2009, 42(2): 1–37.
- [73] Wenli L, Shan G, Benren Z, et al. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton, South China: implications for amalgamation and break-up of the Rodinia

- Supercontinent [J]. *Precambrian Research*, 2003, 122 (1): 111 – 140.
- [74] Zhou M, Malpas J, Kennedy A K, et al. Neoproterozoic Arc-Related Mafic Intrusions along the Northern Margin of South China: Implications for the Accretion of Rodinia: a semi-quarterly magazine of geology and related sciences [J]. *The Journal of Geology*, 2002, 110(5): 611 – 618.
- [75] 赖绍聪, 李永飞, 秦江锋. 碧口群西段董家河蛇绿岩地球化学及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J]. *中国科学 D 辑(地球科学)*, 2007, 37(S1): 262 – 270.
- [76] 李永飞, 赖绍聪, 秦江锋, 等. 碧口火山岩系地球化学特征及 SR-ND-PB 同位素组成 – 晋宁期扬子北缘裂解的证据[J]. *中国科学 D 辑(地球科学)*, 2007, 37(S1): 295 – 306.
- [77] 裴先治, 李瑞保, 李小兵. 勉略构造带构造演化与成矿地质条件研究专题报告[R]. 长安大学地质调查研究院, 2017.
- [78] 李瑞保, 裴先治, 丁仁平, 等. 西秦岭南缘勉略带琵琶寺基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. *地质学报*, 2009, 83(11): 1612 – 1623.
- [79] 王涛, 王宗起, 闫全人, 等. 南秦岭白水江群变基性火山岩块体的形成时代及其地球化学特征[J]. *岩石学报*, 2011, 27(3): 645 – 656.
- [80] 李献华, 李武显, 何斌. 华南陆块的形成与 Rodinia 超大陆聚合 – 裂解—观察、解释与检验[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2012, 31(6): 543 – 559.
- [81] 王梦玺, 王焰, 赵军红. 扬子板块北缘周庵超镁铁质岩体锆石 U/Pb 年龄和 Hf-O 同位素特征: 对源区性质和 Rodinia 超大陆裂解时限的约束[J]. *科学通报*, 2012, 57(34): 3283 – 3294.
- [82] 薛怀民, 马芳, 宋永勤. 扬子克拉通北缘随(州) – 枣(阳)地区新元古代变质岩浆岩的地球化学和 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究[J]. *岩石学报*, 2011, 27(4): 1116 – 1130.
- [83] 闫海卿, 汤中立, 钱壮志, 等. 河南周庵铜镍矿锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(6): 23 – 32.
- [84] 洪吉安, 马斌, 黄琦. 湖北枣阳大阜山镁铁/超镁铁杂岩体与金红石矿床成因[J]. *地质科学*, 2009, 44(1): 231 – 244.

The LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircons from the Nanhua System in Bikou Terrane, northwestern margin of Yangtze Block

Mao Fan¹, Pei Xianzhi^{1,2*}, Li Ruibao^{1,2}, Li Zuochen^{1,2}, Pei Lei^{1,2}, Liu Chengjun^{1,2}, Zhao Shaowei^{1,2}, Gao Feng¹, Chen Youxin^{1,2}, Zhou Hai^{1,2}

(1. *School of Earth Science and Resource, Chang'an University, Xi'an 710054, Shanxi, China*; 2. *Key Laboratory of Western Mineral Resource and Geological Engineering of Ministry of Education, Xi'an, 710054, Shanxi, China*)

Abstract: The Nanhua System occurs in Hongyangou area, northwestern margin of Yangtze block. Its age is unclear, and the tectonic setting under which the Nanhua System was deposited is in dispute. In this paper, detrital zircons from the feldspar sandstone in the upper Nanhua System are tested by LA-ICP-MS zircon U-Pb dating. The results show that zircons' U-Pb ages can be divided into two groups: the Late Neoproterozoic group (750 ~ 800 Ma), with a small peak at 795 Ma, and the Early and Middle Neoproterozoic group (820 ~ 920 Ma), with a main peak at 850 Ma. The weighted mean age of the youngest detrital zircons is 750 Ma, representing the maximum depositional age of the coarse-grained rocks of Upper Nanhua System. Considering the relationships of stratigraphic sequences, it is concluded that the depositional age of sedimentary strata of the Nanhua System was late Nanhua period, and it is proposed that the detrital materials of the Nanhua System are mainly from the Neoproterozoic intermediate-acid magmatic rocks in the Bikou terrane, the Hannan-Micangshan complex, and the Longmenshan tectonic belt in the northwestern margin of the Yangtze block, and less from magmatic rocks exposed in the Mianlue tectonic belt. It is suggested that The Nanhua System is the sedimentary response of the Bikou Micro-block to the late Neoproterozoic (~810 Ma) post-collision-crack event of the northwest margin of the Yangtze Block.

Key words: northwestern margin of Yangtze block; Bikou terrane; Nanhua System; detrital zircon; zircon LA-ICP-MS U-Pb dating.