



移动阅读

杨再兵, 裴先治, 李瑞保, 等, 2023. 扬子西北缘碧口微地块南华系碎屑锆石物源示踪及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 43(1): 226–248. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.03003](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.03003)

YANG Z B, PEI X Z, LI R B, et al., 2023. Provenance Tracing of Detrital Zircons from Nanhua System in Bikou Microblock, Northwestern Margin of Yangtze and Its Geological Significance[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 43(1): 226–248. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.03003](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.03003)

扬子西北缘碧口微地块南华系碎屑锆石物源示踪 及其地质意义

杨再兵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}, 王盟^{1,2},
赵少伟^{1,2}, 陈有炘^{1,2}, 周海^{1,2}, 赵杰^{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华严寺地区碧口群之上发育一套含砾沉积地层, 其确切沉积时限对研究该区域的沉积—构造演化具有重要意义。本文对该套地层中的2件砂岩样品进行了碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年分析, 结果显示, 锆石晶型较好, 无色透明, 磨圆度较差, 具典型岩浆生长振荡环带和韵律结构, Th/U 比值为 0.28~3.6, 锆石 U-Pb 年龄介于 706~2 489 Ma 之间。存在3个主要的年龄组: 新元古代年龄组 (706~951 Ma), 占 92.9%, 显著峰值为 850 Ma 和 843 Ma; 中元古代年龄组 (1 017~1 080 Ma), 占 2.6%; 古元古代年龄组 (1 628~2 489 Ma), 占 4.5%。最小年龄组为 706~715 Ma (峰值为 711 Ma), 结合区域地质和研究资料, 华严寺地区沉积地层时代应属于南华纪, 沉积时限约为 720~635 Ma, 物源区主要包括扬子板块西北缘碧口微地块以及南东侧的后龙门山构造带和汉南—米仓山微地块。新元古代晚期碧口微地块及扬子板块西北缘后碰撞—裂解阶段, 华严寺地区南华纪沉积为碧口微地块及邻区新元古代岩浆岩在边缘裂谷环境中快速堆积形成。

关键词: 扬子板块; 南华系; 锆石 U-Pb 定年; 碎屑物源; 构造演化

中图分类号: P597

文献标识码: A

Provenance Tracing of Detrital Zircons from Nanhua System in Bikou Microblock, Northwestern Margin of Yangtze and Its Geological Significance

YANG Zaibing¹, PEI Xianzhi^{1,2*}, LI Ruibao^{1,2}, LI Zuochen^{1,2}, PEI Lei^{1,2}, LIU Chengjun^{1,2}, WANG Meng^{1,2},
ZHAO Shaowei^{1,2}, CHEN Youxin^{1,2}, ZHOU Hai^{1,2}, ZHAO Jie^{1,2}

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

Abstract: A set of gravel-bearing sedimentary strata developed above the Bikou Group in the Huayansi area of the Bikou microblock on the northwestern margin of the Yangtze Plate. The exact time limit of its deposition is of great significance for

收稿日期: 2021-07-15; 改回日期: 2022-02-13; 责任编辑: 曹华文; 科学编辑: 崔晓庄; 英文审校: 王高明

作者简介: 杨再兵 (1996—), 男, 硕士研究生, 地质学专业, E-mail: 1569230442@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 (41872233, 41872235, 41802234, 41902046); 陕西省自然科学基金项目 (2019JM-312, 2020JM-229, 2020JQ-353); 中央高校基本科研业务费资助项目 (300102279108, 300102270202, 300102270107)

studying the depositional characteristics and tectonic evolution of this area. In this paper, the detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb dating analysis of the two sandstone samples in this set of formations shows that the two samples of detrital zircon have good average crystal form, colorless and transparent, and relatively roundness. Poor, with typical magma growth oscillation zone and rhythm structure inside, Th/U ratio is 0.28~3.6, zircon U-Pb age is between 706~2 489 Ma. There are three main age groups: Neoproterozoic age group (706~951 Ma)(92.9 percent), with significant peaks of 850 Ma and 843 Ma; Mesoproterozoic age group (1 017~1 080 Ma) (2.6 percent) and Paleoproterozoic age group (1 628~2 489 Ma) (4.5 percent), the smallest age group 706~715 Ma (peak value is 711 Ma), combined with the regional geology and research dates, the sedimentary stratigraphic age of the Huayansi area should belong to the Nanhua Period, and the sedimentary time limit is about 720~635 Ma. The source area includes the Bikou micro-block on the northwestern margin of the Yangtze Plate, the Houlongmenshan tectonic belt and the Hannan-Micangshan microblock on the southeast side. In the late Neoproterozoic Bikou microblock and the post collision cracking stage of the northwest margin of the Yangtze plate, the Nanhua sedimentation in Huayansi area was formed by the rapid accumulation of Bikou microblock and Neoproterozoic magmatic rocks in the adjacent area in the marginal rift environment.

Key words: Yangtze Plate; Nanhua System; Zircon U-Pb Dating; Detrital Provenance; Tectonic Evolution

0 引言

扬子板块是我国大陆最主要组成板块之一,近些年来许多研究者对扬子板块中—新元古代岩浆构造事件开展了大量的研究工作,许多研究结果显示现今的扬子板块本身可能由多个次级微地块于中元古代末期碰撞拼合形成,并非统一的块体(潘桂棠等, 2009; Peng et al., 2012; Qiu et al., 2011, 2015; 张克信等, 2015, 2018)。碧口微地块位于秦岭造山带、松潘—甘孜造山带和扬子板块的结合部位,在大地构造位置上属于扬子板块西北缘(张国伟等, 1995, 2001; 裴先治等, 2002; 李三忠等, 2002; 图 1a)。由于其特殊的大地构造位置和复杂的演化过程,对碧口微地块构造环境和构造背景的深入研究,无论对碧口微地块与邻区的相互作用关系还是整个扬子板块新元古代构造演化过程都具有重要意义。碧口微地块内部广泛出露各种类型的火山岩(碧口群火山岩)和(变质)沉积地层,以往的研究工作主要限于碧口群火山岩,通过对这些火山岩的研究已经取得了许多重大成果和进展,基本确定了碧口微地块的构造属性、时空关系以及火山岩的类型(Burchfiel et al., 1995; 高锐等, 2006; 张宏飞等, 2007; 李佐臣等, 2007, 2009; Wang et al., 2015),但对于碧口群火山岩的形成环境尚存在岛弧(赵祥生等, 1990; 秦克令等, 1994; 夏祖春等, 1999; 闫全人等, 2004; Druschke et al., 2006)、大陆裂谷(夏林圻等, 1996; 徐学义等, 2001; Wang and Li., 2008)、洋盆或大洋板内(裴先治, 1989, 1992; 张二朋等, 1992; 刘国惠等, 1993)等不同观点,这些分歧也制约了对

碧口微地块构造环境和构造背景的深入研究。

(变质)沉积地层在时间序列上具有连续性的特征,蕴含着古构造环境和洋陆转换的重要信息,可用于反演该区沉积特征、沉积环境及构造演化过程,从而为建立更为合理的构造体制及演化模式提供重要信息。碧口微地块东段华严寺地区碧口群火山岩之上发育一套含砾的沉积地层,前人对该套地层的时代归属主要通过区域地质调查和地层对比等研究方法,但缺乏相关同位素年代学证据,从而将其形成时代笼统地划分为蓟县纪雪花太坪群(王明加等, 1980)、青白口纪雪花太坪群(裴先治, 1989)、青白口纪史家坪组(陶洪祥等, 1993)以及晚南华世南沱组(徐学义等, 2014)。这些缺乏精准证据的划分方案使得该套沉积地层的形成时代长期存在争议,影响了对碧口微地块构造格局及演化的正确认识。鉴于此,本文选取该套地层中不同层位的 2 件砂岩样品进行系统的岩石学和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究,以限定其沉积时限和沉积物源,复原碧口微地块在该时期的沉积特征和构造环境,进而为碧口微地块及邻区的构造演化提供可靠资料。

1 区域地质概况及地层特征

1.1 区域地质概况

碧口微地块南侧以青川—阳平关断裂带为界与龙门山构造带相接,北以文县—岸门口断裂带为界与勉略构造带分隔,西部以虎崖断裂与松潘—甘孜造山带相邻,整体表现为以主要边界断裂分割的、夹持于 3 个构造单元之间呈西宽东窄的南西西—

变火山岩系和北部的横丹群陆源碎屑岩系或浊积岩系组成,二者以枫相院—铜钱坝韧性断裂带为界(秦克令等,1992)。南部的新元古代碧口群整体为低绿片岩相区域变质,主要为一套浅变质基性火山岩系夹少量碎屑岩组合,前人获得碧口群火山岩的主体年龄介于 776~846 Ma 之间(裴先治,1989;赵祥生等,1990;丁振举等,1998;Sun et al., 2002;赖邵聪等,2007;闫全人等,2007;Wang et al., 2015;Zhou et al., 2018;Wu et al., 2019);北部横丹群主体为一套半深海—深海相重力流沉积岩系,显示弧前盆地沉积特征(裴先治,1989;闫全人等,2002;Druschke et al., 2006;Gao et al., 2020),自下而上由白杨组、秧田坝组和口头坝组组成,碎屑锆石 U-Pb 年代学限定其形成时代在 720~740 Ma 之间(Gao et al., 2020)。沉积盖层岩系主要为分布在碧口微地块东段勉略宁三角区的代家坝北—大安北—茶店—何家岩一带,其物质组成主要由南华系碎屑岩、下震旦统陡山沱组(Z_1d)细碎屑岩和上震旦统灯影组(Z_2dn)碳酸盐岩组成,主体为一套碎屑岩与碳酸盐岩的沉积岩石组合,其物质组成及构造变形十分复杂,呈大型北东向延伸的复式向斜构造(已被构造改造)不整合叠置在碧口群变火山岩系之上。

此外,碧口微地块内部还出露大量侵入岩,前人研究成果显示这些侵入岩体主要有早中生代和新元古代两个时期。早中生代侵入体包括南一里、

木皮、麻山、鹰嘴山和阳坝等花岗岩体,年龄主要介于 215~226 Ma 之间(秦江锋等,2005;李佐臣等,2007;吕崧等,2010;骆金诚等,2011)。新元古代侵入岩体主要呈带状出露于碧口微地块中南部,自西向东分别为坪头山岩体、关口垭岩体、白雀寺杂岩体、二里坝岩体和铜厂杂岩体等,岩石类型主要为辉长岩、辉长闪长岩、闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩等,主体年龄介于 820~840 Ma 之间(Xiao et al., 2007;Wang et al., 2008;张沛等,2008;叶霖等,2009)。

1.2 南华系地质特征

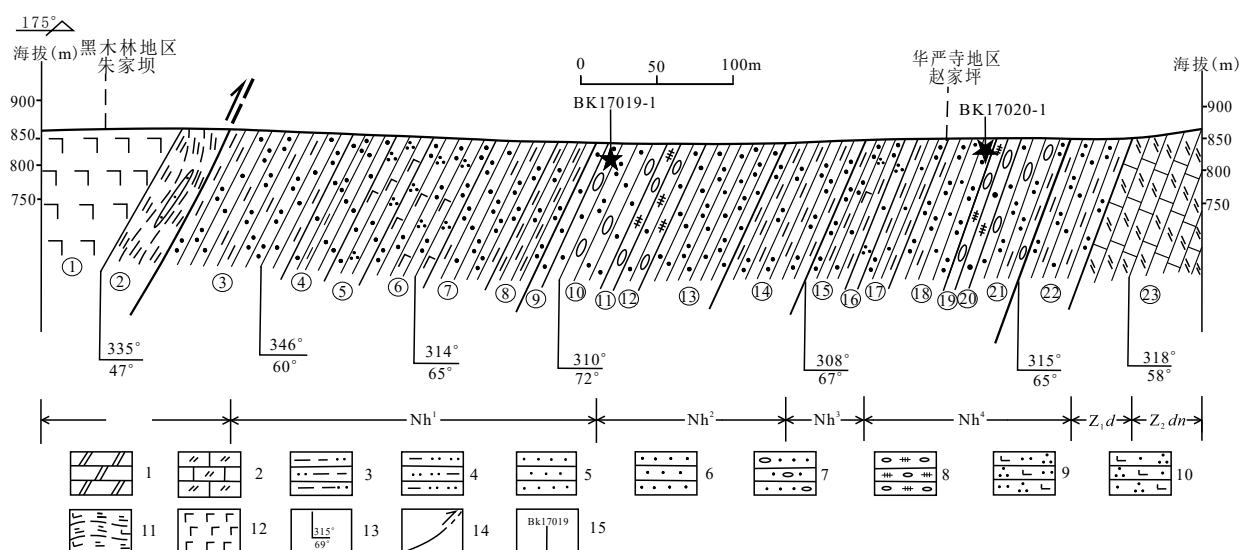
碧口微地块东段南华系主要出露在宁强县庙坝镇南华严寺地区赵家坪(复式向斜北西翼)和勉县青羊驿镇红岩沟地区油房里(复式向斜南东翼)等地区(图 1b)。华严寺地区南华系产状北西倾,为倒转产状层序,红岩沟地区南华系产状同样为北西倾,为正常产状层序。本次研究在归纳总结前人研究基础之上,以华严寺地区沉积地层作为重点调查研究对象,剖面路线从黑木林地区朱家坝到华严寺地区赵家坪,该路线剖面地层出露完整,沉积连续,层序清楚,露头较好,但地层层序均已发生倒转而向北西倾斜,南华系总厚度大于 500 m。根据野外实测剖面观察到的沉积岩石组合特征,将华严寺地区南华纪(变)沉积地层从下至上划分为四段(图 2 和图 3),各段岩性组合特征简述如下:

震旦系	
灯影组(Z_2dn)	厚度46.98 m, 未到顶
23 深灰色厚层块状白云质灰岩	46.98 m
—————整合接触—————	
陡山沱组(Z_1d)	厚度32.40 m
22 浅灰黑色薄层状粉砂质泥岩与泥质粉砂岩互层产出,岩性较软。局部夹少量薄层状粉砂岩与细砂岩	32.40 m
—————整合接触—————	
南华系	总厚度534.43 m
南华系第四段(Nh^4)	厚度129.66 m
21 灰黑色薄层—中薄层状局部含砾的砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩以及泥质粉砂岩互层产出的岩石组合	28.45 m
20 灰黑色中厚层—块状含砾粗砂岩夹中薄层状粉砂岩,发育正粒序结构	11.58 m
19 灰黑色厚层块状复成分砾岩层,主要为泥质和粉砂质胶结,砾石含量达 70%,整体呈透镜状产出,砾石分布在空间上呈叠瓦状排列(图 6a 和 6b)	2.24 m

18	灰黑色薄层状粉砂岩和泥质粉砂岩夹薄层状细砂岩(采样层 BK17020-1)	26.18 m
17	灰黑色薄层状粉砂质泥岩夹薄层状细砂岩	25.05 m
16	灰黑色中厚层状石英细砂岩	8.12 m
15	灰黑色薄层状粉砂质泥岩与泥质粉砂岩互层产出为主,局部夹中厚层状钙质石英砂岩	28.04 m
—————整合接触—————		
南华系第三段(Nh ³)		厚度52.17 m
14	灰黑色薄层状粉砂质泥岩夹少量薄层状泥质粉砂岩	52.17 m
—————整合接触—————		
南华系第二段(Nh ²)		厚度115.84 m
13	灰黑色薄层状中细砂岩夹少量薄层状粉砂岩	48.75 m
12	灰黑色中薄层状含砾砂岩局部夹薄层状细砂岩,砾石含量约 5%,向上砾石逐渐变少变细,砾石倾向与岩层倾向一致呈北西倾	16.09 m
11	灰黑色厚层状复成分砾岩层,主要为泥质胶结,含砾达 60%。整体呈透镜状产出,砾石分布在空间上呈叠瓦状排列(图 6c 和 6d)	3.97 m
10	灰黑色中薄层状中细砂岩局部夹少量薄层状粉砂岩,局部含砾(采样层 BK17019-1)	38.67 m
9	灰黑色薄层状中细砂岩	8.36 m
—————整合接触—————		
南华系第一段(Nh ¹)		厚度236.76 m
8	灰黑色薄层状泥岩与泥质粉砂岩互层产出	25.83 m
7	灰黑色中薄层状泥质粉砂岩夹薄层状细砂岩	33.32 m
6	浅灰色—灰白色薄层状钙质石英粉砂岩	44.21 m
5	浅灰色厚层状钙质石英砂岩	23.48 m
4	灰黑色中薄层状砂岩夹深灰色薄层状粉砂岩与泥岩,砂岩局部透镜体化	26.02 m
3	深灰色薄层状泥质粉砂岩与粉砂质泥岩互层产出为主,局部夹灰黑色薄层状细砂岩与粉砂岩	83.90 m
—————断层接触—————		
碧口群(Pt ₃ Bk)		厚度124.05 m
2	深灰色薄层状绢云千枚岩夹片理化薄层状砂岩(图 7b),变形较强,砂岩呈透镜体产出,大小 20~60 cm,与南侧南华系下部浅变质岩层呈断层接触	31.15 m
1	灰绿色变基性火山岩(绿帘绿泥钠长片岩)(图 7a),变形变质较强,强片理化,片理倾向北西,局部可见变余枕状构造	92.90 m

华严寺地区南华系主要以上下两套含砾岩系沉积组合为主要特征,部分岩层发生一定的浅变质作用而呈千枚岩或板岩产出(本次研究已恢复原岩),并发育水平层理为主。在野外露头上对其上下部砾岩层中的砾石粒径、成分和磨圆度以及长轴倾向进行了统计(图 5 和图 6),结果显示上下两套砾岩的结构成熟度与成分成熟度均较低。但它

们在砾石粒径、磨圆度以及成分上均存在一定的差异,其中下部砾岩层砾石粒径主要在 1~6 cm 之间(图 5b),少数砾石粒径超过 10 cm,分选性跟磨圆度均较差,成分主要为石英质岩、砂岩以及花岗质岩;上部砾岩层的砾石粒径主要在 1~5 cm 之间(图 5a),最大的砾石粒径约为 10 cm,分选较好,磨圆度一般,以次圆状和次棱角状为主,成分以石英



1.白云岩; 2.白云质灰岩; 3.粉砂质泥岩; 4.泥质粉砂岩; 5.细砂岩; 6.中砂岩; 7.含砾粗砂岩; 8.复成分砾岩; 9.钙质石英粉砂岩; 10.钙质石英砂岩; 11.绢云千枚岩; 12.变基性火山岩; 13.岩层产状; 14.断层; 15.采样位置点及编号

图2 华严寺地区南华系地质剖面图

Fig. 2 The geological section of Nanhua System in Huayansi area

质岩和砂岩为主。上述可知该套地层由老到新,砾石的结构成熟度逐渐变好的特征。砾岩层砾石长轴产状以北西倾为主,倾向在 $290^{\circ}\sim 330^{\circ}$ 之间,倾角较陡,在 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 之间,在对原始地层赤平投影进行校正后,结果显示砾石长轴倾向均处于 $160^{\circ}\sim 340^{\circ}$ 之间,且存在 $160^{\circ}\sim 220^{\circ}$ 优选方位区间(图4a和4b),玫瑰花图显示古水流由南西向北东的流向特征,反映了当时古地势应当为南高北低。

前人将华严寺地区含砾岩层与三峡地区南沱组冰碛岩进行对比,并引用区域地层单位名称南沱组。本次工作发现该套含砾地层岩性颜色主要以深灰色—灰黑色为主,并且手标本和显微镜下均可见黄铁矿,显示其沉积环境可能为还原环境。两套砾岩层在空间上均呈叠瓦状排列,砾石表面未见擦痕、压坑和压裂等冰蚀作用的痕迹,该套含砾岩系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逐渐减少,表现为正粒序,并非为一套冰碛岩。本文研究含砾岩层与碧口微地块红岩沟地区南华系含砾岩层具有很好的对比性,毛帆等(2021)曾对红岩沟地区南华系含砾岩层进行了系统的研究,认为其主体为一套浊积岩和碎屑流沉积组合。综上所述,华严寺地区含砾岩层可能为一套深水浊流相沉积建造。

华严寺地区南华系下伏岩层的碧口群为一套变基性火山岩和绢云千枚岩夹透镜状砂岩的岩性

组合,变形较强,片理发育,绿帘绿泥石化明显,变质程度为低绿片岩相,局部可见变余枕状构造,可以与上覆的南华系很好地区分(图7a和7b),两者之间呈构造接触关系。南华系之上为区域特征明显的震旦纪地层,前人研究程度较高,尤其以上部的上震旦统灯影组白云质灰岩和下部的含砾岩系之间存在明显的野外识别标志(图7f和7h),可以较好地与下伏南华系进行区分。而处于南华系上覆与灯影组下伏之间,以发育毫米级细水平纹层的泥质岩和粉砂质岩为主的岩性段,按照地层层序关系和岩性特征应为下震旦统陡山沱组(图7g),与下伏的南华系上部含砾岩层呈整合接触关系。

2 样品描述及测试方法

2.1 样品描述

本次采集了华严寺地区南华系下部含砾岩层中的变砂岩(BK17019-1)和南华系上部含砾岩层中的含白云质粉砂岩(BK17020-1)2件同位素年龄样品作为研究对象,采样点地理坐标分别为: $N33^{\circ}08'47''$, $E106^{\circ}18'55''$; $N33^{\circ}08'45''$, $E106^{\circ}19'09''$ (图1b,图2和图3)。

变砂岩:风化面为灰褐色,新鲜面为灰黑色,粒状结构,块状构造,显微镜下定向排列明显(图6e)。主要矿物为长石、石英、绢云母以及少量绿泥石。长石含量约54%,无色或灰黑色,半自形—它形板

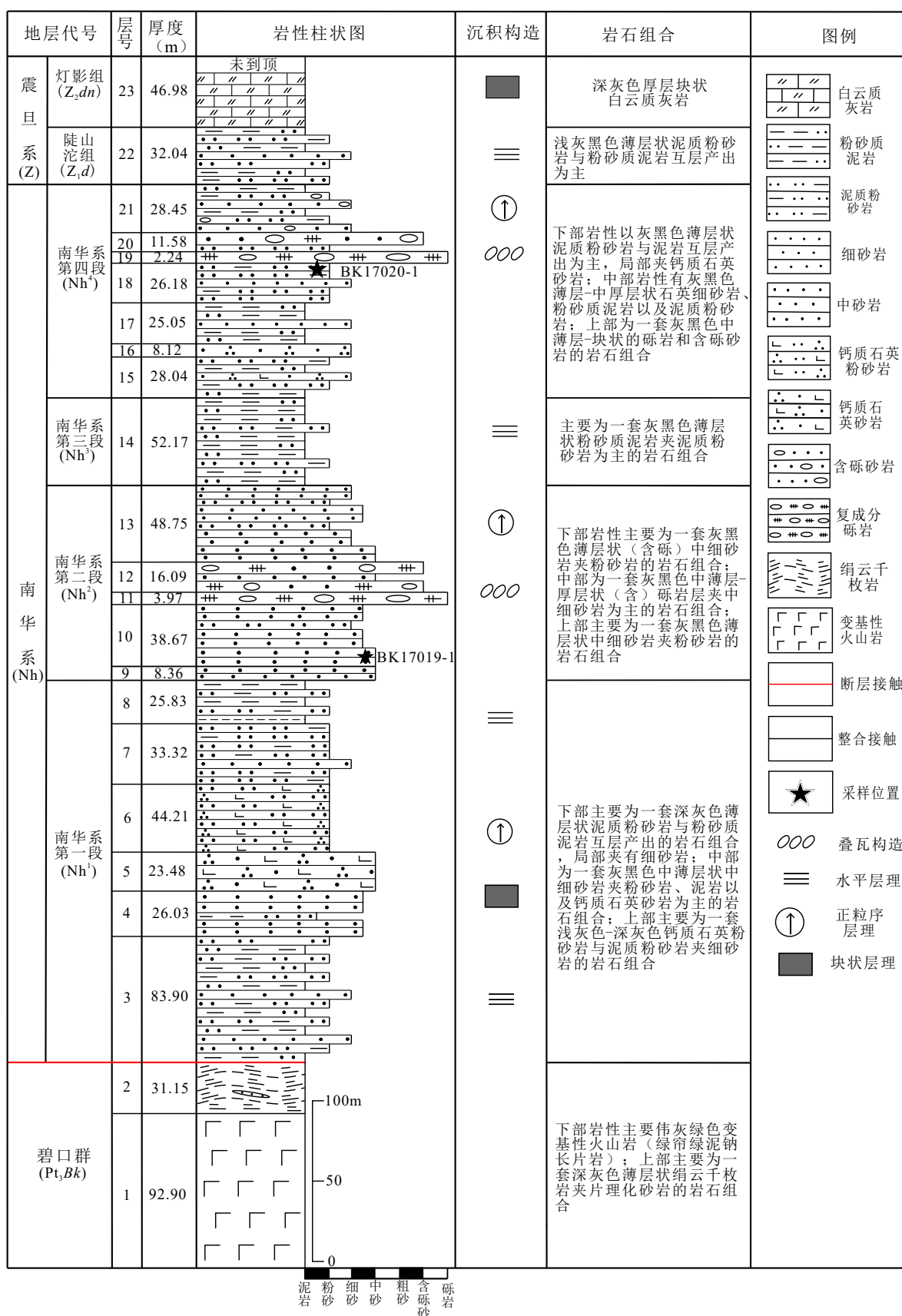


图3 华严寺地区南华系地层柱状图

Fig. 3 Stratigraphic column diagram of Nanhua System in Huayansi area

柱状、粒状结构,部分表面可见绿泥石化及绢云母化现象,粒径大小 <0.5 mm;石英含量约 26%,无色或者白色,半自形—它形粒状结构,粒径整体 <0.35 mm;绢云母含量约 10%左右,颜色为黄褐色,多呈条带状分布,片径 <0.2 mm;绿泥石含量约 5%,单偏光镜下为浅绿色,半自形—它形板状或鳞片状结构,正低突起。其它矿物约占 5%。

含白云质粉砂岩:风化面紫红色,新鲜面为浅棕色,粒状结构,块状构造,主要由粉砂质矿物、白云石、黄铁矿及少量黏土质矿物组成(图 6f)。粉砂质矿物含量约 65%左右,颜色为灰褐色,主要以石英为主,长石和岩屑含量较少;白云石含量约

15%,颜色为黄褐色,半自形—它形粒状、块状结构,整体粒径 <0.5 mm;黄铁矿含量约 8%,颜色为黑褐色或黑色,半自形粒状结构,粒度 <0.09 mm;黏土质矿物,含量约 7%,粒度极细。其它矿物约占 5%。

2.2 测试方法

首先将样品粉碎至 0.180~0.154 mm(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结构、粒径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,待环氧树脂充分固化后,利用砂纸等将锆石磨到内部暴露并且抛光,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,对不同大小、形态和结构锆石进行测试,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。单颗粒锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析在天津地质调查中心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)上测定,仪器为 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune,利用激光器对锆石进行剥蚀,激光剥蚀的斑束直径一般为 35 μ m,锆石标样采用 GJ-1 标准锆石。后期数据处理采用 ICPMS-DataCal 程序(Liu et al., 2010)和 Isoplot 宏

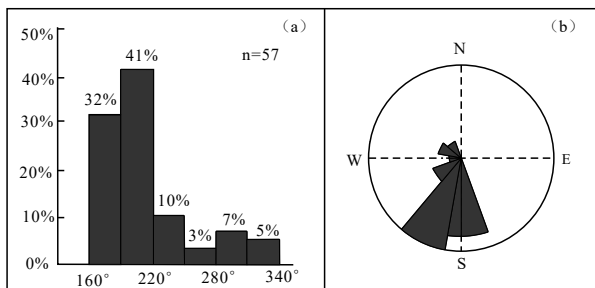


图 4 南华系砾岩层砾石长轴倾向直方图 (a) 和古水流玫瑰花图 (b)

Fig. 4 Histogram of the long axis inclination of the gravel in the Nanhua system conglomerate layer (a) and the paleocurrent rose diagram (b)

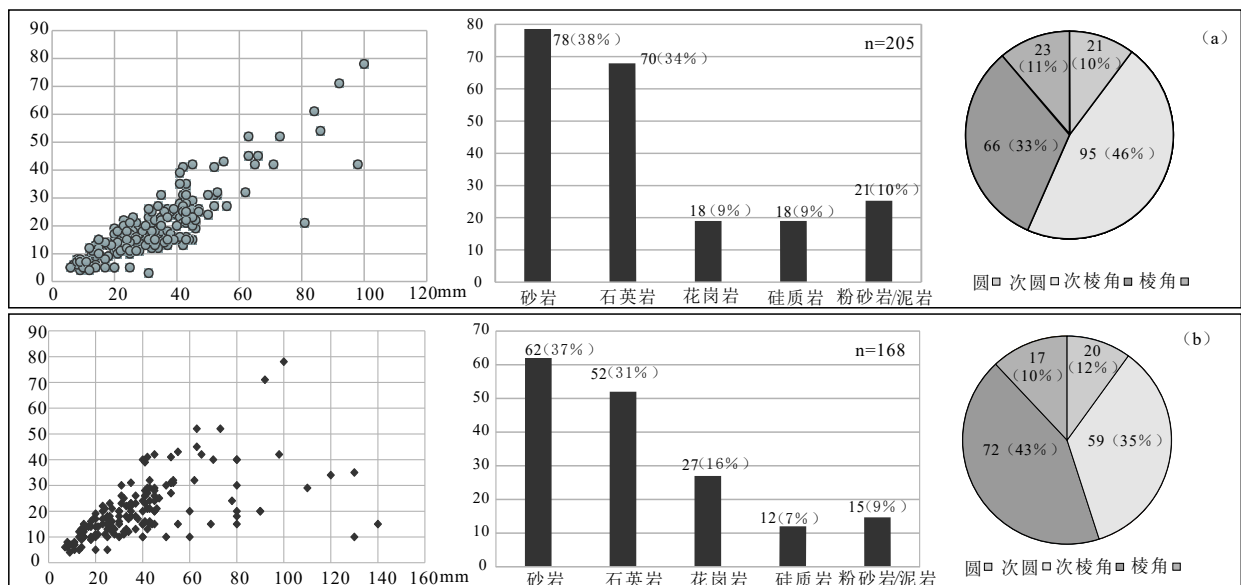
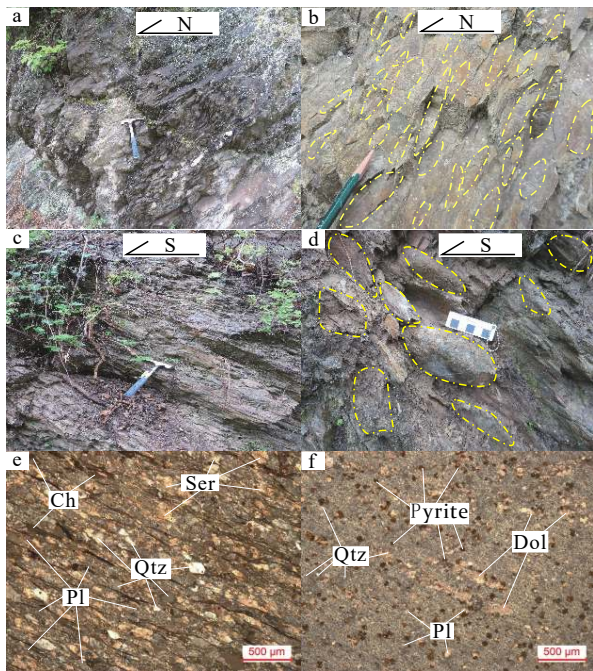


图 5 华严寺地区南华系上部 (a) 和下部 (b) 砾岩层中砾石粒径、磨圆度和成分特征

Fig. 5 The characteristics of gravel size, roundness and composition in the lower (a) and upper (b) conglomerate layer of the Nanhua System in Huayansi area



a, b. 南华系上部砾岩层典型野外露头照片；c, d. 南华系下部砾岩层典型野外露头照片；e. 变砂岩 (BK17019-1) 样品显微镜下照片 (+)；f. 含白云质粉砂岩 (BK17020-1) 样品显微镜下照片 (+)。Pl—斜长石；Ser—绢云母；Qtz—石英；Ch—绿泥石；Pyrite—黄铁矿；Dol—白云质

图6 华严寺地区南华系上下部砾岩层砾石统计点及同位素样品镜下照片

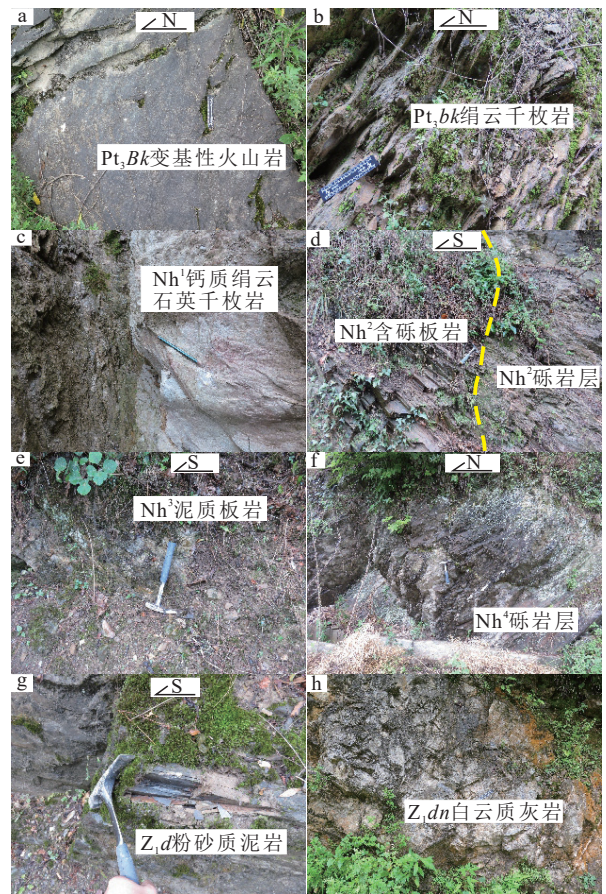
Fig. 6 Gravel statistics points of upper and lower conglomerate layers and photograph of isotope sample under microscope of Nanhua System in Huayansi area

程序(Ludwig, 2003)进行, 利用 ^{208}Pb 校正法对普通铅进行校正(Andersen, 2002), 以 NIST SRM610 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 U-Th-Pb 含量。

3 测试结果

3.1 碎屑锆石特征

样品碎屑锆石均晶型较好, 无色透明, 粒径介于 $50\sim 140\ \mu\text{m}$, 长宽比介于 $1:1\sim 3:1$ 之间, 锆石整体磨圆度较差, 长柱状、短柱状及半截锥状均有发育(图9), 基本无裂缝、无明显包裹体。挑选出的锆石绝大多数具有岩浆韵律的典型环带结构或明暗相间的条带状结构, 属于岩浆锆石, 且该类锆石环带结构和韵律结构均较窄, 表现为长英质岩浆锆石的特征。样品 BK17019-1 的 Th 含量介于 $(10.3\sim 781)\times 10^{-6}$ 之间, U 含量在 $(24.6\sim 791)\times 10^{-6}$ 之



a. 碧口群变基性火山岩；b. 碧口群绢云千枚岩；c. 南华系第一段钙质绢云石英千枚岩；d. 南华系第二段含砾岩层；e. 南华系第三段泥质粉砂质泥岩；f. 南华系第四砾岩层；g. 震旦系陡山沱组粉砂质泥岩；h. 震旦系灯影组白云质灰岩

图7 华严寺地区南华—震旦系典型野外露头照片

Fig. 7 Typical field outcrop photo of Nanhua-Sinian System in Huayansi area

间, Th/U 比值介于 $0.28\sim 3.6$ 之间; 样品 BK17020-1 的 Th 含量介于 $(19.8\sim 1660)\times 10^{-6}$ 之间, U 含量在 $(26.4\sim 1205)\times 10^{-6}$ 之间, Th/U 比值介于 $0.35\sim 2.45$ 之间(图8), 也表现为岩浆结晶锆石特征(Hoskin and Black, 2010; Belousova et al., 2002)。为保证测定结果的代表性, 测点尽可能覆盖形态、结构和粒径不同的锆石, 能够充分反映碎屑锆石群的年龄分布特点。对 $>1000\ \text{Ma}$ 的样品采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄, 对 $<1000\ \text{Ma}$ 的数据采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄(Sircombe et al., 1999)。

3.2 碎屑锆石 U-Pb 年龄

样品 BK17019-1 共完成测点 79 个(附表 1)*,

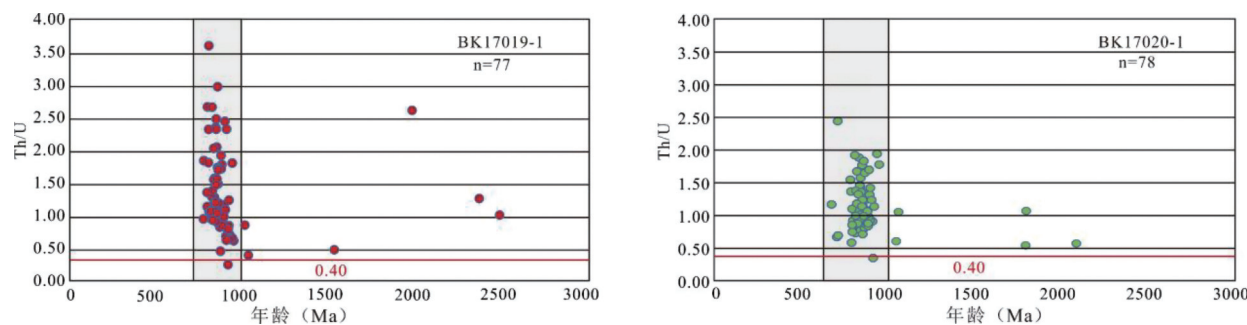


图 8 华严寺地区南华系沉积岩碎屑锆石成因类型判别图解

Fig. 8 The discrimin diagram of genetic types for the clastic zircons from the Nanhua System sedimentary rocks in the Huayansi area

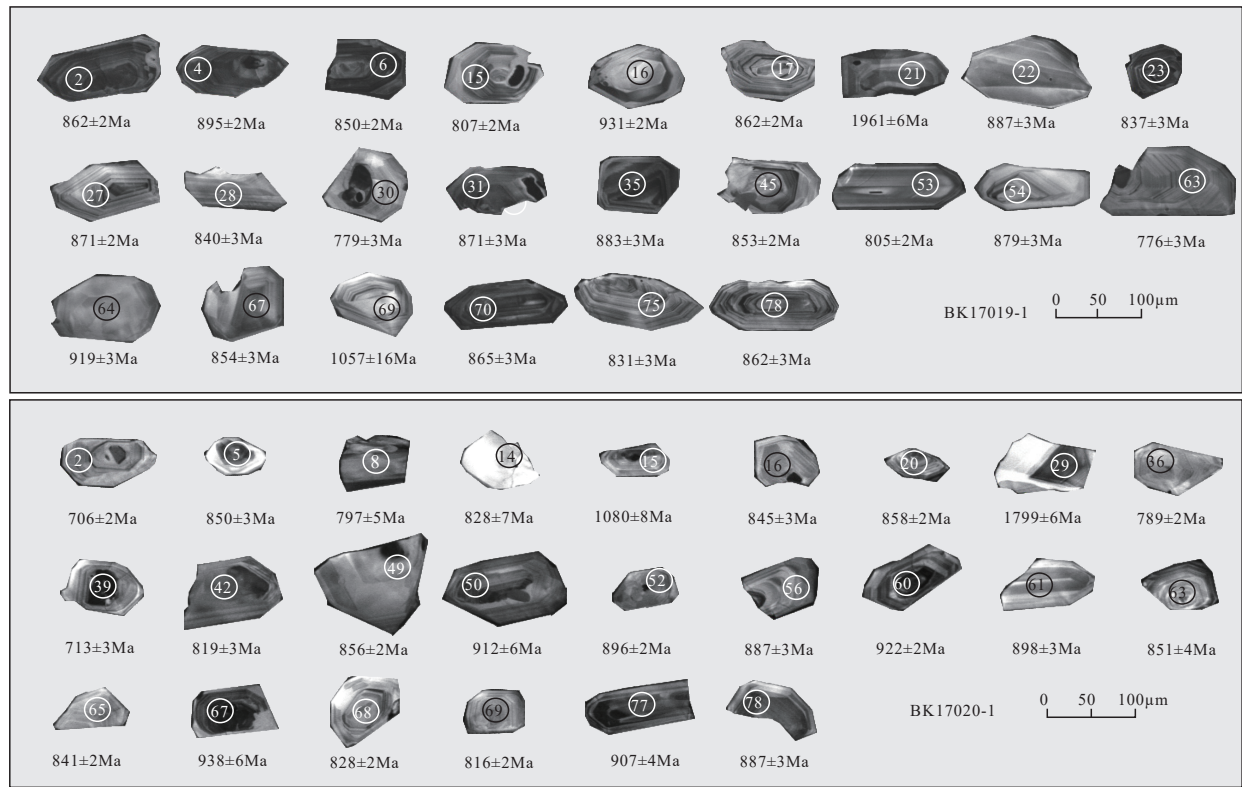


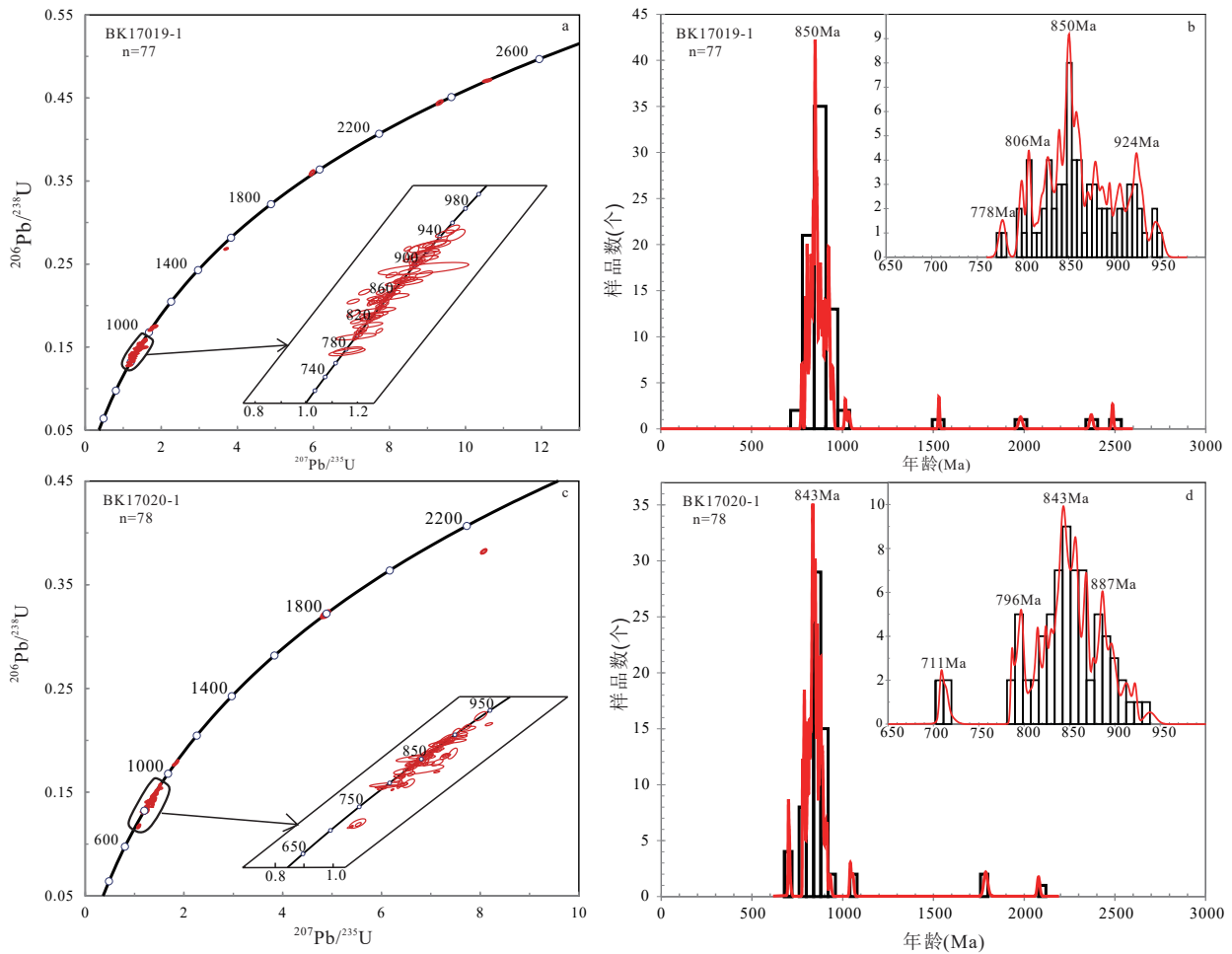
图 9 华严寺地区南华系碎屑岩样品 (BK17019-1 和 BK17020-1) 代表性碎屑锆石阴极发光图像及年龄数据

Fig. 9 Representative detrital zircon cathodoluminescence images and age data of the Nanhua clastic rock samples (BK17019-1 and BK17020-1) in the Huayansi area

有效锆石颗粒(谐和度大于或等于 93%)为 77 颗, 谐和度小于 90% 的 2 颗(测点 10 与测点 72), 除测点 78(93%)和 79(94%)的数据谐和度在 95% 以下, 其余测点的谐和度均大于或等于 95%。其中最年轻和最老的锆石年龄数据分别为 776 Ma 和 2489 Ma, 最小年龄组为 776~779 Ma(共 2 颗, 峰值为 778 Ma)(图 10a 和 10b)。根据测年结果可将其分为三个年龄组: (1)新元古代年龄组 71 颗, 为 776~951 Ma, 占总数的 92.2%, 峰值为 850 Ma; (2)中元

古代年龄组 2 颗, 年龄分别为 1017 Ma(测点 20)与 1057 Ma(测点 69), 占总数 2.6%; (3)古元古代年龄组 4 颗, 年龄分别为 1961 Ma(测点 21)、2369 Ma(测点 34)、2489 Ma(测点 40)以及 1628 Ma(测点 65), 占总数 5.2%。

样品 BK17020-1 共完成测点 79 个(附表 1^{*}), 有效锆石颗粒(谐和度大于或等于 90%)为 78 颗, 谐和度小于 90% 仅 1 颗(测点 11), 除测点 6(94%)和 22(92%)的数据谐和度在 90%~95% 之间, 其余



a.样品 17019-1 锆石 U-Pb 年龄谐和图; b.样品 17019-1 锆石 U-Pb 年龄直方图; c.样品 17020-1 锆石 U-Pb 年龄谐和图; d.样品 17020-1 锆石 U-Pb 年龄直方图

图 10 华严寺地区南华系沉积岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图、直方图及概率密度曲线

Fig. 10 The detrital zircons U-Pb concordant diagrams, histograms and probability density curve of the Nanhua System sedimentary rocks in Huayansi area

测点的谐和度均大于或等于 95%。其中最年轻和最老的锆石年龄数据分别为 706 Ma 和 2383 Ma, 最小年龄组为 706~715 Ma(共 4 颗, 峰值为 711 Ma)(图 10c 和 10d)。测年结果可分为三个年龄组: (1)新元古代年龄组 73 颗, 为 706~938 Ma, 占总数的 93.6%, 峰值为 843 Ma; (2)中元古代年龄组 2 颗, 年龄分别为 1080 Ma(测点 15)与 1048 Ma(测点 64), 占总数 2.6%; (3)古元古代年龄组 3 颗, 年龄分别为 1787 Ma(测点 7), 2383 Ma(测点 22)和 1799 Ma(测点 29), 占总数 3.8%。

4 讨论

4.1 沉积时限

长期以来, 由于缺乏可靠同位素年龄数据的约

束, 华严寺地区含砾沉积地层的沉积时限一直未能得到准确限定。本次研究获得华严寺地区含砾沉积地层中变砂岩(BK17019-1)的碎屑锆石 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 776 Ma~2489 Ma(峰值为 850 Ma), 最小年龄组为 776~779 Ma(峰值为 778 Ma); 含白云质粉砂岩(BK17020-1)的年龄为 706 Ma~2383 Ma(峰值为 843 Ma), 最小年龄组为 706~715 Ma(峰值为 711 Ma), 表明了华严寺地区含砾沉积地层的最大沉积年龄为 711 Ma。而且, 华严寺地区沉积地层的上覆地层为区域特征明显的震旦纪地层, 两者之间呈整合接触关系, 结合前人对该套地层的时代划分, 华严寺地区沉积地层的时代可能属于南华纪。

为了有效地限定华严寺地区南华纪的沉积时

中的绢云母石英千枚岩的 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄为 723~932 Ma(峰值为 848 Ma), 其中最小年龄组峰值为 725 Ma(图 11c); 弓晨等(2019)获得勉略构造带略阳三岔子地区南华系关家沟组(变质)沉积地层中绢云白云质石英千枚岩的 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄为 678~2824 Ma(峰值为 837 Ma), 最小年龄组峰值为 725 Ma(图 11d); 毛帆等(2021)获碧口微地块红岩沟地区南华系沉积地层中的上部含砾岩系中长石砂岩的 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄为 750~920 Ma(峰值为 852 Ma)(图 11f), 最小年龄组峰值为 750 Ma; 王昭阳等(2022)获得勉略构造带略阳五郎坪—关天门地区南华系(变质)沉积地层中黑云母石英片岩样品的 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄为 736~2563 Ma(峰值为 827 Ma), 最小年龄组峰值为 742 Ma(图 11e)。通过对比区域上南华系与华严寺地区沉积地层新元古代碎屑锆石 U-Pb 年龄直方图发现彼此之间碎屑锆石年龄谱特征相似, 且峰值相近(图 11), 反映出这些地区(变质)沉积地层的时代归属应具有一致性。

研究区附近还出露与南华系地层时代相近且新老关系明确的新元古代中期横丹群(740~720 Ma)(Gao et al., 2020), 前人获得横丹群的碎屑锆石 U-Pb 年龄主要集中在新元古代(930~720 Ma), 主要峰值均在 780 Ma 左右(Gao et al., 2020; Hui et al., 2020), 远小于前人获得的区域上南华系锆石 U-Pb 年龄峰值(850~830 Ma)。这可能说明从横丹群到南华系沉积物源发生了一次转换, 横丹群的物源主要为与之沉积时代较为接近的岩浆弧, 随着时间的推移, 较古老的岩浆弧被剥蚀出露, 并作为主要物源在碧口微地块及周边区域沉积了南华纪沉积地层。通过上述分析显示南华系的沉积时代应晚于横丹群, 在考虑误差范围的基础之上, 前人获得的横丹群顶界年龄与南华系底界年龄均为 720 Ma 左右, 这与本次获得的华严寺地区南华系最小峰值(711 Ma)相近, 因此认为可能将区域上南华系底界年龄置于 720 Ma 比较合适。对于南华系顶界年龄, 前人在区域上尤其是上扬子地区积累了大量的南华—震旦系界线古生物及同位素测年资料, 认为其年龄应该在 635 Ma 左右(尹崇玉等, 2013; 张启锐, 2010; 储雪蕾等, 2005), 故本文沿用前人在区域上获得的同位素测年结果, 将南华系顶界年龄置于 635 Ma 左右。因此, 华严寺地区南华系沉积时限

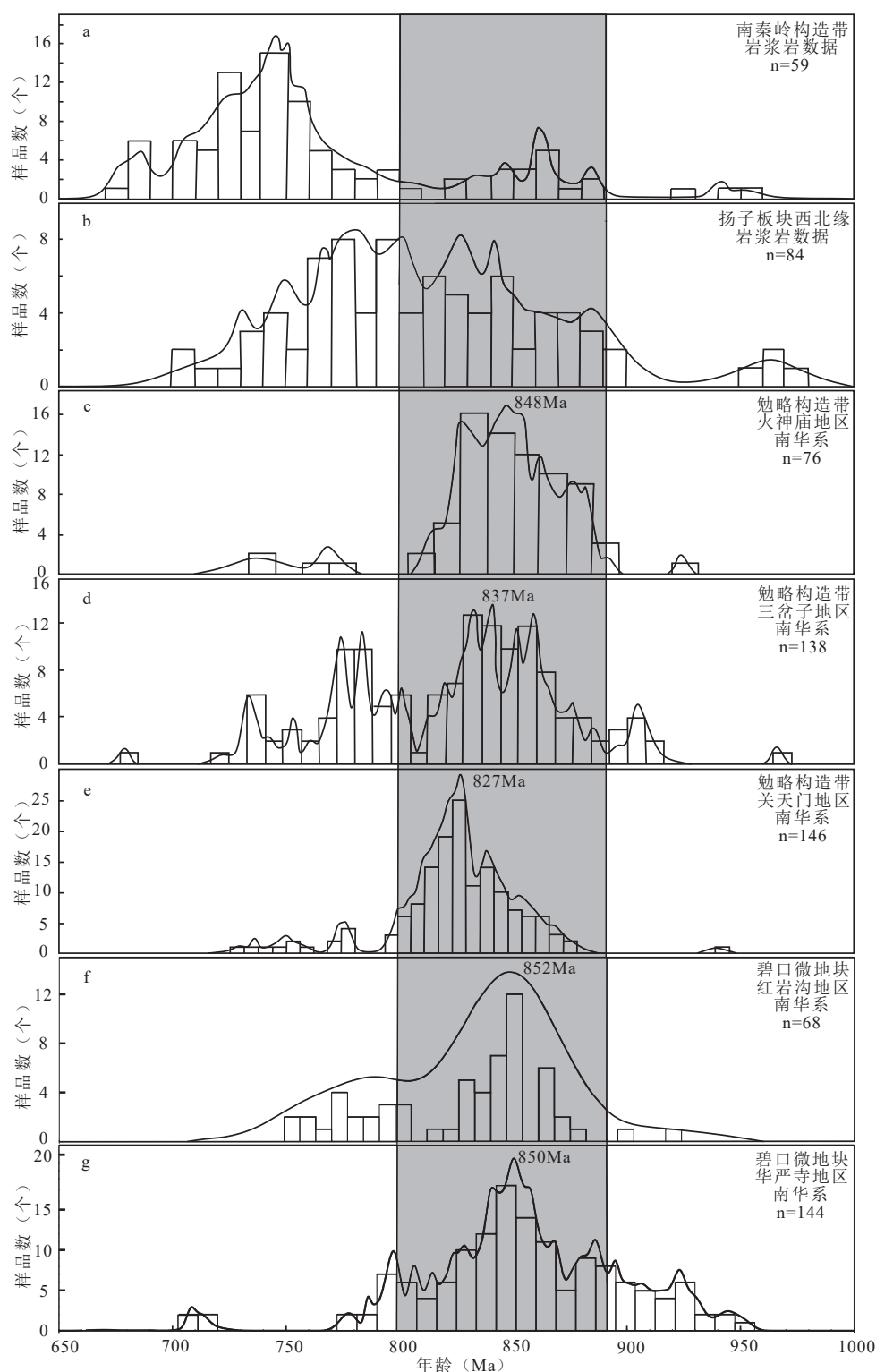
约为 720~635 Ma。

4.2 碎屑锆石物源分析

4.2.1 新元古代年龄信息

本次研究的 2 件样品有效碎屑锆石共 155 颗, 其中新元古代碎屑锆石占绝大多数, 共有 144 颗锆石, 年龄范围在 706~951 Ma 之间, 占锆石总数的 92.9%。碎屑锆石形态总体磨圆度较差且年龄分布比较集中的特点(图 9, 图 10 和图 11g), 显示出该套地层为近源快速堆积而成, 结合锆石 Th/U 比值和内部结构特征, 表明华严寺地区南华系碎屑物质主要为碧口微地块及邻区新元古代中酸性岩浆岩提供。前人研究表明, 扬子板块周缘新元古代岩浆活动是早期弧—陆碰撞、晚期伸展垮塌和大陆裂谷再造的产物, 是扬子板块周缘对 Rodina 超大陆汇聚与裂解的响应(Wu et al., 2006; Zheng et al., 2006, 2007, 2008; Wu et al., 2007; 李佐臣, 2009)。而新元古代受全球 Rodina 超大陆聚合和裂解影响, 在南秦岭勉略构造带和扬子板块西北缘碧口微地块、汉南-米仓山构造带以及后龙门山构造带均产生了一系列岩浆事件(凌文黎等, 2001, 2006; Zhou et al., 2002; Ling et al., 2003; 赵凤清等, 2006; 夏林圻等, 2009; Zhao et al., 2009; Dong et al., 2011, 2012; 李佐臣等, 2013; 林振文等, 2013; 徐通, 2016)。

在碧口微地块, 闫全人等(2003)获得碧口群最南、北两侧浅变质中酸性火山岩(变流纹质凝灰岩)的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 776 ± 13 Ma 和 790 ± 15 Ma; 秦利等(2021)获得二里坝岩体中 2 件花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 821 ± 6 Ma 和 823 ± 6 Ma; 在勉略构造带, 徐通等(2013)获得张岩沟变流纹岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 728 ± 10 Ma、林振文等(2013)获得铍厂沟英安岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 802 ± 5 Ma; 在后龙门山构造带, 裴先治等(2009)获得轿子顶穹隆核部的过铝质花岗岩类中块状花岗岩和变形花岗岩中岩浆锆石的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 792 ± 11 Ma 和 793 ± 11 Ma、李佐臣等(2013)获得刘家坪大滩花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 806 ± 19 Ma; 在汉南-米仓山微地块, Dong et al(2012)获得五堵门杂岩体中花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 718 ± 9 Ma、Zhao et al(2009)获得西乡群杂岩体中闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-



数据来源: 图 a, 南秦岭构造带岩浆岩数据: Zhao et al(2018); 图 b, 扬子板块西北缘岩浆岩数据: Dong et al(2011, 2012), Luo et al(2018), Zhao et al(2018); 图 c, 勉略构造带火神庙地区南华系碎屑沉积岩数据: 苏联国等 (2019); 图 d, 勉略构造带三岔子地区南华系碎屑沉积岩数据: 弓晨等 (2019); 图 e, 勉略构造带关天门地区南华系碎屑沉积岩数据: 王昭阳等 (待刊资料); 图 f, 碧口微地块红岩沟南华系碎屑沉积岩数据: 毛帆等 (2021)

图 11 华严寺地区南华系沉积岩与邻区岩浆岩以及南华系(变质)沉积岩碎屑锆石 U-Pb 年龄综合对比

Fig. 11 Comprehensive comparison of U-Pb ages of the Nanhua System sedimentary rocks in the Huayansi area with the adjacent magmatic rocks and the Nanhua System (metamorphic) sedimentary rocks

Pb 年龄为 764 ± 9 Ma 等。

上述地区的岩浆事件与华严寺地区南华系碎屑锆石年龄谱新元古代年龄信息具有良好的对应关系。但它们是否均为华严寺地区南华系的主要物源区? 通过将本次研究所获得的新元古代碎屑锆石年龄数据与南秦岭构造带以及扬子板块西北缘新元古代岩浆岩年龄数据对比可知(Dong et al., 2011, 2012; Zhao et al., 2018; 图 11a 和 11b), 本次研究获得的主要年龄段为 780~950 Ma, 该时段岩浆岩在扬子板块西北缘地区广泛发育, 而在南秦岭构造带新元古代岩浆岩数据则主要集中在 670~780 Ma 之间, 与本次所获得的年龄数据存在一定的差异, 而且华严寺地区南华系含砾岩层指示出区域古水流方向是由南东至北西的流向特征。综合研究认为扬子板块西北缘碧口微地块及其南东侧的后龙门山构造带和汉南—米仓山微地块新元古代岩浆岩可能为华严寺地区南华纪(变)沉积地层的主要物源, 而南秦岭勉略构造带岩浆岩可能提供了少量碎屑物质。

4.2.2 中元古代年龄信息

本次研究的 2 件样品中中元古代碎屑锆石所占比例均很低, 总共仅有 4 颗, 年龄范围在 1 017~1 080 Ma 之间, 占到锆石总数的 2.6%。该年龄段在碧口微地块周缘该期岩浆岩年代学资料也很少, 与之较为接近的有蒋幸福(2014)获得扬子板块北缘黄陵背斜庙湾蛇绿杂岩早期韧性变形辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 1 096~1 118 Ma、Qiu et al.(2011)获得扬子板块北缘神农架群大岩坪组(郑家垭组)上部的陆缘弧型安山岩锆石 U-Pb 年龄为 1 103 Ma。该年龄段锆石可能显示有少量来自 Grenvillian 期(1 000~1 300 Ma)岩浆岩的贡献。

4.2.3 古元古代年龄信息

本次研究的 2 件样品中古元古代碎屑锆石共有 7 颗, 年龄范围在 1 628~2 489 Ma 之间, 占到锆石总数的 4.5%。目前在扬子板块西北缘已发现大量新太古代—古元古代岩石和变质地层: 如前人获得汉南—米仓山微地块南郑县碑坝地区的后河杂岩锆石 U-Pb 年龄介于 2 081~2 141 Ma 之间(Wu et al., 2012; 邓奇等, 2020), 侵位于后河杂岩中的马元花岗闪长岩、花岗质片麻岩和白玉 A 型花岗岩的锆石 U-Pb 年龄分别为 2 090 Ma、2 080 Ma 和 1 760~1 790 Ma(邓奇等, 2017, 2020)。这些证据表明在现今扬子地块的表层陆壳下可能存在广泛分布的古

元古代结晶基底。

4.3 地质意义

在南秦岭勉略构造带以及扬子板块西北缘的碧口微地块、后龙门山构造带和汉南—米仓山微地块都存在新元古代岩浆活动和沉积作用的物质记录, 这些资料为探讨碧口微地块及其周边地区的新元古代构造演化和构造背景提供了充足的证据。

4.3.1 新元古代早中期汇聚阶段(950~720 Ma)

在碧口微地块及邻区记录了大量新元古代早中期板块汇聚型岩浆事件信息。在碧口地区董家河一带存在残余洋壳, 其火山岩系组成单元主要有洋中脊玄武岩、洋岛碱性玄武岩、洋岛拉斑玄武岩等几种残余洋壳, 主体为一套蛇绿混杂岩, 其中董家河蛇绿混杂岩中玄武岩和辉长岩(839 Ma)的 REE 及不活动微量元素具有 MORB 特征, 暗示在扬子板块西北缘碧口地区存在一个消失的新元古代古洋盆(赖邵聪等, 2007; 李永飞等, 2007)。碧口微地块北部的新元古代横丹群陆源碎屑岩系或浊积岩系也显示具有弧前盆地沉积特征(裴先治, 1989; 闫全人等, 2002; Druschke et al., 2006; Gao et al., 2020), 这两者可能在扬子地块西北缘构筑了一个弧盆系统(闫全人等, 2003, 2004)。同样, 在勉略构造带内也存在过古洋盆, 存在时限大约为 810~840 Ma(裴先治, 2001; 赖邵聪等, 2003; 闫全人等, 2007; Wu et al., 2006, 林振文等, 2013; 徐通, 2016)。并且这些火山岩的年龄与董家河蛇绿岩中辉长岩的年龄接近, 两者可能为同一时代洋盆的产物(徐通, 2016)。在汉南—米仓山微地块, 凌文黎等(2002)对西乡群下部白勉峡组英安岩(946 Ma)和上部孙家河组流纹岩(904 Ma)研究显示具有岛弧岩浆岩组合的元素和同位素地球化学特征。而在后龙门山构造带同样存在新元古代早中期洋盆的俯冲作用和对应的沟—弧—盆体系(裴先治, 1989; 陶洪祥等, 1993; Bader et al., 2013; Li et al., 2018)。据林振文等(2013)统计显示碧口微地块及周边新元古代早中期火山岩的主体时代基本一致, 认为这些区域性汇聚型岩浆事件可能是 Rodinia 超大陆汇聚过程的响应。

尽管在 810 Ma 之后区域上出现了一些后碰撞—裂解体制下的岩浆事件: 如勉略构造带横观河张岩沟大陆裂谷双峰式火山岩(728 ± 10 Ma)(徐通, 2016)等; 龙门山构造带形成于同碰撞向碰撞后伸展转化环境的刘家坪地区大滩花岗岩(806 ± 19 Ma)(李佐

臣等, 2013); 汉南—米仓山微地块的大汉山辉长岩和红庙 A 型花岗岩(802~779 Ma)(Ling et al., 2003)。但最近的研究表明, 在新元古代中期(800~720 Ma)沿着 Rodinia 超大陆的西北边缘仍然存在一个较大的岛弧, 其中扬子板块的西北部边缘则是这个岛弧环境的一部分(Wang et al., 2017; Gao et al., 2020; Zhao et al., 2018; Wang et al., 2020)。这一时期的岩浆岩主要分布在汉南—米仓山微地块中, 它们的主体应形成于与洋壳俯冲相关的构造环境(Dong et al., 2011, 2012; Luo et al., 2018; Ao et al., 2019; Dong et al., 2017)。同样, 在沉积学上, Gao et al. (2020)通过对碧口微地块横丹群碎屑岩进行系统研究, 提出横丹群为一套于 740~720 Ma 沉积就位于碧口岩群之上弧前盆地中的半深海—深海重力流沉积, 表明这一时期的扬子板块西北缘仍然处于俯冲环境。而上述指示裂解环境的岩浆岩可能与俯冲板片的回卷引起的俯冲带后撤和弧后伸展作用的构造过程相关(张欣等, 2010; Gao et al., 2020; Dong et al., 2012; Ling et al., 2003; Luo et al., 2018; Ao et al., 2019)。

4.3.2 新元古代晚期后碰撞—裂解阶段(720~635 Ma)

Dong et al.(2012)获得了扬子板块西北缘汉南微地块中喜神坝二长花岗岩、西乡正长花岗岩以及五堵门英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 706 Ma、707 Ma 和 718 Ma。其中五堵门岩体形成于碰撞造山过程中的地壳部分熔融, 而喜神坝二长花岗岩和西乡正长花岗岩形成于后碰撞环境, 这或许表明在横丹群沉积后不久, 扬子板块西北缘就发生了陆—陆碰撞或者弧—陆碰撞造山作用。在野外调查中也发现南华—震旦纪沉积盖层的变形变质程度要远弱于横丹群。这些证据均支持新元古代晚期(~720 Ma)及扬子地块西北缘地区处于后碰撞—裂解阶段, 而南秦岭地区发育镁铁—超镁铁质岩体(640~630 Ma)被认为是裂解过程最晚期的产物(王梦玺等, 2012; 薛怀民等, 2011)。

在新元古代晚期后碰撞—裂解阶段, 碧口微地块及周缘同样也存在大量南华纪(变质)沉积记录: 如后龙门山地区南沱组(李佐臣等, 2011)、勉略构造带内的关家沟组(徐通, 2016; 苏联国等, 2019; 弓晨等, 2019)、碧口微地块以及汉南米仓山微地块的南华纪沉积地层(毛帆等, 2021)等。前人对碧口微地块及邻区南华系进行了大量的锆石 U-Pb 年代

学研究显示其物源主要碧口微地块及邻区为新元古代岩浆岩, 主体为一套裂谷环境浊流沉积建造(徐通, 2016; 苏联国等, 2019; 弓晨等, 2019; 毛帆等, 2021)。本次研究获得的华严寺地区南华系与上述地区南华系具有很好的可比性, 并且碎屑锆石年龄谱特征相似, 峰值相近, 表明它们经历了相似的构造演化历程。再结合区域的构造演化资料以及前人对该区(变质)沉积地层的研究及碎屑锆石近源快速堆积的特征, 综合研究认为碧口微地块华严寺地区南华系的沉积事件可能对应了新元古代晚期碧口微地块及扬子板块西北缘地区后碰撞—裂解沉积阶段, 为碧口微地块及邻区新元古代岩浆岩在边缘裂谷环境中快速堆积形成。

5 结论

(1) 扬子板块西北缘碧口微地块华严寺地区的一套含砾地层的沉积时代应属于南华纪, 沉积时限约为 720~635 Ma。

(2) 华严寺地区南华系主要物源区包括扬子板块西北缘碧口微地块以及其南东侧后龙门山构造带和汉南—米仓山微地块, 而北侧的南秦岭勉略构造带可能只提供了有限的碎屑物质。

(3) 碧口微地块华严寺地区南华系的沉积事件可能对应了新元古代晚期碧口微地块及扬子板块西北缘地区后碰撞—裂解阶段, 为碧口微地块及邻区新元古代岩浆岩在边缘裂谷环境中快速堆积形成。

References

- Andersen T, 2002. Correction of common Lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192 (1-2): 59-79.
- Ao W H, Zhao Y, Zhang Y K, et al., 2019. The Neoproterozoic magmatism in the northern margin of the Yangtze Block: Insights from Neoproterozoic (950-706 Ma) gabbroic-granitoid rocks of the Hannan Complex [J]. *Precambrian Research*, 333: 105442.
- Ao W H, 2015. Petrography, Geochemistry, Zircon Geochronology and Geological Implications of Neoproterozoic Granites in Dahanshan Region, Northern Margin of Yangtze Plate [D]. Xi'an: Northwest University.
- Ao W H, Zhang Y K, Zhang R Y, et al., 2014. Neoproterozoic Crustal Accretion of the Northern Margin of Yangtze Plate: Constrains from Geochemical Characteristics, LA-ICP-MS Zircon U-Pb Chronology and Hf Isotopic Compositions of Trondhjemite from Zushidian Area, Hannan Region [J]. *Geological Review*, 60 (6): 1393-1408 (in

- Chinese with English abstract).
- Burchfiel B, Chen Z L, Liu Y P, et al., 1995. Tectonics of the Longmen Shan and Adjacent Regions, Central China[J]. *International Geology Review*, 37 (8) : 661 – 735 .
- Bader T, Ratschbacher L, Franz L, et al., 2013. The heart of China revisited. I. Proterozoic tectonics of the Qin mountains in the core of supercontinent Rodinia[J]. *Tectonics*, 32 (3) : 661 – 687 .
- Belousova E, Griffin W, O'Reilly S Y, et al., 2002. Igneous Zircon: Trace Element Composition as an Indicator of Source Rock Type[J]. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, 143 (5) : 602 – 622 .
- Chu X L, Wolfgang Todt, Zhang Q R, et al., 2005. Zircon U-Pb Ages of the Nanhua-Sinian Boundary[J]. *Chinese Science Bulletin*, (6) : 600 – 602 (in Chinese with English abstract).
- Cui J T, Han F L, Zhang S H, et al., 2010. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and the Tectonic Significance of the Xixiang Group in Southern Qinling[J]. *Geology of Shaanxi*, 28 (2) : 53 – 58 (in Chinese with English abstract).
- Deng Q, Wang Z J, Ran G M, et al., 2020. Identification of the ~2.09 Ga and ~1.76 Ga Granitoids in the Northwestern Yangtze Block: Records of the Assembly and Break-Up of Columbia Supercontinent[J]. *Earth Science*, 45 (9) : 3295 – 3312 (in Chinese with English abstract).
- Deng Q, Wang Z J, Wang J, et al., 2017. Discovery of the Baiyu ~1.79 Ga A-type Granite in the Beiba Area of the Northwestern Margin of Yangtze Block: Constraints on Tectonic Evolution of South China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 91 (7) : 1454 – 1466 (in Chinese with English abstract).
- Deng Q, Wang J, Wang Z J, et al., 2013. Zircon U-Pb Ages for Tuffs from the Dashigou and Sanlangpu Formations of the Xixiang Group in the Northern Margin of Yangtze Block and Their Geological Significance[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 43 (3) : 797 – 808 (in Chinese with English abstract).
- Deng J P, Yao S Z, Zhou Z G, et al., 1998. Tectonic Attribute of the Mid-Proterozoic Bikou Terrane[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 5 (3) : 219 – 226 (in Chinese with English abstract).
- Dong Y P, Liu X M, Santosh M, et al., 2011. Neoproterozoic Subduction Tectonics of the Northwestern Yangtze Block in South China: Constrains from Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of Mafic Intrusions in the Hannan Massif[J]. *Precambrian Research*, 189 (1-2) : 66 – 90 .
- Dong Y P, Liu X M, Santosh M, et al., 2012. Neoproterozoic Accretionary Tectonics along the Northwestern Margin of the Yangtze Block, China: Constraints from Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry[J]. *Precambrian Research*, 196-197: 247 – 274 .
- Druschke P, Hanson A D, Yan Q R, et al., 2006. Stratigraphic and U-Pb SHRIMP detrital zircon evidence for a Neoproterozoic Continental Arc, Central China: Rodinia Implications[J]. *The Journal of Geology*, 114 (5) : 627 – 636 .
- Gao F, Pei X Z, Li R B, et al., 2020. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern margin of the Yangtze Block (Southwestern China): evidence from sandstone geochemistry and detrital zircon U-Pb Ages of the Hengdan Group[J]. *Precambrian Research*: 344 .
- Gao R, Ma Y S, Li Q S, et al., 2006. Structure of the Lower Crust Beneath the Songpan Block and West Qinling Orogen and Their Relation as Revealed by Deep Seismic Reflection Profiling[J]. *Geological Bulletin of China*, 25 (12) : 1361 – 1367 (in Chinese with English abstract).
- Gong C, Pei X Z, Li R B, et al., 2019. Despositional Provenance Analysis of the Jinjiahe Phyllite from Sanchazhi Area (Lueyang County) in Mianlue Tectonic Belt of South Qinling, Shaanxi: Evidence from Detrital Zircon U-Pb Dating[J]. *Northwestern Geology*, 52 (4) : 28 – 52 (in Chinese with English abstract).
- Gong X K, Chen D L, Zhao J, 2013. Studies on Geochemistry, Zircon U-Pb Dating and Lu-Hf Isotope Composition of the Tongchang Diorites, Shaanxi Province[J]. *Northwestern Geology*, 46 (3) : 50 – 63 (in Chinese with English abstract).
- Hoskin P, Black L P, 2010. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 18 (4) : 423 – 439 .
- Hu A X, Sun F Y, Wang Y D, et al., 2014. Geochronological and Geochemical Study on Liujiaping Granite in the Border Area between Sichuan and Shaanxi Province and Its Tectonic Significance[J]. *Northwestern Geology*, 47 (2) : 30 – 40 (in Chinese with English abstract).
- Hui B, Dong Y P, Cheng C, et al., 2017. Zircon U-Pb chronology, Hf Isotope Analysis and Whole-Rock Geochemistry for the Neoproterozoic Paleoproterozoic Yudongzi Complex, Northwestern Margin of the Yangtze Craton, China[J]. *Precambrian Research*, 301: 65 – 85 .
- Hui B, Dong Y P, Zhang F, et al., 2020. Neoproterozoic Active Margin in the Northwestern Yangtze Block, South China: New Clues from Detrital Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of Sedimentary Rocks from the Hengdan Group[J]. *Geological Magazine*, 158 (4) : 842 – 858 .
- Jiang X F, 2014. Genesis and Tectonic Significance of the Miaowan Ophiolite Complex in the Huangling Anticline, Yangtze Craton[D]. China University of Geosciences.
- Lai S C, Li Y F, Qin J F, 2007. Geochemistry and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Dongjiahe Ophiolite in Western Bikou Group[J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 37 (z1) : 262 – 270 (in Chinese with English abstract).
- Lai S C, Zhang G W, Pei X Z, et al., 2003. Geochemistry of Ophiolite and Oceanic Island Volcanic Rocks in Kangxian-Pipasi-Nanping-Nanping Structural Hybrid Belt, South Qinling[J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 33 (1) : 10 – 19 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y, Wang X L, Gu Z D, 2018. Petrogenesis of the Jiaoziding

- Granitoids and Associated Basaltic Porphyries: Implications for Extensive Early Neoproterozoic Arc Magmatism in Western Yangtze Block[J]. *Lithos*, 296-299: 547 – 562 .
- Li S Z, Zhang G W, Li Y L, et al., 2002. Deformation and Orogeny of the MianLue Suture Zone in the Qinling Orogenic Belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 76 (4) : 469 – 483 (in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Lai S C, Qin J F, et al., 2007. Geochemical Characteristics and Sr-Nd-Pb Isotope Composition of Bikou Volcanic Series-Evidence of the Northern Margin of the Yangtze in Jinning Period[J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 37 (z1) : 295 – 306 (in Chinese with English abstract).
- Li Z C, 2009. Composition, Structural Characteristics and Evolution of Back-Longmenshan Orogen (North Section) in the Northwest Margin of Yangtze Block[D]. Xi'an: Chang'an University.
- Li Z C, Pei X Z, Ding S P, et al., 2007. Zircon U-Pb Dating of the Nanyili Granodiorite in the Pingwu Area, Northwestern Sichuan, and Its Geological Significance[J]. *Geology in China*, 34 (6) : 1003 – 1012 (in Chinese with English abstract).
- Li Z C, Pei X Z, Li R B, et al., 2013. Geochronological and Geochemical Study on Datan Granite in Liujiaping Area, Northwest Yangtze Block and Its Tectonic Setting[J]. *Geological Review*, 59 (5) : 869 – 884 (in Chinese with English abstract).
- Li Z C, Pei X Z, Liu Z Q, et al., 2011. Journal of Earth Sciences and Environment Characteristics of Sedimentary Strata and Their Forming Environments of Nanhua Period-Early Paleozoic of Back Longmenshan in the Northwest Margin of Yangtze Block[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 33 (2) : 117 – 124 (in Chinese with English abstract).
- Lin Z W, Qin Y, Zhou Z J, et al., 2013. Zircon U-Pb dating and Geochemistry of the Volcanic Rocks at Huachanggou Area, Mian-Lue Suture, South Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29 (1) : 83 – 94 (in Chinese with English abstract).
- Ling W L, Gao S, Cheng J P, et al., 2006. Neoproterozoic Magmatic Events Within the Yangtze Continental Interior and Along Its Northern Margin and Their Tectonic Implication: Constraint from the ELA-ICPMS U-Pb Geochronology of Zircons from the Huangling and Hannan Complexes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (2) : 387 – 396 (in Chinese with English abstract).
- Ling W L, Gao S, Ou Yang J P, et al., 2002. The Age and Tectonic Background of Xixiang Group: Isotopic Chronology and Geochemical Constraints[J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 32 (2) : 101 – 102 (in Chinese with English abstract).
- Ling W L, Wang X H, Cheng J P, et al., 2001. Geochemical Features and Its Tectonic Implication of the Jinningian Wangjiangshan Gabbros in the North Margin of Yangtze Block[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20 (4) : 218 – 221 (in Chinese with English abstract).
- Ling W L, Gao S, Zhang B R, et al., 2003. Neoproterozoic Tectonic Evolution of the Northwestern Yangtze Craton, South China: Implications for Amalgamation and Break-up of the Rodinia Supercontinent[J]. *Precambrian Research*, 122 (1) : 111 – 140 .
- Liu G H, Zhang S G, You Z D, 1993. Main Metamorphic Rock Groups and Metamorphic Evolution in Qinling Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-190.
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al., 2010. Reappraisal and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55 (15) : 1535 – 1546 .
- KR Ludwig, 2003. User's Manual for Isoplot 3.0: A geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Geochronology Center Special Publication, 1-71.
- Luo B J, Liu R, Zhang H F, et al., 2018. Neoproterozoic continental back-arc rift development in the Northwestern Yangtze Block: evidence from the Hannan Intrusive Magmatism[J]. *Gondwana Research: International Geoscience Journal*, 59: 27 – 42 .
- Luo J C, Lai S C, Qin J F, et al., 2011. Genesis of Nanyili Granite in Bikou Block, Northwest Margin of Yangtze Plate[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 32 (5) : 559 – 569 (in Chinese with English abstract).
- Lu S, Yan D P, Wang Y, et al., 2010. Geochemical and Geochronological Constraints on the Mashan and Mupi Plutons in the South Qinling Orogenic Belt Implications for Tectonic Nature of the Bikou Terrane[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26 (6) : 1889-1901.
- Mao F, Pei X Z, Li R B, et al., 2021. The LA-ICP MS U-Pb Dating of Detrital Zircons from the Nanhua System in Bikou Terrane, Northwestern Margin of Yangtze Block[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 41 (1) : 41 – 57 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Xiao Q H, Lu S N, et al., 2009. Subdivision of Tectonic Units in China[J]. *Geology in China*, 36 (01) : 1 – 16 (in Chinese with English abstract).
- Pei X Z, 1989. The Features and the Tectonic Significance of Rock Assemblage in the Bikou Group, Southern Qinling[J]. *Journal of Xi'an College of Geology*, 11 (2) : 46 – 56 (in Chinese with English abstract).
- Pei X Z, 1989. Characteristics and Evolution of Presinian Structure in Bikou Area, Northwest Margin of Yangtze Plate[D]. Xi'an College of Geology.
- Pei X Z, 1992. The Features and the Tectonic Settings of the Flysch Formation in the Bikou Area, the Southern Qinling[J]. *Journal of Xi'an College of Geology*, 14 (1) : 42 – 49 (in Chinese with English abstract).
- Pei X Z, 2001. Geological Evolution and Dynamics of the Mianlue-A 'nyemaqen Tectonic Zone, Central China[D]. Northwest University.
- Pei X Z, Li Z C, Ding S P, et al., 2009. Neoproterozoic Jiaoziding Peraluminous Granite in the Northwest Margin of Yangtze Block:

- Zircon SHRIMP U-Pb Age and Geochemistry, and Their Tectonic Significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 16 (3) : 231 - 249 (in Chinese with English abstract).
- Pei X Z, Zhang G W, Lai S C, et al., 2002. Main Geological Features of the Mianlue Tectonic Belt on the Southern Margin of the West Qinling[J]. *Geological Bulletin of China*, 21 (8) : 486 - 494 (in Chinese with English abstract).
- Peng S B, T. M Kusky, Jiang X F et al., 2012. Geology, geochemistry, and geochronology of the Miaowan Ophiolite, Yangtze Craton: implications for South China's amalgamation history with the Rodinian Supercontinent[J]. *Gondwana Research*, 21: 577 - 594 .
- Qin J F, Lai S C, Li Y F, 2005. Petrogenesis and Geological Significance of Yangba Granodiorites from Bikou Area, Northern Margin of Yangtze Plate[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (3) : 697 - 710 (in Chinese with English abstract).
- Qin K L, Jin H J, Zhao D H, 1994. Tectonic Evolution and Mineralization in Bikou Ancient Island Arc Belt[J]. *Henan Geology*, 12 (4) : 304 - 317 (in Chinese with English abstract).
- Qin K L, Song S G, He S P, 1992. The Geological Characteristics of the Yudongzi Granite-Greenstone Terrain and its Gold-Bearing Property in Mianlue Area Shaanxi[J]. *Northwest Geoscience*, 13 (1) : 65 - 74 (in Chinese with English abstract).
- Qin L, Pei X Z, Li Z C, et al., 2021. Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in Bikou Microblock, the Northwestern Margin of Yangtze Plate, China: Evidence from Zircon U-Pb Dating, Hf Isotope and Geochemistry[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 43 (4) : 686 - 709 (in Chinese with English abstract).
- Qiu X F, Ling W L, Liu X M, et al., 2011. Recognition of Grenvillian Volcanic Suite in the Shennongjia region and its tectonic significance for the South China Craton[J]. *Precambrian Research*, 191 (3-4) : 101 - 119 .
- Qiu X F, Yang H M, Lu S S, et al., 2015. Geochronology and geochemistry of Grenville-Aged (1063 ± 16 Ma) metabasalts in the Shennongjia District, Yangtze Block: implications for tectonic evolution of the South China Craton[J]. *International Geology Review*, 57 (1) : 76 - 96 .
- Sircombe K N, 1999. Tracing Provenance through the Isotope Ages of Littoral and Sedimentary Detrital Zircon, Eastern Australia[J]. *Sedimentary Geology*, 124 (1) : 47 - 67 .
- Su Z G, Pei X Z, Li R B, et al., 2019. Detrital Zircon U-Pb Ages and Geological Significance of Metasedimentary Rocks from Guanjiagou Formation in Huoshenmiao Area, Mianlue Tectonic Belt of South Qinling[J]. *Earth Science*, 44 (4) : 1424 - 1442 (in Chinese with English abstract).
- Sun W D, Li S G, Chen Y D, et al., 2002. Timing of Synorogenic Granitoids in the South Qinling, Central China: Constraints on the Evolution of the Qinling-Dabie Orogenic Belt[J]. *Journal of Geology*, 110 (4) : 457 - 468 .
- Tao H X, He H Y, Wang Q Q, et al., 1993. Tectonic Evolution History of Northern Margin of Yangtze Plate[M]. Xi'an: Northwest University Press.
- Wang H L, Xu X Y, Chen J L, et al., 2011. Constraints from Zircon U-Pb Chronology of Yudongzi Group Magnetite-Quartzite in the Lueyang Area, Southern Qinling[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85 (8) : 1284 - 1290 (in Chinese with English abstract).
- Wang M J, Wu G X, Lin S M, 1980. Classification and Comparison of the Subboundary of Jordan in Mianlue Area, Shaanxi Province[J]. *Northwestern Geology*: 1 - 9 (in Chinese with English abstract).
- Wang M X, Wang C, Zhao J H, 2012. Zircon U-Pb Dating and Hf-O Isotopes of the Zhouan Ultramafic Intrusion in the Northern Margin of the Yangtze Block, SW China: Constraints on the Nature of Mantle Source and Timing of the Supercontinent Rodinia Breakup[J]. *Chinese Science Bulletin*, 57 (34) : 3283 - 3294 (in Chinese with English abstract).
- Wang X C, Li Z X., 2008. The Bikou Basalts in the Northwestern Yangtze Block, South China: Remnants of 820-810Ma Continental Flood Basalts?[J]. *GSA Bulletin*, 120 (11-12) : 1478 - 1492 .
- Wang Z J, Wang J, Deng Q, et al., 2015. Paleoproterozoic I-Type granites and their implications for the Yangtze Block position in the Columbia Supercontinent: evidence from the Lengshui Complex, South China[J]. *Precambrian Research*, 263: 157 - 173 .
- Wang Z Y, Pei X Z, Li R B, et al., 2022. Middle Neoproterozoic Tectonic Evolution of the Mianlue Tectonic Belt: Evidences from Detrital Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of the Guantianmen Metasedimentary Rocks in Lueyang County[J]. *Geoscience*, 36 (03) : 770 - 795 (in Chinese with English abstract).
- Wu P, Zhang S B, Zheng Y F, et al., 2019. Amalgamation of South China into Rodinia during the Grenvillian Accretionary Orogeny: geochemical evidence from Early Neoproterozoic igneous rocks in the northern margin of the South China Block[J]. *Precambrian Research*, 321: 221 - 243 .
- Wu R X, Zheng Y F, Wu Y B, et al., 2006. Reworking of Juvenile Crust: element and isotope evidence from Neoproterozoic Granodiorite in South China[J]. *Precambrian Research*, 146 (3-4) : 179 - 212 .
- Wu Y B, Gao S, Zhang H F, et al., 2012. Geochemistry and zircon U-Pb geochronology of Paleoproterozoic arc related granitoid in the Northwestern Yangtze Block and its geological implications[J]. *Precambrian Research*, 200-203: 26 - 37 .
- Wu Y B, Zheng Y F, Tang J, et al., 2007. Zircon U-Pb dating of water-rock interaction during Neoproterozoic Rift magmatism in South China[J]. *Chemical Geology*, 246 (1-2) : 65 - 86 .
- Xiao L, Zhang H F, Ni P Z, et al., 2007. LA-ICP-MS U-Pb zircon

- geochronology of early Neoproterozoic Mafic-Intermediate Intrusions from NW Margin of the Yangtze Block, South China: implication for tectonic evolution[J]. *Precambrian Research*, 154 (3-4) : 221 – 235 .
- Xia L X, Xia Z C, Ma Z P, et al., 2009. Petrogenesis of Xixiang Group Volcanic Rocks in Middle South Qinling[J]. *Northwestern Geology*, 42 (2) : 1 – 37 (in Chinese with English abstract).
- Xia L X, Xia Z C, Xu X Y, 1996. Characteristics of Middle-Late Proterozoic Volcanic Rocks in South Qinling and Precambrian Continental Fission[J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 26 (3) : 237 – 243 (in Chinese with English abstract).
- Xia Z C, Xia L X, Xu X Y, et al., 1999. The Nature and Formation Environment of Volcanic Rock Series of the Bikou Group[J]. *Geological Review*, 45 (S1) : 681 – 688 (in Chinese with English abstract).
- Xu H M, Ma F, Song Y Q, 2011. Geochemistry and SHRIMP Zircon U-Pb Data of Neoproterozoic Meta-Mrocks in the Suizhou-Zaoyang Area, Northern Margin of the Yangtze Craton, Central China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27 (4) : 1116 – 1130 (in Chinese with English abstract).
- Xu T, 2016. Component Features and Tectonic Evolution of Mianlue Tectonic Zone in Kangxian-Lueyang Area, South Margin of Qinling Orogen[D]. Chang'an University.
- Xu T, Pei X Z, Li R B, et al., 2017. Ages and Geochemical Features of the Heigouxia Volcanic Rocks in the Mianxian-Lueyang Area of South Qinling Orogen: Evidence for Existence and Subduction of Neoproterozoic Mianxian-Lueyang Ocean[J]. *Geological Review*, 63 (2) : 375 – 394 (in Chinese with English abstract).
- Xu T, Pei X Z, Li R B, et al., 2013. Geochemical Characteristics, LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating and Tectonic Significance of Zhangyangou Bimodal Volcanic Rocks in Hengxianhe Area, Mianlue Tectonic Zone[J]. *Geology in China*, 40 (6) : 1777 – 1792 (in Chinese with English abstract).
- Xu X Y, Chen J L, Yan Z, 2014. Geological Map of Qinling and Adjacent Areas (1: 500000) [Z]. Xi'an: Xi'an Map Publishing House.
- Xu X Y, Xia Z C, Xia L X, et al., 2001. Proterozoic Intraplate Volcanic Rocks in South Qinling Mountains and Their Tectonic Implications[J]. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 20 (3) : 255 – 262 (in Chinese with English abstract).
- Yan D P, Zhou Y, Qiu L, et al., 2018. The Longmenshan Tectonic Complex and adjacent tectonic units in the eastern margin of the Tibetan Plateau: a review[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 164: 33 – 57 .
- Yan Q R, Wang Z Q, Hanson A D, et al., 2002. Hengdan Turbidite Terrane: Fillings in a Late Paleozoic Forearc Basin Developed on the Passive Margin of the Yangtze Plate[J]. *Geological Bulletin of China*, 21 (9) : 495 – 500 (in Chinese with English abstract).
- Yan Q R, Wang Z Q, Hanson A D, et al., 2004. Geochemistry and Tectonic Setting of the Bikou Volcanic Terrane on the Northern Margin of the Yangtze Plate[J]. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 23 (1) : 1 – 11 (in Chinese with English abstract).
- Yan Q R, Wang Z Q, Yan Z, et al., 2003. Age of Bikou Group volcanic Rocks-SHRIMP Zircon U-Pb Dating Results[J]. *Geological Bulletin of China*, 22 (6) : 456 – 458 (in Chinese with English abstract).
- Yan Q R, Wang Z Q, Yan Z, et al., 2007. SHRIMP Analyses for Ophiolitic-Mafic Blocks in the Kangxian-Mianxian Section of the Mianxian-Lueyang Melange: Their Geological Implications[J]. *Geological Review*, 53 (6) : 755 – 764 (in Chinese with English abstract).
- Ye L, Cheng Z T, Lu L N, et al., 2009. Petrological Geochronology and Zircon SHRIMP U-Pb of Tongchang Diorites, Mianlueing Area, Southern Shaanxi Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (11) : 2866 – 2876 (in Chinese with English abstract).
- Yin C Y, Gao L Z, 2013. Definition, Time Limit and Stratigraphic Subdivision of the Nanhua System in China[J]. *Journal of Stratigraphy*, 37 (04) : 534 – 541 (in Chinese with English abstract).
- You J, Zhang X M, Yang Y J, et al., 2018. Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of Baiquesi-Shiwengzi bimodal Intrusive Rocks in Lueyang, and Their Significance[J]. *Mineral Exploration*, 9 (12) : 2365-2377.
- Zhang E P, Niu D Y, Huo Y G, et al., 1992. A Broad Outline for Main Characteristics of Geological Structure in Qinling Dabashan Area[J]. *Northwest Geoscience*, 13 (2) : 31 – 46 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Meng Q R, Lai S C, 1995. Structural Structure of Qinling Orogenic Belt[J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 25 (9) : 994 – 1003 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, et al., 1996. The Orogenic Process and Dynamic Characteristics of Qinling Orogenic Belt[J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 26 (3) : 193 – 200 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C, 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 1-855.
- Zhang H F, Xiao L, Zhang L, et al., 2007. Geochemistry and Pb-Sr-Nd Isotopic Composition of Indosinian Granites in Bikou Block, Northwestern Margin of Yangtze Block: Limiting Petrogenesis and Its Dynamic Background[J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 37 (4) : 460 – 470 (in Chinese with English abstract).
- Zhang K X, Pan G T, He W H, et al., 2005. New Division of Tectonic Strata Super region in China[J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 40 (2) : 206 – 233 (in Chinese with English abstract).
- Zhang K X, Xu Y D, He W H, et al., 2018. Oceanic and Continental

- Blocks Distribution during Neoproterozoic Early Qingbaikouan Period (1 000-820 Ma) in China[J]. *Earth Science*, 43 (11) : 3837 – 3852 (in Chinese with English abstract).
- Zhang P, Zhou Z Y, Xu C H, et al., 2008. Geochemistry of Pengguan Complex in the Longmenshan Region, Western Sichuan Province, SW China: Petrogenesis and Tectonic Implication[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 32 (1) : 105 – 116 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q R, 2010. The Latest Trends in the Establishment of the Nanhua System[J]. *Journal of Stratigraphy*, 34 (02) : 165 – 166 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X, Xu X Y, Song G S, et al., 2010. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating and Significance of Yudongzi Group Deformation Granite from Lueyang Area, Western Qinling, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 29 (4) : 510 – 517 (in Chinese with English abstract).
- Zhao F Q, Zhao W P, Zuo Y C, et al., 2006. U-Pb Geochronology of Neoproterozoic Magmatic Rocks in Hanzhong, Southern Shaanxi, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 25 (3) : 383 – 388 (in Chinese with English abstract).
- Zhao J H, Li Q W, Liu H, et al., 2018. Neoproterozoic magmatism in the western and northern margins of the Yangtze Block (South China) controlled by slab subduction and subduction-transform-edge-propagator[J]. *Earth Science Reviews*, 187: 1 – 18.
- Zhao J H, Zhou M F., 2009. Melting of newly formed mafic crust for the formation of Neoproterozoic I-type granite in the Hannan Region, South China[J]. *The Journal of Geology*, 117 (1) : 54 – 70.
- Zhao X S, Ma S L, Zou X H, et al., 1990. Study on the Age Sequence, Volcanism and Mineralization of Bikou Group in Qinba Area[J]. *Northwest Geoscience*, (29) : 1 – 121 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Y F, Wu R X, Wu Y B, et al., 2008. Rift Melting of Juvenile arc-derived crust: geochemical evidence from Neoproterozoic volcanic and granitic rocks in the Jiangnan Orogen, South China[J]. *Precambrian Research*, 163 (3-4) : 351 – 383.
- Zheng Y F, Zhang S B, Zhao Z F, et al., 2007. Contrasting zircon Hf and O isotopes in the two episodes of Neoproterozoic granitoids in south China: implications for growth and reworking of continental crust[J]. *Lithos*, 96 (1-2) : 127 – 150.
- Zheng Y F, Zhao Z F, Wu Y B, et al., 2006. Zircon U-Pb age, Hf and O isotope constraints on protolith origin of ultrahigh-pressure eclogite and gneiss in the Dabie Orogen[J]. *Chemical Geology*, 231 (1-2) : 135 – 158.
- Zhou G Y, Wu Y B, Li L, et al., 2018. Identification of ca. 2.65 Ga TTGs in the Yudongzi Complex and Its Implications for the Early Evolution of the Yangtze Block[J]. *Precambrian Research*, 314: 240 – 263.
- Zhou M F, Kennedy A K, Sun M, et al., 2002. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of south China: implications for the accretion of Rodinia[J]. *The Journal of Geology*, 110 (5) : 611 – 618.

附中文参考文献

- 敖文昊, 2015. 扬子地块北缘大汉山地区新元古代花岗岩岩石学、地球化学、锆石年代学及其地质意义[D]. 西安: 西北大学.
- 敖文昊, 张宇昆, 张瑞英, 等, 2014. 新元古代扬子北缘地壳增生事件: 来自汉南祖师店奥长花岗岩地球化学、锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学和 Hf 同位素证据 [J]. *地质论评*, 60 (6) : 1393 – 1408.
- 储雪蕾, Wolfgang Todt, 张启锐, 等, 2005. 南华-震旦系界线的锆石 U-Pb 年龄 [J]. *科学通报*, (6) : 600 – 602.
- 崔建堂, 韩芳林, 张栓厚, 等, 2010. 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*, 28 (2) : 53 – 58.
- 邓奇, 汪正江, 任光明, 等, 2020. 扬子地块西北缘 ~2.09 Ga 和 ~1.76 Ga 花岗质岩石: Columbia 超大陆聚合-裂解的岩浆记录 [J]. *地球科学*, 45 (9) : 3295 – 3312.
- 邓奇, 汪正江, 王剑, 等, 2017. 扬子地块西北缘碑坝地区白玉 ~1.79 Ga A 型花岗岩的发现及其对构造演化的制约 [J]. *地质学报*, 91 (7) : 1454 – 1466.
- 邓奇, 王剑, 汪正江, 等, 2013. 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)*, 43 (3) : 797 – 808.
- 丁振举, 姚书振, 周宗桂, 等, 1998. 碧口地体中元古代构造属性 [J]. *大地构造与成矿学*, 5 (3) : 219 – 226.
- 高锐, 马永生, 李秋生, 等, 2006. 松潘地块与西秦岭造山带下地壳的性质和关系—深地震反射剖面的揭露 [J]. *地质通报*, 25 (12) : 1361 – 1367.
- 弓晨, 裴先治, 李瑞保, 等, 2019. 南秦岭略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*, 52 (4) : 28 – 52.
- 宫相宽, 陈丹玲, 赵姣, 2013. 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*, 46 (3) : 50 – 63.
- 胡安新, 孙丰月, 王英德, 等, 2014. 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*, 47 (2) : 30 – 40.
- 蒋幸福, 2014. 扬子克拉通黄陵背斜庙湾蛇绿杂岩成因及大地构造意义 [D]. 中国地质大学.
- 赖绍聪, 李永飞, 秦江锋, 2007. 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)*, 37 (z1) : 262 – 270.
- 赖绍聪, 张国伟, 裴先治, 等, 2003. 南秦岭康县-琵琶寺-南坪构造混杂带蛇绿岩与洋岛火山岩地球化学及其大地构造意义 [J]. *中国科学 (D 辑: 地球科学)*, 33 (1) : 10 – 19.
- 李三忠, 张国伟, 李亚林, 等, 2002. 秦岭造山带勉略缝合带构造变形与造山过程 [J]. *地质学报*, 76 (4) : 469 – 483.

- 李永飞, 赖绍聪, 秦江锋, 等, 2007. 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), 37(21): 295–306.
- 李佐臣, 2009. 扬子地块西北缘后龙门山造山带(北段)物质组成, 构造特征及其形成演化[D]. 西安: 长安大学.
- 李佐臣, 裴先治, 丁仁平, 等, 2007. 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, 34(6): 1003–1012.
- 李佐臣, 裴先治, 李瑞保, 等, 2013. 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, 59(5): 869–884.
- 李佐臣, 裴先治, 刘战庆, 等, 2011. 扬子地块西北缘后龙门山南华纪—早古生代沉积地层特征及其形成环境[J]. 地球科学与环境学报, 33(2): 117–124.
- 林振文, 秦艳, 周振菊, 等, 2013. 南秦岭勉略带铍厂沟火山岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 29(1): 83–94.
- 凌文黎, 高山, 程建萍, 等, 2006. 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-ICP MS 锆石 U-Pb 同位素年代学的约束[J]. 岩石学报, 22(2): 387–396.
- 凌文黎, 高山, 欧阳建平, 等, 2002. 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: 地球科学), 32(2): 101–102.
- 凌文黎, 王歆华, 程建萍, 2001. 扬子北缘晋宁期望江山基性岩体的地球化学特征及其构造背景[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 218–221.
- 刘国惠, 张寿广, 游振东, 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化[M]. 北京: 地质出版社, 1-190.
- 骆金诚, 赖绍聪, 秦江锋, 等, 2011. 扬子板块西北缘碧口地块南一花岗岩成因研究[J]. 地球学报, 32(5): 559–569.
- 吕崧, 颜丹平, 王焰, 等, 2010. 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, 26(6): 1889-1901.
- 毛帆, 裴先治, 李瑞保, 等, 2021. 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[J]. 沉积与特提斯地质, 41(1): 41–57.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等, 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(01): 1–16.
- 裴先治, 1989. 南秦岭碧口群岩石组合特征及其构造意义[J]. 西安地质学院学报, 11(2): 46–56.
- 裴先治, 1989. 扬子板块西北缘碧口地区前震旦系构造特征及其演化[D]. 西安地质学院.
- 裴先治, 1992. 碧口地区复理石岩系特征及其构造环境[J]. 西安地质学院学报, 14(1): 42–49.
- 裴先治, 2001. 勉略—阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征[D]. 西北大学.
- 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等, 2009. 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]. 地质前缘, 16(3): 231–249.
- 裴先治, 张国伟, 赖绍聪, 等, 2002. 西秦岭南缘勉略构造带主要地质特征[J]. 地质通报, 21(8): 486–494.
- 秦江锋, 赖绍聪, 李永飞, 2005. 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, 21(3): 697–710.
- 秦克令, 金浩甲, 赵东宏, 1994. 碧口古岛弧带构造演化与成矿[J]. 河南地质, 12(4): 304–317.
- 秦克令, 宋述光, 何世平, 1992. 陕西勉略宁区鱼洞子花岗岩—绿岩地体地质特征及其含金性[J]. 西北地质科学, 13(1): 65–74.
- 秦利, 裴先治, 李佐臣, 等, 2021. 扬子板块西北缘碧口微地块新元古代大陆弧岩浆作用: 来自锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素和地球化学证据[J]. 地球科学与环境学报, 43(4): 686–709.
- 苏朕国, 裴先治, 李瑞保, 等, 2019. 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, 44(4): 1424–1442.
- 陶洪祥, 何恢亚, 王全庆, 等, 1993. 扬子板块北缘构造演化史[M]. 西安: 西北大学出版社.
- 王洪亮, 徐学义, 陈隽璐, 等, 2011. 南秦岭略阳鱼洞子岩群磁铁矿石形成时代的锆石 U-Pb 年代学约束[J]. 地质学报, 85(8): 1284–1290.
- 王明加, 吴国兴, 林世敏, 1980. 陕西勉略宁地区震旦亚界的划分与对比[J]. 西北地质: 1–9.
- 王梦玺, 王焰, 赵军红, 2012. 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, 57(34): 3283–3294.
- 王昭阳, 裴先治, 李瑞保, 等, 2022. 勉略构造带新元古代中期构造演化特征: 来自略阳关天门变质沉积岩碎屑锆石 U-Pb 年代学和地球化学的证据[J]. 现代地质, 36(03): 770–795.
- 夏林圻, 夏祖春, 马中平, 等, 2009. 南秦岭中段西乡群火山岩岩石成因[J]. 西北地质, 42(2): 1–37.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 1996. 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), 26(3): 237–243.
- 夏祖春, 夏林圻, 徐学义, 等, 1999. 碧口群火山岩性质及形成环境[J]. 地质论评, 45(S1): 681–688.
- 薛怀民, 马芳, 宋永勤, 2011. 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, 27(4): 1116–1130.
- 徐通, 2016. 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]. 长安大学.
- 徐通, 裴先治, 李瑞保, 等, 2017. 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, 63(2): 375–394.
- 徐通, 裴先治, 李瑞保, 等, 2013. 勉略构造带横现河地区张岩沟

- 双峰式火山岩的地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 中国地质, 40 (6) : 1777-1792.
- 徐学义, 陈隽璐, 闫臻, 2014. 秦岭及邻区地质图 (1:500000) [Z]. 西安: 西安地图出版社.
- 徐学义, 夏祖春, 夏林圻, 2001. 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, 20 (3) : 255-262.
- 闫全人, 王宗起, Hanson A D, 等, 2002. 南秦岭横丹浊积岩系-晚古生代发育于扬子板块被动陆缘上的弧前盆地充填物[J]. 地质通报, 21 (9) : 495-500.
- 闫全人, 王宗起, Hanson A D, 等, 2004. 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, 23 (1) : 1-11.
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等, 2003. 碧口群火山岩的时代—SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果[J]. 地质通报, 22 (6) : 456-458.
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等, 2007. 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, 53 (6) : 755-764.
- 叶霖, 程增涛, 陆丽娜, 等, 2009. 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, 25 (11) : 2866-2876.
- 尹崇玉, 高林志, 2013. 中国南华系的范畴、时限及地层划分[J]. 地层学杂志, 37 (04) : 534-541.
- 游军, 张小明, 杨运军, 等, 2018. 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 9 (12) : 2365-2377.
- 张二朋, 牛道楹, 霍有光, 等, 1992. 秦巴地区主要地质—构造特征梗概[J]. 西北地质科学, 13 (2) : 31-46.
- 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪, 1995. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学 (D 辑: 地球科学), 25 (9) : 994-1003.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等, 1996. 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), 26 (3) : 193-200.
- 张国伟, 张本仁, 袁学成, 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1-855.
- 张宏飞, 肖龙, 张利, 等, 2007. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景[J]. 中国科学 (D 辑: 地球科学), 37 (4) : 460-470.
- 张克信, 潘桂棠, 何卫红, 等, 2005. 中国构造-地层大区划分新方案[J]. 地球科学 (中国地质大学学报), 40 (2) : 206-233.
- 张克信, 徐亚东, 何卫红, 等, 2018. 中国新元古代青白口纪早期 (1000-820 Ma) 洋陆分布[J]. 地球科学, 43 (11) : 3837-3852.
- 张沛, 周祖翼, 许长海, 等, 2008. 川西龙门山彭灌杂岩地球化学特征: 岩石成因与构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 32 (1) : 105-116.
- 张启锐, 2010. 南华系 (Nanhuan) 建系研究的最新动态[J]. 地层学杂志, 34 (02) : 165-166.
- 张欣, 徐学义, 宋公社, 等, 2010. 西秦岭略阳地区鱼洞子杂岩变形花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年及地质意义[J]. 地质通报, 29 (4) : 510-517.
- 赵凤清, 赵文平, 左义成, 等, 2006. 陕南汉中地区新元古代岩浆岩 U-Pb 年代学[J]. 地质通报, 25 (3) : 383-388.
- 赵祥生, 马少龙, 邹湘华, 等, 1990. 秦巴地区碧口群时代层序, 火山作用及含矿性研究[J]. 西北地质科学, (29) : 1-121.