

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2022.01.003

# 扬子克拉通北缘神农架-崆岭地区中-新元古代地层厘定 ——兼论“神农架群底界”

赵小明<sup>1,2</sup>, 安志辉<sup>2,3</sup>, 邱啸飞<sup>2,3</sup>, 胡正祥<sup>4</sup>

ZHAO Xiao-Ming<sup>1,2</sup>, AN Zhi-Hui<sup>2,3</sup>, QIU Xiao-Fei<sup>2,3</sup>, HU Zheng-Xiang<sup>4</sup>

1. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 2. 古生物与地质环境演化湖北省重点实验室, 武汉 430205;  
3. 中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 武汉 430205; 4. 湖北省地质调查院, 武汉 430034

1. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, Guangxi, China; 2. Hubei Key Laboratory of Paleontology and Geological Environment Evolution, Wuhan 430205, Hubei, China; 3. Wuhan Center of China Geological Survey (Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, Hubei, China; 4. Hubei Geological Survey, Wuhan 430034, Hubei, China

**摘要:**综合近几年来扬子克拉通北缘中-新元古代最新研究成果,厘定扬子克拉通北缘神农架-崆岭地区中-新元古代地层序列,自下而上依次为:吴家台组、神农架群、马槽园组、南沱组、陡山沱组和灯影组。吴家台组仅出露于距神农架不到20 km的北崆岭西汉河地区,为一套浅变质砾岩-含砾砂岩-细砂岩-白云岩组合,与下伏古元古界黄凉河岩组、上覆南华系南沱组均呈角度不整合接触,详细的年代学工作限定其形成时代为~1800-1500 Ma,代表扬子克拉通核部中元古代最早期沉积记录,可视作与神农架群底部-下部相当的层位(吴家台组与神农架群未见直接的接触关系露头)。神农架群主要岩性为藻礁白云岩、泥粉晶白云岩、粉砂岩等,夹砾岩、细砂岩、泥岩、火山岩层,与上覆马槽园组角度不整合接触,不见底,形成于~1.4-1.0 Ga。马槽园组为一套白云质或砂质胶结的杂砾岩、白云质砾岩,角度不整合于神农架群和南沱组之间。南沱组为杂砾岩-含砾粉砂质泥岩-碳质泥岩组合,形成时代为~657-635 Ma,属 Marinoan 冰期产物。陡山沱组、灯影组为碳酸盐岩建造,是扬子克拉通基底之上第一套稳定盖层,沉积时限为~635-541 Ma,也是早期生命演化的关键时期。

**关键词:**吴家台组;神农架群;马槽园组;中-新元古代;神农架-崆岭地区;扬子克拉通

**中图分类号:**P534.3;P535

**文献标识码:**A

**文章编号:**2097-0013(2022)01-00046-10

**Zhao X M, An Z H, Qiu X F and Hu Z X. 2022. Redefinition of Meso-Neoproterozoic stratigraphy in the Shennongjia-Kongling area on the northern margin of Yangtze Craton -- Discussion on the bottom of the Shennongjia Group. *South China Geology*, 38(1): 46-55.**

**Abstract:** The Meso-Neoproterozoic stratigraphic sequences in the Shennongjia-Kongling area on the northern margin of the Yangtze Craton are redefined based on the recent research, which are Wujiatai Formation, Shennongjia Group, Macaoyuan Formation, Nantuo Formation, Doushantuo Formation and Dengying Formation in ascending order. The Wujiatai Formation rocks are only exposed in the Xicha River, Northern Kongling area, less than 20 km from the Shennongjia Group, which are a set of epimetamorphic conglomerate-gravel sandstone-fine sandstone-dolomite assemblages. They are both in angular unconformity

收稿日期:2021-11-1;修回日期:2021-12-2

基金项目:中国地质调查局项目(No. DD20190415)、国家自然科学基金(No. 41672030)、古生物与地质环境演化湖北省重点实验室开放基金(No. PEL-202002)资助

第一作者:赵小明(1970—),男,博士,研究员,从事基础地质调查和科研工作, E-mail: zxm20040021@163.com

contact with the underlying Paleoproterozoic Huanglianghe Formation rocks and the overlying Neoproterozoic Nantuo Formation rocks, with detailed chronological deposited age of  $\sim 1800\text{-}1500\text{ Ma}$ , the earliest Mesoproterozoic sedimentary records in the Yangtze Craton nucleus, which can be considered similar with the bottom to lower part of the Shennongjia Group (there is no outcrop in direct contact between the two layers). The Shennongjia Group rocks include algal reef dolomite, micritic dolomite, siltstone, conglomerate, fine sandstone, mudstone and volcanic rock, which are in angular unconformity contact with overlying the Macaoyuan Formation with invisible bottom, and deposited between  $\sim 1.4\text{-}1.0\text{ Ga}$ . The Macaoyuan Formation rocks, angular unconformable between Shennongjia Group and Nantuo Formation rocks, are a set of dolomitic or sandy cemented diamictite and dolomitic conglomerate. The Nantuo Formation rocks, combination of diamictite and gravel silty mudstone and carbonaceous mudstone, are formed between  $\sim 657\text{-}635\text{ Ma}$  and by Marinoan Glaciation. The Doushantuo and Dengying Formations are the first stable carbonate rocks on the basement of the Yangtze craton, with sedimentary time of  $\sim 635\text{-}541\text{ Ma}$ , which are also the crucial evolution period for early life.

**Key words:** Wujiatai Formation; Shennongjia Group; Macaoyuan Formation; Meso-Neoproterozoic; Shennongjia-Kongling area; Yangtze Craton

扬子克拉通北缘中元古代地层主要有分布于湖北省神农架地区的神农架群( $Pt_2Sn$ )、大洪山地区的打鼓石群( $Pt_2D$ ), 及少量分布于崆岭地区的吴家台组( $Pt_2w$ ) (图 1)。同位素年代学研究表明, 神农架群形成于  $1.4\text{-}1.0\text{ Ga}$  之间(Liu X M et al., 2010; Qiu X F et al., 2011; 李怀坤等, 2013; 徐大良等, 2016), 是最有希望的中元古代待建系候选层型(李怀坤等, 2013; 耿元生等, 2014)。但神农架群顶部被新元古界马槽园群或南华系 - 震旦系角度不整合覆盖, 在神农架地区亦未见底, 因此能否找到“神农架群底界”是关系到其能否成为待建系候选层型的关键。值得注意的是, 在距离神农架林区松柏镇东南约  $70\text{ km}$  (神农架群露头区东南不到  $20\text{ km}$ ) 的北崆岭地区孔子河 - 西汉河一带出露一套浅变质 - 极浅变质的陆源碎屑岩 - 碳酸盐岩组合(图 1b), 李福喜等(1989)将其称之为孔子河组( $Pt_2k$ ), 胡正祥等(2012)将其命名为吴家台组( $Pt_2w$ ), 并提出“相当于神农架群底部一中下部地层”的初步认识和观点。Zhao X M et al. (2019)通过吴家台组细砂岩碎屑锆石年龄测试和白云岩全岩 Pb-Pb 年龄分析, 限定该套地层沉积时限为  $\sim 1800\text{-}1500\text{ Ma}$ 。最近, 旷红伟等(2019)根据碎屑锆石年龄, 结合地层单元间接触关系、岩石学与沉积学特征等, 最终约束吴家台组形成于  $0.8\text{ Ga}$  以后, 并提出“吴家台组相当于

区域上莲沱组, 不可与神农架群底部对比, 在孔子河地区并不存在神农架群的底界”的认识。新元古代地层序列争议较大的马槽园群(组)归属中元古代还是新元古代? 北崆岭地区的一套白云质砾岩是马槽园群(组)砾岩, 还是属南沱组冰碛砾岩?

显然, 对扬子克拉通北缘中 - 新元古代地层序列的认识还存在较大争议。为此, 笔者总结近几年来在神农架 - 北崆岭地区开展的区域地质调查研究成果, 厘定了该地区中 - 新元古代地层序列, 为探索扬子陆核中 - 新元古代地质构造演化过程及其与全球 Columbia 超大陆裂解的关系提供基础资料。

## 1 吴家台组特征

### 1.1 岩性组合

吴家台组由胡正祥等(2012)命名于北崆岭西汉河地区, 底部为灰白 - 灰红色块状 - 中厚层状变石英质砾岩、变含砾石英砂岩, 砾石主要成分为石英, 粒径  $1\text{-}6\text{ cm}$ , 磨圆较好, 呈次圆 - 圆状, 硅质胶结(图 2a); 下部为浅灰 - 灰白色中厚层状变含砾中细砂岩、灰白 - 灰红色中层状变细砂岩互层, 发育平行层理、正粒序层理, 往上为浅灰 - 灰红色中薄层状变长石石英砂岩、变细砂岩, 发育平行层理、板状交错层理; 上部为灰白色中厚层状白云岩、砂

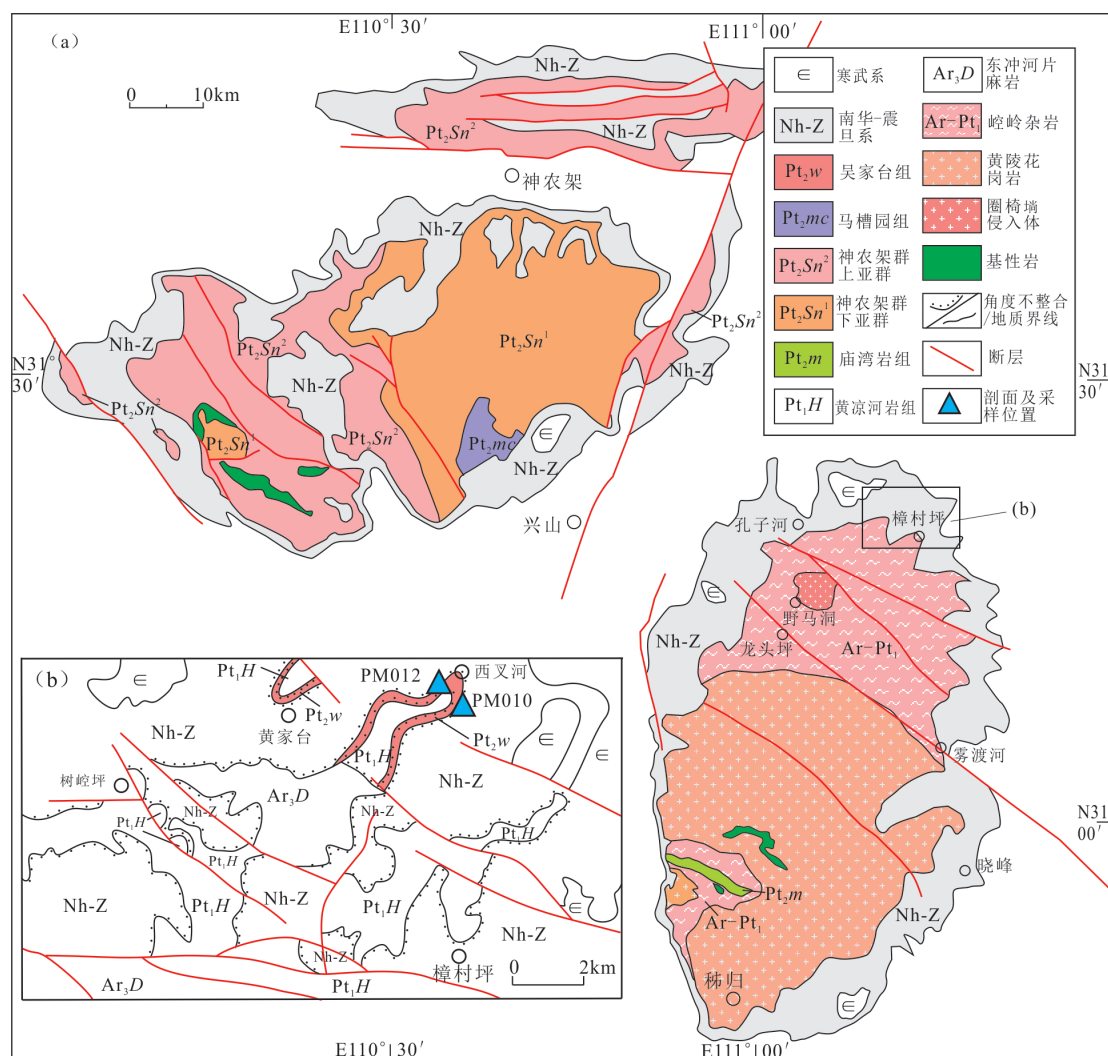


图1 神农架-崆岭地区地质简图(a)及北崆岭樟村坪地区地质简图(b) (据 Zhao X M et al., 2019 修改)

Fig. 1 Geological map of Shennongjia-Kongling area(a) and Geological map of Zhangcunping area, the northern Kongling area(b) (modified from Zhao X M et al., 2019)

屑白云岩、藻白云岩,见球状或柱状叠层石,白云岩未见顶(胡正祥等,2012;旷红伟等,2019)。目前,吴家台组仅见于北崆岭樟村坪镇黄家台-西汉河-孔子河一带,出露厚 20-50 m,钻孔内厚近 100 m。

### 1.2 接触关系

吴家台组角度不整合覆于黄凉河岩组绢云千枚岩、石英片岩之上(图3 接触关系2),两者界面截然,上下岩层产状、岩性、变质程度差异明显(图2b)。对于这套石英绿泥绢云片岩、绢云石英片岩、(碳质)绢云千枚岩夹变石英细砂岩、石英岩组合,之前称为西汉河组(李福喜等,1989;熊成云等,2004),最新的区域地质调查研究表明,西汉河

组可能形成于古元古代而非中元古代(Wei Y X et al., 2016),应归属为黄凉河岩组( $Pt_1H$ )。吴家台组与上覆南沱组接触界面横向上起伏极大,上覆杂砾岩与下伏变砾岩、变含砾砂岩、白云岩等岩性差异明显,杂砾岩呈块状-透镜状,总体产状倾向北北西-北东、倾角 8-15°,白云岩呈中厚层状,总体产状倾向北东、倾角 12-30°,两者为角度不整合接触(图2c,图3 接触关系3),为区域上“神农运动”的标志(熊成云等,2004)。

扬子克拉通作为东亚地区规模最大的古老地块之一,经历了多期构造事件改造,重大的构造界面保存较少,能在同一露头同时观察到两个角度不整合



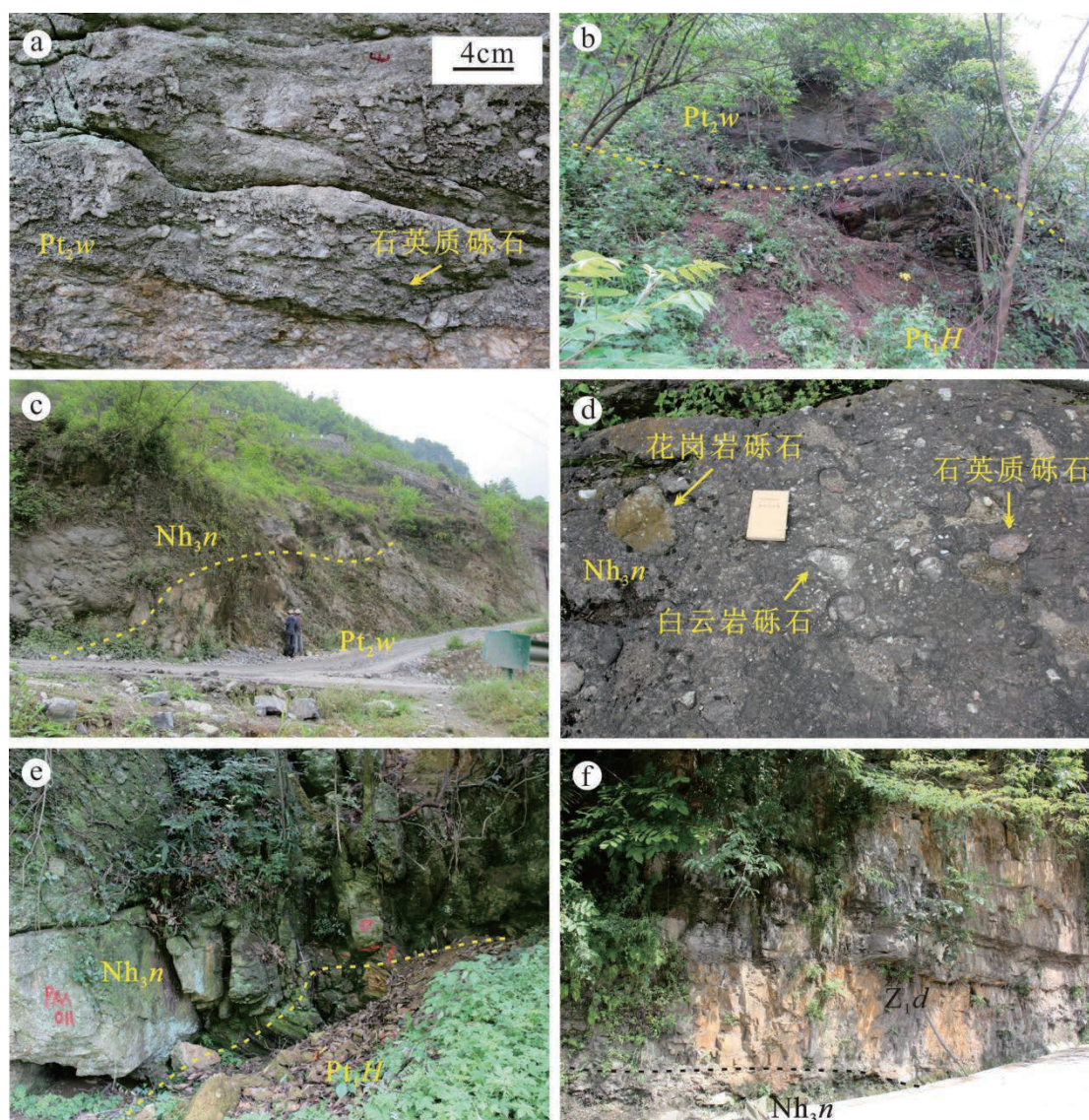


图 2 北崆岭地区西汉河剖面接触界线与典型砾岩

Fig. 2 Stratigraphic contact relationship and some typical conglomerates at the Xichahe section in the northern Kongling area

a- 吴家台组 ( $Pt_2w$ ) 石英质砾岩; b- 吴家台组 ( $Pt_2w$ ) 与黄凉河岩组 ( $Pt_1H$ ) 角度不整合界面; c- 南沱组 ( $Nh_3n$ ) [胡正祥等 (2012) 认为的浇园山组] 与吴家台组 ( $Pt_2w$ ) 角度不整合界面; d- 南沱组 ( $Nh_3n$ ) 杂砾岩; e- 南沱组 ( $Nh_3n$ ) 与黄凉河岩组 ( $Pt_1H$ ) 角度不整合界面; f- 陡山沱组 ( $Z_1d$ ) 与南沱组 ( $Nh_3n$ ) 整合界面

界面非常难得, 北崆岭地区西汉河剖面为研究扬子克拉通核部地质构造演化过程提供了宝贵的窗口。

### 1.3 沉积时限

近年来, 笔者对北崆岭 - 神农架地区孔子河 - 西汉河一带的中 - 新元古代地层空间展布和沉积序列做了较为详细的野外调查和年龄测试工作。在吴家台组下部变细砂岩中采集了 4 件样品、上部白云岩中采集 1 件样品 (图 1b PM012, 图 3)。变细砂岩碎屑锆石年龄 (LA-ICP-MS U-Pb 法) 分

布于 1828~3377 Ma 间, 最年轻碎屑锆石年龄为 1828 Ma, 由新至老可依次分为 1828~2200 Ma、2624~2798 Ma、2806~3060 Ma、3306~3377 Ma 四组, 在 U-Pb 年龄频率直方图上出现 ~2039 Ma、~2691 Ma、~2966 Ma 和 ~3377 Ma 4 个峰值 (图 4a), 同时获得白云岩全岩 Pb-Pb 等时线法同位素年龄  $1718 \pm 230$  Ma, 两者共同限定吴家台组下部地层时代为 ~1800-1500 Ma, 代表了扬子陆核区古元古代 - 中元古代最早期的沉积记录, 也是扬子克



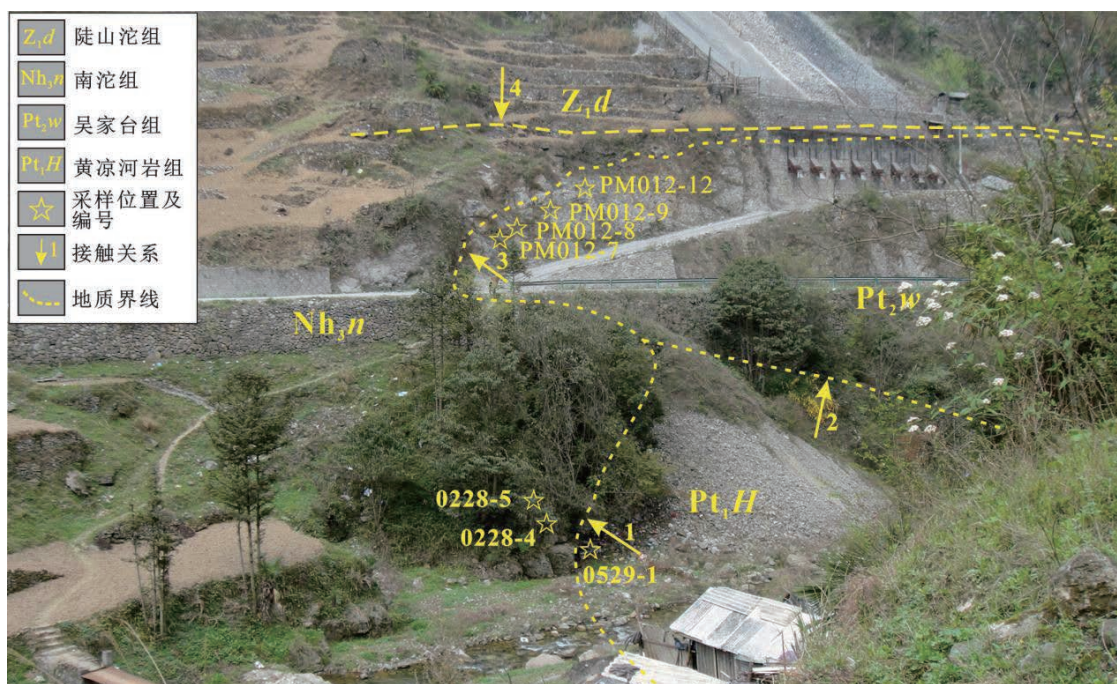


图3 北崮岭地区西叉河剖面展示的地层序列与相互接触关系

Fig. 3 Distant view of stratigraphic sequence and contact relationship at the Xichahe section in the northern Kongling area

0228-4, 0228-5, 0529-1 示旷红伟等 (2019) 采样位置; PM012-7, -8, -9, -12 示 Zhao X M et al. (2019) 采样位置; 接触关系 1 示南沱组 ( $Nh_3n$ ) 与黄凉河岩组 ( $Pt_1H$ ) 角度不整合接触; 接触关系 2 示吴家台组 ( $Pt_2w$ ) 与黄凉河岩组 ( $Pt_1H$ ) 角度不整合接触; 接触关系 3 示南沱组 ( $Nh_3n$ ) [胡正祥等 (2012) 认为的浇园山组] 与吴家台组 ( $Pt_2w$ ) 角度不整合接触; 接触关系 4 示陡山沱组 ( $Z_1d$ ) 与南沱组 ( $Nh_3n$ ) 为平行不整合接触

拉通北缘黄陵 - 神农架地区元古代最低层位 (Zhao X M et al., 2019)。

## 2 神农架群特征

### 2.1 地层序列及岩性组合

神农架群出露于神农架隆起 (图 1a), 总面积约 1800 km<sup>2</sup>, 最早由江涛、华媚春 (湖北省地质矿产局, 1990) 创名于神农架地区, 李铨等 (1987) 提出了 11 个组的划分方案被多数人采用。刘成新等 (2004) 通过 1:25 万区域地质调查将神农架群由下而上划分为郑家垭组、大岩坪岩楔、石槽河组和大窝坑组、矿石山组两部分, 分别归属于中元古界长城系和蓟县系, 该划分方案没有被普遍接受。Qiu X F et al. (2011) 和李怀坤等 (2013) 提出, 在李铨等 (1987) 11 个组的划分方案基础上新建郑家垭组, 置于神农架群顶部层位, 本文采用此划分方案, 将神农架群划分为上下两个亚群、12 个组, 自下而上为: 下亚群鹰窝洞组、大岩坪组、乱石沟

组、大窝坑组、矿石山组, 上亚群台子组、野马河组、温水河组、石槽河组、送子园组、瓦岗溪组和郑家垭组, 主要岩性为藻礁白云岩、泥粉晶白云岩、粉砂岩等, 夹砾岩、细砂岩、泥岩、多层火山岩和铁矿层。主体形成于局限台地相至台地边缘礁滩相的碳酸盐岩陆棚区, 顶部郑家垭组以碎屑岩为主, 夹火山熔结凝灰岩和熔岩, 形成于陆缘岛弧之弧前盆地 (Qiu X F et al., 2011)。神农架群与上覆马槽园组角度不整合接触, 不见底, 构造地层厚度超过 13000 m。

### 2.2 年代约束

Qiu X F et al. (2011) 报道郑家垭组火山岩锆石 U-Pb 年龄为  $1103 \pm 8$  Ma。李怀坤等 (2013) 报道野马河组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄为  $\sim 1220$  Ma, 侵入石槽河组的辉长辉绿岩斜锆石及锆石 U-Pb 年龄分别为 1115 Ma 和 1083 Ma, 神农架群下部大岩坪组碎屑锆石年龄  $\sim 1324$ -3180 Ma (图 5), 且存在 1.4 Ga、1.8 Ga、2.0 Ga、2.7 Ga 的统计峰值。肖志斌 (2012) 对神农架群砂岩中的碎屑锆石进行了 U-Pb 年龄测定,

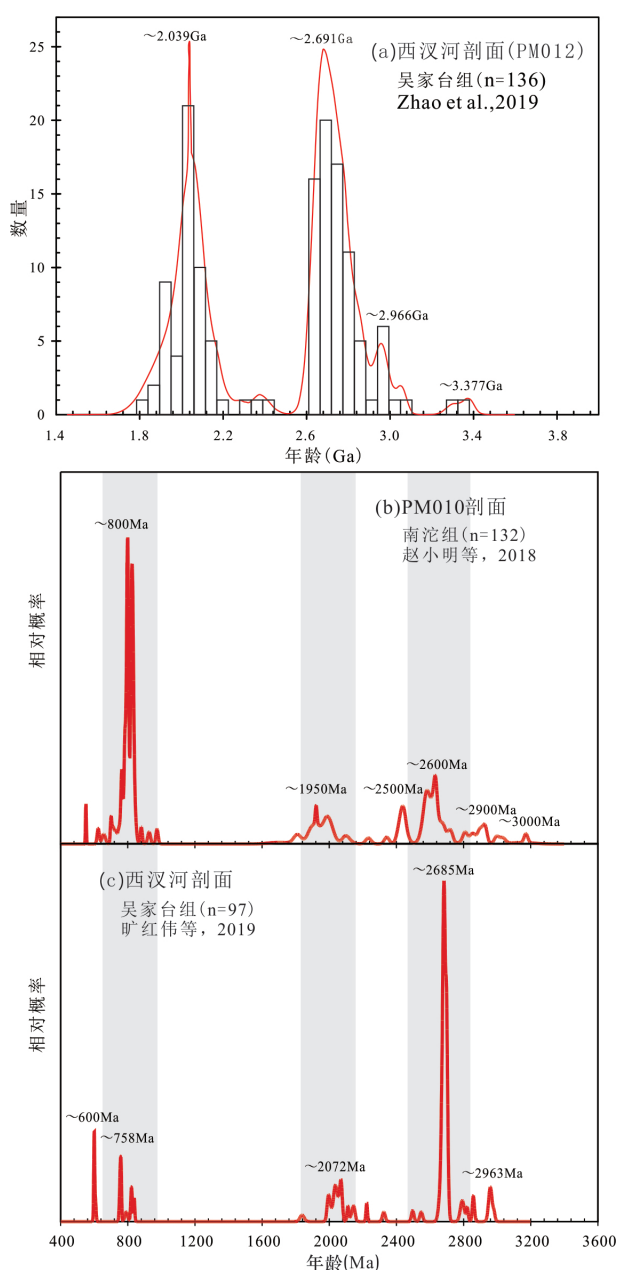


图 4 吴家台组与南沱组碎屑锆石 U-Pb 年龄频率直方图  
Fig. 4 U-Pb probabilistic histogram for the Wujiatai Formation and the Nantuo Formation in the northern Kongling area, China

结果显示神农架地区碎屑锆石年龄峰值为  $\sim 1.6$  Ga、 $\sim 1.8$  Ga、 $\sim 2.0$  Ga 和  $\sim 2.7$  Ga, 同时获得郑家垭组安山岩锆石年龄为 1150 Ma。徐大良等(2016)对郑家垭组砂岩碎屑锆石进行 U-Pb 年龄测定, 获得了 0.98~1.2 Ga、1.3~1.6 Ga、1.8~2.3 Ga、2.45~2.9 Ga 四组年龄, 其中最年轻的一组年龄峰值约为 1.0 Ga,

表明郑家垭组的沉积作用持续到了中元古代末期。综上所述, 神农架群的沉积时代可以限定在 1.4~1.0 Ga 之间。

### 3 马槽园组特征

#### 3.1 划分沿革及岩性组合

马槽园组由湖北区测队 1974 年创名于湖北兴山县古夫镇咸水村西, 后李铨等(1987)将“马槽园组”厘定为“马槽园群”, 细分为八里垭组和火烧尖组, 湖北省地质矿产局(1990)和陈公信等(1996)沿用了马槽园群, 定义为不整合于南沱组之下、神农架群之上的一套磨拉石建造, 其岩性以白云质砾岩为主, 还有泥质白云岩和似角砾状白云岩、粉砂岩、砂岩, 夹火山碎屑岩, 形成时代为新元古代。考虑到该套地层变质变形较弱、沉积序列清楚, 本次划分方案仍称之为马槽园组, 并将其限定在神农架地区, 而将北崆岭地区“马槽园组”归入南沱组, 依据详见下文“南沱组特征”一节。

#### 3.2 年代约束

Wang J et al.(2013)、邓奇等(2013)、邱艳生等(2013)获得马槽园群八里垭组顶部或火烧尖组底部凝灰岩年龄分别为  $\sim 1157$  Ma、 $\sim 1165$  Ma、 $\sim 1139$  Ma, 进而认为其形成时代为中元古代而非新元古代, 为台缘斜坡-混积陆棚环境下的重力流沉积, 由神农架群石槽河组中的滑塌事件形成。根据马槽园组角度不整合覆于神农架群之上的地质事实, 结合 Qiu X F et al.(2011)在神农架群顶部郑家垭组获得的火山岩锆石年龄  $1103 \pm 8$  Ma、李怀坤等(2013)获得的侵入于石槽河组基性岩墙斜锆石及锆石 U-Pb 年龄 1115 Ma 及 1083 Ma, 本文采用陈公信等(1996)划分方案, 将马槽园组归入青白口纪, 年代学及区域对比工作还需进一步深入。

### 4 南沱组特征

#### 4.1 北崆岭地区南沱组

北崆岭地区樟村坪-孔子河一带, 发育一套杂砾岩、白云质砾岩(图 2d), 伏于陡山沱组“盖帽白云岩”之下、角度不整合于崆岭杂岩之上, 出露厚

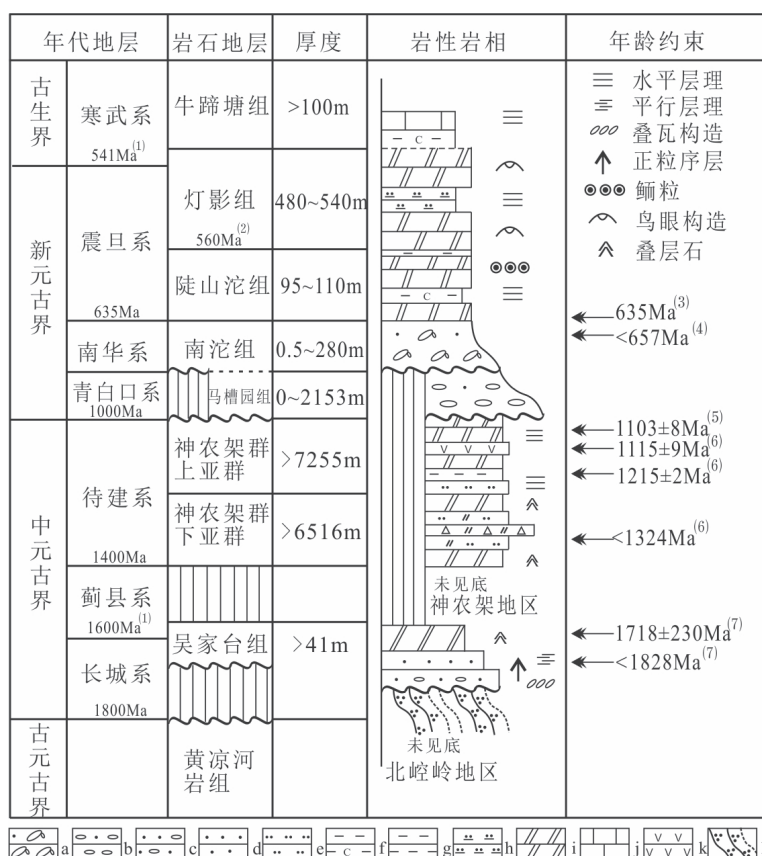


图5 神农架-崆岭地区中-新元古代地层序列

Fig. 5 Meso-Neoproterozoic stratigraphic sequence of the Shennongjia-Kongling area

a- 冰碛砾岩; b- 砂砾岩; c- 含砾砂岩; d- 细砂岩; e- 粉砂岩; f- 含炭泥岩; g- 泥岩; h- 硅质岩; i- 白云岩; j- 灰岩; k- 沉凝灰岩; l- 石英片岩; 年龄数据来源: (1) - 全国地层委员会, 2017; (2) - An Z H et al., 2015; (3) - Condon D et al., 2005; (4) - 赵小明等, 2018; (5) - Qiu X F et al., 2011; (6) - 李怀坤等, 2013; (7) - Zhao X M et al., 2019.

度 0.5~20 m。2006 年之前的地质调查与研究将其划归中元古代马槽园组, 属磨拉石建造(李福喜等, 1989; 陈公信等, 1996; 熊成云等, 2004)。胡正祥等(2012)将其分为两部分, 下部层位重新命名为浇园山组(Pt<sub>3j</sub>), 上部划归南沱组, 认为前者属台内-台缘斜坡相白云质复砾岩, 形成于青白口纪, 后者为传统意义上的冰碛岩。

最近, 笔者对浇园山组(原马槽园组下部)空间分布、接触关系和砾石成分、大小、分选、磨圆、胶结物等进行了详细的追索和统计。在浇园山组命名剖面(胡正祥等, 2012), 浇园山组角度不整合覆于吴家台组(图 2c, 图 3 接触关系 3)和黄凉河岩组(图 2e, 图 3 接触关系 1)之上, 界面凹凸不平, 起伏较大, 与南沱组含砾粉砂质泥岩渐变, 没有截然界面。与上覆陡山沱组“盖帽白云岩”岩性突变, 界面平直

(图 2f, 图 3 接触关系 4)。砾石统计和沉积学研究结果表明浇园山组(原马槽园组下部)各项特征都与南沱组相似, 均体现了快速混杂堆积特点, 是一套冰碛岩, 砂质胶结的砾岩可能为陆地或滨岸环境下的冰水沉积, 而白云质胶结的砾岩可能是离岸较远的滨外或陆棚环境下的冰筏沉积, 并且随着海平面的升降, 砂质胶结砾岩和白云质胶结砾岩可以在同一剖面上同时出现, 因此可统称为南沱组(赵小明等, 2018)。也就是说, 北崆岭地区不存在马槽园组, 而浇园山组代表了以白云岩砾石为主的特殊冰碛岩类型, 两者均与南沱组同物异名。

#### 4.2 神农架地区南沱组

神农架地区的南沱组区域变化较大, 西厚东薄, 西部宋洛剖面厚 290 m, 主要为冰碛砾岩、含砾粉砂岩、泥质粉砂岩和碳质泥岩组合, 大致可分为



三个冰期 - 间冰期沉积旋回; 中部栗子坪至石家河一带厚 40-85 m, 主要为冰碛砾岩、泥质粉砂岩; 东部龙溪至武山湖一带厚 2-5 m, 主要为冰碛砾岩(Hu J et al., 2020)。该地区南沱组碳质泥岩中产丰富的碳质印模化石, 可能为大型藻类, 包括 *Chuaria*, *Vendotaenia*, *Konglingiphyton erecta*, *Enteromorphites siniansis* 等(Ye Q et al., 2015)。

#### 4.3 南沱组沉积时限

胡蓉等(2016)在南崆岭地区南沱组冰碛岩中获得碎屑锆石年龄谱峰值 900~700 Ma, 2.05~1.95 Ga, 2.5~2.3 Ga 和 3.0 Ga, 最年轻的锆石年龄为 706 Ma, 说明南沱组沉积时代应不早于 700 Ma。

笔者在北崆岭地区吴家台组、浇园山组命名剖面南东约 1 km 露头剖面 PM010 上(图 1b), 采集浇园山组(本文认为属南沱组)细砾岩或泥砂质胶结物样品 2 件, 进行碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分析, 结果表明最年轻锆石年龄 657 Ma, 整体上显示出 657~900 Ma、1800~2000 Ma、2360~2997 Ma 等三个年龄区间, 存在 ~800 Ma、~1950 Ma、~2500 Ma、~2600 Ma、~2900 Ma、~3000 Ma 的年龄峰值(图 4b), 与区域上南沱组具有相似的碎屑锆石年龄谱特征(赵小明等, 2018)。

旷红伟等(2019)在北崆岭西汉河地区开展年代学工作, 其 0028-4 和 0028-5(图 3)样品锆石年龄数据按谐和度大于 90% 的原则进行重新处理, 大于 1Ga 采用  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄, 小于 1Ga 采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄, 结果如图 4c 所示, 显示出 599~838 Ma、1838~2325 Ma、2497~2979 Ma 等三个年龄区间, 存在 ~600 Ma、~758 Ma、~2072 Ma、~2685 Ma、~2963 Ma 的年龄峰值。对比 PM010 剖面年龄谱, 两者在年龄区间和峰值特征基本一致, 只是峰值大小有差别(图 4b,c), 这符合杂砾岩碎屑锆石组成特点, 可能与样品中某颗砾石占比高有关。但与 PM012 剖面样品(图 3)获得的吴家台组年龄谱差异明显, 599~838 Ma 年龄值在 PM012 剖面吴家台组中没有出现(图 4a)。根据上述年龄分析结果, 结合吴家台组和南沱组两套砾岩在砾石成分、砾径、结构成熟度和成分成熟度等方面的差异, 笔者认为旷红伟等(2019)样品采集层位应归属南沱组(浇园山组)而不是吴家台组。

综合上述研究, 结合南沱组被震旦纪陡山沱组盖帽白云岩覆盖的地质事实, 将其沉积时代限定在 657~635 Ma 间(Condon D et al., 2005; Ye Q et al., 2015; 胡蓉等, 2016; 赵小明等, 2018)。

## 5 中新元古代地层序列

根据上述研究, 对扬子克拉通北缘神农架 - 崆岭地区中 - 新元古代地层序列进行重新厘定, 自下而上划分为吴家台组、神农架群、马槽园组、南沱组、陡山沱组和灯影组(图 5)。

中元古代地层包括长城 - 蓟县系吴家台组和待建系神农架群。吴家台组角度不整合覆于古元古界黄凉河岩组之上, 下伏于南华系南沱组之下, 厚 >41 m, 在北崆岭磷矿勘查中钻遇这套碳酸盐岩地层厚度可超过 100 m(钻孔岩芯和编录等未发表资料)。神农架群角度不整合伏于青白口系马槽园组之下, 不见底, 构造地层厚 >13000 m, 与吴家台组没有直接接触。吴家台组下部地层时代为 ~1800-1600 Ma, 代表了扬子克拉通北缘中元古代最早期的沉积记录。根据年代学研究, 本次将吴家台组置于神农架群之下, 视作神农架群底部 - 下部层位(图 5), 但两者连续沉积的露头尚未发现。

神农架 - 崆岭地区新元古代地层划分为青白口系马槽园组、南华系南沱组、震旦系陡山沱组和灯影组。马槽园组角度不整合伏于南华系南沱组之下, 覆于待建系神农架群之上, 厚度变化极大(0~2153 m)。南沱组角度不整合覆于中太古代东冲河片麻岩、古元古代黄凉河岩组和中元古代神农架群之上, 与上覆震旦系为平行不整合接触, 厚 0.5~280 m, 沉积时限为 657~635 Ma。

扬子克拉通震旦纪地层出露广泛, 沉积连续, 保存了丰富的生物化石。崆岭地区陡山沱组与上覆和下伏地层均为整合接触, 厚 95~110 m, 是区域上重要的磷矿赋矿层位(杨刚忠等, 2010), 产丰富的保存精美的微体化石, 包括可能的动物胚胎化石 *Megasphaera inornata*, *Tianzhushania spinosa*, 大型具刺疑源类 *Appendisphaera* sp., 多细胞藻类 *Wengania globosa*, *Sarcinophycus*, 以及球状丝状蓝藻化石 *Archaeophycus yunnanensis*, 沉积时限为



635~560 Ma(周传明等,2005;Liu P J et al.,2013;叶琴等,2015)。灯影组与陡山沱组整合接触,与上覆寒武系牛蹄塘组平行不整合或整合接触,厚480~540 m(Tian L et al.,2020),是区域上庙河生物群和埃迪卡拉生物群的产出层位,包括多细胞藻类 *Baculiphyca taeniata*, *Doushantuophyton cometa*, *Enteromorpha siniansis* 等,可能的后生动物 *Calyptrina striata*, *Cucullus fraudulentus*, *Protoconites minor*, *Sinospongia chenjuyuani* 等,以及形态学分类存疑的分类群 *Beltanelliformis brunsae*, *Chuaria circularis*, *Glomulus filamentum*, *Grypania spiralis*, *Jiuqunaoella simplicis* 等,沉积时限为 560~541Ma (An Z H et al.,2015;全国地层委员会,2017;Ye Q et al.,2019)(图5)。

## 6 结论

(1)扬子克拉通北缘北崆岭地区樟村坪黄家台-西汉河一带,在露头尺度可见两个角度不整合界面,其一发育在中元古界吴家台组与古元古界黄凉河岩组之间,另一个表现为南华系南沱组覆于中太古代东冲河片麻岩、中元古界吴家台组、古元古界黄凉河岩组之上。两个界面为神农架-崆岭地区中-新元古代地层序列厘定提供了构造约束,也为研究扬子克拉通核部地质构造演化过程提供了宝贵的窗口。

(2)吴家台组沉积时限为~1800-1500 Ma,代表了扬子克拉通北缘中元古代最早期的沉积记录。神农架群未见底,出露层位沉积时限为~1400-1000 Ma,从地质年代对比来看,可将吴家台组视作与神农架群底部-下部相当的层位。

(3)北崆岭地区孔子河-西汉河一带现划分出来的浇园山组、马槽园群(组)、南沱组为同物异名,形成时代为~657-635 Ma,同属 Marinoan 冰期产物,可统称为南沱组。

(4)神农架-崆岭地区中-新元古代地层自下而上划分为长城-蓟县系吴家台组、待建系神农架群、青白口系马槽园组、南华系南沱组、震旦系陡山沱组和灯影组。

## 参考文献:

- 陈公信,金经伟,吴细松.1996.湖北省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,50-52.
- 邓奇,王剑,汪正江,邱艳生,杨青雄,江新胜,杜秋定.2013.扬子北缘元古宇马槽园群时代归属新证据一对地层对比和古地理格局的启示[J].地质通报,32(4):631-638.
- 耿元生,陆松年.2014.中国前寒武纪地层年代学研究的进展和相关问题[J].地学前缘,21(2):102~118.
- 胡蓉,李双庆,王伟,陈福坤.2016.扬子北部三峡地区南沱组冰碛岩的物源特征:锆石年龄和地球化学证据[J].地球科学,41(10):1630-1654.
- 胡正祥,刘早学,张焱林,毛新武,冉瑞生,廖宗明,刘成新.2012.扬子地块北缘前南华纪神农架群底界的厘定及其地质意义[J].资源环境与工程,26(3):201-208.
- 湖北省地质矿产局.1990.湖北省区域地质志[M].北京:地质出版社,5-43.
- 旷红伟,耿元生,柳永清,王玉冲,夏晓旭,彭楠,范正秀,陈尧帅,白华青.2019.扬子克拉通北缘“神农架群底界”的再厘定及其地层学意义[J].地质学报,93(1):72-93.
- 李铨,冷坚.1987.前寒武纪地质研究-神农架上前寒武系[M].天津:天津科学技术出版社,1-503.
- 李福喜,聂学武,胡正祥,袁祚兴.1989.试论黄陵断隆北缘中、下元古界的不整合关系[J].湖北地质,3(1):43-56.
- 李怀坤,张传林,相振群,陆松年,张健,耿建珍,瞿乐生,王志先.2013.扬子克拉通神农架群锆石和斜锆石 U-Pb 年代学及其构造意义[J].岩石学报,29(2):673-697.
- 刘成新,毛新武,魏运许,何仁亮,余建华.2004.神农架群地层层序初探[J].资源环境与工程,18(增刊):5-16.
- 邱艳生,胡正祥,杨青雄,周世卿,田望学,李雄伟.2013.华南“马槽园群”年代及其地层学意义[J].资源环境与工程,27(3):328-334.
- 全国地层委员会.2017.中国地层指南及中国地层指南说明书(2016)[M].北京:地质出版社,1-62.
- 肖志斌.2012.中元古代扬子北缘神农架地区沉积岩碎屑锆石研究[D].西北大学硕士学位论文,1-64..
- 熊成云,韦昌山,金光富,谭文清,李文羨.2004.鄂西黄陵背斜地区前南华纪古构造格架及主要地质事件[J].地质力学学报,10(2):97-112.
- 徐大良,刘浩,魏运许,彭练红,邓新.2016.扬子北缘神

- 农架地区郑家垭组碎屑锆石年代学及其构造意义 [J]. 地质学报, 90(10):2648-2660.
- 杨刚忠, 宋银桥, 聂开红, 李福喜, 罗洪, 廖忠明. 2010. 宜昌磷矿田成矿地质特征及深部找矿模式探析 [J]. 矿物岩石, 30(2):50-59.
- 叶琴, 童金南, 安志辉, 田力, 赵小明, 朱士兴. 2015. 湖北宜昌樟村坪埃迪卡拉纪陡山沱组磷酸盐化微体化石组合 [J]. 古生物学报, 54(1):43-65.
- 赵小明, 安志辉, 邱啸飞, 吴年文, 魏运许, 胡昆, 赵雨溪. 2018. 扬子陆核北崆岭地区“马槽园群”的新认识 [J]. 地球科学, 43(9): 3324~3336.
- 周传明, 解古巍, 肖书海. 2005. 湖北宜昌樟村坪陡山沱组微体化石新资料 [J]. 微体古生物学报, 22(3): 217-224.
- An Z H, Jiang G Q, Tong J N, Tian L, Ye Q, Song H Y, Song H J. 2015. Stratigraphic position of the Ediacaran Miaohu biota and its constraints on the age of the upper Doushantuo  $^{13}\text{C}$  anomaly in the Yangtze Gorges area, South China[J]. Precambrian Research, 271 :243-253.
- Condon D, Zhu M Y, Bowring S, Wang W, Yang A H, Jin Y G. 2005. U-Pb Ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China[J]. Science, 308:95- 98.
- Hu J, Li C, Tong J N, Ye Q, Tian L, An Z H, Dodd M S, Algeo T J. 2020. Glacial origin of the Cryogenian Nantuo Formation in eastern Shennongjia area (South China): Implications for macroalgal survival[J]. Precambrian Research, 351, 105969.
- Liu P J, Yin C Y, Chen S M, Tang F, Gao L Z. 2013. The biostratigraphic succession of acanthomorphic acritarchs of the Ediacaran Doushantuo Formation in the Yangtze Gorges area, South China and its biostratigraphic correlation with Australia[J]. Precambrian Research, 225:29-43.
- Liu X M, Ling W L, Gao S. 2010. Proterozoic crustal evolution of Yangtze Craton revealed by detrital zircons from Shennongjia area, South China[J]. Abstract, 20th Goldschmidt Conference, A621.
- Qiu X F, Ling W L, Liu X M, Kusky T, Berkana W, Zhang Y H, Gao Y J, Lu S S, Kuang H, Liu C X. 2011. Recognition of Grenvillian volcanic suite in the Shennongjia region and its tectonic significance for the South China Craton[J]. Precambrian Research, 2011,191(3):101~119.
- Tian L, Song H Y, Ye Q, Hu J, An Z H, Zhao X M, David B, Tong J N. 2020. Recurrent anoxia recorded in shallow marine facies at Zhangcunping (western Hubei, China) throughout the Ediacaran to earliest Cambrian[J]. Precambrian Research, 340:105617.
- Wang J, Deng Q, Wang Z J, Qiu Y S, Duan T Z, Jiang X S, Yang Q X. 2013. New evidences for sedimentary attributes and timing of the “Macaoyuan conglomerates” on the northern margin of the Yangtze block in southern China[J]. Precambrian Research, 235:58-70.
- Wei Y X, Ma C Q, Xu D L, Zhao X M, Peng L H, Deng X, Liu H. 2016. Zircon SHRIMP U-Pb Geochronology of the Volcanic Rocks from the Paleoproterozoic Huanglianghe Formation in the Yangtze Craton and its Geological Significance [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 32(3):297.
- Ye Q, Tong J N, An Z H, Hu J, Tian L, Guan K P, Xiao S H. 2019. A systematic description of new macrofossil material from the upper Ediacaran Miaohu Member in South China[J]. J. Syst. Paleontol, 17 (3):183-238.
- Ye Q, Tong J N, Xiao S H, Zhu S X, An Z H, Tian L, Hu J. 2015. The survival of benthic macroscopic phototrophs on a Neoproterozoic Snowball Earth[J]. Geology, 43(6):507-510.
- Zhao X M, Qiu X F, An Z H, Wu N W, Tian L, Wei Y X, Jiang T. 2019. Redefinition of Early Mesoproterozoic (1800-1600 Ma) stratigraphy in the northern Kongling area, China: The nucleus of Yangtze Craton and its tectonic significance [J]. China Geology, 2(2):157-168.