

# 湖南及邻区志留纪兰多弗里世鲁丹期至 埃隆期岩相古地理及加里东期 板块构造演化



王根贤<sup>1)</sup>, 陈必河<sup>2)</sup>, 郑正福<sup>2)</sup>, 周超<sup>2)</sup>

1) 湖南省地质科学研究所, 长沙, 410007; 2) 湖南省地质调查院, 长沙, 410116

**内容提要:** 湖南兰多弗里世鲁丹期岩相古地理格局以桃江—白马山—苗儿山一线为界, 其南东为华夏洋壳板块兰多弗里统鲁丹阶周家溪组陆屑浊积深水盆地相, 陆屑来自更南东的湘中南褶皱山地; 其北西为扬子陆壳板块兰多弗里统鲁丹阶龙马溪组沉积洋盆, 南东后缘是上陆棚相, 北西前缘是下陆棚相, 陆屑都由南东湘中南褶皱山地提供。至兰多弗里世埃隆期岩相古地理发生巨变: 龙马溪组顶部 *Coronograptus cyphus* 笔石带末即大约 440.8±1.2 Ma 时, 发生华夏洋壳板块向扬子陆壳板块俯冲碰撞事件, 华夏洋壳板块周家溪组本身褶皱造山为华夏褶皱山地, 华夏洋壳板块洋盆关闭。同时华夏洋壳板块以 A 型俯冲形式下插到扬子陆壳板块之下, 并使扬子陆壳板块南东前缘崛起形成加里东期雪峰造山带。后者将扬子陆壳板块南东前缘牵引、挠曲和凹陷成华夏洋壳板块弧后前陆盆地, 小河坝组是该弧后前陆盆地的沉积盖层, 陆屑都由南东的雪峰造山带提供。该弧后前陆盆地沉积了三角洲相—滨海相的小河坝组, 向北东、北西和南西方向相变为台地相石牛栏组, 再向北西陕南紫阳相变为盆地相斑鸠关组。小河坝组两次采集的重砂样均出现蓝闪石, 它是蓝闪石片岩标志矿物, 蓝闪石片岩是确认加里东期华夏洋壳板块与扬子陆壳板块俯冲碰撞及形成雪峰造山带的判别标志。

**关键词:** 板块构造; 加里东期板块俯冲碰撞; 华夏褶皱山地; 雪峰造山带; 弧后前陆盆地; 华南海洋; 生物地层; 岩相古地理; 志留纪; 兰多弗里世; 湖南

因古西太平洋板块拉张和 Rodinia 大陆裂解, 中国南方在南华纪 (Nh) 初 (大约 780 Ma) (全国地层委员会, 2014, 2018) 沿着北东向钦杭板块碰撞带又被强烈拉张 (尹赞勋, 1973; 王根贤等<sup>①②③</sup>, Wang Genxian et al., 1996; 刘钟伟等<sup>④</sup>; 刘宝珺等, 1993, 1994; 饶家荣等, 1993, 2012; 饶家荣, 1996; 郭令智, 2001; 郭令智等, 2003; 彭松柏等<sup>⑤</sup>; 许志琴等, 2004a; 陆松年等, 2016; 肖庆辉, 2016), 该带南东为活动的华夏洋壳板块, 该带北西为稳定的扬子陆壳板块, 它们之间为开阔的华南海洋 (殷鸿福等, 1999; 许华等, 2016; 覃小锋等, 2017), 该洋盆宽 > 1300 km。两板块相互运移、俯冲碰撞不是一蹴而就, 而是经历了南华纪—志留纪 (Nh—S) 漫长的地质发展演化历史。华夏洋壳板块北西为其活动大陆边缘, 其始终呈南东高、北西低的古地理、古构造格局, 其

活动大陆边缘洋盆在南华纪—志留纪 (Nh—S) 始终为陆屑浊积深水盆地相沉积体系, 在奥陶纪—志留纪 (O—S) 出现典型的太平洋笔石动物群 (汪啸风, 2016)。其陆屑始终由南东华夏洋壳板块褶皱山地提供 (王根贤等<sup>①②③</sup>; 刘钟伟等<sup>④</sup>; 刘宝珺等, 1993, 1994; 周名魁等, 1993; Wang Genxian et al., 1996)。华夏洋壳板块构造作用为水平俯冲推覆和碰撞, 将寒武系、奥陶系和志留系依次挤压成紧密褶皱和断裂成为华夏褶皱山地, 上覆泥盆系、石炭系和二叠系等与下伏寒武系、奥陶系和志留系等均成角度不整合和高角度不整合或板块俯冲角度不整合, 其构造性质为典型的造山运动。在扬子陆壳板块南东为被动大陆边缘, 从南华纪至奥陶纪 (Nh—O) 呈北西高而南东低的古地理、古构造格局, 在其被动大陆边缘洋盆中从埃迪卡拉纪 (震旦纪) 到奥陶纪 (Ed—O)

注: 本文为中国地质调查局大调查项目“湖南花垣—锦和地区寒武纪—奥陶纪岩相古地理与铅锌矿成矿关系研究” (编号: 资[2010] 矿评 01-13-10) 的成果。

收稿日期: 2021-03-12; 改回日期: 2021-09-23; 网络首发: 2021-10-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.10.015

作者简介: 王根贤, 男, 1939年生, 高级工程师, 主要从事生物地层、沉积相古地理及板块构造研究; Email: 394289002@qq.com。通讯作者: 陈必河, 男, 1958年生, 研究员级高级工程师, 主要从事地质矿产调查及勘查工作; Email: 910241945@qq.com。

由北西到南东依次出现稳定的台地相—斜坡相—盆地相,以碳酸盐盆屑为主的沉积体系,从南华系到寒武纪陆屑由北西方向的滇东古陆等提供。到上奥陶统天马山组顶部 *Normanograptus persculptus* 笔石带末,即大约  $443.8 \pm 1.5$  Ma 时(表 1),受华夏洋壳板块向北西扬子陆壳板块大规模俯冲推覆,扬子陆壳板块南东前缘大幅崛起成华夏洋壳板块前陆盆地,造成扬子陆壳板块出现了南东高、北西低的古地理、古构造的新格局。从兰多弗里世开始,其上由南东到北西出现稳定的上陆棚相—下陆棚相或三角洲相—滨海相—台地相—盆地相(图 10),以陆屑为主的沉积体系,此阶段陆屑由南东华夏洋壳板块褶皱山地或雪峰造山带提供(王根贤等<sup>①②③</sup>;刘钟伟等<sup>④</sup>;刘宝珺等,1993,1994;彭松柏等<sup>⑤</sup>)。在奥陶纪—志留纪(O—S),出现典型的大西洋笔石动物群(汪啸风,2016)。扬子陆壳板块构造作用为垂直升降,使上下地层间为整合或平行不整合接触,上覆泥盆系、石炭系和二叠系等与下伏奥陶系和志留系之间均为平行不整合接触,其构造性质为典型的造陆运动。到兰多弗里统龙马溪组顶部 *Coronograptus cyphus* 笔石带末即大约  $440.8 \pm 1.2$  Ma 时(表 1)发生华夏洋壳板块向北西扬子陆壳板块大规模俯冲、推覆和最终强烈碰撞。

笔者等编制华夏洋壳板块与扬子陆壳板块加里东期俯冲碰撞阶段的“湖南志留纪兰多弗里世鲁丹期岩相古地理图”和“湖南志留纪兰多弗里世埃隆期岩相古地理图”,用以阐明兰多弗里统龙马溪组顶部 *Coronograptus cyphus* 笔石带末(大约  $440.8 \pm 1.2$  Ma)发生华夏洋壳板块向北西扬子陆壳板块俯冲碰撞和造山事件。首先要对上奥陶统一志留系兰多弗里统扬子陆壳板块龙马溪组( $S_{1l}$ )等与华夏洋壳板块周家溪组( $S_{1z}$ )等进行正确划分对比,以确定两者有相同的顶底等时面,而小河坝组( $S_{1xh}$ )应根据“中国地层表”(2014,2018)确定其顶底等时面,然后编制出“湖南志留纪兰多弗里世鲁丹期岩相古地理图”和“湖南志留纪兰多弗里世埃隆期岩相古地理图”。由于是选择华夏洋壳板块与扬子陆壳板块俯冲碰撞阶段编图,除系统论述生物地层、沉积相和古地理内容外,还要介绍华夏洋壳板块与扬子陆壳板块碰撞带、华夏褶皱山地、雪峰造山带、前陆盆地和弧后前陆盆地及华南洋等内容,现依次论述如下。

本文引用了若干图件,除明确说明的外,均引自湖南省地质调查院资料。

## 1 扬子陆壳板块与华夏洋壳板块上奥陶统一志留系兰多弗里统多重地层对比

扬子陆壳板块与华夏洋壳板块上奥陶统一志留系兰多弗里统多重地层对比表(表 1)显示,扬子陆壳板块上奥陶统观音桥组( $O_{3g}$ )顶部和华夏洋壳板块上奥陶统天马山组( $O_{3t}$ )顶部皆产笔石 *Normanograptus persculptus* 带,说明两者顶部层位基本相当。扬子陆壳板块兰多弗里统龙马溪组底部和华夏洋壳板块古墓组( $S_{1g}$ )(广西壮族自治区地质矿产局,1997)底部皆产笔石 *Akidograptus ascensus* 带,说明两者底部基本相当。扬子陆壳板块龙马溪组顶部和华夏洋壳板块古墓组下部皆产笔石 *Coronograptus cyphus* 带,说明两者层位基本相当。扬子陆壳板块小河坝组( $S_{1xh}$ )底部与华夏洋壳板块古墓组中部皆产笔石 *Demirastrites triangulatus* 带,说明两者层位基本相当。扬子陆壳板块小河坝组顶部与华夏洋壳板块古墓组上部皆产笔石 *Stimulograptus sedgwickii* 带,说明两者层位基本相当;扬子陆壳板块溶溪组( $S_{1r}$ )顶部与华夏洋壳板块古墓组顶部皆产笔石 *Spirograptus turriculatus* 带,说明两者层位基本相当。有关多重地层对比详见表 1。

## 2 晚奥陶世古地理和古构造概况

华夏洋壳板块上奥陶统天马山组受古西太平洋板块驱动,由湘南、赣南北东向桂北东恭城马林源(广西壮族自治区地质矿产局区域地质测量队<sup>①</sup>)—湘南江永桃川(湖南省地质矿产局区域地质测量队<sup>②</sup>)—赣南崇义(肖承协等,1975)一线,自南东向北西大规模俯冲到北东向湘中双峰天马山(湖南省地质矿产局区域地质测量队<sup>③</sup>)—桂北东兴安田林口(广西壮族自治区地质矿产局区域地质测量队<sup>④</sup>)一线,俯冲距离达 230~240 km。华夏洋壳板块上奥陶统天马山组与下伏地层扬子陆壳板块中奥陶统盆地相烟溪组( $O_{2y}$ )之间为板块俯冲角度不整合接触(王根贤等<sup>①②</sup>;刘钟伟等<sup>④</sup>;刘宝珺等,1993,1994)(图 1),而不是以往认为的整合接触(湖南省地质矿产局,1988,1997),并且天马山组俯冲推覆在扬子陆壳板块中奥陶统盆地相烟溪组不同层位之上,中泥盆统跳马涧组( $D_{2t}$ )又角度不整合覆盖在华夏洋壳板块上奥陶统天马山组之上(图 1)。到上奥陶统天

表 1 中国南方扬子陆壳板块与华夏洋壳板块上奥陶统-志留系兰多弗里统多重地层对比表  
Table 1 Correlation chart of Upper Ordovician-Llandovery of Silurian multiple stratigraphy between the Yangtze and Cathaysia Plates

| 国际年代地层<br>(Ma) | 岩石地层 |       |      |      | 生物地层 (笔石带、层)  |   |        |           |                               |   |
|----------------|------|-------|------|------|---|---|--------|-----------|-------------------------------|---|
|                | 系    | 统     | 阶    | 组    | 扬子陆壳板块  |   | 华夏洋壳板块 |           |                               |   |
| 438.5± 1.1     | 志留系  | 兰多弗里统 | 特别奇阶 | 溶溪组  | <i>Spirograptus turriculatus</i><br><i>Spirograptus guerichi</i>  |   | 华夏褶皱山地 | 古         | 钦防                            | 未到底<br><i>Spirograptus turriculatus</i>                     |
|                |      |       |      | 埃隆阶  | 小河坝组  | <i>Stimulograptus sedgwickii</i><br><i>Lituigraptus convolutus</i><br><i>Demirastrites triangulatus</i>                             |        |           |                               | 墓   |
| 440.8± 1.2     |      |       |      | 鲁丹阶  | 龙马溪组  | <i>Coronograptus cyphus</i><br><i>Cystograptus vesiculosus</i><br><i>Parakidograptus acuminatus</i><br><i>Akidograptus ascensus</i> |        | 周家溪组 (湘中) | 海槽                            | <i>Coronograptus cyphus</i><br><i>Akidograptus ascensus</i> |
| 443.8± 1.5     |      |       |      |      |   |   |        |           |                               |   |
| 445.2± 1.4     | 奥陶系  | 上奥陶统  | 赫南特阶 | 观音桥组 | <i>Normanograptus persculptus</i><br><i>Normanograptus extraordinarius</i>  |   | 天马山组   | 田林        | 桂北                            | <i>Normanograptus persculptus</i> *<br>(天马山组顶部)             |
|                |      |       |      | 凯迪阶  | 五峰组   | <i>Paraorthograptus pacificus</i><br><i>Dicellograptus complexus</i>  |        |           |                               | 山口  |
| 453.0± 0.7     |      |       |      | 临湘组  | <i>Dicellograptus complanatus</i>   |   | 湘中     | 东         | <i>Dicellograptus ornatus</i> |   |
| 453.0          |      |       |      | 宝塔组  | <i>Dicellograptus elegans</i> -<br><i>Orthograptus quadrimucronatus</i><br><i>Diplacanthograptus caudatus</i><br><i>Diplacanthograptus spiniferus</i><br><i>Dicranograptus clingani</i> |   | (湘中)   |           |                               | <i>Dicellograptus cf. elegans</i> -<br><i>rigens</i>        |
|                |      |       |      | 桑比阶  | 庙坡组   | <i>Climacagraptus bicornis</i><br><i>Nemagraptus gracilis</i>   |        |           |                               | 南   |
|                |      |       |      |      |   |   |        |           |                               | 未到底   |

注: 年代地层引用2013国际地层表、张元动等(2019)、戎嘉余等(2019)。扬子陆壳板块引用全国地层委员会(2014, 2018)、张元动等(2019)、戎嘉余等(2019)。华夏洋壳板块田林口组、黄隘组引用陈旭等(1981)、唐兰等(2013)。华夏洋壳板块天马山组顶部笔石带*Normanograptus persculptus*\*引用段炼等(2000)湘中隆回小香溪资料, 其笔石由陈旭鉴定。华夏洋壳板块古墓组引用《广西壮族自治区岩石地层》志留纪笔石带资料(1997)。

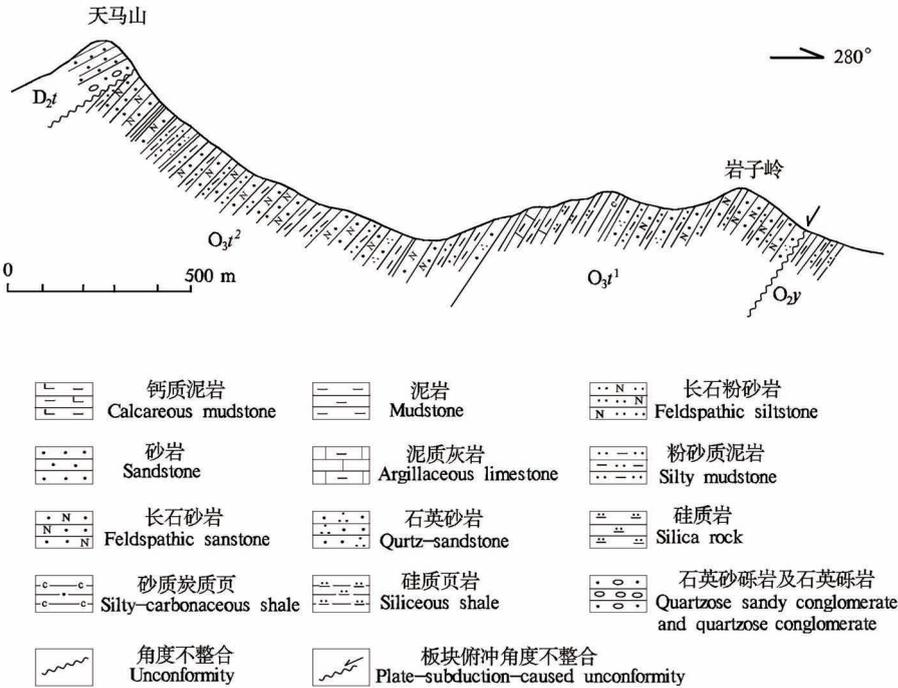


图1 双峰天马山跳马涧组(D<sub>2</sub>t)角度不整合在天马山组(O<sub>3</sub>t)之上, 天马山组(O<sub>3</sub>t)板块俯冲角度不整合在烟溪组(O<sub>2</sub>y)之上

Fig. 1 The Tiaomajian Formation (D<sub>2</sub>t) overlying on the Tianmashan Formation (O<sub>3</sub>t) unconformably and the Tianmashan Formation (O<sub>3</sub>t) underlain with an underthrusting-related unconformity by the Yanxi Formation (O<sub>2</sub>y) in Shuangfeng area

马山组顶部 *Normanograptus persculptus* 笔石带末即大约 443.8 ± 1.5 Ma 时, 天马山组被强烈俯冲而褶皱造山, 其由线型紧密复式褶皱和逆冲断裂组成。在双峰天马山—兴安田林口一线南东, 除桂南东—粤西钦防海槽外, 均已连成一片, 形成包括湘中南、桂、粤、赣、皖、浙和苏等地组成了华夏褶皱山地, 如出现了大瑶山地、西大明山地、大明山地、云开山地和武夷山地等(广西壮族自治区地质矿产局, 1985; 广东省地质矿产局, 1988)。

上奥陶统天马山组沉积末期(443.8 ± 1.5 Ma 时)受华夏洋壳板块强烈俯冲(王根贤等<sup>1,2,3</sup>; 刘钟伟等<sup>4</sup>)、火山喷发(苏文博等, 2002; 谢尚克等, 2015)、岗瓦纳大陆冰川(Ghienne, 2011; Couto et al., 2013)和宜昌上升(陈旭等, 2001)等影响, 造成全球显生宙第二次生物大灭绝事件(张元动等, 2019)。华夏洋壳板块将扬子陆壳板块南东前缘隆起成前陆盆地(何登发等, 1996; 朱小辉等, 2014), 从兰多弗里统鲁丹阶龙马溪组开始造成扬子陆壳板块南东洋盆高, 而北西洋盆低的古地理、古构造的新

格局(王根贤等<sup>1,2,3</sup>; 刘钟伟等<sup>4</sup>)。这就彻底改变了南华纪—奥陶纪(Nh—O)扬子陆壳板块洋盆北西高而南东低的古地理和古构造的旧格局。除少数地点, 如渝南綦江观音桥和鄂西宜昌王家湾、黄花场等地的奥陶系与志留系之间为连续沉积外(葛治洲等, 1979; 金淳泰等, 1982; 汪啸风等, 1996), 宜昌上升造成其余各地均普遍出现上奥陶统顶部不同程度缺失, 如渝南东秀山猫儿井缺失观音桥组(O<sub>3</sub>g), 造成龙马溪组(S<sub>1</sub>l)假整合在五峰组(O<sub>3</sub>w)之上(图2a、图3), 又如湘西北慈利宜冲桥缺失五峰组和观音桥组, 这里龙马溪组与临湘组(O<sub>3</sub>l)为假整合接触, 在龙马溪组底部有1 m厚褐铁矿古风化壳(图2b)。尤其在黔中古陆北侧贵州凯里翁项缺失中奥陶统和上奥陶统, 志留系翁项组(S<sub>1</sub>w)与下奥陶统大湾组(O<sub>1</sub>d)之间为假整合接触(贵州省地质矿产局—〇八队<sup>1</sup>), 笔者等在编制扬子陆壳板块湘西北晚奥陶世岩相古地理图件时(湖南省地质矿产局区域地质测量队<sup>10</sup>; 王根贤等<sup>1,2,3</sup>) 在慈利宜冲桥—慈利甘堰—永顺松柏场一线均缺失五峰组和观音桥组, 存在北东向串珠状的宜冲桥—甘堰—松柏场古岛链, 从而造成扬子陆壳板块多地出现奥陶—志留系之间的沉积间断。

扬子陆壳板块南东前缘的湖南桃源郝坪、鄂西宜昌黄花场、王家湾、黔北东桐梓红花园和松桃陆地坪等地上奥陶统五峰组顶部到兰多弗里统龙马溪组底部形成了1~3 cm厚、1~25层不等的钾质斑脱岩和斑脱岩(苏文博等, 2002; 胡艳华等, 2009a, b; 谢尚克等, 2015), 其中湖南桃源郝坪(图3)在五峰组顶部一层钾质斑脱岩内出现大量火山锆石(谢尚克等, 2015), 经LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测定年龄为442.2 ± 8.1 Ma。该年龄值与华南晚奥陶世与兰多弗里世之间界线年龄443.8 ± 1.5 Ma(表1)近乎一致, 这就充分说明, 上述钾质斑脱岩应是在上奥陶统

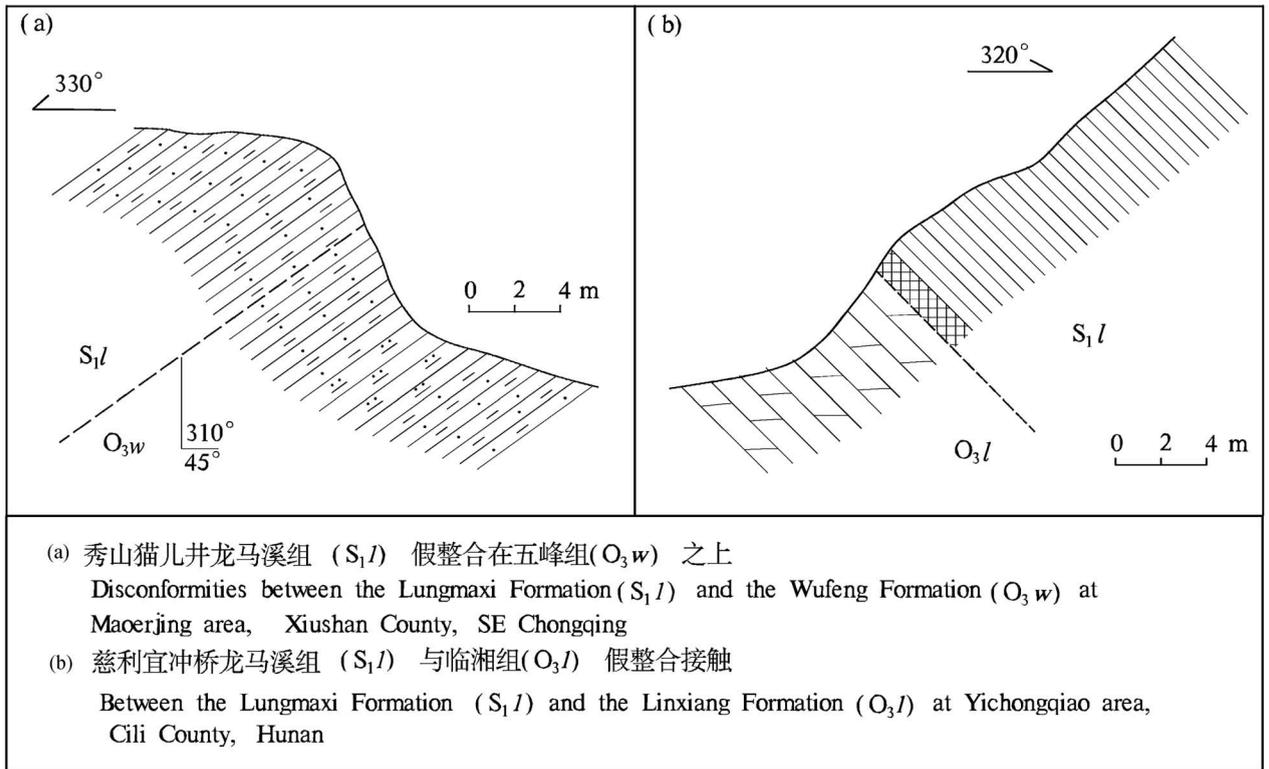


图2 渝东南秀山猫儿井地区扬子陆壳板块兰多弗里统龙马溪组与上奥陶统假整合接触

Fig. 2 Disconformities between the Longmaxi Formation ( $S_1l$ ) and the Wufeng Formation ( $O_3w$ ) in Maoerjing area, Xiushan County, SE Chongqing City

天马山组顶部 *Normanograptus persulptus* 笔石带末, 即大约  $443.8 \pm 1.5$  Ma 时(表1), 华夏洋壳板块大规模向扬子陆壳板块俯冲推覆, 激活了扬子陆壳板块南东前缘桃源郝坪等地深部上地幔火山岩浆喷发的产物。

笔者等(王根贤等<sup>①②③</sup>, 王根贤等, 1996; Wang Genxian et al., 1996)用板块(地体)活动论观点对湖南早古生代岩相古地理、古构造项目进行深入研究, 又依据湖南及邻区 1:200000(湖南省地质矿产局区域地质测量队<sup>④</sup>)、1:50000(广西壮族自治区地质矿产局区域地质测量队<sup>⑤</sup>)区调资料和“中南地区区域地层表”(中南地区区域地层表编写组, 1974)及文献资料等, 新编制了“湖南志留纪兰多弗里世鲁丹期岩相古地理图”和“湖南志留纪兰多弗里世埃隆期岩相古地理图”。

### 3 湖南志留纪兰多弗里世鲁丹期岩相古地理

由图3看出, 湖南由南东到西北存在3个古地理单元。南东部为湘中南褶皱山地(I), 中部为华

夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆(II), 西北部为扬子陆壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆(III)。

#### 3.1 湘中南褶皱山地(I)

其分布在北东向双峰天马山—兴安田林口一线南东的湘中南广大地区。其又以北东东向恭城马林源—江永桃川—赣南崇义一线为界分为该线南东先由寒武系组成的褶皱山地(I-1)(图3), 该线北西后由上奥陶统天马山组组成的褶皱山地(I-2)(图3), 它们先后均由华夏洋壳板块大规模向北西俯冲推覆挤压形成的, 到上奥陶统天马山组沉积末期, 上述两个褶皱山地拼成一片形成统一的湘中南褶皱山地(图3), 其内由一系列北东、北北东向线型紧密复式褶皱和逆冲断裂组成。其被快速风化剥蚀, 形成了大量石英等陆源碎屑, 成为北西部毗邻的华夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆唯一陆屑供应地。

#### 3.2 华夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆(II)

其位于湖南中部, 具体分布在北东向双峰天马

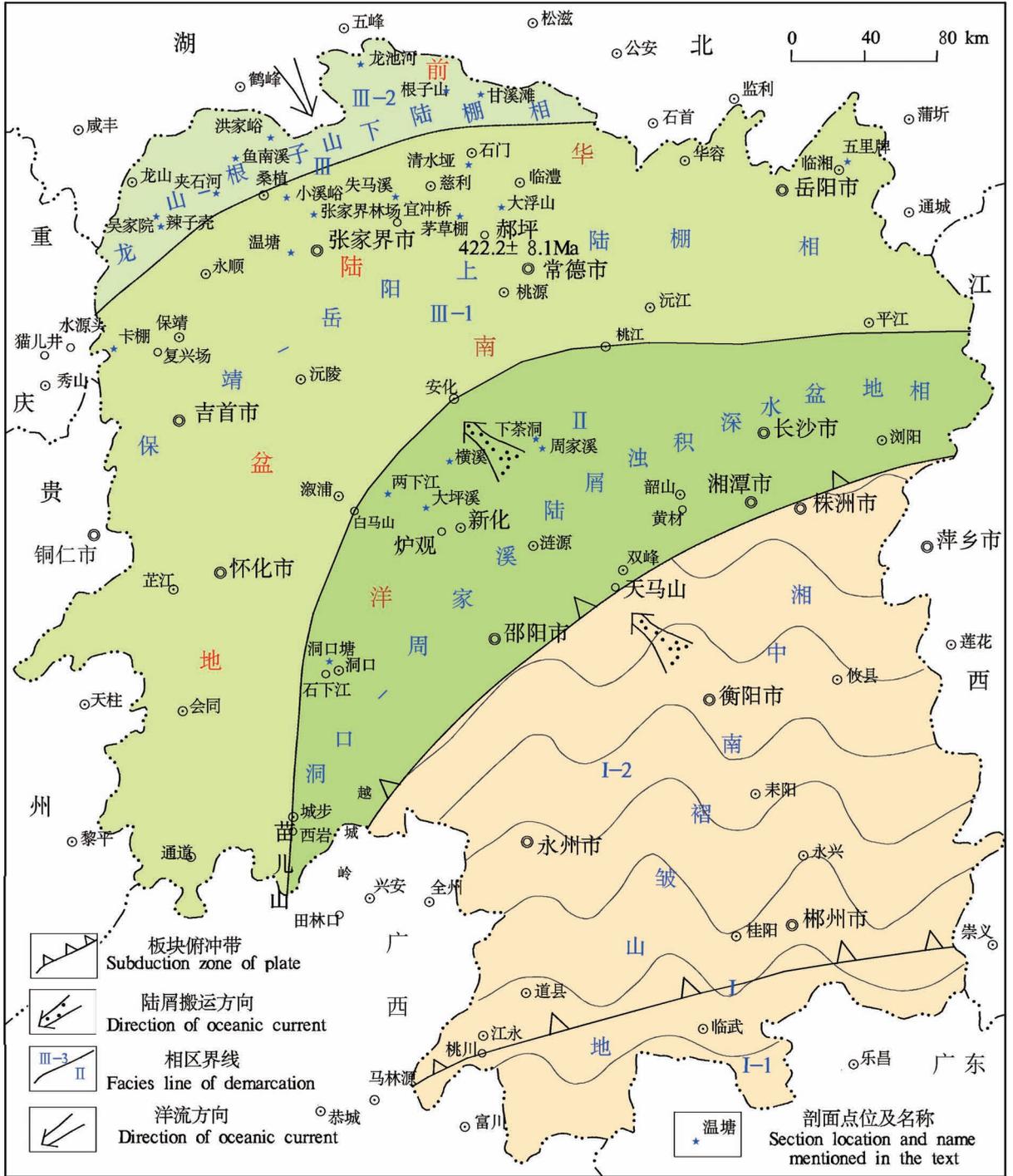


图3 湖南志留纪兰多弗里世鲁丹期岩相古地理图

Fig. 3 Sketch showing the Lunnmachian lithofacies and paleogeography of Hunan in the Ludan stage, Llandovery Epoch, Silurian

I—湘中南褶皱山地; I-1—华夏洋壳板块湘南寒武系(ε)褶皱山地, I-2—华夏洋壳板块湘中南天马山组(O<sub>3</sub>t)褶皱山地; II—华夏洋壳板块洞口—周家溪周家溪组陆屑浊积深水盆地相; III—华夏洋壳板块前陆盆地: III-1—保靖—岳阳上陆棚相, III-2—龙山—根子山下陆棚相

I—Fold mountain land in south—central Hunan; I-1—Cambrian fold mountain land of southern Hunan on the Cathyasia Ocean Crust Block (COCB), I-2: Tianmashanian (O<sub>3</sub>t) fold mountain land of south—central Hunan on the COCB; II—Zhoujiaxian deep-water terrigenous turbidite basin facies of Dongkou—Zhoujiaxian area on the COCB; III—foreland basin on the COCB; III-1—upper shelf facies of Baojing—Yueyang area, III-2—lower shelf facies of Longshan—Genzishan area

山—兴安田林口一线北西及北东、北北东向桃江—白马山—苗儿山一线南东,以安化为弧顶;呈弧形狭长带状分布,其南东与湘中南天马山组褶皱山地相邻(图3)。在华夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆沉积了巨厚的周家溪组( $S_{1z}$ )。华夏洋壳板块周家溪组呈水平俯冲覆盖在扬子陆板块上奥陶统盆地相五峰组不同层位之上,两组之间为板块俯冲角度不整合接触(王根贤等<sup>10</sup>;刘钟伟等<sup>9</sup>;刘宝珺等,1993,1994),而不是以往认为的连续沉积、整合接触(湖南省地质矿产局,1988,1997)。周家溪组地表残留宽130~140 km。

周家溪组分为上、下两段,下段为灰绿色、黄绿色厚层块状变质中粒、中细粒长石石英杂砂岩,变质中粒、中细粒长石石英砂岩、少量粉砂岩、凝灰质粉砂岩与变质板岩不等厚互层。长石杂砂岩、长石砂岩含长石5%~10%,云母2%~3%,长石为次棱角

状一次圆状,分选中等至差,往西北部变为细粒石英杂砂岩、细粒石英砂岩、石英粉砂岩与变质板岩不等厚互层,其长石急剧减少或无,石英陆屑变细圆,呈次圆状—圆状。砂岩、粉砂岩:板岩为4~5:1。笔者等在桃江松木塘等地在周家溪组底部首次发现数层2~4 cm 斑脱岩,其锆石年龄为 $442.8 \pm 1.8$  Ma (Liu Wei et al., 2020),应为兰多弗里世鲁丹期产物。上段为灰绿色、黄绿色变质薄中层石英细砂岩、石英粉砂岩,少量中薄层细砂岩与变质板岩不等厚互层,砂岩、粉砂岩:变质板岩为2~3:1,局部1:1。总体由其下段到上段陆屑有厚、多、粗到薄、少、细的明显变化,长石和云母含量也相应有多到少甚至无的明显变化,反映水动力由下到上逐渐减弱。西北前缘安化—溆浦为该洋盆的沉降沉积中心,其周家溪组厚达2000~4000 m,其洋盆南东后缘各地只厚930~1907.1 m。周家溪组化石只在变质板岩

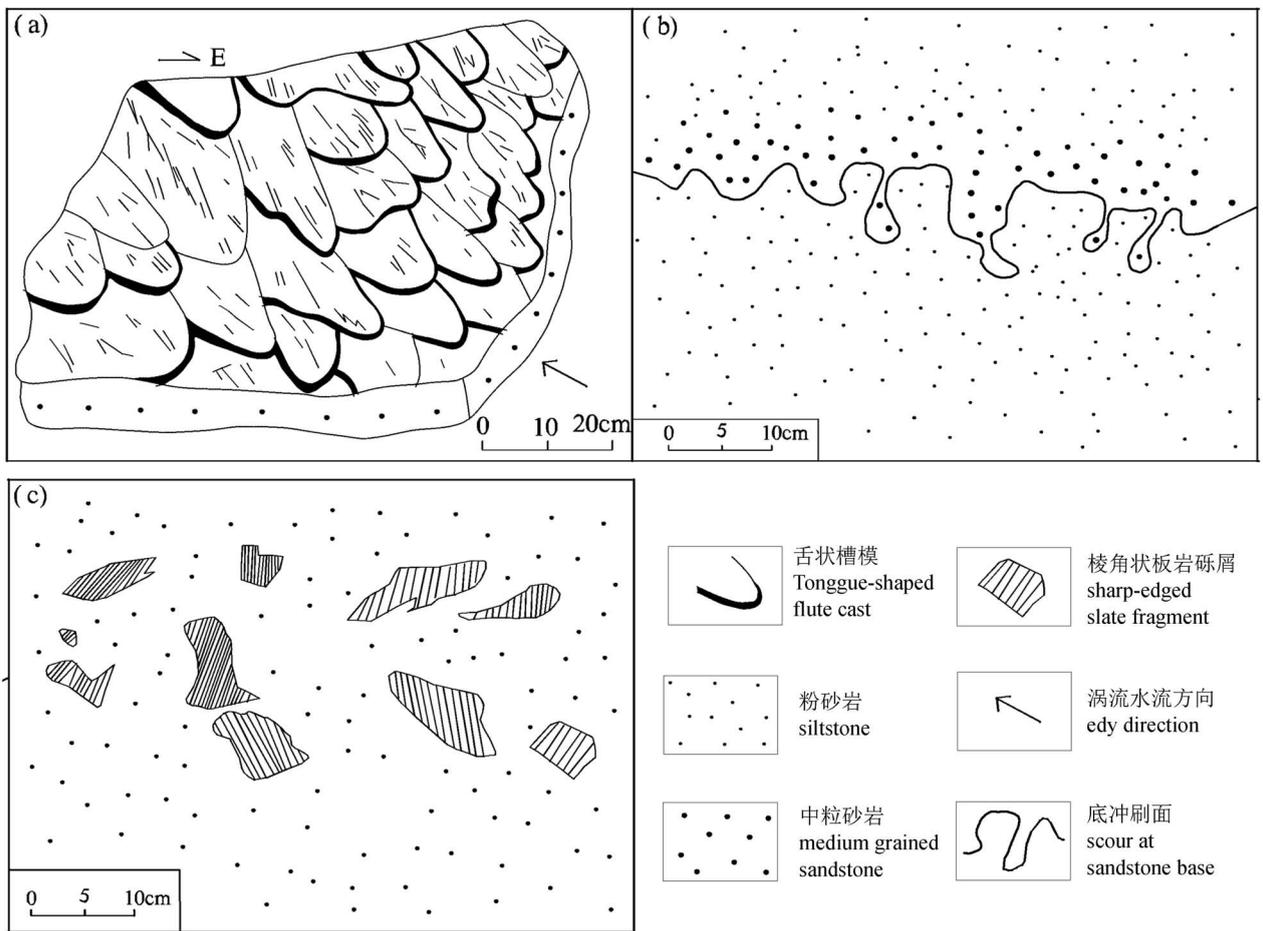


图4 洞口石下江夏洋壳板块兰多弗里统周家溪组沉积特征:(a) 砂岩底面舌状槽模;

(b) 砂岩底冲刷;(c) 大浪将板岩冲散成棱角状砾屑

Fig. 4 Sedimentary characteristics of the Llandovery Zhoujiaxi Formation at Shixiajiang area, Dongkou County, on the COCB;

(a) Tongue-shaped flute cast at sandstone base; (b) scour at sandstone; (c) sharp-edged rubble

中见有较多浮游笔石,少量浮游三叶虫,偶见舌形贝。浮游笔石均完整地平躺在岩层面上,反映为十分宁静的深水还原环境。周家溪组在厚层块状砂岩、粉砂岩底部发育舌状和肾状等形态多样的槽模和沟模,湘中洞口石下江(图3)见有舌形槽模(图4a),舌形槽模舌尖指向南东方向,其指示陆屑由南东向北西搬运沉积,即由南东天马山组组成的褶皱山地提供;在杂砂岩、砂岩底部出现波状起伏的底冲刷,冲刷面之上为中粒砂充填,而冲刷面下伏层为粉砂充填(图4b);有时在搬运粗陆屑水动力很大时,将下伏板岩冲刷破碎后,尖棱状板岩砾屑散落在砂岩底部(图4c)。杂砂岩、砂岩、粉砂岩中平行层理和粒序层理发育(刘宝珺,1982;刘宝珺等,1993,1994),而板岩中水平层理、微细水平层理发育,岩石中还原黄铁矿呈星点状或微细层理产出。砂岩、粉砂岩与板岩组成ae、abcde、ad、acde等鲍马序列十分发育。从水平方向看,周家溪组洋盆南东后缘陆屑相对粗,而洋盆北西前缘相对细,说明陆屑由南东湘中南褶皱山地提供。总体看来,依据岩石沉积特征、陆屑粗细变化和含有浮游笔石、浮游三叶虫,可以判定周家溪组为洞口—周家溪陆屑浊积深水盆地相(Ⅱ)(图3)(王根贤等<sup>①②③</sup>;刘宝珺等,1993,1994;周名魁等,1993;李志明等,1997)。由于湘中南的华夏洋壳板块上奥陶统天马山组已褶皱造山,造成华夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆明显向北西退缩230~240 km,使残留的华夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆中的周家溪组地表残留宽度只有>130~140 km(图3),不包括其下插到扬子陆壳板块之下部分的宽度。

采集湘中新化炉观华夏洋壳板块兰多弗里统鲁丹阶周家溪组的新鲜石英(Qm)、长石(钾长石、斜长石)(F)和变晶岩屑+石英(Lt)作Dickinson物源判别图(图5)(Dickinson et al., 1983;刘宝珺等,1993;周名魁等,1993),从图5清晰看出周家溪组所有石英、长石和岩屑样品都落在D区,即石英再旋回造山带物源区,显然周家溪组石英等陆源碎屑是由南东毗邻的湘中南褶皱山地提供。从区域地质资料也证实,从华南最南东的广东沿海前寒武纪褶皱山地的石英被剥蚀,后沉积到华夏洋壳板块寒武纪洋盆中;稍后到寒武纪末褶皱造山,其中石英又被剥蚀沉积到华夏洋壳板块晚奥陶世沉积洋盆中的天马山组;随后天马山组洋盆中石英又被褶皱造山,其再次被剥蚀沉积到华夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆中的周家溪组,显然华夏洋壳板块兰多弗里

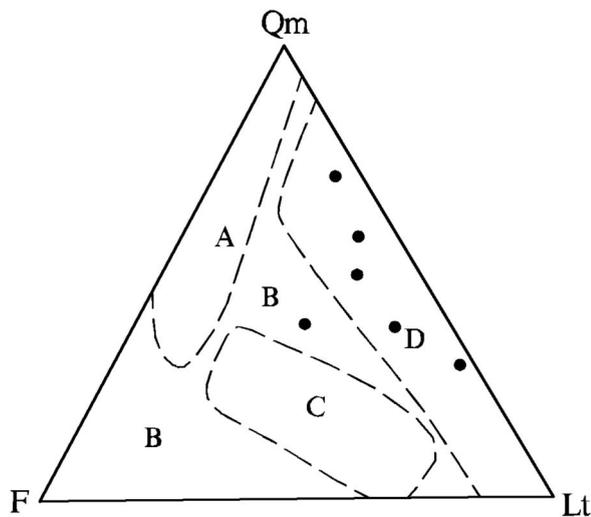


图5 新化炉观华夏洋壳板块兰多弗里统周家溪组( $S_{1z}$ ) Dickinson 物源判别图(底图据 Dickinson et al., 1983;周名魁等,1993)

Fig. 5 Provenance discriminating diagram for the Llandovery Zhoujiaxi Formation at Luguan area, Xinhua County (after Dickinson et al., 1983; Zhou Mingkui et al., 1993#)

A—大陆块物源区; B—深成基地与岛弧根部合并区;  
C—岩浆弧物源区; D—再旋回造山带物源区

A—continental provenance; B—pooled provenance of hypobatholithic zone and arc root; C—magmatic arc provenance; D—provenance of recycle orogenic belt

统周家溪组中的石英,至少经历寒武纪、晚奥陶世和兰多弗里世鲁丹期,从褶皱山地到沉积洋盆三次石英再旋回沉积的产物。

自安化向南东,近处为兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆,远处为上奥陶统天马山组组成的湘中南褶皱山地,由北西到南东组成板块构造典型的盆—山构造体系(图3),这与藏北和东昆仑加里东期板块构造的盆—山构造体系可以对比(许志琴等,2004b;刘和甫等,2004),板块A型俯冲碰撞结果是盆地消失和山系形成(郭令智等,2003)。

### 3.3 扬子陆壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆即华夏洋壳板块前陆盆地(Ⅲ)

位于湖南北西部,分布在北东、北北东向桃江—白马山—苗儿山一线北西,从板块构造属华夏洋壳板块前陆盆地(何登发等,1996;尹福光等,2001)(图3)。其南东与华夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期沉积洋盆相邻。在该前陆盆地沉积了兰多弗里统鲁丹阶龙马溪组( $S_{1l}$ ),由北东向桑植—石门北—石首一线为界又细分为南东龙马溪组上陆棚相(Ⅲ-1)及

北西的龙马溪组下陆棚相(Ⅲ-2)(图3)。

龙马溪组下部为黑色页岩、炭质页岩,少量硅质页岩夹细粒石英砂岩、粉砂岩;上部为灰绿色、黄绿色页岩,钙质页岩夹中薄层石英粉砂岩,少量石英细砂岩。在该前陆盆地北西前缘龙马溪组上部夹4~36 m浅灰色生物(屑)灰岩,灰岩呈薄层或扁豆体。龙马溪组页岩中产丰富浮游笔石,而在上部夹生物(屑)灰岩中出现较多的底栖生物:腕足类、腹足类、双壳类、介形类、三叶虫、四射珊瑚、床板珊瑚和藻类及海百合等(王根贤等<sup>①②</sup>;林宝玉等,1998)。龙马溪组页岩水平层理和微细水平层理发育,岩石中出现较多呈星点状或微细层理状黄铁矿,在砂岩、粉砂岩中见有交错层理和波痕。龙马溪组下部为黑色页岩、硅质页岩,黄铁矿更常见,浮游笔石更丰富,故其下部是较闭塞和缺氧的还原环境,而其上部出现较多灰色、浅灰色薄层生物(屑)灰岩,各类底栖生物较多,黄铁矿少见,其上部是相对通畅、氧气较多的较开阔环境,在局部有利地带形成小型礁滩,反映其下部到上部海水变浅。其岩性变化:该前陆盆地南东后缘临湘五里牌龙马溪组下段见长石石英砂岩,长石呈次棱角状一次圆状,长石含量7%~9%,云母1%~2%。又在该前陆盆地南西后缘保靖复兴场在龙马溪组下部夹有2~3层中粗粒、粗粒中厚层石英砂岩。而到该前陆盆地北西前缘龙山—桑植北—监利一线龙马溪组则变为页岩、钙质页岩夹中薄层粉砂岩、少量薄层石英细砂岩(图3)。因而在该前陆盆地南东后缘保靖复兴场—张家界北郊—石门袁湖峪一线到该前陆盆地北西前缘龙山—桑植北—监利一线龙马溪组陆屑有厚、多、粗迅速变为薄、少、细的明显变化,反映陆屑是由南东方向华夏洋壳板块兰多弗里世鲁丹期洋盆沉积的周家溪组北西前缘提供的(图3)。对扬子陆壳板块龙马溪组及整个志留系区域研究(湖北省地质矿产局区域地质测量队<sup>③</sup>;彭松柏等<sup>④</sup>)由湘西到鄂西,龙马溪组及整个志留系石英陆屑也是由粗变细。在该前陆盆地南东后缘保靖复兴场—张家界北郊—石门袁湖峪为前陆盆地沉降沉积中心,其厚分别为869.3 m、1000 m和997 m,往北西前缘到龙山—桑植北—监利一线迅速变薄为250~350 m,在黔北东印江合水最薄120.7 m。根据上述种种情况,将该前陆盆地龙马溪组南东沉降沉积中心划为保靖—岳阳上陆棚相(Ⅲ-1)(图3),而该前陆盆地北西前缘划为龙山—根子山下陆棚相(Ⅲ-2)(图3)。从龙马溪组开始,该前陆盆地南东后缘水浅,而该前陆盆地北西前缘水深,华南洋流

(殷鸿福等,1999;许华等,2016;覃小锋等,2017)由北西向南东流(图3)。区域上此时扬子陆壳板块北西部出现川滇古陆、南西边出现滇黔桂古陆(包括黔中古陆)、在四川中部出现川中古陆等(贵州省地质矿产局,1987;四川省地质矿产局,1991;刘宝珺等,1993,1994;周名魁等,1993),反映龙马溪组沉积洋盆即前陆盆地明显缩小。

## 4 湖南志留纪兰多弗里世埃隆期岩相古地理

图6可见南东到北西有4个古地理单元:南东部为华夏褶皱山地(湘中南部分)(Ⅰ);中部为雪峰造山带(Ⅲ),在南东部和中部之间为北东、北北东向弧形桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带(Ⅱ);北西扬子陆壳板块兰多弗里世埃隆期沉积洋盆,从板块构造属华夏洋壳板块弧后前陆盆地(Ⅳ)。该弧后前陆盆地又细分为3个次级古地理单元,南东小河坝组三角洲相(Ⅳ-1),中部小河坝组滨海相(Ⅳ-2),北部石牛栏组开阔台地相(Ⅳ-3)(图6、图10)。

### 4.1 华夏褶皱山地(湘中南部分)(Ⅰ)

从图6看出华夏褶皱山地从南东到北西有三个褶皱山地组成:其南东部为华夏洋壳板块寒武系褶皱山地(Ⅰ-1),其分布在北东东向桂北东恭城马林源—湘南江永桃川—赣南崇义—一线南东东的湘南、赣南、桂北及粤北(图6)。在江永源口下泥盆统源口组( $D_1y$ )高角度不整合在华夏洋壳板块中寒武统茶园头组( $C_2c$ )之上(王根贤,1979;湖南省地质矿产局,1988,1997)(图7a),在茶园头组之上没有华夏洋壳板块的奥陶系和志留系,这说明在晚寒武世末受华夏洋壳板块大规模水平俯冲使华夏洋壳板块本身成为寒武系褶皱山地;其中部为华夏洋壳板块上奥陶统天马山组( $O_3t$ )褶皱山地(Ⅰ-2)(图6),前已涉及双峰天马山中泥盆统跳马涧组角度不整合在华夏洋壳板块上奥陶统天马山组之上(图1),天马山组之上没有兰多弗里统到普里多利统( $S_1-S_4$ )沉积,说明在晚奥陶世末受华夏洋壳板块水平俯冲使华夏洋壳板块本身的上奥陶统天马山组等褶皱造山;其北西部为华夏洋壳板块兰多弗里统周家溪组褶皱山地,其分布在北东向双峰天马山—兴安田林口一线北西及东北、北北东向桃江—白马山—苗儿山—一线南东(Ⅰ-3)(图6)。到兰多弗里统龙马溪组顶部 *Coronograptus cyphus* 笔石带末即大约  $440.8 \pm 1.2$  Ma 时,发生华夏洋壳板块向北西扬子陆壳板块大规模水平俯冲和最终强烈碰撞。使华夏洋壳板块



图6 湖南志留纪兰多弗里世埃隆期岩相古地理图

Fig. 6 Sketch map showing the Silurian Siahopan lithofacies and paleogeography in Hunan

I—华夏褶皱山地(湘中南部分); I-1—华夏洋壳板块湘南寒武系(ε)褶皱山地, I-2—华夏洋壳板块湘中南上奥陶统天马山组褶皱山地, I-3—华夏洋壳板块湘中兰多弗里统周家溪组( $S_{1z}$ )褶皱山地; II—桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带; III—加里东期雪峰造山带; IV—华夏洋壳板块弧后前陆盆地: IV-1—保靖—石门三角洲相, IV-2—龙山—根子山滨海相, IV-3—龙池河开阔台地相

I—Southcentral Hunan part of the Cathaysia fold mountain land (CFML); I-1—the Cambrian (ε) CFML of southern Hunan on the COCB, I-2—the Upper Ordovician Tianmashanian CFML of SC Hunan on the COCB, I-3—the Llandoivian Zhoujiaxian CFML on the COCB; II—plate collision zone of Taojiang—Baimashan—Miaoershan; III—Caledonian Xuefengian orogenic zone; IV—retroarc foreland basin on the COCB; IV-1—delta facies of Baojing—Shimen, IV-2—littoral facies of Longshan—Genzishan, IV-3—open platform facies of Longchihe area

积。至此华夏洋壳板块的寒武系褶皱山地、上奥陶统天马山组褶皱山地和兰多弗里统周家溪组褶皱山地三者都已拼成一体。到兰多弗里早世之后在整个华夏洋壳板块范围内,除桂南东—粤西残留的钦防海槽内有兰多弗里世到普里多利世( $S_1$ — $S_4$ )沉积外,整个华夏洋壳板块范围内都被褶皱造山成为统一的华夏褶皱山地,从而使华夏洋壳板块沉积洋盆完全关闭,结束了华夏洋壳板块从南华纪—兰多弗里世早期(鲁丹期)(Nh— $S_1^1$ )漫长的地质发展演化历史(王根贤等<sup>1②③</sup>, Wang Genxian et al., 1996; 刘钟伟等<sup>④</sup>)(图6、图10)。

#### 4.2 北东、北北东向弧形桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带(II)

在兰多弗里统龙马溪组顶部 *Coronograptus cyphus* 笔石带末即大约  $440.8 \pm 1.2$  Ma 时,受古西太平洋板块驱动,发生了华夏洋壳板块大规模向北西扬子陆壳板块水平俯冲和最后碰撞,其具体表现在形成了北东、北北东向弧形桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带(II)(图6)(尹赞勋, 1973; 许靖华等, 1987; 王根贤等<sup>1②</sup>; 王根贤等, 1996; Wang Genxian et al., 1996; 刘钟伟等<sup>④</sup>; 刘宝珺等, 1993, 1994; 饶家荣等, 1993, 1996, 2012; 郭令智等, 2003; 许志琴等, 2004a; 彭松柏等<sup>⑤</sup>; 肖庆辉等, 2016; 陆松年等,

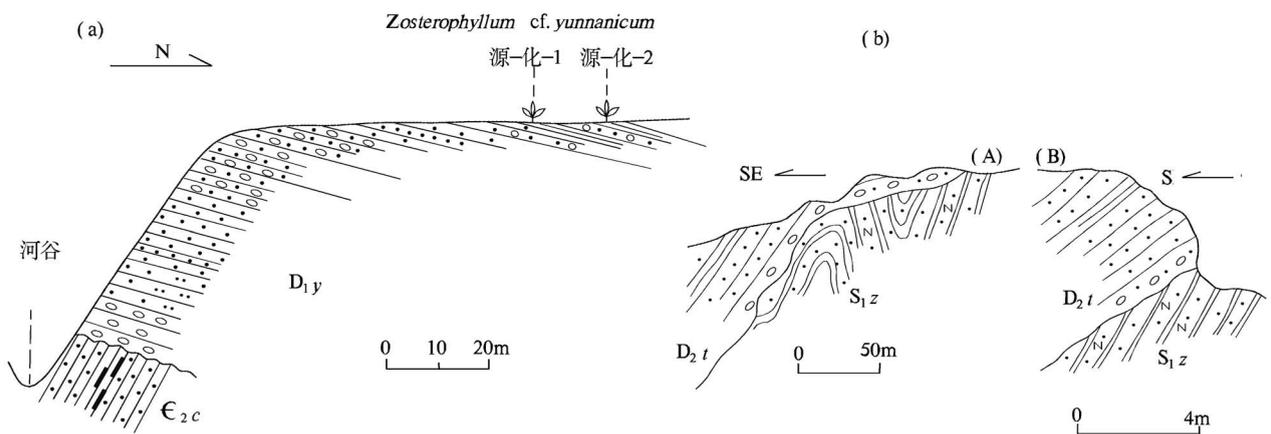


图7 (a) 江永源口下泥盆统源口组( $D_{1y}$ )高角度不整合在华夏洋壳板块中寒武统茶园头组( $E_{2c}$ )之上(引自王根贤, 1979); (b) 安化清塘铺跳马涧组( $D_{2t}$ )高角度不整合在华夏洋壳板块紧密褶皱的周家溪组( $S_{1z}$ )之上(引自侯光久等, 1998)

Fig. 7(a) The Lower Devonian Yuankou Formation ( $D_{1y}$ ) overlying with high-angular unconformable contact on the Middle Cambrian Chashutou Formation ( $E_{2c}$ ) at Yuankou area, Jiangyong County, on the COCB (after Wang Genxian, 1979); (b) the Tiaomajian Fm. overlying with high-angular unconformable contact on the tightly folded Zhoujiaxian Formation at Qingtangpu area, Anhua County, on the COCB (after Hou Guangjiu et al., 1998&)

2016),其位于整个钦杭板块碰撞带的南西端,其向北东与江西九岭山地相接,向南西与广西大瑶山地、云开山地相接。在该碰撞带上出现了桃江松木塘、新化炉观、洞口林家溪、安化上升村和溆浦两河口五处板块碰撞形成的构造混杂堆积(冯益民等,1980;王根贤等<sup>①②</sup>;刘钟伟等<sup>③</sup>),在湘中新化炉观(图6)野外露头上清晰看到华夏洋壳板块兰多弗里统周家溪组坚硬的石英杂砂岩、石英砂岩等水平挤插到扬子陆壳板块上奥陶统盆地相五峰组柔软的笔石页岩中,五峰组笔石页岩被水平挤压呈褶皱和断层,使其岩石极为破碎。同时在该板块碰撞带上出现了同碰撞型桃江、白马山、苗儿山三坨加里东期花岗岩体(图6)(王根贤等<sup>①②③</sup>;刘钟伟等<sup>④</sup>)。桃江岩体(422 Ma)(湖南地质矿产厅区域地质调查所,1995)侵位在该板块碰撞带东部,在北西向安仁—常德转

换断裂(饶家荣等,1993,1996,2012)与该板块碰撞带的交汇点上,桃江岩体呈北西向延伸到岩坝桥小岩体,显然受该北西向安仁—常德转换断裂控制,岩坝桥小岩体已侵入到雪峰造山带 Pt 老地层中(图6)。白马山岩体(438 Ma)(陈卫锋等,2007)侵位在该板块碰撞带中部(图6),它侵入到早古生代地层,尤其该岩体南、北部均侵入到华夏洋壳板块兰多弗里统周家溪组中,在该岩体南东部还见由周家溪组组成的残留顶盖,又在该岩体东部见到中泥盆统跳马涧组沉积覆盖在白马山花岗岩体之上(图8)。苗儿山岩体(435 Ma)和越城岭岩体(438 Ma)(柏道远等,2014b;程顺波等,2016)都侵位于该板块碰撞带南西端(图6)。东北、北北东向弧形桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带属主动型走滑深大断裂带(王根贤等<sup>①②③</sup>;Wang Genxian et al., 1996;刘钟伟

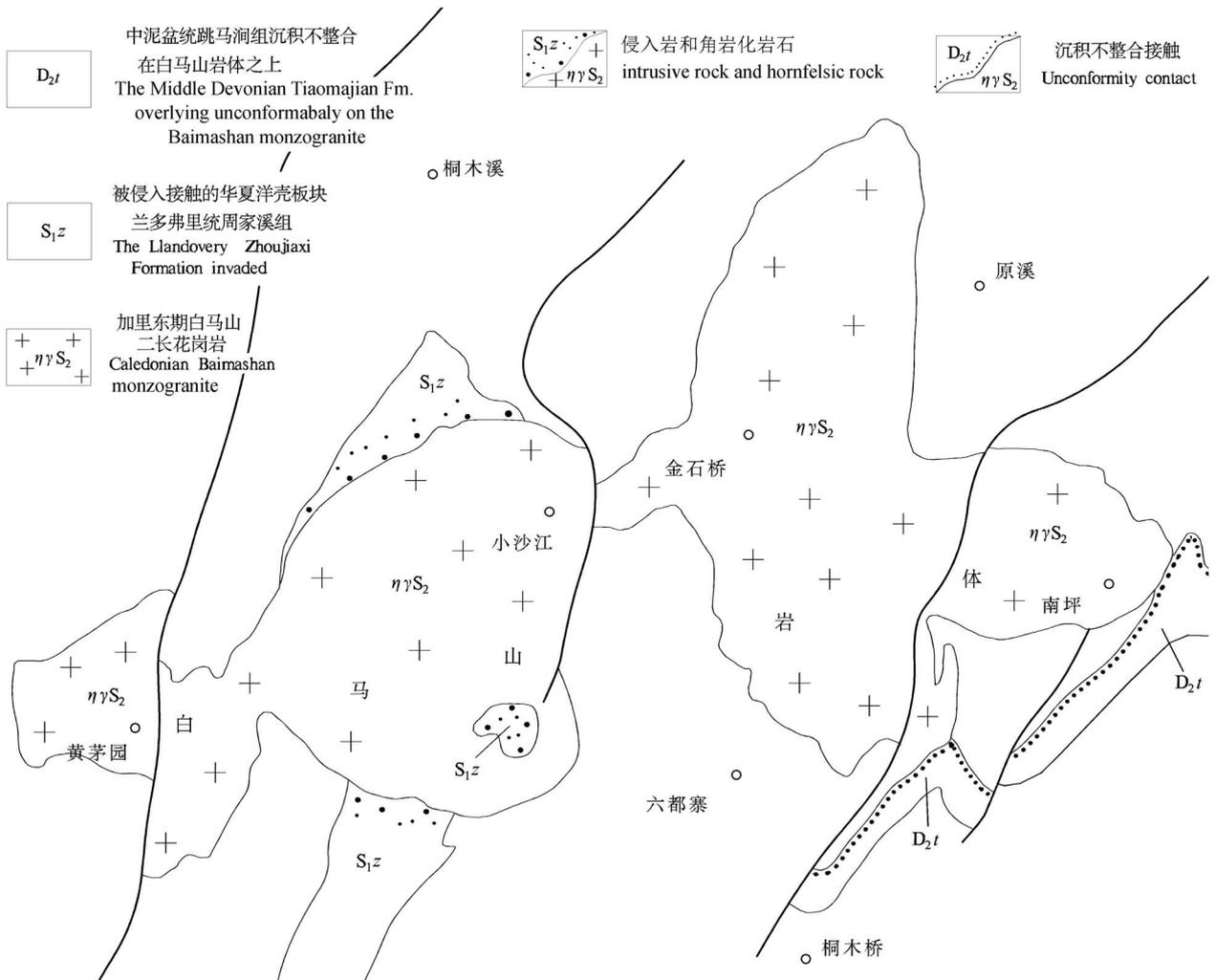


图8 加里东期白马山二长花岗岩体(ηγS<sub>2</sub>)地质略图

Fig. 8 A simplified geological map showing Caledonian Baimashan monzogranite (ηγS<sub>2</sub>)

等<sup>①</sup>;刘宝珺等,1993,1994),垂直于桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带的湖南凤凰—茶陵深部物探剖面资料(饶家荣等,1993,1996,2012)确定的加里东期桃江—城步板块碰撞带与本文确定的桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带位置完全一致(图 6),而且深部物探资料又证实该板块碰撞带是切穿岩石圈到达上地幔(王根贤等<sup>①②</sup>,Wang Genxian et al.,1996;刘钟伟等<sup>①</sup>;饶家荣等,1993,1996,2012;刘宝珺等,1993,1994),物探资料还证实该板块碰撞带北西(即扬子陆壳板块)和南东(即华夏洋壳板块)的深部岩块性质截然不同,北西(即扬子陆壳板块)为稳定的刚性地幔块体,而南东(即华夏扬子板块)为活动的塑性地幔块体。在华夏洋壳板块与扬子陆壳板块强烈碰撞时,在其两侧的华夏洋壳板块北西前缘、扬子陆壳板块南东前缘及雪峰造山带也相应产生了一系列北东、北北东向切穿岩石圈并到达上地幔的深大断裂(王根贤等<sup>①②</sup>;刘钟伟等<sup>①</sup>;饶家荣等,1993,1996,2012;方维萱等,2002a),同时还产生北西向切穿岩石圈到达上地幔的安仁—常德和郴州—邵阳等转换断裂及次级北西向断裂(饶家荣等,1993,1996,2012)。北东、北北东向切穿岩石圈到达上地幔深大断裂成为上地幔含有金、锑、钨、铜和铅、锌、汞等多种金属元素的火山岩浆上涌、侵入或喷出理想的导矿构造,而北西向转换断裂及次级北西向断裂成为理想的容矿构造(王根贤等<sup>①②</sup>;刘钟伟等<sup>①</sup>;刘宝珺等,1993,1994;饶家荣等,1993,1996,2012)。

#### 4.3 加里东期雪峰造山带(III)

在洋壳板块向陆壳板块俯冲碰撞时,沿着陆壳板块前缘形成造山带(Jordan et al.,1981,1995;杨永泰,2011)。在加里东期华夏洋壳板块向北西扬子陆壳板块俯冲碰撞时,华夏洋壳板块以 A 型俯冲形式下插到扬子陆壳板块南东前缘之下,使扬子陆壳板块南东前缘崛起形成拥有苏宝顶主峰(1934 m)(图 6)高耸的雪峰造山带(图 6、图 10)(许靖华等,1987;王根贤等<sup>①②③</sup>,Wang Genxian et al.,1996;刘钟伟等<sup>①</sup>;舒良树等,1993,2006;贾宝华等,1994,2005;丘元禧等,1997;侯光久等,1998;顾雪祥等,2003;许志琴等,2006;丁道桂等,2007;杨经绥等,2010;柏道远等,2014a;徐先兵等,2015)。它位于整个江南造山带的西南段。其呈北东—北北东弧形带状醒目地横跨在北西扬子陆壳板块和南东华夏洋壳板块之间,其弧形凸向北西,弧顶在安化。其北西边界在临湘南—常德北—张家界—保靖—麻栗场—铜

仁一线南东,其南东边界在北东—北北东向弧形桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带之北西(图 6、图 10)(王根贤等<sup>①②③</sup>;刘钟伟等<sup>①</sup>;柏道远等,2014a)。雪峰造山带将岩石圈深部的古元古代连云山岩群、涧溪冲岩群结晶基底及新元古代冷家溪群( $Pt_3ln$ )褶皱基底和新元古代板溪群( $Pt_3bn$ )—志留系(S)沉积盖层一起崛起到地表(贾宝华等,1994,2005),现板溪群之上南华纪—志留纪(Nh—S)地层迅速被风化剥蚀和去顶已不复存在(马文璞等,1995)(图 9a)。另外加里东期华夏洋壳板块向扬子陆壳板块强烈俯冲和强烈碰撞时,更激活雪峰造山带深部上地幔携带富含金、锑、钨和铜等热液成矿物质的火山岩浆沿着北东、北北东向切穿岩石圈到达上地幔深大断裂上涌、侵入和喷出到雪峰造山带上的古元古代、元古代老地层中,由于有古元古代、元古代老地层成分和地幔成分混熔形成钙碱性系列—拉斑系列火山岩和岩浆岩(刘钟伟,1994;张旗等,1999;贾宝华等,2005;邓晋福等,2015),它们显然属大陆火山岛弧,简称岛弧(殷鸿福等,1999;覃小锋等,2017)。以往将它们全部视为前寒武纪产物,可喜的是近年在雪峰造山带范围内也从前寒武纪火山岩和岩浆岩中剥离出一系列加里东期测试年龄,在雪峰造山带东北部古元古代连云山岩群斜长角闪岩等用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法做出加里东期  $433.2 \pm 8.4$  Ma 和  $434.6 \pm 9.2$  Ma 等年龄,在古元古代涧溪冲岩群斜长角闪黑云母岩用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法做出加里东期  $429 \pm 10$  Ma、 $443 \pm 11$  Ma 等年龄,在益阳石咀塘侵入或喷出到晚元古代冷家溪群的玄武质科马提岩用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法做出加里东期  $439 \pm 11$  Ma 和  $434 \pm 11$  Ma 等年龄(以上年龄数据均根据贾宝华等 2005 年的测试成果)。在著名的大型沃溪金锑矿床白钨矿(彭建堂等,2003)用 Ar-Ar 法测得加里东期 430 Ma 和 422 Ma 等年龄,在雪峰造山带北西侧 Pt 老地层伊利石(胡召齐等,2010)用 K-Ar 法做出加里东期 419 Ma 等年龄。上述地质年龄均客观证实雪峰造山带古元古代、元古代老地层被侵入和喷发的相当数量的火山岩和岩浆岩是加里东期产物,更重要是雪峰造山带也是加里东期的产物。在弧后前陆盆地小河坝组出现闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿和铬铁矿等岩浆热液形成的重矿物及蓝闪石、辉石、角闪石等不稳定重矿物等都是由其南东直接毗邻的雪峰造山带提供的。涂光炽等(1989)早已分析指出,雪峰造山带成矿年龄为 800~400 Ma,主要成矿期在 400 Ma 左右。贾宝华等

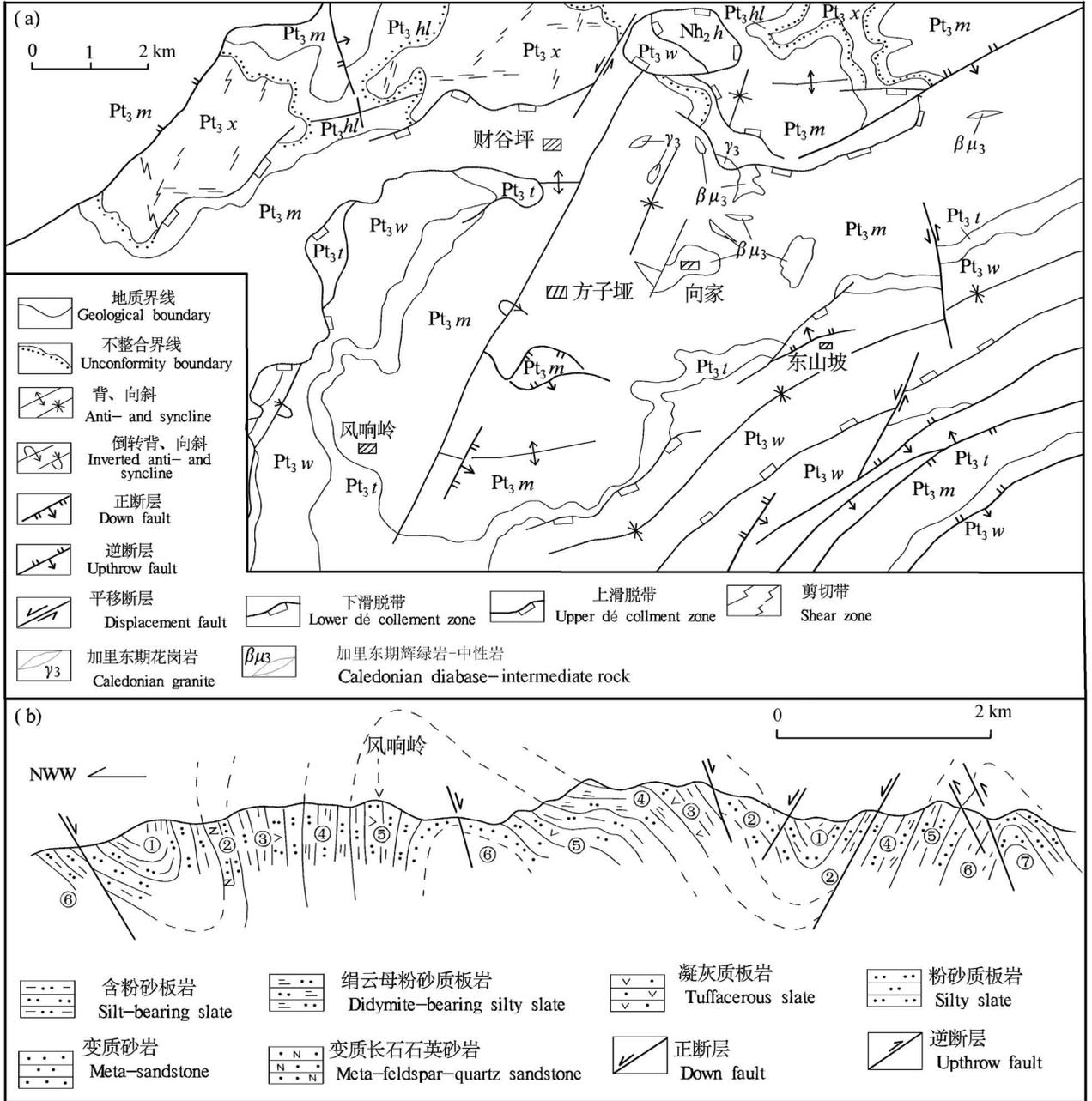


图9 (a) 沅陵方子垭地区地质构造简图; (b) 沅陵方子垭地区地质构造剖面图(图9a,b据侯光久等,1998,修改)

Fig. 9 (a) Sketch map showing the geologic structure at Fangziya area, Yuanling County; (b) sketch map showing geological structure profile at Fangziya area, Yuanling County (modified from Hou Guangjiu et al., 1998&)

(b)图: ①~② 板溪群五强溪组:① 二段, ② 一段; ③ 板溪群通塔湾组; ④~⑦ 板溪群马底驿组: ④ 五段, ⑤ 四段, ⑥ 三段, ⑦ 二段  
 Fig. (b): ①~② The Wuqiangxi Formation, Banxi Group, Neoproterozoic:① the 2nd Member, ② the 1st Member; ③ The Tongtawan Formation, Banxi Group, Neoproterozoic; ④~⑦ The Madiyi Formation, Banxi Group, Neoproterozoic: ④ the 5th Member, ⑤ the 4th Member, ⑥ the 3rd Member, ⑦ the 2nd Member

(2005)也认为雪峰造山带最后定型和相应金、锑、钨、铜和铅、锌、汞等矿床最后定型都是在加里东期完成的,现已查明雪峰造山带有加里东期沃溪等大型金锑矿5处,中型20处(张理刚,1985;刘英俊等,

1989;涂光炽等,1989;毛景文等,1997;陈柏林,2001;顾雪祥等,2003),累计探明333级300t以上金资源储量。还应强调在小河坝组重砂样二次出现蓝闪石(王国茹等,2011;朱志军等,2012),它是组

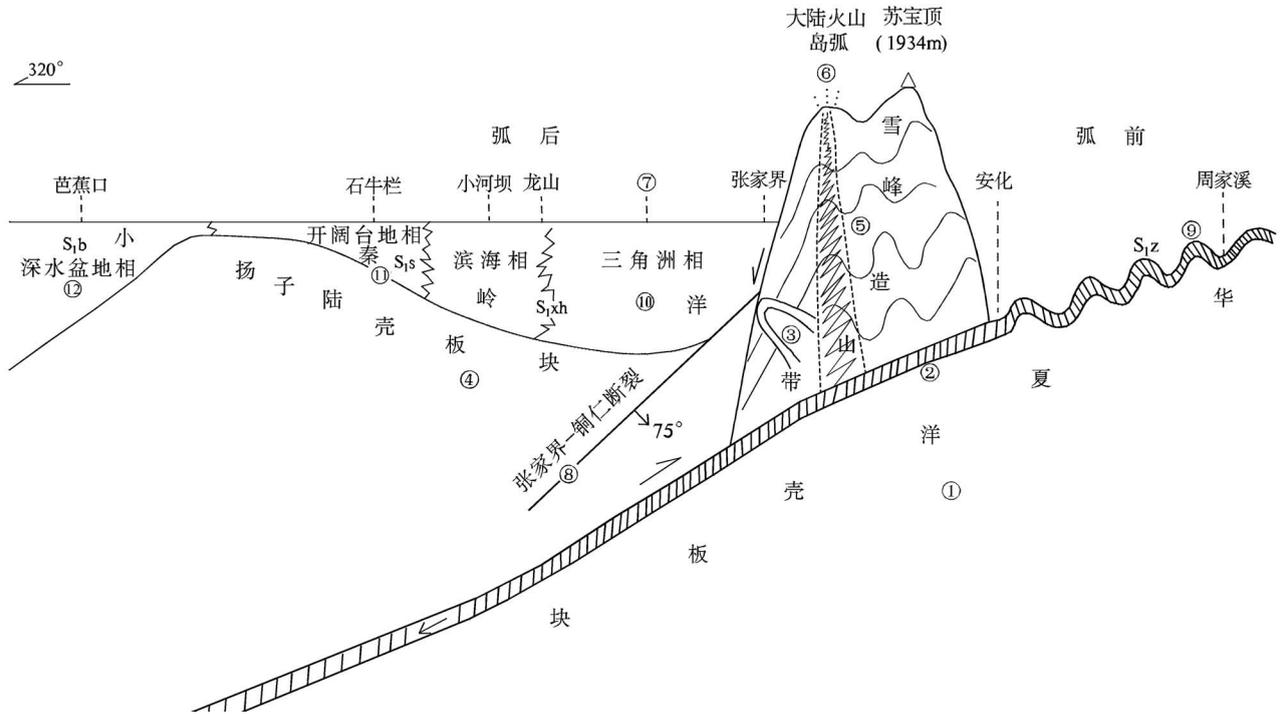


图 10 加里东期华夏洋壳板块与扬子陆壳板块俯冲、碰撞和造山模式图(参考 Allen et al. , 2005)

Fig. 10 Model map showing the subduction—collision—orogeny between the Yangtze Plate (continent crust) and the Cathaysia Plate (ocean crust) (reference to Allen et al. , 2005' s diagram)

- ① 华夏洋壳板块; ② 华夏洋壳板块 A 型俯冲碰撞; ③ 逆冲带; ④ 扬子陆壳板块; ⑤ 加里东期雪峰造山带; ⑥ 大陆火山岛弧; ⑦ 犁形弧后前陆盆地; ⑧ 北东向张家界—铜仁深大断裂; ⑨ 华夏洋壳板块周家溪组 ( $S_{1z}$ ) 褶皱山地; ⑩  $S_{1xh}$  三角洲相—滨海相小河坝组; ⑪  $S_{1s}$  开阔台地相石牛栏组; ⑫  $S_{1b}$  深水盆地相斑鸠关组

- ① Cathaysia oceanic crust plate; ② A-type subduction—collision on the COCP; ③ obduction zone; ④ Yangtze continental crust plate; ⑤ Caledonian Xuefeng orogenic zone; ⑥ continental volcanic arc; ⑦ plow-shaped retroarc foreland basin; ⑧ NE-trending Zhangjiajie—Tongren deep rupture; ⑨ Zhoujiaxian ( $S_{1z}$ ) fold mountain land on the COCP; ⑩ the Siahopa Formation ( $S_{1xh}$ ) composed of delta—littoral facies strata; ⑪ the Shiniulan Formation ( $S_{1s}$ ) constituted of open-platform facies strata; ⑫ the Banjiuguan Formation ( $S_{1b}$ ) of deep water basin facies

成蓝闪石片岩的标志矿物,而蓝闪石片岩是低温高压构造岩浆条件下的变质矿物,并在国内外板块构造中屡见不鲜(吴汉泉,1980;周维全等,1982;张思纯等,1983;汤耀庆等,1986;舒良树等,1993)。董申保(1989)指出扬子陆壳板块西北部祁连山有加里东期蓝闪石片岩出现。蓝闪石片岩被视为板块碰撞和形成造山带的重要依据(Condie et al. , 2008;陆松年等,2016)。另据深部物探研究(饶家荣等,1993,2012;方维萱等 2002a、b)在扬子陆壳板块南东被动大陆前缘贵州镇远马坪(贵州省地质矿产局—〇八队<sup>①</sup>)存在太古宙古老板块碰撞带。到加里东期华夏洋壳板块主动向扬子陆壳板块强烈碰撞时,激活了马坪上地幔含金刚石的金伯利岩浆沿马坪古老板块碰撞带上涌、侵入和喷发到扬子陆壳板块南东前缘马坪寒武系第三统一芙蓉统娄山关组

( $\epsilon_{3-4}l$ )白云岩中,侵入为含金刚石的金伯利岩(马大铨,1980;方维萱等,2002a),浅成为钾镁煌斑岩(年龄均值 439.1 Ma)(马大铨,1980;方维萱等,2002b),该 439.1Ma 与加里东期  $440.8 \pm 1.2$  Ma 完全是同一数量级,均是加里东期碰撞年龄,显然金刚石和金伯利岩是公认的在板块强烈碰撞时形成的高温高压的变质矿物。在加里东期华夏洋壳板块与扬子陆壳板块强烈碰撞的结果,不仅在雪峰造山带形成低温高压的蓝闪石片岩,而且在扬子陆壳板块南东被动大陆前缘贵州镇远马坪形成高温高压的金刚石、金伯利岩。在雪峰造山带腹地沅陵方子垭一带(图 6)经研究(侯光久等,1998),从图上(图 9a)看出其南东部由一系列北东、北北东向背斜、向斜及倒转背斜、倒转向斜及逆冲断层组成,这种板块构造形迹与北东—北北东向弧形桃江—白马山—苗儿山板

块碰撞带之南东华夏洋壳板块周家溪组组成的线型紧密复式褶皱和逆冲断层走向完全一致,证明两者是同受加里东期华夏洋壳板块与扬子陆壳板块俯冲和碰撞的产物。在图 9a 中部向家北和北东有一群加里东期花岗岩( $\gamma_3$ )及辉绿岩( $\beta_{\mu_3}$ )侵入和喷出在 Pt 老地层之中。从沅陵方子垭地区构造简图(图 9a)作南东东—北西西图切剖面(图 9b),由该图更具体而形象表现出由华夏洋壳板块与扬子陆壳板块强烈俯冲和碰撞形成的这种北东、北北东向线型紧密复式褶皱,它们又被一系列逆冲断层切割。

#### 4.4 扬子陆壳板块兰多弗里世埃隆期沉积洋盆 即华夏洋壳板块弧后前陆盆地(IV)

弧后前陆盆地发育于弧后的造山带前(Jordan et al., 1981, 1995; 杨永泰, 2011),弧后前陆盆地典型实例在侏罗纪晚世至第三纪早世发育于北美西部沿着东太平洋沿岸南北延伸达数千千米的科迪勒拉山前的弧后前陆盆地。所谓弧后是指造山带上发育有陆壳成分和幔源成分混熔形成钙碱性系列—拉斑系列火山岩或岩浆岩,属大陆火山岛弧,而前陆盆地又在该造山带上的大陆火山岛弧的后缘,因此它就是弧后前陆盆地。雪峰造山带被侵入或喷发的火山岩和岩浆岩是由 Pt 老地层成分和深部幔源成分互相混熔形成的钙碱性系列—拉斑系列火山岩和岩浆岩,应属大陆火山岛弧,简称岛弧(刘钟伟, 1994; 张旗等, 1999; 邓晋福等, 2015)。华夏洋壳板块前陆盆地既在雪峰造山带前,又在大陆火山岛弧后缘,因而此时的华夏洋壳板块前陆盆地就是华夏洋壳板块弧后前陆盆地(图 6、图 10)(何登发等, 1996; 杨永泰, 2011; 朱小辉等, 2014)。该弧后前陆盆地分布在临湘南—常德北—张家界—保靖—麻栗场—铜仁一线北西,即在湘西北地区(图 6、图 10),其南东与高耸的雪峰造山带毗邻。因华夏洋壳板块与扬子陆壳板块大规模俯冲和强烈碰撞,将扬子陆壳板块南东前缘崛起成雪峰造山带,使扬子陆壳板块兰多弗里世埃隆期沉积洋盆即华夏洋壳板块弧后前陆盆地明显向北西退缩到临湘南—常德北—张家界—保靖—麻栗场—铜仁一线,退缩距离为 120~140 km,使此期该弧后前陆盆地大大缩小。

在扬子陆壳板块兰多弗里世埃隆期沉积洋盆即弧后前陆地面上的小河坝组( $S_{1,xh}$ )沉积就是该弧后前陆盆地的第一个沉积盖层。小河坝组下部为灰绿色、黄绿色中厚层、块状云母质石英砂岩、长石石英砂岩、石英粉砂岩、长石石英粉砂岩夹灰绿色、黄绿色粉砂质页岩、泥页岩。在该弧后前陆盆地南西

后缘保靖复兴场(图 6)小河坝组下部夹 1~2 层黑色中厚层中粒、中粗粒砂岩、云母质砂岩。又在该弧后前陆盆地中部后缘张家界温塘的小河坝组底部见厚层含铁锰质石英砂岩。小河坝组上部为灰绿色、黄绿色粉砂质页岩、泥页岩夹灰绿色、黄绿色粉砂岩、见少量中薄层石英细砂岩。在其上部夹有 3.2~40.7 m 薄中层或扁豆体灰岩,局部出现中厚层结晶灰岩、生物(屑)灰岩,砂质灰岩,鲕粒灰岩、瘤状泥灰岩等,其由南东往北西由薄至厚变化。灰岩、生物(屑)灰岩含泥砂由南东往北西由多变少。在其上部生物(屑)灰岩中产丰富底栖生物:腕足类、腹足类、双壳类、三叶虫、海百合等,还见有造礁生物层孔虫、苔藓虫、四射珊瑚和床板珊瑚及藻类,在局部有利地段它们形成小型礁滩。此外还有浮游有孔虫、游泳角石和几丁虫及牙形刺等,在云母质页岩、泥页岩中产少量浮游笔石(林宝玉等, 1998)。在小河坝组砂岩、粉砂岩层面上有丰富而且形态各异的浅水遗迹化石。小河坝组弧后前陆盆地南东后缘是保靖复兴场—张家界温塘—石门袁湖峪沉降沉积中心,其厚 550~650 m,最厚 749 m,但往该弧后前陆盆地北西前缘迅速变薄,仅厚 200~300 m,最薄处重庆黔江两会厚 135 m。从该弧后前陆盆地横切面可看出是南东后缘厚北西前缘薄呈犁形弧后前陆盆地(图 10)。砂岩、粉砂岩层面上浪成波痕十分发育,有对称和不对称波痕。根据几百个不对称波痕和大量交错层理系统测量(朱志军等, 2010, 2012)判断出小秦岭洋流(张思纯等, 1983; 潘桂棠等, 1996; 殷鸿福等, 1999)由北西向南东流。砂岩、粉砂岩层中大型交错层理、鱼骨状交错层理均很发育,厚层块状砂岩、粉砂岩中平行层理和粒序层理发育(刘宝珺, 1982; 刘宝珺等, 1993, 1994),在粉砂质页岩、泥页岩中水平层理和微细水平层理常见。小河坝组岩性变化:由南东后缘中厚层中粗粒云母质石英砂岩、中粗粒石英砂岩向北西前缘迅速变为中薄层粉砂质页岩、泥页岩夹少量薄中层石英粉砂岩,显然由该弧后前陆盆地沉降沉积中心保靖复兴场—张家界温塘—石门袁湖峪一线到北西前缘龙山—桑植北—监利一线,陆屑呈现出由厚、多、粗到薄、少、细的明显变化(图 6)。华夏洋壳板块弧后前陆盆地兰多弗里统埃隆阶小河坝组还出现大量重砂矿物(王国茹等, 2011; 朱志军等, 2012),其中稳定矿物是锆石、榍石、独居石、锐钛矿、白钛矿、电气石、石榴子石和磷灰石等;不稳定矿物是蓝闪石、辉石、角闪石和绿帘石等;沉积岩矿物是赤铁矿、褐铁矿和尖晶石等;岩

浆热液成矿物质是闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿和铬铁矿等。特别应指出二次小河坝组重砂采样分析都出现蓝闪石,样品编号 STW005 蓝闪石含量 0.49%,SQ022 蓝闪石含量 0.43%(王国茹等,2011;朱志军等,2012)。从湘西北—渝南东小河坝组的稳定矿物由南东往北西可搬运到达湘鄂渝黔毗邻地带,甚至更远,只是数量逐渐减少。而不稳定矿物只在该弧后前陆盆地南东后缘分布,而到北西前缘数量极少或无。将小河坝组新鲜石英、长石(钾长石、斜长石)、岩屑作 Dickinson 物源判别图(Dickinson et al.,1983;朱志军等,2012),判断出小河坝组石英、长石和岩屑所有样品都落在石英再旋回造山带区域内,这就证明小河坝组陆屑、岩屑和石英、长石及上面提及的重矿物等都是南东加里东期雪峰造山带及其上大陆火山岛弧提供。从小河坝组沉积相带来看,在该弧后前陆盆地南东后缘陆屑、岩屑等粗杂,分选差,是保靖—石门三角洲相(王泽中,1996)(IV-1)(图6、图10),在该弧后前陆盆地湘鄂渝黔北西前缘陆屑、岩屑等细匀,分选好,过渡为龙山—根子山滨海相(IV-2)(图6、图10)。

石牛栏组( $S_1s$ ):由小河坝组往北东[石门龙池河、鄂西宣恩高罗(湖北省地质矿产局区域地质测量队<sup>①</sup>;葛治洲等,1979)]、北西[渝南纂江观音桥、石牛栏(四川省地质矿产局区一〇七队<sup>②</sup>;金淳泰等,1982)]、南西[黔北东印江合水(贵州省地质矿产局一〇八队<sup>③</sup>;葛治洲等,1979)]三个方向逐渐相变为兰多弗里统埃隆阶石牛栏组。湘西北只在石门龙池河(葛治洲等,1979)一带见有石牛栏组,暂命名为龙池河开阔台地相(IV-3)(图6、图10)。石牛栏组下部为黑色灰质页岩与薄层瘤状灰岩、生物(屑)灰岩互层,上部灰色瘤状灰岩、泥质灰岩、结晶及致密灰岩、生物屑灰岩、介壳灰岩、偶夹黄绿色泥页岩、粉砂质页岩。贵州印江合水(葛治洲等,1979)的石牛栏组上部出现较多黄绿色、灰绿色薄中层含云母粉砂岩、含云母石英细砂岩,这里与湘西北小河坝组毗邻,雪峰造山带上更多泥砂和云母等陆屑遭风化剥蚀后被倾泻到华夏洋壳板块弧后前陆盆地中,又经过湘西北小河坝组被搬运沉积到印江合水的石牛栏组上部。而远离湘西北小河坝组的渝南纂江观音桥、石牛栏等地的石牛栏组的砂泥和云母等陆屑大大减少或无。而灰岩、泥灰岩等盆屑大大增加。由该弧后前陆盆地南东至北西石牛栏组由厚(300~400 m)到薄(150~250 m)。该组产十分丰富底栖生物:腕足类、双壳类、腹足类、三叶虫、四射

珊瑚、床板珊瑚、层孔虫、苔藓虫、海百合等和浮游笔石、几丁虫和牙形刺(林宝玉等,1998)。石牛栏组局部生物灰岩由四射珊瑚、床板珊瑚、层孔虫、苔藓虫及藻类形成更具规模的礁滩(张廷山等,1999;倪超等,2016)。从上述由北东、北西、南西方向的石牛栏组开阔台地相(IV-3)到湘鄂渝黔毗邻区即该弧后前陆盆地北西前缘小河坝组滨海相(IV-2),再到该弧后前陆盆地南东后缘小河坝组三角洲相(IV-1)(图6、图10),显然海水由较深到较浅的变化,当时小秦岭洋流(张思纯等,1983;潘桂棠等,1996;殷鸿福等,1999)流动方向也是由北西流向南东直抵雪峰造山带北西山脚下(图6、10)。

Condie 等(2008)提出判别洋内板块俯冲碰撞和形成造山带的8条板块构造特征的构造岩石组合(表2)。目前多数学者认为蛇绿岩不是判别板块碰撞和形成造山带的唯一标准,还应对洋内8条板块构造岩石组合进行综合判别(Condie et al.,2008;杨永泰等,2011)。

表2 洋内板块构造的构造岩石组合  
(据 Condie et al., 2008)

Table 2 Petrotectonic assemblage of intra-oceanic plate tectonics (after Condie et al., 2008)

| 序号 | 组合        | 广泛分布(Ga) | 首次出现(Ga)   |
|----|-----------|----------|------------|
| 1  | 蛇绿岩       | 1.0      | 3.8        |
| 2  | 岛弧和弧后     | 2.7      | 3.1        |
| 3  | 增生楔和远洋沉积  | ≤1.0     | 2.7(3.8?)  |
| 4  | 前陆盆地      | ≤2.0     | 2.7(3.25?) |
| 5  | 蓝片岩和超高压岩石 | ≤0.1     | 0.85(1.0?) |
| 6  | 被动陆缘      | ≤2.0     | 2.7(2.9?)  |
| 7  | 大陆裂谷      | ≤2.0     | 3.0        |
| 8  | 金属矿床      | ≤2.7     | 3.5~3.4    |

注:引自 Condie et al., 2008; 陆松年等(2016)汉译。

本文已涉及加里东期:存在岛弧和弧后、存在前陆盆地和弧后前陆盆地、存在蓝片岩、扬子陆壳板块南东被动陆缘存在铅、锌、汞和雪峰造山带存在金、锑、钨、铜等多金属矿床,依据存在这5种构造岩石组合,还根据扬子陆壳板块被动大陆南东前缘马坪出现高温高压形成的金刚石和金伯利岩等,笔者等认为华南确实存在加里东期华夏洋壳板块与扬子陆壳板块俯冲碰撞并形成了加里东期北东、北北东向弧形桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带和形成了加里东期雪峰造山带。

## 5 华南洋

对中国南方南华纪—三叠纪岩相古地理系统研

究(刘宝珺等,1993,1994)指出在扬子陆壳板块南东被动陆缘上的留茶坡组、烟溪组等为深水盆地相,其分布在华南洋盆中心,海水最深达3000 m左右。扬子陆壳板块范围内在湘西—黔东南华系大塘坡组锰矿层中(黄慧琼等,1988)、湘西吉首红坪寒武系纽芬兰统晋宁阶原留茶坡组上部(湖南省地质矿产局四〇五队<sup>①</sup>)、江西萍乡下寒武统牛角河组和湘南永州中奥陶统烟溪组(郑宁等,2012)、赣南永新一崇义下、中奥陶统(袁鄂荣等,1992)、湘中中上奥陶统(何垚砚等,2016)、中上扬子上奥陶统五峰组(刘伟等,2010)均在硅质岩中发现放射虫,其中吉首红坪在薄片放射虫保存完好,放射虫数量占薄片视域50%。放射虫是海洋单细胞原生动物,它由硅质放射骨针和硅质硬壳组成,外部被肉体包裹,它营浮游生活方式,能在大洋中漂洋过海,死后沉落到4000 m深的洋底(郑宁等,2012),外部肉体腐烂掉,剩下硅质放射骨针和硅质硬壳,它在现代四大洋(陈木宏等,1996)中比比皆是,并形成硅质放射虫软泥,它是深水大洋的重要生物标志,可见上述从南华纪到晚奥陶世发现的硅质放射虫可说明华南从南华纪到早古生代存在华南洋。

广西大瑶山地位于钦杭板块碰撞带(结合带)上,具体位于湘南苗儿山南西。对大瑶山地岩体深入研究(许华等,2016)确认在大瑶山地南东缘出露规模大小不一的岩株(岩脉)成群成带产出,大致呈北东弧形带状分布。通过对其进行LA-ICP-MS锆石定年、岩石学和地球化学及TTG岩石组合的综合研究,其U-Pb锆石年龄为 $445.9 \pm 1.2$  Ma,属早古生代。岩体属典型的活动大陆边缘弧环境的岩浆岩组合,以壳幔混熔I型花岗岩为主,是大瑶山地南东缘早古生代洋陆俯冲碰撞的地质记录,由TTG组合——花岗闪长岩组合——花岗岩组合所组成,显示玄武岩板片由洋内南东往北西俯冲碰撞,证明华南洋的存在。广西云开山地也位于钦杭板块碰撞带(结合带)上,又具体位于湘南苗儿山更南西,对云开山地中—基性火山岩深入研究(覃小锋等,2017)发现在云开山地沿北东向岑溪—梧州深大断裂两侧出露三处性质截然不同的中—基性火山岩,对它们进行地球化学和年代学研究分辨出:①糯洞镇油茶林场显示与N-MORB型火山岩相似的地球化学特征,测量用斜长阳起石岩锆石年龄 $443.7 \pm 2.2$  Ma;②归义镇洞尾显示与E-MORB型火山岩相似的地球化学特征,测得用斜长角闪岩锆石年龄 $441.3 \pm 2.4$  Ma;③安平镇白板、大爽显示与俯冲带有关

的岛弧型(JAB)火山岩相似的地球化学特征,测得用安山质晶屑凝灰岩锆石年龄 $442.2 \pm 3.7$  Ma。三处分别形成于:①大洋中脊,②弧后盆地,③岛弧环境,这些都是早古生代洋陆俯冲碰撞的地质记录,也证实钦杭板块碰撞带(结合带)存在,云开山地存在早古生代古洋盆(华南洋盆)。

北秦岭二郎坪群(张思纯等,1983)具板块构造的细碧角斑岩,含基性、超基性岩团块,夹有Liosphaeridae、Stylosphaeridae等放射虫和夹有Syringopora等床板珊瑚,它们都是扬子陆壳板块生物地理区系古生代标志化石,上述蛇绿岩测得锆石年龄420 Ma、435 Ma、457 Ma,由此证明这里为典型的早古生代蛇绿岩套。在早古生代小秦岭洋向南西俯冲过程中在小秦岭洋北东岸和小秦岭洋中链状大洋岛弧之间形成东西向或北西向朱阳关—夏馆深大断裂带,沿该断裂带夹杂呈链状分布的基性、超基性岩块,尤其还夹杂残留的蓝闪石、蓝晶石等低温高压矿物。从大区域看,小秦岭洋不仅与华南洋相通,而且与横贯欧亚早古生代原特提斯多岛洋相通。对东特提斯多岛洋研究(潘桂棠等,1996)认为小秦岭洋(又称秦祁昆洋)是遵循多岛弧的造山模式,出现蛇绿岩套可形成小洋盆,它是早古生代原特提斯多岛洋的一部分。对特提斯多岛洋深入研究(殷鸿福等,1999)指出特提斯多岛洋是界于岗瓦纳古陆和欧亚古陆之间的多岛洋盆,它从阿尔卑斯山西界往东一直到古西太平洋入口,东西绵延数千千米。特提斯多岛洋从新元古代到中生代,经历长期多阶段的发展演化,其地块与裂谷、海道,微板块与小洋盆、岛弧,边缘海与海沟多次裂离与聚合的洋陆间的多岛洋盆,中国属特提斯多岛洋范畴。早古生代为原特提斯多岛洋阶段,华南洋是原特提斯多岛洋的一部分,即华夏洋壳板块与扬子陆壳板块之间开阔的洋盆就是早古生代华南洋(图3)。另外扬子陆壳板块与华北陆壳板块之间为早古生代小秦岭洋(图6、图10)。

综上所述,笔者等编制出中国南方在加里东期( $440.8 \pm 1.2$  Ma)华夏洋壳板块向扬子陆壳板块俯冲、碰撞和造山模式见图10。

## 6 对张家界地区小溪峪组时代及特列奇阶地层与上覆地层接触关系的商榷

在张家界地区小河坝组其上还有兰多弗里统溶

溪组( $S_1r$ )、秀山组( $S_{1xs}$ )和志留系小溪峪组( $S_1^3-S_4xx$ ),这些地层都属于华夏洋壳板块弧后前陆盆地的沉积盖层。

2006年和2008年戎嘉余、王怿等考察研究张家界林场小溪峪组剖面,其研究结论(王怿等,2010;戎嘉余等,2019)认为该小溪峪组特列奇阶之上存在沉积间断,与其上地层为假整合接触,缺失文洛克统( $S_2$ ),并存在“特列奇期扬子上升”。根据笔者等和诸多学者多年研究成果与其有不同的结论,故有必要将笔者等和诸多学者研究成果在此提出来进行学术交流和商榷。

笔者等和诸多学者(刘时藩,1983;王根贤等<sup>①②③</sup>;王根贤等,1985,1988,1996;Wang Genxian et al.,1996;张仁杰,1984;潘江,1986;张欣平等,1986;左自璧,1987;耿良玉,1988,1990,1999;Geng Liangyu et al.,1997;王泽中,1996;Peng Shanchi et al.,2005;彭松柏<sup>④</sup>;王成源,2013;王晓飞,2013;赵文金等,2014;林宝玉等,2021)对张家界市张家界林场和温塘两剖面小溪峪组多次考察研究,还对张家界林场小溪峪组剖面(王根贤等,1988)(图11)两次逐层加密系统化石采样,几丁虫、牙形刺、腕足类、双壳类及喙壳类、三叶虫、微古植物、遗迹化石和鱼化石,分别由耿良玉、王成源、戎嘉余、张仁杰、伍鸿基、方晓思、张欣平和刘时藩等鉴定。该组总厚480.13 m。其下段(3层相当于上红层)与下伏1~2层秀山组( $S_1^{xx}$ )为连续沉积、整合接触(王根贤等,1988)(图11),内产几丁虫 *Angochitina longicollis* 牙形刺 *Spathograthodus celloni* (左自璧,1987)和 *Coronocephalus—Stomatograptus—Salopinella—Sichuanoceras* 秀山动物群(王根贤等,1985)。下段3层( $S_1^{xx}$ )其岩性为紫红色、灰绿色中薄层泥质粉砂岩夹薄中层细砂岩,厚22.82 m,产几丁虫 *Angochitina longicollis* (Eisenack,1959)、腕足类、三叶虫、腹足类、双壳类、介形类等,几丁虫属种对应于瑞典 *crenulata* 笔石带下部、其层位应相当于兰多弗里统特列奇阶上部,属于近滨相;其上段下部(4~5层)灰绿色、黄白色中厚层、薄层钙质页岩、钙质粉砂岩夹2~4 cm厚泥质灰岩薄层及透镜体,共厚50.87 m,4层( $S_1^{xx}$ )厚22.82 m内产几丁虫 *Angochitina longicollis* 及丰富腕足类、三叶虫、腹足类、双壳类及喙壳类、海百合和介形虫等。该几丁虫属种对应于瑞典 *crenulata* 笔石带顶部,即相当于兰多弗里统特列奇阶顶部。5层( $S_2^1xx$ )厚41.54 m内产牙形刺 *Apsidognathus ruginosus scutatus* 和几丁虫

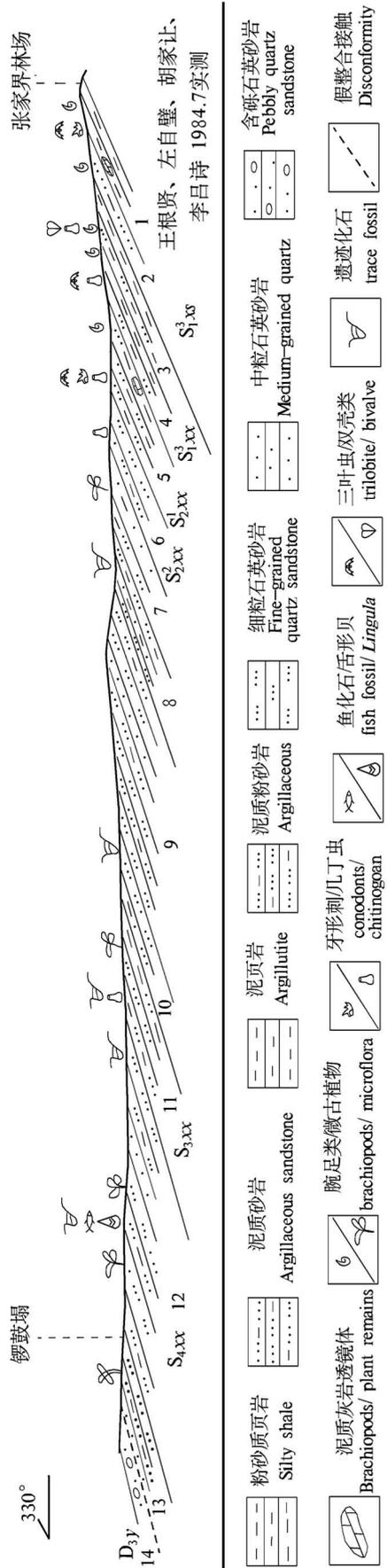


图11 张家界市张家界林场-锣鼓塌志留系小溪峪组( $S_1^3-S_4xx$ )实测剖面图(据王根贤等,1988,测于1984年7月) from Forestry Farm to Luoguta, Zhangjiajie (from Wang Genxian et al., 1988&, measured in July, 1984)

*Angochitina longicollis* 及丰富底栖生物:腕足类、腹足类、双壳类及喙壳类、三叶虫、海百合和介形类等。5层的时代划分有分歧:王成源(2013)认为仍属于兰多弗里世特列奇期,不可能是文洛克世,依据是 Männik (2007)的观点:牙形刺 *Aspidognathus* 属从不越过兰多弗里统一文洛克统的界限。耿良玉认为其时代是文洛克世申伍德期,依据是:在瑞典笔石页岩中已标定:几丁虫 *Angochitina longicollis* 的分布上界是 *riccartonensis* 笔石带(Mullins and Loydell, 2001),而5层正是 *Angochitina longicollis* 分布的最高层位。因此,本剖面 *Coronocephalus*—*Stomatograptus*—*Salopinella*—*Sichuanoceras* 秀山动物群的时代从2层上延至5层,即从特列奇期上部上延穿时至文洛克世申伍德期。4与5层的界限是兰多弗里统与文洛克统的界线。耿良玉还指出:由于现文洛克统底层型剖面的诸多不足,国际地层委员会志留系分会(ISSS)2000年在澳大利亚的Orange会议上决定重新研究文洛克统的底界。目前各国正在寻求候选层型剖面以替代现层型剖面。国际志留系分会(ISSS)一直主张:在新的层型剖面通过之前,暂时维持文洛克统底界的现标准不变,即:笔石划在 *centrifugus* 带之底;牙形刺划在 *amorphognathoides* 带内部。Männik (2007)和王成源(2013)将文洛克阶的底界自行上提到牙形刺 *bicornis* 带的上亚带,即相应上提到了 *murchisoni* 笔石带的下部,比现标准提高了近一个半笔石带。这只是牙形刺一家的主张线,不是法定线。若以此作为划分文洛克统底界的标准,势必将现标准的文洛克统的一部分下移到兰多弗里统上部,从而引起不必要的混乱。4~5层生物相属腕足类 BA<sub>3</sub> 相(Ziegler, 1965; Boucot, 1975)沉积相属混积陆棚相,显示此时这里海水明显加深,达到30~60 m,应是该剖面小溪峪组从兰多弗里世至普里多利世(S<sub>1</sub><sup>3</sup>—S<sub>4</sub>)全过程中海水最深的时段。其上段中部(6~8层)灰绿色、黄绿色粉砂岩、泥质粉砂岩夹细砂岩,共厚95.29 m,6层(S<sub>2</sub><sup>2xx</sup>)厚28.67 m内产几丁虫 *Lambdachitina tabernaculifera* (Laufeld, 1974)等,它在瑞典对应于 *ludensis* 笔石带,可确定6层为文洛克统顶部(S<sub>2</sub><sup>2</sup>),属近滨相。中南地区区域地层对比研究(彭松柏等<sup>⑤</sup>)指出小溪峪组下部和上部为连续沉积、整合接触。志留纪四射珊瑚研究(何心一等,2009)确认 *Protopilophyllum*、*Dentilasma* 两属全球首现在黔北东石阡雷家屯兰多弗里统埃隆阶石牛栏组,在此随后上延到文洛克世(S<sub>2</sub>),并由此经渝南、川北、甘肃、新疆分布到中亚哈萨克斯坦等地文

洛克世至拉德洛世(S<sub>2</sub>—S<sub>3</sub>)。扬子陆壳板块陕南紫阳芭蕉口笔石页岩深水盆地相志留系剖面存在兰多弗里统至文洛克统(Llandovery—Wenlock)连续沉积(傅力浦等,2006, 2009;王健等,2009),其兰多弗里统顶部为 *Cyrtograptus insectus* 笔石带,其文洛克底部为 *Cyrtograptus centrifugus* 笔石带,这与国际兰多弗里统顶部 *Cyrtograptus insectus* 笔石带、文洛克统底部 *Cyrtograptus centrifugus* 笔石带完全可以对比,芭蕉口剖面文洛克统下中部为 *Cyrtograptus murchisoni* 笔石带、*Monograptus riccartonensis*,等笔石带,它们也与国际文洛克统下中部两笔石带完全可以对比。几丁虫 *Angochitina longicollis* 在该剖面从兰多弗里统至文洛克统同诸笔石带共生,它的上限到达 *Cyrtograptus murchisoni* 笔石带中部(更高层位未取样)。*Angochitina longicollis* 在我国志留系分布广泛,地质历程较长,从兰多弗里世至文洛克世(戎嘉余等,2019)。上述诸多客观事实均证明扬子陆壳板块及华南兰多弗里统至文洛克统为连续沉积、整合接触,而不是假整合接触,不存在文洛克统缺失,不存在所谓的“特里奇期扬子上升”(王根贤等,1988;耿良玉等,1999;林宝玉等,2021)。其上段上部9~11层共厚184.80 m,为连续沉积和整合接触,[11层夹紫红色相当滇东关底组红层(王成源,1980、1988、2001、2013)]11层(S<sub>3</sub><sup>1xx</sup>—S<sub>3</sub><sup>2xx</sup>)厚38.60 m,岩性为灰绿色、黄绿色夹紫红色中薄层石英粉砂岩夹薄中层石英细砂岩、薄层粉砂质页岩,其中11层红层下部产几丁虫 *Lambdachitina crassispina* (Eisenack, 1964)等,它在瑞典分布时限从笔石带 *scanicus* 至 *leintwardinensis*,11层下部可确定为拉德洛统下部(S<sub>3</sub><sup>1</sup>)。关底组顶部牙形刺 *Ozarkodina crista* 带(王成源2013)相当于拉德洛统顶部,故11层顶部可对比为拉德洛统顶部,11层下部至顶部相当于整个拉德洛统(S<sub>3</sub><sup>1</sup>—S<sub>3</sub><sup>2</sup>)。9~11层产较多遗迹化石属潮坪相。其上段顶部(12~13层)与上覆14层上泥盆统云台观组(D<sub>3y</sub>)为假整合接触(王根贤等,1988)(图11),该组产腕足类 *Cyrtospirifer* sp. 和孢子 *Samarispoeites concinnus* 等。12~13层(S<sub>4</sub><sup>1xx</sup>或S<sub>4</sub><sup>2xx</sup>)共厚126.35 m,其岩性灰绿色中厚层石英砂岩、中厚层石英粉砂岩夹灰绿色薄层粉砂质页岩,产细小薄壳腕足类 *Lingula*,遗迹化石 *Skolithos*,鱼碎片和微古植物(方晓思鉴定报告)。张家界林场12~13层、温塘小溪峪组上部和渝南东秀山迴星哨原迴星哨组上部皆产具孔和复杂纹饰的植物表皮碎片化石:Category 1、2、3 *sensu* Edwards 1982 (Edwards,

1982;王恽等,2010)该植物表皮化石还产于江苏大丰 Ne-2 井下“坟头组”顶部,而该层位又产有普里多利统下部几丁虫 *Fungochitina kosovensis* (耿良玉等,1999;Geng Liangyu et al., 1997)。1993 年夏本文第一作者和王俊卿到湘西北保靖卡棚小溪峪组上部采了微古植物样,内产陆生植物孢子、几丁虫和虫颚等(高联达鉴定报告),只有出现陆生植物才有可能出现陆生植物孢子,从水生植物演化到陆生植物,显然是植物界进到一个崭新时代,又根据上述江苏大丰几丁虫时代对比,可确定张家界地区小溪峪组顶部(12~13层)为普里多利统或普里多利统下部。1965 年湖南省地质矿产局区域地质测量队在 1:200000 吉首幅西部渝南东秀山水源(图 6)小溪峪组上部采到鱼化石 *Eugaleaspis xiushanensis* (刘时藩,1983)。1975 年夏本文第一作者等在湘西北保靖卡棚小溪峪组上部采到鱼化石 *Eugaleaspis cf. xiushanensis* (王根贤等,1985;潘江,1986)。近年在张家界林场 12~13 层、温塘小溪峪组上部和渝南东秀山迴星哨原迴星哨组上部均采到无颌类盔甲鱼目: *Dunyu xiashanensis* (原名 *Eugaleaspis xiashanensis*) (赵文金等,2014)和有颌类盾皮鱼纲: *Wangolepis sinensis* (赵文金等,2014)。根据张家界林场 11 层红层对比为整个拉德洛统( $S_3^1-S_3^2$ ),12~13 层又与江苏大丰“坟头组”顶部普里多利统下部几丁虫对比,笔者等建议张家界地区小溪峪组上部产出的无颌类和有颌类化石层位应置于普里多利统或普里多利统下部为宜。张家界温塘剖面小溪峪组顶部(王晓飞,2013)(相当于张家界林场剖面小溪峪组 12~13 层)出现中粒石英砂岩、中粒长石石英砂岩,见有交错层理和对称波痕及干涉波痕等。张家界林场剖面小溪峪组 12~13 层生物相属腕足类  $BA_1$  相(Ziegler, 1965;Boucot, 1975)和遗迹化石属 *Skolithos* 相(Seilacher, 1967;张欣平等,1986),这时洋盆水体最浅属前滨相上部至潮间带,海水浅至 0~10 m。总体看出张家界林场和温塘两剖面小溪峪组由下部到上部石英等陆屑增多增厚变粗,长石碎屑增多变粗,显示为一个迅速海退程序,反映扬子陆壳板块上的弧后前陆盆地在迅速垂直上升。

2017 年林宝玉等对温塘志留系剖面考察研究。笔者等 1984 年起在张家界市(原大庸县城)至张家界地质公园公路沿途多次对志留系龙马溪组—小河坝组—溶溪组—秀山组—小溪峪组考察研究均认为张家界地区志留系各组间均为连续沉积和整合接触,不存在沉积间断(王根贤等<sup>10②⑤</sup>;王根贤等,

1985,1988;耿良玉等,1999;林宝玉等,2021)。

近年来在大别山北麓(彭松柏等<sup>⑤</sup>;李廷栋等,2016)相继发现寒武纪高肌虫、小壳化石及奥陶纪几丁虫等,它们是扬子陆壳板块生物地理区系早古生代的标志化石,说明大别山北麓乃是扬子陆壳板块范畴,因而扬子陆壳板块北东边界要向北东迁移到北西西向商(商南)—丹(丹凤)深大断裂带南西盘,直到志留纪普里多利世末,即约  $419.2 \pm 3.2$  Ma (国际地层委员会,2013)扬子陆壳板块与华北陆壳板块在北西西向商—丹深大断裂带碰撞到一起(吉让寿等,1990,2004;殷鸿福等,1999;李廷栋等,2016),使扬子陆壳板块上的弧后前陆盆地抬升为陆,使小秦岭洋(张思纯等,1983;潘桂棠等,1996;殷鸿福等,1999)完全关闭,结束了扬子陆壳板块从南华纪—志留纪(Nh—S)漫长的地质发展演化历史。

## 7 几点认识

(1) 在上奥陶统天马山组顶部 *Normalogratus persculptus* 笔石带末即大约  $443.8 \pm 1.5$  Ma 时华夏洋壳板块主动向北西扬子陆壳板块水平俯冲到北东向双峰天马山—兴安田林口一线、又受火山喷发、大陆冰川和宜昌上升等影响,造成显生宙第二次生物大灭绝。在兰多弗里统鲁丹阶龙马溪组顶部 *Coronograthus cyphus* 笔石带末即大约  $440.8 \pm 1.2$  Ma 时华夏洋壳板块主动向北西扬子陆壳板块大规模水平俯冲和强烈碰撞,并形成北东、北北东向弧形桃江—白马山—苗儿山板块碰撞带。

(2) 由于加里东期华夏洋壳板块主动与扬子陆壳板块俯冲碰撞,华夏洋壳板块以 A 型俯冲形式下插到扬子陆壳板块南东前缘之下,并促使扬子陆壳板块南东前缘迅速崛起形成加里东期雪峰造山带。

(3) 在雪峰造山带形成时,它又将扬子陆壳板块新的南东前缘牵引、绕曲和凹陷成华夏洋壳板块前陆盆地,随后该前陆盆地又在雪峰造山带上的大陆火山岛弧后缘,因此该时前陆盆地就是华夏洋壳板块弧后前陆盆地,并且前陆盆地和弧后前陆盆地南东后缘抬升较高而北西前缘抬升较低,因而形成前陆盆地和弧后前陆盆地南东后缘高而北西前缘低的古地理、古构造的新格局,由弧后前陆盆地南东至北西为三角洲相—滨海相—台地相—盆地相,小秦岭洋流由北西向南东流,直抵雪峰造山带山脚下。

(4) 小河坝组是华夏洋壳板块弧后前陆盆地第一个沉积盖层,而其上溶溪组、秀山组和小溪峪组均为华夏洋壳板块弧后前陆盆地沉积盖层,而且扬子

陆壳板块下扬子赣、皖、浙、苏与小河坝组相当及更高层位志留系地层理应也是华夏洋壳板块弧后前陆盆地沉积盖层。

(5) 志留纪兰多弗里世( $S_1$ )——文洛克世( $S_2$ )——拉德洛世( $S_3$ )——普里多利世( $S_4$ ), 无论华夏洋壳板块沉积洋盆还是扬子陆壳板块沉积洋盆即前陆盆地及弧后前陆盆地的陆屑都由南东方向华夏褶皱山地或雪峰造山带提供。

(6) 张家界林场和温塘两剖面乃至整个扬子陆壳板块沉积洋盆即前陆盆地及弧后前陆盆地从兰多弗里统( $S_1$ )到文洛克统( $S_2$ )为连续沉积、整合接触, 而不是假整合接触, 不存在文洛克统( $S_2$ )缺失, 不存在所谓的“特列奇期扬子上升”。其文洛克统( $S_2$ )到拉德洛统( $S_3$ )再到普里多利统( $S_4$ )均为连续沉积、整合接触。

(7) 南华纪—早古生代在华夏洋壳板块与扬子陆壳板块之间存在早古生代华南洋及扬子陆壳板块与华北陆壳板块之间存在早古生代小秦岭洋, 它们都是早古生代原特提斯多岛洋的一部分。

**致谢:**在成文和编图过程中湖南省地质调查院提供 1:200000、1:50000 区调报告和图件, 本文承蒙中国地质科学院王泽九研究员和中国科学院南京地质古生物研究所穆西南研究员共同推荐; 耿良玉研究员与笔者对张家界林场剖面小溪峪组各层几丁虫的时代归属进行了有益沟通; 文中志留纪各组地层厚度统计由谭琴女士完成; 中国地质科学院地质研究所李明博士和唐烽研究员先后对文稿进行了认真仔细的评审, 并提出了宝贵的修改意见; 在此一并表示衷心的感谢。

## 注 释 / Notes

- 王根贤, 熊申甫, 刘五一, 王任衡. 1989~1991. 湖南晚元古代—早古生代 1:1000000 岩相古地理图说明书. 长沙: 湖南省地质科学研究所.
- 王根贤, 刘五一, 胡家让, 陈文光. 1996. T108 武陵源砂岩峰林及喀斯特地貌景观. 第三十届国际地质大会(北京), T108 野外地质旅游考察指南. 长沙: 湖南省地质科学研究所.
- 王根贤, 陈必河, 郑正福. 2010~2014. 湖南花垣—锦和地区寒武纪—奥陶纪岩相古地理与铅锌矿成矿关系研究. 长沙: 湖南省地质调查院.
- 刘钟伟, 王根贤, 杨纯异, 熊申甫, 王任衡, 刘五一, 李景平, 黄日明, 李光. 1989~1991. 湖南省地体构造研究. 长沙: 湖南省地质科学研究所.
- 彭松柏, 谢才富, 陈孝红, 付建明, 李志宏, 陈辉明, 王健雄, 王传尚, 李林, 王晓地, 张森. 2007. 中南地区基础地质综合研究阶段性报告. 武汉: 中国地质调查局武汉地质调查中心.
- 广西壮族自治区地质矿产局区域地质测量队. 1999. 1:50000 恭城幅区域地质调查报告. 桂林. 广西壮族自治区区域地质测

量队.

- 广西壮族自治区地质矿产局区域地质测量队. 1964. 1:200000 兴安幅区域地质调查报告. 桂林. 广西壮族自治区区域地质测量队.
- 湖南省地质矿产局区域地质测量队. 1977. 1:200000 江永幅区域地质调查报告. 长沙: 湖南省地质调查院.
- 湖南省地质矿产局区域地质测量队. 1971. 1:200000 韶山幅区域地质调查报告. 长沙: 湖南省地质调查院.
- 湖南省地质矿产局区域地质测量队. 1964~1975. 1:200000 石门、吉首、洞口、株洲、桂阳、常德、桑植、大庸、永顺、韶山、攸县、沅陵、安化、涟源、芷江、邵阳、溆浦、城步、会同、衡阳、长沙、零陵和江永等区域地质调查报告. 长沙: 湖南省地质调查院.
- 贵州省地质矿产局一〇八队. 1965~1970. 1:200000 沿河、江口、镇远等幅区域地质调查报告. 贵阳. 贵州省地质矿产局一〇八队.
- 湖北省地质矿产局区域地质测量队. 1968~1984. 1:200000 咸丰、宜昌、长阳、恩施、五峰等幅区域地质调查报告. 武汉: 湖北省地质矿产局区域地质测量队.
- 四川省地质矿产局一〇七队. 1972~1975. 1:200000 黔江幅、酉阳幅区域地质调查报告. 成都: 四川省地质矿产局一〇七队.
- 湖南省地质矿产局四〇五队. 1989. 1:50000 复兴场幅、排碧幅、吉首自治州幅、禾库(东)幅区域地质调查报告. 吉首: 湖南省地质矿产局四〇五队.
- 王根贤, 左自璧. 1984. 大庸县张家界中志留统小溪峪组及上泥盆统云台观组地层指南. 中国古生物学会湘桂粤联合组 1984 年地层现场会议文件. 长沙: 湖南省地质科学研究所.

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 熊雄. 2014a. 雪峰造山带南段构造变形研究. 大地构造与成矿学, 38(3): 512~529.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 熊雄, 黄文义. 2014b. 南岭西段加里东期苗儿山岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义. 岩石矿物学杂志, 33(3): 407~423.
- 陈木宏, 谭智源. 1996. 南海中、北部沉积物中的放射虫. 北京: 科学出版社.
- 陈旭, 杨万榕, 何自强, 汪盛辉. 1981. 广西兴安奥陶纪含笔石地层. 地层学杂志, 5(1): 36~45.
- 陈旭, 戎嘉余, 周志毅, 张元动, 詹仕斌, 刘建波, 樊隽轩. 2001. 上扬子区奥陶纪—志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升. 科学通报, 46(12): 1037~1056.
- 陈柏林. 2001. 论华南地区金矿床的形成时代. 地质科学情报, 20(3): 45~51.
- 陈卫锋, 陈培荣, 黄宏业, 丁兴, 孙涛. 2007. 湖南白马山岩体花岗岩及其包体的年代学和地球化学研究. 中国科学(D辑), 37(7): 873~893.
- 程顺波, 付建明, 马丽艳, 卢友月, 冠晓虎, 张利国, 黄惠兰. 2016. 桂东北越城岭岩体加里东期成矿作用、锆石 U-Pb 年代、地球化学和 Nd—Hf 同位素制约. 大地构造与成矿学, 40(4): 853~872.
- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 马帅, 姚图. 2015. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评, 61(3): 473~484.
- 丁道桂, 郭彤楼, 刘运黎, 翟常博. 2007. 对江南—雪峰带构造属性的讨论. 地质通报, 26(7): 801~809.

- 董申保. 1989. 中国蓝闪石片岩带的一般特征及其分布. 地质学报, 63(3): 273~284.
- 段炼, 孙海清, 张晓阳. 2010. 雪峰山东南缘晚奥陶世—志留纪兰多弗里世地层. 国土资源导刊, 7(6): 34~37.
- 方维萱, 胡瑞忠, 苏文超, 漆亮, 蒋国家. 2002a. 黔东—湘西早古生代岩石圈热状态与高产热率 HHRM 型地幔源区. 大地构造与成矿学, 26(4): 337~344.
- 方维萱, 胡瑞忠, 苏文超, 肖加飞, 漆亮, 蒋国家. 2002b. 贵州镇远地区钾镁煌斑岩类的侵入时代. 科学通报, 47(4): 307~312.
- 冯益民, 朱宝清. 1980. 西秦岭“混杂堆积”及构造发展史. 地质学报, 54(1): 34~43.
- 傅力浦, 张子福, 耿良玉. 2006. 中国紫阳志留系高分辨率笔石生物地层与生物复苏. 北京: 地质出版社: 1~151.
- 傅力浦, 李荣社, 孟勇, 王健, 黄洪平, 张策, 徐宝军. 2009. 陕南紫阳地区发现保存完整的虫形弓笔石. 地质通报, 28(5): 547~548.
- 葛治洲, 戎嘉余, 杨学长, 刘耕武, 倪寓南, 董得源, 伍鸿基. 1979. 西南地区的志留系. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所. 主编. 西南地区碳酸盐岩生物地层. 北京: 科学出版社: 155~220.
- 耿良玉, 蔡习尧. 1988. 扬子区志留纪兰多维利统胞石序列. 古生物学报, 27(2): 249~255.
- 耿良玉. 1990. 黔北石阡雷家屯志留系埃隆阶—特列奇阶界线附近几种胞石之记述. 古生物学报, 29(5): 623~636.
- 耿良玉, 王玥, 张允白, 蔡习尧, 钱泽书, 丁连生, 王根贤, 刘春莲. 1999. 扬子区后 Llandovery 世(志留纪)胞石的发现及其意义. 微体古生物学报, 16(2): 111~151.
- 顾雪祥, Schulz O, Vavtar F. 2003. 湖南沃溪铜—铋—金矿床的组构学特征及成因意义. 矿床地质, 22(2): 107~116.
- 广东省地质矿产局. 1988. 广东省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一、区域地质, 第9号. 北京: 地质出版社.
- 广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一、区域地质, 第3号. 北京: 地质出版社.
- 广西壮族自治区地质矿产局. 1997. 广西壮族自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 贵州省地质矿产局. 1987. 贵州省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一、区域地质, 第7号. 北京: 地质出版社.
- 郭令智. 2001. 华南板块构造. 北京: 地质出版社: 1~264.
- 郭令智, 朱文斌, 马瑞士, 孙岩, 王锋. 2003. 论构造耦合作用. 大地构造与成矿学, 27(37): 197~205.
- 国际地层委员会. 2013. 国际年代地层表. 地层学杂志, 37(3): 257.
- 何登发, 吕修祥, 林永汉, 董大忠. 1996. 前陆盆地分析. 北京: 石油工业出版社: 1~212.
- 何心一, 唐兰. 2009. 再论扬子中晚奥陶世和早志留世四射珊瑚源区. 见: 中国古生物学会第十次全国会员代表大会暨第25届学术年会论文摘要集: 71~72.
- 何壹砚, 牛志军, 杨文强, 宋芳, 王晓地, 贾小辉. 2016. 湘中中一晚奥陶世硅质岩地球化学特征及其对奥陶纪盆地演化的启示. 中国地质, 43(3): 936~952.
- 侯光久, 索书田, 郑贵州, 魏启荣. 1998. 雪峰山加里东造山运动及其体制转换. 湖南地质, 17(3): 141~144.
- 黄慧琼, 许效松, 刘宝珺. 1988. 湘西—黔东早震旦世大塘坡组锰矿中放射虫的发现及环境意义. 岩相古地理, (3~4): 51~61.
- 胡艳华, 刘健, 周明忠, 汪方跃, 丁兴, 凌明星, 孙卫东. 2009a. 奥陶纪和志留纪钾质斑脱岩研究评述. 地球化学, 38(4): 393~404.
- 胡艳华, 孙卫东, 丁兴, 汪方跃, 凌明星, 刘健. 2009b. 奥陶纪—志留纪边界附近火山活动记录: 来自华南周缘钾质斑脱岩的信息. 岩石学报, 25(2): 3298~3308.
- 胡召齐, 朱光, 张必龙, 张力. 2010. 雪峰隆起北部加里东事件的 K-Ar 年代学研究. 地质论评, 56(4): 490~500.
- 湖北省地质矿产局. 1990. 湖北省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一、区域地质, 第20号. 北京: 地质出版社.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一、区域地质, 第8号. 北京: 地质出版社.
- 湖南省地质矿产局. 1997. 湖南省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 湖南省地质矿产厅区域地质调查所. 1995. 湖南省花岗岩单元—超单元划分及其成矿专属性. 湖南地质, 8(增刊): 1~84.
- 吉让寿, 秦德余, 高长林. 1990. 古秦岭洋关闭和华北与扬子两板块拼合. 石油试验地质, 12(4): 353~365.
- 吉让寿, 高长林, 秦德余. 2004. 华北与扬子两板块的拼贴方式与扬子北缘古生代盆地的应变特征. 石油试验地质, 26(2): 143~152.
- 贾宝华. 1994. 湖南雪峰隆起区构造变形研究. 中国区域地质, 13(1): 65~71.
- 贾宝华, 彭和求. 2005. 湘东北前寒武纪地质与成矿. 北京: 地质出版社: 1~138.
- 金淳泰, 叶少华, 何原相, 万正权, 王树碑, 赵裕亭, 李善姬, 徐星祺, 张正贵. 1982. 四川綦江观音桥志留纪地层及古生物. 成都: 四川人民出版社.
- 李廷栋, 卢民杰, 丁孝忠, 姚建新, 耿树方, 张恒. 2016. 努力创造有宏观影响的大成果——中国区域地质志编纂的阶段性成果. 中国地质, 43(3): 699~708.
- 李献华, 李武显, 何斌. 2012. 华南陆块的形成与 Rodinia 超大陆聚合—裂解—观察、解释与检验. 矿物岩石地球化学通报, 31(6): 543~559.
- 李志明, 龚淑云, 陈建强, 苏文博. 1997. 中国南方奥陶—志留纪沉积层序与构造运动的关系. 地球科学, 22(5): 526~530.
- 林宝玉, 苏养正, 朱秀芳, 戎嘉余. 1998. 中国地层典: 志留系. 北京: 地质出版社: 1~104.
- 林宝玉, 李明, 黄莫. 2021. 关于《中国扬子区兰多维利统特列奇阶及其与英国的对比》一书若干问题的商榷. 地质论评, 67(4): 849~863.
- 刘宝珺. 1982. 海相陆源地层的环境分析. 中国区域地质, 1(1): 26~37.
- 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 黄慧琼, 徐强. 1993. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿. 北京: 科学出版社.
- 刘宝珺, 许效松. 1994. 中国南方岩相古地理图集(震旦纪—三叠纪). 北京: 科学出版社.
- 刘和甫, 李晓青, 刘立群, 廖群山. 2004. 走滑构造体系盆山耦合与区带分析. 现代地质, 18(2): 139~150.
- 刘时藩. 1983. 四川秀山无颌类化石. 古脊椎动物与古人类, 21(2): 97~102.
- 刘伟, 许效松, 冯心涛, 孙媛媛. 2010. 中上扬子区奥陶统五峰组含放射虫硅质岩与古环境. 沉积与特提斯地质, 30(3): 65~70.
- 刘英俊, 孙承轅, 崔卫东, 季峻峰. 1989. 湖南黄金洞矿床毒砂中金的赋存状态研究. 地质找矿论丛, 4(1): 42~49.
- 刘钟伟. 1994. 湖南前寒武纪火山岩地球化学特征及产出构造环境. 湖南地质, 13(3): 137~146.
- 陆松年, 王惠初, 郝国杰, 相振群. 2016. 关于板块运动启动时间的争论. 中国地质, 43(3): 709~721.
- 马大铨. 1980. 贵州镇远马坪金伯利岩及外围岩体岩石特征. 中国

- 地质科学院宜昌地质矿产研究所刊, 5: 1~34.
- 马文璞, 丘元禧. 1995. 江南隆起上的下古生界缺失—华南加里东前陆褶冲带的标志. 现代地质, 9(3): 320~324.
- 毛景文, 李红艳, 徐珏, 罗福廷. 1997. 湖南万古地区金矿地质与成因. 北京: 原子能出版社: 1~98.
- 倪超, 李越, 于深洋, 毛颖颜. 2016. 黔东北石阡志留纪最早期生物礁的形态学和古生态学. 地质科学, 51(3): 978~989.
- 潘桂棠, 陈智樑, 李兴振, 徐强, 江新胜. 1996. 东特提斯多弧—盆系统演化模式. 岩相古地理, 16(2): 52~65.
- 潘江. 1986. 中国志留纪脊椎动物群的初步研究. 中国地质科学院院报, 15: 161~190.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红. 2003. 湘西沃溪 Au—Sb—W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年. 科学通报, 48(18): 1976~1978.
- 覃小锋, 王宗起, 宫江华, 赵国英, 石浩, 詹俊彦, 王震. 2017. 云开地块北缘加里东期中—基性火山岩的厘定: 钦—杭结合带南西段早古生代古洋盆存在的证据. 岩石学报, 33(3): 791~809.
- 丘元禧, 张渝昌, 马文璞. 1997. 雪峰山的构造性质与演化. 北京: 地质出版社: 1~155.
- 全国地层委员会《中国地层表》编委会. 2014. 中国地层表(2014). 北京: 地质出版社.
- 全国地层委员会《中国地层表》编委会. 2018. 中国地层表(2014)说明书. 北京: 地质出版社: 1~448.
- 饶家荣, 王纪恒, 曹一中. 1993. 湖南深部构造. 湖南地质, 7(增刊): 1~101.
- 饶家荣. 1996. 桃江—城步壳下岩石圈碰撞带及其地质意义. 湖南地质新进展, 第1辑, 长沙: 湖南科学技术出版社: 144~148.
- 饶家荣, 肖海云, 刘耀荣, 柏道远, 邓延林. 2012. 扬子、华夏古板块会聚带在湖南的位置. 地球物理学报, 55(2): 484~502.
- 戎嘉余. 1979. 中国的赫南特贝动物群(Hirnantiafauna), 并论奥陶—志留系的分界. 地层学杂志, 3(1): 1~29.
- 戎嘉余, 王恽, 詹仁斌, 樊隽轩, 黄冰, 唐鹏, 李越, 张小乐, 吴荣昌, 王光旭, 魏鑫. 2019. 中国志留纪综合地层和时间框架. 中国科学: 地球科学, 49(1): 93~114.
- 舒良树, 周围庆, 施央申, 殷俊. 1993. 江南造山带东段高压变质蓝片岩及其地质时代研究. 科学通报, 38(20): 1879~1882.
- 舒良树. 2006. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带. 高校地质学报, 12(4): 418~431.
- 四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一、区域地质, 第23号, 北京: 地质出版社.
- 苏文博, 何龙清, 王永标, 龚淑云, 周湘云. 2002. 华南奥陶—志留系五峰组及龙马溪组底部斑脱岩与高分辨率地层. 中国科学(D)辑, 32(3): 207~219.
- 汤耀庆, 许志琴. 1986. 东秦岭和商南赵川蓝片岩及其构造意义. 中国地质科学院西安地质矿产研究所刊, 第12号: 43~47.
- 唐兰, 陈旭, 扬杰, 杨兴莲, 丛陪允, 杨显峰, 王欣, 张举, 宋研研, 陈中阳, 侯旭东, 张琳娜, 孙海静. 2013. 桂北兴安奥陶纪至志留纪初笔石序列的再研究. 地层学杂志, 37(1): 1~7.
- 涂光帜. 1989. 关于超大型矿床的寻找和理论研究. 地球科学进展, 4(6): 14~20.
- 汪啸风, 陈旭, 陈孝红, 朱慈英. 1996. 中国地层典: 奥陶系. 北京: 地质出版社: 1~126.
- 汪啸风. 2016. 中国南方奥陶纪构造古地理及年代与生物地层的划分与对比. 地学前缘, 23(6): 253~267.
- 王健, 傅力浦, 孟勇, 李荣社, 黄洪平. 2009. 陕西紫阳任河东岸 Liandoverly—Wenlock 界线剖面研究. 中国古生物学会第十次全国会员代表大会暨第25届学术年会——纪念中国古生物学会成立80周年论文摘要集: 74.
- 王恽, 戎嘉余, 徐洪河, 王成源, 王根贤. 2010. 湖南张家界地区志留纪晚期地层新见兼论小溪组的时代. 地层学杂志, 34(2): 113~126.
- 王成源. 1980. 云南曲靖上志留统牙形刺. 古生物学报, 19(5): 196~240.
- 王成源. 1998. 华南志留纪红层的时代. 地层学杂志, 22(2): 127~128.
- 王成源. 2001. 云南曲靖地区关底组的时代. 地层学杂志, 25(2): 125~127.
- 王成源. 2013. 中国志留系牙形刺. 合肥: 中国科学技术大学出版社: 1~230.
- 王根贤. 1979. 早泥盆世 *Zosterophyllum* (蕨) 植物群在湖南的发现及其意义. 地层学杂志, 3(2): 147~149.
- 王根贤, 张彩繁. 1985. 论湘西北小溪峪组的地质时代. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所刊, 第10号: 35~46.
- 王根贤, 耿良玉, 肖耀海, 左自璧. 1988. 湘西北秀山组上段、小溪峪组的地质时代和沉积特征. 地层学杂志, 12(3): 216~255.
- 王根贤, 刘五一, 熊申浦, 王任衡. 1996. 湖南早古生代地层、岩相与地体之关系. 湖南地质新进展(第1辑). 长沙: 湖南科学技术出版社: 36~39.
- 王国茹, 陈洪德, 朱志军, 林良彪, 范昱. 2011. 川东南—湘西地区志留系小河坝组砂岩中重矿物特征及地质意义. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(1): 7~14.
- 王晓飞. 2013. 张家界温塘地区志留系沉积构造及沉积相研究. 沉积与特提斯地质, 33(1): 49~54.
- 王泽中. 1996. 湘西北永顺—龙山地区早志留世三角洲沉积. 高校地质学报, 2(4): 400~408.
- 吴汉泉. 1980. 东秦岭和北祁连的蓝闪石片岩. 地质学报, 54(2): 195~207.
- 肖承协, 薛春汀, 黄学涪. 1975. 江西崇义早奥陶世笔石地层. 地质学报, 49(2): 112~125.
- 肖庆辉, 李廷栋, 潘桂棠, 陆松年, 丁孝忠, 邓晋福, 冯益民, 刘勇, 冠彩化, 杨琳琳. 2016. 识别洋陆转换的岩石学思路—洋内弧与初始俯冲的识别. 中国地质, 43(3): 721~737.
- 谢尚克, 汪正江, 王剑, 卓皆文. 2012. 湖南桃源坪坝奥陶系五峰组顶部斑脱岩 LA-ICP-MS 锆石年龄. 沉积与特提斯地质, 32(4): 65~68.
- 徐先兵, 汤帅, 李源, 章泽军. 2015. 江南造山带东段新元古代至早中生代多期造山作用特征. 中国地质, 42(1): 33~50.
- 许华, 倪战旭, 黄炳诚, 韩淑朋, 王翠云, 陈杨. 2016. 广西大瑶山东南缘早古生代 TIG 侵入岩石组合的确定及其区域构造意义. 中国地质, 43(3): 780~796.
- 许靖华, 孙枢, 李继亮, 李建林, 陈昌洁, 彭海波. 1987. 是华南造山带而不是华南地台. 中国科学(B辑), 10(1): 1107~1115.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵. 2004a. 青藏高原的地体拼合及碰撞动力学. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 曾令森, 杨经绥, 李海兵, 姜枚, 金立钧, 郑和荣, 郭齐军. 2004b. 走滑断裂、挤压性盆地—山构造与油气资源关系的探讨. 地球科学——中国地质大学学报, 29(6): 631~641.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 姚建新. 2006. 中央造山带早古生代地体构造与高压/超高压变化带的形成. 地质学报, 80(12): 1793~1806.
- 杨经绥, 许志琴, 马昌前, 吴才来, 张建新, 王宗起, 王国灿, 张宏飞, 董云鹏, 赖绍聪. 2010. 复合造山带作用和中国中央造山带的科学问题. 中国地质, 37(1): 1~11.
- 杨永泰. 2011. 前陆盆地沉降机理和地层模型. 岩石学报, 27(2): 531~544.

- 尹福光, 许效松, 万方, 陈明. 2001. 华南地区加里东期前陆盆地演化过程中的沉积响应. *地球学报*, 22(5): 425~428.
- 尹赞勋. 1973. 板块构造评述. *地质科学*, 8(1): 56~88.
- 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 彭元桥. 1999. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分. *地球科学*, 24(1): 1~12.
- 袁鄂荣, 李志明. 1992. 江西永新—崇义地区奥陶系内火山碎屑岩的发现及其意义. *地球科学*, 17(4): 431~435.
- 张旗, 钱青, 王焰. 1999. 造山带火成岩地球化学研究. *地学前缘*, 6(3): 113~120.
- 张理刚. 1985. 湘西雪峰山隆起区钨锡金矿床稳定同位素地质学. *地质与勘探*, 21(11): 24~28.
- 张仁杰. 1984. 湖南西北部早志留世双壳类及喙壳类. *古生物学报*, 23(5): 586~896.
- 张廷山, 蓝光志, Kershaw S. 1999. 构造及海面波动对四川盆地志留纪生物礁的控制. *石油学报*, 20: 19~24.
- 张思纯, 唐尚文. 1983. 北秦岭早古生代放射虫硅质岩的发现与板块构造. *陕西地质*, 1(2): 1~9.
- 张欣平, 张顺臣, 王大任. 1986. 湘北地区志留、泥盆系的痕迹化石. *湖南地质*, 5(2): 49~61.
- 张元动, 詹仁斌, 甄勇毅, 王志浩, 袁文伟, 方翔, 马骥, 张俊鹏. 2019. 中国奥陶纪综合地层和时间框架. *中国科学: 地球科学*, 49(1): 66~92.
- 赵文金, 朱敏. 2014. 中国志留纪鱼化石及含鱼地层对比研究综述. *地学前缘*, 21(2): 185~202.
- 郑宁, 宋天锐, 李廷栋, 刘训, 耿树方, 丁孝忠, 谭正修, 游国庆, 凌跃升. 2012. 华南造山带下寒武统和中奥陶统发现放射虫. *中国地质*, 39(1): 260~265.
- 中南地区区域地层表编写组. 1974. 中南地区区域地层表. 北京: 地质出版社.
- 周名魁, 王汝植, 李志明, 袁鄂荣, 何原相, 杨家驊, 胡昌铭, 熊代全, 楼雄英. 1993. 中国南方奥陶—志留纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社.
- 周维全, 林文信. 1982. 澜沧江变质带南段蓝闪石片岩特征. *中国区域地质*, 1(2): 76~85.
- 朱小辉, 陈丹玲, 刘良, 赵媛, 张乐. 2014. 柴北缘梁山地区早古生代孤后盆地型蛇绿岩的年代学、地球化学及大地构造意义. *岩石学报*, 30(3): 822~834.
- 朱志军, 陈洪德, 林良彪, 范昱. 2010. 川东南—湘西地区志留系小河坝组砂岩微量元素地球化学特征及沉积环境意义. *地质科技情报*, 29(2): 24~30.
- 朱志军, 陈洪德. 2012. 川东南地区志留系小河坝组砂岩特征及物源分析. *吉林大学学报(地球科学版)*, 42(6): 1590~1600.
- 左自璧. 1987. 志留系牙形类动物群在湘西北的发现及其石油地质意义. *湖南地质*, 6(1): 56~64.
- Allen P A, Allen J P. 2005. *Basin Analysis: Principles and Applications (Second Edition)*. Malden: Blackwell.
- Bai Daoyuan, Zhong Xiang, Jia Pengyuan, Xiong Xiong, Huang Wenyi. 2014b. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemistry of Caledonian Miaoershan pluton in the western part of the Nanling Mountains and their tectonic significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(3): 407~423.
- Bai Daoyuan, Zhong Xiang, Jia Pengyuan, Xiong Xiong. 2014a. Study on the deformation in the southern Xuefeng orogenic belt. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(3): 512~529.
- Bassett M G. 1985. Towards a "common language" in stratigraphy. *Episodes*, 8(2): 87~92.
- Beaumont C. 1981. Foreland basins. *Royal Astronomical Society Geophysical Journal*, 65: 291~329.
- Bhatia M R, Crook K A. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92(2): 181~193.
- Boucot A J. 1975. Standing diversity of fossil groups in successive intervals of geologic time viewed in the light of changing levels of provincialism. *Journal of Paleontology*, 49: 1105~1111.
- Chen Xu, Yang Wanrong, He Ziqiang, Wang Shenghui. 1981. The Ordovician graptolite strata in Xing'an, Guangxi Province. *Journal of Stratigraphy*, 5(1): 36~45.
- Chen Xu, Rong Jiayu, Zhou Zhiyi, Zhang Yuandong, Zhan Shibin, Liu Jianbo, Fan Junxuan. 2001. Central Guizhou uplift and Yichang uplift at the turn of ordovician—silurian in the upper Yangtze region. *Chinese Science Bulletin*, 46(12): 1037~1056.
- Cheng Shunbo, Fu Jianming, Ma Liyan, Lu Youyue, Kou Xiaohu, Zhang Ligu, Huang Huilan. 2016. Origin of the Yuechengling Caledonian granitic batholith, northeastern Guangxi: Constraint from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Nd—Hf isotopes. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(4): 853~872.
- Condie K C, Kröner A. 2008. When did plate tectonics begin? Evidence from the geologic record. *Geological Society of America Special Papers*, 440: 281~294.
- Couto H, Knight J, Lourenco A. 2013. Late Ordovician ice-marginal processes and sea-level change from the north Gondwana platform: Evidence from the Valongo Anticline (northern Portugal). *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 375: 1~15.
- Decelles P G, Giles K A. 1996. Foreland basin system. *Basin Research*, 8: 105~123.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shanguo, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015. Magmatic arc and ocean continent transition: Discussion. *Geological Review*, 61(3): 473~484.
- Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge G R, Erjavec J L, Ferguson R C, Inman K F, Lindberg F A, Ryberg P T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94(2): 222~235.
- Ding Daogui, Guo Tonglou, Liu Yunli, Zhai Changbo. 2007. Structural attribute of the Jiangnan—Xuefengshan belt, China: A discussion. *Geological Bulletin of China*, 26(7): 801~809.
- Dong Shengbao. 1989. The general features and distributions of the glaucophane schist belts of China. *Acta Geologica Sinica*, 63(3): 273~284.
- Edwards D. 1982. Fragmentary nonvascular plant microfossils from the Late Silurian of Wales. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 84: 223~256.
- Eisenack A. 1964. Microfossilien aus dem Silur Gotlands. *Chitinozoen. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 120: 308~342.
- Eisenack A. 1959. Neotypen baltischer Silur chitinozoen und neue Arten. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 108: 1~20.
- Fang Weixuan, Hu Ruizhong, Su Wenchao, Qi Liang, Jiang Guohao. 2002a. Early Proterozoic heat state of lithosphere and HHPRM-type mantle-source area in northeastern Guizhou and western Hunan, China. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(4): 337~344.
- Feng Yimin, Zhu Baoqing. 1980. Melanges and tectonic development of the West Qinling Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 54(1): 34~43.
- Flemings P B, Jordan T E. 1990. Stratigraphic modeling of foreland basins: Interpreting thrust deformation and lithosphere rheology. *Geology*, 18(5): 430~434.

- Fu Lipu, Li Rongshe, Meng Yong, Wang Jian, Huang Hongping, Zhang Ce, Xu Baojun. 2009#. Discovery of completely preserved graptolite (*Cyrtograptus insectus*) in Ziyang area, south Shaanxi Province, China. *Geological Bulletin of China*, 28(5): 547~548.
- Geng Liangyu, Cai Xiyao. 1988#. Sequences of Llandoveryan Chitinozoans in Yangzi Region. *Acta Palaeontologica Sinica*, 27(2): 249~255.
- Geng Liangyu. 1990#. Chitinozoa near Aeronian—Telychian boundary at Leijiatun of Shiqian, N. Guizhou. *Acta Palaeontologica Sinica*, 29(5): 623~636.
- Geng Liangyu, Qian Zeshu, Ding Liansheng, Wang Yue, Wang Genxian, Cai Xiyao. 1997. Silurian chitinozoans from the Yangtze region. *Palaeoworld*, 8: 1~52.
- Geng Liangyu, Wang Yue, Zhang Yunbai, Cai Xiyao, Qian Zeshu, Ding Liansheng, Wang Genxian, Liu Chunlian. 1999#. The discovery and significance of the post-Llandovery (Silurian) cytoliths in the Yangtze region. *Acta Micropalaeontology Sinica*, 16(2): 111~151.
- Gensel P G, Johnsn G, Strother P K. 1990. Early land plant debris (Hooker's "waifs and strays"). *Palaios*, 5(6): 520~547.
- Ghienne J F. 2011. The Late Ordovician glacial record: State of the art. In: Gutiérrez-Marco J C, Rábano I, Gacia-Bellido D. eds. *Ordovician of the World (Proceeding Volume of the 11th Symposium on the Ordovician System)*. Cuadernos del Museo Geominero, 14. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España: 13~19.
- Gu Xuexiang, Oskar Schulz, Franz Vavtar. 2003#. Ore fabric characteristics of Woxi W—Sb—Au deposit in Hunan and their genetic significance. *Mineral Deposits*, 22(2): 107~116.
- Guo Lingzhi, Zhu Wenbing, Ma Ruishi, Sun Yan, Wang Feng. 2003#. Discussion on the structural coupling. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(37): 197~205.
- He Yaoyan, Niu Zhijun, Yang Wenqiang, Song Fang, Wang Xiaodi, Jia Xiaohui. 2016#. Geochemical features of Middle—Upper Ordovician cherts series in central—southern Hunan and their implications for basin evolution in Ordovician. *Geology in China*, 43(3): 936~952.
- Hou Guangjiu, Suo Shutian, Zheng Guizhou, Wei Qirong. 1998#. Caledonian orogenesis and system-transition in the Xuefengshan area. *Hunan Geology*, 17(3): 141~144.
- Hu Yanhua, Liu Jian, Zhou Mingzhong, Wang Fangyue, Ding Xing, Lin Minixng, Sun Weidong. 2009a#. An overview of Ordovician and Silurian K-bentonites. *Geochimica*, 38(4): 393~404.
- Hu Yanhua, Liu Jian, Ding Xing, Wang Fangyue, Lin Minixng, Liu Jian. 2009b#. volcanic event at the ordovician—Silurian boundary: The message from K-bentonite of Yangtze block. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 3298~3308.
- Hu Zhaoqi, Zhu Guang, Zhang Bilong, Zhang Li. 2010#. K-Ar geochronology of the Caledonian event in the Xuefeng Uplift. *Geological Review*, 56(4): 490~500.
- Huang Huiqiong, Xu Xiaosong, Liu Baojun. 1988#. The discovery and environmental significance of radiolaria from manganese deposits in the Early Sinian Datangpo Formation in western Hunan and eastern Guizhou. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, (3~4): 51~61.
- Jia Baohua. 1994#. Tectonic deformation of the Xuefeng Uplift area in Hunan. *Regional Geology of China*, 94(1): 65~71.
- Jordan T E. 1981. Thrust loads and foreland basin evolution Cretaceous western United States. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 65(12): 2506~2520.
- Jordan T E. 1995. Retroarc foreland and related basins. In: Busby C J, Ingersoll R V. eds. *Tectonics of Sedimentary Basins*. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 331~362.
- Laufeld S. 1974. Silurian Chitinozoa from Gotland. *Fossils and Strata*, 5: 1~130.
- Li Xianhua, Li Wuxian, He Bin. 2012#. Building of the South China Block and its relevance to assembly and breakup of Rodinia supercontinent: Observations, interpretations and tests. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 31(6): 543~559.
- Li Yandong, Lu Mingjie, Ding Xiaozhong, Yao Jianxin, Geng Shufang, Zhang Heng. 2016#. Spare no efforts to create a great achievement with overall influence fruitful progress in the compilation of regional geology of China. *Geology in China*, 43(3): 699~708.
- Li Zhiming, Gong Shuyun, Chen Jianqiang, Su Wenbao. 1997#. Ordovician—Silurian depositional sequences and their relations with tectonic movement in south China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22(5): 526~530.
- Liu Hefu, Li Xiaoqing, Liu Liqun, Liao Qunshan. 2004#. Petroleum play analysis and strike-slip system basin—mountain coupling. *Geoscience*, 18(2): 139~150.
- Liu Shifan. 1983#. Agnatha from Sichuan, China. *Vertebrata Palasiatica*, 18(2): 139~150.
- Liu Wei, Liu Yuan, Zeng Zuoxun, Yang Baozhong, Peng Lianhong, Xu Daliang, Wei Yunxu, Li Yaqing, Rob M E, Xu Sheng. 2020. K-bentonites in rdovician—Silurian transition from South China: Implications for tectonic evolution in the northern margin of Gondwana. *Journal of the Geological Society*, 177(6): 1245~1260.
- Liu Wei, Xu Xiaosong, Feng Xintao, Sun Yuanyuan. 2010#. Radiolarian siliceous rocks and palaeo environmental reconstruction for the Upper Ordovician Wufeng Formation in the Middle—Upper Yangtze area. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 30(3): 65~70.
- Liu Yingjun, Sun Chengyuan, Cui Weidong, Ji Junfeng. 1989#. Study on the occurrence of gold in arsenopyrite of Huangjindong gold deposit in Hunan Province. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 4(1): 42~49.
- Liu Zhongwei. 1994#. Geochemistry of Precambrian volcanic rocks in Hunan and their tectonic setting. *Hunan Geology*, 13(3): 137~146.
- Lu Songnian, Wang Huichu, Hao Guoxiang, Xiang Zhenqun. 2016#. The debate concerning the beginning of the plate tectonics. *Geology in China*, 43(3): 709~721.
- Ma Wenpu, Qiu Yuanxi. 1995#. Lower Paleozoic omission zone in Jiangnan Uplift—A sign of Caledonian foreland fold thrust belt. *Geoscience*, 9(3): 320~324.
- Männik P. 2007. Some comments on Telychian—Early Sheinwoodian conodont faunas, events and stratigraphy. *Acta Palaeontologica Sinica*, 46(Suppl.): 305~310.
- Miall A D. 1995. Collision related foreland basins. In: Busby C and Ingersoll R. eds. *Tectonics of Sedimentary Basins*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 393~424.
- Mullins G L, Loydell D K. 2001. Intergrated Silurian chitinozoan and graptolite biostratigraphy of Banwy River section, Wales. *Palaeontology*, 44(4): 731~781.
- Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, Xu Qiang, Jiang Xinsheng. 1996#. Models for the evolution of the polyarc—basin systems in Eastern Tethys. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 16(2): 52~65.
- Pan Jiang. 1986. Note on Silurian vertebrates of China. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 15: 161~190.

- Peng Shanchi, Babcock L E, Wang Genxian. 2005. Silurian—Devonian stratigraphy at Zhangjiajie, northwestern Hunan Province, China. *Cambrian System of China and Korea: Guide to field excursions*. Hefei: University of Science and Technology of China Press: 105~116.
- Price R A. 1973. Largescale gravitational flow of supracrustal rocks in southern Canadian Rockies. In: De Jong K A and Scholten R A. eds. *Gravity and Tectonics*. New York: Wiley-Interscience: 491~502.
- Qin Xiaofeng, Wang Zongqi, Gong Jianghua, Zhao Guoying, Shi Hao, Zhan Junyan, Wang Zhen. 2017#. The confirmation of Caledonian intermediate—mafic volcanic rocks in northern margin of Yunkai block: Evidence for Early Paleozoic paleo-ocean basin in southwestern segment of Qinzhou—Hangzhou joint belt. *Acta Petrologica Sinica*, 33(3): 791~809.
- Rao Jiarong, Wang Jiheng, Cao Yizhong. 1993#. Deep structure in Hunan. *Hunan Geology*, 7(Supp. ): 1~101.
- Rao Jiarong, Xiao Haiyun, Liu Yaorong, Bai Daoyuan, Deng Yanlin. 2012#. Location of the Yangtze—Cathaysia plate convergence zone in Hunan. *Chinese Journal of Geophysics*, 55(2): 484~502.
- Rong Jiayu, Wang Yi, Zhan Renbin, Fan Juanxuan, Huang Bing, Tang Peng, Li Yue, Zhang Xiaole, Wu Rongchang, Wang Guangxu, Wei Xin. 2019#. Silurian integrative stratigraphy and timescale of China. *Scientia Sinica Terrae*, 49(1): 93~114.
- Rong Jiayu. 1979#. The Hermantebé fauna of China: Studing the Ordovician—Silurian boundary. *Acta Stratigraphica Sinica*, 3(1): 1~29.
- Seilacher A. 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, 5(5~6): 413~428.
- Shu Liangshu, Zhou Weiqing, Shi Yangshen, Yin Jun. 1993#. High pressure metamorphic blueschist and its geological age of eastern Jiangnan Orogen. *Chinese Science Bulletin*, 38(20): 1879~1882.
- Shu Liangshu. 2006#. Pre-Devonian tectonic evolution of South China: from Cathaysian block to Caledonian period orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 418~431.
- Shui Tao. 1995#. Progresses and problem of the basement chronological research on the Cathaysia orogenic zone. *Geology of Zhejiang*, 11(2): 14~19.
- Sinclair H D, Coakley B J, Allen P A, Watts A B. 1991. Simulation of foreland basin stratigraphy using a diffusion model of mountain belt uplift and erosion: An example from the central Alps. *Switzerland Tectonics*, 10: 599~620.
- Su Wenbo, He Longqing, Wang Yongbiao, Gong Shuyun, Zhou Xiangyun. 2002#. The bentonite and high resolution strata at the bottom of the Ordovician — Silurian Wufeng and Longmaxi Formations in South China. *Science in China (Series D)*, 32(3): 207~219.
- Tang Lan, Chen Xun, Yang Jie, Yang Xinglian, Cong Peiyun, Yang Xianfeng, Wang Xin, Zhang Ju, Song Yanyan, Chen Zhongyang, Hou Xudong, Zhang Linna, Sun Haijing. 2013#. A restudy of the Ordovician to earliest Silurian graptolite sequence from Xing'an, North Guangxi, China. *Journal of stratigraphy*, 37(1): 1~7.
- Tang Yaoqing, Xu Zhiqin. 1986#. Blueschist in Zhaochuan, Shangnan County, east Qinling, and its tectonic significance. *Bull. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences*, No. 12: 43~47.
- Tu Guangchi. 1989#. On the search and theoretical study of superlarge deposits. *Advances in Earth Science*, 4(6): 14~20.
- Wang Chengyuan. 1980#. Upper Silurian conodonts from Qujing district, Yunnan. *Acta Palaeontologica Sinica*, 19(5): 196~240.
- Wang Chengyuan. 1998#. The age of the Silurian red beds in south China. *Journal of Stratigraphy*, 22(2): 127~128.
- Wang Chengyuan. 2001#. Age of the Guandi Formation in Qujing district, E. Yunnan. *Journal of Stratigraphy*, 25(2): 125~127.
- Wang Chenyuan. 2013. *Silurian Conodonts in China*. Hefei: China University of Science and Tecnology Press: 1~230.
- Wang Genxian. 1979#. Discovery and significance of Early Devonian *Zosterophyllum* flora in Hunan. *Journal of Stratigraphy*, 3(2): 147~149.
- Wang Genxian, Zhang Caifan. 1985#. On the geological age of the Xiaoxiyu Formation, northwestern Hunan. *Bull. Yichang Inst. Geol. Mineral Resources, CAGS*, No. 10: 35~46.
- Wang Genxian, Geng Liangyu, Xiao Yaohai, Zuo Zibi. 1988#. Geological age and sedimentary characteristics of the upper Xiushan Formation and Xiaoyu Formation in northwestern Hunan. *Journal of Stratigraphy*, 12(3): 216~255.
- Wang Genxian, Liu Wuyi, Xiong Shenpu, Wang Renheng. 1996#. The relationship between the Lower Palaeozoic strata, lithofacies and terrains in Hunan. In: *New Developments of Hunan in Earth Science*. Changsha: Hunan Science and Technology Press: 36~39.
- Wang Genxian, Liu Wuyi, Xiong Shepu, Wang Renheng. 1996. The Relationship between the Lower Palaeozoic Strata, Litho facies and terrains in Hunan, China. In: *30th International Geological Congress (Beijing) Abstracts*, 2(3): 212~213.
- Wang Guoru, Chen Hongde, Zhu Zhijun, Lin Liangbiao, Fan Yu. 2011#. Characteristics and geological implications of heavy minerals in Lower Silurian Xiaohaba Formation sandstones in southeast Sichuan—west Hunan. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 38(1): 7~14.
- Wang Jian, Fu Lipu, Meng Yong, Li Rongshe, Huang Hongping. 2009#. Liandoverly—Wenlock boundary section on the east bank of Renhe River in Ziyang, Shaanxi. In: *The 10th Notional Congress of Palaeontological Society of China (PSC)*, the 25th Annual Conference of PSC, Nanjing, China: 74.
- Wang Xiaofei. 2013#. Sedimentary structures and sedimentary facies in the Wentang Silurian strata in Zhangjiajie, Hunan. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 33(1): 49~54.
- Wang Xiaofeng. 2016#. Ordovician tectonic—paleogeography in south China and chrono and biostratigraphic division and correlation. *Earth Science Frontiers*, 23(6): 253~267.
- Wang Yi, Rong Jiayu, Xu Honghe, Wang Chengyuan, Wang Genxian. 2010#. On the Late Silurian stratigraphy of the Zhangjiajie area, Hunan Province: With a discussion on age of the Xiaoxi Formation. *Journal of Stratigraphy*, 34(2): 113~126.
- Wang Zezhong. 1996#. The Early Silurian deltaic sediments in Yongshun—Longshan area, northwestern Hunan Province. *Geological Journal of China Universities*, 2(4): 400~408.
- Wei Xiuzhe, Xiao Chengxie, Chen Shengao, Yu Tao. 1966. The graptolite strata of ordovician in Yongxin and Ninggang, Jiangxi Province. *Journal of Stratigraphy*, 1(1): 65~76.
- Williams G D, Stelck C R. 1975. Speculations on the Cretaceous paleogeophy of North America. In: Caldwell W G E. ed. *The Cretaceous System in the Westem Interior of North America*. Geological Association of Canada Special Paper, 13: 1~29.
- Wu Hanquan. 1980#. The glaucophane-schists of Eastern Qinling and Northern Qilian Mountain in China. *Acta Geologica Sinica*, 54(2): 195~207.
- Xiao Chengxie, Xue Chending, Huang Xuecen. 1975#. Early Ordovician graptolite beds of Chongyi, Jiangxi. *Acta Geologica Sinica*, 49(2): 112~125.

- Xiao Qinghui, Li Tingdong, Pan Guitang, Lu Songnian, Ding Xiaozhong, Deng Jinfu, Feng Yimin, Liu Yong, Kou Caihua, Yang Linlin. 2016&. Petrologic ideas for identification of ocean—continent transition; Recognition of intra-oceanic arc and initial subduction. *Geology in China*, 43(3): 721~737.
- Xie Shangke, Wang Zhengjiang, Wang Jian, Zhuo Jiewen. 2012&. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the bentonites from the uppermost part of the Ordovician Wufeng Formation in the Haoping section, Taoyuan, Hunan. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 32(4): 65~68.
- Xu Hua, Ni Zhanxu, Huang Bingcheng, Han Shupeng, Wang Cuiyun, Chen Yang. 2016&. Determination of Early Paleozoic TTG intrusive rocks at the southeast edge of Dayao Mountain, Guangxi. *Geology in China*, 43(3): 780~796.
- Xu Jinghua, Sun Shu, Li Jiliang, Li Jianlin, Chen Changjie, Peng Haibo. 1987&. The south China orogenic belt is not the South China Platform. *Scientia Sinica(Terrae)*, 10(1): 1107~1115.
- Xu Xianbing, Tang Shuai, Li Yuan, Zhang Zejun. 2015&. Characteristics of Neoproterozoic—Early Mesozoic multiphase orogenic activities of eastern Jiangnan Orogen. *Geology in China*, 42(1): 33~50.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, Yao Jianxin. 2006&. The Early Palaeozoic terrane framework and the formation of the high-pressure (HP) and ultra-high pressure (UHP) metamorphic belts at the Central Orogenic Belt (COB). *Acta Geologica Sinica*, 80(12): 1793~1806.
- Xu Zhiqin, Zeng Lingsen, Yang Jingsui, Li Haibing, Jiang Mei, Jin Zhijun, Zheng Herong, Guo Qijun. 2004b&. Role of large-scale strike-slip faults in the formation of petroleum bearing compressional basin—mountain range systems. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(6): 631~641.
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Ma Changqian, Wu Cailai, Zhang Jianxin, Wang Zhongqi, Wang Guocan, Zhang Hongfei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong. 2010&. Compound orogeny and scientific problems concerning the Central Orogenic Belt of China. *Geology in China*, 37(1): 1~11.
- Yang Yongtai. 2011&. Subsidence mechanisms and stratigraphic models of foreland basins. *Acta Petrologica Sinica*, 27(2): 531~544.
- Yin Fuguang, Xu Xiaosong, Wan Fang, Chen Ming. 2001&. The sedimentary response to the evolutionary process of Caledonian foreland basin system in south China. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(5): 425~428.
- Yin Hongfu, Wu Shunbao, Du Yuansheng, Peng Yuanqiao. 1999&. South China defined as part of Tethyan archipelagic ocean system. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 24(1): 3~5.
- Yin Zanzun. 1973#. A review of plate tectonics. *Scientia Geologica Sinica*, 8(1): 56~88.
- Yuan Erong, Li Zhiming. 1992&. A discovery of pyroclastic rock in Ordovician System in Yongxin—Chongyi area, Jiangxi Province and its significance. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 17(4): 431~435.
- Zhang Ligang. 1985#. Stable isotope geology of tungsten—antimony—gold deposits in Xuefengshan uplift area, western Hunan. *Geology and Prospecting*, 21(11): 24~28.
- Zhang Qi, Qian Qing, Wang Yan. 1999&. Geochemical study on igneous rocks of orogenic belts. *Earth Science Frontiers*, 6(3): 113~120.
- Zhang Renjie. 1984&. Early Silurian bivalves and rostroconchs in northwest Hunan, China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 23(5): 586~896.
- Zhang Sichun, Tang Shangwen. 1983&. The discovery of Early Paleozoic radiolarian chert and plate tectonics in northern Qinling. *Geology of Shaanxi*, 1(2): 1~9.
- Zhang Tingshan, Lan Guangzhi, Kershaw S. 1999&. Tectonic and sea-level change influence on the Silurian reefs development of north and South margins of Sichuan Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 19~24.
- Zhang Xinping, Zhang Shunchen, Wang Daren. 1986&. The trace fossils of Silurian and Devonian systems of the northwestern region, Hunan Province. *Hunan Geology*, 5(2): 49~61.
- Zhang Yuandong, Zhan Renbin, Zhen Yongyi, Wang Zhihao, Yuan Wenwei, Fang Xiang, Ma Xuan, Zhang Junpeng. 2019&. Ordovician integrative stratigraphy and timescale of China. *Science China; Earth Sciences*, 49(1): 66~92.
- Zhao Wenjin, Zhu Min. 2014. A review of the Silurian fishes from China, with comments on the correlation of fish-bearing strata. *Earth Science Frontiers*, 21(2): 185~202.
- Zheng Ning, Song Tianrui, Li Tingdong, Liu Xun, Geng Shufang, Ding Xiaozhong, Tan Zhengxiu, You Guoqing, Ling Yuesheng. 2012&. The discovery of the Lower Cambrian and Middle Ordovician radiolaria in the south China orogenic belt. *Geology in China*, 39(1): 260~265.
- Zhou Mingkui, Wang Ruzhi, Li Zhiming, Yuan Erong, He Yuanxiang, Yang Jialu, Hu Changming, Xiong Daiquan, Lou Xiongying. 1993#. Ordovician—Silurian Lithofacies Palaeogeography and Mineralization in Southern China. Beijing: Geological Press.
- Zhou Weiquan, Lin Wenxin. 1982&. The features of the glaucophane schist in the southern part of the Lancang Jiang metamorphic belt. *Regional geology of China*, 1(2): 76~85.
- Zhu Xiaohui, Chen Danling, Liu Liang, Zhao Jiao, Zhang Le. 2014&. Geochronology, geochemistry and significance of the Early Paleozoic back-arc type ophiolite in Liliangshan area, North Qaidam. *Acta Petrologica Sinica*, 30(3): 822~834.
- Zhu Zhijun, Chen Hongde, Lin Liangbiao, Fan Yu. 2010&. Signification and characteristic of the trace element ratios of the sandstone in Silurian Xiaoheba Formation in southeastern Sichuan Province and western Hunan Province. *Geological Science and Technology Information*, 29(2): 24~30.
- Zhu Zhijun, Chen Hongde. 2012&. Sandstone characteristics and provenance analysis of the sandstone in Silurian Xiaoheba Formation in southeastern Sichuan Province, China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(6): 1590~1600.
- Ziegler A M. 1965. Silurian marine communities and their environmental significance. *Nature*, 207(4994): 270~272.
- Zuo Zibi. 1987&. Discovery of Silurian conodont zoocenosis in the northwestern Hunan and its significance in petroleum geology. *Hunan Geology*, 6(1): 56~64.

## **Rhuddanian—Aeronian (Llandovery, Silurian) lithofacies palaeogeography of Hunan Province and its adjacent region and Caledonian plate tectonic evolution**

WANG Genxian<sup>1)</sup>, CHEN Bihe<sup>2)</sup>, ZHENG Zhengfu<sup>2)</sup>, ZHOU Chao<sup>2)</sup>

1) *Hunan Institute of Geology, Changsha, 410007;*

2) *Hunan Geological Survey, Changsha, 410116*

**Abstract:** As to the Lunmachian paleogeography in the Llandovery, the Taojiang—Baimashan—Yuechengling is the boundary between the Cathaysia Oceanic Crust Block to the southeast and the the Yangtze Continental Crust Block to the northwest. The Cathaysia Oceanic Crust Block was characterized by a deep-water turbidite basin consisting of the Llandovery Rhuddanian (i. e., the Zhoujiayi Formation), of which clastic sediments would have fed by the central Hunan fold mountains further southeast. The Yangtze Continental Crust Block was a sedimentary oceanic basin composed of the Longmaxi Formation. The distant edge to the southeast was in an upper continental shelf environment and the margin to the northwest was the lower continental shelf ones. The fold mountains in south—central Hunan would have supplied most of detrital materials to basins. The Siahopan lithofacies and paleogeography were obviously different from the past. The subduction—collision of the Cathaysia Block with the Yangtze Block took place at the end of the *D. triangulates* graptolite zone time, ca. 440. 8±1. 2 Ma. The orogenesis of the Zhoujiayi Formation (in the Cathaysia Block) itself created the Cathaysia fold mountains, resulting in the closure of the Cathaysia Ocean Basin. At the same time the Cathaysia Block wedged beneath the Yangtze Block by the A-type subduction, leading to the uplift of the Caledonian Xuefeng Orogenic Belt along the southeast margin of the Yangtze Block on a large scale. The Xuefeng Mountain, as a tectonic load, resulted in the formation of a retroarc foreland basin of the Cathaysia Ocean Crust Block in the new southeast margin of the Yangtze Block. The Siahopan Formation was the cover of the retroarc foreland basin. Its terrigenous material supply would have derived from the Xuefeng Orogenic Belt. The Siahopa Formation was comprised mainly of delta-facies deposits in southeast distant edge and littoral-facies deposits in northwest margin. The Siahopan Formation graded into a platform facies stratigraphic unit of the Shiniulan Formation to the northeast-, northwest- and southwest, towards the north-east and north-west and towards the south-west the Xiaohepa Formation grades into the Shiniulan Formation (platform facies). Further to the north-west the Shiniulan Formation changes to the Banjiuguan Formation (basin facies) in Ziyang, Southern Shaanxi Province. glaucophane, a typomorphic mineral of glaucophane-schist, was obtained two times from the panned concentrate samples of the Siahopa Formation. The discovery of glaucophan is the discriminative mark for the Cathaysia—Yangtze collision and Xuefeng's rise in the Caledonian period.

**Keywords:** plate tectonics; Caledonian plate subduction and collision; Xuefeng orogenic belt; retroarc foreland basin; the South China Ocean Basin biostratigraphy; Silurian; Llandovery; Hunan Province

**Acknowledgements:** The authors would like to thank anonymous experts for their constructive reviews. Thanks are also given to the editor for his/her great help to improve this work.

**First author:** WANG Genxian, male, born in 1939, senior engineer, graduated from Peking University, mainly engaged in regional geological survey, stratigraphy and geology; Email: 394289002@qq.com

**Corresponding author:** CHEN Bihe, male, born in 1958, professor of engineering mainly went in for regional geological and mineral survey and exploration; Email: 910241945@qq.com

**Manuscript** received on: 2021-03-12; Accepted on: 2021-09-23; Network published on: 2021-10-20

**Doi:** 10. 16509/j. georeview. 2021. 10. 015

**Edited by:** ZHANG Yuxu